คู่มือดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

Environmental Performance Index Handbook

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย: ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ

Policy Objective: Ecosystem Vitality

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กันยายน 2565

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	**i**
คำอธิบายตัวย่อ	**v**
บทนำ	**1**
ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index : EPI)	**3**
วิธีการและขั้นตอนการคำนวณค่าคะแนน ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม	**6**
1) การแบ่งกลุ่มของการประเมินผลและการให้น้ำหนักความสำคัญของประเด็นการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม	6
2) การคำนวณคะแนนดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม	10
3) ผลประเมินคะแนนสมรรถนะสิ่งแวดล้อม	12
การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม	**13**
การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)	13
การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)	17
วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality)	**23**
5. ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity and Habitat)	23
5.1 ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight)	24
5.2 ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection - global weight)	31

เรื่อง **หน้า**

5.3 ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas) 35
5.4 ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index) 40
5.5 ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index) 43
5.6 ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index) 46
5.7 ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index) 49
5.8 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 52

6. ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services) 61
6.1 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss) 62
6.2 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss) 65
6.3 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss) 68
6.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 71

7. ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries) 77
7.1 ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status) 78
7.2 ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index) 82
7.3 ตัวชี้วัดด้านปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling) 84
7.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 86

8. ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) 89
8.1 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate) 92
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate) 96

เรื่อง **หน้า**

8.2 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate) 96

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate) 100

8.3 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate) 100

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate) 104

8.4 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate) 104

8.5 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate) 108

8.6 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover) 114

8.7 ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita) 118

8.8 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend) 122

8.9 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 126

9. ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions) 129

9.1 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate) 131

9.2 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x Growth Rate) 135

9.3 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 139

เรื่อง **หน้า**

10. ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture) 141
10.1 ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน
(Sustainable Nitrogen Management Index) 142
10.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย
(EPI Thailand) 148
11. ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources) 149
11.1 ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment) 150
11.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย
(EPI Thailand) 152

คำอธิบายตัวย่อ

ตัวย่อ	คำอธิบาย
EPI	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index)
EPI+	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย
EPI Thailand	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย
DC	ปะการังไม่มีชีวิต (Dead Coral)
LC	ปะการังมีชีวิต (Lived Coral)
EEZ	เขตเศรษฐกิจจำเพาะ (Exclusive Economic Zone)
GDP	ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross domestic product)
GHG	ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)
LULUCF	การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry)
MSY	จุดที่ให้ผลผลิตสูงสุดที่ยั่งยืน (Maximum Sustainable Yield)
SDGs	เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals)
SNMI	ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index)
UNFCCC	อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change)

บทนำ

ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index: EPI) ถูกกำหนดให้เป็นหนึ่งในตัวชี้วัดตามเป้าหมายแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ เพื่อประเมินผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของไทย ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในการประเมินคะแนนดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมต้องรวบรวมจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายและอยู่ในความรับผิดชอบของหลายหน่วยงานในกระทรวงต่าง ๆ มีสาขาที่มีความจำเพาะกับดัชนีย่อยแต่ละตัว มีความซับซ้อนของการคำนวณ และบางข้อมูลไม่มีการรายงานข้อมูลโดยตรง นอกจากนี้ปัจจุบันยังไม่มีหน่วยงานในประเทศไทยที่รับผิดชอบในการศึกษาและจัดทำตัวชี้วัดดังกล่าว จึงเป็นประเด็นท้าทายในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่เกี่ยวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ที่ปรึกษา) ดำเนินการโครงการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดทำและการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมตามการศึกษามหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียที่รายงานผลในปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) และคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลของประเทศไทยตามวิธีการคำนวณดังกล่าว รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศ ใช้ในการประเมินสถานการณ์ของเป้าหมายระดับแผนแม่บทย่อยให้ชัดเจน และส่งผลต่อการบรรลุเป้าหมายตามที่กำหนดต่อไป

กันยายน 2565

ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม
(Environmental Performance Index : EPI)

ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index : EPI) เป็นค่าที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแสดงระดับสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศผ่านวิธีการประเมินและตัวชี้วัดที่เป็นสากล ซึ่งมีองค์ประกอบครอบคลุมทุกด้านตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ และตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ เพื่อประเมินว่าแต่ละประเทศมีการดำเนินการต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับใด และมีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างมาตรฐานในการชี้วัดผลงานและความก้าวหน้าการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศในลักษณะที่คล้ายกับตัวชี้วัดผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) กับผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (Gross National Product: GNP) โดยให้ความสำคัญกับผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดแนวปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีผ่านการระบุปัญหา กำหนดเป้าหมาย และติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศที่เป็นรูปธรรม

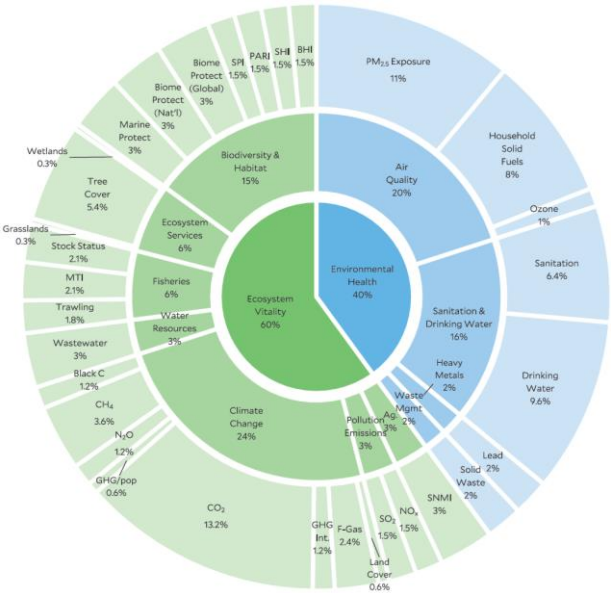
ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเริ่มมีการดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) จนถึงปัจจุบัน โดยมีการประเมินทุก ๆ 2 ปี ซึ่งจะมีการเปลี่ยนตัวชี้วัด ค่าถ่วงน้ำหนัก ตามสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) (EPI Yale & Columbia 2020 : EPI 2020) ได้มีการประเมิน EPI โดยประกอบไปด้วย 2 วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) 11 ดัชนีย่อย (Issue Categories) และ 32 ตัวชี้วัด (Indicators) ดังภาพที่ 1 ได้แก่

1) ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health) ประกอบด้วย

- ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)
- ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation and Drinking Water)
- ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metals)
- ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)

2) ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality) ประกอบด้วย

- ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity and Habitat)
- – ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)
- ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)
- ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)
- ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)
- ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)
- ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)



ภาพที่ 1 วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) ดัชนีย่อย (Issue Categories) ตัวชี้วัด (Indicators) และสัดส่วนค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ประเมินในปี ค.ศ. 2020

ที่มา : Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

วิธีการและขั้นตอนการคำนวณค่าคะแนน ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

1) การแบ่งกลุ่มของการประเมินผลและการให้น้ำหนักความสำคัญของประเด็นการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index: EPI) ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ดำเนินการในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) ประกอบด้วย 2 วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy objectives) 11 ดัชนีย่อย (Issue categories) 32 ตัวชี้วัด (indicators) ซึ่งแต่ละตัวชี้วัดจะถูกถ่วงน้ำหนักความสำคัญที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการตอบสนองต่อความต้องการของผู้กำหนดนโยบายและลำดับความสำคัญตามที่ระบุไว้ในข้อตกลงระหว่างประเทศ หรือเหตุการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นประเด็นสำคัญในช่วงเวลานั้น โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มตัวชี้วัดและค่าถ่วงน้ำหนักคะแนน

ดัชนีย่อย (Issue categories) / ตัวชี้วัด (Indicators)	ตัวย่อ	ค่าถ่วงน้ำหนัก
วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health : HLT) (40%)		
ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)	**AIR**	**20%**
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure)	PMD	11%

ดัชนีย่อย (Issue categories) / ตัวชี้วัด (Indicators)	ตัวย่อ	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household Solid Fuels)	HAD	8%
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure)	OZD	1%
ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation & Drinking Water)	**H2O**	**16%**
ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย (Unsafe Sanitation)	USD	6.4%
ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย (Unsafe Drinking Water)	UWD	9.6%
ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metals)	**HMT**	**2%**
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure)	PBD	2%
ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)	**WMG**	**2%**
ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน (Controlled Solid Waste)	MSW	2%
วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) **ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality : ECO) (60%)**		
ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity & Habitat)	**BDH**	**15%**
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection (national))	TBN	3%
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection (global))	TBG	3%
ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas)	MPA	3%
ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index)	PAR	1.5%

ดัชนีย่อย (Issue categories) / ตัวชี้วัด (Indicators)	ตัวย่อ	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index)	SHI	1.5%
ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index)	SPI	1.5%
ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index)	BHV	1.5%
ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)	**ECS**	**6%**
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss)	TCL	5.4%
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss)	GRL	0.3%
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss)	WTL	0.3%
ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)	**FSH**	**6%**
ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status)	FSS	2.1%
ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Marine Trophic Index)	RMS	2.1%
ตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling)	FGT	1.8%
ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)	**CCH**	**24%**
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate)	CDA	13.2%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate)	CHA	3.6%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate)	NDA	1.2%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate)	FGA	2.4%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate)	BCA	1.2%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover)	LCB	0.6%

ดัชนีย่อย (Issue categories) / ตัวชี้วัด (Indicators)	ตัวย่อ	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend)	GIB	1.2%
ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita)	GHP	0.6%
ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)	**APE**	**3%**
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate)	SDA	1.5%
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X Growth Rate)	NXA	1.5%
ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)	**AGR**	**3%**
ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index)	SNM	3%
ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)	**WRS**	**3%**
ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment)	WWT	3%

2) การคำนวณคะแนนดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

โครงสร้างตัวชี้วัด (Indicator construction) ข้อมูลที่ได้รับการรวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ จะถูกนำไปคำนวณตามสมการของแต่ละตัวชี้วัด และทำการปรับให้อยู่ในรูปที่เป็นมาตรฐาน (standardize) เป็นค่าข้อมูลหรือตัวแปร x และสำหรับบางตัวชี้วัดจะต้องนำค่าที่ได้มาทำการแปลงค่าข้อมูลให้เหมาะสม (data transformation) ด้วยสมการ $ln(x)$ หรือ $ln(x + \alpha)$ เพื่อปรับฐานคะแนนให้อยู่ในช่วง 1 - 100 จากนั้นข้อมูลที่แปลงค่า จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่าคะแนนของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยสูตรคำนวณและค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (1)$$

โดยที่ X = ค่าข้อมูลของประเทศนั้น ๆ

B = ค่า Best performance หรือ ค่าเป้าหมายที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

W = ค่า Worst performance หรือ เป้าหมายที่ประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า

ปริมาณการสูญเสียพื้นที่ป่า ใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยพื้นที่ป่า 5 ปีย้อนหลัง โดยวัดความสูญเสียเทียบกับขอบเขตพื้นที่ป่าของปีฐาน คือปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) โดยกำหนดให้พื้นที่ใด ๆ ที่มีต้นไม้ปกคลุมมากกว่าร้อยละ 30 คือพื้นที่ป่า

ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้จาก Global Forest Watch พบว่าประเทศไทยมีค่า x = 0.007607 (ข้อมูลใช้คำนวณ EPI 2020 คือข้อมูลของปี พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018) และทำการแปลงค่าข้อมูล (data transformation) โดยแทนค่า α ตามภาพที่ 2 เมื่อนำไปแปลงค่าข้อมูลให้เหมาะสมจะได้ค่าข้อมูลที่ -4.8785

$$ln(x + \alpha) = ln(0.007607 + 9.70e^{-7})$$

$$= -4.8785$$

TCL: Tree cover loss, % / Ecosystem Services / Ecosystem Vitality

We quantify *tree cover loss* by constructing a five-year moving average of the percentage of forest lost from the extent of forest cover in the reference year 2000. We define a forest as any land area with over 30% canopy cover.

Units proportion
Years 2005–2018
Source Global Forest Watch
Transformation $ln(x + \alpha)$
α = 9.70E-07

Performance	Nominal	Raw	Transformed
Best	0.0	0.0	-10.9436
Worst	99th percentile	0.0478	-3.04

ภาพที่ 2 ข้อมูลการคำนวณของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่าในรายงาน EPI 2020
ที่มา : Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

จากนั้น ค่าข้อมูลที่แปลงค่า จะถูกนำมาคำนวณประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่มีประสิทธิภาพ โดยประเมินด้วยสูตรคำนวณและค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ตามสมการที่ (1)

$$\textit{Indicator Score} = ((X - W) / (B - W)) * 100$$
$$= \{[(-4.8785) - (-3.04)]\} / [(-4.8785) - (-10.9436)]\} * 100$$
$$= 23.26$$

ดังนั้น ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่าตามการรายงานของ EPI 2020 มีผลคำนวณเท่ากับ 23.3 คะแนน หมายความว่า ประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่ป่าของประเทศอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากข้อมูลที่ EPI 2020 นำมาใช้แสดงถึงการสูญเสียพื้นที่ป่าค่อนข้างสูงในรอบ 5 ปีย้อนหลัง เมื่อเทียบกับปีฐาน

3) ผลประเมินคะแนนสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

ค่าคะแนนของแต่ละตัวชี้วัด จะถูกนำมาคำนวณร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่าคะแนนของดัชนีย่อย จากนั้นจะถูกคำนวณออกมาเป็นผลคะแนนของสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศที่ศึกษาในที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณค่าคะแนนของดัชนีย่อย

เมื่อได้***ค่าคะแนนของแต่ละตัวชี้วัด***จากการนำข้อมูลไปแปลงค่าข้อมูลให้เหมาะสมและคำนวณประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย จากนั้นจึงนำค่าคะแนนมาถ่วงน้ำหนักเพื่อหาค่าคะแนนของดัชนีย่อย โดยค่าคะแนนจากการถ่วงน้ำหนักหาได้จาก

$$\textit{ค่าคะแนนถ่วงน้ำหนัก} = \frac{\Sigma\ (\textit{ข้อมูล} \times \textit{น้ำหนักของข้อมูล})}{\Sigma\ \textit{ค่าถ่วงน้ำหนัก}} \qquad (2)$$

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 2 มาคำนวณค่าคะแนนจากการถ่วงน้ำหนัก พบว่าดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ มีค่าคะแนนอยู่ที่ 145.9 ÷ 6 = 24.3 คะแนน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าข้อมูล ค่าคะแนน และค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดในดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ

ตัวชี้วัด	ค่าคะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ค่าข้อมูลถ่วงน้ำหนัก
ด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า	23.3	5.4	125.8
ด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า	38.7	0.3	11.6
ด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ	28.3	0.3	8.5
ผลรวม	-	**6**	**145.9**

วิธีการหาค่าคะแนนของดัชนีย่อยตัวอื่น ๆ ค่าคะแนนของวัตถุประสงค์เชิงนโยบาย และค่าคะแนนรวมของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม ใช้วิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย พบว่า ชุดข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเพื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินการของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนผลการดำเนินการของประเทศไทยได้โดยตรง เช่น ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นค่าจากภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพถ่ายทางอากาศ ที่นำมาปรับค่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ข้อมูลถูกดัดแปลงค่าเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยหรือฐานข้อมูลนานาชาติไม่ใช่ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน เป็นต้น ดังนั้นการจัดทำ EPI+ จึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะสามารถแสดงประสิทธิภาพการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้ชัดมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดที่บางชุดข้อมูลของประเทศไทยยังไม่มีการเก็บข้อมูล หรืออยู่ระหว่างดำเนินการ รวมถึงในบางตัวชี้วัดที่ไม่สามารถเข้าถึงสูตรการคำนวณที่ดำเนินการตามวิธีการของ EPI 2020 ได้ จึงได้ข้อสรุปในการเลือกใช้ค่าคะแนนที่รายงานโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียของตัวชี้วัดนั้น ๆ เพื่อให้สามารถจัดทำข้อมูล EPI+ ได้อย่างครบถ้วน โดยมีรายละเอียดการเลือกใช้ตัวชี้วัดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รูปแบบตัวชี้วัดที่ใช้ในดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

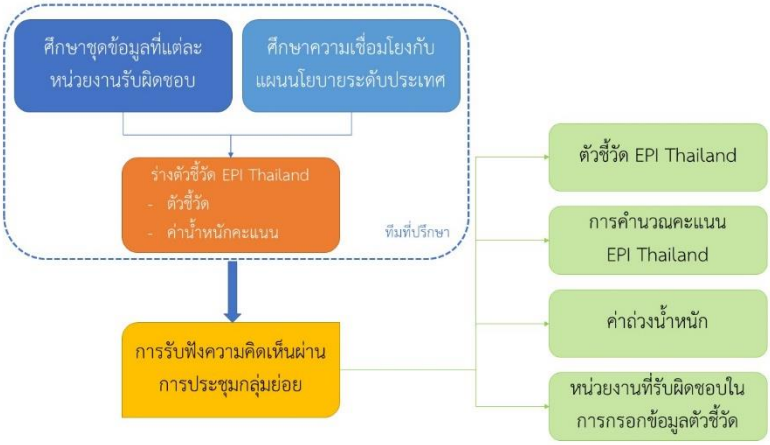
EPI 2020	EPI +
ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health)	
ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALY
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน	
ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation & Drinking Water)	
ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALY
ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย	
ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metals)	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALY
ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)	
ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality)	
ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity & Habitat)	
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก	

EPI 2020	EPI +
ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดที่ไม่สามารถเข้าถึงสูตรในการคำนวณค่าดัชนี
ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์	
ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์	
ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ	
ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)	
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณตามของ Yale & Columbia 2020
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า	
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ	
ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)	
ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดที่ไม่สามารถเข้าถึงสูตรในการคำนวณค่าดัชนี
ตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์	

EPI 2020	EPI +
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ	
ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร	
ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	
ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)	
ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020
ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)	
ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย	ใช้ข้อมูลของประเทศไทย ตามรูปแบบการคำนวณของ Yale & Columbia 2020

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

จากการศึกษาดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย พบว่า ตัวชี้วัดบางตัวยังมีบริบทที่ไม่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยเฉพาะข้อจำกัดด้านข้อมูลที่ไม่เพียงพอในประเทศ หรือการที่ไม่สามารถเข้าถึงสูตรในการคำนวณ โดยเฉพาะในกลุ่มค่าดัชนีต่าง ๆ ดังนั้น ในการคัดเลือกตัวชี้วัดเพื่อให้เข้ากับบริบทของประเทศไทย จึงมีแนวคิดการดำเนินการโดยการรวบรวมข้อมูลที่แต่ละหน่วยงานรับผิดชอบ และศึกษาความเชื่อมโยงของข้อมูลกับนโยบายและแผนระดับประเทศ เพื่อจัดทำร่างตัวชี้วัด EPI Thailand ที่มีตัวชี้วัดเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวชี้วัดจะพิจารณาจากการที่มีชุดข้อมูลย้อนหลังต่อเนื่อง มีความทันสมัยของข้อมูล และเป็นข้อมูลที่เชื่อมโยงกับนโยบายและแผนระดับประเทศ จากนั้นจะกำหนดค่าน้ำหนักคะแนน โดยในขั้นต้นได้จัดทำค่าน้ำหนักคะแนนที่สอดคล้องกับของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย แล้วรับฟังความคิดเห็นต่อตัวชี้วัดและค่าน้ำหนักคะแนน ผ่านการประชุมกลุ่มย่อยกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และนำข้อเสนอแนะที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงตัวชี้วัดและค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับ EPI Thailand ต่อไป ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการนำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมมาปรับให้เข้ากับบริบทของประเทศไทย

จากการศึกษารวบรวมข้อมูล และหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องผ่านการประชุมกลุ่มย่อย ได้ข้อสรุปในการเลือกตัวชี้วัดที่สามารถดำเนินการตามเกณฑ์ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย และมีความสอดคล้องกับนโยบายและแผนระดับประเทศ สำหรับตัวชี้วัดที่ไม่สามารถดำเนินการตามวิธีการคำนวณเดิมได้ หรือยังไม่มีความพร้อมของข้อมูล ได้เสนอแนะแนวทางในการจัดทำตัวชี้วัดใหม่ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทยมากขึ้น โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปแนวทางการจัดทำตัวชี้วัดดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health)	
ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$	เปลี่ยนรูปแบบการคำนวณ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALYs
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน	
ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation & Drinking Water)	
ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย	เปลี่ยนรูปแบบการคำนวณ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALYs
ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย	
ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metals)	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว	เปลี่ยนรูปแบบการคำนวณ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALYs

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)	
ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality)	
ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity & Habitat)	
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก	ปรับชุดข้อมูลที่ใช้คำนวณ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ
ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล	ปรับข้อมูลพื้นที่คุ้มครองทางทะเลให้อยู่ในตัวชี้วัดใหม่ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่คุ้มครองทั้งหมดของประเทศ (ทั้งทางบกและทางน้ำ)
ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง	ยกเลิกการใช้ข้อมูลนี้ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลและการเข้าถึงสูตรในการคำนวณ
ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์	
ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์	
ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ	
	เพิ่มตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศ - ตัวชี้วัดด้านการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครอง - ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนของพื้นที่คุ้มครองต่อพื้นที่ของประเทศ - ตัวชี้วัดด้านจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)	
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า	ยกเลิกตัวชี้วัดเดิม เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นเขตทุ่งหญ้าน้อยมาก
ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
	เพิ่มตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศ - ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของป่าชายเลน - ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล - ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแนวปะการัง
ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)	
ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล	ยกเลิกการใช้ข้อมูลนี้ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลและการเข้าถึงสูตรในการคำนวณ
ตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก	ยกเลิกตัวชี้วัดนี้ เนื่องจากไม่สามารถสะท้อนถึงความพยายามจัดการประมงของประเทศช่วงหลังปี พ.ศ. 2558 ได้ จึงเลือกใช้ข้อมูลด้านความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน ซึ่งสะท้อนถึงผลของการจัดระเบียบการทำประมงอวนลากของประเทศ

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
	เพิ่มตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศ - ตัวชี้วัดด้านความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน
ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ	
ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร	
ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)	
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	
ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)	
ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)	
ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย	ใช้รูปแบบและวิธีการคำนวณตามเดิม โดยใช้ข้อมูลของประเทศไทย
	เพิ่มตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศ - ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ

คู่มือดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเล่มนี้จะกล่าวถึงการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในวัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality) ทั้งในส่วนของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) และการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ ประกอบด้วย 7 ดัชนีย่อย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย ด้านความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ (Ecosystem Vitality)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity and Habitat)

5. ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย (Biodiversity and Habitat)

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้มีการปรับเปลี่ยนตัวชี้วัดในดัชนีนี้ ในทุกการรายงานค่าคะแนนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 (ค.ศ. 2006) ซึ่งใน EPI 2020 มีการแบ่งดัชนีนี้ออกเป็น 7 ตัวชี้วัด ได้แก่

1) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight : TBN)

2) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection - global weight : TBG)

3) ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas : MPA)

4) ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index : BHV)

5) ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index : SHI)

6) ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index : SPI)

7) ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index : PAR)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight)

5.1 ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight)

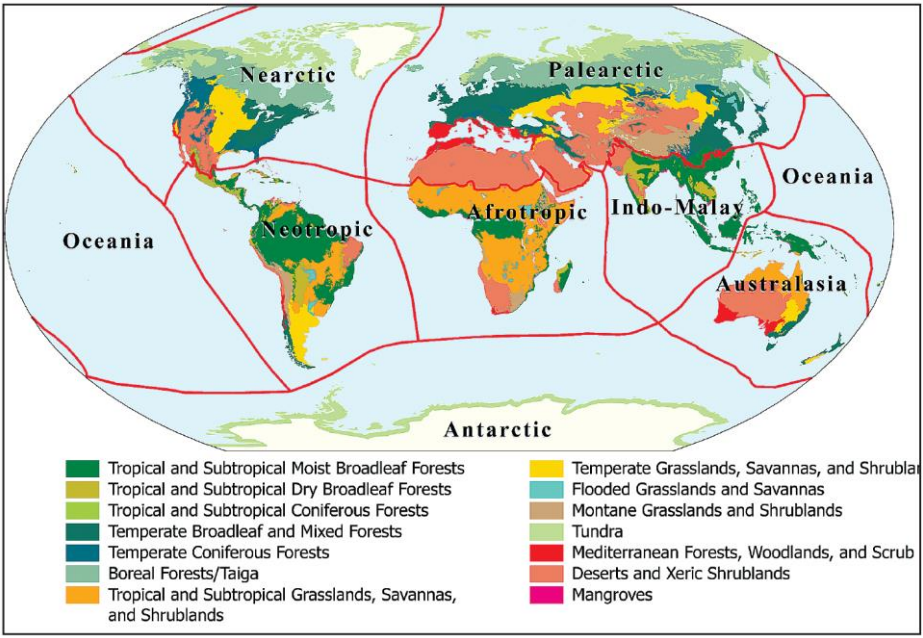
การปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight : TBN) มีคำจำกัดความหมายถึง การปกป้องแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีลักษณะเฉพาะทางนิเวศวิทยาอย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งมีการจำแนกเป็น 14 ประเภทที่มีความสำคัญ และ 15 เขตภูมินิเวศ (ภาพที่ 4) โดยประเทศไทยมีข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ ชีวนิเวศบกที่ต้องพิจารณาจากพื้นที่ 3 ประเภท ได้แก่

(1) พื้นที่ป่าใบกว้างเขตร้อนและกึ่งร้อนชื้น (Tropical & Subtropical Moist Broadleaf Forests) ได้แก่ พื้นที่ป่าดิบชื้น (evergreen forest) พื้นที่ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) และพื้นที่ป่าดิบเขา (hill evergreen forest)

(2) พื้นที่ป่าใบกว้างเขตร้อนและกึ่งร้อนแล้ง (Tropical & Subtropical Dry Broadleaf Forests) ได้แก่ พื้นที่ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) และพื้นที่ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest)

(3) พื้นที่ป่าชายเลน (Mangroves)

คะแนนมีค่าตั้งแต่ 0 - 100 คะแนน หากได้ 100 คะแนน บ่งชี้ว่าประเทศนั้นได้ปกป้องอย่างน้อยร้อยละ 17 (best performance) ของชีวนิเวศบกแต่ละประเภท



ภาพที่ 4 การจำแนกประเภทชีวนิเวศบก (terrestrial biomes) และเขตภูมินิเวศของโลก (ecoregions) ในการประเมินดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย ตาม EPI 2020

ที่มา: Olson et al. (2001)

$$w_{bc} = {TEW_{bc}}/{\sum_b TEW_{bc}}$$

$$TBN_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100$$

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) การคำนวณร้อยละของพื้นที่ชีวนิเวศบกของประเทศไทยที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์ดังสมการที่ (3)

$$PCT_{bc} = \sum_i TPA_{ibc}/TEW_{bc} \quad (3)$$

โดยที่

PCT_{bc} = สัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ของประเทศไทยที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

TPA_{ibc} = พื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

TEW_{bc} = พื้นที่ชีวนิเวศบกทั้งหมดในประเทศ

i = ชนิดพื้นที่ชีวนิเวศที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

b = ชนิดพื้นที่ชีวนิเวศ

c = ประเทศ

2) การคำนวณประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศตามเป้าหมายไอจิที่กำหนดค่าเป้าหมายร้อยละ 17 ดังสมการที่ (4)

$$ICT_{bc} = \begin{cases} PCT_{bc} if PCT_{bc} \leq 0.17 \\ 0.17 if PCT_{bc} > 0.17 \end{cases} \quad (4)$$

โดยที่

ICT_{bc} = ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศไทย

หากสัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ของประเทศอยู่ในพื้นที่คุ้มครอง (PCT_{bc}) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.17 ดังนั้น ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศ (ICT_{bc}) เท่ากับ PCT_{bc}

หากสัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ของประเทศอยู่ในพื้นที่คุ้มครอง (PCT_{bc}) มีค่ามากกว่า 0.17 ดังนั้น ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศ (ICT_{bc}) เท่ากับ 0.17

3) การถ่วงน้ำหนักชีวนิเวศบกในแต่ละประเภทของประเทศไทยจากสัดส่วนพื้นที่ดังสมการที่ (5)

$$w_{bc} = {}^{TEW_{bc}}/_{\sum_b TEW_{bc}} \quad (5)$$

โดยที่

w_{bc} = ค่าถ่วงน้ำหนักชีวนิเวศบกในแต่ละประเภทของประเทศไทย

4) การคำนวณค่าเป็นร้อยละ ดังสมการที่ (6)

$$TBN_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100 \quad (6)$$

โดยที่

TBN_c = ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ

จากการรวบรวมข้อมูล พบว่า ลักษณะของข้อมูลที่นำมาคำนวณ EPI 2020 นั้น เป็นข้อมูลจาก World Database on Protected Areas (WDPA) และ World Wide Fund for Nature ที่เป็นข้อมูลของ ค.ศ. 2010 - 2020 (พ.ศ. 2553 – 2563) โดยข้อมูลพื้นที่คุ้มครองของชีวนิเวศบกมีที่มาจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช และพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน เป็นข้อมูลจากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ทั้งนี้ ข้อมูล TEW ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2563 (ค.ศ. 2000 – 2020) ใช้ฐานข้อมูลจากปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) และข้อมูล TPA ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 - 2563 (ค.ศ. 2010 – 2020) ใช้ฐานข้อมูลจากปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010)

ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ (Terrestrial Biome Protection - national weight) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาพบว่าข้อมูลที่นำมาคำนวณ EPI 2020 เป็นข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน อีกทั้งการคิดพื้นที่ของ WDPA มีค่าสูงมาก คิดเป็นร้อยละ 99 ของพื้นที่ประเทศไทย ดังนั้นในส่วนของ EPI+ จึงได้เลือกใช้ข้อมูลของประเทศไทย ได้แก่

1) ข้อมูลพื้นที่ป่าประเภทต่าง ๆ จากกรมป่าไม้ ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) และรายงานความก้าวหน้ารายสองปี (Biennial Update Report: BUR) ฉบับที่ 3

2) ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์จากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2010)

3) พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน เป็นข้อมูลจากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ปี พ.ศ. 2564 (ค.ศ. 2021) ซึ่งเป็นข้อมูลในปี ค.ศ. 2011 - 2020 (พ.ศ. 2554 - 2563)

โดยข้อมูลมีลักษณะแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 5 และเมื่อนำข้อมูลของประเทศมาแทนค่าในสมการจะพบว่าได้ค่าคะแนน (EPI+) เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ความแตกต่างของการใช้ข้อมูล

ข้อมูล	EPI 2020	EPI +
ข้อมูล TEW เป็นพื้นที่ชีวนิเวศบกที่มีอยู่ในประเทศ	ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) มีพื้นที่ 517,030.31 ตารางกิโลเมตร	ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) มีพื้นที่ 155,609.94 ตารางกิโลเมตร
ข้อมูล TPA เป็นพื้นที่ชีวนิเวศบกที่อยู่ในพื้นที่อนุรักษ์ หรือพื้นที่คุ้มครอง (protected area)	ตามนิยามขององค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN) *	ตามนิยามกฎหมายพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทย **
	ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) มีพื้นที่ 96,325.31 ตารางกิโลเมตร	ข้อมูลปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) มีพื้นที่ 103,152.61 ตารางกิโลเมตร
แหล่งที่มาของข้อมูล	- World Wide Fund for Nature - World Database of Protected Areas	- ข้อมูลพื้นที่ป่า ประเภทต่าง ๆ จากกรมป่าไม้ ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) และรายงานความก้าวหน้า

ข้อมูล	EPI 2020	EPI +
	ทั้งนี้ ข้อมูล TPA ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2563 (ค.ศ. 2010 – 2020) ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010) ข้อมูล TEW ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2563 ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2543	รายสองปี (Biennial Update Report (BUR) ฉบับที่ 3 - ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์จากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2010) - ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน เป็นข้อมูลจากกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2010)

หมายเหตุ

* ประเภทพื้นที่อนุรักษ์ จำแนกตาม International Union for Conservation of Nature, IUCN มี 6 ประเภท ได้แก่

(I) แหล่งสงวนธรรมชาติเข้มข้น (Strict Nature Reserve)

(II) อุทยานแห่งชาติ (National Park)

(III) อนุสรณ์สถานธรรมชาติ (Natural Monument)

(IV) พื้นที่สำหรับจัดการที่อยู่อาศัยและชนิดพันธุ์ (Habitat/Species Management Area)

(V) พื้นที่คุ้มครองภูมิทัศน์ทางบก/ภูมิทัศน์ทางทะเล (Protected Landscape/Seascape)

(VI) พื้นที่คุ้มครองแบบมีการจัดการทรัพยากร (Management Resource Protected Area)

** ประเภทพื้นที่อนุรักษ์ ในความรับผิดชอบของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่ได้ประกาศในพระราชกฤษฎีกา กฎกระทรวง กฎหมาย และระเบียบของทางราชการ จำแนกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่

(1) อุทยานแห่งชาติ (National Park)

(2) เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า (Wildlife Sanctuary)

(3) เขตห้ามล่าสัตว์ป่า (Non-hunting Area)

(4) วนอุทยาน (Forest Park)

(5) สวนพฤกษศาสตร์ (Botanical Garden)

(6) สวนรุกขชาติ (Arboretum)

ตารางที่ 6 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศบก	World Database on Protected Areas (WDPA)	**76.7** (ค.ศ. 2000 - 2020)
EPI+	- พื้นที่ป่าไม้ - พื้นที่อนุรักษ์ - พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน	- กรมป่าไม้ - กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช - กรมทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่ง	**100** (ค.ศ. 2012 - 2020)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection - global weight)

5.2 ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection - global weight)

การปกป้องชีวนิเวศบก (Terrestrial Biome Protection - global weight : TBG) มีคำจำกัดความเช่นเดียวกับข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศบกของตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ โดยตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก มีการถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนพื้นที่ที่ปรากฏของแต่ละชีวนิเวศบกในระดับโลก และพื้นที่ชีวนิเวศบกที่อยู่ในพื้นที่อนุรักษ์ หากได้คะแนน 100 บ่งชี้ว่าประเทศนั้นได้ปกป้องอย่างน้อยร้อยละ 17 (best performance) ของชีวนิเวศบกแต่ละประเภท

$$w_{bc} = \left[\frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \Big/ \left[\sum_b \frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right]$$

$$TBG_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}]$$

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) การคำนวณร้อยละของพื้นที่ชีวนิเวศบกของประเทศไทยที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์ดังสมการที่ (7)

$$PCT_{bc} = \Sigma_i TPA_{ibc} / TEW_{bc} \quad (7)$$

โดยที่

PCT_{bc} = สัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใดๆ ของประเทศไทยที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

TPA_{ibc} = พื้นที่ชีวนิเวศบกใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

TEW_{bc} = พื้นที่ชีวนิเวศบกทั้งหมดในประเทศ

i = ชนิดพื้นที่ชีวนิเวศที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครองหรือพื้นที่อนุรักษ์

b = ชนิดพื้นที่ชีวนิเวศ

c = ประเทศ

2) การคำนวณประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศไทยตามเป้าหมายไอจิที่กำหนดค่าเป้าหมายร้อยละ 17 ดังสมการที่ (8)

$$ICT_{bc} = \begin{cases} PCT_{bc} if PCT_{bc} \leq 0.17 \\ 0.17 if PCT_{bc} > 0.17 \end{cases} \quad (8)$$

โดยที่

ICT_{bc} = ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศไทย

หากสัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ของประเทศอยู่ในพื้นที่คุ้มครอง (PCT_{bc}) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.17 ดังนั้น ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศ (ICT_{bc}) เท่ากับ PCT_{bc}

หากสัดส่วนของพื้นที่ชีวนิเวศบกใด ๆ ของประเทศอยู่ในพื้นที่คุ้มครอง (PCT_{bc}) มีค่ามากกว่า 0.17 ดังนั้น ประสิทธิภาพการปกป้องชีวนิเวศบกของประเทศ (ICT_{bc}) เท่ากับ 0.17

3) การถ่วงน้ำหนักชีวนิเวศบกในแต่ละประเภทจากสัดส่วนพื้นที่ดังสมการที่ (9)

$$w_{bc} = \left[\frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \Big/ \left[\sum_b \frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \quad (9)$$

โดยที่

w_{bc} = ค่าถ่วงน้ำหนักชีวนิเวศบกในแต่ละประเภท

4) การคำนวณค่าเป็นร้อยละ ดังสมการที่ (10)

$$TBG_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100 \quad (10)$$

โดยที่

TBG_c = ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก

ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก (Terrestrial Biome Protection - global weight) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาพบว่าตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลกที่มีลักษณะการคำนวณและชุดข้อมูลคล้ายคลึงกับตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ ดังนั้นในส่วนของ EPI+ จึงได้เลือกใช้ข้อมูลของประเทศไทยมาใช้ในการคำนวณดังแสดงในหัวข้อของตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ และมีการเทียบตามการถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนพื้นที่ชีวนิเวศบกนั้น ๆ ในระดับโลก แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศบก	World Database on Protected Areas (WDPA)	**59.1** (ค.ศ. 2000 - 2020)
EPI+	- พื้นที่ป่าไม้ - พื้นที่อนุรักษ์ - พื้นที่อนุรักษ์ป่าชายเลน - พื้นที่ป่าไม้โลก	- กรมป่าไม้ - กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช - กรมทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่ง - WDPA	**100** (ค.ศ. 2012 - 2020)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas)

5.3 ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas)

พื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas : MPA) ได้ถูกนิยามและให้คำจำกัดความโดยหลายภาคส่วนเพื่อมุ่งวัตถุประสงค์ในการบริหารจัดการพื้นที่เพื่อประโยชน์สูงสุดในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง หนึ่งในคำจำกัดความที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือคำจำกัดความของ Kelleher และ Kenchington (1992) ซึ่งระบุไว้ว่า

“ Any area of intertidal or subtidal terrain, together with its overlying water and associated flora, fauna, historical and cultural features, which has been reserved by law or other effective means to protect part or all of the enclosed environment” (Kelleher & Kenchington, 1992).

อย่างไรก็ตามหลังจากที่ได้มีการกำหนดคำนิยามของพื้นที่คุ้มครองใหม่โดย IUCN ในปี พ.ศ. 2551 (ค.ศ. 2008) เพื่อให้การจำแนกประเภทของพื้นที่คุ้มครองทางทะเลสามารถใช้แนวทางการจำแนกได้เช่นเดียวกันกับพื้นที่คุ้มครองทั่วไป IUCN จึงได้มีการจัดตั้งคณะทำงานเพื่ออธิบาย และตีความเพื่อให้ครอบคลุมองค์ประกอบในส่วนของพื้นที่คุ้มครองทางทะเลและนำเสนอเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) คำจำกัดความของพื้นที่คุ้มครองทางทะเลจึงสามารถใช้ร่วมกันได้กับคำจำกัดความรวมของพื้นที่คุ้มครองทั่วไป โดยหมายถึง “พื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่มีขอบเขตชัดเจน เป็นที่ยอมรับ ถูกจัดตั้งขึ้นและ

มีการจัดการที่อยู่บนฐานของกฎหมายหรือวิธีการอื่นใดที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการอนุรักษ์ธรรมชาติในระยะยาว และสอดคล้องกับการให้บริการของระบบนิเวศและคุณค่าทางวัฒนธรรม”

ในการประเมินครั้งนี้ดัชนีที่ใช้ในการประเมินสามารถอธิบายได้โดยสมการ

$$MPA = \sum AMP_i \Big/ \sum EEZ_j \times 100 \quad (11)$$

โดยที่

MPA = พื้นที่คุ้มครองทางทะเล

AMP = ขนาดพื้นที่ของพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (ตารางกิโลเมตร)

EEZ = ขนาดพื้นที่ของเขตเศรษฐกิจจำเพาะ (ตารางกิโลเมตร)

ตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล (Marine Protected Areas) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

พื้นที่คุ้มครองทางทะเลของประเทศไทยในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นลักษณะของการบริหารงานโดยภาครัฐ เนื่องจากรัฐมีหน้าที่ที่ต้องอนุรักษ์ คุ้มครอง บำรุงรักษา ฟื้นฟู บริหารจัดการ และใช้หรือจัดให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ ให้เกิดประโยชน์อย่างสมดุล และยั่งยืน โดยต้องให้ประชาชนและชุมชนในท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องมีส่วนร่วมดำเนินการและได้รับประโยชน์ โดยสามารถแบ่งประเภทพื้นที่คุ้มครองทางทะเลออกได้เป็น 6 ประเภทคือ อุทยานแห่งชาติทางทะเล เขตห้ามล่าสัตว์ป่า พื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม พื้นที่สงวนชีวมณฑล พื้นที่รักษาพันธุ์สัตว์น้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ ทั้งนี้กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ได้ทำการรวบรวมขอบเขตของพื้นที่แต่ละแห่งและจัดทำเป็นฐานข้อมูลพื้นที่ทางทะเลของประเทศไทยทั้งหมด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 พื้นที่คุ้มครองทางทะเลของประเทศไทย

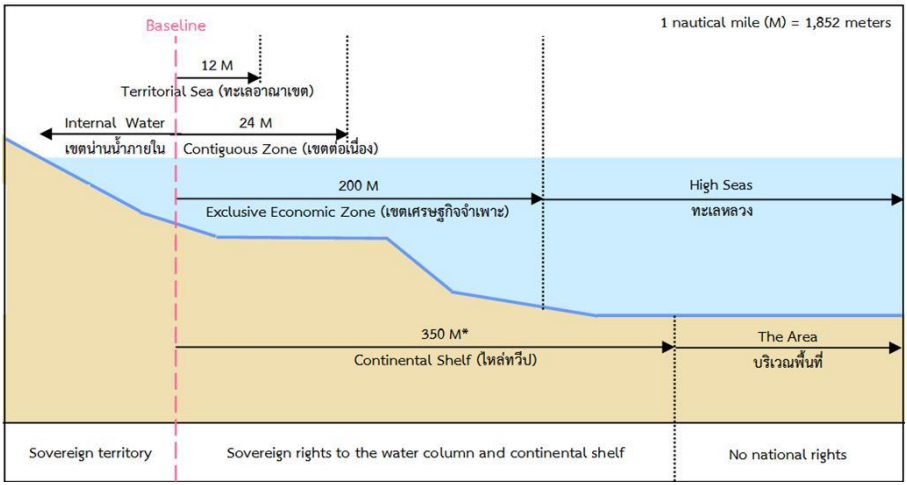
พื้นที่คุ้มครองปัจจุบัน	จำนวนพื้นที่	พื้นที่ทั้งหมด (ตร.กม.)	พื้นที่ทางทะเล (ตร.กม)
1. อุทยานแห่งชาติทางทะเล	23	6,549	5,376
2. เขตห้ามล่าสัตว์ป่า	3	548	280
3. พื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม	6	11,256	10,369
4. พื้นที่สงวนชีวมณฑล	1	305	117
5. พื้นที่รักษาพันธุ์สัตว์น้ำ	56	194.91	194.91
6. พื้นที่ชุ่มน้ำ	9	3,056	1,727
รวม	**98**	**21,909**	**18,063.91**
หักพื้นที่ทับซ้อนกันเอง			2,696
คงเหลือ			**15,367.91**

ที่มา: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563

เมื่อพิจารณาจากสูตรการคำนวณ ค่าผลรวมของพื้นที่คุ้มครองทางทะเลทั้งหมดของประเทศไทยคือการรวมค่าพื้นที่ทั้งหมด 6 ประเภทเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตาม บางพื้นที่มีอาณาเขตที่ทับซ้อนอยู่กับบริเวณอื่น จึงจำเป็นต้องมีการหักลบพื้นที่ที่ทับซ้อนกันออกเพื่อไม่ให้เกิดการนับซ้ำ นอกจากนี้ เพื่อให้ได้ผลรวมที่แท้จริงจึงจำเป็นต้องมีการหักพื้นที่ที่ครอบคลุมในส่วนของพื้นที่ทางทะเลที่มีการประกาศล้ำเข้าไปในเขตของแผ่นดินออกด้วย ค่าตัวเลขผลรวมสุทธิจึงมีค่าเท่ากับ 15,367.91 ตารางกิโลเมตร

ในส่วนของพื้นที่รวมของประเทศที่ถูกนำมาคิด ข้อมูลของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการนำข้อมูลเขตเศรษฐกิจจำเพาะ (Exclusive Economic Zone: EEZ) ซึ่งไม่ตรงกับข้อเท็จจริงด้านพื้นที่ทางทะเลของประเทศไทย เนื่องจาก

ขอบเขตพื้นที่ทางทะเลใต้อำนาจอธิปไตยของไทยประกอบด้วยพื้นที่ทางทะเลในหลายองค์ประกอบ โดยอิงตามหลักคำจำกัดความของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ. 1982 (พ.ศ. 2525) (The United Nations Convention on the Law of the Sea 1982 - UNCLOS 1982) ทั้งนี้ องค์ประกอบต่าง ๆ ประกอบไปด้วย น่านน้ำภายใน (Internal Water) ทะเลอาณาเขต (Territorial Sea) เขตต่อเนื่อง (Contiguous Zone) และเขตเศรษฐกิจเฉพาะ (Economic Exclusive Zone) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ขอบเขตทางทะเล

ที่มา: ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล

http://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=153&lang=th

เขตเศรษฐกิจจำเพาะคือ บริเวณที่นับออกจากเส้นฐานออกไปไม่เกิน 200 ไมล์ทะเล หรือจนกว่าจะประชิดกับเขตเศรษฐกิจจำเพาะของประเทศอื่น (อนุสัญญาฯ ข้อ 55 และข้อ 57) อย่างไรก็ตามเส้นฐานที่ประเทศไทยใช้ในการกำหนดเป็นองค์ประกอบร่วมระหว่างเส้นฐานปกติ (normal baseline) และเส้นฐานตรง (straight baseline) ทำให้

ประเทศไทยมีพื้นที่ทางทะเลในส่วนของน่านน้ำภายในอยู่จำนวนหนึ่ง ในการคิดฐานพื้นที่ทางทะเลของประเทศไทยจึงควรพิจารณาจากพื้นที่ทางทะเลทั้งหมด ไม่ใช่เพียงพื้นที่ของเขตเศรษฐกิจจำเพาะเท่านั้น

ทั้งนี้ เขตพื้นที่ทางทะเลของไทยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 323,488.32 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่น่านน้ำภายใน 61,954.04 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เขตเศรษฐกิจจำเพาะ (พื้นที่นับจากเส้นฐานออกไป 200 ไมล์ทะเลซึ่งซ้อนทับกับทะเลอาณาเขต และเขตต่อเนื่อง) 254,409.06 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่พัฒนาร่วม ไทย - มาเลเซีย (พื้นที่เขตเศรษฐกิจจำเพาะของไทยและมาเลเซียซ้อนทับกัน และมีข้อตกลงการใช้ประโยชน์ร่วมกัน) 7,125.22 ตารางกิโลเมตร

เมื่อนำข้อมูลของประเทศไทยมาคำนวณ พบว่าตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเลได้ค่าคะแนนที่ 47.5 คะแนน แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านพื้นที่คุ้มครองทางทะเล

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	- พื้นที่คุ้มครองทางทะเล - เขตเศรษฐกิจจำเพาะ (EEZ)	- World Database on Protected Areas - Flanders Marine Institute	**16.9** (ค.ศ. 2015 - 2019)
EPI+	พื้นที่คุ้มครองทางทะเลและพื้นที่น่านน้ำไทย	กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง	**47.5** (ค.ศ. 2012 - 2020)

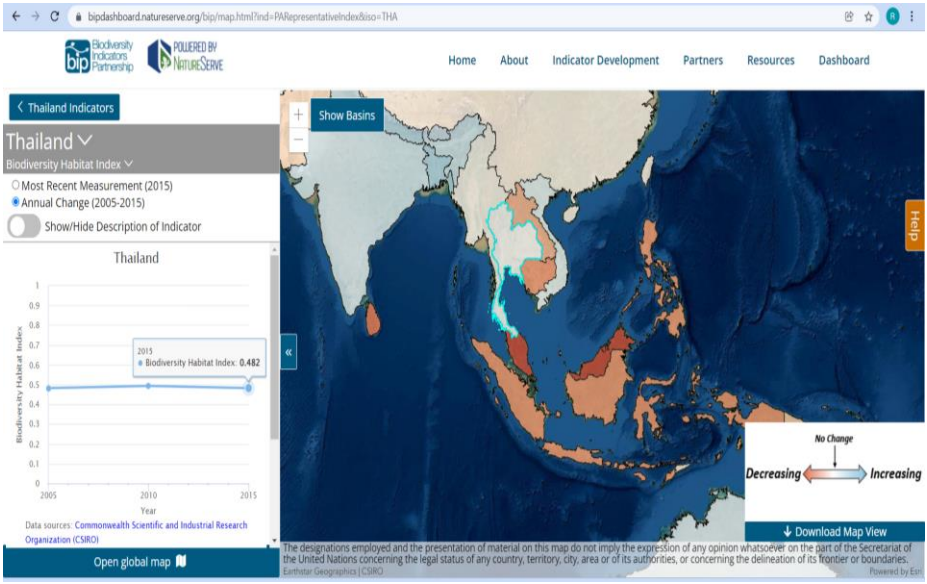
5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index)

5.4 ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index)

ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index : BHV) มีคำจำกัดความหมายถึง ประมาณการผลกระทบของการสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัยบนบก (habitat loss) ความเสื่อมโทรมของถิ่นอาศัย (degradation) และการที่ถิ่นอาศัยกระจัดกระจาย ถูกแบ่งแยกย่อย (fragmentation) ต่อความหลากหลายทางชีวภาพบนบก (ประเทศไทยได้คะแนน 48.2/100) โดยที่คะแนน 100 บ่งชี้ว่าประเทศนั้นไม่มีการสูญเสียแหล่งที่อยู่อาศัยหรือความเสื่อมโทรม และคะแนน 0 หมายถึงการสูญเสียแหล่งที่อยู่อาศัยโดยสมบูรณ์

โดยเครือข่ายข้อมูล NatureServe (https://www.natureserve.org/) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและความเสื่อมโทรมของแหล่งที่อยู่อาศัยและการกระจัดกระจายของแหล่งที่อยู่อาศัยของระบบชีวนิเวศบกทุกประเทศ ร่วมกับข้อมูลแหล่งที่ตั้งของชนิดพันธุ์พืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลของ NASA's MCD12Q1 dataset และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติร่วมกับ PREDICTS meta-analysis ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ข้อมูลดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ
จากเว็บไซต์ https://www.natureserve.org/

ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity Habitat Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการประเมินค่าดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ ตามการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียซึ่งใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิตจาก https://www.natureserve.org/ ทั้งนี้จากการประสานงานไปทางผู้ดูแลเว็บไซต์ เพื่อสอบถามถึงชุดข้อมูลที่ใช้และสมการในการคำนวณ ทางผู้ดูแลเว็บไซต์แจ้งว่าวิธีการคำนวณมีความซับซ้อนมาก และได้อธิบายถึงแนวทางในการดำเนินการว่าใช้การเปลี่ยนแปลงและความเสื่อมโทรมของแหล่งที่อยู่อาศัยและการกระจัดกระจายของแหล่งที่อยู่อาศัยของระบบชีวนิเวศบก ข้อมูลแหล่งที่ตั้งของชนิดพันธุ์พืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์มีกระดูกสันหลังมาซ้อนทับกัน ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งหารือร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าประเทศไทยยังไม่มีการประเมิน

ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ใช้ค่าดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพจากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ ในปี ค.ศ. 2005 – 2015 (พ.ศ. 2548 – 2558) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 48.2 คะแนน ดังตารางที่ 10 เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (Proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 10 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	NatureServe	**48.2** (ค.ศ. 2005 - 2015)
EPI+	ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	NatureServe	**48.2** (ค.ศ. 2005 - 2015)

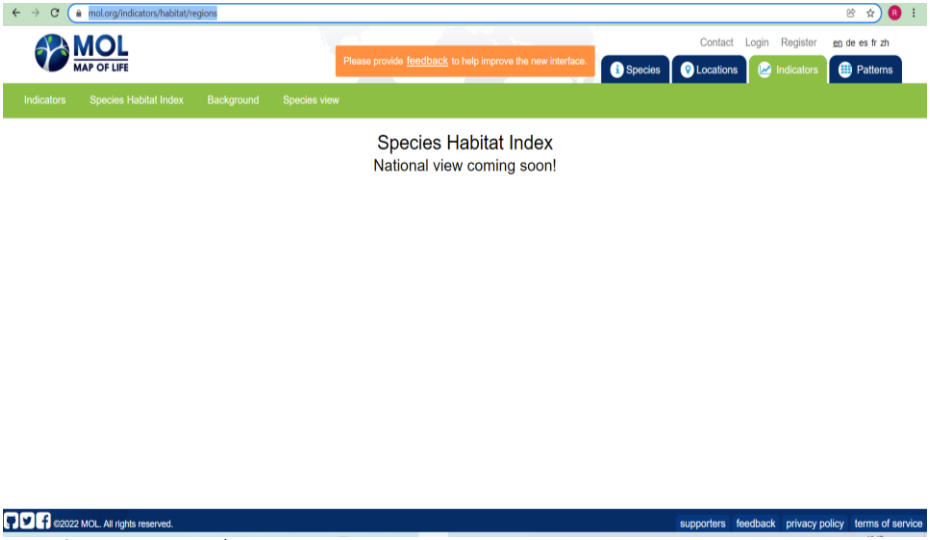
5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index)

5.5 ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index)

ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index : SHI) มีคำจำกัดความหมายถึง สัดส่วนของแหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิตในสภาพธรรมชาติ เทียบกับปีฐานที่ตั้งไว้ในปี พ.ศ. 2544 (ค.ศ. 2001) (ประเทศไทยได้คะแนน 69.9/100) คะแนน 100 บ่งชี้ว่าประเทศนั้นไม่มีการสูญเสียแหล่งที่อยู่อาศัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 และคะแนน 0 หมายถึงการสูญเสียแหล่งที่อยู่อาศัยในระดับรุนแรง SHI เป็นค่าที่บ่งชี้สำหรับการสูญเสียประชากรของสิ่งมีชีวิตที่อาจเกิดขึ้นและความเสี่ยงในการสูญพันธุ์ของแต่ละสายพันธุ์

โดยข้อมูลดัชนีนี้ได้จากเว็บไซต์ Map of Life หรือ MOL (https://mol.org/) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่และคุณภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลและโมเดลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งข้อมูลในปีล่าสุด (ค.ศ. 2020) ยังไม่ประกาศออกมา ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ข้อมูลดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์จากเว็บไซต์ Map of Life (MOL)

ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ (Species Habitat Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการประเมินค่าดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ ตามการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียนั้น ประเมินโดยใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต จากเว็บไซต์ Map of Life หรือ MOL (https://mol.org/) ทั้งนี้ จากการประสานงานไปทางผู้ดูแลเว็บไซต์ เพื่อสอบถามถึงชุดข้อมูลที่ใช้และสมการในการคำนวณ ทางผู้ดูแลเว็บไซต์แจ้งว่าวิธีการคำนวณมีความซับซ้อนมาก และได้อธิบายถึงแนวทางในการดำเนินการว่าใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ ความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงความสมบูรณ์ทางนิเวศวิทยา ประชากรของสิ่งมีชีวิต ความหลายหลายทางพันธุกรรมมาซ้อนทับกัน ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งหารือร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้ค่าดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์จาก

การศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ ในปี ค.ศ. 2001 – 2014 (พ.ศ. 2544 – 2557) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 69.9 คะแนน ดังตารางที่ 11 เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทนจะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

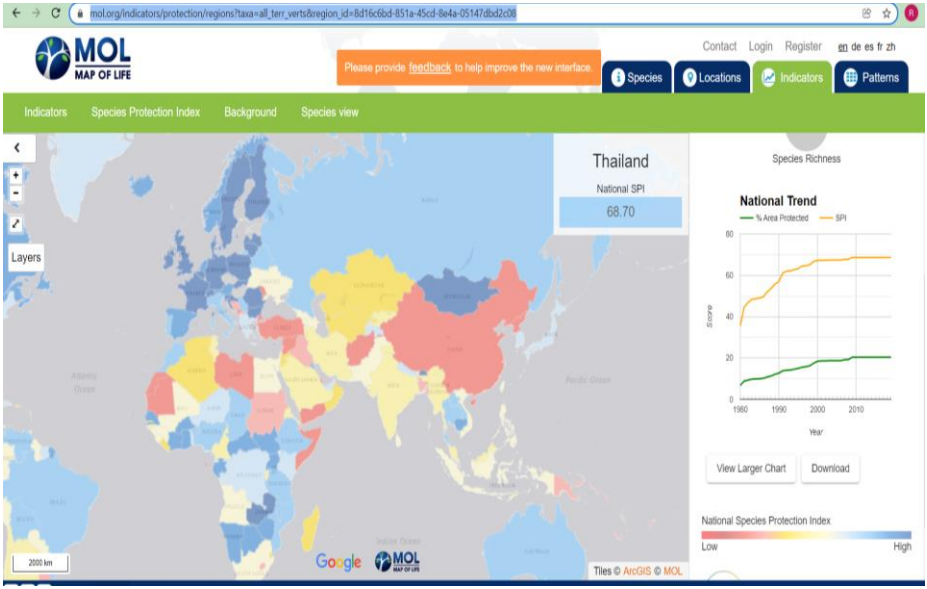
ตารางที่ 11 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ และคุณภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต และข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	Map of Life	**69.9** (ค.ศ. 2001 - 2014)
EPI+	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ และคุณภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต และข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	Map of Life	**69.9** (ค.ศ. 2001 - 2014)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index)

5.6 ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index)

ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index : SPI) มีคำจำกัดความหมายถึง พื้นที่คุ้มครองทางบกของประเทศที่ครอบคลุมถิ่นอาศัยที่พบชนิดพันธุ์ต่าง ๆ (species's ranges) ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และพันธุ์พืชได้ดีเพียงใด (ประเทศไทยได้คะแนน 84.1/100) คะแนน 100 หมายถึง ความครอบคลุมการกระจาย species's ranges ของทุกชนิดในพื้นที่คุ้มครองของประเทศ และคะแนน 0 หมายถึงพื้นที่คุ้มครองไม่ครอบคลุมถิ่นอาศัยที่พบชนิดพันธุ์ต่าง ๆ โดยข้อมูลดัชนีนี้ได้จากเว็บไซต์ Map of Life หรือ MOL (https://mol.org/) ซึ่งใช้ข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิตเทียบกับข้อมูลขอบเขตของพื้นที่คุ้มครองจาก World Database on Protected Area (WDPA) โดยมีผลการคำนวณค่าดัชนี ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ข้อมูลดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์จากเว็บไซต์ Map of Life (MOL)

ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ (Species Protection Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการประเมินค่าดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ ตามการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียนั้นประเมินโดยใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต จากเว็บไซต์ Map of Life หรือ MOL (https://mol.org/) ทั้งนี้ จากการประสานงานไปทางผู้ดูแลเว็บไซต์ เพื่อสอบถามถึงชุดข้อมูลที่ใช้และสมการในการคำนวณ พบว่า ทางผู้ดูแลเว็บไซต์แจ้งว่าวิธีการคำนวณมีความสลับซับซ้อนมาก และได้อธิบายถึงแนวทางในการดำเนินการว่าใช้ข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตและข้อมูลพื้นที่คุ้มครองมาซ้อนทับกัน ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลรวมทั้งหารือร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้ค่าดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์

ปี ค.ศ. 1980 - 2019 (พ.ศ. 2523 – 2562) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 84.1 คะแนน ดังตารางที่ 12 เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (Proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 12 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่คุ้มครอง	Map of Life	**84.1** (ค.ศ. 1980 - 2019)
EPI+	ข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่คุ้มครอง	Map of Life	**84.1** (ค.ศ. 1980 - 2019)

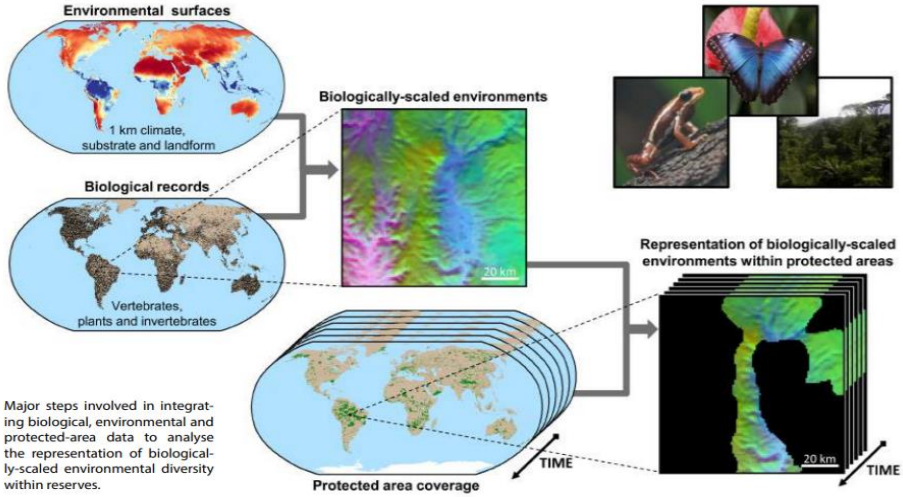
5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index)

5.7 ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index)

ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index : PAR) มีคำจำกัดความหมายถึง พื้นที่คุ้มครองทางบกนั้นแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศได้ดีเพียงใด หากพื้นที่คุ้มครองทางบกครอบคลุมอาณาบริเวณพื้นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ได้เป็นส่วนใหญ่ของประเทศ ดังนั้นสิ่งมีชีวิต (ความหลากหลายทางชีวภาพ) จึงได้รับการคุ้มครองภายใต้ขอบเขตของพื้นที่คุ้มครองเหล่านี้ (ประเทศไทยได้คะแนน 21.8/100)

หากดัชนีนี้มีค่าคะแนนสูง หรือเข้าใกล้ 100 จะบ่งชี้ว่าพื้นที่คุ้มครองทางบกของประเทศเกือบจะเป็นตัวแทนของความหลากหลายของระบบนิเวศของประเทศได้อย่างสมบูรณ์ ข้อมูลดัชนีนี้ได้จากเว็บไซต์ NatureServe (https://www.natureserve.org/) ซึ่งใช้ข้อมูลพื้นที่คุ้มครองจาก World Database on Protected Area (WDPA) ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งที่พบสัตว์มีกระดูกสันหลัง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และพืช (มากกว่า 400,000 ข้อมูล) ร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินจาก NASA’s MODIS โดยมีขั้นตอนในการคำนวณค่าดัชนีดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการประเมินดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง
จากเว็บไซต์ https://www.natureserve.org/

ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง (Protected Areas Representativeness Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการประเมินค่าดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง ตามการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียนั้น พบว่า ประเมินโดยใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต จากเว็บไซต์เครือข่ายข้อมูล NatureServe (https://www.natureserve.org/) ทั้งนี้จากการประสานงานไปทางผู้ดูแลเว็บไซต์ เพื่อสอบถามถึงชุดข้อมูลที่ใช้และสมการในการคำนวณ ทางผู้ดูแลเว็บไซต์แจ้งว่าวิธีการคำนวณมีความซับซ้อนมาก และได้อธิบายถึงแนวทางในการดำเนินการว่าใช้ข้อมูลสิ่งแวดล้อม (abiotic data) ได้แก่ 1) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อาทิ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลน้ำ การระเหยของน้ำ 2) ข้อมูลเกี่ยวกับดิน (อาทิ เนื้อดิน pH ของดิน ความลึกของ

ดิน) และ 3) ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ รวมถึงข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต และพื้นที่คุ้มครองมาซ้อนทับกัน ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งหารือร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้ค่าดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง ปี ค.ศ. 2000 – 2016 (พ.ศ. 2543 – 2562) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 21.8 คะแนน เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (Proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 13 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม และข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งที่พบของสิ่งมีชีวิต	NatureServe	**21.8** (ค.ศ. 2000 - 2016)
EPI+	ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม และข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งที่พบของสิ่งมีชีวิต	NatureServe	**21.8** (ค.ศ. 2000 - 2016)

5 ดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

5.8 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

ค่าคะแนนของดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัยที่ถูกจัดทำขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียประกอบ 7 ตัวชี้วัด ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ประเทศไทยมีข้อจำกัดเรื่องของข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการคำนวณ โดยเฉพาะข้อมูลดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์ ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์ และดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง ที่เป็นข้อมูลจาก Map of Life (www.mol.org) และ NatureServe (www.natureserve.org) ซึ่งทางเว็บไซต์แจ้งว่าวิธีการคำนวณมีความซับซ้อนมาก ดังนั้น จากการหารือกับผู้เชี่ยวชาญและตัวแทนหน่วยต่าง ๆ จึงได้เสนอแนวการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทยที่ประกอบด้วยตัวชี้วัดต่าง ๆ ได้แก่

1) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศของประเทศ
2) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ
3) ตัวชี้วัดด้านการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครอง
4) ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนของพื้นที่คุ้มครองต่อพื้นที่ของประเทศ
5) ตัวชี้วัดด้านจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศของประเทศ

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) สำหรับการคำนวณ***ตัวชี้วัดการปกป้องชีวนิเวศระดับชาติของประเทศ***ไทยจะใช้สูตรคำนวณและตัวแปรในการคำนวณการปกป้องชีวนิเวศเช่นเดียวกับการคำนวณ***ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ***ของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (EPI 2020) และใช้ชุดข้อมูลของประเทศไทยเช่นเดียวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 5.1

2) ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) สำหรับการคำนวณ***ดัชนีการปกป้องชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ***ใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกันกับการคำนวณตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติและตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก โดยให้ความสำคัญพื้นที่ชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ 4 ประเภท ประกอบด้วย

1) พื้นที่มรดกโลกทางธรรมชาติ (World heritage sites (nature))

2) อุทยานมรดกแห่งอาเซียน (ASEAN heritage parks)

3) พื้นที่ชุ่มน้ำระหว่างประเทศ (Ramsar sites)

4) เขตสงวนชีวมณฑล (Biosphere reserves)

โดยประเมินค่าคะแนนจากข้อมูล พื้นที่ชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ พื้นที่ชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศที่อยู่ในพื้นที่คุ้มครอง และมีการถ่วงน้ำหนักกับพื้นที่ชีวนิเวศของโลก

3) ตัวชี้วัดด้านการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครอง

ประเทศไทยมีการจัดทำรายงานแห่งชาติว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพตามพันธกรณีของภาคีอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ (Convention on Biological Diversity: CBD) ซึ่งจะต้องเสนอรายงานต่อสำนักเลขาธิการอนุสัญญาฯ ทุก 4 ปี เพื่อสะท้อนและสื่อสารความก้าวหน้าในการดำเนินงานของประเทศตามข้อตกลงด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ โดยในรายงานฯ มีองค์ประกอบของการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อบรรลุเป้าหมายระดับชาติ

สำหรับ ***ตัวชี้วัดด้านการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครอง*** ได้เลือกใช้ข้อมูลการประเมินประสิทธิผลการดำเนินงานของพื้นที่คุ้มครอง ซึ่งเป็นการประเมินประสิทธิผลจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการที่ประเทศนำมาใช้ในการดำเนินกลยุทธ์ทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศ และแผนปฏิบัติการเพื่อบรรลุเป้าหมายระดับชาติ แต่อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดนี้เป็นการประเมินประสิทธิผลการดำเนินงานของพื้นที่คุ้มครองในภาพรวมของประเทศโดยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมาตรการที่ประเทศนำมาใช้ในการดำเนินกลยุทธ์ทางความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติและแผนปฏิบัติการเพื่อบรรลุเป้าหมายระดับชาติ หากต้องการจัดทำตัวชี้วัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครองเพื่อให้ตอบตัวชี้วัดนี้เพื่อให้เป็นไปตามชื่อตัวชี้วัดที่กำหนดไว้ โดยการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครองเป็นรายพื้นที่ของพื้นที่อนุรักษ์ทั้งหมด 440 แห่ง (ข้อมูลปี พ.ศ. 2565 (ค.ศ. 2022)) สามารถใช้เครื่องมือการประเมินประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่คุ้มครอง (Management Effectiveness Tracking Tool: METT) ซึ่งมีกรอบการประเมินประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่คุ้มครองของ IUCN/WCPA และเป็นรูปแบบที่มีมาตรฐาน โดยมอบหมายให้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมทรัพยากรน้ำ เป็นต้น เพื่อร่วมดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่คุ้มครองดังกล่าว

4) ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนของพื้นที่คุ้มครองต่อพื้นที่ของประเทศ

สัดส่วนพื้นที่คุ้มครองต่อพื้นที่ของประเทศ หมายรวมถึงพื้นที่ทางบกและพื้นที่ทางทะเล โดยใช้ข้อมูลจากกรมป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กรมประมง และกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง นำมาคำนวณผลรวมของพื้นที่คุ้มครองทางบกต่อพื้นที่ของประเทศ และพื้นที่คุ้มครองทางทะเลต่อพื้นที่น่านน้ำของประเทศ ตามสูตรการคำนวณที่ (12) จากนั้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่าผลการดำเนินงานที่ดีที่สุด - แย่ที่สุด (Best - Worst) ที่ 30 - 0 จากเกณฑ์การกำหนดพื้นที่คุ้มครองของประเทศร้อยละ 30 ของพื้นที่ประเทศ

$$\frac{(\text{พื้นที่คุ้มครองทางบก})}{(\text{พื้นที่ของประเทศ})} + \frac{(\text{พื้นที่คุ้มครองทางทะเล})}{(\text{พื้นที่น่านน้ำไทย})} \qquad (12)$$

5) ตัวชี้วัดด้านจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์

ตัวชี้วัดด้านจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์ เป็นการประเมินสถานภาพใกล้สูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์สัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยอ้างอิงจากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หมายความถึงชนิดพันธุ์ที่กำลังอยู่ในภาวะอันตรายที่ใกล้จะสูญพันธุ์ไปจากโลกหรือสูญพันธุ์ไปจากแหล่งที่มีการกระจายพันธุ์อยู่ หากปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญพันธุ์ยังคงดำเนินต่อไป

การคำนวณค่าคะแนนจะใช้ข้อมูลจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์ (endangered species) เทียบระหว่างปีปัจจุบัน และปีก่อนหน้า โดยข้อมูลจำนวนประชากรสัตว์มีกระดูกสันหลังของประเทศไทยที่นำมาใช้คำนวณค่าคะแนนของตัวชี้วัดนี้ ได้แก่ เสือโคร่ง พะยูน โลมาอิรวดี และเต่า นำมาคำนวณเฉลี่ยกันทุกชนิด ตามสูตรการคำนวณที่ (13) หากตัวชี้วัดนี้ถ้าคำนวณแล้วได้คะแนนเต็ม 100 คะแนน จะมีความหมายว่าประชากรของชนิดพันธุ์สัตว์ใกล้สูญพันธุ์ในปีปัจจุบันนั้นจะต้องเพิ่มจำนวนมากขึ้นเป็น 1 เท่า เมื่อเทียบกับข้อมูลประชากรชนิดพันธุ์สัตว์ใกล้สูญพันธุ์ในปีก่อนหน้า

$$\frac{\left(x_{\text{ปีก่อนหน้า}}+\left(x_{\text{ปีปัจจุบัน}}-x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)} \quad (13)$$

โดยที่

x = ประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแทนของสัตว์ 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) สัตว์บก คือ ประชากรเสือโคร่ง และ 2) สัตว์น้ำ คือ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และเต่า เหตุผลที่เลือกเสือโคร่งเป็นตัวแทนของสัตว์บก เนื่องจากเสือโคร่งเป็นสัตว์ผู้ล่าและมีบทบาทหน้าที่ทางนิเวศวิทยา หรือ “นิช” (Ecological Niche) ที่อยู่บนสุดของปิระมิดทางนิเวศวิทยา นั่นหมายถึง ถ้าในป่ามีประชากรเสือโคร่งที่เพิ่มขึ้นทุกปี จะสะท้อนให้เห็นได้ว่า ระบบนิเวศและแหล่งอาหารประเภทต่างๆ ของเสือโคร่งมีความอุดมสมบูรณ์และพื้นที่อยู่อาศัยของเสือโคร่งมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดังนั้นการอนุรักษ์ประชากรของเสือโคร่ง ย่อมหมายถึงการอนุรักษ์ถิ่นอาศัยและสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในภาพรวมของระบบนิเวศด้วย ในส่วนของสัตว์น้ำ ได้แก่ พะยูน โลมาอิรวดี และเต่า เป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตที่เป็นทั้งสัตว์ที่กินพืช (พะยูน) กินทั้งพืชและสัตว์ (ขึ้นอยู่กับชนิดของเต่า) และสัตว์ที่เป็นผู้ล่า (โลมาอิรวดี) ที่กินสัตว์อื่นเป็นอาหารในระบบนิเวศทางน้ำ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนประชากรของสัตว์ในกลุ่มนี้ก็ย่อมสะท้อนให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศและคุณภาพของแหล่งที่อยู่อาศัยที่ดีของสัตว์เหล่านี้ด้วย ทั้งนี้ในอนาคต หากหน่วยงานของประเทศไทยมีการเก็บข้อมูลประชากรของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ก็สามารถที่จะเสนอเพิ่มชื่อของสิ่งมีชีวิตเข้ามาในตัวชี้วัดนี้ได้ เพื่อให้มีตัวแทนของสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลายและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น สำหรับข้อมูลของประเทศไทยที่นำมาใช้คำนวณค่าคะแนนของตัวชี้วัดนี้ ได้แก่ ประชากรเสือโคร่ง สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และเต่า โดยสามารถสรุปการใช้ข้อมูลสำหรับการคำนวณดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัยได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและถิ่นที่อยู่อาศัย

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับชาติ		**ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศของประเทศ**
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศบกและพื้นที่คุ้มครอง	1. ข้อมูลพื้นที่ป่า 2. ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์	1. ข้อมูลพื้นที่ป่า 2. ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	World Database on Protected Areas (WDPA)	1. กรมป่าไม้ 2. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช	1. กรมป่าไม้ 2. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
	ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศบกระดับโลก		**ตัวชี้วัดด้านการปกป้องชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ**
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศบกและพื้นที่คุ้มครอง	1. ข้อมูลพื้นที่ป่า 2. ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์ 3. ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้โลก	1. ข้อมูลพื้นที่ชีวนิเวศที่มีความสำคัญระหว่างประเทศ 2. ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	World Database on Protected Areas (WDPA)	1. กรมป่าไม้ 2. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 3. World Database on Protected Areas (WDPA)	1. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 2. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม / กรมทรัพยากรน้ำ 3. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 4. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง
	ตัวชี้วัดพื้นที่คุ้มครองทางทะเล		
ชุดข้อมูล	พื้นที่คุ้มครองทางทะเล	พื้นที่คุ้มครองทางทะเลและพื้นที่น่านน้ำไทย	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	World Database on Protected Areas (WDPA)	กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง	

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ดัชนีถิ่นอาศัยความหลากหลายทางชีวภาพ		
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	ข้อมูลพื้นที่แหล่งที่อยู่อาศัยและข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	NatureServe	NatureServe	
	ดัชนีถิ่นอาศัยของชนิดพันธุ์		
ชุดข้อมูล	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ และคุณภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที และคุณภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ข้อมูลการกระจายของสิ่งมีชีวิต	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Map of Life	Map of Life	
	ดัชนีคุ้มครองชนิดพันธุ์		
ชุดข้อมูล	1. ข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต 2. ข้อมูลพื้นที่คุ้มครอง	1. ข้อมูลการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต 2. ข้อมูลพื้นที่คุ้มครอง	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	1. Map of Life 2. WDPA	1. Map of Life 2. WDPA	
	ดัชนีตัวแทนพื้นที่คุ้มครอง		
ชุดข้อมูล	1. ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม และข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งที่พบของสิ่งมีชีวิต 2. ข้อมูลพื้นที่คุ้มครอง	1. ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม และข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งที่พบของสิ่งมีชีวิต 2. ข้อมูลพื้นที่คุ้มครอง	

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	1. NatureServe 2. WDPA	1. NatureServe 2. WDPA	
			ตัวชี้วัดด้านการประเมินประสิทธิภาพพื้นที่คุ้มครอง
ชุดข้อมูล			ข้อมูลการประเมินประสิทธิผลการดำเนินงานของมาตรการ ภายใต้เป้าหมายย่อยของแผนแม่บทบูรณาการจัดการความหลากหลายทางชีวภาพ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
			ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนของพื้นที่คุ้มครองต่อพื้นที่ของประเทศ
ชุดข้อมูล			1. ข้อมูลพื้นที่ป่า 2. ข้อมูลพื้นที่อนุรักษ์ 3. ข้อมูลพื้นที่คุ้มครองทางทะเลและพื้นที่น่านน้ำไทย
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			1. กรมป่าไม้ 2. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 3. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง
			ตัวชี้วัดด้านจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์
ชุดข้อมูล			1. จำนวนประชากรเสือโคร่ง 2. ประชากรพะยูน โลมาอิรวดี เต่ากระ เต่าตนุ เต่าหญ้า เต่ามะเฟือง
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			1. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 2. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

6 ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)

6. ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ (Ecosystem Services)

ดัชนีย่อยบริการของระบบนิเวศ ในการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 - 2018 (พ.ศ. 2549 - 2561) จะพิจารณาเฉพาะส่วนของบริการจากพื้นที่ป่า หรือพื้นที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ (Timber Harvest, Forest Cover, Tree Cover Loss) เท่านั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) การดำเนินงานของ EPI 2020 จึงได้มีตัวชี้วัดเกี่ยวกับบริการจากพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่ทุ่งหญ้า เพิ่มขึ้นมา โดยมีรายละเอียดดังนี้

6 ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss)

6.1 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss)

การสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss: TCL) มีคำจำกัดความหมายถึง การวัดการสูญเสียพื้นที่ป่าโดยเฉลี่ยต่อปีในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา หารด้วยขอบเขตรวมของพื้นที่ป่าในปีฐาน โดย 100 คะแนนหมายถึง ประเทศนั้นแทบไม่มีการสูญเสียพื้นที่ป่า และ 0 คะแนนหมายถึง มีการสูญเสียพื้นที่ป่าระดับรุนแรง

กรอบตัวแปร

$$TC5 = \sum_{i=0}^{4} TCC_{t-i}$$
$$TCL = \frac{TC5}{5 \times TCA_{2000}} \quad (14)$$

โดยที่

TC5 = ผลรวมของการสูญเสียพื้นที่ป่า 5 ปี ย้อนหลัง (เฮกตาร์)

TCC = การสูญเสียพื้นที่ป่า (เฮกตาร์)

TCA = พื้นที่ป่า (เฮกตาร์)

TCL = สัดส่วนการสูญเสียพื้นที่ป่า

การดำเนินงานของ EPI 2020 ใช้ข้อมูลในการคำนวณจาก Global Forest Watch โดยเป็นชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 - 2561 (ค.ศ. 2015 - 2018) เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ค่า TCL ออกมา จากนั้นนำค่า TCL ที่ได้ มาทำการ transform ข้อมูล โดยแทนค่าในตัวแปร x ในสมการ transformation จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณ indicator score เพื่อปรับฐานคะแนนให้อยู่ในช่วง 0 - 100 โดย TCL คือ ตัวแปร x ในสมการ โดยคะแนน EPI 2020 ให้คะแนนอยู่ที่ 23.3 คะแนน

สมการ transformation ข้อมูลค่า TCL

$$ln(x + \alpha) \quad (15)$$

โดยที่

α = 9.70E-07

เมื่อ transform ข้อมูลแล้ว นำค่า TCL มาแทนในค่า X ของ

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (16)$$

โดยที่

B = ค่า Best performance (กำหนดให้เท่ากับ -10.9436)

W = ค่า Worst performance (กำหนดให้เท่ากับ -3.04)

ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า (Tree Cover Loss) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการประเมินตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่าตาม EPI 2020 ที่มีการใช้ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้จาก Global Forest Watch สำหรับประเทศไทยมีข้อมูลพื้นที่ป่าโดยกรมป่าไม้ที่สามารถนำมาคำนวณตามสมการได้ และเมื่อนำข้อมูล 5 ปี ย้อนหลังมาคำนวณและเทียบข้อมูลกับปีฐาน พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) ได้ 100 คะแนน แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้	Global Forest Watch	**23.3** (ค.ศ. 2015 - 2018)
EPI+	ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้	กรมป่าไม้	**100** (ค.ศ. 2015 - 2020)

6 ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss)

6.2 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss)

การสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss : GRL) มีคำจำกัดความหมายถึง การวัดการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้าเป็นสัดส่วนต่อการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้าโดยเฉลี่ยต่อปีในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา หารด้วยขอบเขตรวมของพื้นที่ทุ่งหญ้าในปี พ.ศ. 2535 (ค.ศ. 1992) 100 คะแนน หมายถึง ประเทศนั้นแทบไม่มีการสูญเสียพื้นทุ่งหญ้าเลย และ 0 คะแนน หมายถึง มีการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้าระดับรุนแรง

กรอบตัวแปร ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้า

$$GL5 = \sum_{i=0}^{4} \text{Yearly Grassland loss}_{t-i}$$
$$GRL = \frac{GL5}{5 \times GRA_{2000}} \quad (17)$$

โดยที่

GL5 = ผลรวมของการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า 5 ปี ย้อนหลัง (ตารางกิโลเมตร)

GRL = การสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (ตารางกิโลเมตร)

GRA = พื้นที่ทุ่งหญ้า (ตารางกิโลเมตร)

ข้อมูลในการคำนวณจาก European Space Agency โดยเป็นชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2540 - 2558 (ค.ศ. 1997 - 2015) เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ค่า GRL ออกมา จากนั้นนำค่า GRL ที่ได้ มาทำการ transform ข้อมูล โดยแทนค่าในตัวแปร x ในสมการ transformation จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณ indicator score เพื่อปรับฐานคะแนนให้อยู่ในช่วง 0 - 100 โดย GRL คือ ตัวแปร x ในสมการ โดยคะแนน EPI 2020 อยู่ที่ 38.7 คะแนน

สมการ transformation ข้อมูลค่า GRL

$$ln(x + \alpha) \quad (18)$$

โดยที่

α = 4.45E-06

เมื่อ transform ข้อมูลแล้ว นำค่า GRL มาแทนในค่า X ของ

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (19)$$

โดยที่

B = ค่า Best performance (กำหนดให้เท่ากับ -10.5632)

W = ค่า Worst performance (กำหนดให้เท่ากับ -2.4422)

ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า (Grassland Loss) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

สำหรับพื้นที่ทุ่งหญ้าในประเทศไทย พบว่า ปริมาณพื้นที่ทุ่งหญ้าในประเทศมีจำนวนน้อยมาก และจากการข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดิน ยังคงพบข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้าตามแหล่งธรรมชาติอยู่บางส่วน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าคะแนนร่วมกับการใช้ข้อมูลปีฐานของพื้นที่ทุ่งหญ้า (พ.ศ. 2535 (ค.ศ.1992)) ตามการศึกษาของ EPI 2020 ที่ 2,043.99

ตารางกิโลเมตร พบว่า ได้ 0 คะแนน เนื่องจากพื้นที่ทุ่งหญ้าถูกปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินไป ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตร ที่อยู่อาศัย ป่าไม้ พื้นที่ลุ่ม ไม้ละเมาะ และพื้นที่น้ำ จึงทำให้ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้าของประเทศไทยลดลงมากเมื่อเทียบกับข้อมูลในอดีต แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้า	European Space Agency	**38.7** (ค.ศ. 1997 - 2015)
EPI+	ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้า	กรมพัฒนาที่ดิน	**0** (ค.ศ. 2015 - 2020)

6 ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss)

6.3 ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss)

การสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss : WTL) มีคำจำกัดความหมายถึง การสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำโดยเฉลี่ยต่อปีในช่วงห้าปีที่ผ่านมา หารด้วยขอบเขตรวมของพื้นที่ชุ่มน้ำในปี พ.ศ. 2535 (ค.ศ. 1992) โดย 100 คะแนน หมายถึง ประเทศนั้นแทบไม่มีการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำเลย และ 0 คะแนน หมายถึง มีการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำระดับรุนแรง ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินรายงานข้อมูลเป็นพื้นที่น้ำ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น พื้นที่ลุ่ม พืชน้ำ ป่าชายเลน และป่าพรุ

$$WL5 = \sum_{i=0}^{4} \text{Yearly Wetland loss}_{t-i}$$
$$WTL = \frac{WL5}{5 \times WTA_{2000}} \quad (20)$$

โดยที่

WL5 = ผลรวมของการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ 5 ปี ย้อนหลัง (ตารางกิโลเมตร)

WTL = การสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

WTA = พื้นที่ชุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

ข้อมูลในการคำนวณจาก European Space Agency โดยเป็นชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2540 - 2558 (ค.ศ. 1997 - 2015) เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ค่า WTL ออกมา จากนั้นนำค่า WTL ที่ได้ มาทำการ transform ข้อมูล โดยแทนค่าในตัวแปร x ในสมการ transformation จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณ indicator score เพื่อปรับฐานคะแนนให้อยู่ในช่วง 0 - 100 โดย WTL คือ ตัวแปร x ในสมการ โดยคะแนน EPI 2020 อยู่ที่ 28.3 คะแนน

สมการ transformation ข้อมูลค่า WTL

$$ln(x + \alpha) \quad (21)$$

โดยที่

α = 2.47E-06

เมื่อ transform ข้อมูลแล้ว นำค่า WTL มาแทนในค่า X ของ

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (22)$$

โดยที่

B = ค่า Best performance (กำหนดให้เท่ากับ -10.5632)

W = ค่า Worst performance (กำหนดให้เท่ากับ -2.4422)

ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland Loss) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

เมื่อนำข้อมูลของประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2549 - 2564 (ค.ศ. 2006 - 2021) มาใช้คำนวณค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ ได้แก่ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชุ่มน้ำตามมติคณะรัฐมนตรี 112 แห่ง และข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำนอกเหนือจากพื้นที่ชุ่มน้ำ 112 แห่ง ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ พบว่า เมื่อนำมาคำนวณจะได้ 100 คะแนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยไม่มีการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ และมีพื้นที่ชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับในอดีต

อย่างไรก็ตามด้วยภารกิจงานในส่วนของการบริหารจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอยู่ระหว่างโอนภารกิจไปยังกรมทรัพยากรน้ำ ดังนั้นประเมินค่าตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำในปีต่อไปอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนหน่วยงานผู้ให้ข้อมูล

ตารางที่ 17 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำ	European Space Agency	**28.3** (ค.ศ. 1997 - 2015)
EPI+	ข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำ	กรมพัฒนาที่ดิน (กรมทรัพยากรน้ำ)	**100** (ค.ศ. 2015 - 2020)

6 ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

6.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

จากการศึกษา รวบรวมข้อมูล และหารือกับในการประชุมกลุ่มย่อยของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ทุ่งหญ้าอยู่น้อย ตัวชี้ด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้าจึงยังไม่เหมาะสมกับการเป็นตัววัดการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จึงเห็นควรให้ตัดประเด็นของพื้นที่ทุ่งหญ้าออก และยังคงตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า และตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำไว้

นอกจากนั้นประเทศไทยมีการใช้บริการจากระบบนิเวศทางทะเลอยู่มาก แต่ในบริบทของมหาวิทยาลัยเยลและโคลัมเบียไม่มีการคำนวนในประเด็นนี้ จึงเห็นควรให้เพิ่มการบริการของระบบนิเวศทางทะเลทั้ง 3 ระบบเข้ามาด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบนิเวศทางทะเลไม่สามารถวัดขอบเขตได้อย่างแน่นอน เพราะมีความผันแปรของปัจจัยสิ่งแวดล้อมสูง การจะวัดการสูญเสียพื้นที่จึงทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีข้อเสนอร่วมกันให้ประเมินบริการของระบบนิเวศจากความสมบูรณ์ของระบบนิเวศแทน

ดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย ประกอบด้วยตัวชี้วัดต่าง ๆ ได้แก่

1) ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า
2) ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ
3) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของป่าชายเลน

4) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล

5) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแนวปะการัง

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) สำหรับการคำนวณ ***ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า***จะใช้สูตรคำนวณและตัวแปรในการคำนวณการปกป้องชีวนิเวศเช่นเดียวกับการคำนวณของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (EPI 2020) และใช้ชุดข้อมูลของประเทศไทยเช่นเดียวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 6.1

2) ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ

ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำมีลักษณะการดำเนินการเช่นเดียวกับตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า คือใช้สูตรคำนวณและตัวแปรในการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (EPI 2020) และใช้ชุดข้อมูลของประเทศไทยเช่นเดียวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 6.3

3) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของป่าชายเลน

ความสมบูรณ์ของป่าชายเลน มีคำจำกัดความหมายถึง ความสมบูรณ์ในเชิงผลผลิตมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในป่าชายเลน ซึ่งเป็นตัวที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ในการให้บริการทางนิเวศ ซึ่งจำแนกระดับความสมบูรณ์ของพื้นที่ป่าชายเลนออกเป็น 3 ระดับ (คณะวนศาสตร์, 2552)

1) *ป่าชายเลนระดับความสมบูรณ์น้อย* เป็นสังคมพืชป่าชายเลนที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมน้อยกว่า 47.89 ตันต่อเฮกตาร์
2) *ป่าชายเลนระดับความสมบูรณ์ปานกลาง* เป็นสังคมพืชป่าชายเลนที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมตั้งแต่ 47.89 - 92.96 ตันต่อเฮกตาร์
3) *ป่าชายเลนระดับความสมบูรณ์มาก* เป็นสังคมพืชป่าชายเลนที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมากกว่า 92.96 ตันต่อเฮกตาร์

ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของป่าชายเลน พิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ป่าชายเลนระดับความสมบูรณ์มากควรมีไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของพื้นที่ป่าชายเลน (Best performance = 33% และ Worst Performance = 0)

$$MCI = \left(\frac{M_{CR}/M_T}{0.33}\right) \times 100 \quad (23)$$

โดยที่

MCI = ความสมบูรณ์ของป่าชายเลนประเมินจากผลผลิตมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน (%)

M_{CR} = พื้นที่ป่าชายเลนสมบูรณ์มาก (ตารางกิโลเมตร)

M_T = พื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด (ตารางกิโลเมตร)

4) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล

ความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล มีคำจำกัดความหมายถึง ระดับความสมบูรณ์จากร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของหญ้าทะเล ในตัวชี้วัดนี้พิจารณาจากเกณฑ์สถานภาพสมบูรณ์ดีของแหล่งหญ้าทะเล หรือมีการปกคลุมของหญ้าทะเลร้อยละ 51 – 75 โดยค่าตัวชี้วัดนี้มีคะแนนเต็มที่ 100 คะแนน และคะแนนต่ำสุดที่ 0 คะแนน ตัวชี้วัดนี้ถ้าคำนวณ

แล้วได้คะแนนเต็ม 100 คะแนน จะมีความหมายว่า สถานภาพสมบูรณ์ดีของแหล่งหญ้าทะเลในปีปัจจุบันนั้นจะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1 เท่า เมื่อเทียบกับข้อมูลสถานภาพสมบูรณ์ดีของแหล่งหญ้าทะเลในปีก่อนหน้า

$$\frac{\left(x_{\text{ปีก่อนหน้า}}+\left(x_{\text{ปีปัจจุบัน}}-x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)} \quad (24)$$

โดยที่

x = สถานภาพสมบูรณ์ดีของแหล่งหญ้าทะเล

5) ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแนวปะการัง

ความสมบูรณ์ของแนวปะการัง มีคำจำกัดความหมายถึง อัตราส่วนการปกคลุมพื้นที่ของปะการังมีชีวิต (Lived Coral: LC) และปะการังไม่มีชีวิต (Dead Coral: DC) ซึ่งเป็นค่าร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด ในตัวชี้วัดนี้พิจารณาจากเกณฑ์สถานภาพสมบูรณ์ดีของแนวปะการัง หรือ อัตราส่วนระหว่างการปกคลุมพื้นที่ของปะการังมีชีวิต (LC) และปะการังไม่มีชีวิต (DC) เท่ากับ 2:1 โดยค่าตัวชี้วัดนี้มีคะแนนเต็มที่ 100 คะแนน และคะแนนต่ำสุดที่ 0 คะแนน ตัวชี้วัดนี้ถ้าคำนวณแล้วได้คะแนนเต็ม 100 คะแนน จะมีความหมายว่า สถานภาพสมบูรณ์ดีของแนวปะการังในปีปัจจุบันนั้นจะต้องเพิ่มขึ้นเป็น 1 เท่า เมื่อเทียบกับข้อมูลสถานภาพสมบูรณ์ดีของแนวปะการังในปีก่อนหน้า

$$\frac{\left(x_{\text{ปีก่อนหน้า}}+\left(x_{\text{ปีปัจจุบัน}}-x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{\text{ปีก่อนหน้า}}\right)} \quad (25)$$

โดยที่

x = สถานภาพสมบูรณ์ดีของแนวปะการัง

ตารางที่ 18 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านบริการของระบบนิเวศ

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า		**ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ป่า**
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้	ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้	ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Global Forest Watch	กรมป่าไม้	กรมป่าไม้
	ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ทุ่งหญ้า		
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้า	ข้อมูลพื้นที่ทุ่งหญ้า	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	European Space Agency	กรมพัฒนาที่ดิน	
	ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ		**ตัวชี้วัดด้านการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ**
ชุดข้อมูล	ข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำ	ข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำ	ข้อมูลพื้นที่ชุ่มน้ำ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	European Space Agency	กรมพัฒนาที่ดิน, กรมทรัพยากรน้ำ	กรมพัฒนาที่ดิน, กรมทรัพยากรน้ำ
			ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของป่าชายเลน
ชุดข้อมูล			ข้อมูลความสมบูรณ์ของป่าชายเลน
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง
			ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล
ชุดข้อมูล			ข้อมูลความสมบูรณ์ของแหล่งหญ้าทะเล
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง
			ตัวชี้วัดด้านความสมบูรณ์ของแนวปะการัง
ชุดข้อมูล			ข้อมูลความสมบูรณ์ของแนวปะการัง
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

7 ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)

7. ดัชนีย่อยด้านประมง (Fisheries)

ดัชนีย่อยด้านประมง ในการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ซึ่งในการดำเนินงานของ EPI 2020 มีการแบ่งดัชนีนี้ออกเป็น 3 ตัวชี้วัด ได้แก่

1) ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status)

2) ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index)

3) ตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling)

โดยมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนีย่อยด้านประมง

7 ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status)

7.1 ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status)

ตัวชี้วัด “สถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ” (Fish Stock Status : FSS) มีคำจำกัดความหมายถึง ร้อยละของปริมาณสัตว์น้ำที่ใช้ประโยชน์มากเกินศักย์การผลิต (Overexploited) หรือล่มสลาย (Collapsed) ต่อปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมดที่จับได้ในเขตเศรษฐกิจจำเพาะ (Exclusive Economic Zone: EEZ) โดยมีแนวคิดคือ ประเทศควรลดหรือจำกัดการจับสัตว์น้ำที่อยู่ในสถานะที่ใช้ประโยชน์มากเกินศักย์การผลิต (Overexploited) หรือที่อยู่ในภาวะล่มสลาย (Collapsed)

ตามรายงานคะแนนของ EPI 2020 มีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ 2 ส่วน ได้แก่

1) ข้อมูลสถานภาพของทรัพยากรสัตว์น้ำ (Fish Stock Class: FSC) ซึ่งจัดจำแนกออกเป็น 5 ระดับ คือ 1 = ล่มสลาย (Collapsed), 2 = ใช้ประโยชน์มากเกินระดับที่เหมาะสม (Overexploited), 3 = ใช้ประโยชน์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Exploited), 4 = อยู่ในช่วงการพัฒนาการประมง (Developing) และ 5 = อยู่ระหว่างฟื้นตัว (Rebuilding)

2) ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ (Catch: CTH) ดังสมการ

$$FSS = \frac{\sum_e \left[FSC_{k=1,e} \times CTH_e\right] + \sum_e \left[FSC_{k=2,e} \times CTH_e\right]}{\sum_e CTH_e} \quad (26)$$

โดยที่

FSS = สถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ

FSC = สถานภาพของทรัพยากรสัตว์น้ำ

CTH = ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ

ในการพิจารณาสถานภาพของทรัพยากรของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลจาก Sea Around Us โดยในการจำแนกสถานภาพใช้ประโยชน์มีเงื่อนไขตาม Kleisner and Pauly (2015) ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เงื่อนไขการกำหนดค่าสถานภาพของทรัพยากร

สถานภาพ	ค่า	เงื่อนไข
อยู่ระหว่างฟื้นตัว (Rebuilding)	5	ปีของผลจับสัตว์น้ำที่ศึกษามากกว่าปีที่มีผลจับสัตว์น้ำต่ำสุดหลังจากที่จับได้สูงสุด และผลจับสัตว์น้ำต่ำสุดหลังจากที่จับได้สูงสุดน้อยกว่าร้อยละ 10 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด และผลจับสัตว์น้ำของปีที่ศึกษาอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 50 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด
อยู่ในช่วงการพัฒนาการประมง (Developing)	4	ปีของผลจับสัตว์น้ำที่ศึกษาน้อยกว่าปีที่มีผลจับสัตว์น้ำสูงสุด และผลจับสัตว์น้ำของปีที่ศึกษาน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด หรือปีที่มีผลจับสัตว์น้ำสูงสุดเท่ากับปีสุดท้ายของผลจับสัตว์น้ำ
ใช้ประโยชน์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Exploited)	3	ผลจับสัตว์น้ำของปีที่ศึกษามากกว่าร้อยละ 50 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด
ใช้ประโยชน์มากเกินระดับที่เหมาะสม (Overexploited)	2	ปีของผลจับที่ศึกษามากกว่าปีที่มีผลจับสัตว์น้ำสูงสุด และผลจับสัตว์น้ำของปีที่ศึกษาอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 50 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด
ล่มสลาย (Collapsed)	1	ปีของผลจับที่ศึกษามากกว่าปีที่มีผลจับสัตว์น้ำสูงสุด และผลจับสัตว์น้ำน้อยกว่าร้อยละ 10 ของผลจับสัตว์น้ำสูงสุด

จากการคำนวณของ EPI 2020 เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากชุดข้อมูลในเว็บไซต์ Sea Around Us (https://www.seaaroundus.org/) ซึ่งในการพิจารณาสถานภาพอาจเป็นการพิจารณาชุดข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 - 2557 (ค.ศ. 1950 - 2014) เมื่อคำนวณตามวิธีการของ Sea Around Us คะแนนที่ได้ไม่เท่ากัน ด้วยเหตุผล 2 ประการหลัก คือ ข้อมูลปริมาณสัตว์น้ำที่ Sea Around Us มาจาก FAO ซึ่งได้รับข้อมูลจากกรมประมง อย่างไรก็ตามทั้งทาง FAO และ Sea Around Us มีการปรับค่าก่อนนำมาใช้ในการคำนวณค่า FSS นอกจากนี้ ชุดข้อมูลดังกล่าวเป็นชุดข้อมูลก่อนที่ประเทศไทยจะมีการแก้ปัญหาการทำประมงผิดกฎหมาย ขาดการรายงานและไร้การควบคุม (IUU Fishing) ข้อมูลที่ปรากฏในสถิติการประมงแห่งประเทศไทยมีการนำตัวเลขสัตว์น้ำที่เรือประมงไทยไปทำประมงนอกน่านน้ำมานับรวมเข้าปริมาณสัตว์น้ำที่จับในเขตเศรษฐกิจจำเพาะ เมื่อประเมินค่าคะแนนออกมา พบว่า EPI 2020 ให้อยู่ที่ 3.3 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

การใช้ข้อมูลของประเทศไทยสำหรับตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ ได้เลือกใช้ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ 5 กลุ่ม คือ ปลาผิวน้ำ ปลาหน้าดิน กุ้ง ปู และปลาหมึก จากกรมประมง ซึ่งเป็นชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2555 - 2563 (ค.ศ. 2012 - 2020) มาคำนวณค่าคะแนน พบว่า ได้ 100 คะแนน ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ปริมาณการจับสัตว์น้ำ	Sea Around Us	**3.3** (ค.ศ. 1950 - 2014)
EPI+	ปริมาณการจับสัตว์น้ำ	กรมประมง	**100** (ค.ศ. 2012 - 2020)

7 ดัชนีย่อยด้านประมง
ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index)

7.2 ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index)

ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index : RMS หรือ MTI) มีคำจำกัดความหมายถึง ค่าเฉลี่ยของระดับการกินอาหารสำหรับระบบนิเวศขนาดใหญ่ซึ่งใช้บ่งชี้ว่าเข้าสู่ "การประมงกลุ่มปลาที่อยู่ในลำดับชั้นอาหารระดับล่าง" หรือไม่ โดยค่านี้เป็นมาตรวัดว่าสต็อคปลาขนาดใหญ่ถูกใช้ประโยชน์และทรัพยากรประมงมีการจัดการอย่างยั่งยืนหรือไม่

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วยข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำของประเทศไทย และค่าลำดับขั้นของการกินอาหาร (Regional Marine Trophic) เพื่อใช้การคำนวณค่าความชันของ RMTI จากปีที่มีค่าสูงสุดถึงปี ค.ศ. 2014 โดยเป็นข้อมูลจากเว็บไซต์ Sea Around Us (https://www.seaaroundus.org/)

ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล (Regional Marine Trophic Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ด้วยการประเมินค่าดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล ตามการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียนั้นประเมินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำและลำดับขั้นการกินอาหารของสัตว์ทะเลจากเว็บไซต์ Sea Around Us ทั้งนี้ จากการประสานงานไปทางผู้ดูแลเว็บไซต์ เพื่อสอบถามถึงชุดข้อมูลที่ใช้และสมการในการคำนวณ พบว่า ทางผู้ดูแลเว็บไซต์ไม่สามารถเปิดเผยวิธีการคำนวณได้ เพียงแต่อธิบายถึงแนวทางในการดำเนินการว่าใช้ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ และลำดับขั้นการกินอาหารของสัตว์ทะเล

ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ และหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ข้อมูลจากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล จากข้อมูลปี ค.ศ. 2014 (พ.ศ. 2557) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 23.7 คะแนน

ตารางที่ 21 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	Regional Marine Trophic Index (RMTI)	Sea Around Us	**23.7** (ค.ศ. 2014)
EPI+	Regional Marine Trophic Index (RMTI)	Sea Around Us	**23.7** (ค.ศ. 2014)

7 ดัชนีย่อยด้านประมง
ตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling)

7.3 ตัวชี้วัดด้านปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling)

สัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling : FGT) มีคำจำกัดความหมายถึง ร้อยละของสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลากหน้าดินหรืออวนลากกลางน้ำต่อสัตว์น้ำทั้งหมดที่จับได้ในเขตเศรษฐกิจจำเพาะของประเทศไทย

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณคือ ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้โดยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ในเขตเศรษฐกิจจำเพาะ เครื่องมือจำแนกออกเป็น 5 กลุ่มหลัก คือ อวนลากหน้าดิน (Bottom Trawling) อวนลากกลางน้ำ (Pelagic Trawling) อวนติดตา (Gillnets) เบ็ด (Longline) และเครื่องมืออื่น ๆ (Other) และข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ (Catch: CTH) ดังสมการ

$$FGT = \frac{\sum_{g=1}^{2} \sum_{e} FGT_{eg}}{\sum_{e} CTH_{e}} \quad (27)$$

โดยที่

FGT = ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้โดยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ในเขตเศรษฐกิจจำเพาะ

CTH = ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำ

ตัวชี้วัดด้านปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก (Fish Caught by Trawling) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

สำหรับการคำนวณค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก ได้ใช้ข้อมูลปริมาณการจับสัตว์น้ำจำแนกตามเครื่องมือของประเทศไทยที่ได้จากกรมประมง เพื่อหาร้อยละของสัตว์น้ำที่จับโดยอวนลากหน้าดิน ตามสมการที่ 26 พบว่า ได้ 4.4 คะแนน ซึ่งต่างจากการค่าคะแนนของ EPI 2020 ที่ได้ 5.5 คะแนน เนื่องจาก EPI 2020 ได้ใช้ชุดข้อมูลของ Sea Around Us ซึ่งข้อมูลปริมาณสัตว์น้ำที่ Sea Around Us ใช้มาจาก FAO ซึ่งได้รับข้อมูลจากกรมประมง หลังจากนั้นทั้งทาง FAO และ Sea Around Us มีการปรับค่าก่อนนำมาใช้ทำให้การคำนวณได้ค่าออกมาแตกต่างกับการใช้ข้อมูลของประเทศไทย

ตารางที่ 22 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก	Sea Around Us	**5.5** (ค.ศ. 1950 - 2014)
EPI+	ปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก	กรมประมง	**4.4** (ค.ศ. 2020)

ดัชนีย่อยด้านประมง

7 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

7.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับประเด็นด้านประมง มีความเห็นร่วมกันว่า ควรคงตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ (Fish Stock Status) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดเดิมตาม EPI 2020 และไม่ควรใช้ ตัวชี้วัดดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลและการเข้าถึงสูตรในการคำนวณ รวมถึงตัวชี้วัดด้านสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก เนื่องจากตัวชี้วัดยังไม่สะท้อนถึงความพยายามในการจัดการประมงของประเทศไทยในช่วงหลังปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) จึงเลือกใช้ ข้อมูลด้านความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดินทดแทน ที่สะท้อนให้เห็นความก้าวหน้าในการบริหารจัดการทรัพยากรประมงของไทย ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการจัดระเบียบการทำประมงอวนลากและควบคุมการทำประมงจากการออกใบอนุญาตทำการประมงให้สมดุลกับทรัพยากรประมงที่ประเทศไทยมีอยู่ในแต่ละขณะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ

แนวทางการจัดทำ EPI Thailand สำหรับการคำนวณ***ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ***จะใช้สูตรคำนวณและตัวแปรในการคำนวณเช่นเดียวกับมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (EPI 2020) และใช้ชุดข้อมูลของประเทศไทย

เช่นเดียวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 7.1

2) ตัวชี้วัดด้านความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน

สัตว์หน้าดินเป็นสัตว์ที่อยู่ประจำถิ่นมากกว่าปลาผิวน้ำ และผลผลิตส่วนมากได้มาจากการทำประมงอวนลาก ที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ช่วยสะท้อนการบริหารจัดการทรัพยากรสัตว์หน้าดินของประเทศไทยได้ ดังนั้นจึงได้เสนอแนวทางการจัดทำข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

ความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน (Abundance of Demersal Fauna: ADF) มีคำจำกัดความหมายถึง ร้อยละของปริมาณการจับสัตว์หน้าดินต่อหน่วยการลงแรงประมง (CPUE) ในปีที่คำนวณกับปริมาณการจับสัตว์หน้าดินต่อหน่วยการลงแรงประมง ณ จุดที่ให้ผลผลิตสูงสุดที่ยั่งยืน (Maximum Sustainable Yield: MSY)

$$ADF = \frac{CPUE_i}{CPUE_{msy}} \tag{28}$$

โดยที่

ADF = ความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน

$CPUE_i$ = ปริมาณการจับสัตว์น้ำต่อหน่วยการลงแรงประมง

$CPUE_{msy}$= ปริมาณการจับสัตว์หน้าดินต่อหน่วยการลงแรงประมง ณ จุดที่ให้ผลผลิตสูงสุดที่ยั่งยืน

การคำนวณหาปริมาณการจับสัตว์น้ำต่อหน่วยการลงแรงประมงเป็นดังสมการ

$$CPUE_i = \frac{CATCH_i}{EFFORT} \tag{29}$$

โดยที่

$CATCH_i$ = ผลรวมของปริมาณการจับปลาหน้าดิน ปลาเป็ด กุ้ง ปู ปลาหมึก หอย และเคย ของปีที่สนใจ

Effort = การลงแรงประมง ซึ่งเป็นการคำนวณมาจากผลจับสัตว์หน้าดินในปีที่ศึกษากับค่า CPUE ของเรือสำรวจของกรมประมง

ตารางที่ 23 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านประมง

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ		**ตัวชี้วัดด้านสถานภาพปริมาณสัตว์น้ำคงเหลือ**
ชุดข้อมูล	ปริมาณการจับสัตว์น้ำ	ปริมาณการจับสัตว์น้ำ	ปริมาณการจับสัตว์น้ำ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Sea Around Us	กรมประมง	กรมประมง
	ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล		
ชุดข้อมูล	ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล	ดัชนีลำดับขั้นการกินอาหารในทะเล	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Sea Around Us	Sea Around Us	
	ตัวชี้วัดด้านปริมาณสัตว์น้ำที่ถูกจับโดยอวนลาก		
ชุดข้อมูล	ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้จากอวนลาก	ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้จากอวนลาก	
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Sea Around Us	กรมประมง	
			ตัวชี้วัดด้านความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์หน้าดิน
ชุดข้อมูล			ปริมาณการจับปลาหน้าดิน การลงแรงประมง
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			กรมประมง

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

8. ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้ให้ความสำคัญในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งพบว่าค่าคะแนนหรือค่าถ่วงน้ำหนักค่อนข้างสูงมาโดยตลอด โดยได้ทบทวนวิธีการประเมินดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปีต่าง ๆ และให้ความสำคัญกับวิธีการประเมินในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) เป็นหลัก

ผลการทบทวนวิธีการประเมินดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินสำหรับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในปี ค.ศ. 2020 คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการปล่อยต่าง ๆ ซึ่งเป็นการประเมินในลักษณะของการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติตามข้อแนะนำในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) ทั้งนี้ ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปีก่อนหน้าให้ความสำคัญด้านพลังงานยั่งยืน (Sustainable energy) ในปีรายงาน ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) จากนั้นมีการปรับกรอบการประเมินเป็นด้านสภาพภูมิอากาศและพลังงาน (Climate and energy) ในปีรายงาน ค.ศ. 2008 (พ.ศ. 2551) จนถึงปี ค.ศ. 2018 (พ.ศ. 2561) และถูกปรับเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) ด้วยเหตุนี้ ตัวชี้วัดที่พิจารณาจึงมีความหลากหลายและครอบคลุมทั้งในด้านพลังงานและสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้พลังงงาน พลังงานทดแทน การ

ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรม และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ

จากการสืบค้นและตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการรายงานข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดและการปล่อยรายก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยการประเมินเริ่มรายงานผลในปี ค.ศ. 1994 (พ.ศ. 2537) และในปัจจุบันการรายงานข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยมีการดำเนินการที่ครอบคลุมและต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 (พ.ศ. 2543) จนถึงปัจจุบัน หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของไทย คือ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในฐานะหน่วยประสานงานกลางของประเทศภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ซึ่งทำหน้าที่ประสานขอความอนุเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมากกว่า 40 หน่วยงาน และประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมอยู่ในรายงานความก้าวหน้ารายสองปีโดยเป็นการรายงานข้อมูลย้อนหลังทุก ๆ 2 ปี และรายงานแห่งชาติต้องจัดส่งทุก ๆ 4 ปี

ดังนั้นการประเมินดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเลือกใช้ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีวิธีการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลที่ทางมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียใช้ คือ การประเมินตามวิธีการของ IPCC Guidelines ส่วนข้อมูลประกอบอื่น ๆ ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และสำนักงานสถิติแห่งชาติ

วิธีการคำนวณของ EPI 2020 ในการหา***อัตราการปล่อยก๊าซ*** จากค่าความชันของเส้นกราฟปริมาณการปล่อยก๊าซและเวลา หรือเรียกว่า ***การหาค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซต่อปี*** พิจารณาจากความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือค่าความชัน ดังนี้

1) กราฟปริมาณการปล่อยก๊าซและเวลา มีค่าเป็นบวก หรือมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา สามารถใช้ค่าอัตราการปล่อยได้โดยตรง (unadjusted growth rate)

2) กราฟปริมาณการปล่อยก๊าซและเวลา มีค่าเป็นลบ หรือมีค่าลดลงตามเวลา หรือมีค่าลดลงตามเวลา ต้องทำการปรับค่า (adjusted growth rate) โดยคำนวณค่าความชันกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's correlation coefficient) ที่ได้จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับ GDP

ข้อมูลอื่น ๆ ประกอบการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และข้อมูลสำหรับก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas) คาร์บอนดำ (black carbon) และการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมป่า (forest cover change) มีรายละเอียดเพิ่มเติมในการดำเนินการที่แสดงไว้ในแต่ละหัวข้อ

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate)

8.1 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate : CDA) หมายถึง อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเวลา โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) และเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ แต่ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF)

การคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CDO) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (LULUCF) ถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln CDO จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า CDB ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร CDB = exp (β) -1

จากนั้นค่า CDB ถูกนำมาหาค่า CDA โดยหากค่า CDB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า CDA แต่หากค่า

CDB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (CDA = CDB x (1 – CDR)) โดย CDR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CDO และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(CDO) = \alpha + \beta t$$
$$CDB = exp(\beta) - 1$$
$$CDA = \begin{cases} CDB \; if \; CDB \geq 0 \\ CDB \times (1 - CDR) \; if \; CDB < 0 \end{cases}$$
$$CDR = corr(CDO, GDP) \qquad (30)$$

โดยที่

CDR = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

CDO = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

CDB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

CDA = อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า CDA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า CDA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยสูตรคำนวณและค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0759	-0.0759
Worst	95th percentile	0.1003

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ Potsdam Institute for Climate Impact Research โดยเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 - 2560 (ค.ศ. 2008 - 2017) และคำนวณคะแนนได้ 38.2 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 48.7 คะแนน ซึ่งมากกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 38.2 คะแนน ดังตารางที่ 24 โดยเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของข้อมูลของ EPI 2020 และ EPI+ มีความสอดคล้องกัน แต่เนื่องจากการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าโดย Potsdam Institute for Climate Impact Research เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม 2006 IPCC Guidelines หากแต่ข้อมูลสำหรับ EPI+ เป็นข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซของประเทศไทยที่ได้จากข้อมูลกิจกรรมโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงคาดว่าแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินตาม EPI 2020 และ EPI+ ของประเทศไทยมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ผลคะแนนของตัวชี้วัดที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 24 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	CO_2 growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**38.2** (ค.ศ. 2008 - 2017)
EPI+	- อัตราการปล่อย CO_2 - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**48.7** (ค.ศ. 2007 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate)

8.2 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate : CHA) หมายถึงอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนตามเวลา โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซมีเทน) ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) และเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ แต่ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF)

การคำนวณใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (LULUCF) ถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln CH_4 จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า CHB ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร CHB = exp (β) -1

จากนั้นค่า CHB ถูกนำมาหาค่า CHA โดยหากค่า CHB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า CHA แต่หากค่า CHB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (CHA = CHB x (1 –

CHR)) โดย CHR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CH_4 และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(CH_4) = \alpha + \beta t$$
$$CHB = exp(\beta) - 1$$
$$CHA = \begin{cases} CHB \; if \; CHB \geq 0 \\ CHB \times (1 - CHR) \; if \; CHB < 0 \end{cases}$$
$$CHR = corr(CH_4, GDP) \qquad (31)$$

โดยที่

CHR = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซมีเทน

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

CH_4 = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน

CHB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซมีเทนต่อปี

CHA = อัตราการปล่อยก๊าซมีเทน

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า CHA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า CHA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0107	-0.0107
Worst	95th percentile	0.0512

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนของ Potsdam Institute for Climate Impact Research และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 - 2560 (ค.ศ. 2008 - 2017) และคำนวณคะแนนได้ 85.4 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4 Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่าประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 100 คะแนน ซึ่งมากกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 85.4 คะแนน ดังตารางที่ 25 เนื่องจากการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าโดย Potsdam Institute for Climate Impact Research เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม 2006 IPCC Guidelines หากแต่ข้อมูลสำหรับ EPI+ เป็นข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซของประเทศไทยที่ได้จากข้อมูลกิจกรรมโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงคาดว่าแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินตาม EPI 2020 และ EPI+ ของประเทศไทยมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ผลคะแนนของตัวชี้วัดที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน โดยแนวโน้มของข้อมูลของ EPI 2020 (ค.ศ. 2008 - 2017) และ EPI+ (ค.ศ. 2007 - 2016) ไม่สอดคล้องกันนัก แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะช่วงปี พ.ศ. 2553 - 2559 (ค.ศ. 2010 - 2016) พบว่ายังคงมีแนวโน้มของข้อมูลที่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 25 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	Methane growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**85.4** (ค.ศ. 2008 - 2017)
EPI+	- อัตราการปล่อย CH_4 - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**100** (ค.ศ. 2007 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate)

8.3 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate : NDA) หมายถึงอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ตามเวลา โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซไนตรัสออกไซด์) ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) และเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF)

การคำนวณตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ จะเป็นการใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NOT) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย แต่ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (LULUCF) แล้วนำมาปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln NOT จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อยหรือค่า β และทำการหาค่า CHB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร NDB = exp (β) -1

จากนั้นค่า NDB ถูกนำมาหาค่า NDA โดยหากค่า NDB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า NDA แต่หากค่า NDB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (NDA = NDB x (1 – NDR)) โดย NDR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง NOT และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(NOT) = \alpha + \beta t$$
$$NDB = exp(\beta) - 1$$
$$NDA = \begin{cases} NDB \; if \; NDB \geq 0 \\ NDB \times (1 - NDR) \; if \; NDB < 0 \end{cases}$$
$$NDR = corr(NOT, GDP) \qquad (32)$$

โดยที่

NDB = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

NOT = ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

NDB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ต่อปี

NDA = อัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า NDA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า NDA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0195	-0.0195
Worst	95th percentile	0.0525

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ของ Potsdam Institute for Climate Impact Research และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 - 2560 (ค.ศ. 2008 - 2017) และคำนวณคะแนนได้ 65.7 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่าประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 57.9 คะแนน ซึ่งน้อยกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 65.7 คะแนน ดังตารางที่ 26 โดยเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของข้อมูลของ EPI 2020 และ EPI+ มีความสอดคล้องกัน แต่เนื่องจากการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าโดย Potsdam Institute for Climate Impact Research เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม 2006 IPCC Guidelines หากแต่ข้อมูลสำหรับ EPI+ เป็นข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซของประเทศไทยที่ได้จากข้อมูลกิจกรรม

โดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงคาดว่าแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินตาม EPI 2020 และ EPI+ ของประเทศไทยมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ผลคะแนนของตัวชี้วัดที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 26 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	N_2O growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**65.7** (ค.ศ. 2008 - 2017)
EPI+	- อัตราการปล่อย N_2O - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**57.9** (ค.ศ. 2007 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate)

8.4 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate : FGA) หมายถึงอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนตตามเวลา โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต) ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) และเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนตทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) โดยแหล่งข้อมูลของก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนตที่มหาวิทยาลัยเยลและโคลัมเบียพิจารณา ได้แก่ HFCs PFCs และ SF_6 และมีแหล่งปล่อยจากภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ (IPPU)

การคำนวณใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (FOG) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (LULUCF) ถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln FOG จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า FGB หรือ unadjusted average

annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร FGB = exp (β) -1 จากนั้นค่า FGB ถูกกำหนดว่าเป็นค่า FGA โดยสูตรต่างๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(FOG) = \alpha + \beta t$$
$$FGB = exp(\beta) - 1$$
$$FGA = FGB \quad (33)$$

โดยที่

FOG = ปริมาณการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต

FGB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนตต่อปี

FGA = อัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า FGA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า FGA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.9366

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต ของ Potsdam Institute for Climate Impact Research และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 - 2560 (ค.ศ. 2008 - 2017) และคำนวณคะแนนได้ 94.4 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต (F-gas Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 83.0 คะแนน ซึ่งน้อยกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 94.4 คะแนน ดังตารางที่ 27 โดยเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของข้อมูลของ EPI 2020 และ EPI+ มีความสอดคล้องกัน แต่เนื่องจากการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าโดย Potsdam Institute for Climate Impact Research เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม 2006 IPCC Guidelines หากแต่ข้อมูลสำหรับ EPI+ เป็นข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซของประเทศไทยที่ได้จากข้อมูลกิจกรรมโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงคาดว่าแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินตาม EPI 2020 และ EPI+ ของประเทศไทยมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ผลคะแนนของตัวชี้วัดที่คำนวณได้มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 27 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	F-gasses growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**94.4** (ค.ศ. 2008 - 2017)
EPI+	อัตราการปล่อย F-gas	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	**83.0** (ค.ศ. 2007 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate)

8.5 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate)

อัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate : BCA) หมายถึง อัตราการปล่อยคาร์บอนดำตามเวลา โดยปริมาณคาร์บอนดำที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินใน คู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) และเป็นปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ โดยแหล่งข้อมูลของการปล่อยคาร์บอนดำที่มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียพิจารณา ได้แก่ แหล่งปล่อยจากภาคพลังงานและภาคของเสีย

การคำนวณตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ จะเป็นการใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำ (BLC) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย ถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln BLC จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า BCB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร BCB = exp (β) -1

จากนั้นค่า BCB ถูกนำมาหาค่า BCA โดยหากค่า BCB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า BCA แต่หากค่า

BCB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (BCA = BCB x (1 – BCR)) โดย BCR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง BLC และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(BLC) = \alpha + \beta t$$
$$BCB = exp(\beta) - 1$$
$$BCA = \begin{cases} BCB\ if\ CDB \geq 0 \\ BDB \times (1 - BCR)\ if\ BDB < 0 \end{cases}$$
$$BCR = corr(BLC, GDP) \quad (34)$$

โดยที่

BCR = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยคาร์บอนดำ

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

BLC = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำ

BCB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยคาร์บอนดำต่อปี

BCA = อัตราการปล่อยคาร์บอนดำ

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า BCA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า BCA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0187	-0.0187
Worst	95th percentile	0.0526

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยคาร์บอนดำของ The Community Emissions Data System (CEDS) และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2548 - 2557 (ค.ศ. 2005 - 2014) และคำนวณคะแนนได้ 42.6 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ (Black Carbon Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลคาร์บอนดำ (black carbon) พบว่ายังไม่มีการรายงานข้อมูลเป็นทางการของประเทศไทย และเมื่อทบทวนวิธีการประเมินแล้ว พบว่าการประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำมีวิธีการที่คล้ายกับการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก คือ ผลคูณระหว่างข้อมูลกิจกรรมและค่าการปล่อยก๊าซ (คาร์บอนดำ) โดยตามแหล่งข้อมูลที่ใช้ประเมิน EPI 2020 พบว่าข้อมูลปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำของประเทศไทยตามแหล่งข้อมูลอ้างอิง มีการประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำจากกิจกรรม***การเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาคพลังงาน*** และ***การเผาขยะในเตาเผาของภาคของเสีย*** นอกจากนี้ยังได้ทบทวนกิจกรรมการปล่อยคาร์บอนดำที่สำคัญเพิ่มเติม คือ การเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรและป่าไม้ ซึ่งมีการรายงานข้อมูลเชิงวิจัยในเอกสารเผยแพร่ หากแต่ยังไม่เป็นข้อมูลทางการของประเทศไทย

จากข้อมูลข้างต้นจึงนำมาสู่ข้อเสนอแนะเพื่อนำมากำหนดกรอบการประเมินการปล่อยคาร์บอนดำสำหรับใช้ประกอบการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจะเป็นการประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำด้วยกิจกรรมสำคัญ 3 กลุ่ม ตามแนวทางการประเมินอ้างอิงกรอบวิธีการที่สอดคล้องกับ 2006 IPCC Guidelines โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การเผาไหม้เชื้อเพลิงของภาคพลังงาน ทำการรวบรวมข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้จากตารางดุลยภาพพลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และอ้างอิงค่า

การปล่อยคาร์บอนดำจากบทความวิจัยที่แหล่งข้อมูลของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียใช้

2) การเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรและพื้นที่ป่า มีการรายงานข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกและก๊าซตั้งต้นจากการเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรและพื้นที่ป่าไม้ในบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (3C1a และ 3C1b) ด้วยเหตุนี้ จึงเลือกปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากกิจกรรมการเผานี้ เพื่อคำนวณหาข้อมูลกิจกรรม คือ ปริมาณชีวมวลที่ถูกเผา และทำการคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำด้วยค่าการปล่อยอ้างอิงจากบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3) การเผาขยะในเตาเผาขยะ มีการรายงานข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกและก๊าซตั้งต้นจากการเผาขยะในเตาเผาในบัญชีก๊าซเรือนกระจกของไทย (4C) และพิจารณาค่าทดแทน (proxy) โดยหาสัมประสิทธิ์การถดถอย (r^2) ระหว่างปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของข้อมูลจากแหล่งอ้างอิงของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียที่รายงานข้อมูลสำหรับประเทศไทยไว้ โดยพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ r^2 มีค่าค่อนข้างสูงที่ 0.96 และสมการที่ได้ คือ สมการเชิงเส้น (linear equation) เมื่อได้สมการความสัมพันธ์นี้แล้ว จึงทำการคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำด้วยการใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการเผานี้ด้วยข้อมูลจากบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

จากข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ถูกนำมาคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำ และค่าคะแนนตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 72.3 คะแนน ซึ่งแตกต่างกับการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 42.6 คะแนน ดังตารางที่ 28 เนื่องจากผลการประเมินของ

มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลปริมาณคาร์บอนดำที่ปล่อยด้วยการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณคาร์บอนดำจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าตาม Community Emissions Data Systems เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม IPCC Guidelines แต่รายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของไทยที่ผ่านมายังไม่เคยรายงานปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำมาก่อน ด้วยเหตุนี้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำ ตามรายงานการเผยแพร่ EPI 2020 อาจเป็นการคำนวณจากข้อสมมติฐานที่กำหนดขึ้นมา เพื่อใช้ในการคำนวณตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ ทั้งนี้ข้อมูลสำหรับ EPI+ ที่ใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยคาร์บอนดำจากหน่วยงานในประเทศไทยที่จะเป็นข้อมูลกิจกรรมโดยตรง (ภาคพลังงานและภาคเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน) รวมทั้งค่าทดแทน (proxy) ในภาคของเสีย จึงมีความแตกต่างของข้อมูลที่ใช้ ซึ่งอาจเป็นเพราะการประเมินของโครงการนี้ครอบคลุมแหล่งประเมินที่กว้างและการเผาชีวมวลจากภาคเกษตร ป่าไม้ ในการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความผันแปรค่อนข้างมากกว่าภาคพลังงาน ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่แตกต่างจากมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย

ตารางที่ 28 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	Black Carbon growth rate	Community Emissions Data Systems	**42.6** (ค.ศ. 2005 - 2014)
EPI+	- ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงของภาคพลังงาน - ข้อมูลการปล่อยก๊าซจากการเผาชีวมวลของภาคเกษตรและภาคป่าไม้และการใช้ที่ดินและการเผาขยะในเตาเผาของภาคของเสีย - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน - สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**72.3** (ค.ศ. 2007 - 2016)

ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

8 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover)

8.6 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover)

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover : LCB) หมายถึงอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ดินตามเวลา โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นที่ป่า โดยพิจารณาในส่วนมวลชีวภาพส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน และไม้ตาย และทำการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยค่าการปล่อยแนะนำตามคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 emissions from Land Cover) มีแหล่งข้อมูลที่มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียใช้ คือ FLINT system โดย Mullion Group ในประเทศออสเตรเลีย โดยแนวทางการประเมินจะเป็นการใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมป่า (forest cover change) จาก Hansen et al. (2013) และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับเทียร์ 1 ของ IPCC (IPCC Tier 1 Emission Factors) (Eggleston et al., 2006) โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน

(aboveground and belowground biomass) และไม้ตาย (dead organic matter) และกำหนดให้พิจารณาเฉพาะพื้นที่ป่า

การคำนวณตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน จะเป็นการใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CDL) แล้วนำมาปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln CDL จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า LCB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร LCB = exp (β) -1 โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(CDL) = \alpha + \beta t$$
$$LCB = exp(\beta) - 1 \quad (35)$$

โดยที่

CDL = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน

LCB = อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดินต่อปี

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า LCB ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า LCB ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	5th percentile	-0.0786
Worst	95th percentile	0.1685

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน ของ Mullion Group และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2544 - 2558 (ค.ศ. 2001 - 2015) และคำนวณคะแนนได้ 35.5 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน (CO_2 Emission from Land Cover) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการทบทวนข้อมูลในประเทศ พบว่าข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่ใช้ตามมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย คือ ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากกิจกรรม 3B2b พื้นที่ดินเปลี่ยนเป็นพื้นที่เพาะปลูก และกิจกรรม 3B6b พื้นที่ดินเปลี่ยนเป็นพื้นที่อื่น ในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยที่จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และมีวิธีการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามวิธีการของ 2006 IPCC Guidelines

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2547 - 2559 (ค.ศ. 2004 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 85.7 คะแนน ซึ่งมากกว่าการรายงานผลของ EPI

2020 ที่ให้ไว้ 35.5 คะแนน ดังตารางที่ 29 เนื่องจากผลการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นที่ป่าร่วมกับข้อมูลที่ย่อส่วน (downscale) จาก FAOSTAT หากแต่ข้อมูลของประเทศไทยมาจากข้อมูลที่รายงานโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบข้อมูลโดยตรง จึงมีความแตกต่างของข้อมูลที่ใช้โดยเฉพาะในปี ค.ศ. 2014 - 2015 ทำให้ข้อมูลมีความผันแปรที่สูงกว่ามาก

ตารางที่ 29 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	CO_2 emissions from land cover change (LULC)	FLINTpro®	**35.5** (ค.ศ. 2001 - 2015)
EPI+	- อัตราการปล่อย CO_2 จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	**85.7** (ค.ศ. 2005 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita)

8.7 ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita)

สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita : GIB) หมายถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดต่อประชากร 1 คน โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และกลุ่มฟลูโอริเนต) ที่ปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) โดยเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) ที่รายงานในหน่วยจิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) และเป็นปริมาณที่ถูกนำมาหาสัดส่วนต่อหน่วยประชากร

การคำนวณตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร จะเป็นการใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย แต่ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (LULUCF) เป็นผลรวมของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และกลุ่มฟลูโอริเนต ที่ปรับตามค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP)

โดยที่ GWP ของก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์มีค่าเท่ากับ 25 และ 298 ตามลำดับ จากนั้นหาสัดส่วนปริมาณก๊าซต่อหัวประชากร (GHP) โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$GHG = CDO + FOG + 298 \times NOT + 25 \times CH4$$
$$GHP = GHG \div POP \quad (36)$$

โดยที่

CDO = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

FOG = ปริมาณการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต

NOT = ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

CH4 = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน

GHG = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม

POP = จำนวนประชากรของประเทศ

GHP = สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร

25 และ 298 = ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดโลกร้อนของก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ ตามลำดับ

ค่า GHP ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า GHP ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยสูตรคำนวณและค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw	Transformed
Best	5th percentile	0.001	-6.9467
Worst	95th percentile	0.0225	-3.7924

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร ของ Potsdam Institute for Climate Impact Research และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) และคำนวณคะแนนได้ 37.7 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร (GHG per Capita) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และกลุ่มฟลูโอริเนต) โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว) และข้อมูลจำนวนประชากรรายปีของกรมการปกครอง พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 44.9 คะแนน ซึ่งมากกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 37.7 คะแนน ดังตารางที่ 30 เนื่องจากเป็นผลแตกต่างจากแหล่งข้อมูลที่ใช้ที่แตกต่างกันระหว่างข้อมูลของประเทศไทย และข้อมูลที่มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียใช้ ซึ่งเป็นความแตกต่างในภาพรวมของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ ที่ใช้ ทั้งนี้ ได้อธิบายรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อต่าง ๆ

ตารางที่ 30 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	GHG emissions per capita	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**37.7** (ค.ศ. 2017)
EPI+	- อัตราการปล่อย GHG - ข้อมูลจำนวนประชากรรายปี	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - กรมการปกครอง	**44.9** (ค.ศ. 2016)

ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

8 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend)

8.8 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend)

อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend : GHP) หมายถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross domestic product: GDP) ตามเวลา โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และกลุ่มฟลูโอริเนต) ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)โดยเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคการปล่อยต่าง ๆ แต่ไม่รวมภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) ที่รายงานในหน่วยจิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) และเป็นปริมาณที่ถูกนำมาหาสัดส่วนต่อหน่วย GDP เรียกว่า GHI แล้วจึงถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln GHI จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า GIB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร GIB = exp (β) -1 โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$GHG = CDO + FOG + 298 \times NOT + 25 \times CH4$$

$$GHI = GHG \div GDP$$

$$\ln(GHI) = \alpha + \beta t$$

$$GIB = exp(\beta) - 1 \quad (37)$$

โดยที่

CDO = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

FOG = ปริมาณการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต

NOT = ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

CH4 = ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน

GHG = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

GHI = สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

GIB = อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า GIB ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า GIB ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยสูตรคำนวณและค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	5th percentile	-0.0673
Worst	95th percentile	0.0297

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณค่าคะแนนของ EPI 2020 ได้ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ ของ Potsdam Institute for Climate Impact Research และเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2551 - 2560 (ค.ศ. 2008 - 2017) คำนวณคะแนนได้ 40.4 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GHG Intensity Trend) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 50.2 คะแนน ซึ่งมากกว่าการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 40.4 คะแนน ดังตารางที่ 31 เนื่องจากเป็นผลแตกต่างจากแหล่งข้อมูลระหว่างข้อมูลของประเทศไทยและข้อมูลที่มหาวิทยาลัยเยลและโคลัมเบียใช้ ซึ่งเป็นความแตกต่างในภาพรวมของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ อย่างไรก็ตามแนวโน้มข้อมูล GHI ที่พบมีความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลจากมหาวิทยาลัยเยลและโคลัมเบีย และข้อมูลจากหน่วยงานของประเทศไทย

ตารางที่ 31 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	GHG intensity trend	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**40.4** (ค.ศ. 2008 - 2017)
EPI+	- อัตราการปล่อย GHG - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**50.2** (ค.ศ. 2007 - 2016)

8 ดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

8.9 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

จากการศึกษาแนวทางการประเมินดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของ EPI 2020 โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ร่วมกับการหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีความเหมาะสมในการใช้ในการจัดทำดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ในทั้ง 8 ตัวชี้วัด โดยมีรูปแบบการคำนวณ และการใช้ข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ แสดงดังการจัดทำ EPI+ ในหัวข้อก่อนหน้านี้

ตารางที่ 32 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	
ชุดข้อมูล	CO_2 growth rate	1. อัตราการปล่อย CO_2 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซมีเทน	
ชุดข้อมูล	Methane growth rate	1. อัตราการปล่อย CH_4 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์	
ชุดข้อมูล	N_2O growth rate	1. อัตราการปล่อย N_2O 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซกลุ่มฟลูโอริเนต	
ชุดข้อมูล	F-gasses growth rate	อัตราการปล่อย F-gas
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยคาร์บอนดำ	
ชุดข้อมูล	Black Carbon growth rate	1. ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงของภาคพลังงาน 2. ข้อมูลการปล่อยก๊าซจากการเผาชีวมวลของภาคเกษตร ภาคป่าไม้และการใช้ที่ดิน และการเผาขยะในเตาเผาของภาคของเสีย 3. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Community Emissions Data Systems	1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 3. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน	
ชุดข้อมูล	CO_2 emissions from land cover change (LULC)	อัตราการปล่อย CO_2 จากการเปลี่ยนแปลงที่ดิน
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	FLINTpro®	สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
	ตัวชี้วัดด้านสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวประชากร	
ชุดข้อมูล	GHG emissions per capita	1. อัตราการปล่อย GHG 2. ข้อมูลจำนวนประชากร
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. กรมการปกครอง
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ	
ชุดข้อมูล	GHG emissions per GDP	1. อัตราการปล่อย GHG 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

9 ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)

9. ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ (Pollution Emissions)

เมื่อทบทวนวิธีการประเมินดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการปลดปล่อยมลพิษ พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการประเมินสำหรับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซตั้งต้น (precursor) จากภาคการปล่อยต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ต่าง ๆ ของไนโตรเจน จากภาคการปล่อยต่าง ๆ โดยเป็นการประเมินในลักษณะของการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติตามข้อแนะนำในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) ทั้งนี้ ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการปลดปล่อยมลพิษในปีก่อนหน้ามีการประเมินในด้านอากาศ (air) คุณภาพอากาศ (air quality) มลพิษทางอากาศ (air pollution) หรือไม่มีการประเมินในด้านอากาศเป็นบางปีที่รายงาน และในที่สุดถูกปรับให้เป็นการปลดปล่อยมลพิษในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) ด้วยเหตุนี้ ตัวชี้วัดที่พิจารณาจึงมีความหลากหลายและครอบคลุมมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะในบรรยากาศทั่วไป เช่น โอโซน ฝุ่นละออง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ต่าง ๆ ของไนโตรเจน สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (ไม่รวมมีเทน) (NMVOCs)

จากการสืบค้นและตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการรายงานข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ต่าง ๆ ของไนโตรเจนจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย เช่นเดียวกับดัชนีย่อยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยในการดำเนินงานของ EPI 2020 มีการแบ่งดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมด้านการปลดปล่อยมลพิษเป็น 2 ตัวชี้วัด

9 ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate)

9.1 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate : SDA) หมายถึง อัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามเวลา โดยปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ได ออกไซด์ที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินในคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)

การคำนวณใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย ถูกปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln SO_2 จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า CHB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร SDB = exp (β) -1

จากนั้นค่า SDB ถูกนำมาหาค่า SDA โดยหากค่า SDB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า SDA แต่หากค่า SDB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (SDA = SDB x (1 – SDR)) โดย SDR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SO_2 และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(SO_2) = \alpha + \beta t$$

$$SDB = exp(\beta) - 1$$

$$SDA = \begin{cases} SDB \; if \; SDB \geq 0 \\ SDB \times (1 - SDR) \; if \; SDB < 0 \end{cases}$$

$$SDR = corr(SO_2, GDP) \qquad (38)$$

โดยที่

SDR = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

SO_2 = ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

SDB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ต่อปี

SDA = อัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า SDA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า SDA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.111

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณคะแนนของ EPI 2020 ใช้ข้อมูลอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก The Community Emissions Data System (CEDS) โดยเป็นข้อมูลในปี พ.ศ. 2544 - 2558 (ค.ศ. 2001 - 2015) และคำนวณคะแนนได้ 100 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่าประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 100 คะแนน เช่นเดียวกับการใช้ข้อมูลของ EPI 2020 โดยการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าตาม Community Emissions Data Systems เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม IPCC Guidelines ในขณะที่ข้อมูลของประเทศไทยจัดทำจากข้อมูลกิจกรรมโดยตรง อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มของข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างระหว่างค่าที่ใช้ของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย ประกอบกับปริมาณการปล่อยก๊าซก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีแนวโน้มค่าที่ลดลง จึงทำให้ได้คะแนนที่สูง คือ 100 คะแนน ดังตารางที่ 33 และเป็นผลให้คะแนนที่ได้จาก EPI 2020 และ EPI+ ไม่แตกต่างกัน แม้ว่าใช้แหล่งข้อมูลในการประเมินที่แตกต่างกันก็ตาม

ตารางที่ 33 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	SO_2 growth rate	CEDS	**100** (ค.ศ. 2001 - 2015)
EPI+	- อัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**100** (ค.ศ. 2007 - 2016)

9 ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x Growth Rate)

9.2 ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x Growth Rate)

อัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x Growth Rate : NXA) หมายถึง อัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนตามเวลา โดยปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปล่อยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดตามกรอบการประเมินใน คู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกดับประเทศ โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)

การคำนวณตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน จะเป็นการใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) จากทุกกิจกรรมการประเมินในประเทศไทย แล้วนำมาปรับค่าให้เป็นค่า ln คือ ln NO_X จากนั้นนำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซและเวลา และค่าความชันกราฟที่ได้เป็นอัตราการปล่อย หรือค่า β และทำการหาค่า NXB หรือ unadjusted average annual growth rate ของการปล่อยก๊าซด้วยสูตร NXB = exp (β) -1

จากนั้นค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ต่อปี (NXB) ถูกนำมาหาอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NXA) โดยหากค่า NXB ที่ได้เป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 กำหนดใช้เป็นอัตราการปล่อย (growth rate) และเรียกเป็นค่า NXA แต่หากค่า NXB ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำหนดให้คำนวณค่าด้วยสูตรกำหนด (NXA = NXB x (1 – NXR)) โดย

NXR หาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง NO_X และ GDP โดยสูตรต่าง ๆ ที่ใช้แสดงดังต่อไปนี้

$$\ln(NO_x) = \alpha + \beta t$$
$$NXB = exp(\beta) - 1$$
$$NXA = \begin{cases} NXB \; if \; NXB \geq 0 \\ NXB \times (1 - NXR) \; if \; NXB < 0 \end{cases}$$
$$NXR = corr(NO_x, GDP) \quad (39)$$

โดยที่

NXR = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ

NO_x = ปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

NXB = ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ต่อปี

NXA = อัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์

α = จุดตัดแกน X

β = ความชัน

t = ปี

ค่า NXA ที่ได้ถูกนำมาคำนวณเป็นค่าคะแนนเพื่อเปรียบเทียบกับค่า NXA ของประเทศอื่น ๆ ที่ประเมินด้วยค่าคะแนนที่ดีที่สุด (best) และต่ำที่สุด (worst) ดังแสดงต่อไปนี้

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.0892

ที่มา: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

การคำนวณคะแนนของ EPI 2020 ใช้ข้อมูลอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจาก The Community Emissions Data System (CEDS) โดยเป็นข้อมูลในปี พ.ศ. 2544 - 2558 (ค.ศ. 2001 - 2015) และคำนวณคะแนนได้ 57.4 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x Growth Rate) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

ข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถูกนำมาคำนวณตามรูปแบบของ EPI 2020 ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2550 - 2559 (ค.ศ. 2007 - 2016) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติแล้ว พบว่า ประเทศไทยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 57.6 คะแนน ซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานผลของ EPI 2020 ที่ให้ไว้ 57.4 คะแนน ดังตารางที่ 34 เนื่องจากผลการประเมินของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเป็นการประเมินจากข้อมูลการใช้แบบจำลองในการปรับและแปลงค่าปริมาณก๊าซจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติที่แต่ละประเทศรายงานต่อ UNFCCC ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมและคำนวณหรือดัดแปลงค่าตาม Community Emissions Data Systems เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบหรือวิธีการประเมินเดียวกัน คือ การประเมินตาม IPCC Guidelines ในขณะที่ข้อมูลของประเทศไทยจัดทำจากข้อมูลกิจกรรมโดยตรง อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มของข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างค่าที่ใช้ของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียและข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย

ตารางที่ 34 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	NO_X growth rate	CEDS	**57.4** (ค.ศ. 2001 - 2015)
EPI+	- อัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน - ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP)	- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม - สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ	**57.6** (ค.ศ. 2007 - 2016)

9 ดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

9.3 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

จากการศึกษาแนวทางการประเมินดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษของ EPI 2020 โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ร่วมกับการหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีความเหมาะสมในการจัดทำดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษของประเทศไทย ทั้ง 2 ตัวชี้วัด โดยมีรูปแบบการคำนวณ และการใช้ข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ แสดงดังการจัดทำ EPI+ ในหัวข้อก่อนหน้านี้

ตารางที่ 35 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านการปลดปล่อยมลพิษ

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	
ชุดข้อมูล	SO_2 growth rate	1. อัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	CEDS	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
	ตัวชี้วัดด้านอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	
ชุดข้อมูล	NO_X growth rate	1. อัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน 2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	CEDS	1. สำนักงานนโยบายและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

10 ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)

10. ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม (Agriculture)

ดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรมของการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงการเลือกใช้ตัวชี้วัดในแต่ละปี โดยในปี พ.ศ. 2549 - 2557 (ค.ศ. 2006 - 2014) เน้นไปในการเลือกใช้ข้อมูล เงินอุดหนุนทางการเกษตร (Agricultural subsidies) และกฎหมายเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Pesticide regulation) จากนั้นในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ได้ใช้ตัวชี้วัดด้านสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen Balance) และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (Nitrogen Use Efficiency) และต่อมาในปี พ.ศ. 2561 - 2563 (ค.ศ. 2018 - 2020) จึงได้เปลี่ยนมาใช้ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index (SNMI) โดยมีรายละเอียดดังนี้

10 ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index)

10.1 ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index)

ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index : SNMI) มีคำจำกัดความหมายถึง การวัดประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตทางการเกษตร เป็นการสร้างสมดุลของประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ผลผลิตสูงสุด โดยกำหนดให้มีเงื่อนไขประสิทธิภาพในการปลูกพืชที่สำคัญ 2 ด้าน ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (Nitrogen Use Efficiency, NUE) และประสิทธิภาพการใช้ที่ดิน (ปริมาณผลผลิต)

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน หรือ NUE เป็นการวัดประสิทธิภาพของการใช้ไนโตรเจน (N) ในการผลิตพืชผลทางการเกษตร โดยทั่วไปค่านี้มีผลเชิงบวกกับประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการใช้ค่า NUE ในการจัดลำดับประสิทธิภาพของแต่ละประเทศภายใต้ SDG 2 เป้าหมายการพัฒนาที่ 2 ยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหารและยกระดับโภชนาการและส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน อาจจะประสบปัญหาได้ เนื่องจาก

1) NUE เป็นค่าของผลรวมไนโตรเจนทั้งหมดที่เติมลงไปในดิน ได้แก่ ปุ๋ยเคมี (Nfer) ปุ๋ยคอก (Nman) ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกตรึงโดยพืชตระกูลถั่ว (Nfix) การสะสมไนโตรเจนในดิน (Ndep) และปริมาณไนโตรเจนที่ติดไปกับผลผลิต (Nyield) โดยทั่วไป

NUE จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 1 ซึ่งค่าที่อยู่ระหว่าง 0.5 - 0.9 จะแสดงถึงประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนที่มีการสูญเสียไนโตรเจนน้อย แต่ค่า NUE อาจจะสูงกว่า 1 ในกรณีที่สูญเสียไนโตรเจนไปกับผลผลิตแล้วไม่มีการเติมไนโตรเจนกลับลงไปในดินทำให้ดินเสื่อมโทรม ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ผลผลิตลดลง

2) NUE จะมีค่าสูงมากเมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนน้อย และขณะเดียวกันก็ได้ผลผลิตก็น้อยด้วย ซึ่งในกรณีนี้จะไม่สอดคล้องกับ SDG2 ที่จะลดผู้หิวโหย

ดังนั้น SNMI จึงต้องพิจารณาทั้ง 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N ในการผลิตพืช (NUE) และประสิทธิภาพของการใช้ที่ดิน (ปริมาณผลผลิต, NYield) เพื่อการจัดลำดับคะแนนด้านเกษตรกรรมของแต่ละประเทศ

ข้อมูลที่มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียนำมาจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมปี ค.ศ. 2020 (EPI 2020) ด้านเกษตรกรรม ได้อ้างอิงแหล่งข้อมูลจาก University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES) ในผลการศึกษาเรื่อง Sustainable Nitrogen Management Index (Zhang and Davidson, 2019) ที่ได้นำเสนอสมการในการคำนวณค่า SNMI ดังนี้

$$SNMI_{co} = \sqrt{(1 - NYield^{*}_{co})^2 + (1 - NUE^{*}_{co})^2} \qquad (40)$$

โดยที่

$$NYield^{*}_{co} = \begin{cases} NYield_{co}/NYield_{ref} & (NYield_{co} \le NYield_{ref}) \\ 1 & (NYield_{co} > NYield_{ref}) \end{cases}$$

$$NUE^{*}_{co} = \begin{cases} NUE_{co} & (NUE_{co} \le 1) \\ 1 - (NUE_{co} - 1) & (1 < NUE_{co} \le 2) \\ 0 & (NUE_{co} > 2) \end{cases}$$

ทั้งนี้ได้ระบุค่า $\boldsymbol{NYield_{ref}}$ เท่ากับ 90 kg N ha^{-1} yr^{-1}

ซึ่งในการคำนวณตามสมการข้างต้นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่า NUE ดังแสดงในสมการ

$$NUE = \frac{N_{yield}}{N_{fer} + N_{man} + N_{fix} + N_{dep}} \quad (41)$$

โดยที่

N_{yield} = Harvested Nitrogen เป็นปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในผลผลิตพืช ใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิตพืชทั้งหมดจาก FAOSTAT (Yco,cr,yr) และปริมาณไนโตรเจนในพืชแต่ละชนิด ($NCcr$) จาก Bouwman et al. (2005) ดังสมการ

$$Nyield,co,cr,yr = Yco,cr,yr * NCcr$$

โดยที่ co = country, cr = crop, yr = year

N_{fer} = Nitrogen fertilizer เป็นปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งใช้ข้อมูลจาก FAOSTAT ซึ่งมีข้อมูลการใช้ปุ๋ยของแต่ละประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1961 (พ.ศ. 2504) ถึงปัจจุบัน และใช้ข้อมูลอัตราการใช้ปุ๋ยของพืชแต่ละชนิดจาก International Fertilization Association (IFA) (Heffer, 2013) ดังสมการ

$$N_{fer,co,cr,yr} = nfer_IFA_{co,cr} * \frac{QN_{fer,co,yr}}{\sum_{cr}(nfer_IFA_{co,cr} * A_{co,cr,yr})} \quad (42)$$

N_{man} = Manure nitrogen เป็นปริมาณการใช้ปุ๋ยคอกรายปีของแต่ละประเทศ (Ramankutty et al., 2008; Bouwman et al., 2013)

N_{fix} = Fixed Nitrogen อัตราการตรึงไนโตรเจนรายปี (Zhang et al., 2015)

N_{dep} = Nitrogen deposition อัตราการสะสมไนโตรเจนรายปีของแต่ละประเทศ (Ramankutty et al., 2008; Bouwman et al., 2013)

เมื่อนำข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลดิบของมหาวิทยาลัยเยลมาตรวจสอบ พบว่าชุดข้อมูลที่มหาวิทยาลัยเยลใช้ในการประเมินใน EPI 2020 เป็นข้อมูลผลผลิตพืชจาก FAOSTAT ปี ค.ศ. 2015 (พ.ศ. 2558) โดยประเทศไทยได้คะแนน 33.1 คะแนน

ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน (Sustainable Nitrogen Management Index) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการรวบรวมข้อมูลและหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงเลือกใช้ข้อมูลของประเทศไทยในการคำนวณดังนี้

N_{yield} Harvested Nitrogen เป็นปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในผลผลิตพืช ข้อมูลปริมาณผลผลิตรายพืช ปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, และสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (Yco, cr, yr) และปริมาณไนโตรเจนในพืชแต่ละชนิด ($NCcr$) จาก Bouwman et al. (2005)

N_{fer} Nitrogen fertilizer เป็นปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ใช้ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกรายพืช ปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย และปริมาณการใช้ปุ๋ยรายพืช โดยกรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

N_{man} Manure nitrogen เป็นปริมาณการใช้ปุ๋ยคอกรายปีของแต่ละประเทศ โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณและการพยากรณ์ค่าจาก Ramankutty et al. (2008) และ Bouwman et al. (2013)

N_{fix} Fixed Nitrogen อัตราการตรึงไนโตรเจนรายปี (Zhang et al., 2015) ร่วมกับข้อมูลปริมาณผลผลิตถั่วเหลือง โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

N_{dep} Nitrogen deposition อัตราการสะสมไนโตรเจนรายปีของแต่ละประเทศ โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณและการพยากรณ์ค่าจาก Ramankutty et al. (2008) และ Bouwman et al. (2013)

เมื่อนำข้อมูลของประเทศไทยในส่วนของปริมาณผลผลิต พื้นที่เพาะปลูก และอัตราการใส่ปุ๋ยรายพืชมาคำนวณดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน และปรับเทียบค่าผลการดำเนินงานที่ดีที่สุด - แย่ที่สุด (Best - Worst) ที่ 0 - 1.3641 ตามการกำหนดค่าของ EPI 2020 พบว่าได้ค่าคะแนนที่ 41.6 คะแนน ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 8.5 คะแนนซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ข้อมูลและค่าคะแนนของดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	SNMI	University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES)	**33.1** (ค.ศ. 2015)
EPI+	- พื้นที่เพาะปลูกรายพืช พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณผลผลิต - พื้นที่เพาะปลูกรายพืช พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณผลผลิต เฉพาะ อ้อย - ปริมาณการใช้ปุ๋ยรายพืช (ข้อมูลเป็นค่าคงที่) - ปริมาณการใช้ปุ๋ยคอก และอัตราการสะสมไนโตรเจนรายปี - อัตราการตรึงไนโตรเจนรายปี	- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร - สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย - กรมวิชาการเกษตร - Bouwman et al., 2013 - Zhang et al., 2015	**41.6** (ค.ศ. 2020)

10 ดัชนีย่อยด้านการเกษตรกรรม

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

10.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

สำหรับการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทยเพื่อให้สะท้อนผลการดำเนินงานของประเทศ จึงได้เลือกใช้ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืนตามหลักการคำนวณค่าคะแนนแบบเดียวกับ EPI 2020 และใช้ข้อมูลประเทศไทยที่เป็นปัจจุบัน ดังแสดงรายละเอียดตาม EPI+ ในหัวข้อก่อนหน้า ดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านเกษตรกรรม

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	ดัชนีการจัดการไนโตรเจนอย่างยั่งยืน	
ชุดข้อมูล	SNMI	1. พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณผลผลิต 2. พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณผลผลิต เฉพาะ อ้อย 3. ปริมาณการใช้ปุ๋ยรายพืช 4. ปริมาณการใช้ปุ๋ยคอก และอัตราการสะสมไนโตรเจนรายปี 5. อัตราการตรึงไนโตรเจนรายปี
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES)	1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย 3. กรมวิชาการเกษตร 4. Bouwman et al., 2013 5. Zhang et al., 2015

11 ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)

11. ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ (Water Resources)

จากการศึกษาการดำเนินการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียที่ผ่านมา พบว่า ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ มีการเลือกตัวชี้วัดในหลายมิติ เช่น การใช้ข้อมูลการบริโภคน้ำและปริมาณไนโตรเจนในน้ำ ในปี พ.ศ. 2549 (ค.ศ. 2006) การใช้ดัชนีคุณภาพน้ำและดัชนีความเครียดน้ำ ในปี พ.ศ. 2551 (ค.ศ. 2008) การใช้ดัชนีคุณภาพน้ำ ดัชนีความเครียดน้ำและดัชนีการขาดแคลนน้ำ ในปี พ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010) ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ ในปี พ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) และต่อมาในปี พ.ศ. 2557 - 2563 (ค.ศ. 2014 - 2020) จึงได้เปลี่ยนมาใช้ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

11 ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ
ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment)

11.1 ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment)

ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment : WWT) มีคำจำกัดความหมายถึง การเข้าถึงการบำบัดน้ำเสียชุมชนของประชากร โดยประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1) สัดส่วนของน้ำเสียที่บำบัดได้ต่อน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด (น้ำเสียชุมชน)

2) สัดส่วนของจำนวนผู้ได้รับบริการระบบบำบัดน้ำเสียต่อจำนวนประชากรทั้งหมด

$$WWT = WST \times CXN \quad (43)$$

โดยที่

WWT = ระดับการบำบัดน้ำเสีย

WST = สัดส่วนของน้ำเสียที่บำบัดได้ต่อน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด

CXN = สัดส่วนของจำนวนผู้ได้รับบริการต่อจำนวนประชากรทั้งหมด

การคำนวณของ EPI 2020 ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ และข้อมูลการเข้าถึงการบำบัดน้ำเสียของประชากร ของ Malik et al., 2015 ซึ่งเป็นข้อมูลของปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) และคำนวณคะแนนได้ 2.0 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาการคำนวณตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย รวบรวมข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากชุดข้อมูลการคำนวณ และหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงาน จึงได้เลือกใช้ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ข้อมูลประเทศไทย ได้แก่ข้อมูล 1) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2) ปริมาณน้ำเสียที่บำบัด และ 3) จำนวนผู้ได้รับบริการ ระบบบำบัดน้ำเสีย ของกรมควบคุมมลพิษ และข้อมูลจำนวนประชากรรายปีของประเทศไทย โดยกรมการปกครอง เมื่อนำข้อมูลของปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) มาคำนวณตามสูตร ได้ค่าคะแนนที่ 2.6 คะแนน

ตารางที่ 38 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้และการเข้าถึงการบำบัดน้ำเสีย	Malik et al., 2015	**2.0** (ค.ศ. 2015)
EPI+	- ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ปริมาณน้ำเสียที่บำบัด และจำนวนผู้ได้รับบริการระบบบำบัดน้ำเสีย - จำนวนประชากรรายปี	- กรมควบคุมมลพิษ - กรมการปกครอง	**2.6** (ค.ศ. 2020)

ดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ

11 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

11.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียในดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ พิจารณาเพียงมิติด้านการบำบัดน้ำเสียเท่านั้น ดังนั้นจึงมีข้อสรุปให้ใช้ตัวชี้วัดเหมือนกับที่ EPI ใช้ คือ ***ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย*** เพื่อให้เป็นไปตามแนวโน้มการให้ความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียในการเปรียบเทียบระดับสากล นอกจากนี้ จากการประชุมกลุ่มย่อย ทางผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เสนอแนวทางในการพิจารณามิติด้านการจัดการทรัพยากรน้ำเพิ่มขึ้นมา ด้วยการเพิ่ม ***ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ*** เพื่อให้สะท้อนการดำเนินงานที่ครอบคลุมด้านทรัพยากรน้ำ และเป็นไปตามแผนแม่บทและยุทธศาสตร์ชาติของประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment)

แนวทางการจัดทำ EPI Thailand สำหรับ ***ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย*** ใช้สูตรคำนวณและตัวแปรในการคำนวณเช่นเดียวกับมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (EPI 2020) และใช้ชุดข้อมูลของประเทศไทยเช่นเดียวกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 11.1

2) ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ (Water Security Index)

ประเทศไทยมีการดำเนินงานในการจัดทำ ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ โดยสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ซึ่งครอบคลุมมิติทางด้านการบริหารจัดการน้ำในหลากหลายมิติ มีรายละเอียดการคำนวณดังแสดงในสมการ

$$WSI = (WSM + WUM)/2 \quad (44)$$

โดยที่

WSI = ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ (Water Security Index)

WSM = การพัฒนาการจัดการน้ำเชิงลุ่มน้ำทั้งระบบเพื่อเพิ่มความมั่นคงด้านน้ำของประเทศ คำนวณจากสมการ

$$WSM = (WDS + WQI)/2$$

โดยที่ WDS = ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำอุปโภคบริโภค

WQI = ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำเพื่อสิ่งแวดล้อม

WUM = การเพิ่มผลิตภาพของน้ำทั้งระบบในการใช้น้ำอย่างประหยัดรู้คุณค่าและสร้างมูลค่าเพิ่มจากการใช้น้ำให้ทัดเทียมกับระดับสากล โดยคำนวณจากสมการ

$$WUM = (WFU + WFE)/2$$

โดยที่ WFU = ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำในเขตเมือง

WFE = ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ

และใช้เกณฑ์ในการกำหนดค่าผลการดำเนินงานที่ดีที่สุด- แย่ที่สุด (Best - Worst) ตามเกณฑ์อ้างอิง 5 ระดับของข้อมูล WDS WQI WFU WFE ตามที่สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติประเมินไว้

ตารางที่ 39 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านทรัพยากรน้ำ

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย		**ตัวชี้วัดด้านการบำบัดน้ำเสีย**
ชุดข้อมูล	ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ และการเข้าถึงการบำบัดน้ำเสีย	1. ปริมาณน้ำเสียรวม ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ และจำนวนผู้ได้รับบริการ 2. จำนวนประชากร	1. ปริมาณน้ำเสียรวม ปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ และจำนวนผู้ได้รับบริการ 2. จำนวนประชากร
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Malik et al., 2015	1. กรมควบคุมมลพิษ 2. กรมการปกครอง	1. กรมควบคุมมลพิษ 2. กรมการปกครอง
			ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ
ชุดข้อมูล			ดัชนีความมั่นคงด้านน้ำ
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน			สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ

Environmental Performance Index Handbook

Policy Objective: Ecosystem Vitality

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning

September 2022

Table of contents

Contents	Page
Table of contents	**i**
List of abbreviations	**iv**
Introduction	**1**
Environmental Performance Index: EPI	**3**
Method and procedure in the calculation of the environmental performance index score	**5**
1) Group isolation for result evaluation and emphasizing the significant environmental evaluation issue	5
2) The calculation of the environmental performance index score	8
3) The evaluation result of an environmental performance score	10
The preparation for the environmental performance index	**12**
The preparation for the Environmental Performance Index by using data from organizations in Thailand (EPI+)	12
The preparation of the Environmental Performance Index of Thailand (EPI Thailand)	16
Ecosystem Vitality	**23**
5. Biodiversity and Habitat	23
5.1 Terrestrial Biome Protection (National)	24
5.2 Terrestrial Biome Protection (Global)	31

Contents **Page**

5.3 Marine Protected Areas 35

5.4 Biodiversity Habitat Index 40

5.5 Species Habitat Index 43

5.6 Species Protection Index 46

5.7 Protected Areas Representativeness Index 49

5.8 Concept in preparation for EPI Thailand 52

6. Ecosystem Services 61

6.1 Tree Cover Loss 62

6.2 Grassland Loss 65

6.3 Wetland Loss 68

6.4 Concept in preparation for EPI Thailand 71

7. Fisheries 77

7.1 Fish Stock Status 78

7.2 Regional Marine Trophic Index 81

7.3 Fish Caught by Trawling 83

7.4 Concept in preparation for EPI Thailand 85

8. Climate Change 89

8.1 CO_2 Growth Rate 92

8.2 CH_4 Growth Rate 96

8.3 N_2O Growth Rate 99

8.4 F-gas Growth Rate 103

8.5 Black Carbon Growth Rate 106

8.6 CO_2 Emission from Land Cover 111

Contents **Page**

8.7 GHG per Capita 115

8.8 GHG Intensity Trend 118

8.9 Concept in preparation for EPI Thailand 122

9. Pollution Emissions 125

9.1 SO_2 Growth Rate 126

9.2 NO_x Growth Rate 130

9.3 Concept in preparation for EPI Thailand 135

10. Agriculture 137

10.1 Sustainable Nitrogen Management Index 138

10.2 Concept in preparation for EPI Thailand 144

11. Water Resources 145

11.1 Wastewater Treatment 146

11.2 Concept in preparation for EPI Thailand 148

List of abbreviations

EPI	Environmental Performance Index
EPI+	Environmental Performance Index by using data from organizations in Thailand
EPI Thailand	Environmental Performance Index of Thailand
DC	Dead Coral
LC	Lived Coral
EEZ	Exclusive Economic Zone
GDP	Gross domestic product
GHG	Greenhouse Gas
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
MSY	Maximum Sustainable Yield
SDGs	Sustainable Development Goals
SNMI	Sustainable Nitrogen Management Index
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

Introduction

The Environmental Performance Index (EPI) has been regulated as one of the indicators following the master plan's targets under the national strategy to evaluate the operational performances in the environmental aspects of Thailand. However, the data used to evaluate the score of the EPI index must be collected from various sources and in charge of several organizations in different ministries like a specific discipline with individual issue categories, sophisticated calculation, and particular data was not reported directly. Besides, no Thai organization has responded to studying and creating EPI, and it is challenging for an operation to achieve the goals involved in The Environmental Performance Index.

Therefore, the Office of Natural Resources and Environmental Policy and Plan (ONEP) cooperates with Faculty of Environment, Kasetsart University as a consultant to create Thailand's Environmental Performance Index (EPI). The project's objectives aim to study the creation and calculation of the EPI score, following the reported results of Yale University and Columbia University in 2020, to compute the EPI score using Thailand's data following the mentioned calculation, and to suggest the concept in the establishment of Thailand's EPI. Consequently, the EPI score can suit the national context and be applied to evaluate the situation of the sub-master-plan targets, leading to the regulated goals' success.

September 2022

Environmental Performance Index: EPI

The Environmental Performance Index (EPI) is a score developed to display the environmental performance level of individual countries using international evaluation and indicators. EPI's component covers all scientific principles and can be measured in quantity to evaluate how each country responds to environmental problems. Moreover, EPI aims to create a standard in performance indicators and progressiveness of each country's environmental operation that are similar to Gross Domestic Product (GDP) and Gross National Product (GNP) and focuses on the attained consequences of the environmental operation. Furthermore, EPI can regulate the incredibly environmental practicing concept by specifying problems, regulating goals, and monitoring the changing tendency of the nation's environmental performance.

EPI was established by cooperation between Yale University and Columbia University in 2006. EPI's score is evaluated every two years, and evaluation will change indicators and weighting factors following the environmental condition change. For example, in 2020, EPI Yale & Columbia 2020 (EPI 2020) evaluated EPI, including two political objectives, 11 issue categories, and 32 indicators shown in Figure 1.

1) Environmental Health include
    - Air Quality
    - Sanitation and Drinking Water
    - Heavy Metals
    - Waste Management

2) Ecosystem Vitality include

- Biodiversity and Habitat
- Ecosystem Services
- Fisheries
- Climate Change
- Pollution Emissions
- Agriculture
- Water Resources

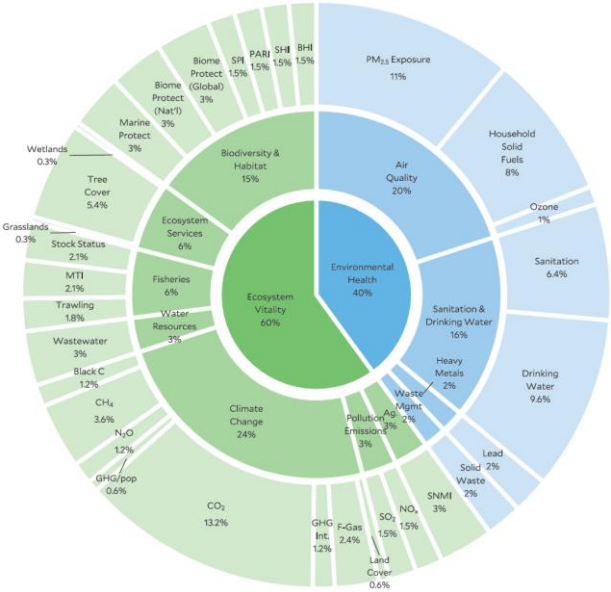


Figure 1 Policy Objectives, Issue Categories, Indicators and ratio of weighting score's EPI 2020

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

Method and procedure in the calculation of the environmental performance index score

1) Group isolation for result evaluation and emphasizing the significant environmental evaluation issue

The Environmental Performance Index (EPI), developed by Yale University and Columbia University in 2020, consists of two political objectives, 11 issue categories, and 32 indicators. Individual issues are emphasized their significance differently depending on responding to policy makers' needs, crucial priorities specified in an international agreement, or recent relevant environmental circumstances, as all detail shown in Table 1.

Table 1 Organization and weighting score of EPI 2020

Issue categories / Indicators	TLA	Wt.
Policy Objectives Environmental Health: HLT (40%)		
Air Quality	**AIR**	**20%**
$PM_{2.5}$ Exposure	PMD	11%
Household Solid Fuels	HAD	8%
Ozone Exposure	OZD	1%
Sanitation & Drinking Water	**H2O**	**16%**
Unsafe Sanitation	USD	6.4%
Unsafe Drinking Water	UWD	9.6%

Issue categories / Indicators	TLA	Wt.
Heavy Metals	**HMT**	**2%**
Lead Exposure	PBD	2%
Waste Management	**WMG**	**2%**
Controlled Solid Waste	MSW	2%
Policy Objectives Ecosystem Vitality: ECO (60%)		
Biodiversity & Habitat	**BDH**	**15%**
Terrestrial Biome Protection (national)	TBN	3%
Terrestrial Biome Protection (global)	TBG	3%
Marine Protected Areas	MPA	3%
Protected Areas Representativeness Index	PAR	1.5%
Species Habitat Index	SHI	1.5%
Species Protection Index	SPI	1.5%
Biodiversity Habitat Index	BHV	1.5%
Ecosystem Services	**ECS**	**6%**
Tree Cover Loss	TCL	5.4%
Grassland Loss	GRL	0.3%
Wetland Loss	WTL	0.3%
Fisheries	**FSH**	**6%**
Fish Stock Status	FSS	2.1%
Marine Trophic Index	RMS	2.1%
Fish Caught by Trawling	FGT	1.8%
Climate Change	**CCH**	**24%**
Carbon dioxide (CO_2) Growth Rate	CDA	13.2%

Issue categories / Indicators	TLA	Wt.
Methane (CH_4) Growth Rate	CHA	3.6%
Nitrogen dioxide (N_2O) Growth Rate	NDA	1.2%
Fluorinated gas Growth Rate	FGA	2.4%
Black Carbon Growth Rate	BCA	1.2%
Carbon dioxide Emission from Land Cover	LCB	0.6%
Greenhouse gas Intensity Trend	GIB	1.2%
Greenhouse gas per Capita	GHP	0.6%
Pollution Emissions	**APE**	**3%**
Sulfur dioxide (SO_2) Growth Rate	SDA	1.5%
Nitrogen oxide (NO_X) Growth Rate	NXA	1.5%
Agriculture	**AGR**	**3%**
Sustainable Nitrogen Management Index	SNM	3%
Water Resources	**WRS**	**3%**
Wastewater Treatment	WWT	3%

(Three-letter abbreviations (TLAs), weights (Wt.))

2) The calculation of the environmental performance index score

Indicator construction is data collected from various data resources is calculated using each indicator's equation and transformed into a standardized ***data score*** or **X** variable. Scores of some indicators must be appropriately transformed (data transformation) using $ln(x)$ or $ln(x + \alpha)$ equations to adjust the score in rage from 1 to 100. Later, the transformed data score will be computed to yield the scores, compared with other countries' scores, evaluating by using calculation formula and the best and the worst scores as an equation:

$$\textit{Indicator Score} = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (1)$$

Where;

X = data score of individual country

B = the best performance or target that is the best efficiency

W = the worst performance or target that is the worst efficiency

Sample in the calculation of Tree Cover Loss

Quantity of Tree Cover Loss uses average forest area data from the last five years. Measuring the damage compares with the forest area boundary of the based-year in 2000. Technically, regulating area that has trees occupying over 30 percent is the forest area.

Data on the forest area from Global Forest Watch found that x score of Thailand is 0.007607. the used calculation data of EPI 2020 is from 2018, and data transformation is carried out by replacing α as shown in Figure 2. After suitable data transformation succeeds, the data score is -4.8785.

$$ln(x + \alpha) = ln\,(0.007607 + 9.70e^{-7})$$
$$= -4.8785$$

TCL: Tree cover loss, % / Ecosystem Services / Ecosystem Vitality

We quantify *tree cover loss* by constructing a five-year moving average of the percentage of forest lost from the extent of forest cover in the reference year 2000. We define a forest as any land area with over 30% canopy cover.

Units proportion
Years 2005–2018
Source Global Forest Watch
Transformation $ln(x + \alpha)$
α = 9.70E-07

Performance	Nominal	Raw	Transformed
Best	0.0	0.0	-10.9436
Worst	99th percentile	0.0478	-3.04

Figure 2 Calculation data for Tree Cover Loss in EPI 2020 report
Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

Later, the score of the transformed data is computed for efficiency, comparing it with the score of the efficient target by evaluation with the calculation formula and the best and the worst scores following formula (1).

*Indicator Score = ((X – W) / (B – W)) * 100*
*= {[(-4.8785) - (-3.04)]} / [(-4.8785) - (-10.9436)]} * 100*
= 23.26

Therefore, the indicator's calculation result of the Tree Cover Loss, reported from EPI 2020, is 23.3. It means that efficiency in the nation's forest area administration is relatively low because the data used in EPI 2020 demonstrates that the loss of the forest area has been relatively high in the last five years compared with the based-year in 2000.

3) The evaluation result of an environmental performance score

The individual indicator score is computed with the weighting score to yield the issue categories score that is calculated as a result of the environmental performance score of a nation.

Calculation sample of issue categories score

The score of an individual indicator is from the suitable data transformation and computing the efficiency compared with the target score. Later, the score is weighted to generate an issue categories score. The score from weighting can calculate as follow.

$$\textit{weighting score} = \frac{\sum (\textit{data} \times \textit{data weight})}{\sum \textit{weighting score}} \qquad (2)$$

using the data from Table 2 calculates the weighting score, weighting found that the Ecosystem Service has a score of 145.9 ÷ 6 = 24.3.

Table 2 sample of data score, score, and weighting score of indicators of Ecosystem Service

indicators	score	weighting score	weighting data score
Tree Cover Loss	23.3	5.4	125.8
Grassland Loss	38.7	0.3	11.6
Wetland Loss	28.3	0.3	8.5
Total result	-	**6**	**145.9**

The method in the calculation to yield a score of other Issue Categories, Policy Objectives, and total EPI score is similar to those mentioned above.

The preparation for the environmental performance index

The preparation for the Environmental Performance Index by using data from organizations in Thailand (EPI+)

The study in EPI, operated by Yale University and Columbia University, found that a set of the data used in a calculation of EPI to compare operation results of different countries worldwide has a limitation that cannot be employed as a representative of the operation result of Thailand directly. For instance, the data used is a score from satellite or aerial photographs and adjusted by using a mathematical model, the transformed data to be the pattern or similar to the evaluation method, and the data from research or international resources that are not up-to-date.

Hence, EPI+ preparation is one of the capabilities showing the efficient environmental operation of Thailand. However, due to a limitation of Thailand's available data set that has not been collected yet or is ongoing, the operation and some indicators cannot be applied to compute following the method in the calculation formula of EPI 2020. Accordingly, a summary of the score selection uses the score reported from Yale University and Columbia University as a particular indicator to create EPI+ data entirely. All selection detail is shown in Table 3.

Table 3 The indicators used in the Environmental Performance Index are based on data from the Thailand's organizations (EPI+).

EPI 2020	EPI +
Environmental Health	
Air Quality	
$PM_{2.5}$ Exposure	Use the original score value due to DALY data limitations
Household Solid Fuels	
Ozone Exposure	
Sanitation & Drinking Water	
Unsafe Sanitation	Use the original score value due to DALY data limitations
Unsafe Drinking Water	
Heavy Metals	
Lead Exposure	Use the original score value due to DALY data limitations
Waste Management	
Controlled Solid Waste	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Ecosystem Vitality	
Biodiversity & Habitat	
Terrestrial Biome Protection (national)	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Terrestrial Biome Protection (global)	
Marine Protected Areas	

EPI 2020	EPI +
Protected Areas Representativeness Index	Use the original score due to inaccessibility of formulas to calculate index scores
Species Habitat Index	
Species Protection Index	
Biodiversity Habitat Index	
Ecosystem Services	
Tree Cover Loss	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Grassland Loss	
Wetland Loss	
Fisheries	
Fish Stock Status	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Marine Trophic Index	Use the original score due to inaccessibility of formulas to calculate index scores
Fish Caught by Trawling	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Climate Change	
Carbon dioxide (CO_2) Growth Rate	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Methane (CH_4) Growth Rate	
Nitrogen dioxide (N_2O) Growth Rate	

EPI 2020	EPI +
Fluorinated gas Growth Rate	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Black Carbon Growth Rate	
Carbon dioxide Emission from Land Cover	
Greenhouse gas Intensity Trend	
Greenhouse gas per Capita	
Pollution Emissions	
Sulfur dioxide (SO_2) Growth Rate	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Nitrogen oxide (NO_X) Growth Rate	
Agriculture	
Sustainable Nitrogen Management Index	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020
Water Resources	
Wastewater Treatment	Use Thailand's data to calculate a score based on Yale & Columbia 2020

The preparation of the Environmental Performance Index of Thailand (EPI Thailand)

The study in EPI, operated by Yale University and Columbia University, found that some indicators do not suit Thailand, especially an inadequate data limitation in Thailand or the available data in particular different index groups cannot be employed with the calculation formula.

Thus, selecting relatively feasible indicators in Thailand's context requires the data collection of individual responding agencies, the study of coherence between data and policy, and a plan in the nation degree to create a draft of EPI Thailand indicators that suit Thailand's context. The criteria for selecting the indicators are from a consecutive previous data set, data modernization, and data linking with policy and a national degree plan. Afterward, set up a data weight that is initially similar to the data weight of Yale University and Columbia University. Finally, in essence, receiving various commendations concerning indicators and data weight is done through sub-group conferences with associated organizations, and the obtained suggestions are used to improve indicators and data weight for EPI Thailand in the future, as shown in Figure 3.

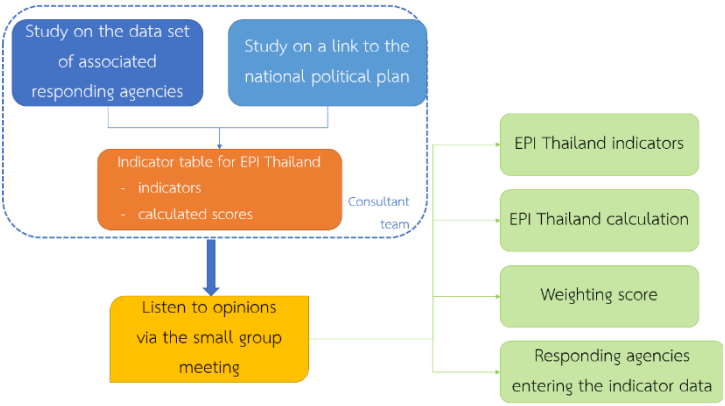


Figure 3 The conceptual framework for adjusting EPI to fit Thailand's context

Studying, collecting the data, or consulting with experts and the associated organization via sub-group conferences can conclude a summary to select indicators that can relatively operate with the criteria of EPI of Yale University and Columbia University and correspond with policy and a national degree plan. However, indicators that cannot be employed with the original calculation or the data unreadiness suggest the concept of recreating new appropriate indicators with Thailand, as summarized in Table 4.

Table 4 Summary of concept in preparation for EPI Thailand

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
Environmental Health	
Air Quality	
$PM_{2.5}$ Exposure	Change the calculation method due to data limitation of DALY
Household Solid Fuels	
Ozone Exposure	

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
Sanitation & Drinking Water	
Unsafe Sanitation	Change the calculation method due to data limitation of DALYs
Unsafe Drinking Water	
Heavy Metals	
Lead Exposure	Change the calculation method due to data limitation of DALYs
Waste Management	
Controlled Solid Waste	Use the same calculation method and use Thailand's data
Ecosystem Vitality	
Biodiversity & Habitat	
Terrestrial Biome Protection (national)	Use the same calculation method and use Thailand's data
Terrestrial Biome Protection (global)	Adjust data for calculation and use biome data of international importance
Marine Protected Areas	Adjust marine protected area data to a new indicator relevant to all protected areas of the country (both on land and water)
Protected Areas Representativeness Index	Data are deprecated due to data limitations and access to calculation formulas.
Species Habitat Index	
Species Protection Index	
Biodiversity Habitat Index	

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
	New indicators are added, which are appropriate to the context of the country. - Protected Area Performance - Proportion of Protected Area to Country Area - Population of Endangered Species
Ecosystem Services	
Tree Cover Loss	Use the same calculation method and use Thailand's data
Grassland Loss	The indicator is repealed because Thailand has very few grassland areas.
Wetland Loss	Use the same calculation method and use Thailand's data
	New indicators are added, which are appropriate to the context of the country. - Integrity of Mangrove Forests - Integrity of Seagrass - Integrity of Coral Reef
Fisheries	
Fish Stock Status	Use the same calculation method and use Thailand's data

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
Marine Trophic Index	Data are deprecated due to data limitations and access to calculation formulas.
Fish Caught by Trawling	The indicator is repealed because it fails to reflect the country's fisheries management efforts after 2015. Therefore, data on integrity of benthic animals are selected. This reflects the effect of the country's trawl fishing management.
	A new indicator is added, which is appropriate to the context of the country. - Integrity of Benthic Animals
Climate Change	
Carbon dioxide Growth Rate	Use the same calculation method and use Thailand's data
Methane Growth Rate	
Nitrogen dioxide Growth Rate	
Fluorinated gas Growth Rate	
Black Carbon Growth Rate	
Carbon dioxide Emission from Land Cover	
Greenhouse gas Intensity Trend	
Greenhouse gas per Capita	

EPI 2020 / EPI +	EPI Thailand
Pollution Emissions	
Sulfur dioxide (SO_2) Growth Rate	Use the same calculation method and use Thailand's data
Nitrogen oxide (NO_x) Growth Rate	
Agriculture	
Sustainable Nitrogen Management Index	Use the same calculation method and use Thailand's data
Water Resources	
Wastewater Treatment	Use the same calculation method and use Thailand's data
	A new indicator is added, which is appropriate to the context of the country. - Water Security Index

The handbook of EPI will mention the EPI preparation in two aspects, namely policy objectives and environmental health, by using EPI used information from Thailand's organizations (EPI+) and the EPI preparation in Thailand context (EPI Thailand).

Policy objectives and environmental health comprise 7 issue categories, as mentioned in detail.

Ecosystem Vitality

5 Biodiversity and Habitat

5. Biodiversity and Habitat

Preparation of the environmental performance index by Yale University and Columbia University changed indicators for Biodiversity and Habitat in all reported scores since 2006. EPI 2020 operation divides this issue categories into seven indicators as follows

1) Terrestrial Biome Protection (National) : TBN
2) Terrestrial Biome Protection (Global) : TBG
3) Marine Protected Areas : MPA
4) Biodiversity Habitat Index : BHV
5) Species Habitat Index : SHI
6) Species Protection Index : SPI
7) Protected Areas Representativeness Index : PAR

5 Biodiversity and Habitat
Terrestrial Biome Protection national weight

5.1 Terrestrial Biome Protection (National)

Terrestrial Biome Protection - national weight (TBN) is defined as fully protecting habitats where specific ecosystems are classified into 14 categories and 15 ecoregions (Figure 4). In Thailand, data involving the terrestrial ecosystem are considered from three area categories as,

(1) Tropical & Subtropical Moist Broadleaf Forests such as evergreen forests, dry evergreen forests, and hill evergreen forests.

(2) Tropical & Subtropical Dry Broadleaf Forests such as dry dipterocarp and mixed deciduous forests.

(3) Mangroves

Scores range from 0 – 100 scores. If it is 100 scores, it indicates that country can protect at least a percentage of 17 (the best performance) of the individual terrestrial ecosystem types.

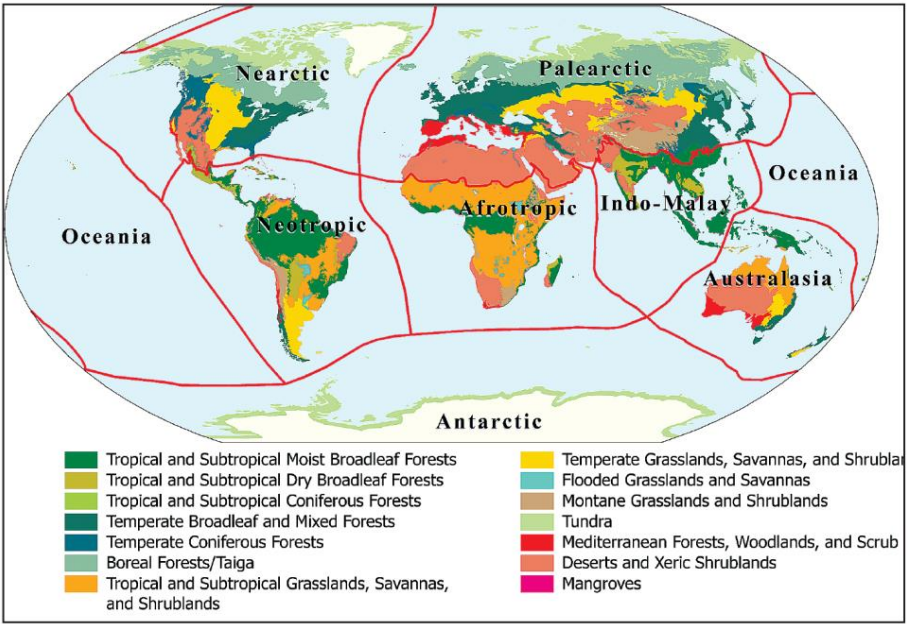


Figure 4 Type of Terrestrial biomes and Ecoregions used for evaluate Terrestrial Biome Protection in EPI 2020

Source: Olson et al. (2001)

$$w_{bc} = {TEW_{bc}}/{\sum_b TEW_{bc}}$$

$$TBN_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100$$

The calculation steps are as follows

1) Calculation a raw % of Thailand's biomes within protected or conservation areas as equation (3)

$$PCT_{bc} = \sum_i TPA_{ibc}/TEW_{bc} \quad (3)$$

Where;

PCT_{bc} = Raw % of Thailand's biomes within protected or conservation areas

TPA_{ibc} = Area of protected or conservation areas

TEW_{bc} = Area of total Thailand's biomes

i = type of terrestrial biome within protected or conservation areas

b = type of terrestrial biome

c = Country

2) Calculation of a credited % of biomes within TPA following Aichi targets regulated the percentage goal of 17 equation (4)

$$ICT_{bc} = \begin{cases} PCT_{bc} if PCT_{bc} \leq 0.17 \\ 0.17 if PCT_{bc} > 0.17 \end{cases} \quad (4)$$

Where;

ICT_{bc} = Credited % of Thailand's biomes within TPA

If any ratio of the country's terrestrial area situated protected area (PCT_{bc}) is lesser or equal to 0.17, ICT_{bc} is equal to PCT_{bc}

If any ratio of the country's terrestrial area situated protected area (PCT_{bc}) is more significant than 0.17, (ICT_{bc}) is equal to 0.17.

3) weighting Thailand's biomes from the area ratio as equation (5)

$$w_{bc} = {}^{TEW_{bc}}/_{\sum_b TEW_{bc}} \quad (5)$$

Where;

w_{bc} = weight of Thailand's biome types

4) percentage calculation as equation (6)

$$TBN_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100 \quad (6)$$

Where;

TBN_c = Terrestrial Biome Protection (National)

Gathered data found that characteristic data used for EPI 2020 calculation are from World Database on Protected Areas (WDPA) and World Wide Fund for Nature, ranging from 2010 to 2020. Data in the protected area of a terrestrial ecosystem are retrieved from the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, and the conservative area of mangrove forest, cited from the Department of Marine and Coastal Resources. Moreover, TEW data from 2000 -2020 used the database from 2000, and TPA data from 2010-2020 used the database from 2010.

Terrestrial Biome Protection (National) for EPI+

The study found that the data used to calculate EPI 2020 is out-of-date. Moreover, computing the WDPA area is very high at 99 percent of Thailand's area. Therefore, EPI+ selects to employ Thailand's data as follows.

1) Data on types of forest area from the Forest Department in 2020 and Biennial Update Report (BUR) third issue

2) Data of the conservative area from the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation in 2010

3) the conservative area of mangrove forest from the Department of Marine and Coastal Resources in 2021 is data set from 2011 - 2020.

Data are different, as shown in Table 5, and the use of the nation's data replaced in the equation found that the EPI+ score increases, as shown in Table 6.

Table 5 The differences in using that data

Data	EPI 2020	EPI +
TEW data as biome availabilities in country	Data in 2020 had an area of 517,030.31 square kilometers	Data in 2020 had an area of 155,609.94 square kilometers
TPA data as biome situated in conservative or protected areas	Follow a definition of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) *	Follow a definition of conservative area law for Thailand **
	Data in 2020 had an area of 96,325.31 square kilometers	Data in 2020 had an area of 103,152.61 square kilometers
Data resources	- World Wide Fund for Nature - World Database of Protected Areas TPA data from 2010 to 2020 used data of 2010 TEW data used from 2000 to 2020 used data of 2000	- Data of various forest areas from the Forest Department in 2020 and Biennial Update Report (BUR) issue 3 - Data of the conservative area from the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation in 2010

Data	EPI 2020	EPI +
		- Data of the conservative area of mangrove forest from the Department of Marine and Coastal Resources in 2010

Note

* Types of conservation areas classified by the International Union for Conservation of Nature, IUCN, there are 6 types:

(I) Strict Nature Reserve

(II) National Park

(III) Natural Monument

(IV) Habitat/Species Management Area

(V) Protected Landscape/Seascape

(VI) Management Resource Protected Area

** Types of conservation areas, under the responsibility of the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation announced in royal decrees, ministerial regulations, laws and government regulations, they can be classified into 6 categories:

(1) National Park

(2) Wildlife Sanctuary

(3) Non-hunting Area

(4) Forest Park

(5) Botanical Garden

(6) Arboretum

Table 6 Data and score of Terrestrial Biome Protection - national weight

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Terrestrial Biome data	World Database on Protected Areas (WDPA)	**76.7** (2000 -2020)
EPI+	- Forest area - Conservation area - Mangrove conservation area	- Royal Forest Department - Department of National parks Wildlife and Plant Conservation - Department of Marine and Coastal Resources	**100** (2012 -2020)

5 Biodiversity and Habitat
Terrestrial Biome Protection global weight

5.2 Terrestrial Biome Protection (Global)

Terrestrial Biome Protection (Global) (TBG) is similar to the terrestrial ecosystem data of the Terrestrial Biome Protection (National). Terrestrial Biome Protection (Global) is weighted following a ratio of appearing areas of the global and terrestrial ecosystems in the conservative area. For example, if the score is 100, the Nation can protect at least 17 percent (the best Performance of an individual type of terrestrial ecosystem.

$$w_{bc} = \left[\frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \Big/ \left[\sum_b \frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right]$$

$$TBG_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}]$$

The calculation steps are as follows

1) Calculation of a raw % of Thailand's biomes within protected or conservation areas as equation (7)

$$PCT_{bc} = \Sigma_i TPA_{ibc}/TEW_{bc} \quad (7)$$

Where;

PCT_{bc} = Raw % of Thailand's biomes within protected or conservation areas

TPA_{ibc} = Area of protected or conservation areas

TEW_{bc} = Area of total Thailand's biomes

i = type of terrestrial biome within protected or conservation areas

b = type of terrestrial biome

c = Country

2) Calculation of a credited % of biomes within TPA following Aichi targets regulated the percentage goal of 17 equation (8)

$$ICT_{bc} = \begin{cases} PCT_{bc} \; if \; PCT_{bc} \leq 0.17 \\ 0.17 \; if \; PCT_{bc} > 0.17 \end{cases} \quad (8)$$

Where;

ICT_{bc} = Credited % of Thailand's biomes within TPA

If any ratio of the country's terrestrial area situated protected area (PCT_{bc}) is lesser or equal to 0.17, ICT_{bc} is equal to PCT_{bc}

If any ratio of the country's terrestrial area situated protected area (PCT_{bc}) is more significant than 0.17, (ICT_{bc}) is equal to 0.17.

3) weighting Thailand's terrestrial ecosystem from area ratio as equation (9)

$$w_{bc} = \left[\frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \Big/ \left[\sum_b \frac{TEW_{bc}}{\sum_c TEW_{bc}}\right] \quad (9)$$

Where;

w_{bc} = weight of Thailand's biome types

4) percentage calculation as equation (10)

$$TBG_c = \sum_b [w_{bc} \times ICT_{bc}] \times 100 \quad (10)$$

Where;

TBN_C = Terrestrial Biome Protection - global weight

Terrestrial Biome Protection (Global) for EPI+

The study found that the calculation and data set used for Terrestrial Biome Protection (Global) are similar to Terrestrial Biome Protection (National). Therefore, EPI+ selects to use Terrestrial Biome Protection (National) for computing as shown in the topic of Terrestrial Biome Protection (National), and weight follows the ratio of respective terrestrial ecosystem areas at the global level as shown in Table 7.

Table 7 Data and score of Terrestrial Biome Protection - global weight

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Terrestrial Biome data	World Database on Protected Areas (WDPA)	**59.1** (2000 - 2020)
EPI+	- Forest area - Conservation area - Mangrove conservation area - World forest area	- Royal Forest Department - Department of National parks Wildlife and Plant Conservation -Department of Marine and Coastal Resources - WDPA	**100** (2012 - 2020)

5 Biodiversity and Habitat

Marine Protected Areas

5.3 Marine Protected Areas

Various agencies define Marine Protected Areas (MPA) as tools to emphasize administration and management and generate the best benefits in conserving natural resources and marine and coastal ecosystems. However, one of the definitions widely used is defined by Kelleher and Kenchington (1992).

"Any area of intertidal or subtidal terrain, together with its overlying water and associated flora, fauna, historical and cultural features, which has been reserved by law or other effective means to protect part or all of the enclosed environment" (Kelleher & Kenchington, 1992).

Regarding the definition of the new protected area by IUCN in 2008, the commission further explained and interpreted the definition to cover all content of MPAs specifically in 2012. Therefore, the MPAs definition can cooperatively use the definition of a general protected area defined as **"an explicit geographical area is approved to be established and have management based on law or any effective procedure to achieve the long term natural conservative objectives and correspond with service of ecosystem and culture value."**

In this evaluation, the equation used is comprise as:

$$MPA = {\sum AMP_i}/{\sum EEZ_j} \times 100 \quad (11)$$

Where;

MPA = Marine Protected Area

AMP = Area of MPAs (square kilometers)

EEZ = Area of Exclusive Economic Zones (square kilometers)

Marine Protected Areas for EPI+

Recently, Thailand's Marine Protected Area (MPA), mainly managed by the government, and aims to conserve, protect, treat, recover, administrate, manage, and utilize the natural, environmental, and biodiversity resources wisely and sustainably. Ideally, the management should also incorporate the local community to engage in the operation. Thailand's MPAs can be divided into six types: Marine National Parks, Non-hunting areas, Environmental Protection Areas, Biosphere Reserves, Fisheries Reserve Areas, and Wetland. Accordingly, the Marine and Coastal Department collects the area scale to study for each location and documents Thailand's total marine area database, as shown in Table 8.

Table 8 Thailand Marine Protected Areas

Protected Areas	Number of Area	Total area (km^2)	Thailand marine area (km^2)
1. Marine National Park	23	6,549	5,376
2. Non-hunting Area	3	548	280

Protected Areas	Number of Area	Total area (km^2)	Thailand marine area (km^2)
3. Environmental Protected area	6	11,256	10,369
4. Biosphere Reserve	1	305	117
5. Fisheries sanctuary area	56	194.91	194.91
6. Wetland	9	3,056	1,727
Total	**98**	**21,909**	**18,063.91**
Overlap area			2,696
			15,367.91

Source: Department of Marine and Coastal Resources, 2020

From the calculation equation, the result score of Thailand's total MPA area is a combination of area scores of six types. On the other hand, some areas overlapping on another area must deduct the overlapping area to avoid repeating counting and yield the absolute summary calculation, and the total net score is 15,367.91 square kilometers.

In The country's combined computed area, Yale University and Columbia University data use exclusive economic zone (EEZ) data that is dissimilar to Thailand's veracity of marine area because marine area boundaries under Thailand's sovereignty according to The United Nations Convention on the Law of the Sea 1982 - UNCLOS 1982 composed of Internal Water, Territorial Sea, Contiguous Zone, and Exclusive Economic Zone (Figure 5)

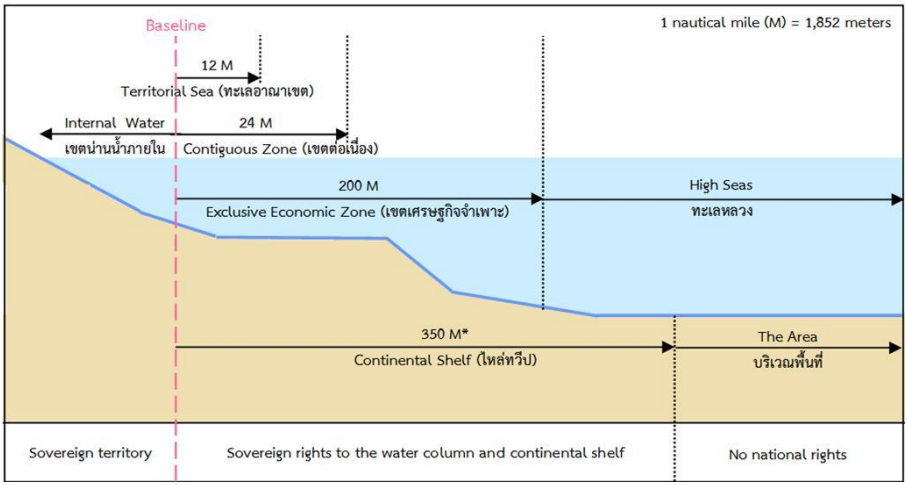


Figure 5 Maritime Zone

Source: Marine Knowledge Hub

http://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=153&lang=th

An exclusive economic zone (EEZ) is an area stretches from the baseline seaward to 200 nautical miles offshore or until meet other countries' EEZ (conventions 55 and 57). Nonetheless, Thailand's baseline regulates integrated components between normal and straight baselines. As a result, Thailand has one part of the marine area belonging to internal water. Therefore, the calculation of Thailand's marine area must consider entire marine areas, not only EEZ.

Accordingly, Thailand's total marine area is 323,488.32 square kilometers, including the internal water of 61,954.04 square kilometers, 254,409.06 of EEZ (areas counted on baseline 200 nautical miles offshore

encompassing terrestrial sea and Contiguous Zone) 7,125.22 square kilometers of the cooperated developing area between Thailand and Malaysia, an area of Thailand's EEZ overlapping with Malaysia with an agreement in integrated utilization).

Using Thailand's data to calculate the marine protected area indicator score, it was 47.5, as shown in Table 9.

Table 9 Data and score of Marine Protected Areas

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	- Marine Protected Areas - Exclusive Economic Zone (EEZ)	- World Database on Protected Areas - Flanders Marine Institute	**16.9** (2015 - 2019)
EPI+	Marine protected area and Thailand ocean area	Department of Marine and Coastal Resources	**47.5** (2012 - 2020)

5 Biodiversity and Habitat

Biodiversity Habitat Index

5.4 Biodiversity Habitat Index

The Biodiversity Habitat (BHV) or Biodiversity Habitat Index (BHI) is defined as evaluating the effect of terrestrial habit loss, degradation, and fragmentation on terrestrial biodiversity (Thai score was 48.2/100) as 100 scores indicate individual countries do not lose habitat or degrade, while 0 scores indicate complete habitat loss.

NatureServe (https://www.natureserve.org/) studied the changing and ruining of habitat and its fragmentation of all countries' terrestrial ecosystems integrated with data of original resources of plants, invertebrates, and vertebrates by using the data from a small survey of NASA's MCD12Q1 dataset and statistical analysis the data by PREDICTS meta-analysis as shown in Figure 6.

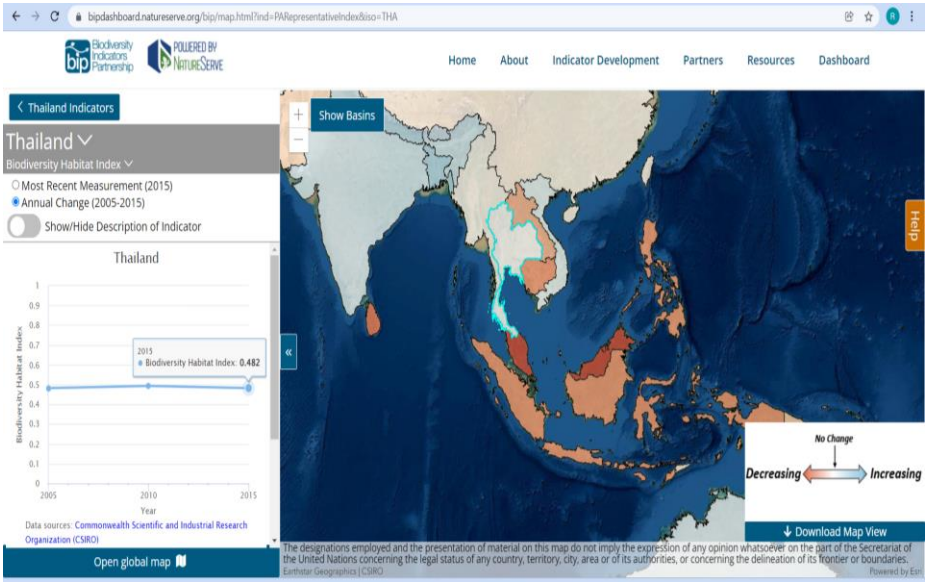


Figure 6 data of Biodiversity Habitat Index

Source: https://www.natureserve.org/

Biodiversity Habitat Index for EPI+

The study evaluating the Biodiversity Habitat Index following Yale University and Columbia University used habitat data and distribution of living organisms from https://www.natureserve.org/. Accordingly, as coordinating with the officers in charge of the website to ask about the data set and formula equation; they informed that the calculation method was sophisticated and described an operational concept, is that using the changing habitat ruining and fragmentation of terrestrial ecosystem, data of original resources of plants, invertebrates, vertebrates to overlap together.

The study, data collection, and consulting with different agencies revealed that Thailand had not evaluated the Biodiversity Habitat Index. Thus,

the recent study uses the Biodiversity Habitat Index from Yale University and Columbia University's study that assess the Biodiversity Habitat Index from 2005 to 2015. Thailand's score level is 48.2, as shown in Table 10, owing to the use of a proxy score, resulting in the data's high standard deviation.

Table 10 Data and score of Biodiversity Habitat Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Data on habitat area and living organism distribution	NatureServe	**48.2** (2005 - 2015)
EPI+	Data on habitat area and living organism distribution	NatureServe	**48.2** (2005 - 2015)

5 Biodiversity and Habitat

Species Habitat Index

5.5 Species Habitat Index

Species Habitat Index (SHI) is defined as a ratio of suitable habitat for organisms in natural conditions compared with the base year in 2001 (Thailand's score is 69. 9/100) as 100 scores indicate that individual countries have not lost habitat since 2001, while 0 scores mean that habitat loss is severe level. Therefore, SHI is an indicator of population loss of living organisms that possibly occur and risks the extinction of each species. The index data, derived from the Map of Life website or MOL (https://mol.org/), which studies the changes in area scale and habitat quality of living organisms integrated with the data of living organism distribution, data analysis from a remote survey and mathematics model using the latest data in 2020, not released yet, as shown in Figure 7.

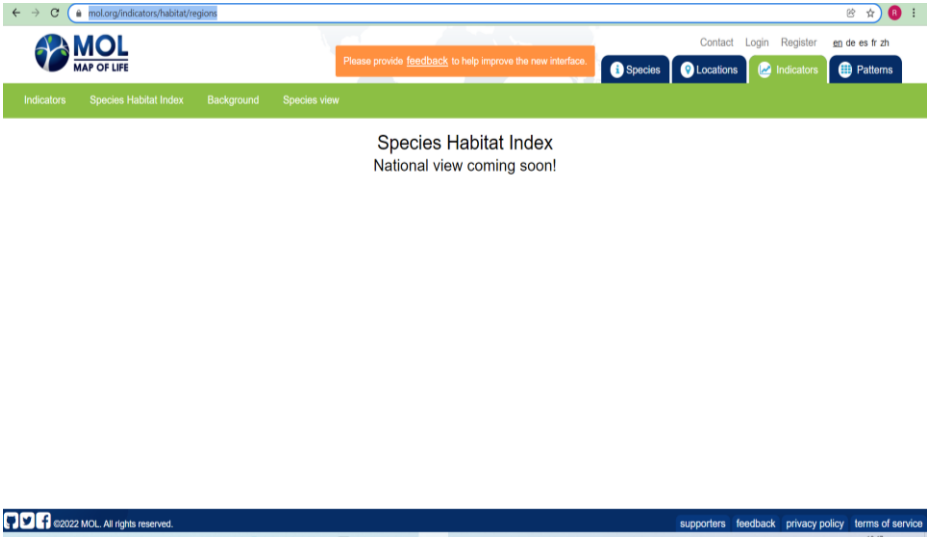


Figure 7 Data of Species Habitat Index from Map of Life (MOL)

Species Habitat Index for EPI+

The study evaluating Species Habitat Index following Yale University and Columbia University uses the data of habitat and living organism fragmentation from the Map of Life website or MOL (https://mol.org/). Accordingly, as coordinating with the officers in charge of the website to ask about the data set and formula equation; they informed that the calculation method was sophisticated and described an operational concept, is that using the area changes, a link between areas, changing an ecosystem intact, living organism population, overlapping various genetic materials. The study, data collection, and consulting with different agencies revealed that Thailand had not evaluated the Species Habitat Index. Thus, the recent study uses Species Habitat Index from Yale University and Columbia University's study that assess

Species Habitat Index from 2001 to 2014. Thailand's score level is 69.9, as shown in Table 11, owing to the use of a proxy score, resulting in the data's high standard deviation.

Table 11 Data and score of Species Habitat Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Data on changes in area scale and habitat quality of living organisms, and living organism distribution	Map of Life	**69.9** (2001 - 2014)
EPI+	Data on changes in area scale and habitat quality of living organisms, and living organism distribution	Map of Life	**69.9** (2001 - 2014)

5 Biodiversity and Habitat

Species Protection Index

5.6 Species Protection Index

Species Protection Index (SPI) is defined as Thailand's terrestrial protected areas covering and showing the excellence of habitat containing species' ranges of vertebrate, invertebrate animals, and plant species. Thailand's score is 84.1 out of 100, as 100 scores indicate that coverage of all species' ranges in the nation's protected areas, while 0 scores mean the protected areas do not cover habitats that discover all species. The index data is derived from the Map of Life website or MOL (https://mol.org/), which uses the data of living organism distribution compared with the data of protected area boundaries from World Database on Protected Area (WDPA). The computed score index is shown in Figure 8.

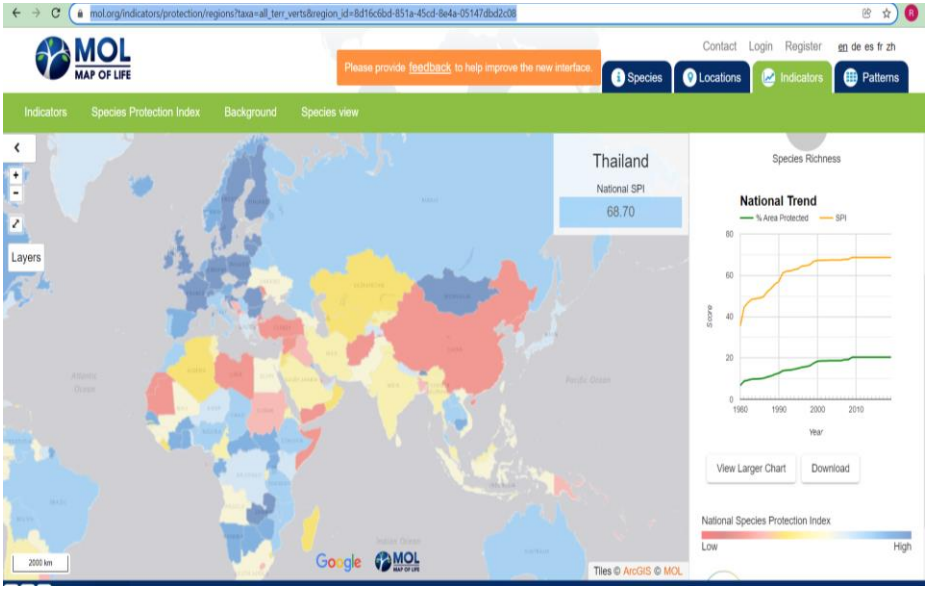


Figure 8 Data of Species Protection Index from Map of Life (MOL)

Species Protection Index for EPI+

The study evaluating the species protection Index following Yale University and Columbia University uses the data of habitat and living organism distribution from the Map of Life website or MOL (https://mol.org/). Accordingly, coordinating with the officers in charge of the website to ask about the data set and formula equation, they informed that the calculation method was sophisticated and described an operational concept, using the living organism's distribution overlaps with the protected area data. The study, data collection, and consulting with different agencies revealed that Thailand had not evaluated the Species Protection Index. Thus, the recent study uses the Species protection Index from Yale University and Columbia University's study that assess the Species protection Index from 1980 to 2019. Thailand's

score level is 84.1, as shown in Table 12, owing to the use of a proxy score, resulting in the data's high standard deviation.

Table 12 Data and score of Species Protection Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	data of living organism distribution in protected area	Map of Life	**84.1** (1980 - 2019)
EPI+	data of living organism distribution in protected area	Map of Life	**84.1** (1980 - 2019)

5 Biodiversity and Habitat

Protected Areas Representativeness Index

5.7 Protected Areas Representativeness Index

Protected Areas Representativeness Index (PAR) is defined as terrestrial protected areas showing the excellence of Thailand's biodiversity. If the terrestrial protected areas cover Thailand's majority of habitats of various living organisms, biodiversity is protected within protected area boundaries. Theoretically, If the index score is high or close to 100, it can imply that the Nation's terrestrial protected areas are a perfect national biodiversity representative, but Thailand's score is 21.8 out of 100. If the index score is high or close to 100, the nation's terrestrial protected areas are likely a perfect national biodiversity representative. The index data is derived from NatureServe website (www.natureserve.org), uses the data of protected area boundaries from the World Database on Protected Areas (WDPA), the environmental factor data, the data of location discovering vertebrate and invertebrate animals, and plant species (more than 400,000 data) integrated with the remote survey data of changing the soil cover from NASA's MODIS. The computed score index is shown in Figure 9.

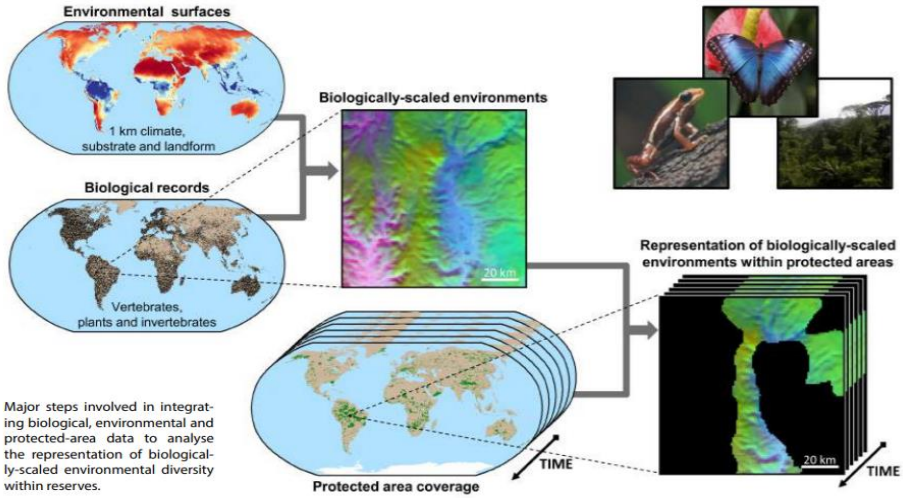


Figure 9 Evaluation of the Protected Area Representative Index

Source: https://www.natureserve.org/

Protected Areas Representativeness Index for EPI+

The study evaluating the Protected Areas Representativeness Index following Yale University and Columbia University uses the data of habitat and living organism distribution from NatureServe (www.natureserve.org). Accordingly, as coordinating with the officers in charge of the website to ask about the data set and formula equation; they informed that the calculation method was sophisticated and described an operational concept, is that using the abiotic environmental data: 1) meteorological data like air temperature, an amount of precipitation, water data, and water evaporation, 2) soil data like soil body, soil pH, and soil depth, and 3) topography data including the

living organism distribution data and protected area to overlap together. The study, data collection, and consulting with different agencies revealed that Thailand had not evaluated the Protected Areas Representativeness Index. Thus, the recent study uses the Protected Areas Representativeness Index from Yale University and Columbia University's study that assesses Protected Areas Representativeness Index from 2000 to 2016. Thailand's score level is 21.8, owing to the use of a proxy score, resulting in the data's high standard deviation

Table 13 Data and score of Protected Areas Representativeness Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	data in the environmental factors and data of location found living organisms	NatureServe	**21.8** (2000 - 2016)
EPI+	data in the environmental factors and data of location found living organisms	NatureServe	**21.8** (2000 - 2016)

5 Biodiversity and Habitat

Concept in preparation for EPI Thailand

5.8 Concept in preparation for EPI Thailand

The Biodiversity and Habitat scores, prepared by Yale University and Columbia University, comprise seven indicators. However, in Thailand, data and calculating methods are restricted, incredibly individual indicators: biodiversity habitat index, species habitat index, species protection index, and protected areas representativeness index from Map of Life (www.mol.org) and NatureServe (www.naturereserve.org). Accordingly, these websites informed that the calculation method was sophisticated. Therefore, as coordinating with experts and representative agencies, the recent research proposes a preparation for the environmental performance index in Thailand's context (EPI Thailand) compromising indicators as follows.

1) Terrestrial Biome Protection (national)
2) Terrestrial Biome Protection (global)
3) Protected Area Performance
4) Proportion of Protected Area to Country Area
5) Population of Endangered Species

as detail follows.

1) Terrestrial Biome Protection (national)

Regarding a concept in preparation for EPI Thailand, Thailand's **Terrestrial Biome Protection (national)** is calculated using formula equations and variables similar to computing **Terrestrial Biome Protection (national)** of Yale University and Columbia University (EPI 2020). Moreover, the data set of Thailand is used with EPI by using the data from Thailand's organization, as shown in the 5.1 article.

2) Terrestrial Biome Protection (global)

Regarding a concept in preparation for EPI Thailand, the **Terrestrial Biome Protection (global)** is calculated using formula equations and variables similar to computing **Terrestrial Biome Protection (national)** and the **Terrestrial Biome Protection (global)**. Pay attention to four types of the internationally significant ecosystem area as follows.

1) World heritage sites (nature)

2) ASEAN heritage parks

3) Ramsar sites

4) Biosphere reserves

evaluating the score from the data of the internationally significant ecosystem area, the internationally significant ecosystem area situated in the protected areas, and weighted with the global ecosystem area

3) Protected Area Performance

Following the Convention on Biological Diversity (CBD), Thailand creates the nation's biodiversity report and must offer to the convention secretariat every four years to reflect and convey the Nation's operational progress following the international environment agreement. The content in the report includes the evaluation of the operational potential to accomplish the national goals.

Regards **the Protected Area Performance**, the data used to assess the operational potential of the protected areas are the potential evaluation from gathering the related standard data that the Nation employs to the strategic operation for the national biodiversity aspect and the practical plans to achieve the national goals. Nevertheless, this indicator is to assess the **the Protected Area Performance** in an overall view of the Nation by collecting the related standard data that the Nation employs to the strategic operation for the national biodiversity aspect and the practical plans to achieve the national goals. Therefore, if a need in preparation of the indicator to evaluate the protected area potential by answering this indicator following the regulated hand by assessing the **Protected Area Performance** of the total 440 conservative areas (data of 2022), Management Effectiveness Tracking Tool (METT) must be applied because it contains the framework in evaluating **the management of Protected Area Performance** of IUCN/WCPA in the standard formation.

Accordingly, the Department of National Parks, Wildlife, and Plant Conservation and associated agencies like the Department of Marine and

Coastal Resources and the Department of Water Resources participate in evaluating **the management of Protected Area Performance** mentioned above.

4) Proportion of Protected Area to Country Area

Proportion of Protected Area to Country Area is to cover terrestrial and marine areas by using the data from the Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Department of Fisheries, and Department of Marine and Coastal Resources to calculate the total results of **Proportion of Protected Area to Country Area**. The calculation uses formula equation 12. Later, the obtained score was compared with the best and worst operations (Best - Worst) at 30 – 0 from criteria in Thailand's protected area regulation at a percentage of 30 of the Nation's Area.

$$\frac{\text{(terrestrial protected area)}}{\text{(Thailand terrestrial area)}} + \frac{\text{(marine protected area)}}{\text{(Thailand marine area)}} \qquad (12)$$

5) Population number of endangered species

Population of Endangered Species is to evaluate the endangered status of invertebrate species, citing information from the Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Moreover, this indicator means vulnerable species to being endangered from the world or extinct from the distribution area as the different factors still cause the extinction.

Calculating the score uses the population data of endangered species compared between the recent year and the previous year. Accordingly, the population data of Thailand's vertebrate animals are used to compute

indicator scores such as Bengal tiger, Dugong, Irrawaddy dolphin, and Turtle. These indicator scores are average for all species following equation 13. As a result, if the indicator computed scores are 100, the population of endangered species in the recent year will increase one-fold compared with the population data of the previous year.

$$\frac{\left(x_{previous\ year}+\left(x_{recent\ year}-x_{previous\ year}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{previous\ year}\right)} \quad (13)$$

Where;

x = **Population of Endangered Species**

The present research selected two animal groups as the representative organisms, namely, 1) terrestrial animals: the Bengal tiger population, and 2) aquatic animals: mammals, and turtles. Rationally, the Bengal tigers are the terrestrial animal representative due to their hunter behavior and playing a role in the ecosystem or Niche (Ecological Niche) that is on top of the ecosystem pyramid. If the Bengal tiger's population number increases every year in the forest, it reflects that the ecosystem and unique food resources for the Bengal tigers are intact and their habitats are suitable. Hence, the conservation of the Bengal population is relative to the conservation of habitat and various species. The overall view of the ecosystem for aquatic animals: Dugongs, Irrawaddy dolphins, and Turtle are representative of herbivorous animals (Dugong), omnivorous animals (depending on turtle species), and predators feeding other animals in the aquatic ecosystem (Irrawaddy dolphin). Thus, their population increment can

reflect the abundance of the ecosystem and the habitat quality. In the future, if Thailand agencies collect information on various organism populations continuously, candidate organism names can be added to be the indicators to increase the number of various animal representatives. Thailand data are calculated for this indicator: mammals and turtles. The data summary for calculating the Biodiversity and Habitat is shown in Table 14.

Table 14 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Biodiversity and Habitat

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	Terrestrial Biome Protection (national)		**Terrestrial Biome Protection (national)**
Data	The data of terrestrial ecosystem areas and protected areas	1. the forest area data 2. the conservation area data	1. the forest area data 2. the conservation area data
Data sources / Agencies	World Database on Protected Areas (WDPA)	1. Royal Forest Department 2. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation	1. Royal Forest Department 2. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation
	Terrestrial Biome Protection (global)		**Terrestrial Biome Protection (global)**
Data	Data on terrestrial ecosystems and protected area	1. forest area data 2. conservative area data 3. Global forest area data	1. Internationally significant forest area data 2. conservative area data

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
Data sources / Agencies	World Database on Protected Areas (WDPA)	1. Royal Forest Department 2. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation 3. World Database on Protected Areas (WDPA)	1. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation 2. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning / Department of Water Resource 3. Thailand Institute of Scientific and Technological Research 4. Department of Marine and Coastal Resources
	Marine Protected Areas		
Data	Marine Protected Areas	Marine protected area and Thailand ocean area	
Data sources / Agencies	World Database on Protected Areas (WDPA)	Department of Marine and Coastal Resources	
	Biodiversity Habitat Index		
Data	Data on habitat area and living organism distribution	Data on habitat area and living organism distribution	
Data sources / Agencies	NatureServe	NatureServe	
	Species Habitat Index		
Data	Data on changes in area scale and habitat quality of living organisms, and living organism distribution	Data on changes in area scale and habitat quality of living organisms, and living organism distribution	

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
Data sources / Agencies	Map of Life	Map of Life	
	Species Protection Index		
Data	1. data in living organism distribution 2. protected area data	1. data in living organism distribution 2. protected area data	
Data sources / Agencies	1. Map of Life 2. WDPA	1. Map of Life 2. WDPA	
	Protected Areas Representativeness Index		
Data	1. data in the environmental factors and data of location found living organisms 2. protected area data	1. data in the environmental factors and data of location found living organisms 2. protected area data	
Data sources / Agencies	1. NatureServe 2. WDPA	1. NatureServe 2. WDPA	
			Protected Area Performance
Data			Data in evaluating the operational performance effectiveness of regulation under sub-goal of mater plan in integration for biodiversity management
Data sources / Agencies			Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
			Proportion of Protected Area to Country Area
Data			1. forest area data 2. conservative area data 3. data in a marine protected area and Thailand ocean areas
Data sources / Agencies			1. Royal Forest Department 2. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation 3. Department of Marine and Coastal Resources
			Population of Endangered Species
Data			1. Bengal tiger population 2. Population of Dugong Duong, Irrawaddy dolphin, Hawksbill turtle, Green turtle, Ridley turtle, and Leatherback turtle
Data sources / Agencies			1. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation 2 . Department of Marine and Coastal Resources

6 Ecosystem Services

6. Ecosystem Services

Regarding the Ecosystem services, a preparation for the environmental performance index by Yale University and Columbia University from 2006 to 2018 will consider the particular forest service or area covered by trees: Timber Harvest, Forest Cover, and Tree Cover Loss only. Later, in 2020, EPI 2020 operation derived indicators involving service from the wetland and grassland increasingly as detailed follows.

6 Ecosystem services

Tree Cover Loss

6.1 Tree Cover Loss

The Tree Cover Loss (TCL) is the measurement of tree cover loss in the annual average in the last five years divided by the total forest area boundary in the based-year. If the calculated score is 100, the individual country seldom loses the forest area. However, if the computed score is 0, it implies that TCL is severe level.

$$TC5 = \sum_{i=0}^{4} TCC_{t-i}$$
$$TCL = \frac{TC5}{5 \times TCA_{2000}} \quad (14)$$

Where;

TC5 = Sum of last 5 years of tree cover loss (ha)

TCC = Tree cover loss (ha)

TCA = Tree cover area (ha)

TCL = Proportion of tree cover loss

The operation of EPI 2020 uses the calculated data from Global Forest Watch from 2015 to 2018. The TCL scores are yielded when

replacement data are added to the formula. Later, the TCL scores are transformed by replacing the x variable in the transformation formula. Afterward, the calculated scores are adjusted from 0 to 100, where TCL is the x variable in the formula. The EPI 2020 score is 23.3.

a formula for TCL data transformation

$$ln(x + \alpha) \quad (15)$$

Where;

α = 9.70E-07

When data are transformed, the TCL scores are yielded and later replaced instead of the X value in the formula

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (16)$$

Where;

B = Best performance score (as the regulated score at -10.9436)

W = Worst performance score (as the regulated score at -3.04)

Tree Cover Loss for EPI+

Based on the study evaluating the Tree Cover Loss following EPI 2020, the forest area data are from Global Forest Watch, and for Thailand, the forest area data from Forest Department can be used to calculate in the above formula equation. The last five-year data were computed and compared with the base-year data of 2000, which yielded a score of 100, as shown in Table 15.

Table 15 Data and score of Tree Cover Loss

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Tree cover area	Global Forest Watch	**23.3** (2015 - 2018)
EPI+	Tree cover area	Royal Forest Department	**100** (2015 - 2020)

6 Ecosystem services

Grassland Loss

6.2 Grassland Loss

Grassland Loss (GRL) indicator is defined as the measurement of Grassland loss as the ratio between the grassland loss in annual average in the last five years divided by the total grassland area boundary in 1992. For example, if the calculated scores are 100, it means that an individual country does not seldom lose the grassland. In contrast, if the score is 0, it implies that the grassland loss is severe level.

$$GL5 = \sum_{i=0}^{4} \text{Yearly Grassland loss}_{t-i}$$
$$GRL = \frac{GL5}{5 \times GRA_{2000}} \quad (17)$$

Where;

GL5 = Gross loss in Grassland area over five-year interval square kilometer)

GRL = Proportion of grassland loss

GRA = Grassland Area (square kilometer)

The data are used in calculations from European Space Agency from 1997 to 2015. When replacing the score with the formula, the GRL scores are yielded. Later, the GRL scores are transformed to adjust the baes-score from 0 to 100. Where GRL is the x variable in the formula, the EPI 2020 score is 38.7.

The equation for data transformation to yield GRL

$$ln(x + \alpha) \quad (18)$$

Where;

α = 4.45E-06

When the data are transformed, the GRL is replaced instead of the x variable in the formula

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (19)$$

Where;

B = Best performance (as the regulate score -10.5632)

W = Worst performance (as the regulate score -2.4422)

Grassland Loss for EPI+

Grassland in Thailand is available in tiny-scale quantities. Based on the data surveyed by the Department of Land Development, grassland is somehow available in the natural resources. The received data are integrated with the base year of grassland in 1992 to yield a score. As the EPI 2020 at 2,043.99 square kilometers, the calculated score is 0 because the grassland

has been changed for various land utilization: agricultural area, living habitat, forest, wetland, scrub forest, and water area. Therefore, the data on Thailand's grassland heavily reduce when compared with the past data, as displayed in Table 16.

Table 16 Data and score of Grassland Loss

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Grassland area	European Space Agency	**38.7** (1997 - 2015)
EPI+	Grassland area	Land Development Department	**0** (2015 - 2020)

6 Ecosystem services

Wetland Loss

6.3 Wetland Loss

Wetland Loss (WTL) is defined as wetland loss in annual average in the last five years divided by the total wetland boundary in 1992. If the score is 100, the individual does not lose the wetland. Nevertheless, if the score is 0 , it implies that wetland loss is severe level. Department of Land Development data is water areas, including natural water bodies, artificial water bodies, low land, aquatic plants, mangrove forests and swamp forests.

$$WL5 = \sum_{i=0}^{4} \text{Yearly Wetland loss}_{t-i}$$
$$WTL = \frac{WL5}{5 \times WTA_{2000}} \quad (20)$$

Where;

WL5 = Gross loss in Wetland area over five-year interval (square kilometer)

WTL = Proportion of Wetland loss (square kilometer)

WTA = Wetland area (square kilometer)

European Space Agency data from 1997 to 2015 is used for calculation. When data is replaced in the equation, the WTL is yielded that

is later transformed and replaced instead of the x variable in the equation. Then, the obtained score is calculated for the indicator score to adjust the based score from 0 to 100. WTL is the x variable in the equation, and EPI 2020 score is 28.3.

transformation equation to yield the WTL score

$$ln(x + \alpha) \quad (21)$$

Where;

α = 2.47E-06

when the data is transformed, the WTL is replaced instead of the X variable in the equation

$$Indicator\ Score = ((X - W) / (B - W)) * 100 \quad (22)$$

Where;

B = Best performance score (as the regulated score at -10.5632)

W = Worst performance score (as the regulated score at -2.4422)

Wetland Loss for EPI+

Thailand data from 2006 to 2021 calculates the wetland loss indicator. The data are wetland changes following cabinet resolution of 112 resources, and the wetland data exclude from those 112 wetland resources. Department of Land Development analyzes data and reports that the

calculated score is 100, demonstrating that Thailand does not have wetland loss and has more wetlands than in the past.

On the other hand, the wetland administration and management missions are in charge of the Office of Natural Resources, Environmental Policies, and Planning. Recently, the missions have been transferred to the Department of Water Resources. Therefore, evaluating the wetland loss indicator for the next year is possible to change the agency providing the data.

Table 17 Data and score of Wetland Loss

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Wetland area	European Space Agency	**28.3** (1997 - 2015)
EPI+	Wetland area	Land Development Department (Department of Water Resource)	**100** (2015 - 2020)

6 Ecosystem services

Concept in preparation for EPI Thailand

6.4 Concept in preparation for EPI Thailand

The study, collection, and consulting of the experts from the sub-meeting and the associated agencies reported that Thailand has fewer grassland areas, and the grassland loss is unsuitable for the EPI Thailand operation. Thus, the data on the grassland issue is excluded, but the tree cover loss and wetland loss remain.

Besides, Thailand's context has massively used the service from the marine ecosystem, but there is no calculation on this matter by Yale University and Columbia University. Therefore, three systems in the marine ecosystem are combined additionally. However, the marine ecosystem cannot precisely measure the boundary because of high environmental factors and the difficulty in area loss measurement. Therefore, the evaluation corporation for Ecosystem Service from the ecosystem intact instead.

The Ecosystem Service of EPI Thailand, including 5 indicators as follows.

1) Tree Cover Loss

2) Wetland loss

3) Integrity of Mangrove Forests

4) Integrity of Seagrass

5) Integrity of Coral Reef

1) Tree Cover Loss

Regards the concept in preparation for the environmental performance index in Thailand's context (EPI Thailand), the calculation of the **Tree Cover Loss** uses the formula equation and the variables for the biological ecosystem protection calculation as similar to the calculation of Yale University and Columbia University (EPI 2020). Moreover, the same data set is similarly used with the environmental performance index using the data from Thailand's agency (EPI+) as detailed shown in 6.1 article.

2) Wetland loss

The operation of the Wetland Loss is similar to the Tree Cover Loss, employing the same equation formula and the variables of the calculation of Yale University and Columbia University (EPI 2020). Moreover, the same data set is similarly used with the environmental performance index using the data from Thailand's agency (EPI+), as shown in the 6.3 article.

3) Integrity of Mangrove Forests

The integrity of Mangrove Forests is an abundant biomass production and carbon storage in a mangrove forest that is an excellent indicator of ecosystem service. The generous levels of mangrove forests are classified into three levels (Faculty of Forestry, 2009).

1) *low abundant level of mangrove forest* is mangrove tree communities containing carbon storage in total biomass lesser than 47.89 tons per hectare
2) *moderate abundant level of mangrove forest* is mangrove tree communities containing carbon storage in total biomass in a range from 47.89 to 92.96 tons per hectare
3) *high abundant level of mangrove forest* is mangrove tree communities containing carbon storage in total biomass over 92.96 tons per hectare

The **integrity of Mangrove Forests** considers a ratio of productive high level of mangrove forest not lesser than one out of three of mangrove forest area (Best Performance = 33% and Worst Performance = 0)

$$MCI = \left(\frac{M_{CR}/M_T}{0.33}\right) \times 100 \quad (23)$$

Where;

MCI = the mangrove forest abundance is evaluated from the biomass production and the carbon storage (%)

M_{CR} = the area of very abundant mangrove forest (square kilometer)

M_T = the total mangrove forest area (square kilometer)

4) Integrity of Seagrass

The integrity of Seagrass is defined as a large percentage of the Area covered by Seagrass at 51 to 75 per cent. The highest indicator score is 100,

while 0 is the lowest score. If the computed score is 100, the result means that the good abundant condition of seagrass resources in the recent year will increase one-fold compared with the data of the excellent condition of the previous year.

$$\frac{\left(x_{previous\ year}+\left(x_{recent\ year}-x_{previous\ year}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{previous\ year}\right)} \quad (24)$$

Where;

x = the good Integrity of Seagrass

5) Integrity of Coral Reef

The Integrity of Coral Reef is defined as the proportion of covering an area of (Lived Coral: LC) and (Dead Coral: DC). The percentage of the total Area in the indicator considers from criteria the good abundant condition of a coral reef or the proportion between covering an area of LC and DC at 2:1. The highest indicator score is 100, while 0 is the lowest score. If the computed score is 100, the result implies that the good abundant condition of the coral reef in the recent year will increase one-fold compared with the data of the superb condition of the previous year.

$$\frac{\left(x_{previous\ year}+\left(x_{recent\ year}-x_{previous\ year}\right)\right)\times 100}{\left(2\times x_{previous\ year}\right)} \quad (25)$$

Where;

x = the good Integrity of Coral Reef

Table 18 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Ecosystem Service.

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	Tree Cover Loss		**Tree Cover Loss**
Data	Forest area data	Forest area data	Forest area data
Data sources / Agencies	Global Forest Watch	Royal Forest Department	Royal Forest Department
	Grassland Loss		
Data	Grassland area data	Grassland area data	
Data sources / Agencies	European Space Agency	Land Development Department	
	Wetland Loss		**Wetland Loss**
Data	Wetland data	Wetland data	Wetland data
Data sources / Agencies	European Space Agency	Land Development Department, Department of Water Resource	Land Development Department, Department of Water Resource
			Integrity of Mangrove Forests
Data			The abundant data on mangrove forest
Data sources / Agencies			Department of Marine and Coastal Resources
			Integrity of Seagrass
Data			The abundant data on seagrass resources
Data sources / Agencies			Department of Marine and Coastal Resources
			Integrity of Coral Reef
Data			The abundant data on coral reef
Data sources / Agencies			Department of Marine and Coastal Resources

7 Fisheries

7. Fisheries

The Fisheries in preparing the environmental performance index by Yale University and Columbia University in EPI 2020 is divided into three indicators.

1) Fish Stock Status

2) Regional Marine Trophic Index

3) Fish Caught by Trawling

and as detailed follows.

7 Fisheries

Fish Stock Status

7.1 Fish Stock Status

The Fish Stock Status (FSS) is defined as the percentage of a country's total catch that come overexploited or collapsed fish stock, base on an assessment of all fish stock caught within a country's exclusive economic zone (EEZ). Based on this concept, a country should decrease or limit catches from overexploited or collapsed fish stock. As reporting the EPI 2020 score, the data used in the calculation includes two parts.

1) data of Fish Stock Class (FSC) condition is classified into five levels: 1 = collapsed, 2 = Overexploited, 3 = Exploited, 4 = Developing, and 5 = Rebuilding.

2) data of Catch (CTH) quantity as equation

$$FSS = \frac{\sum_e \left[FSC_{k=1,e} \times CTH_e\right] + \sum_e \left[FSC_{k=2,e} \times CTH_e\right]}{\sum_e CTH_e} \quad (26)$$

Where;

FSS = Fish Stock Status

FSC = Fish Stock Class

CTH = Catch

Consider the resource condition of EPI 2020 using data from Sea Around Us by classifying the exploited condition following Kleisner and Pauly (2015), as shown in Table 19.

Table 19 Conditions for determining resources status.

Criteria	Score	condition
Rebuilding	5	Year of landing > year of post-max. min landing AND post-max. min. landing < 10% of max. landing AND landing is 10-50% of max. landing
Developing	4	Year of landing < year of max. landing AND landing is < or = 50% of max. landing OR year of max. landing = final year of landing
Exploited	3	Landing > 50% of max. landing
Overexploited	2	Year of landing > year of max. landing AND landing is between 10-50% of max. landing
Collapsed	1	Year of landing > year of max. landing AND landing is < 10% of max. landing

Source: Kleisner and Pauly, 2015

The calculation of EPI 2020 is cited from data set from Sea Around Us (www.seaaroundus.org). Considering the condition is used data set from 1950 to 2014. When calculating following the method of Sea Around Us, the obtained scores are indifferent because of two reasons as: data of the catch at Sea Around Us comes from FAO, which is obtained from the Department

of Fisheries. However, both FAO and Sea Around Us transform data before calculating FSS.

In addition, the mentioned data is the previous data set before Thailand resolved various problems of illegal, unreported and unregulated fishing (IUU Fishing). The data shown in the fisheries statistics of Thailand include the number of aquatic animals caught by Thai fishing vessels from oversea fisheries combined with the catch from EEZ. Consequently, the evaluated score of EPI 2020 was 3.3.

Fish Stock Status for EPI+

Thailand's using data for the fish stock status is the data on the catch of aquatic animal from five groups: pelagic fish, demersal fish, shrimp, crab, and squid from the Department of Fisheries. The data set was from 2012 to 2020. The evaluated score was 100, as shown in Table 20.

Table 20 Data and score of Fish Stock Status

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	the quantity of fish caught	Sea Around Us	**3.3** (1950 - 2014)
EPI+	the quantity of fish caught	Department of Fisheries	**100** (2012 - 2020)

7 Fisheries

Regional Marine Trophic Index

7.2 Regional Marine Trophic Index

Regional Marine Trophic Index (RMS) is defined as the degree to which country id depleting species at higher trophic levels and fishing down the food web, indicating the health of a country's fishing stock based on expected cate and change overtime.

The data used in the calculation consist of the catch of aquatic animal in Thailand and the Regional Marine Trophic. There were used to calculate the slope of RMTI from the year with the highest value to 2014, based on information from the Sea Around Us (www.seaaroundus.org).

Regional Marine Trophic Index for EPI+

Evaluating the regional marine trophic index following the study of Yale University and Columbia University uses the data of fish catch and marine trophic from Sea Around Us. From coordinating with the website administrator inquiring about the data set used and formula equation, it was found that the administrator could not reveal the calculating method. They can only explains the operational concept in using the fish catch and marine trophic data. Based on the study, data collection, and consulting with experts and various associated agencies, it was found that Thailand has not evaluated

the marine trophic index. Therefore, in this study the Regional Marine Trophic Index scores reported by Yale University and Columbia University, relying on the database of Sea Around Us, were used as an indicator for Regional Marine Trophic Index which employed the score of 23.7.

Table 21 Data and score of Regional Marine Trophic Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Regional Marine Trophic Index (RMTI)	Sea Around Us	**23.7** (2014)
EPI+	Regional Marine Trophic Index (RMTI)	Sea Around Us	**23.7** (2014)

7 Fisheries

Fish Caught by Trawling

7.3 Fish Caught by Trawling

Fish caught by trawling (FGT) is the percentage of fish caught by bottom or pelagic trawling per total fish caught in Thailand's EEZ.

Data used to calculate fish caught by trawling consist of fish catch by gear type in EEZ (FGT), and fish catch (Catch: CTH). Fishing gears are classified into five groups: bottom trawling, pelagic trawling, gillnets, longline, and other. as shown in the equation

$$FGT = \frac{\sum_{g=1}^{2} \sum_{e} FGT_{eg}}{\sum_{e} CTH_{e}} \quad (27)$$

Where;

FGT = Caught by gear type and EEZ

CTH = Caught by EEZ

Fish Caught by the Trawling for EPI+

Calculating the score of the Fish Caught by Trawling uses data of fish catch, classified by Thailand's fishing gears from the Department of Fisheries, to compute the percentage of fish catch by trawling following equation 27. The obtained score is 4.4, which differs from the EPI 2020 score of 5.5 because EPI 2020 uses a data from Sea Around Us which comes from FAO. FAO

obtained data from the Department of Fisheries. However, both FAO and Sea Around Us transform data before calculating in the equation.

Table 22 Data and score of Fish Caught by Trawling

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	the quantity of fish caught by various fishery gears	Sea Around Us	**5.5** (1950 - 2014)
EPI+	the quantity of fish caught by various fishery gears	Department of Fisheries	**4.4** (2020)

7 Fisheries

Concept in preparation for EPI Thailand

7.4 Concept in preparation for EPI Thailand

Based on data collection, and consulting with experts and representatives of associated agencies concerning fishery issues, it was agree that the Fish Stock Status, which is the original indicator according to the EPI 2020 should be retained. However, Marine Trophic Index should not be used because of the data limitation and the difficulty to access equation formula as well as Fish Caught by Trawling because this indicator does not reflect Thailand's fishery management efforts after 2015. Therefore, the data on the Abundance of Demersal Fauna (ADF), which reflects the progress in the management of Thailand's fishery resources, was selected to be an indicator. This is partly a result of regulating the trawling fishery and controlling the fishery activities by issuing the fisheries permit to balance the fishery resources that are available in Thailand at the time, as detailed follows.

1) Fish Stock Status

Regards the concept in preparation for EPI Thailand, calculating the ***fish stock status*** uses the equation formula and variable similar to Yale University and Columbia University (EPI 2020) and the data set uses

Thailand's data set as similar to the environmental performance index from Thailand's agency (EPI+), as detailed shown in 7.1.

2) Abundance of Demersal Fauna (ADF)

Demersal fauna are more sedentary than pelagic fish, and most of the products are obtain from trawling fishery which reflects the management of Demersal fauna resources in Thailand. Therefore, guidelines for the preparation of data were proposed as detailed follows.

The abundance of Demersal Fauna (ADF) is defined as the percentage of demersal fauna catch per unit of effort (CPUE) at the calculating year, divided by demersal fauna catch per unit of effort (CPUE) at the Maximum Sustainable Yield (MSY).

$$ADF = \frac{CPUE_i}{CPUE_{msy}} \quad (28)$$

Where;

ADF = Abundance of Demersal Fauna

$CPUE_i$ = Catch per unit of effort at the calculating year

$CPUE_{msy}$= demersal fauna catch per unit of effort (CPUE) at the Maximum Sustainable Yield

Calculating the catch per unit of effort as equation follows

$$CPUE_i = \frac{CATCH_i}{EFFORT} \quad (29)$$

Where;

$CATCH_i$ = Total catch of demersal fish, trash fish, shrimp, crab, squid, shell, and krill of an exciting year

Effort = Catch per unit of effort is total catching of demersal fauna in the studying year with CPUE score of survey vessel of Department of Fishery

Table 23 Summary of data set for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Fisheries.

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	Fish Stock Status		**Fish Stock Status**
Data	the quantity of fish caught	the quantity of fish caught	the quantity of fish caught
Data sources / Agencies	Sea Around Us	Department of Fisheries	Department of Fisheries
	Marine Trophic Index		
Data	Regional Marine Trophic Index	Regional Marine Trophic Index	
Data sources / Agencies	Sea Around Us	Sea Around Us	
	Fish Caught by Trawling		
Data	the quantity of fish caught by various fishery gears	the quantity of fish caught by various fishery gears	
Data sources / Agencies	Sea Around Us	Department of Fisheries	
			Abundance of Demersal Fauna
Data			quantity of demersal fauna caught and catch per unit
Data sources / Agencies			Department of Fisheries

8 Climate Change

8. Climate Change

Among the environmental performance index (EPI) by Yale and Columbia Universities, climate change is one of the most important indices, receiving the relatively high scores or weighing scores throughout the EPI assessing period. In this handbook, the 2020 methodology is adopted to determine EPI score for Thailand.

To evaluate EPI score on Climate Change using the 2020 methodology, the required data is greenhouse gas (GHG) emissions from all sectors, obtained from the estimation using the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Previous EPI reports on climate change are initially emphasized on sustainable energy in the 2006 report, while during the 2008 to 2018 reports the index is on climate and energy. Until the EPI 2020 report, the index is directly on climate change. As a result, the diverse indices are adopted to estimate EPI score on climate change, including indicators on energy and climate (e.g., energy efficiency, alternative energy, carbon dioxide emission from power generation and industrials, various GHG emissions.

Based on extensive review, GHG emissions in total and by gas have been reported in the national GHG inventory of Thailand since 1994.' At

present, Thailand's National Communications are performed continuously from 2000 until now. The Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (ONEP) is a national focal point under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). ONEP is responsible for the collaboration with the more than 40 relevant agencies for activity data and preparing the Biennial Update Reports (BURs) for every two years and the National Communications (NCs) for every four years.

In this handbook, data obtained from the ONEP is adopted to assess EPI score on climate change, due to using the IPCC methodology for estimating GHG emissions and removals, in accordance with the method by Yale and Columbia Universities. Additional data is obtained from the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Office of the National Economic and Social Development Council (NESDC), and National Statistical Office (NSO).

In the EPI 2020 methodology, GHG growth rate is a slope obtained from the linear relationship between GHG emission and time, so called averaged GHG emission per year. Details are as following.

1) Unadjusted growth rate is directly adopted when there is a positive relationship between GHG emission and time or GHG emission increases with time.
2) Unadjusted growth rate is calculated into adjusted growth rate when there is a negative relationship between GHG emissions and time GHG emissions decrease with time. Adjusted a growth rate is also calculated by using slope and the Spearman's correlation

coefficient, derived from GHG emissions and gross domestic product (GDP).

Additional required data to calculate GHG emission rate, fluorinated gases (F-gas), black carbon, forest cover change, are provided in the following section.

8 Climate Change

Carbon Dioxide (CO_2) Growth Rate

8.1 CO_2 Growth Rate

CO_2 growth rate (CDA) is the rate of CO_2 emission with time. The GHG (CO_2) emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The CO_2 emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF).

CO_2 growth rate is calculated from all CO_2 emissions in Thailand, excluding LULUCF, called CDO. CDO is then log-transformed to "ln CDO" The relationship between ln CDO and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate CDB from the equation of CDB = exp (β) -1.

The CDB is directly used as CDA when CDB is ≥ 0. If CDB < 0, CDA is calculated by using the equation of CDA = CDB x (1 – CDR). CDR is obtained from the relationship between CDO and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(CDO) = \alpha + \beta t$$
$$CDB = exp(\beta) - 1$$
$$CDA = \begin{cases} CDB \text{ if } CDB \geq 0 \\ CDB \times (1 - CDR) \text{ if } CDB < 0 \end{cases}$$
$$CDR = corr(CDO, GDP) \quad (30)$$

Where;

CDR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

CDO = Emissions of carbon dioxide

CDB = Carbon dioxide growth rate

CDA = Adjusted carbon dioxide emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained CDA is then ranked in according to the best and worst CDA from all countries Finally, the score of CO_2 growth rate is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0759	-0.0759
Worst	95th percentile	0.1003

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research during 2008 to 2017. The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is 38.2.

CO_2 Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the CO_2 growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained CO_2 growth rate for EPI+, Thailand's score is 48.7, which is higher than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (38.2), as shown in Table 24. The pattern of CO_2 emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by Potsdam Institute for Climate Impact Research. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different.

Table 24 Data and score of CO_2 Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	CO_2 growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**38.2** (2008 -2017)
EPI+	- CO_2 emission rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**48.7** (2007 -2016)

8 Climate Change

Methane (CH_4) Growth Rate

8.2 CH_4 Growth Rate

CH_4 growth rate (CHA) is the rate of CH_4 emission with time. The GHG (CH_4) emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The CH_4 emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF).

CH_4 growth rate is calculated from all CH_4 emissions in Thailand, excluding LULUCF, called CH_4. CH_4 is then log-transformed to "ln CH_4" The relationship between ln CH_4 and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate CHB from the equation of CHB = exp (β) -1.

The CHB is directly used as CHA when CHB is ≥ 0. If CHB < 0, CHA is calculated by using the equation of CHA = CHB x (1 – CHR). CHR is obtained from the relationship between CH_4 and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(CH_4) = \alpha + \beta t$$
$$CHB = exp(\beta) - 1$$
$$CHA = \begin{cases} CHB \; if \; CHB \geq 0 \\ CHB \times (1 - CHR) \; if \; CHB < 0 \end{cases}$$
$$CHR = corr(CH_4, GDP) \qquad (31)$$

Where;

CHR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

CH_4 = Emissions of methane

CHB = Methane emission growth rate

CHA = Adjusted methane emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained CHA is then ranked in according to the best and worst CHDA from all countries Finally, the score of CH_4 growth rate is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0107	-0.0107
Worst	95th percentile	0.0512

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on CH_4 growth rate is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research during 2008 to 2017. The EPI 2020 score on CH_4 growth rate is 85.4.

CH_4 Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the CH_4 growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 has been approved by the National

Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained CH_4 growth rate for EPI+, Thailand's score is 100, which is higher than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (85.4), as shown in Table 25. The pattern of CH_4 emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by Potsdam Institute for Climate Impact Research. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different. Despite trends of data used for EPI 2020 (2008 - 2017) and EPI+ (2007 - 2016) are not consistent, a similar data pattern is observed during 2010 to 2016.

Table 25 Data and score of CH_4 Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Methane growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**85.4** (2008 -2017)
EPI+	- CH_4 emission rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**100** (2007 -2016)

8 Climate Change

Nitrogen dioxide (N_2O) Growth Rate

8.3 N_2O Growth Rate

N_2O growth rate (NDA) is the rate of N_2O emission with time. The GHG (N_2O) emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The N_2O emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF).

N_2O growth rate is calculated from all N_2O emissions in Thailand, excluding LULUCF, called NOT. NOT is then log-transformed to "ln NOT" The relationship between ln NOT and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate NDB from the equation of NDB = exp (β) -1.

The NDB is directly used as NDA when NDB is ≥ 0. If NDB < 0, NDA is calculated by using the equation of NDA = NDB x (1 – NDR). NDR is obtained from the relationship between NDO and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(NOT) = \alpha + \beta t$$

$$NDB = exp(\beta) - 1$$

$$NDA = \begin{cases} NDB \; if \; NDB \geq 0 \\ NDB \times (1 - NDR) \; if \; NDB < 0 \end{cases}$$

$$NDR = corr(NOT, GDP) \quad (32)$$

Where;

NDR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

NOT = Emissions of nitrous oxide

NDB = Nitrous oxide emission growth rate

NDA = Adjusted nitrous oxide emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained NDA is then ranked in according to the best and worst NDA from all countries Finally, the score of N_2O growth rate is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0195	-0.0195
Worst	95th percentile	0.0525

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on N_2O growth rate is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research during 2008 to 2017. The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is 65.7.

N_2O Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the N_2O growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained N_2O growth rate for EPI+, Thailand's score is 57.9, which is lesser than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (65.7), as shown in Table 26. The pattern of N_2O emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by Potsdam Institute for Climate Impact Research. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different.

Table 26 Data and score of N_2O Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	N_2O growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**65.7** (2008 -2017)
EPI+	- N_2O emission rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**57.9** (2007 -2016)

8 Climate Change

Fluorinated gas (F-gas) Growth Rate

8.4 F-gas Growth Rate

F-gas Growth Rate (FGA) is the rate of fluorinated gas emissions with time. The GHG (F-gas) emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The Fluorinated gas emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF). According to the EPI 2020 by Yale and Columbia University, F-gases included HFCs, PFCs, and SF_6 obtained from the Industrial Processes and Product Use sector (IPPU).

F-gas growth rate is calculated from all F-gas emissions in Thailand, excluding LULUCF, called FOG. FOG is then log-transformed to "ln FOG" The relationship between ln FOG and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate FGB from the equation of FGB = exp (β) -1. The FGB is directly used as FGA. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(FOG) = \alpha + \beta t$$
$$FGB = exp(\beta) - 1$$
$$FGA = FGB \quad (33)$$

Where;

FOG = Emissions of fluorinated gas

FGB = Fluorinated gas emission growth rate

FGA = Adjusted fluorinated gas emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Year

The obtained FGA is then ranked in according to the best and worst FGA from all countries Finally, the score of F-gas growth rate is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.9366

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on F-gas growth rate is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research during 2008 to 2017. The EPI 2020 score on F-gas growth rate is 94.4.

F-gas Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the CO_2 growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained F-gas

growth rate for EPI+, Thailand's score is 83.0, which is lesser than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (94.4), as shown in Table 27. The pattern of F-gas emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by Potsdam Institute for Climate Impact Research. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different.

Table 27 Data and score of F-gas Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	F-gasses growth rate	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**94.4** (2008 -2017)
EPI+	F-gas emission rate	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning	**83.0** (2007 -2016)

8 Climate Change

Black Carbon Growth Rate

8.5 Black Carbon Growth Rate

Black Carbon Growth Rate (BCA) is the rate of black carbon emission with time. The black carbon emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. According to the EPI 2020 by Yale and Columbia Universities, sources of black carbon considered are obtained from the Energy and Waste sectors.

Black Carbon growth rate is calculated from all black carbon emissions in Thailand, called BLC. BLC is then log-transformed to "ln BLC" The relationship between ln BLC and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate NDB from the equation of BCB = exp (β) -1.

The BCB is directly used as BCA when BCB is ≥ 0. If BCB < 0, BCA is calculated by using the equation of BCA = BCB x (1 – BCR). BCR is obtained from the relationship between BLC and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(BLC) = \alpha + \beta t$$
$$BCB = exp(\beta) - 1$$
$$BCA = \begin{cases} BCB \; if \; CDB \geq 0 \\ BDB \times (1 - BCR) \; if \; BDB < 0 \end{cases}$$
$$BCR = corr(BLC, GDP) \quad (34)$$

Where;

BCR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

BLC = Emissions of black carbon

BCB = Black carbon emission growth rate

BCA = Adjusted black carbon emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained BCA is then ranked in according to the best and worst BCA from all countries Finally, the score of Black Carbon growth rate is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0187	-0.0187
Worst	95th percentile	0.0526

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on Black Carbon growth rate is derived from the data by The Community Emissions Data System (CEDS) during 2005 to 2014. The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is 42.6.

Black Carbon Growth Rate for EPI+

Literature reviews on estimating black carbon in Thailand reveal that official data is unavailable and reported. Methodology to estimate the emission of black carbon is similar to the IPCC Guidelines for GHG emissions, which is the multiplication between activity data and emission factor of GHGs (or black carbon). Emission sources for black carbon in the EPI 2020 are fuel combustions from the Energy sector and waste incineration from the Waste sector. In addition, black carbon from biomass burning in the Agriculture and LULUCF sectors is also significant but being available in research articles and not being an official data of Thailand.

Based on the above reasons, estimating black carbon emission for EPI+ in Climate Change is scoped into three categories according to the 2006 IPCC Guidelines as the following.

1) Fuel combustion in the Energy sector is estimated by gathering the fuel consumptions from Thailand Energy Balance by the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) and adopted the emission factors and other coefficients from references used in Yale and Columbia Universities.
2) Biomass burning from agricultural and forest lands is used to estimate GHGs and precursor gases from this activity according to the National GHG Inventory of Thailand (3C1b and 3C1b). Hence, CO emission from biomass burning is adopted to recalculate the activity data (biomass burnt). This biomass burnt data is then multiply with emission factors from the references.

3) Waste combustion by incineration is used to estimate GHGs and precursor gases according to the National GHG Inventory of Thailand (4C). To determine the emission of black carbon of this activity, proxy method is applied to find the appropriate equation or good regression coefficient (r^2) between emissions of black carbon and CO_2, by using Thailand's data from Yale and Columbia Universities. The calculated r^2 is 0.96 obtained from the linear equation between these two variables. The developed equation is then used to estimate black carbon emissions from CO_2 emission data in this subcategory in Thailand's GHG Inventory.

Data on GHG emissions from the National Inventory by the ONEP and data from the DEDE is used to calculate the black carbon growth rate and scoring according to the EPI 2020 methodology by using the data set from 2007 to 2016. As a result, Thailand's score of black carbon growth rate is 72.3, which differs from the EPI 2020 score of 42.6, as shown in Table 28. These black carbon scores are different. Due to unavailable data on black carbon in Thailand's National GHG Inventory, EPI of black carbon by Yale and Columbia Universities is estimated by transforming the inventory data submitted to UNFCCC into the same 2006 IPCC GLs, as presented in the Community Emissions Data Systems. This transformed data of black carbon is used to calculate the black carbon growth rate based on some assumptions. For EPI+, black carbon emission is directly obtained from Thailand's governmental agencies for activity data of the Energy and Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU) sectors and for the proxy data of the Waste sectors. As a

result, the data used to estimate black carbon emissions in this study are broader than the Yale and Columbia Universities. In addition, black carbon emissions from biomass burning in the AFOLU are more variated than from the Energy sector.

Table 28 Data and score of Black Carbon Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Black Carbon growth rate	Community Emissions Data Systems	**42.6** (2005 -2014)
EPI+	- data on the fuel quantity of the energy sector	- Department of Alternative Energy Development and Efficiency	**72.3** (2007 -2016)
	- data on the gas emission from burning of the agricultural biomass, forest, land use sectors, and garbage incineration in the incinerator of the waste sector	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning	
	- Gross domestic product	- Office of the National Economics and Social Development Council	

8 Climate Change

Carbon dioxide (CO_2) Emission from Land Cover

8.6 CO_2 Emission from Land Cover

CO_2 Emission from Land Cover (LCB) is the rate of CO_2 emission from land cover change with time. The CO_2 emission from land cover change is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. According to the EPI 2020 by Yale and Columbia Universities, sources of CO_2 emission from land cover change considered are obtained from above-ground biomass, underground biomass, and dead tree, and estimating CO_2 emission by using the IPCC default emission factor.

Source of CO_2 emission from land cover change by Yale and Columbia Universities is obtained from the FLINT system by Mullion Group in Australia. To estimate the emission, data on forest cover change from Hansen et al. (2013) and IPCC tier 1 emission factors (Eggleston et al., 2006) are applied for changes in aboveground and belowground biomass and dead organic matter only for the forest lands.

CO_2 emission from the land cover is calculated from all CO_2 emission from the land cover in Thailand, called CDL. CDL is then log-transformed to “ln CDL” The relationship between ln CDL and time is performed, and the

linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate LCB from the equation of LCB = exp (β) -1.

$$\ln(CDL) = \alpha + \beta t$$
$$LCB = exp(\beta) - 1 \quad (35)$$

Where;

CDL = CO_2 emissions from land cover change (LULC)

LCB = CO_2 Emission from land cover emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained LCB is then ranked in according to the best and worst CDA from all countries Finally, the score of CO_2 Emission from Land Cover is obtained.

Performance	Nominal	Raw
Best	5th percentile	-0.0786
Worst	95th percentile	0.1685

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on CO_2 Emission from Land Cover is derived from the data by Mullion Group during 2001 to 2015. The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is 35.5.

CO_2 Emission from Land Cover for EPI+

Based on data reviewing in Thailand, CO_2 emissions from the Forest lands Converted to Croplands (3B2b) and to Other Land Uses (3B6b) reported in the National GHG Inventory with the 2006 IPCC GLs by the ONEP, are closely related to the data used by Yale and Columbia Universities.

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the CO_2 emission from land cover for EPI+ (2020) in this handbook. These data from 2005 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained CO_2 emission from land cover for EPI+, Thailand's score is 85.7, which is higher than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (35.5), as shown in Table 29. This differ is because Yale and Columbia Universities adopted the data on forest cover change from the downscaling FAOSTAT data, while EPI+ data is obtained from different method reported by the responsible agency. In addition, the data during 2014 - 2015 is widely different between these two data sources.

Table 29 Data and score of CO_2 Emission from Land Cover

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	CO_2 emissions from land cover change (LULC)	FLINTpro®	**35.5** (2001 -2015)
EPI+	CO_2 emission from land cover rate	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning	**85.7** (2005 -2016)

8 Climate Change

Greenhouse gas per Capita

8.7 GHG per Capita

GHG per Capita (GIB) is defined as the total greenhouse gas emissions per head. The GHGs (CO_2, CH_4, N_2O and F-gases) emitted are from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The GHG emissions in $GgCO_2eq$ from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF). Total GHG emissions are then divided by population.

GHG per Capita (GIB) is calculated from total GHG emissions from all sectors in Thailand, excluding LULUCF. Total GHG emissions including CO_2, CH_4, N_2O and F-gases, is derived from multiplying the emissions with global warming potential (GWP) of each gas, which is 25 and 298 for CH_4 and N_2O, respectively. Then the GHP is calculated by using the following equations.

$$GHG = CDO + FOG + 298 \times NOT + 25 \times CH4$$
$$GHP = GHG \div POP \quad (36)$$

Where;

CDO = Emissions of carbon dioxide

FOG = Emissions of fluorinated gas

NOT = Emissions of nitrous oxide

CH4 = Emissions of methane

GHG = Total greenhouse gas emissions

POP = Population

GHP = Emissions of GHG

Values of 25 and 298 = The GWP of methane and nitrous oxide, respectively

The obtained GHP is computed to become a score to compare with GHP scores of other countries, evaluated with the best and the worst scores as follows.

Performance	Nominal	Raw	Transformed
Best	5th percentile	0.001	-6.9467
Worst	95th percentile	0.0225	-3.7924

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on GHG per Capita is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research in 2017. The EPI 2020 score on CO_2 growth rate is 37.7.

GHG per Capita for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions (CO_2, CH_4, N_2O and F-gases) by the ONEP are used to calculate the GHG per Capital for EPI+ in this handbook. The estimation is performed according to the EPI 2020 method and adopted the data in 2016, which GHG data has been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC) and annual population data is

from the Department of Provincial Administration. Based on the obtained the GHG per Capital rate for EPI+, Thailand's score is 44.9, which is higher than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (37.7), as shown in Table 30. This different score of GHP is due to different data sources between EPI+ and EPI 2020 by Yale University's and Columbia University. In addition, this difference is an overall change of each greenhouse gas as described previously.

Table 30 Data and score of GHG per Capita

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	GHG emissions per capita	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**37.7** (2017)
EPI+	- GHG emission rate - Population number	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Department of Provincial Administration	**44.9** (2016)

8 Climate Change

Greenhouse gas Intensity Trend

8.8 GHG Intensity Trend

GHG Intensity Trend (GHP) is the rate of total GHG emissions per Gross domestic product (GDP) with time. The GHGs (CO_2, CH_4, N_2O and F-gases) emitted are from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The GHG emissions in $GgCO_2eq$ from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF). Total GHG emissions are then divided by GDP, called GHI. GHI is then log-transformed to "ln GHI" The relationship between ln GHI and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate GIB from the equation of GIB = exp (β) -1. All of the mentioned equations are shown as follows.

The GIB rate is calculated from all F-gas emissions in Thailand, excluding LULUCF, called GHI. GHI is then log-transformed to "ln GHI" The relationship between ln GHI and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate GIB from the equation of GIB = exp (β) -1. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$GHG = CDO + FOG + 298 \times NOT + 25 \times CH4$$

$$GHI = GHG \div GDP$$

$$\ln(GHI) = \alpha + \beta t$$
$$GIB = exp(\beta) - 1 \quad (37)$$

Where;

CDO = Emissions of carbon dioxide

FOG = Emissions of fluorinated gas

NOT = Emissions of nitrous oxide

CH4 = Emissions of methane

GHG = Total greenhouse gas emissions

GDP = Gross Domestic Product

GHI = GHG Intensity

GIB = GHG emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained GIB is computed to become a score to compare with GIB scores of other countries, evaluated with the best and the worst scores as follows.

Performance	Nominal	Raw
Best	5th percentile	-0.0673
Worst	95th percentile	0.0297

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on GHG Intensity Trend is derived from the data by Potsdam Institute for Climate Impact Research during 2008 to 2017. The EPI 2020 score on GHG Intensity Trend is 40.4.

GHG Intensity Trend for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions (CO_2, CH_4, N_2O and F-gases) by the ONEP are used to calculate the GHG Intensity Trend for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained GHG Intensity Trend for EPI+, Thailand's score is 50.2, which is higher than the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (40.4), as shown in Table 31. This differed score is due to different data source used in the EPI+ from the national GHG inventory of Thailand and EPI 2020 by Yale and Columbia Universities. Despite this different data source, the pattern of GHG Intensity Trend between EPI 2020 and EPI+ is consistent.

Table 31 Data and score of GHG Intensity Trend

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	GHG intensity trend	Potsdam Institute for Climate Impact Research	**40.4** (2008 -2017)
EPI+	- GHG emission rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**50.2** (2007 -2016)

8 Climate Change

Concept in preparation for EPI Thailand

8.9 Concept in preparation for EPI Thailand

Based on the EPI 2020 methodology for Climate Change by Yale and Columbia Universities along with the discussion by the experts from the relevant agencies, it is appropriate to adopt all 8 EPIs in Climate Change for assessing EPI Thailand in this handbook. The methodology and data sources used are described in the EPI+ above.

Table 32 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Climate Change.

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	CO_2 Growth Rate	
Data	CO_2 growth rate	1. CO_2 emission rate 2. gross domestic product data
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economic and Social Development Council
	CH_4 Growth Rate	
Data	Methane growth rate	1. CH_4 emission rate 2. gross domestic product data
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economic and Social Development Council
	N_2O Growth Rate	
Data	N_2O growth rate	1. N_2O emission rate 2. gross domestic product data
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economics and Social Development Council
	F-gas Growth Rate	
Data	F-gasses growth rate	F-gas emission rate
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning
	Black Carbon Growth Rate	
Data	Black Carbon growth rate	1. data on the fuel quantity of the energy sector

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
		2. data on the gas emission from burning of the agricultural biomass, forest, land use sectors, and garbage incineration in the incinerator of the waste sector 3. gross domestic product data
Data sources / Agencies	Community Emissions Data Systems	1. Department of Alternative Energy Development and Efficiency 2. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 3. Office of the National Economics and Social Development Council
	CO_2 Emission from Land Cover	
Data	CO_2 emissions from land cover change (LULC)	CO_2 emission from land cover rate
Data sources / Agencies	FLINTpro®	Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning
	GHG per Capita	
Data	GHG emissions per capita	1. GHG emission rate 2. data on the population number
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Department of Provincial Administration
	GHG Intensity Trend	
Data	GHG emissions per GDP	1. GHG emission rate 2. data on gross domestic product
Data sources / Agencies	Potsdam Institute for Climate Impact Research	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economics and Social Development Council

9 Pollution Emissions

9. Pollution Emissions

Reviewing the method for evaluating the EPI in Pollution Emission found that data on the evaluation for the EPI 2020 is the emissions of precursor gases from various sectors, including sulfur dioxide gas (SO_2) and oxides of nitrogen (NO_x) emitted from the relevant activities. To evaluate EPI score on Pollution Emission, the required data is the precursor gas emissions from all sectors, obtained from the estimation using the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Previous EPI reports on pollution emission are initially emphasized on air, air quality, air pollution or not being included in some years. Until the EPI 2020 report, the index is called pollution emission. As a result, the diverse indices are adopted to estimate EPI score on pollution emission, including indicators on air pollution, especially ambient air (e.g., ozone, particulate matter, SO_2, NO_x, non-methane volatile organic compounds (NMVOCs).

Based on extensive review, SO_2 and NO_x emissions have been reported in the national GHG inventory of Thailand, which is the same data source for the EPI+ on climate change. For the EPI 2020, EPI on pollution emission is composed of two indicators. Details are as the following.

9 Pollution Emissions

Sulfur dioxide (SO_2) Growth Rate

9.1 SO_2 Growth Rate

SO_2 Growth Rate (SDA) is the rate of SO_2 emission with time. The SO_2 emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The SO_2 emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF).

SO_2 growth rate is calculated from all SO_2 emissions in Thailand, excluding LULUCF, called SO_2. SO_2 is then log-transformed to "ln SO_2" The relationship between ln SO_2 and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate SDB from the equation of SDB = exp (β) -1.

The SDB is directly used as SDA when SDB is ≥ 0. If SDB < 0, SDA is calculated by using the equation of SDA = SDB x (1 – SDR). SDR is obtained from the relationship between SDO and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(SO_2) = \alpha + \beta t$$
$$SDB = exp(\beta) - 1$$
$$SDA = \begin{cases} SDB \; if \; SDB \geq 0 \\ SDB \times (1 - SDR) \; if \; SDB < 0 \end{cases}$$
$$SDR = corr(SO_2, GDP) \quad (38)$$

Where;

SDR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

SO_2 = Emissions of SO_2

SDB = SO_2 emission growth rate

SDA = Adjusted SO_2 emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained SDA is computed to become a score to compare with SDA scores of other countries, evaluated with the best and the worst scores as follows.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.111

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

Calculating EPI 2020 score uses data for calculating the SO_2 Growth Rate by The Community Emissions Data System (CEDS). The data set is from 2001 to 2015, and the computed score is 100.

SO_2 Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the SO_2 growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained SO_2 growth rate for EPI+, Thailand's score is 100, which is similar to the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (100), The pattern of NO_X emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by The CEDS. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different.

Despite of different data source, a similar decreasing trend of SO_2 emission is observed for data by Yale and Columbia Universities and Thailand's responsible agency. As a result, the SO_2 score is 100 for both data sources of the EPI 2020 and EPI+, as shown in Table 33.

Table 33 Data and score of SO_2 Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	SO_2 growth rate	CEDS	**100** (2001 -2015)
EPI+	- SO_2 Growth Rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**100** (2007 -2016)

9 Pollution Emissions

Nitrogen oxide (NO_x) Growth Rate

9.2 NO_x Growth Rate

NO_x Growth Rate (NXA) is the rate of NO_x emission with time. The NO_x emitted is from the anthropogenic activities as listed in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory. The NO_x emissions from all sectors are included, but not for the Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF).

NO_x growth rate is calculated from all NO_x emissions in Thailand, excluding LULUCF, called NO_x. NO_x is then log-transformed to "ln NO_x" The relationship between ln NO_x and time is performed, and the linear slope obtained is the growth rate or β value. Then the β is used to estimate SDB from the equation of NXB = exp (β) -1.

The NXB is directly used as NXA when NXB is ≥ 0. If NXB < 0, NXA is calculated by using the equation of NXA = NXB x (1 – NXR). NXR is obtained from the relationship between NO_x and GDP. All of the mentioned equations are shown as follows.

$$\ln(NO_x) = \alpha + \beta t$$
$$NXB = exp(\beta) - 1$$
$$NXA = \begin{cases} NXB \; if \; NXB \geq 0 \\ NXB \times (1 - NXR) \; if \; NXB < 0 \end{cases}$$
$$NXR = corr(NO_x, GDP) \quad (39)$$

Where;

NXR = Correlation coefficient

GDP = Gross Domestic Product

NO_x = Emissions of NO_X emission

NXB = NO_X emission growth rate

NXA = Adjusted NO_x emission growth rate

α = Intersection X-axis

β = Slope

t = Years

The obtained NXA is computed to become a score to compare with NXA scores of other countries, evaluated with the best and the worst scores as follows.

Performance	Nominal	Raw
Best	-0.0394	-0.0394
Worst	95th percentile	0.0892

Source: Wendling, Z. A., et al. (2020) (epi.yale.edu)

The EPI 2020 score on NO_X growth rate is derived from the data by The Community Emissions Data System (CEDS) during 2001 to 2015. The EPI 2020 score on NO_X growth rate is 57.4.

NO_x Growth Rate for EPI+

Data on Thailand's GHG emissions by the ONEP are used to calculate the SO_2 growth rate for EPI+ in this handbook, according to the EPI 2020 method. These data from 2007 to 2016 have been approved by the National Committee on Climate Change Policy (NCCC). Based on the obtained SO_2 growth rate for EPI+, Thailand's score is 57.6, which is close to the EPI 2020 score by the data from Yale and Columbia Universities (57.4), as shown in Table 34. The pattern of NO_X emissions between EPI 2020 and EPI+ is consistent. Despite the 2006 IPCC Guidelines is applied to estimate the GHG emissions, the EPI 2020 from Yale and Columbia Universities is derived from modelling the GHG emission data by the CEDS. For EPI+, GHG emissions are directly adopted from the national GHG inventory of Thailand. Due to different data sources for evaluating EPI 2020 and EPI+, the obtained scores for this EPI are different.

Table 34 Data and score of NO_x Growth Rate

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	NO_X growth rate	CEDS	**57.4** (2001 -2015)
EPI+	- NO_x Growth Rate - Gross domestic product	- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning - Office of the National Economics and Social Development Council	**57.6** (2007 -2016)

9 Pollution Emissions

Concept in preparation for EPI Thailand

9.3 Concept in preparation for EPI Thailand

Based on the EPI 2020 methodology for Pollution Emission by Yale and Columbia Universities along with the discussion by the experts from the relevant agencies, it is appropriate to adopt both two EPIs in Pollution Emission for assessing EPI Thailand in this handbook. The methodology and data sources used are described in the EPI+ above.

Table 35 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Pollution Emission.

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	SO_2 Growth Rate	
Data	SO_2 growth rate	1. SO_2 Growth Rate 2. data on gross domestic product
Data sources / Agencies	CEDS	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economics and Social Development Council
	NO_X Growth Rate	
Data	NO_X growth rate	1. NO_x Growth Rate 2. data on gross domestic product
Data sources / Agencies	CEDS	1. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning 2. Office of the National Economics and Social Development Council

10 Agriculture

10. Agriculture

The Agricultural of the EPI changes to use an indicator each year. Notably, from 2006 to 2014, data on Agricultural subsidies and Pesticide regulation were selected highlights. Later, in 2016, the selected indicators were Nitrogen Balance and Nitrogen Use Efficiency, and from 2018 to 2020, the indicator was the Sustainable Nitrogen Management Index (SNMI), as detailed.

10 Agriculture
Sustainable Nitrogen Management Index

10.1 Sustainable Nitrogen Management Index

The Sustainable Nitrogen Management Index (SNMI) is the environmentally efficient measurement of agricultural products and creates a Nitrogen Use Efficiency (NUE) balance, yielding the top products. The regulated, efficient condition in cultivating the crucial emphasizes nitrogen use efficiency (NUE) and land use efficiency (production quantity).

Nitrogen use efficiency (NUE) monitors the nitrogen use efficiency to produce agricultural products. The score is relatively positive with environmental efficiency. However, using the NUE score sets an efficient priority for individual countries under SDG2 with targets associated with the second development: stop starvation, achieve food stability, upgrade nutrition, increase nutrition and encourage agricultural activities. However, some problems remain due to many reasons.

1) NUE is the total score of nitrogen added to the soil, such as chemical fertilizer (Nfer), Manure fertilizer (Nman), the number of fixed nitrogen by beans (Nfix), accumulated nitrogen in the soil (Ndep), and the number of nitrogen stored in products (Nyeild). Commonly, the NUE score ranges from 0 to 1. Specifically, the score in a range from 0.5 to 0.9 implies that the nitrogen use efficiency loses a little nitrogen, but the NUE core is

possibly higher than 1 in case of lost nitrogen, stored with products and not adding nitrogen returns to the soil, leading to ruin soil and reduce soil intact and products.

2) The NUE score highly increases with little nitrogen fertilization yielding low products. In this case, it does not correspond with SDG2, which will diminish hunger.

Therefore, SNMI must consider two parts: NUE and NYeild, to arrange a score order in the agricultural aspect of individual countries.

Yale University's and Columbia University's data is used in preparing the Agricultural of EPI 2020, citing the University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES). The outcomes from Sustainable Nitrogen Management Index (Zhang and Davidson, 2019) are presented as shown calculating equation.

$$SNMI_{co} = \sqrt{(1 - NYield^{*}_{co})^2 + (1 - NUE^{*}_{co})^2} \quad (40)$$

Where;

$$NYield^{*}_{co} = \begin{cases} NYield_{co}/NYield_{ref} & (NYield_{co} \le NYield_{ref}) \\ 1 & (NYield_{co} > NYield_{ref}) \end{cases}$$

$$NUE^{*}_{co} = \begin{cases} NUE_{co} & (NUE_{co} \le 1) \\ 1 - (NUE_{co} - 1) & (1 < NUE_{co} \le 2) \\ 0 & (NUE_{co} > 2) \end{cases}$$

Specify a value of $\boldsymbol{NYield_{ref}}$ at 90 kg N ha^{-1} yr^{-1}

Calculating following the above equation uses the variable to compute the NUE score as a displayed equation.

$$NUE = \frac{N_{yield}}{N_{fer} + N_{man} + N_{fix} + N_{dep}} \quad (41)$$

Where;

N_{yield} = Harvested Nitrogen is the number of nitrogen stored in plant products, using the data on the total plant product quantity from FAOSTAT (Yco,cr,yr), and the nitrogen quantity in each plant ($NCcr$) from Bouwman et al. (2005) as shown equation.

$$Nyield,co,cr,yr = Yco,cr,yr * NCcr$$

Where; co = country, cr = crop, yr = year

N_{fer} = Nitrogen fertilizer is the number of the use of nitrogen fertilization which uses the data from FAOSTAT, containing the data on the fertilization use of individual countries from 1961 until nowadays. Moreover, using data on each plant's fertilization use rate from International Fertilization Association (IFA) (Heffer, 2013) as shown equation.

$$N_{fer,co,cr,yr} = nfer_IFA_{co,cr} * \frac{QN_{fer,co,yr}}{\sum_{cr}(nfer_IFA_{co,cr} * A_{co,cr,yr})} \quad (42)$$

N_{man} = Manure nitrogen is the number of the use of manure fertilizer per year of individual countries (Ramankutty et al., 2008; Bouwman et al., 2013).

N_{fix} = Fixed Nitrogen is the annual nitrogen fix rate (Zhang et al., 2015).

N_{dep} = Nitrogen deposition is the annual accumulated nitrogen rate of individual countries (Ramankutty et al., 2008; Bouwman et al., 2013).

When Yale University's raw data is monitored, the result finds that Yale University's data set, used for evaluating The EPI 2020, is data on the plant products from FAOSTAT in 2015. Thailand's score is 33.1.

Sustainable Nitrogen Management Index for EPI+

Regarding collecting the data and consulting with the experts and associated agencies, EPI+ uses Thailand's data for calculation.

N_{yield} Harvested Nitrogen is the nitrogen quantity stored in the plant product, and data is each plant's product quantity in 2020 by the Office of Agricultural Economic and Office of Cane and Sugar (Yco, cr, yr) and the individual plant's nitrogen quantity ($NCcr$) from Bouwman et al. (2005).

N_{fer} Nitrogen fertilizer is the number of nitrogen fertilizers used and data on the individual plant's plantation sites in 2020 by the Office of Agricultural Economic and Office of Cane and Sugar and each plant's fertilizer use by the Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives.

N_{man} Manure nitrogen is the number of each plant's annual manure fertilizer use, citing calculating method and predicting the score from Ramankutty et al. (2008) and Bouwman et al. (2013).

N_{fix} Fixed Nitrogen is the annual fixed nitrogen rate (Zhang et al., 2015) combined with data on the number of soybean products by the Office of Agricultural Economic.

N_{dep} Nitrogen deposition is the annual accumulated nitrogen of individual countries, citing the calculating method and predicting the score from Ramankutty et al. (2008) and Bouwman et al. (2013).

When Thailand's product quantity data and the individual plant's fertilizer use rate are computed for Sustainable Nitrogen Management Index and compared with the operational score at best – the worst level at 0 to 1.3641 following the regulated score of EPI 2020. Results show that the obtained score is 41.6, increasing by 8.5, resulting from using the recent data, as shown in Table 36.

Table 36 Data and score of Sustainable Nitrogen Management Index

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	SNMI	University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES)	**33.1** (2015)
EPI+	- plantation sites, harvest areas, and product quantity - plantation sites, harvest areas, and product quantity, especially cane - the individual plant's fertilizer use quantity (data is a constant score) - the manure use quantity and the annual accumulated nitrogen rate - the annual fixed nitrogen rate	- Office of Agricultural Economics - Office of Cane and Sugar Board - Department of Agriculture - Bouwman et al., 2013 - Zhang et al., 2015	**41.6** (2020)

10 Agriculture
Concept in preparation for EPI Thailand

10.2 Concept in preparation for EPI Thailand

The EPI Thailand is created to reflect the nation's operational results. For example, EPI Thailand uses Sustainable Nitrogen Management Index, following a similar calculation with EPI 2020 and Thailand's recent data (as detailed shown following EPI+ in the previous article) as shown in Table 37.

Table 37 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Agriculture.

	EPI 2020	EPI+ / EPI Thailand
	Sustainable Nitrogen Management Index	
Data	SNMI	1. plantation sites, harvest areas, and product quantity 2. plantation sites, harvest areas, and product quantity, especially cane 3. the individual plant's fertilizer use quantity (data is a constant score) 4. the manure use quantity and the annual accumulated nitrogen rate 5. the annual fixed nitrogen rate
Data sources / Agencies	University of Maryland, Center for Environmental Science (UMCES)	1. Office of Agricultural Economics 2. Office of Cane and Sugar Board 3. Department of Agriculture 4. Bouwman et al., 2013 5. Zhang et al., 2015

11 Water Resources

11. Water Resources

The study in Environmental Performance Index preparation by incorporation between Yale University and Columbia University found that the water resource uses indicators in various dimensions: using the data of water consumption and nitrogen loading in 2006, water quality index and water stress index 2008. water quality index, water stress index and water scarcity index in 2010, change in water quantity in 2010, and later, change to use wastewater treatment indicator from 2014 to 2020 as follows.

11 Water Resources
Wastewater Treatment

11.1 Wastewater Treatment

Wastewater Treatment (WWT) is defined as the percentage of wastewater that undergoes at least primary treatment in each country, normalized by the proportion of the population connected to a municipal wastewater collection system, and data is included as follows.

1) a proportion of treated wastewater per total wastewater in the community (wastewater treatment level: WST)

2) a proportion of the number of service users per total population (sewerage connection rate: CXN)

$$WWT = WST \times CXN \quad (43)$$

Where;

WWT = wastewater treatment

WST = wastewater treatment level

CXN = sewerage connection rate

Calculating for EPI 2020 uses data from 2015 on the treated wastewater and approaching the wastewater treatment by the population of Malik et al., and the calculated score is 2.0.

Wastewater Treatment for EPI+

The study in calculating for the Wastewater Treatment collects data of associated agencies from calculating data set and consulting with experts, and organizations, and consequently, uses the wastewater treatment from Thailand's data: 1) total wastewater volume, 2) treated wastewater volume, and 3) user number for service of wastewater treatment system by Pollution Control Department (PCD) and data on Thailand's annual population number by Department of Provincial Administration (DOPA). Therefore, when the above equation calculated data in 2020, the obtained score was 2.6.

Table 38 Data and score of Wastewater Treatment

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Treated wastewater volume and sewerage connection rate	Malik et al., 2015	**2.0** (2015)
EPI+	- Total wastewater and treated wastewater volume, wastewater treatment system users' number - Population number	- Pollution Control Department - Department of Provincial Administration	**2.6** (2020)

11 Water Resources
Concept in preparation for EPI Thailand

11.2 Concept in preparation for EPI Thailand

The EPI by Yale University and Columbia University in the Water Resource considers merely the wastewater treatment dimension. Therefore, summarizing to use the same previous indicator is the **Wastewater Treatment.** Regarding corresponding with a significant tendency in wastewater treatment, compared with the international level, proposing a considering concept in water resource management is added by using a **Water Security Index** to reflect the overall operation concerning water resources and follow with the master plan and national strategy of Thailand as detailed follows.

1) Wastewater Treatment

A concept in EPI Thailand's preparation for **Wastewater Treatment** uses a similar calculating formula and variable to Yale University and Columbia University (EPI 2020), and Thailand's data set is the same as the environmental performance index using the data of EPI+ agencies as displayed in detail in 11.1 article.

2) Water Security Index

Thailand operates the Water Security Index preparation by the Office of The National Water Resources, covering water management in various dimensions as a displayed equation.

$$WSI = (WSM + WUM)/2 \quad (44)$$

Where;

WSI = Water Security Index

WSM = watershed management (reinforcing the Nation's water security)

Equation: $WSM = (WDS + WQI)/2$

Where; WDS = Water demand-supply (water consumption security index)

WQI = Water quality index (water security Index for environment)

WUM = water use management (increasing the productivity of the entire water system as a wise utilization and adding value in water usage as well as the international level.

Equation: $WUM = (WFU + WFE)/2$

Where; WFU = water security index for urban area

WFE = water security index for economic development

Using the criteria in regulating the operation, the result score as the best – the worst following five levels of WDS WQI WFU WFE data, evaluated by the Office of the National Water Resources.

Table 39 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Water Resource.

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	Wastewater Treatment		**Wastewater Treatment**
Data	Treated wastewater volume and sewerage connection rate	1. Total wastewater and treated wastewater volume, wastewater treatment system users' number 2. population number	1. Total wastewater and treated wastewater volume, wastewater treatment system users' number 2. population number
Data sources / Agencies	Malik et al., 2015	1. Pollution Control Department 2. Department of Provincial Administration	1. Pollution Control Department 2. Department of Provincial Administration
			Water Security Index
Data			Water security indicator
Data sources / Agencies			Office of the National Water Resources