คู่มือดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม

Environmental Performance Index Handbook

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย: ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม

Policy Objective: Environmental Health

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กันยายน 2565

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	**i**
คำอธิบายตัวย่อ	**iii**
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 ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health)	**23**
1. ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)	23
1.1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure)	25
1.2 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household Solid Fuels)	28
1.3 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure)	30
1.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)	32

เรื่อง **หน้า**

2. ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation and Drinking Water) 43
2.1 ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย (Unsafe Sanitation) 44
2.2 ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย (Unsafe Drinking Water) 46
2.3 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 48
3. ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metal) 53
3.1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure) 54
3.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 56
4. ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management) 59
4.1 ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน (Controlled Solid Waste) 60
4.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand) 63

คำอธิบายตัวย่อ

EPI	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index)
EPI+	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย
EPI Thailand	ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย
AQI	ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index)
BLL	ค่าตะกั่วในเลือด (Blood Lead Level)
BOD	ตัวแทนของดัชนีภาระโรค (Burden of disease)
DALY	ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability - adjusted life year)
GBD	ภาระโรคทั่วโลก (Global Burden of Disease)
GDP	ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross domestic product)
HQ	ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment : Hazard Quotient)
SDGs	เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals)

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 รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยเพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศ 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

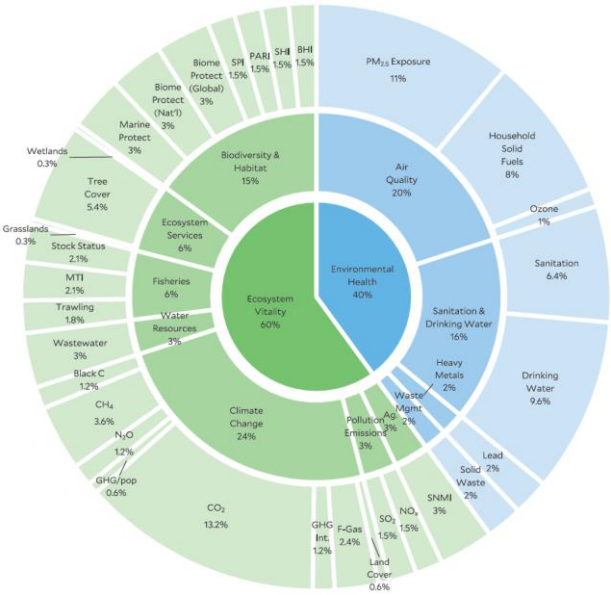
ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเริ่มมีการดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) จนถึงปัจจุบัน โดยมีการประเมินทุก ๆ 2 ปี ซึ่งจะมีการเปลี่ยนตัวชี้วัด ค่าถ่วงน้ำหนัก ตามสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) (EPI Yale & Columbia 2020 : EPI 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)

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+)

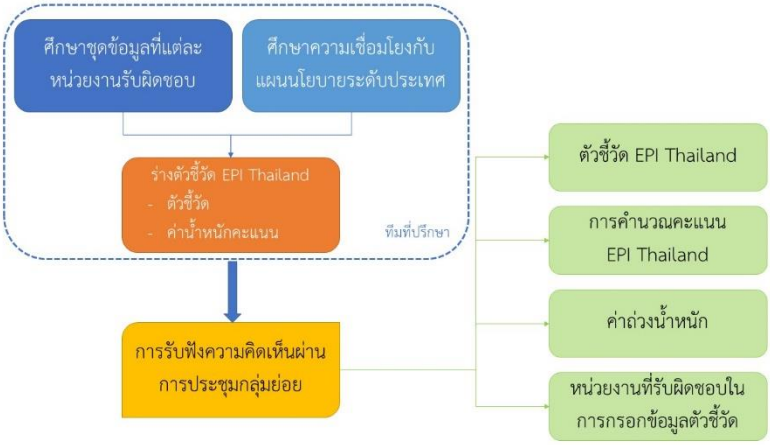
EPI 2020	EPI +
ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health)	
ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$	ใช้ค่าคะแนนเดิม เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล DALYs
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน	
ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน	
ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม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

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

คู่มือดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเล่มนี้จะกล่าวถึงการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในวัตถุประสงค์เชิงนโยบาย (Policy Objectives) ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health) ทั้งในส่วนของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+) และการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย 4 ดัชนีย่อย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์เชิงนโยบาย ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม (Environmental Health)

1 ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)

1. ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ (Air Quality)

มลพิษทางอากาศทั้งที่เกิดภายในและภายนอกอาคาร (Indoor and outdoor air pollution) เป็นผลให้คุณภาพอากาศต่ำซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ จากตัวเลขขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้ประมาณการว่ามากกว่าร้อยละ 90 ของประชากรโลกทั้งหมดอาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศต่ำกว่าระดับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index: EPI) ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) ได้กำหนดตัวชี้วัดสำหรับดัชนีย่อยคุณภาพอากาศขึ้นจากปัจจัยที่สัมพันธ์กันระหว่างแหล่งของการเกิดมลพิษทางอากาศ และประเภทของมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งประกอบด้วย 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ ตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure: PMD) ตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household solid fuels: HAD) และตัวชี้วัดการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure: OZD) ซึ่งทั้ง 3 ตัวชี้วัดนี้ทางมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียได้กำหนดให้ใช้ ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability-adjusted life year: DALYs) ต่อประชากร 100,000 คน เป็นตัวแทนของดัชนีภาระโรค (Burden of

disease: BOD) ซึ่งเป็นเครื่องชี้วัดความสูญเสียทางสุขภาพของประชากร โดยครอบคลุมทั้งความสูญเสียจากการตาย การเจ็บป่วย และความพิการ อันเนื่องมาจากการรับสัมผัสมลพิษนั้น ๆ ภายใต้โครงสร้างของ Comprehensive Risk Assessment (CRA) ซึ่งอ้างอิงจากการศึกษาภาระโรคทั่วโลก (Global Burden of Disease: GBD) และประเมินสัดส่วนของผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตในแต่ละโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสมลพิษ โดยมีลักษณะการคำนวณแสดงดังสมการ (3)

$$DALYs = YLL + YLD \quad (3)$$

โดยที่

DALYs = ปีสุขภาวะที่สูญเสีย

YLL = ปีที่สูญเสียจากการตายก่อนวัยอันควร

ซึ่งประเมินได้จาก $N \times L$

เมื่อ N = จำนวนผู้เสียชีวิตรายโรค

L = อายุคาดเฉลี่ยรายอายุ (Age-specific life expectancy)

YLD = ปีที่สูญเสียเนื่องจากการเจ็บป่วยหรือพิการ

ซึ่งประเมินได้จาก $I \times DW \times L$

เมื่อ I = อุบัติการณ์ของโรคในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

DW = ค่าถ่วงน้ำหนักของภาวะบกพร่องทางสุขภาพ

L = ระยะเวลาเฉลี่ยของภาวะบกพร่องทางสุขภาพ

ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ

1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure)

1.1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure)

การประเมินค่าตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure: PMD) โดยมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียได้ทำการประเมินหาค่า DALYs จากโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเสี่ยงของการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ อาทิ โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular diseases) โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ (Respiratory diseases) และ โรคเกี่ยวกับระบบสมอง เป็นต้น และประเมินสัดส่วนของผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตในแต่ละโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ โดยใช้แบบจำลองทางสถิติ ในส่วนของการประเมินระดับของปัจจัยเสี่ยงของการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ (Risk exposure) ที่จะก่อให้เกิดโรคนั้นประเมินจากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รายวันเฉลี่ยต่อปี (Annual average daily exposure to $PM_{2.5}$) โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite data) ร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) จากนั้นจึงนำข้อมูล DALYs ปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) มาทำการปรับค่า (Transformation) โดยใช้ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) เทียบกับค่าที่ 1^{st} percentile (best) และค่าที่ 99^{th} percentile (worst) ซึ่งได้ระดับคะแนนของปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ที่ 41.1 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ($PM_{2.5}$ Exposure) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาพบว่าในประเทศไทยมีการศึกษาและนำระเบียบวิธีการประมาณค่า DALYs มาใช้ในการศึกษาภาระโรคและการบาดเจ็บของประชากรไทยครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999) และจัดทำทุก ๆ 5 ปี (พ.ศ. 2542 พ.ศ. 2547 พ.ศ. 2552 พ.ศ. 2554 และ พ.ศ. 2557)[1] เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินภาวะสุขภาพประชากรไทยและจัดลำดับความสำคัญของโรคสำหรับใช้ในการวางแผนแก้ไขปัญหาสาธารณสุขของประเทศ ในการจัดทำ DALYs ในปี พ.ศ. 2552 - 2557 (ค.ศ. 2009 - 2014) โดยแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ[2] นั้นเป็นการศึกษาภาระโรคต่าง ๆ จาก 14 ปัจจัยเสี่ยงของประชากรไทย โดยเป็นการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเสี่ยงและโรคโดยใช้หลักการของ Population Attributable Fraction (PAF) ซึ่งเป็นการประเมินสัดส่วนการลดลงของภาระโรคเมื่อระดับปัจจัยเสี่ยงในประชากรลดลงถึงระดับที่ใช้เปรียบเทียบ (Counterfactual distribution) สำหรับหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงของประชากรไทย คือ **ความเสี่ยงจากฝุ่นละอองในอากาศ** ใช้ที่ระดับ 15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับฝุ่นละออง PM_{10} และใช้ที่ระดับ 7.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่มีผลต่อโรคการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนล่าง โรคการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน โรคหูชั้นกลางอักเสบ โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง โรคการอักเสบของหัวใจ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหืด โรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรังอื่น ๆ โรคมะเร็งปอด และโรคมะเร็งหลอดลม ผลจากการศึกษานี้ พบว่า มีจำนวนผู้เสียชีวิตจากการสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศที่ 7,193 ราย (แบ่งเป็นเพศชาย 4,101 ราย เพศหญิง 3,089 ราย) อยู่ในลำดับที่ 10 ที่ก่อให้เกิดผู้เสียชีวิตมากที่สุด จาก 14 ปัจจัยเสี่ยง โดยมี ค่า DALYs ที่ 84,120 ปีสุขภาวะ สำหรับ

[1] Burden of Disease Thailand, ความเป็นมา – Burden of Disease (bodthai.net)

[2] BOD-Thailand, รายงานภาระโรคจากปัจจัยเสี่ยงของประชากรไทย พ.ศ. 2557

เพศชาย และ 45,820 ปีสุขภาวะสำหรับเพศหญิง หรือคิดเป็นอัตรา 2.6 ต่อประชากร 1,000 คน และ 1.4 ต่อประชากร 1,000 คน สำหรับเพศชาย และเพศหญิง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่า DALYs กับผลการศึกษาของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) ซึ่งมีการศึกษาวิจัยภาระโรคระดับโลก ของทุกประเทศรวมถึงประเทศไทย โดยรายงานจำนวนผู้เสียชีวิตอันเนื่องมาจากการสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศ (Ambient particulate matter pollution) ณ ปี พ.ศ. 2557 (ค.ศ. 2014) ที่ประมาณ 21,222 – 32,658 ราย (26,828 ราย) โดยได้ค่า DALYs ที่ 388,662 - 590,056 ปีสุขภาวะ (486,528 ปีสุขภาวะ) สำหรับเพศชาย และ 218,636 – 348,190 ปีสุขภาวะ (285,389 ปีสุขภาวะ)[3] สำหรับเพศหญิง ซึ่งค่า DALYs ที่ได้สูงกว่าค่าที่ BOD - Thailand ศึกษาได้ถึงประมาณ 4.7 เท่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากจำนวนรายการโรคที่พิจารณาที่แตกต่างกัน และค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของปัจจัยเสี่ยง (relative risk) ที่ใช้ในการประเมินที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ค่า DALYs จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ซึ่งอาศัยฐานข้อมูลของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) ที่ประเมินค่าตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) อยู่ที่ 41.1 คะแนน เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 5 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**41.1** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**41.1** (ค.ศ. 2019)

[3] GBD Results Tool | GHDx (healthdata.org)

1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household Solid Fuels)

1.2 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household Solid Fuels)

การประกอบอาหาร หรือ การหุงต้ม (Cooking) เป็นกิจกรรมในครัวเรือนกิจกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในภาคครัวเรือน จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) แบ่งประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกิจกรรมการหุงต้มเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) เชื้อเพลิงสะอาด อาทิ แก๊ส ไฟฟ้า เป็นต้น และ 2) เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษ อาทิ ไม้ ฟืน ถ่าน น้ำมันก๊าด เป็นต้น กลุ่มเชื้อเพลิงแข็งถือเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในบ้านเรือนมากที่สุด กิจกรรมการหุงต้มโดยใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ (Particulate matters) ในบ้านอันเนื่องมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และประสิทธิภาพของเตาที่ใช้ประกอบการหุงต้ม มลพิษภายในบ้านที่เกิดขึ้นส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของสมาชิกในครัวเรือน

ในการประเมินค่าตัวชี้วัดการใช้เชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household solid fuels: HAD) นั้น มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียได้ทำการประเมินหาค่า DALYs จากโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในครัวเรือนที่เกิดจากการใช้และเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน ต่อประชากร 100,000 คน โดยมีการประเมินความเสี่ยงจากของการเกิดโรคตามกรอบวิธี Comprehensive Risk Assessment (CRA) เช่นเดียวกับ ตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และตัวชี้วัดการรับสัมผัสก๊าซโอโซน ซึ่งอ้างอิงจากการศึกษาของ Global Burden of Disease (GBD) โดย

ข้อมูลปริมาณการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือนได้จากการสำรวจในประเทศที่มีสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงหลักในครัวเรือน ซึ่งข้อมูล DALYs จากการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือนของประเทศไทย ณ ปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562) อยู่ที่ 240.54 ต่อ 100,000 คน เมื่อมาทำการปรับค่า (transformation) โดยใช้ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) ซึ่งค่าที่ 1st percentile (best) อยู่ที่ -0.1704 และค่าที่ 99th percentile (worst) อยู่ที่ 9.267 โดยระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 40.1 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน (Household Solid Fuels) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินภาระโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ค่า DALYs ของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียซึ่งอาศัยฐานข้อมูลของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) ที่ประเมินค่าตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือนอยู่ที่ 40.1 คะแนน เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 6 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**40.1** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**40.1** (ค.ศ. 2019)

1 ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure

1.3 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure)

การประเมินค่าตัวชี้วัดการรับสัมผัสโอโซน (Ozone Exposure: OZD) มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียได้ใช้ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย อันเนื่องมาจากการรับสัมผัสก๊าซโอโซนบนภาคพื้นดิน หรือชั้นโทรโพสเฟียร์ (ground level ozone pollution) ต่อประชากร 100,000 คน และมีกรอบการประเมินค่าตัวชี้วัดเช่นเดียวกับการประเมินค่าตัวชี้วัดการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน โดยการประเมินภาระโรคที่เกิดขึ้นจากการรับสัมผัสก๊าซโอโซน อาทิ เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ การทำงานของปอดลดลง การกำเริบของโรคหอบหืดและมะเร็งปอด เกิดความไวต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจ เป็นต้น ซึ่งประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสก๊าซโอโซน ตามโครงสร้างของ Comprehensive risk assessment (CRA) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Global Burden of Disease (GBD) และประเมินระดับความเสี่ยงของการสัมผัสก๊าซโอโซนจากค่าความเข้มข้นรายชั่วโมงสูงสุดตามฤดูกาลของก๊าซโอโซน (Seasonal hourly maximum ozone concentration: 3 months period) โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite data) ร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) จากนั้นจึงนำข้อมูล DALYs จากการศึกษาของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) มาทำการปรับค่า (Transformation) โดยใช้

ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) เทียบกับค่าที่ 1st percentile (best) และค่าที่ 99th percentile (worst) ซึ่งได้ระดับคะแนนที่ 39.8 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Ozone Exposure) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินภาระโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสก๊าซโอโซน และกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาตามแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย (BOD Thailand) ภายใต้สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program, IHPP) กระทรวงสาธารณสุข ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ค่า DALYs จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าตัวชี้วัดการสัมผัสก๊าซโอโซน ในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) อยู่ที่ 39.8 คะแนน เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 7 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดการรับสัมผัสก๊าซโอโซน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**39.8** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**39.8** (ค.ศ. 2019)

ดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ

1 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

1.4 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

การรายงานค่าคะแนนของ EPI 2020 จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียซึ่งใช้ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสียเป็นตัวแทนในการประเมินระดับคะแนนของตัวชี้วัดในดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของข้อมูล DALYs ของประเทศไทย และประเทศไทยอยู่ระหว่างการศึกษาภาระโรคจากปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล ตามแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย (BOD Thailand) ภายใต้สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program, IHPP) กระทรวงสาธารณสุข ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการใช้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของการรับสัมผัส และระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพตามการประเมินค่าของ DALYs โดยดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ ประกอบด้วย 3 ตัวชี้วัด และมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

การรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ โดยการใช้ข้อมูล **ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$** ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากรที่มีโอกาสรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ (Population-weighted average)

แสดงดังสมการ (4) ภายใต้สมมติฐานที่ว่าประชากรในพื้นที่มีโอกาสได้รับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งนี้ปริมาณฝุ่นที่ประชากรจะได้รับสัมผัสนั้นแปรผันตามความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในชั้นบรรยากาศที่ตรวจวัดได้

$$x = \frac{\sum_{ST1}^{STn}(PM2.5_{ST} \times POP_{ST})}{\sum_{ST1}^{STn} POP_{ST}} \quad (4)$$

โดยที่

X = ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากร (มค.ก./ลบ.ม.)

$PM2.5_{ST}$ = ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปีที่ตรวจวัดได้ในแต่ละสถานีตรวจวัด (มค.ก./ลบ.ม.)

POP_{ST} = จำนวนประชากรรายเขตในพื้นที่ที่ตั้งของสถานีตรวจวัด

STn = สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ 1 ถึง สถานีที่ n ที่มีการตรวจวัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มาทำการแปลงค่า (Transformation) เป็นค่าของดัชนีชี้วัด เทียบกับเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศดังสมการที่ (5) ที่อ้างอิงตามค่าดัชนีคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (ตารางที่ 8) โดยกำหนดให้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงระดับการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ต่ำ (Best) ในทางกลับกันค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มีค่าเท่ากับ 200 แสดงถึงระดับการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ สูง (Worst)

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i \quad (5)$$

โดยที่

I = ค่าดัชนีการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

X = ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสฝุ่นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากร (มค.ก./ลบ.ม.)

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ณ ช่วงความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่มีค่า X (มค.ก./ลบ.ม.)

I_i, I_j = ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของ AQI ณ ช่วงความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่มีค่า X

ตารางที่ 8 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)	**ความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชม. (ไมโครกรัม/ลบ.ม.)**
0-25	0-25
26-50	26-37
51-100	38-50
101-200	51-90
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2565)

2) ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน

จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียซึ่งใช้ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย ทั้งนี้ ค่าของ DALYs เป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็น 2 มิติซ้อนกัน กล่าวคือ สะท้อนทั้งในมิติของปริมาณของการรับสัมผัส และระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพของคนจากการรับสัมผัส ดังนั้นในการเสนอแนวทางการจัดทำตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสเชื้อเพลิง

แข็งในครัวเรือนสำหรับ EPI Thailand จึงประเมินแยกเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติของจำนวนครัวเรือนที่มีโอกาสในการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงแข็งภายในที่อยู่อาศัย และมิติของระดับความเข้มของมลพิษทางอากาศที่ครัวเรือนมีโอกาสรับสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) มิติของจำนวนครัวเรือนที่มีโอกาสรับสัมผัสมลพิษทางอากาศภายในที่อยู่อาศัย

การประเมินในมิตินี้ เป็นการให้คะแนนตัวชี้วัดตามสัดส่วนของครัวเรือนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการหุงต้ม หรือประกอบอาหาร โดยเมื่อมีครัวเรือนที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งมากยิ่งก่อให้เกิดโอกาสที่จะได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศมาก แต่จะมีระดับการสัมผัสความรุนแรงของมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในบ้าน ในระดับที่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้อ้างอิงข้อมูลร้อยละครัวเรือนจำแนกตามประเภทของเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ประกอบอาหารของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ภายใต้โครงการสำรวจการใช้พลังงานของครัวเรือน โดยภายใต้โครงการฯ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในครัวเรือน สอดรับกับความต้องการของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนและกำหนดนโยบายด้านการใช้พลังงานของประเทศ โดยเริ่มมีการสำรวจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 และจัดทำทุก 2 ปี โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตามระเบียบวิธีสุ่มตัวอย่างแบบ 2 ขั้น (Stratified two stage sampling) ตามลักษณะการปกครอง (เขตเทศบาล/นอกเขตเทศบาล) ซึ่งมีจำนวนครัวเรือนที่เก็บข้อมูลรวม 56,000 ครัวเรือน

ข้อมูลส่วนหนึ่งจากการสำรวจการใช้พลังงานครัวเรือน ได้สำรวจประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบอาหารในครัวเรือน โดยแบ่งประเภทของเชื้อเพลิงเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มเชื้อเพลิงสะอาด อันประกอบด้วย แก๊ส และไฟฟ้า และกลุ่มเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษ อันประกอบด้วย ไม้/ฟืน ถ่าน และน้ำมันก๊าด ผลจากการสำรวจพบว่า ในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ได้ข้อมูลร้อยละของครัวเรือน จำแนกตามประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้

ประกอบอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 9 ในการกำหนดตัวชี้วัดเพื่อสะท้อนถึงจำนวนครัวเรือนที่มีโอกาสรับสัมผัสมลพิษทางอากาศภายในที่อยู่อาศัย พิจารณาจาก**ร้อยละของครัวเรือนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ไม้/ฟืน และถ่าน) ในการประกอบอาหารต่อจำนวนครัวเรือนทั้งหมดที่มีการประกอบอาหาร** โดยกำหนดให้ร้อยละของครัวเรือนที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งที่ร้อยละ 100 จะได้ระดับคะแนน 0 (Worst) (จำนวนครัวเรือนที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งมากมีโอกาสรับสัมผัสมลพิษทางอากาศจากกิจกรรมในครัวเรือนมาก) และในทางกลับกัน ถ้าร้อยละของครัวเรือนที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งอยู่ที่ร้อยละ 0 จะได้ระดับคะแนน 100 (Best) โดยแนวทางในการประเมิน แสดงดังสมการ

ตารางที่ 9 ร้อยละของครัวเรือนจำแนกตามประเภทของเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ประกอบอาหาร ในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019)

ประเภทของเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ประกอบอาหารในครัวเรือน (ร้อยละของครัวเรือน)					
เชื้อเพลิงสะอาด		เชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษ			ไม่มีการหุงต้ม
แก๊ส	ไฟฟ้า	ไม้/ฟืน	ถ่าน	น้ำมันก๊าด	
70.2	4.1	7.9	7.0	0.2	10.6

ที่มา: ข้อมูลสำรวจการใช้พลังงานของครัวเรือนปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) (สำนักงานสถิติแห่งชาติ)

$$I = \left(\frac{\sum x_{a-solid}}{\sum x_a}\right) \times 100 \qquad (6)$$

โดยที่

I = ร้อยละของครัวเรือนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการประกอบอาหารต่อจำนวนครัวเรือนทั้งหมดที่มีการประกอบอาหาร

$X_{a\text{-}solid}$ = ร้อยละของจำนวนครัวเรือนที่ประกอบอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ไม้/ฟืน และถ่าน)

X_{a} = ร้อยละของจำนวนครัวเรือนที่ประกอบอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงประเภท a

a = ประเภทของเชื้อเพลิงที่ครัวเรือนใช้ในการประกอบอาหาร ได้แก่ แก๊ส น้ำมันก๊าด ไม้/ฟืนและถ่าน

(2) มิติของระดับความเข้มของมลพิษทางอากาศที่ครัวเรือนมีโอกาสรับสัมผัส

การประเมินในมิติระดับความเข้มของมลพิษทางอากาศที่ครัวเรือนมีโอกาสรับสัมผัส เป็นการให้คะแนนตัวชี้วัดตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน เมื่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแข็งมาก จะส่งผลให้ระดับความเข้มของการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศมีค่ามากขึ้นด้วย ในการศึกษานี้อ้างอิงข้อมูลดุลยภาพพลังงานของประเทศไทยของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ดังตารางที่ 10 ซึ่งให้ข้อมูลสถิติของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในรายเชื้อเพลิง จำแนกตาม 7 ประเภทกิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรมภาคการเกษตร กิจกรรมภาคเหมืองแร่ กิจกรรมอุตสาหกรรมการผลิต กิจกรรมการก่อสร้าง กิจกรรมบ้านอยู่อาศัย กิจกรรมร้านค้า และกิจกรรมภาคขนส่ง โดยมีข้อมูลรายปีต่อเนื่องทุกปี

ตารางที่ 10 ปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ในภาคครัวเรือน ปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) (บ้านอยู่อาศัย และธุรกิจร้านค้า) จำแนกตามประเภทเชื้อเพลิง (ktoe)

เชื้อเพลิง	Coal & its products	Petroleum (Methane)	Petroleum products (LPG)	Electricity	Traditional renewable energy			
					ฟืน	ถ่าน	แกลบ	วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
บ้านอยู่อาศัย	-	-	1,905	4,209	2,404	1,040	253	1,360
ธุรกิจการค้า	-	1	576	6,260				

ที่มา: รายงานดุลยภาพพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

จากสถิติการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของกิจกรรมบ้านอยู่อาศัย และกิจกรรมร้านค้าในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ดังแสดงในตารางที่ 10 กิจกรรมหลักที่เกิดขึ้น คือ กิจกรรมการหุงต้ม ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงหลักอยู่ 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มเชื้อเพลิงก๊าซ LPG และกลุ่มเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน/ถ่าน/แกลบ/วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) ในส่วนของการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนส่วนใหญ่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์อื่นนอกเหนือจากการหุงต้ม อาทิ แสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น การใช้ไฟฟ้าเพื่อการหุงต้มยังคงมีในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น ทั้งนี้เชื้อเพลิงแข็งถือเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจำพวกฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ได้มาก ส่วนเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ถือเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ในการกำหนดตัวชี้วัดเพื่อสะท้อนถึงความเข้มของมลพิษทางอากาศที่ครัวเรือนมีโอกาสได้รับสัมผัส พิจารณาจาก**สัดส่วนปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการประกอบอาหาร (ในหน่วยพันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือ kilotonnes of oil equivalent: ktoe) ต่อปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงทุกประเภทเพื่อการประกอบอาหาร** โดยกำหนดให้สัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อการใช้เชื้อเพลิงสะอาดเป็นร้อยละ 0 จะได้ระดับคะแนนเต็ม 100 คะแนน (Best) (ระดับความเข้มของการเกิดมลพิษทางอากาศต่ำในทางกลับกันถ้าสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงแข็งที่ก่อให้เกิดมลพิษเป็นร้อยละ 100 จะได้ระดับคะแนน 0 คะแนน (Worst)) โดยมีแนวทางในการประเมิน แสดงดังสมการที่ (7)

$$I = \left(\frac{\sum \text{Energy}_{a-solid}}{\sum \text{Energy}_{a}}\right) \times 100 \qquad (7)$$

โดยที่

I = สัดส่วนปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการประกอบอาหาร (ในหน่วยพันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือ ktoe) ต่อปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงทุกประเภทเพื่อการประกอบอาหาร

$Energy_{a\text{-}solid}$ = ปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการประกอบอาหาร ได้แก่ ฟืน ถ่าน แกลบ และ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ktoe)

$Energy_a$ = ปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงทุกประเภทเพื่อการประกอบอาหาร (ktoe)

a = ประเภทของเชื้อเพลิงที่ครัวเรือนใช้ในการประกอบอาหาร ได้แก่ แก๊ส LPG ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3) ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน

ด้านการรับสัมผัสก๊าซโอโซน โดยการใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสก๊าซโอโซน ซึ่งคำนวณได้จากความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (8 ชั่วโมง) เฉลี่ยรายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากรที่มีโอกาสรับสัมผัสก๊าซโอโซน (Population-weighted average) ดังสมการที่ (8) ภายใต้สมมติฐานที่ว่าประชาชนในพื้นที่มีโอกาสได้รับสัมผัสก๊าซโอโซนในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งนี้ปริมาณก๊าซโอโซนที่ประชาชนได้รับสัมผัสนั้นแปรผันตามความเข้มข้นของปริมาณก๊าซโอโซนที่ตรวจวัดได้ในระดับภาคพื้นดิน

$$x = \frac{\sum_{ST1}^{STn}(O_{3ST} \times POP_{ST})}{\sum_{ST1}^{STn} POP_{ST}} \quad (8)$$

โดยที่

X = ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสก๊าซโอโซนรายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากร (มค.ก./ลบ.ม.)

O_{3ST} = ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายปีที่ตรวจวัดได้ในแต่ละสถานีตรวจวัด (มค.ก./ลบ.ม.)

POP_{ST} = จำนวนประชากรรายเขตในพื้นที่ที่ตั้งของสถานีตรวจวัด

STn = สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ 1 ถึง สถานีที่ n ที่มีการตรวจวัดก๊าซโอโซน

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสก๊าซโอโซนมาทำการแปลงค่า (Transformation) เป็นค่าของดัชนีชี้วัดเทียบกับเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศดังสมการที่ (9) ที่อ้างอิงตามค่าดัชนีคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ดังตารางที่ 11 โดยกำหนดให้ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงระดับการรับสัมผัสก๊าซโอโซนต่ำ (Best) ในทางกลับกันค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่มีค่าเท่ากับ 200 แสดงถึงระดับการรับสัมผัสก๊าซโอโซนสูง (Worst)

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i \quad (9)$$

โดยที่

I = ค่าดัชนีการรับก๊าซโอโซน

X = ค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสก๊าซโอโซนรายปีถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนประชากร (ส่วนในพันล้านส่วน: ppb)

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของก๊าซโอโซน ณ ช่วงความเข้มข้นก๊าซโอโซนที่มีค่า X (ส่วนในพันล้านส่วน: ppb)

I_i, I_j = ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุดของ AQI ณ ช่วงความเข้มข้นก๊าซโอโซนที่มีค่า X

ตารางที่ 11 ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)	**ค่าความเข้มข้นของ O_3 เฉลี่ย 8 ชม. (ส่วนในพันล้านส่วน, ppb)**
0-25	0-35
26-50	36-50
51-100	51-70
101-200	71-120
มากกว่า 200	121 ขึ้นไป

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2565)

ตารางที่ 12 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$		**ตัวชี้วัดการรับสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	1. ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชม. รายสถานีตรวจวัด (เฉลี่ยรายปี) 2. จำนวนประชากร รายเขตที่ตั้งสถานีตรวจวัด
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. กรมควบคุมมลพิษ 2. กรมการปกครอง
	ตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน		**ตัวชี้วัดการรับสัมผัสเชื้อเพลิงแข็งในครัวเรือน**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	1. ร้อยละของครัวเรือนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการประกอบอาหาร 2. ปริมาณพลังงานที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงแข็งเพื่อการประกอบอาหาร
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ 2. กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
	ตัวชี้วัดการรับสัมผัสก๊าซโอโซน		**ตัวชี้วัดการรับสัมผัสก๊าซโอโซน**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	1. ค่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซน เฉลี่ย 8 ชม. รายสถานีตรวจวัด (เฉลี่ยรายปี) 2. จำนวนประชากร รายเขตที่ตั้งสถานีตรวจวัด
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. กรมควบคุมมลพิษ 2. กรมการปกครอง

2 ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation and Drinking Water)

2. ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม (Sanitation and Drinking Water)

การจัดการสุขาภิบาลและน้ำดื่มอย่างปลอดภัย เป็นส่วนสำคัญที่สนับสนุนในด้านสาธารณสุข และการพัฒนาอย่างยั่งยืน จากข้อมูลของ WHO รายงานว่าในทั่วโลกนั้น ประชากรประมาณ 800 ล้านคนไม่สามารถเข้าถึงน้ำดื่มสะอาด และประมาณ 2,000 ล้านคนไม่สามารถเข้าถึงสุขาภิบาลที่ถูกสุขลักษณะได้[4] การบริโภคน้ำดื่มที่ไม่สะอาด และสุขอนามัยที่ไม่ดีก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ อาทิ โรคท้องร่วง (Diarrhea) โรคไข้รากสาดน้อย หรือไทฟอยด์ (Typhoid) และโรคอหิวาตกโรค (Cholera) เป็นต้น ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Index: EPI) ปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) ได้กำหนดตัวชี้วัดสำหรับดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่มจากการติดตามจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตจากการได้รับการสุขาภิบาลที่ไม่ถูกสุขลักษณะ และการบริโภคน้ำดื่มไม่สะอาด โดยกำหนดเป็น 2 ตัวชี้วัดได้แก่ สุขาภิบาลที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe sanitation) และน้ำดื่มที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe drinking water) และมีการประเมินโดยใช้ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability-adjusted life year: DALYs) ต่อประชากร 100,000 คน เป็นตัวแทนของดัชนีภาระโรค (Burden of disease: BOD) ซึ่งเป็นเครื่องชี้วัดความสูญเสียทางสุขภาพของประชากร เช่นเดียวกันกับดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ โดยดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่มมีรายละเอียดของตัวชี้วัด ดังนี้

[4] UNICEF & WHO 2019

2 ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย (Unsafe Sanitation)

2.1 ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย (Unsafe Sanitation)

สุขาภิบาลที่ไม่ปลอดภัย หรือไม่ถูกสุขลักษณะ (Unsafe Sanitation: USD) หมายถึง การใช้ห้องน้ำที่ไม่มีระบบสาธารณูปโภคเพียงพอ หรือห้องน้ำที่ไม่มีระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลอย่างถูกสุขลักษณะ ในการประเมินค่าตัวชี้วัดสุขาภิบาลที่ไม่ถูกสุขลักษณะนั้น มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียได้กำหนดให้ใช้ดัชนีภาระโรค หรือค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability - adjusted life year: DALYs) ทั้งนี้ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) ได้ทำการศึกษาภาระโรคอันเนื่องมาจากการใช้สุขาภิบาลที่ไม่ถูกสุขลักษณะของ 195 ประเทศ ระหว่างปี พ.ศ. 2533 - 2562 (ค.ศ. 1990 – 2019) โดยทำการประเมินความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative risk) และระดับความเสี่ยงของการเกิดโรค 3 โรค อาทิ โรคท้องร่วง โรคไข้รากสาดน้อย และโรคไข้พาราไทฟอยด์ อันเนื่องมาจากการมีสุขอนามัยที่ไม่ปลอดภัย โดยอาศัยการเก็บข้อมูลตามหลักการทดลองแบบสุ่มแบบมีกลุ่มควบคุม (Randomized control trial) ซึ่งเป็นรูปแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์แบบหนึ่งสำหรับงานวิจัยทางด้านการแพทย์ โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจครัวเรือน ข้อมูลสำมะโนประชากร ข้อมูลดาวเทียม ร่วมกับข้อมูลจากการวิจัยต่าง ๆ จากนั้นจึงนำข้อมูล DALYs ของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) มาทำการปรับค่า (Transformation) โดยใช้ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) เปรียบเทียบกับค่าที่ 1st percentile (best) และค่าที่ 99th percentile (worst) ซึ่งได้ระดับคะแนน 75.8 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย (Unsafe Sanitation) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษา และรวบรวมข้อมูลพบว่าประเทศไทยยังไม่มีการประเมินภาระโรคอันเนื่องมาจากการสุขาภิบาลที่ไม่ถูกสุขลักษณะ โดยกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาตามแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย (BOD Thailand) ภายใต้สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program, IHPP) ดังนั้นจึงได้ใช้ค่า DALYs จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 75.8 เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 13 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลไม่ปลอดภัย

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**75.8** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**75.8** (ค.ศ. 2019)

2 ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม
ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย (Unsafe Drinking Water)

2.2 ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย (Unsafe Drinking Water)

การประเมินค่าตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มที่ไม่ปลอดภัยหรือไม่สะอาด (Unsafe Drinking Water: UWD) มหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียพิจารณาในมุมมองของการรับสัมผัสน้ำดื่มที่ไม่ปลอดภัยที่ต่ำที่สุด (Minimum exposure of unsafe drinking water) โดยกำหนดให้น้ำดื่มที่ปลอดภัย คือ ครัวเรือนที่สามารถเข้าถึงน้ำประปา หรือ ครัวเรือนที่ใช้น้ำที่ผ่านการต้มหรือกรองก่อนการบริโภค ทั้งนี้ใช้ค่าดัชนีภาระโรคหรือค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability - adjusted life year: DALYs) อันเนื่องมาจากการสัมผัสหรือดื่มน้ำที่ไม่ปลอดภัยต่อประชากร 100,000 คน เป็นตัวแทนในการประเมินระดับคะแนน โดยอ้างอิงจากข้อมูลภาระโรคทั่วโลก (Global Burden of Disease: GBD) ตามการศึกษาของ Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) โดยทำการประเมินความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative risk) และระดับความเสี่ยงของการเกิดโรคอันเนื่องมาจากการได้รับน้ำดื่มที่ไม่ปลอดภัย เช่นเดียวกับที่ดำเนินการสำหรับตัวชี้วัดสุขาภิบาลที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ข้อมูลปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ซึ่งเมื่อทำการปรับค่า (Transformation) โดยใช้ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) เทียบกับค่าที่ 1st percentile (best) และค่าที่ 99th percentile (worst) ซึ่งได้ระดับคะแนนที่ 42.5 คะแนน

ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย (Unsafe Drinking Water) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการประเมินภาระโรคอันเนื่องมาจากการดื่มน้ำที่ไม่สะอาด โดยกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาตามแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย (BOD Thailand) ภายใต้สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program, IHPP) ดังนั้นจึงได้ใช้ค่า DALYs จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียที่ประเมินค่าตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย ด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 42.5 คะแนน เนื่องจากหากมีการนำเสนอค่าทดแทน (proxy) จะทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของข้อมูลสูง

ตารางที่ 14 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**42.5** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**42.5** (ค.ศ. 2019)

ดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม

2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

2.3 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

การรายงานค่าคะแนนของ EPI 2020 จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียซึ่งใช้ค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (DALYs) เป็นตัวแทนในการประเมินระดับคะแนนของตัวชี้วัดในดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม เช่นเดียวกับดัชนีย่อยด้านคุณภาพอากาศ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของข้อมูล DALYs ของประเทศไทย ซึ่งอยู่ระหว่างการศึกษาภาระโรคจากปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล ตามแผนงานการพัฒนาดัชนีภาระทางสุขภาพเพื่อการพัฒนานโยบาย (BOD Thailand) ภายใต้สำนักงานพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program, IHPP) กระทรวงสาธารณสุข ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเสนอแนวทางการใช้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของการรับสัมผัส และระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพตามการประเมินค่าของ DALYs โดยดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม ประกอบด้วย 2 ตัวชี้วัด และมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลถูกสุขลักษณะ

จากการศึกษาของ EPI 2020 ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลที่ไม่ปลอดภัย สะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบต่อสุขภาพของคนจากการได้รับความเสี่ยงด้านสุขาภิบาล อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของข้อมูล DALYs ของประเทศไทย จึงเสนอแนวทางการใช้ข้อมูล **ตัวชี้วัด**

ด้านสุขาภิบาลถูกสุขลักษณะ เป็นข้อมูลทดแทน โดยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลร้อยละของครัวเรือนที่มีส้วมถูกสุขลักษณะ ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งทำการรายงานในรายงานผลการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือนเป็นประจำทุกปี โดยทำการสำรวจร้อยละของครัวเรือนที่ใช้ส้วมประเภทต่าง ๆ ซึ่งในการประเมินเป็นระดับคะแนน มีการกำหนดสมมติฐานว่า ถ้าร้อยละของครัวเรือนที่มีส้วมถูกสุขลักษณะร้อยละ 100 จะได้ระดับคะแนน 100 (Best) และในทางกลับกัน ถ้าร้อยละของครัวเรือนที่มีส้วมถูกสุขลักษณะร้อยละ 0 จะได้ระดับคะแนน 0 (Worst)

2) ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มสะอาดปลอดภัย

จากข้อจำกัดของข้อมูล DALYs ของประเทศไทยในการจัดทำ**ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย** จึงได้เสนอแนวทางการใช้ข้อมูล **ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มสะอาดปลอดภัย** โดยพิจารณาเป็น 2 มิติ ได้แก่ มิติด้านปริมาณและมิติด้านคุณภาพ ดังนี้

(1) มิติด้านปริมาณ: ใช้ข้อมูล**ร้อยละของครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาเพียงพอตลอดปี** โดยเป็นข้อมูลจำนวนผู้ใช้น้ำประเภทที่อยู่อาศัยจากการประปานครหลวง (กปน.) และการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) และข้อมูลจำนวนครัวเรือนที่ใช้น้ำประปาหมู่บ้านตลอดปี จากรายงานหมู่บ้านชนบทไทย (กชช.2ค) โดยกรมการพัฒนาชุมชน เทียบกับจำนวนครัวเรือนทั้งหมดของประเทศไทย ข้อมูลจากกรมการปกครอง ทั้งนี้ กำหนดนิยามของคำว่า **“ปริมาณน้ำเพียงพอ”** หมายถึง ปริมาณน้ำสะอาดสำหรับดื่มและบริโภค อย่างน้อยคนละ 5 ลิตร/วัน โดยเป็นปริมาณน้ำสะอาดสำหรับดื่มอย่างน้อย 2 ลิตร และเพื่อการบริโภคอื่น ๆ เช่น การประกอบอาหาร อย่างน้อย 3 ลิตร โดยแนวทางในการประเมินแสดงดังสมการที่ (10)

$$I = \left(\frac{\sum x_w}{X}\right) \times 100 \qquad (10)$$

โดยที่

I = ร้อยละของครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาเพียงพอตลอดปี

x_w = จำนวนครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาจากแหล่งจ่ายน้ำประปาต่าง ๆ

X = จำนวนครัวเรือนทั้งหมดของประเทศไทย

w = ประเภทของแหล่งจ่ายน้ำประปา ได้แก่ การประปานครหลวง การประปาส่วนภูมิภาค และประปาหมู่บ้าน

ซึ่งในการประเมินเป็นระดับคะแนน มีการกำหนดสมมติฐานว่า ถ้าร้อยละของครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาเพียงพอตลอดปี ร้อยละ 100 จะได้ระดับคะแนน 100 คะแนน (best) และในทางกลับกัน ถ้าร้อยละของครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาเพียงพอตลอดปี ร้อยละ 0 จะได้ระดับคะแนน 0 คะแนน (worst)

(2) มิติด้านคุณภาพ: ใช้ข้อมูล**ค่าเฉลี่ยร้อยละน้ำบริโภคครัวเรือนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย (ถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนครัวเรือน)** โดยแนวทางในการประเมิน แสดงดังสมการที่ (11)

$$I = \left(\frac{\sum(q_w \times x_w)}{\sum x_w}\right) \times 100 \qquad (11)$$

โดยที่

I = ค่าเฉลี่ยร้อยละน้ำบริโภคครัวเรือนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย (ถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนครัวเรือน)

q_w = ร้อยละของน้ำบริโภคครัวเรือนจากแหล่งจ่ายน้ำต่าง ๆ ที่ผ่านเกณฑ์น้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย

x_w = จำนวนครัวเรือนที่ได้รับน้ำประปาจากแหล่งจ่ายน้ำประปาต่าง ๆ

w = ประเภทของแหล่งจ่ายน้ำประปา ได้แก่ การประปานครหลวง การประปาส่วนภูมิภาค และประปาหมู่บ้าน

จากการสำรวจข้อมูล พบว่า มีการรายงานข้อมูลคุณภาพน้ำจากการประปานครหลวง และการประปาส่วนภูมิภาคอย่างสม่ำเสมอ แต่ยังขาดข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำสำหรับน้ำประปาหมู่บ้าน จึงใช้ข้อมูลรายงานการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคครัวเรือน กรมอนามัย ซึ่งทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่มจากประปาหมู่บ้าน อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่างน้ำประปาหมู่บ้านที่ทำการสำรวจในปัจจุบันยังมีจำนวนน้อย ในอนาคตจะมีการสำรวจและเก็บข้อมูลด้านคุณภาพน้ำของประปาหมู่บ้านเพิ่มมากขึ้น โดยคณะทำงานขับเคลื่อนการดำเนินงานประปาหมู่บ้านขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะทำให้การประเมินตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มสะอาดปลอดภัยมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการประเมินเป็นระดับคะแนน มีการกำหนดสมมติฐานว่า ถ้าร้อยละของน้ำบริโภคครัวเรือนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ร้อยละ 100 จะได้ระดับคะแนน 100 คะแนน (best) และในทางกลับกัน ถ้าร้อยละของน้ำบริโภคครัวเรือนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ร้อยละ 0 จะได้ระดับคะแนน 0 คะแนน (worst) โดยสามารถสรุปข้อมูลดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านสุขาภิบาลและน้ำดื่ม

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านสุขอนามัยไม่ปลอดภัย		**ตัวชี้วัดด้านสุขาภิบาลถูกสุขลักษณะ**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	ร้อยละของครัวเรือนที่มีส้วมถูกสุขลักษณะ ได้แก่ ส้วมแบบนั่งห้อยเท้า และส้วมแบบนั่งยอง ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือ ทั้งสองประเภท (ข้อมูลการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน)
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	สำนักงานสถิติแห่งชาติ
	ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มไม่ปลอดภัย		**ตัวชี้วัดด้านน้ำดื่มสะอาดปลอดภัย**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	1. จำนวนผู้ใช้น้ำประเภทที่อยู่อาศัย จำนวนครัวเรือนที่ใช้น้ำประปาหมู่บ้าน ตลอดปี ร้อยละของน้ำประปาที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย 2. ข้อมูลรายงานการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคครัวเรือน 3. จำนวนครัวเรือนทั้งหมดของประเทศไทย
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. การประปาส่วนภูมิภาค การประปานครหลวง กรมการพัฒนาชุมชน 2. กรมอนามัย 3. กรมการปกครอง

3 ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy metal)

3. ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy Metal)

การจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมโดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียในช่วงปี พ.ศ. 2549 - 2557 (ค.ศ. 2006 - 2014) ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพ (Health Impact) โดยพิจารณาในส่วนของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในเด็ก (Child Mortality) และภาระโรคที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม (Environmental burden of disease) ต่อมาในปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ได้ปรับมาใช้ตัวชี้วัดเกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk Exposure) และเพิ่มดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy metal) ในปี พ.ศ. 2561 - 2563 (ค.ศ. 2018 - 2020) โดยพิจารณาเกี่ยวกับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสตะกั่ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

3 ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy metal)

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure)

3.1 ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure)

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure: PBD) มีคำจำกัดความหมายถึง การสัมผัสสารตะกั่ว โดยใช้ภาระโรคเป็นการวัดความสูญเสียทางสุขภาพ หรือค่าปีสุขภาวะที่สูญเสีย (Disability - adjusted life year: DALYs) ต่อประชากร 100,000 คน โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) จาก Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) และนำข้อมูล DALYs ที่ได้มาทำการปรับค่า (transformation) โดยใช้ค่าลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) ซึ่งค่าที่ 1st percentile (best) อยู่ที่ 3.1494 และค่าที่ 99th percentile (worst) อยู่ที่ 7.2369

ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว (Lead Exposure) ของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งหารือร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ พบว่าประเทศไทยยังไม่มีการประเมินภาระโรคอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสตะกั่วของประชาชน ดังนั้นจึงให้ใช้ค่า DALYs จากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ที่ประเมินค่าตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว ในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ซึ่งระดับคะแนนของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 81.6 คะแนน ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**81.6** (ค.ศ. 2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**81.6** (ค.ศ. 2019)

ดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก (Heavy metal)

3 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

3.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

เนื่องจากข้อมูลภาระโรคที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสตะกั่วในประเทศไทยยังไม่มีการดำเนินการเก็บข้อมูลที่ชัดเจน และจากการปรึกษาหารือร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทางเลือกที่เป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลทดแทนการสัมผัสตะกั่ว โดยอาจใช้ค่าตะกั่วในเลือด (Blood Lead Level, BLL) หรือ ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk Assessment: Hazard Quotient, HQ) มาใช้เบื้องต้น ในเบื้องต้นเลือกใช้ข้อมูลค่าตะกั่วในเลือด (Blood Lead Level, BLL) เนื่องจากเกิดจากการสัมผัสสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจริงมาใช้เป็นตัวแทนของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย โดยมีลักษณะกรอบตัวแปรเป็นการหาค่าซึ่งค่าที่ 1st percentile (best) อยู่ที่ 0.99 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรเลือด ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของตะกั่วในเลือดสำหรับผู้ใหญ่ของประเทศที่มีรายได้สูง เช่น ฝรั่งเศส เยอรมันนี และญี่ปุ่น และค่าที่ 99th percentile (worst) อยู่ที่ BLL อยู่ที่ 16.56 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรเลือด ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของประเทศรายได้ต่ำ อ้างอิงจาก Ericson, B., H. Hu, E. Nash, G. Ferraro, J. Sinitsky, and M. P. Taylor, 2021, Blood lead levels in low-income and middle-income countries: a systematic review, Lancet Planet Health 2021; 5: e145–53

จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในเลือดของคนไทยอยู่ที่ 4.92 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรเลือด ข้อมูลจากสังเขปค่าอ้างอิงทางสุขภาพสำหรับการประเมิน

ความเสี่ยงภัยต่อสุขภาพและผลกระทบต่อสุขภาพจากตะกั่วด้วยตัวอย่างเลือด โดยกรมควบคุมโรค ทั้งนี้ข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในเลือดเป็นเพียงข้อมูลเบื้องที่ใช้ในแนวทางการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จัดทำโดยกรมอนามัย ในปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1996) เป็นการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยของประชากรไทย และทำเพียงปีเดียว ไม่มีการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง อันเกิดจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในปัจจุบันมีเพียง ระดับตะกั่วในเลือดของเด็ก และระดับตะกั่วในเลือดของกลุ่มประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยง เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว (อาทิ ห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี) เท่านั้น จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนข้อมูลตะกั่วในเลือดของประชากรในประเทศไทย โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านโลหะหนัก

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว		**ตัวชี้วัดด้านการรับสัมผัสตะกั่ว**
ชุดข้อมูล	DALYs	DALYs	ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในเลือด
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	กรมควบคุมโรค

4 ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)

4. ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management)

ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสียถูกนำมาพิจารณาเป็นครั้งแรกในการรายงานของ EPI 2020 และไม่ได้ใช้ข้อมูลปีสุขภาวะที่สูญเสีย หรือ DALYs เหมือนดัชนีย่อยตัวอื่น ๆ ในวัตถุประสงค์เชิงนโยบายด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งในดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสียนี้ประกอบด้วยตัวชี้วัด 1 ตัว คือตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4 ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย (Waste Management) ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน (Controlled Solid Waste)

4.1 ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน (Controlled Solid Waste)

ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน (Controlled Solid Waste: MSW) มีคำจำกัดความหมายถึง ปริมาณขยะชุมชนที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้อง ต่อปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในประเทศทั้งหมด

ปริมาณขยะชุมชนที่เกิดจากบ้านเรือนและร้านค้า ที่ไม่เกี่ยวข้องกับขยะในภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้อง อาทิ วิธีการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) (i1), วิธีทำปุ๋ยหมัก (Compost) (i2), วิธีการฝังกลบที่มีการเก็บก๊าซ (Sanitary landfill with gas capture) (i3), วิธีการเผา (Incineration) (i4), การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) (i5), วิธีการฝังกลบที่มีการควบคุม (Controlled landfill) (i6) และ วิธีการฝังกลบที่ไม่ระบุวิธีการ (Unspecified landfill) (i7) ต่อปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด (SWG) โดยมีสูตรคำนวณดังสมการที่ (12)

$$MSW = \frac{\sum_1^5 SW_i + 0.8SW_{i=6} + 0.8\ SW_{i=7}}{SWG} \quad (12)$$

โดยที่

MSW = สัดส่วนการจัดการขยะอย่างถูกต้อง

SW = ปริมาณขยะที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้อง

SWG = ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด

i = ลักษณะการจัดการขยะที่ถูกต้อง

การคำนวณ EPI 2020 ใช้ชุดข้อมูลในปี พ.ศ. 2557 - 2558 (ค.ศ. 2014 - 2015) โดยชุดข้อมูลที่นำมาคำนวณค่าของประเทศไทยเป็นข้อมูลจากวารสารทางวิชาการ ได้แก่

ข้อมูลประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะ จาก Wiedinmyer, C., Yokelson, R. J., & Gullett, B. K. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. Environmental Science & Technology, 48(16), 9523–9530.

ข้อมูลปริมาณขยะและ fate ของการจัดการขยะ จาก What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 ที่ได้ปริมาณขยะมาจากกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) และ fate ของขยะ จาก Rotchana Intharathirat and P Abdul Salam ปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015)

ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชนของดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมที่ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานในประเทศไทย (EPI+)

สำหรับประเทศไทยมีการจัดการและเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยอย่างเป็นระบบ ดังนั้นจึงเห็นควรใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนของกรมควบคุมมลพิษ เพื่อเป็นฐานข้อมูลของประเทศไทย โดยใช้ชุดข้อมูลปริมาณขยะทั้งหมด ปริมาณขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องทางวิชาการ และปริมาณขยะที่นำกลับมาใช้ใหม่ นำมาคำนวณด้วยสมการและวิธีการเดียวกันกับ EPI 2020 โดยตั้งสมมุติฐานว่า วิธีการฝังกลบที่มีการควบคุม (Controlled landfill) (i6) และ วิธีการฝังกลบที่ไม่ระบุวิธีการ (Unspecified landfill) (i7) รวมอยู่จำนวนขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง พบว่าได้ค่าคะแนนที่ 67.1 คะแนน โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ข้อมูลและค่าคะแนนของตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน

EPI	ชุดข้อมูลที่ใช้	แหล่งของข้อมูล / หน่วยงาน	คะแนน / ปีของข้อมูล
EPI 2020	ข้อมูลประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะ และปริมาณขยะ	What a Waste 2.0	**32.9** (ค.ศ. 2014 - 2015)
EPI+	ข้อมูลปริมาณขยะทั้งหมด และขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง	กรมควบคุมมลพิษ	**67.1** (ค.ศ. 2020)

4 ดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย

แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย

4.2 แนวทางการจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย (EPI Thailand)

การใช้ข้อมูลจัดทำดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย ได้ข้อสรุปในการใช้หลักการคำนวณค่าคะแนนแบบเดียวกับ EPI 2020 ด้วยชุดข้อมูลปริมาณขยะทั้งหมด ปริมาณขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง และปริมาณขยะที่นำกลับมาใช้ใหม่ของกรมควบคุมมลพิษ โดยเกณฑ์ในการกำหนดค่าผลการดำเนินงานที่ดีที่สุด - แย่ที่สุด (Best - Worst) สำหรับดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย กำหนดไว้ที่ 1 - 0 ตามการคำนวณของมหาวิทยาลัยเยลและมหาวิทยาลัยโคลัมเบียเช่นกัน โดยเป็นสัดส่วนของขยะที่ถูกจัดการต่อปริมาณขยะทั้งหมด หากมีค่าสัดส่วนใกล้เคียง 1 หมายถึงปริมาณขยะทั้งหมดถูกจัดการอย่างถูกต้องและเป็นระบบ

ตารางที่ 19 สรุปการใช้ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าคะแนน EPI Thailand ของดัชนีย่อยด้านการจัดการของเสีย

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน		**ตัวชี้วัดด้านการจัดการขยะชุมชน**
ชุดข้อมูล	ข้อมูลการจัดเก็บขยะ และปริมาณขยะ	ข้อมูลปริมาณขยะทั้งหมด และขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง	ข้อมูลปริมาณขยะทั้งหมด และขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง
แหล่งข้อมูล /หน่วยงาน	What a Waste 2.0	กรมควบคุมมลพิษ	กรมควบคุมมลพิษ

Environmental Performance Index Handbook

Policy Objective: Environmental Health

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning
September 2022

Table of contents

Contents	Page
Table of contents	**i**
List of abbreviations	**iii**
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
Environmental Health	**23**
1. Air Quality	23
1.1 $PM_{2.5}$ Exposure	25
1.2 Household Solid Fuels	28

Contents **Page**

1.3 Ozone Exposure 30

1.4 Concept in preparation for EPI Thailand 32

2. Sanitation and Drinking Water 43

2.1 Unsafe Sanitation 44

2.2 Unsafe Drinking Water 46

2.3 Concept in preparation for EPI Thailand 48

3. Heavy Metal 55

3.1 Lead Exposure 56

3.2 Concept in preparation for EPI Thailand 58

4. Waste Management 61

4.1 Controlled Solid Waste 62

4.2 Concept in preparation for EPI Thailand 65

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
AQI	Air Quality Index
BLL	Blood Lead Level
BOD	Burden of disease
DALYs	Disability - adjusted life year
GBD	Global Burden of Disease
GDP	Gross domestic product
HQ	Health Risk Assessment: Hazard Quotient
SDGs	Sustainable Development Goals

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 aspects include
    - Air Quality
    - Sanitation and Drinking Water
    - Heavy Metals
    - Waste Management

2) Ecosystem Vitality aspects include

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

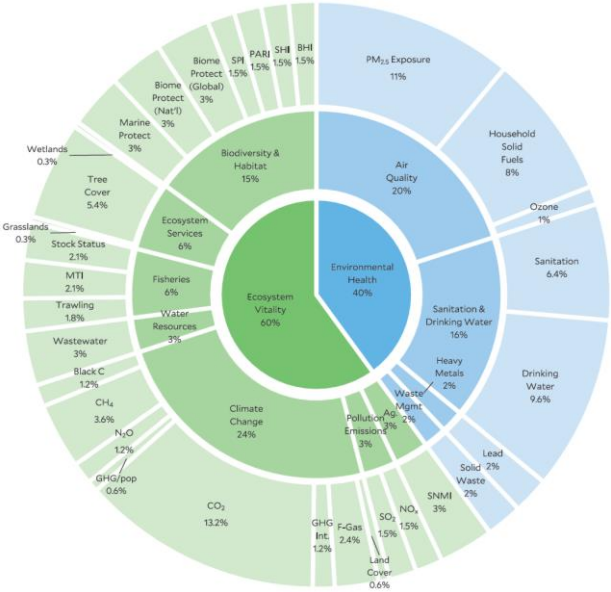


Figure 1 Policy Objectives, Issue Categories, Indicators and ratio of weighting score's EPI 2020

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:

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

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 indicator's score in 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 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 tree cover loss 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 DALYs data limitations
Household Solid Fuels	
Ozone Exposure	
Sanitation & Drinking Water	
Unsafe Sanitation	Use the original score value due to DALYs data limitations
Unsafe Drinking Water	
Heavy Metals	
Lead Exposure	Use the original score value due to DALYs 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.

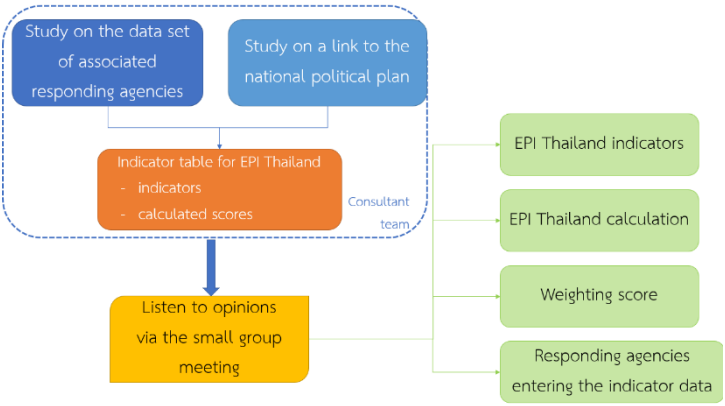


Figure 3 The conceptual framework for adjusting EPI to fit Thailand's context

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 DALYs
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 4 issue categories, as mentioned in detail.

Environmental Health

1 Air Quality

1. Air Quality

Air pollution occurs indoors and outdoors causes poor air quality, and deteriorates human health. World Health Organization (WHO) estimated that over 90 percent of the world's population has lived in places with lower air quality than the standard criteria. Therefore, the 2020 Environmental Performance Index (EPI) imposed indicators for the Air Quality from factors related to sources and types of air pollution affecting human health. Those indicators include $PM_{2.5}$ Exposure (PMD), Household Solid Fuels (HAD), and Ozone Exposure (OZD). Regards the three indicators, Yale University and Columbia University used disability-adjusted life year lost (DALYs) per 100,000 persons to represent the Burden of Disease (BOD). Significantly, the BOD indicates the population's health damage that covers various losses from death, diseases, and disability due to exposure to air pollutants. According to the Comprehensive Risk Assessment (CRA) framework in the study of Global Burden of Disease (GBD), number of diseases and deaths correlated with threats posed by air pollution are calculated using the following equation (3).

$$\mathbf{DALYs = YLL + YLD} \quad (3)$$

Where;

DALYs = Disability-adjusted-life years lost per 100,000 persons

YLL = Years of Life Lost due to premature death

derived from ***N x L***

Where; N = Number of deaths due to the specific cause

L = Age-specific life expectancy

YLD = Years lost due to disability

derived from ***I x DW x L***

Where; *I* = Number of incident cases for cause

DW = Disability weight

L = Average duration of the case until remission or death (years)

1 Air Quality

$PM_{2.5}$ Exposure

1.1 $PM_{2.5}$ Exposure

To evaluate of $PM_{2.5}$ Exposure (PMD), Yale University and Columbia University use the number of disability-adjusted life years lost (DALYs) due to the diseases from $PM_{2.5}$ Exposure, such as cardiovascular diseases, respiratory diseases, and brain damage. The ratio of illness and attributable deaths from each disease due to $PM_{2.5}$ Exposure are assessed using statistical model. The data for $PM_{2.5}$ risk are evaluated from the annual average daily exposure to $PM_{2.5}$ obtained from satellite data and remote sensing data. The DALYs score of 2019 are then transformed by using natural logarithm (ln) and compared with the 1^{st} percentile (best) and the 99^{th} percentile (worst). The obtained rating score of 2019 is 41.1.

$PM_{2.5}$ Exposure for EPI+

In Thailand, the study of burden of disease and methodology for DALYs estimation were first in 1999. Since then, the assessments have been conducted every five years: 2004, 2009, 2014, and 2019 to evaluate health condition of Thai population to support policy formulation and planning for mitigation of public health problems at national level. Regards the DALYs of 2009 - 2014, presented by the Burden of Disease Research Programs Thailand,

International Health Policy Program, burden of disease from 14 risk factors of Thai population, was estimated by the correlations between the risk factors and attributable diseases based on the Population Attributable Fraction (PAF) that assessed the reduction of burden of disease with a decrease of risk factors, i.e. counterfactual distribution. Of these, Particulate Matter is one of the risk factors. The levels of particulate matters that possibly cause adverse effects to human are 15 and 7.5 micrograms per square meter for PM_{10} and $PM_{2.5}$, respectively. The risk factors of particulate matters in the air relate to the infection of upper and lower respiratory tracts, otitis media, ischemic heart disease, cerebrovascular disease, inflammatory disease of the heart, chronic obstructive pulmonary disease, asthma, chronic respiratory diseases, lung cancer, and bronchial cancer. The results from assessment revealed that 7,193 deceased (4,101 males and 3089 females) were caused by exposure to particulate matter. Among 14 risk factors, it was ranked 10^{th} that incurred the highest number of deceased with a DALYs score of 84,120 years for males and 45,820 years for females, corresponding to 2.6 and 1.4 per 1,000 populations for males and females, respectively.

In the comparative DALYs scores with results of the Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), where does research about global burden of disease, including Thailand. The number of deceased due to exposure to ambient particulate matter pollution in 2014 was reported at 21,222 to 32,658 cases, in average of 26,828 cases. The DALYs scores were 388,662 – 590,056 in 2014 (in average of 486,528 years) for males and 218,636-348,190 years (in average of 285,389 years) for females. The reported DALYs

was higher than that of BOD-Thailand by 4.7 folds. With this regards, the use of proxy may cause high deviation of results. Therefore, in this study the DALYs scores reported by Yale University and Columbia University, relying on the database of the Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), were used as an indicator for$PM_{2.5}$ Exposure (PMD) in 2019 which employed the score of 41.1.

Table 5 Data and score of $PM_{2.5}$ Exposure

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**41.1** (2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**41.1** (2019)

1 Air Quality

Household Solid Fuels

1.2 Household Solid Fuels

Cooking is an activity causing air pollution in the household. World Health Organization (WHO) divides cooking fuel into two types, including 1) clean fuel like gas and electricity and 2) polluted fuel like wood, firewood, and kerosene. Solid fuel is considered as a predominant fuel source in the household, causing air pollution. In particular, cooking activities using solid fuels produce substantial amount of particulate emission because of incomplete combustion and stove efficiency. As a result, air pollution in the household directly causes adverse effects on residents' health.

To evaluate the household solid fuels (HAD), Yale University and Columbia University assess the DALYs of diseases from exposure of air pollution caused by utilization of household solid fuels per 100,000 people. Similar to the $PM_{2.5}$ and ozone exposure indicators, the evaluation of risks of attributable diseases is carried out by the Comprehensive Risk Assessment (CRA) framework in the Global Burden of Disease (GBD) study. The data on the utilization of household solid fuels revealed that solid fuels were used as core fuels in the household. The DALYs score related to the utilization of solid fuel of Thai residents in 2019 was 240.54 per 100,000 people. Technically, data is transformed by using natural logarithm (ln). The score at

the 1st percentile (best) is -0.1704, while the score at the 99th percentile (worst) is 9.267, corresponding to overall rating score of 40.1.

Household Solid Fuels for EPI+

Based on data collection, Thailand has not evaluated the disease burden due to air pollution exposure from Household Solid Fuels utilization. As mentioned earlier, the use of proxy may cause high deviation of results. Therefore, in this study the DALYs scores reported by Yale University and Columbia University, based on the study of Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), were used as an indicator for Household Solid Fuels indicator which employed the score of 40.1.

Table 6 Data and score of Household Solid Fuels

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**40.1** (2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**40.1** (2019)

1 Air Quality

Ozone Exposure

1.3 Ozone Exposure

Yale University and Columbia University evaluate Ozone Exposure (OZD) indicator using the DALYs score per 100,000 people. The assessment framework of this indicator is similar to those of the $PM_{2.5}$ Exposure and Household Solid Fuel (HAD) indicators. The burden of disease caused by Ozone Exposure include respiratory irritation, reduced lung function, aggravation of asthma and lung cancers, and increased susceptibility y to respiratory infection. The evaluation of risks of attributable diseases related to Ozone Exposure is carried out using the Comprehensive Risk Assessment (CRA) framework in the Global Burden of Disease (GBD) study. For exposure to ground-level ozone, the GBD focused on seasonal hourly maximum ozone concentrations of 3-month period, estimated by satellite-based measurement together with remote sensing techniques. The DALYs score of 2019 are then transformed by using natural logarithm (ln) and compared with the 1^{st} percentile (best) and the 99^{th} percentile (worst). The obtained rating score of 2019 is 39.8.

Ozone Exposure for EPI+

As Thailand has not evaluated the burden of disease due to air pollution exposure from Ozone Exposure, the use of proxy may cause high deviation of results. Therefore, in this study the DALYs scores reported by Yale University and Columbia University, based on the study of Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), were used as an indicator for Ozone Exposure indicator which employed the score of 39.8.

Table 7 Data and score of Ozone Exposure

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**39.8** (2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**39.8** (2019)

1 Air Quality

Concept in preparation for EPI Thailand

1.4 Concept in preparation for EPI Thailand

The 2020 EPI scores reported by Yale University and Columbia University were based on the DALYs scores of relevant indicators to assess Air Quality. However, the DALYs data of Thailand are restricted, and under a process of investigating the burden of disease from exposures to environmental pollutions and unsafe sanitary by the Burden of Disease Research Program Thailand (BOD Thailand) under the International Health Policy Program (IHPP), Ministry of Public Health. Thus, it is suggested to use a set of data that is suitable to Thailand context and reflects the level of exposure affecting health severity as evaluated by the DALYs score. Three indicators for evaluation of Air Quality are described as follows.

1) $PM_{2.5}$ exposure

$PM_{2.5}$ Exposure is evaluated using the data of **Average Exposure to $PM_{2.5}$.** It can be calculated by multiplying the annual average concentration of $PM_{2.5}$ by the population exposed (Population-weighted average) as shown in equation (4). Under the assumption that the population in the same specific area have a potential to expose to $PM_{2.5}$ at the same amount, therefore the **$PM_{2.5}$ Exposure** is depending on the $PM_{2.5}$ concentration at the ground level.

$$x = \frac{\sum_{ST1}^{STn}(PM2.5_{ST} \times POP_{ST})}{\sum_{ST1}^{STn} POP_{ST}} \quad (4)$$

Where;

X = Population-weighted average $PM_{2.5}$ Exposure (μg/m^3)

$PM2.5_{ST}$ = Annual average $PM_{2.5}$ concentration at each monitoring station (μg/m^3)

POP_{ST} = Population number in the area where monitoring station is situated

STn = Monitoring station of $PM_{2.5}$ from the 1th to nth station

A score of $PM_{2.5}$ exposure is then transformed by comparing with the Air Quality Index (AQI) announced by the Pollution Control Department (Table 8), as shown in equation (5). It is regulated by the air quality index, i.e. score of 0 for lowest $PM_{2.5}$ Exposure (best), whereas score of 200 for highest $PM_{2.5}$ Exposure (worst).

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i \quad (5)$$

Where;

I = $PM_{2.5}$ Exposure Indicator

X = population-weighted average exposure to $PM_{2.5}$ (μg/m^3)

X_i, X_j = minimum – maximum of $PM_{2.5}$ concentration range where X belongs

I_i, I_j = minimum – maximum of AQI range where $PM_{2.5}$ concentration (X) belongs

Table 8 Shows the $PM_{2.5}$ concentration compared with the air quality index

Air quality index (AQI)	**Average $PM_{2.5}$ concentration at 24 hours** (microgram/square meters)
0-25	0-25
26-50	26-37
51-100	38-50
101-200	51-90
over 200	91 up

Source: Pollution Control Department (2022)

2) Household solid fuels

According to the study of Yale University and Columbia University, the Household Solid Fuels indicator was measured by DALYs score that represents two relevant aspects, including exposure quantity and its severity to health. In this study, the evaluation of Household Solid Fuels indicator for EPI Thailand can be divided into two approaches. 1) Number of households that have a potential to expose to air pollution from Household Solid Fuel, and 2) Air pollution intensity that households potentially expose.

(1) Dimension in the number of households that have an opportunity to expose to air pollution caused by the use of household solid fuel at home

This indicator is measured by a ratio of households using solid fuel in cooking to overall households nationwide. Households exposed to air

pollution from solid fuels at high concentrations often suffer significant negative health effects. In this study, the percentage of household using solid fuel as a primary cooking fuel is used to evaluate this indicator. A survey project on household energy use has been conducted by the National Statistical Office in order to obtain the information of energy uses and expenses in the households, following a requirement of the National Energy Policy Council for national plan and policy on energy aspects. The household energy survey has initiated since 2006 and regularly conducted every 2 years with 56,000 household samples, using stratified two stage sampling based on governmental administration, i.e. rural and urban areas.

According to the surveys, household fuels can be divided into 2 types, including 1) clean fuel, comprising gas and electricity, and 2) polluted fuel, comprising wood, charcoal, and kerosene. The percentage of households using different types of fuel for cooking in 2019 is shown in Table 9. The indicator that reflects the number of households that have a potential to expose to air pollution within household is **the percentage of households that use solid fuels, like wood/firewood, and charcoal, for cooking.** It is regulated that the percentage of 100 is equivalent to the score of 0 (worst), whereas the percentage of 0 is equivalent to the score of 1 (best), as shown in the equation below.

Table 9 The percentage of households classified by types of main fuels used for cooking in 2019

Types of main fuels used for cooking (the percentage of households)					
clean fuels		pollution fuels			no cooking
gas	electricity	wood/fuel wood	charcoal	kerosene	
70.2	4.1	7.9	7.0	0.2	10.6

Source: Household energy use surveys in 2019 (National Statistical Office)

$$I = \left(\frac{\sum x_{a-solid}}{\sum x_a}\right) \times 100 \quad (6)$$

Where;

I = Percentage of households using solid fuels for cooking

$X_{a\text{-}solid}$ = Number of households using solid fuels, like wood, fuel wood, and charcoal, for cooking

$X_{a\text{-}}$ = Number of households using various types of fuels for cooking

a = Fuel types that the households use for cooking, i.e. gas, kerosene, wood, fuel wood, and charcoal

(2) Dimension in the concentration level of air pollution that households have a chance to be exposed

Household Solid Fuels can be used as an indicator for air pollution intensity that households potentially expose. As a large quantity of solid fuels is used, it results in a high intensity of air pollution that the household may expose. In this study, the energy balance data of Thailand issued by the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) were used. Final energy consumption by 7 economic sectors, including agriculture,

mining, manufacturing, construction, residential, commercial, and transportation, were annually reported. As listed in Table 10, the final energy consumption by residential and commercial sectors in 2019 are primarily caused by cooking. The fuels mainly used in these sectors are divided into 2 groups, namely LPG and solid fuels (fuel wood, charcoal, paddy husk, agricultural waste). However, most households and commercials use electricity for other activities, e.g. lighting and electrical appliances, besides cooking, as shown in Table 10.

Table 10 Final energy use in Households (Residential and Commercial) in 2019 by fuel type (unit: ktoe)

Products	Coal & its products	Petroleum (Methane)	Petroleum products (LPG)	Electricity	Traditional renewable energy			
					Fuel Wood	Charcoal	Paddy Husk	Agricultural Waste
Residential	-	-	1,905	4,209	2,404	1,040	253	1,360
Commercial	-	1	576	6,260				

Source: Energy Balance of Thailand 2019 Report (Department of Alternative Energy Development and Efficiency)

However, the percentage of electricity used for cooking is small compared to other fuel types. Solid fuels tremendously cause air pollution, like PM_{10} and $PM_{2.5}$, and while LPG is considered as a clean energy, not contributing to pollution. Therefore, **the percentage of energy obtained from household solid fuels for cooking (kilotonnes of oil equivalent: ktoe)** can be used as an indicator representing air pollution intensity that

households potentially expose. It is regulated that the percentage of 0 is equivalent to the score of 100 (best) (Air pollution intensity is low), whereas the percentage of 100 is equivalent to the score of 0 (worst), as shown in the equation (7).

$$I = \left(\frac{\sum \text{Energy}_{\text{a-solid}}}{\sum \text{Energy}_{\text{a}}}\right) \times 100 \quad (7)$$

Where;

I = Percentage of energy obtained from household solid fuels for cooking (kilotonnes of oil equivalent: ktoe)

$\text{Energy}_{\text{a-solid}}$ = Final energy use in households for cooking, originated from solid fuels, i.e. wood, fuel wood, paddy husk, and agricultural waste (ktoe)

Energy_{a} = Final energy use in households for cooking, originated from all types of fuels (ktoe)

a = Types of household fuels used for cooking purposes: LPG, wood, fuel wood, charcoal, paddy husk, and agricultural waste

3) Ozone exposure

Ozone Exposure is evaluated using the data of **Average Ozone Exposure.** It can be retrieved from the annual average ozone concentration (8 hours) weighted by the population exposed (Population-weighted average), as shown in equation (8). Under the assumption that the population in the same specific area have a potential to expose to ozone at the same amount,

therefore, the Ozone Exposure is depending on the ozone concentration at the ground level.

$$x = \frac{\sum_{ST1}^{STn}(O_{3ST} \times POP_{ST})}{\sum_{ST1}^{STn} POP_{ST}} \quad (8)$$

Where;

X = Population-weighted average Ozone Exposure (part per billion: ppb)

O_{3ST} = Annual average ozone concentration at each monitoring station (ppb)

POP_{ST} = Population number in the area where monitoring station is situated

STn = Monitoring station of ozone from the 1^{th} to n^{th} station

A score of Ozone Exposure is then transformed by comparing with the Air Quality Index (AQI) announced by the Pollution Control Department (Table 11), as shown in equation (8). It is regulated by the air quality index, i.e. score of 0 for lowest Ozone Exposure (best), whereas score of 200 for highest Ozone Exposure (worst).

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i}(X - X_i) + I_i \quad (9)$$

Where;

I = Ozone Exposure Indicator

X = Population-weighted average Ozone Exposure (ppb)

X_i, X_j = minimum – maximum of ozone concentration range where X belongs

I_i, I_j = minimum – maximum of AQI range where ozone concentration (X) belongs

Table 11 Show the ozone concentration compared with the air quality index

Air Quality Index (AQI)	8-Hour Average Ozone Concentration (Parts per billion, ppb)
0-25	0-35
26-50	36-50
51-100	51-70
101-200	71-120
>200	≥121

Source: Pollution Control Department (2022)

Table 12 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Air Quality.

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
	$PM_{2.5}$ Exposure		$PM_{2.5}$ Exposure
Data	DALYs	DALYs	1. 24-hour average PM2.5 concentration from individual monitoring station (annual average) 2. Population number by area where the monitoring station is located

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. Pollution Control Department 2. Department of Provincial Administration
	Household Solid Fuels		**Household Solid Fuels**
Data	DALYs	DALYs	1. Percentage of households using solid fuels for cooking 2. Percentage of energy obtained from household solid fuels for cooking
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. National Statistical Office 2. Department of Alternative Energy Development and Efficiency
	Ozone Exposure		**Ozone Exposure**
Data	DALYs	DALYs	1. 8-hour average ozone concentration from individual monitoring station (annual average) 2. Population number by area where the monitoring station is located
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. Pollution Control Department 2. Department of Provincial Administration

2 Sanitation and Drinking Water

2. Sanitation and Drinking Water

Safely managed sanitation and drinking water underpin public health and sustainable development. WHO reported that around 800 million people worldwide lack access to clean drinking water, and 2billion people lack basic sanitation services[1] Polluted drinking water and poor sanitation contribute to the spread of illnesses like diarrhea, typhoid, and cholera. The 2020 Environmental Performance Index (EPI) track diseases and deaths from exposure to unsafe sanitation and drinking water using 2 indicators including Unsafe Sanitation and Unsafe Drinking Water. These indicators were measured using disability-adjusted life year (DALYs) per 100,000 population to represent the Burden of Disease (BOD) due to the exposure to inadequate sanitation facilities and unsafe drinking water, similar to the indicators of Air Quality. The details of Unsafe Sanitation and Unsafe Drinking Water indicators are described as follows.

2 Sanitation and Drinking Water

Unsafe Sanitation

2.1 Unsafe Sanitation

Unsafe Sanitation (USD) means an access to toilet with inadequate facilities or improper sewage treatment. Yale University and Columbia University used disability-adjusted life year lost (DALYs) per 100,000 persons to represent the Burden of Disease (BOD). The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) has studied the BOD related to unsafe sanitation covering the period from 1990 to 2019 for 195 countries by assessing the relative risks and risk levels of three attributable diseases caused by unsafe sanitation, including Diarrhea, Typhoid, and Cholera. The information on relative risk and exposure was developed from "randomized control trials" using the data from household surveys, census data, satellite data, and other researches. Afterward, DALYs data of IHME in 2019 were transformed by using natural logarithm (ln) and compared with the 1^{st} percentile (best) and the 99^{th} percentile (worst). Consequently, the obtained rating score is 75.8.

Unsafe Sanitation for EPI+

Thailand has not evaluated the burden of disease due to Unsafe Sanitation. Recently, this issue is being studied by the Burden of Disease Research Program Thailand (BOD Thailand) under the International Health

Policy Program (IHPP). As the use of proxy may cause high deviation of results, this study used the DALYs score reported by Yale University and Columbia University as an indicator for Unsafe Sanitation of 2019 which employed the rating score of 75.8.

Table 13 Data and score of Unsafe Sanitation

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**75.8** (2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**75.8** (2019)

2 Sanitation and Drinking Water

Unsafe Drinking Water

2.2 Unsafe Drinking Water

Yale University and Columbia University evaluated Unsafe Drinking Water (UWD) considering minimum exposure to unsafe drinking water. Specifically, safe drinking water is defined as households accessing to water from a piped water supply that is also boiled or filtered before consumption. To measure the Unsafe Drinking Water indicator, disability-adjusted life year lost (DALYs) per 100,000 persons was used to indicate rating score. The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) has studied the Global Burden of Disease (GBD) by considering the relative risk and the risk level of disease related to exposure to Unsafe Drinking Water, as did for Unsafe Sanitation. The data of 2019 were transformed using natural logarithm (ln) and compared with the 1st percentile (best) and the 99th percentile (worst), resulting to the rating score of 42.5.

Unsafe Drinking Water for EPI+

Thailand has not evaluated the burden of disease due to Unsafe Drinking Water. However, this issue is being studied by the Burden of Disease Research Program Thailand (BOD Thailand) under the International Health Policy Program (IHPP). As the use of proxy may cause high deviation of results,

this study used the DALYs score reported by Yale University and Columbia University as an indicator for Unsafe Drinking Water of 2019 which employed the rating score of 42.5.

Table 14 Data and score of Unsafe Drinking Water

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**42.5** (2019)
EPI+	DALYs	Institute for Health Metrics and Evaluation	**42.5** (2019)

2 Sanitation and Drinking Water Concept in preparation for EPI Thailand

2.3 Concept in preparation for EPI Thailand

Regarding to 2020-EPI, Yale University and Columbia University used DALYs to evaluate the indicators of Unsafe Sanitary and Unsafe Drinking Water, similar to Air Quality indicators. However, the DALYs data of Thailand are limited, and are in the progress of investigating the burden of disease from exposure risks to environmental pollutions and unsafe sanitary by the Burden of Disease Research Program Thailand (BOD Thailand) under the International Health Policy Program (IHPP), Ministry of Public Health. Thus, this study suggested a set of data that is suitable to Thailand context and reflects the exposure level affecting health severity as assessed by the DALYs score. The indicators for evaluation of Sanitation and Drinking Water are described as follows.

1) Safe Sanitation

Based on the 2020 EPI, Unsafe Sanitation reflects the impact on people's health from an access to improper sanitation. However, with a limitation of DALYs score of Thailand, it is recommended to use a proxy data to evaluate **Safe Sanitation**. In this study, the percentage of household with access to an improved source of sanitation was used to assess **Safe**

Sanitation indicator. The data were annually reported by the National Statistical Office in. a survey report on household economic and social conditions. The survey report provided the data of percentage of households that use various types of toilets. To evaluate this indicator, the percentage of households with suitable toilets of 100 percent is equivalent to a score of 100 (best), while the percentage of households with suitable toilets of 0 percent, is corresponding to a score of 0 (worst).

2) Safe drinking water

Due to a limitation of DALYs data of Thailand for evaluation of **Unsafe Drinking Water** indicator, it is suggested to use a proxy data to evaluate **Safe Drinking Water** of EPI Thailand, considering quantity and quality aspects.

(1) Quantity aspect: **Percentage of households that access adequate tap water throughout the year** is used to evaluate **Safe Drinking Water** in an aspect of adequate water. Accordingly, the required data are number of tap water consumers of various sources of tap water, obtained from Metropolitan Waterworks Authority (MWA) and Provincial Waterworks Authority (PWA) and Thailand's Rural Village Report of Community Development Department, and compared with the total number of Thailand's households, retrieved from Department of Administrative Affairs. It is noted that **"Adequate Water"** means the quantity of safe water for drinking and consuming is at least 5 liters daily, i.e. 2 liters for drinking and 3 liters for

other activities of consuming such as cooking. The method for estimation is shown in equation (10).

$$I = \left(\frac{\sum x_w}{X}\right) \times 100 \quad (10)$$

Where;

I = Percentage of households that receive adequate tap water throughout the year

x_w = Number of households that receive tap water from various tap water providers

X = Total number of Thailand's households

w = Tap water sources: Metropolitan Waterworks Authority (WMA) and Provincial Waterworks Authority (PWA) and village tap water agencies

To evaluate this indicator, the percentage of households that receive adequate tap water throughout the year of 100 percent is equivalent to a score of 100 (best), whereas the percentage of households that receive adequate tap water throughout the year of 0 percent, is equivalent to a score of 0 (worst).

(2) Quality aspect: Percentage of household tap water that meet drinking water standard of the Department of Health (household weighted- average). The method of evaluation is shown in equation (11).

$$I = \left(\frac{\sum(q_w \times x_w)}{\sum x_w}\right) \times 100 \quad (11)$$

Where;

I = Average percentage of household tap water that meet drinking water standard of the Department of Health (household weighted-average).

q_w = Percentage of household tap water that meet drinking water standard of the Department of Health

x_w = Number of households that access tap water from various tap water providers

w = Tap water sources: Metropolitan Waterworks Authority (WMA) and Provincial Waterworks Authority (PWA) and village tap water agencies

According to the data survey, water quality data reported by the Metropolitan Waterworks Authority and the Provincial Waterworks Authority are available, however those of village tap water are limited. Therefore, this study used the data from the report on household water quality surveillance of Department of Health. The village tap waters were collected and analyzed against the drinking water standard of the Department of Health. However, the number of samples from the surveyed sites is less. It is recommended that the Commission on Operation of Village Tap Water, under the Local Administrative Organization, conduct more survey and monitoring of water quality of village tap water to obtain more reliable data on household water quality surveillance.

To evaluate this indicator, 100 percent of household tap water that meet drinking water standard of the Department of Health is equivalent to a score of 100 (best), whereas 0 percent of household tap water that meet drinking water standard of the Department of Health is equivalent to a score of 0 (worst). Table 15 summarized the data required for evaluate the EPI-Thailand regarding to the Sanitation and Drinking Water indicators.

Table 15 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Sanitation and Drinking Water.

	EPI 2020	**EPI+**	**EPI Thailand**
	Unsafe Sanitation		**Safe Sanitation**
Data	DALYs	DALYs	Percentage of households with suitable toilets (survey report on household economic and social conditions)
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	National Statistical Office
	Unsafe Drinking Water		**Safe Drinking Water**
Data	DALYs	DALYs	1. Percentage of households that receive adequate tap water throughout the year - Number of households that receive tap water from various tap water providers: WMA, PWA, village tap water agencies - Percentage of household tap water that meet drinking

	EPI 2020	EPI+	EPI Thailand
			water standard of the Department of Health 2. Report on household water quality surveillance 3. Total number of Thailand's Households
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	1. Provincial Waterworks Authority Metropolitan Waterworks Authority Community Development Department 2. Department of Health 3. Department of Provincial Administration

3 Heavy Metal

3. Heavy Metal

From 2006 to 2014, environmental performance index cooperated between Yale University and Columbia University was emphasizing on health impact by considering child mortality and the environmental burden of disease. Consequently, in 2016, environmental risk Exposure indicators were changed to become the heavy metal. The Heavy Metal was used for EPI from 2018 to 2020. The lead risk exposure is considered as follows.

3 Heavy metal
Lead Exposure

3.1 Lead Exposure

Lead Exposure (PBD) indicator is defined as lead exposure by using the disease burden as measuring the loss of health or Disability-adjusted life year (DALY) per 100,000 people. The DALY data from the study of the Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) in 2019 are transformed by using natural log. The data among the countries was compared with the 1st percentile (best) of 3.1494 and 99th percentile (worst) of 7.2369.

Lead Exposure for EPI+

Based on the study, data collection, and consulting with associated organizations in Thailand, the Burden of disease due to lead exposure for Thailand was not made yet. Therefore, DALY data from the study of Yale University and Columbia University about lead exposure in 2019 is also used for EPI+. The level of Thailand's score is 81.6, as shown in Table 16.

Table 16 Data and score of Lead Exposure

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	DALY	Institute for Health Metrics and Evaluation	**81.6** (2019)
EPI+	DALY	Institute for Health Metrics and Evaluation	**81.6** (2019)

3 Heavy metal

Concept in preparation for EPI Thailand

3.2 Concept in preparation for EPI Thailand

Due to lacking on the burden of disease caused by lead exposure in Thailand, the associated organizations proposed to use Blood Lead Level (BLL) or Health Risk Assessment: Hazard Quotient (HQ) as substitute data for human lead exposure. However, BLL more reflected of human lead exposure, so BLL is used as a representative of the environmental performance index in Thailand. Accordingly, the 1st percentile (best) is 0.99 micrograms per blood deciliter as the highest lead score in adult blood in wealthy countries: French, Germany, and Japan and a score of the 99th percentile (worst) of BLL are 16.56 micrograms per blood deciliter which is the highest score in unwealthy countries for examples, Afghanistan.

The computing score using Thais' BLL average data is at 4.92 micrograms per blood deciliter, cited from health for the risk evaluation on health and impact on health from lead by a blood sample, Department of Disease Control. Therefore, the BLL average score is initially used for the study concept.

BLL Data of Thai people were prepared and gathered by the Department of Health in 1996. Specifically, data were randomized to calculate the average population score, which was done for only one year.

Non-continued data collection was due to government budget limitation. At present, we have the associated data of lead levels in children's blood and in the people who took risk for working in Pb base industries and living on Pb-contaminated land, for examples, at Krity, Kanchanaburi province. Thus, it is not suitable to be representative data for the Thai population BLL, and a summary is shown in Table 17.

Table 17 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Heavy Metal.

	EPI 2020	**EPI+**	**EPI Thailand**
	Lead Exposure		**Lead Exposure**
Data	DALY	DALY	Blood Lead Level (BLL)
Data sources / Agencies	Institute for Health Metrics and Evaluation	Institute for Health Metrics and Evaluation	Department of Disease Control

4 Waste Management

4. Waste Management

Waste Management was primarily considered in EPI 2020 report. The Waste Management used the amount of solid waste instead of DALY. The objective was for Environmental Health Policy, and the Waste Management composes of one indicator, the controlled solid waste indicator, as follows.

4 Waste Management
Controlled Solid Waste

4.1 Controlled Solid Waste

Controlled Solid Waste (MSW) is defined as community solid waste quantity which is managed appropriately per total emerged solid waste in Thailand. The community solid wastes from households and stores excluding industrial waste was suitably managed such as Anaerobic digestion (i1), Compost) (i2), Sanitary landfill with gas capture (i3), Incineration (i4), Recycle (i5), Controlled landfill) (i6), and Unspecified landfill (i7) per total emerged solid waste (SWG). The calculation is shown in equation (12)

$$MSW = \frac{\sum_1^5 SW_i + 0.8SW_{i=6} + 0.8\ SW_{i=7}}{SWG} \quad (132)$$

Where;

MSW = ratio of correct waste management

SW = quantity of correct waste management

SWG = total emerged solid waste

i = correct method for waste management

Calculation of EPI 2020 uses data set from 2014 to 2015, cited from various academic journals:

Data of waste potential management from Wiedinmyer, C., Yokelson, R. J., & Gullett, B. K. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste, Environmental Science & Technology, 48(16), 9523–9530.

Waste quantity data and Fate of waste management from What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 receiving the waste quantity from Pollution Control Department in 2015 and Fate of waste from Rotchana Intharathirat and P Abdul Salam in 2015.

Solid waste management for EPI+

Thailand has managed and collected data about waste management. Therefore, we consider using the data from the information system in waste management of the Pollution Control Department as Thailand's database. Therefore, data sets of total waste quantity, the quantity of correct waste management, and recycled waste quantity are computed using similar equations and methods with EPI 2020 under the assumption that Controlled landfill (i6), and Unspecified landfill (i7) were in the quantity of correct waste management. As a result, the obtained score is 67.1, and more detail is summarized in Table 18.

Table 18 Data and score of Controlled Solid Waste

EPI	Data	Data sources / Agencies	Score (Year)
EPI 2020	Waste management and quantity	What a Waste 2.0	**32.9** (2014 - 2015)
EPI+	Total waste quantity, and a quantity of correct waste management	Pollution Control Department	**67.1** (2020)

4 Waste Management

Concept in preparation for EPI Thailand

4.2 Concept in preparation for EPI Thailand

Using the data to prepare EPI Thailand applies similar calculations with EPI 2020 by using data sets of total waste quantity, a quantity of correct waste management, and recycled waste quantity of the Pollution Control Department. Criteria to regulate operational score is the best and the worst. Solid waste management is ranged from one to ten following Yale University and Columbia University calculations. It is a ratio of solid waste management quantity per total waste. The total waste quantity is managed correctly and systematically if the ratio score is close to one.

Table 19 Summary of data for calculating the EPI 2020, EPI+ and EPI Thailand score in the Waste Management.

	EPI 2020	**EPI+**	**EPI Thailand**
	waste management		**waste management**
Data	Waste management and quantity	total waste quantity, and a quantity of correct waste management	total waste quantity, and a quantity of correct waste management
Data sources / Agencies	What a Waste 2.0	Pollution Control Department	Pollution Control Department