Policy Dialogue Series

Barrier Analysis and Enabling Framework (BAEF) of Selected Technologies

Energy Sector

Monday 2nd Nov 2026

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Policy Dialogue Series • โครงการ TNA ระยะที่ 5

ขอเชิญร่วมเวทีเสวนา 3 วัน

อนาคตคน เมือง น้ำ เกษตร และพลังงานของไทย: เตรียมรับอะไร และต้องปลดล็อกอะไร?



วันที่ 1 • คน เมือง และน้ำ

อ. 27 ต.ค. 2569

08.30–12.00 น. | ห้องหว้ากอ 2

อนาคตคน เมือง และน้ำของไทย

เตรียมรับอะไร และต้องปลดล็อกอะไร?

1. **วงที่ 1 ข้อมูลพร้อม คนพร้อม**
   ThaiCIM • Digital Twin • PG-LSTM • IoT คุณภาพน้ำ
2. **วงที่ 2 คนอยู่ดี เมืองอยู่ได้**
   UAS • MAR • PRC

วันที่ 2 • เกษตร

ศ. 30 ต.ค. 2569

08.30–12.00 น. | ห้องหว้ากอ 2

อนาคตเกษตรไทย

ปรับตัวอย่างไร ให้เกษตรกรไปต่อได้?

1. **วงที่ 1 ข้าวไทยในอนาคต**
   ข้าวปรับแต่งพันธุกรรม (Gene-edited Rice)
2. **วงที่ 2 ลดก๊าซเรือนกระจกในฟาร์ม**
   สารยับยั้งมีเทนจากธรรมชาติ • สารยับยั้งไนตริฟิเคชัน • เซ็นเซอร์อินฟราเรดตรวจวัดดิน

วันที่ 3 • พลังงาน

จ. 2 พ.ย. 2569

08.30–12.30 น. | ห้องหว้ากอ 1

อนาคตพลังงานไทย

เลือกทางไหน และต้องเตรียมอะไร?

1. **วงที่ 1 SMR กับอนาคตพลังงานไทย**
   เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (SMR)
2. **วงที่ 2 ลดคาร์บอนในอุตสาหกรรมและการบิน**
   CCUS • เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF)
3. **วงที่ 3 พลังงานที่พึ่งพาได้**
   Solar PV for Infrastructure • Energy for Disaster Resilience

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Policy Dialogue Series วันที่ 3

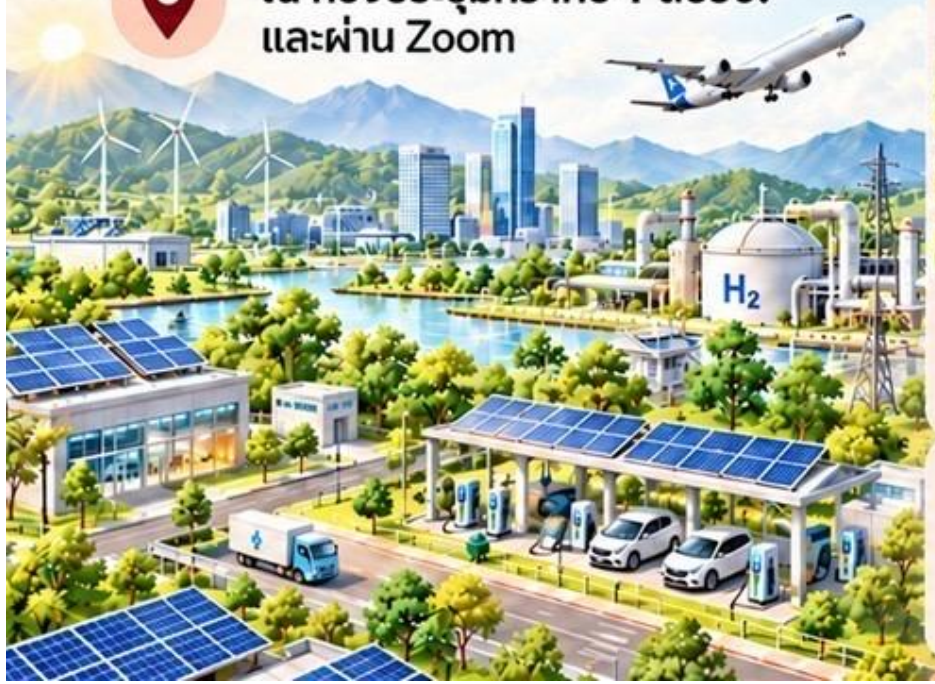
ขอเชิญร่วมเวทีเสวนา

อนาคตพลังงานไทย

เลือกทางไหน และต้องเตรียมอะไร?

2 พฤศจิกายน 2569
08:30–12:30 น.

ณ ห้องประชุมหว้ากอ 1 สอวช.
และผ่าน Zoom



สอวช

TNA TECHNOLOGY NEEDS ASSESSMENT

09:10–09:20 น.

ชวมมองอนาคต: พลังงานไทยต้องตอบโจทย์อะไรบ้าง?

ในอีก 5–10 ปี เราต้องการระบบพลังงานแบบใด และวันนี้ต้องเริ่มเตรียมเรื่องอะไร?

3 วงเสวนาสำคัญ

1 09:20–10:05 น.

SMR กับอนาคตพลังงานไทย

ควรพิจารณาทางเลือกนี้อย่างไร?



ทางเลือกเทคโนโลยี

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูล (SMR)

2 10:15–11:15 น.

ลดคาร์บอนในอุตสาหกรรมและการบิน

เทคโนโลยีช่วยได้แค่ไหน?



ทางเลือกเทคโนโลยี

การดักจับ การใช้ประโยชน์ การกักเก็บคาร์บอน (CCUS) | เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF)

3 11:15–12:05 น.

พลังงานที่พึ่งพาได้

เตรียมโครงสร้างพื้นฐานอย่างไรให้พร้อมรับภัยพิบัติ?



ทางเลือกเทคโนโลยี

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโครงสร้างพื้นฐาน (Solar PV for Infrastructure)

พลังงานเพื่อภัยพิบัติ (Energy for Disaster Resilience)

12:05–12:30 น. **จากเสียงของทั้ง 3 วันสู่ขั้นต่อไป**

เรื่องใดควรทำก่อน และใครควรร่วมขับเคลื่อน?

Zoom Meeting ID: **991 9826 2928** | Passcode: **375437**

ภายใต้โครงการประเมินความต้องการด้านเทคโนโลยี (TNA) ระยะที่ 5 ภาคส่วนพลังงาน

ลงทะเบียน
(Onsite ร่วมงานที่ สอวช.)

เข้าร่วมเวทีเสวนา
(Online ผ่าน Zoom)

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Part I

ชวนมองอนาคต พลังงานไทยตอบโจทย์อะไรบ้าง ต้องการระบบพลังงานแบบใด และต้องเริ่มเตรียมเรื่องอะไร?

โจทย์วันนี้ ประเทศไทยต้องสร้างเทคโนโลยีพลังงานอะไร และพัฒนาอย่างไร เพื่อรับมือ Climate Change?

- ❑ จาก “พึ่งพาพลังงานเดิม” สู่ “สร้างทางเลือกพลังงานคาร์บอนต่ำที่เหมาะกับประเทศ”
- ❑ จาก “ซื้อเทคโนโลยีมาใช้” สู่ “สร้างคน อุตสาหกรรม และระบบกำกับที่ไทยดูแลได้”
- ❑ จาก “มีพลังงานในวันปกติ” สู่ “มีพลังงานให้บริการจำเป็นได้แม้เกิดภัย”
- ❑ จาก “ลงทุนตามกระแส” สู่ “เปรียบเทียบทางเลือกและพิสูจน์ก่อนขยาย”

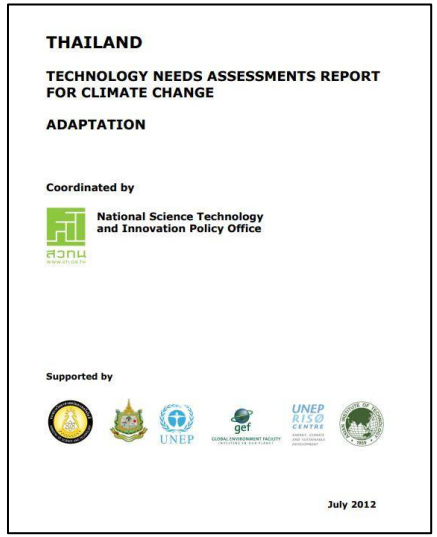
© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

ความเป็นมาของโครงการ Technology Needs Assessment (TNA)

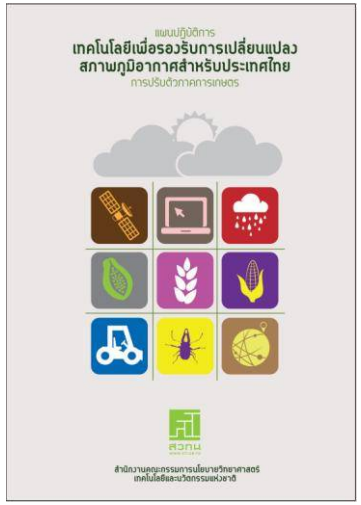
Technology Needs Assessment (TNA) Phase I ฉบับที่ 1

Budget: 120,000 USD
Total: 19 Months (4 NOV 2010 – 31 MAY 2012)

- TNA ฉบับที่ 1 ได้ระบุและจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีในหลายภาคส่วน ได้แก่ 1) การเกษตร 2) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 3) แบบจำลอง 4) พลังงาน
- ได้มีการจัดทำ แผนปฏิบัติการเทคโนโลยี (TAP) อย่างครอบคลุม โดยระบุกลยุทธ์การนำเทคโนโลยีที่ได้รับการจัดลำดับความสำคัญไปสู่การใช้งานจริง









โครงการที่เป็นผลลัพธ์รูปธรรมจาก TNA ฉบับที่ 1

- โครงการที่ได้รับทุนจาก GCF มุ่งจัดการน้ำและเกษตรอย่างยั่งยืน ครอบคลุม 20,000 ครัวเรือน และส่งผลกระทบทางอ้อมต่อประชาชน 25 ล้านคนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
- งบประมาณ 17.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (ราว 580 ล้านบาท)
  เป้าหมายหลัก: เพื่อยกระดับการบริหารจัดการน้ำและการทำเกษตรกรรมให้เท่าทันต่อวิกฤตสภาพภูมิอากาศ (ลดความเสี่ยงจากภัยแล้งและน้ำท่วมฉับพลัน)

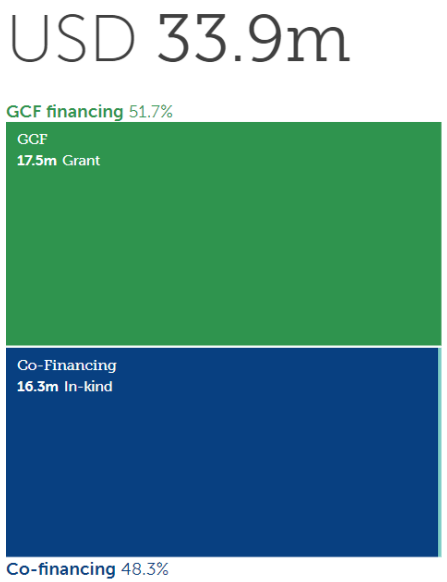
© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

ความเป็นมาของโครงการ Technology Needs Assessment (TNA)

GREEN CLIMATE FUND

โครงการเสริมสร้างความสามารถในการรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำของประเทศไทยด้วยการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพและการเกษตรแบบยั่งยืน
(Enhancing climate resilience in Thailand through effective water management and sustainable agriculture)
GCF Grant = 17.5m USD





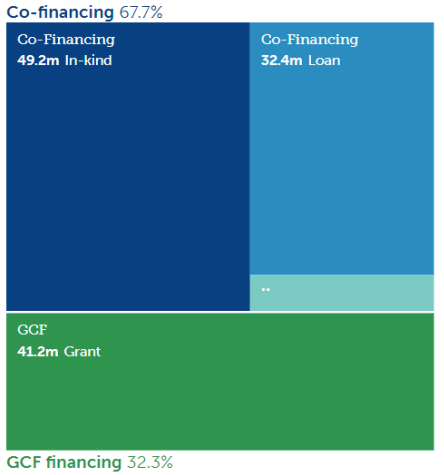
ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT

UNDP
Empowered lives.
Resilient nations.

DATE APPROVED
07 Oct 2021

โครงการเพิ่มศักยภาพการปลูกข้าวที่เท่าทันต่อภูมิอากาศ
(Strengthening Climate-Smart Rice Farming: Thai Rice GCF)
GCF Grant = 41.2m USD





กรมการข้าว
Rice Department

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

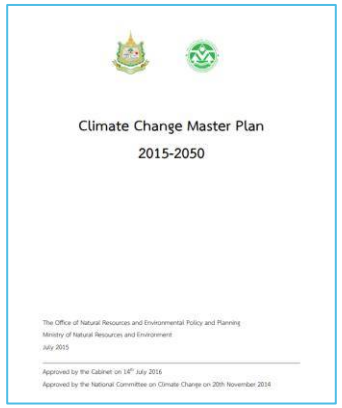
DATE APPROVED
25 Oct 2023

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

ความเป็นมาของโครงการ Technology Needs Assessment (TNA)

ประเทศไทยเป็นกรณีตัวอย่างระดับโลกในการบูรณาการผลการทำ TNA เข้ากับแผนระดับชาติ ทำให้การดำเนินการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความชัดเจนและมีประสิทธิภาพ

2015





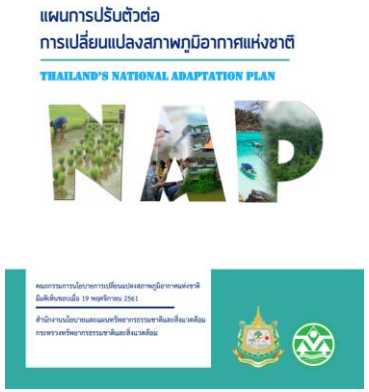
TH CC-Master Plan & INDC

2017



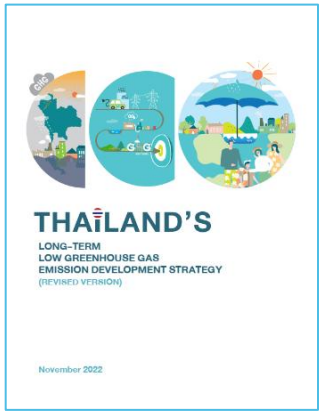
NDC Roadmap

2018



TH-National Adaptation Plan

2022



LT-LEDS

2024



National Adaptation Plan











© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Technology Needs Assessment (TNA) คืออะไร และมีประโยชน์อะไร?

โครงการภายใต้ UNFCCC มุ่งสนับสนุนประเทศกำลังพัฒนาให้สามารถประเมินและวางแผนเทคโนโลยีเพื่อบรรลุเป้าหมายด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ถึงขั้นใด: **จากโจทย์** → **เลือกเทคโนโลยี** → **วิเคราะห์อุปสรรค** → **ออกแบบมาตรการ** → **Technology Action Plan**

ขั้นตอนที่ 1: คัดเลือกและจัดลำดับความสำคัญของเทคโนโลยี
- ใช้การวิเคราะห์หลายเกณฑ์
- เปิดรับความเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย





เทคโนโลยี Shortlist
TNA Report





ขั้นตอนที่ 2: วิเคราะห์อุปสรรคและปัจจัยเอื้อ
- ประเมินสภาพตลาด
- วิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงาน
- เก็บข้อมูลการวิเคราะห์อุปสรรคและกรอบการส่งเสริมผ่านแบบสอบถาม
- อยู่ระหว่างเก็บข้อมูลเพิ่มเติมผ่านเวทีหารือเชิงนโยบาย (Policy Dialogue) ในรูปแบบการรับฟังความคิดเห็นสาธารณะ

ขั้นตอนถัดไป
- ประชุมคณะทำงานย่อยทั้ง 4 ภาคส่วน วันที่ 4–5 พฤศจิกายน 2569 เพื่อพิจารณาและรับรองผล BAEF
- ประชุมคณะกรรมการกำกับฯ ครั้งที่ 3/2569 วันที่ 18 พฤศจิกายน 2569 เพื่อพิจารณาให้ความเห็นชอบผล BAEF

ขั้นตอนที่ 3: จัดทำแผนปฏิบัติการเทคโนโลยี (TAP)

แผนการดำเนินงาน
- กำหนดมาตรการ/กิจกรรมที่มีลำดับความสำคัญ
- พัฒนา project ideas และ concept notes
- จากนั้นต่อยอดสู่การพัฒนาข้อเสนอ และการนำไปปฏิบัติ

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Shortlist Technologies

Sector	Short-List Technologies
Energy 	1. Small Modular Reactor (SMR) 2. Sustainable Aviation Fuel (SAF) 3. Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies 4. Solar PV for Infrastructure
Agriculture 	1. Gene-edited Rice (ข้าวปรับแต่งพันธุกรรม) 2. Nitrification Inhibitors (สารยับยั้งไนตริฟิเคชัน) 3. Low-emission Livestock Feed Additives (สารยับยั้งมีเทนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง) 4. Near-infrared Sensors for Soil Monitoring (เซ็นเซอร์ Near-Infrared (NIR))
Human settlement and security 	1. Thailand Climate Integrated Model (ThaiCIM) (แบบจำลองสภาพภูมิอากาศแบบบูรณาการสำหรับประเทศไทย) 2. Energy for Disaster Resilience (พลังงานเพื่อภัยพิบัติ) 3. Passive Radiative Cooling (PRC) Materials (วัสดุระบายความร้อนแบบพาสซีฟ) 4. Digital Twin-Based Climate Risk Platform (แพลตฟอร์มคู่เสมือนดิจิทัลเพื่อการวางผังเมือง)
Water resources management 	1. IoT-based Real-Time Water Quality Adaptation Systems (ระบบ IoT สำหรับติดตามคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์) 2. Underground Modular Attenuation and Storage (UAS) (ระบบหน่วงและกักเก็บน้ำใต้ดิน) 3. Managed Aquifer Recharge (MAR) (เทคโนโลยีการเติมน้ำใต้ดิน) 4. Physics-Guided Long Short-Term Memory (PG-LSTM) (แบบจำลองทางกายภาพ + AI ใช้สำหรับการพยากรณ์ทางอุทกวิทยา)

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

Thailand Needs Assessment (TNA) Reports



Thailand

Technology Needs Assessment Report

Mitigation

TNA TECHNOLOGY NEEDS ASSESSMENT

July 2026

gef UNEP UNEP AIT Asian Institute of Technology



Thailand

Technology Needs Assessment Report

Adaptation

TNA TECHNOLOGY NEEDS ASSESSMENT

July 2026

gef UNEP UNEP AIT Asian Institute of Technology

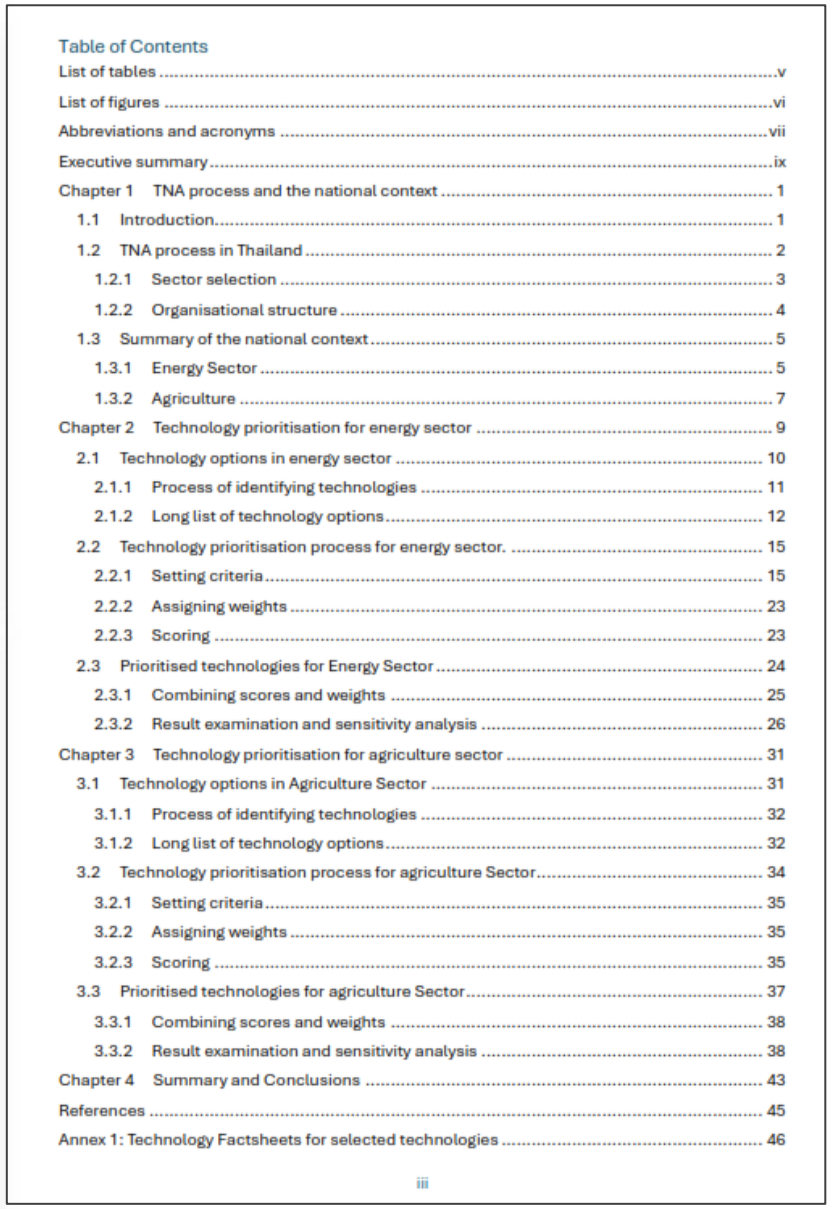
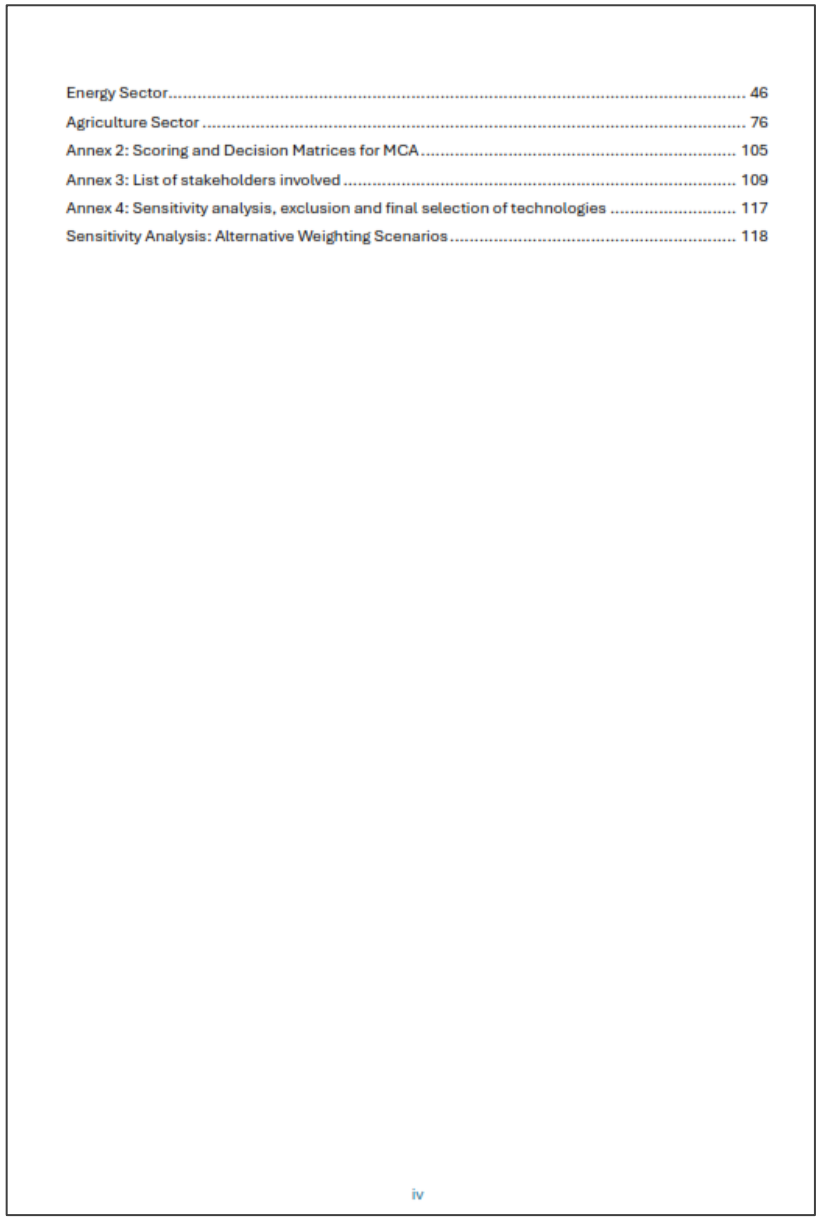


Table of Contents

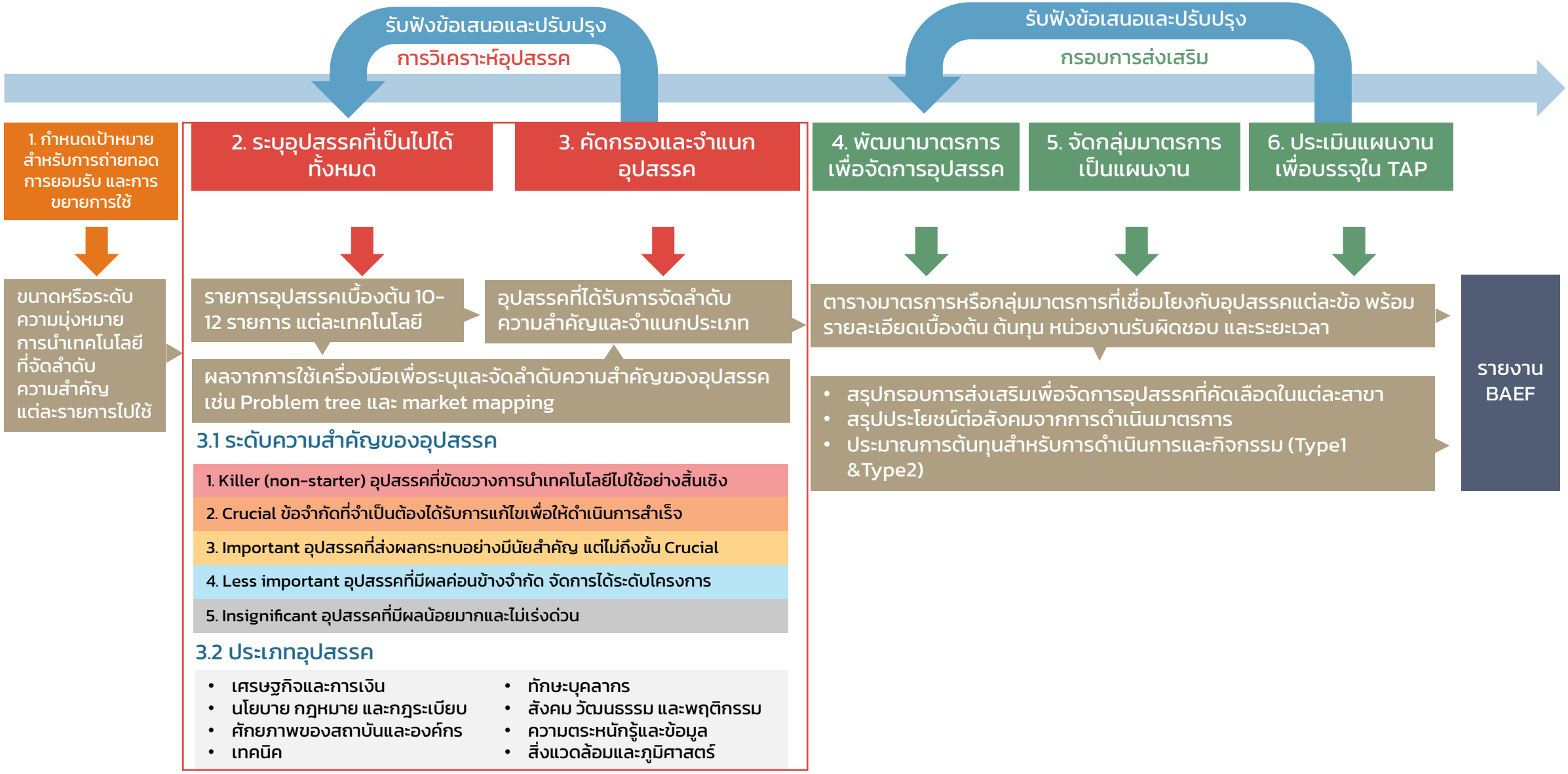
List of tables v
List of figures vi
Abbreviations and acronyms vii
Executive summary ix
Chapter 1 TNA process and the national context 1
1.1 Introduction 1
1.2 TNA process in Thailand 2
1.2.1 Sector selection 3
1.2.2 Organisational structure 4
1.3 Summary of the national context 5
1.3.1 Energy Sector 5
1.3.2 Agriculture 7
Chapter 2 Technology prioritisation for energy sector 9
2.1 Technology options in energy sector 10
2.1.1 Process of identifying technologies 11
2.1.2 Long list of technology options 12
2.2 Technology prioritisation process for energy sector. 15
2.2.1 Setting criteria 15
2.2.2 Assigning weights 23
2.2.3 Scoring 23
2.3 Prioritised technologies for Energy Sector 24
2.3.1 Combining scores and weights 25
2.3.2 Result examination and sensitivity analysis 26
Chapter 3 Technology prioritisation for agriculture sector 31
3.1 Technology options in Agriculture Sector 31
3.1.1 Process of identifying technologies 32
3.1.2 Long list of technology options 32
3.2 Technology prioritisation process for agriculture Sector 34
3.2.1 Setting criteria 35
3.2.2 Assigning weights 35
3.2.3 Scoring 35
3.3 Prioritised technologies for agriculture Sector 37
3.3.1 Combining scores and weights 38
3.3.2 Result examination and sensitivity analysis 38
Chapter 4 Summary and Conclusions 43
References 45
Annex 1: Technology Factsheets for selected technologies 46



Energy Sector 46
Agriculture Sector 76
Annex 2: Scoring and Decision Matrices for MCA 105
Annex 3: List of stakeholders involved 109
Annex 4: Sensitivity analysis, exclusion and final selection of technologies 117
Sensitivity Analysis: Alternative Weighting Scenarios 118

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

การวิเคราะห์อุปสรรคและกรอบการส่งเสริม (Barrier Analysis and Enabling Framework: BAEF)



4 ประเด็นคำถามในการเสวนา

วันนี้เราไม่ได้ขอให้ทุกท่านรับรองว่าเทคโนโลยีเหล่านี้ต้องถูกนำไปใช้ทุกพื้นที่ แต่ขอให้ช่วยตรวจสอบว่า หากประเทศไทยจะใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ให้เกิดผลจริง อุปสรรคต่างๆที่นำเสนอถูกต้องสมบูรณ์หรือยัง และเสนอวิธีปลดล็อกที่ทำได้จริงหรือไม่?



1. เทคโนโลยีที่คัดเลือกนี้จะช่วยใคร แก้ปัญหาอะไร ที่ใด สามารถสร้างผลบวกให้ประเทศได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่?
2. อุปสรรคหลัก 3–5 เรื่อง (Killers) และเรื่องใดเป็นต้นเหตุ?
3. มาตรการที่แก้ต้นเหตุได้จริงคืออะไร ทำไมต้องเริ่มทำก่อน?
4. ต้องพิสูจน์อะไรเพิ่มเติมก่อนลงทุนหรือขยายพื้นที่?

© 2026 The Creagy Company Limited. All rights reserved.

วงเสวนาที่ 1

SMR กับ อนาคตพลังงานไทย และความท้าทายในการดำเนินงาน

CREAGY

บทบาทเชิงยุทธศาสตร์ของ SMR และแนวทางการพัฒนาของ IAEA

บทบาทของ SMR ในไทย

- แหล่งพลังงานไฟฟ้าคาร์บอนต่ำที่ผลิตได้คงที่ (Firm Low-carbon Electricity)
- รักษาเสถียรภาพของสายส่ง (Grid Stability) รองรับพลังงานหมุนเวียน
- ทดแทนกำลังการผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะปลดระวาง

ขั้นตอนการพัฒนา IAEA Milestones Approach

ขั้นที่ 3: การก่อสร้าง (Construction)
- การอนุมัติและเริ่มโครงการ

ขั้นที่ 2: การเตรียมการ (Preparation)
- กฎหมาย โครงสร้างพื้นฐาน และบุคลากร

ขั้นที่ 1: การพิจารณาความพร้อม (Consideration)
- นโยบายระดับชาติ

สถานะที่แท้จริงของโครงการ SMR ระดับโลก (Global Diagnostic Matrix)

ประเทศ / โครงการ	สถานะจริง (True Status)	ตัวเลขการเงินที่อ้างถึง	ข้อเท็จจริงที่ซ่อนอยู่ (The "Real" Lesson)
รัสเซีย (Akademik Lomonosov)	 **เดินเครื่องเชิงพาณิชย์** (พ.ค. 2020)	**37 พันล้านรูเบิล**	**เป็นโรงไฟฟ้าลอยน้ำ 70 MWe ในแถบอาร์กติก** ตัวเลข 37 พันล้านรูเบิลคือประมาณการปี 2015 ไม่ใช่ต้นทุนปิดโครงการ นำมาเทียบกับระบบไฟฟ้าหลักของไทยไม่ได้
จีน (HTR-PM, Shidao Bay)	 **เดินเครื่องเชิงพาณิชย์** (ธ.ค. 2023)	**[ไม่มีข้อมูลที่โปร่งใส]**	**ใช้เวลาถึง 11 ปีจากเริ่มก่อสร้างจนถึงเดินเครื่องจริง** ลบล้างสมมติฐานที่ว่า "ขนาดเล็กทำให้สร้างเสร็จกร็วเสมอ" ต้นทุนรวมยังไม่เปิดเผย
แคนาดา (Darlington, OPG)	 **กำลังก่อสร้าง** (รอใบอนุญาตเดินเครื่อง)	**20.9 พันล้าน CAD** (แผนรวม 4 หน่วย)	**นี่คือ "กรณีทดสอบสำคัญที่สุด" ของโลกเสรี** งบ 7.7 พันล้าน CAD สำหรับหน่วยแรรวมโครงสร้างพื้นฐาน ต้องติดตามงบบานปลายอย่างใกล้ชิด
สหราชอาณาจักร (Wylfa)	 **เตรียมโครงการ /** **รัฐหนุนตลาด**	**> 2.5 พันล้าน GBP**	**ตัวเลขนี้คือ "เงินสนับสนุนการพัฒนาจากรัฐ"** ไม่ใช่ต้นทุนก่อสร้างสำเร็จ รัฐต้องรับความเสี่ยงมหาศาลแทนเอกชนในระยะแรก
สหรัฐอเมริกา (NuScale-UAMPS CFPP)	 **ยุติโครงการ** (พ.ย. 2023)	**ยุติที่ราคาเป้าหมาย** 89 USD/MWh	แม้มีเทคโนโลยีพร้อมและรัฐให้เงินหนุนมหาศาล โครงการก็ล่มได้หากผู้ซื้อไฟไม่ยอมรับราคาที่พุ่งสูงขึ้น

ความจริงของ SMR: “เดินเครื่องได้แล้ว” ≠ “ต้นทุนแข่งขันได้แล้ว”

ความสำเร็จทางวิศวกรรม
(มีเทคโนโลยีที่เดินเครื่องได้จริงในระบบรัฐจัดตั้ง)

≠

ความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์
(พร้อมผลิตจำนวนมากด้วยต้นทุนที่แข่งขันได้ในตลาดเสรี)

> 80 แบบ
(SMR ที่อยู่ระหว่างการพัฒนาบนหน้ากระดาษทั่วโลก)

5 โครงการ
(โครงการที่ถูกยกมาเป็นกรณีศึกษาหลักในการผลักดันนโยบาย)

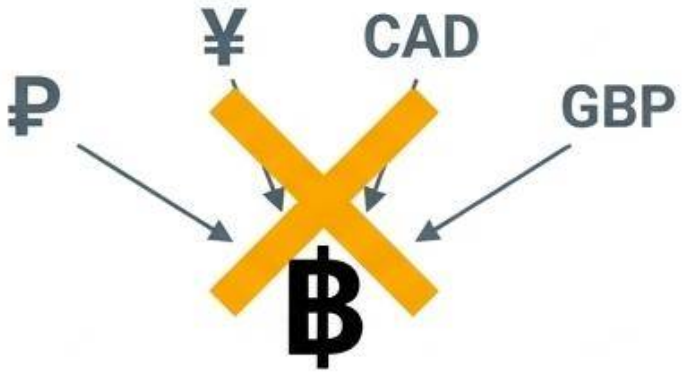
4 โมดูล
(เครื่องปฏิกรณ์ที่เดินเครื่องอยู่จริง ณ ปัจจุบัน)

0 โครงการ
(โครงการที่พิสูจน์ความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ได้สำเร็จโดยปราศการอุดหนุนมหาศาลจากรัฐ)

ข้อสรุปเชิงยุทธศาสตร์: ข้อมูลจาก IAEA (ก.ค.-ก.ย. 2026) ยืนยันว่า SMR อยู่ใน "ช่วงเริ่มต้นของตลาด" เท่านั้น โมดูลที่เดินเครื่องจริงมีเพียงในจีน (HTR-PM) และรัสเซีย (Akademik Lomonosov) ซึ่งเป็นการดำเนินการภายใต้รัฐ ไม่ใช่ผลผลิตจากกลไกตลาดที่ไทยจะนำมาเทียบเคียงได้โดยตรง

ภาพลวงตาด้านต้นทุน:
ทำไมถึงห้ามเปรียบเทียบตัวเลขข้ามโครงการ

The Context Trap

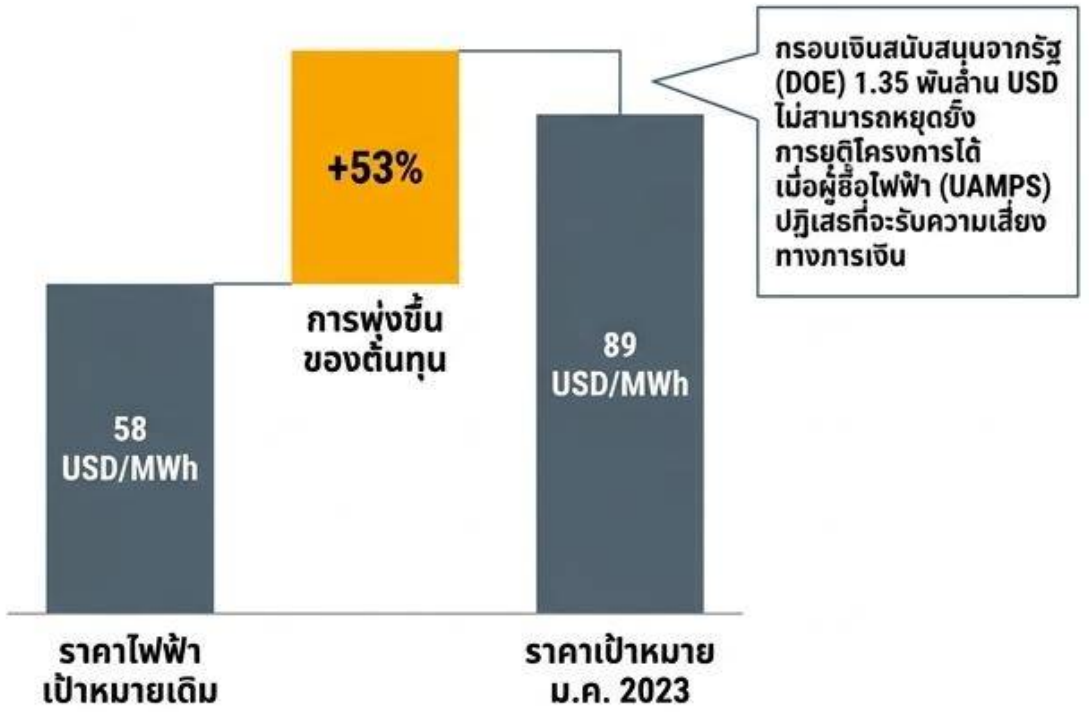


ข้อควรระวังขั้นวิกฤต: การแปลงสกุลเงินเป็น "บาท" ด้วยอัตราแลกเปลี่ยนเดียวทำให้ดูเปรียบเทียบกันได้ ทั้งที่จริงทำไม่ได้

สิ่งที่ตัวเลขการเงิน (Stated Costs) มักจะซ่อนไว้:

- ไม่รวมค่า R&D และต้นทุนเชื้อเพลิงเริ่มต้น (First Core)
- รวม/ไม่รวมโครงสร้างพื้นฐานร่วม (Shared Infrastructure)
- ฐานราคาต่างปี (เช่น รูเบิลปี 2015 vs ดอลลาร์แคนาดาปี 2024)
- เงินสนับสนุนโครงการจากรัฐ (Subsidies) ที่ปกปิดต้นทุนที่แท้จริง

The NuScale Warning



Key Insight: การยุติโครงการ CFPP ไม่ใช่ความล้มเหลวของวิศวกรรม แต่เป็นความล้มเหลวของการจัดหาเงินทุนในโลกแห่งความเป็นจริง

เป้าหมายและการขับเคลื่อนเทคโนโลยี SMR ของประเทศไทย (2026 - 2050)



ปริมาณเป้าหมาย (Quantity) โครงการต้นแบบแห่งแรก (First-of-a-kind) 1 โครงการ	**เทคโนโลยี (Technology)** SMR ที่เชื่อมต่อระบบสายส่งและได้รับการรับรองระดับสากล
กำลังการผลิต (Capacity) ประมาณ 300 MWe ต่อโครงการ	**ขอบเขต (Coverage)** กรอบการดำเนินงานระดับชาติ และพื้นที่ติดตั้งเริ่มต้น 1 แห่ง

SMR (Small Modular Reactor) คือส่วนเสริมของระบบไฟฟ้าที่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานระดับชาติแบบครบวงจร



Stakeholder Value Chain



หมุดหมายถึงปี 2035 ก่อนตัดสินใจลงทุนจริง



หมายเหตุ: การประเมินดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของที่ปรึกษา โดยพิจารณาจากผลการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการหารือกับผู้เชี่ยวชาญ

ขอบเขตของ SMR กว้างกว่าแค่เทคโนโลยี และมีข้อจำกัดที่ต้องประเมินตามความเป็นจริง

ขอบเขตระดับระบบนิเวศ (Ecosystem Scope)



สิ่งที่เทคโนโลยีไม่สามารถแก้ได้ (Constraints & Realities)

"เล็ก" ไม่ได้แปลว่า "ถูกและเร็ว" เสมอไป

การผลิตแบบโมดูลาร์ไม่ได้รับประกันว่าต้นทุนต่อหน่วยจะต่ำ หรือจะสามารถสร้างเสร็จตามกำหนดเวลาเสมอไป

เทคโนโลยีไม่สามารถ "เหมารวม"

SMR แต่ละแบบมีสมรรถนะและความพร้อมต่างกัน ต้องมีหลักฐานประเมิน "เป็นรายแบบ" เสมอ

ไม่ลบล้าง "ภาระผูกพันระยะยาว"

ไม่ทำให้ข้อกำหนดด้านความปลอดภัย กากกัมมันตรังสี และความรับผิดชอบเมื่อหมดอายุการใช้งานหายไป

ไม่ทดแทน "เป้าหมายระยะสั้น"

ไม่ควรใช้ทดแทนการลงทุนลดก๊าซเรือนกระจกในระยะใกล้ โดยยังไม่ประเมินเวลาและผลกระทบต่อระบบอย่างถี่ถ้วน

5 คอขวดเชิงระบบที่ขัดขวางการขยายตัวของ SMR (Systemic Risk Framework)

ต้นทุนรุ่นแรก (FOAK vs NOAK)	ความเสี่ยงทางการเงิน (Financial Risk)	อุปสรรคด้านใบอนุญาต (Regulatory Hurdles)	ห่วงโซ่เชื้อเพลิง (HALEU Bottleneck)	การจัดการกากนิวเคลียร์ (Waste Management)
สมมติฐานหลักของ SMR คือ "การลดต้นทุนจากการผลิตซ้ำ" (NOAK) แต่ปัจจุบันทั่วโลกยังติดหล่มอยู่ที่ต้นทุนรุ่นแรก (FOAK) ซึ่งยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าต้นทุนระยะยาวจะลดลงเหลือ 2,500-4,500 USD/kW ตามที่ IEA คาดการณ์ไว้ได้จริงหรือไม่	หากไม่มีความแน่นอนของรายได้และการรับประกันราคาซื้อไฟล่วงหน้า (เช่นเดียวกับบทเรียน UAMPS) ทุนเอกชนจะไม่กล้าเข้าร่วม และภาระความเสี่ยงทั้งหมดจะตกอยู่กับรัฐ	"ใบอนุญาตก่อสร้าง" ไม่เท่ากับ "ใบอนุญาตเดินเครื่อง" กรณี Darlington แสดงให้เห็นว่าทุกขั้นตอนมีจุดตรวจสอบที่สามารถทำให้โครงการล่าช้าได้ตลอดเวลา	เครื่องปฏิกรณ์ขั้นสูงหลายแบบต้องใช้เชื้อเพลิง HALEU (ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ <20%) ซึ่งห่วงโซ่อุปทานระดับโลกยังไม่พร้อมรองรับการขยายตัวเชิงพาณิชย์ แม้สหรัฐฯ จะเริ่มผลิตได้บ้างในปี 2025	"ขนาดเล็ก" ไม่ได้แปลว่า "ไม่มีกาก" รูปแบบเชื้อเพลิงและเทคโนโลยีที่หลากหลายของ SMR ทำให้ต้องเตรียมแผนจัดการและรื้อถอนเฉพาะแบบ ซึ่งเป็นภาระผูกพันตลอดอายุโครงการ

- FOAK = First-of-A-Kind
- NOAK = Nth-of-A-Kind

HALEU (High-Assay Low-Enriched Uranium) เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ยุคใหม่ที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 (U-235) อยู่ที่ 5% ถึง 19.9%

Small Modular Reactor (SMR)

ภูมิทัศน์ของอุปสรรค: 25 ข้อจำกัดที่ท้าทายการพัฒนา SMR

ข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจและการเงิน / 11 อุปสรรค

ความท้าทายหลักครอบคลุมตั้งแต่ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นที่สูงมาก, ความเสี่ยงของโครงการแรก (First-of-a-kind), การพึ่งพากลไกสนับสนุนจากรัฐ, ไปจนถึงความไม่แน่นอนของรูปแบบรายได้และการจัดการความเสี่ยงจากอัตราแลกเปลี่ยน

ข้อจำกัดด้านอื่นๆ / 14 อุปสรรค

1. นโยบาย กฎหมาย และกฎระเบียบ (Policy & Regulatory)	3. สังคมและการมีส่วนร่วม (Social & Behavioral)
2. ขีดความสามารถขององค์กรและบุคลากร (Institutional & Human Skills)	4. เทคนิคและโครงสร้างพื้นฐาน (Technical & Infrastructure)

Small Modular Reactor (SMR)

การคัดกรองอุปสรรค: สกัด 25 ปัญหา สู่ 5 "ข้อจำกัดขั้นวิกฤต"

การวิจัย เอกสาร + การรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

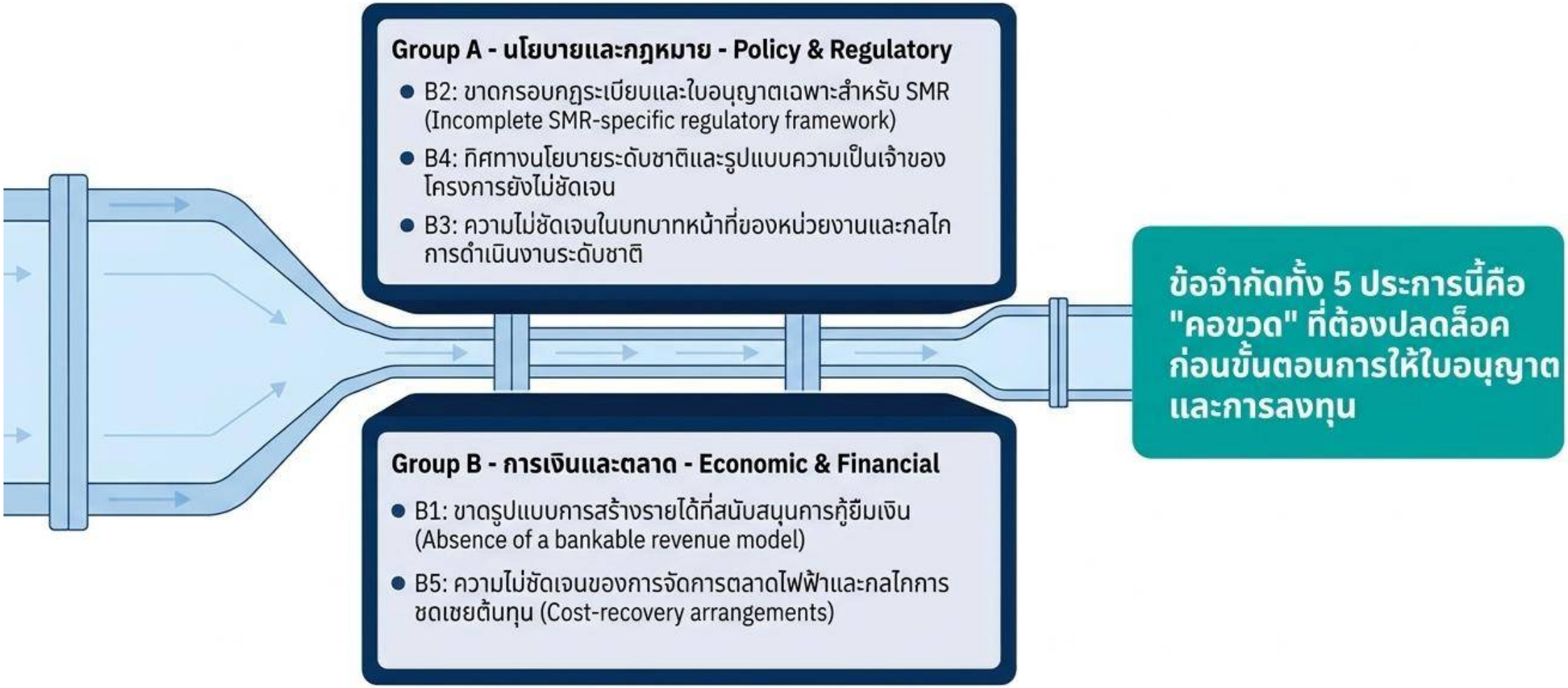
Tier 3 - Important / 7 อุปสรรค
มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถจัดการได้ในระดับโครงการ (เช่น ความท้าทายด้านสายส่ง, การยอมรับของชุมชนระยะต้น)

Tier 2 - Crucial / 13 อุปสรรค
ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อขยายผลสำเร็จ (เช่น โครงสร้างพื้นฐานนิวเคลียร์, ขีดความสามารถด้านบุคลากร, การจัดการคากกัมมันตรังสี)

Tier 1 - Killer (Non-Starter) / 5 อุปสรรค
หากไม่ได้รับการแก้ไข โครงการจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย
(Block Deployment)

Small Modular Reactor (SMR)

เจาะลึก 5 อุปสรรคขั้นวิกฤต (Killer Barriers) ที่ระงับการเกิดโครงการ



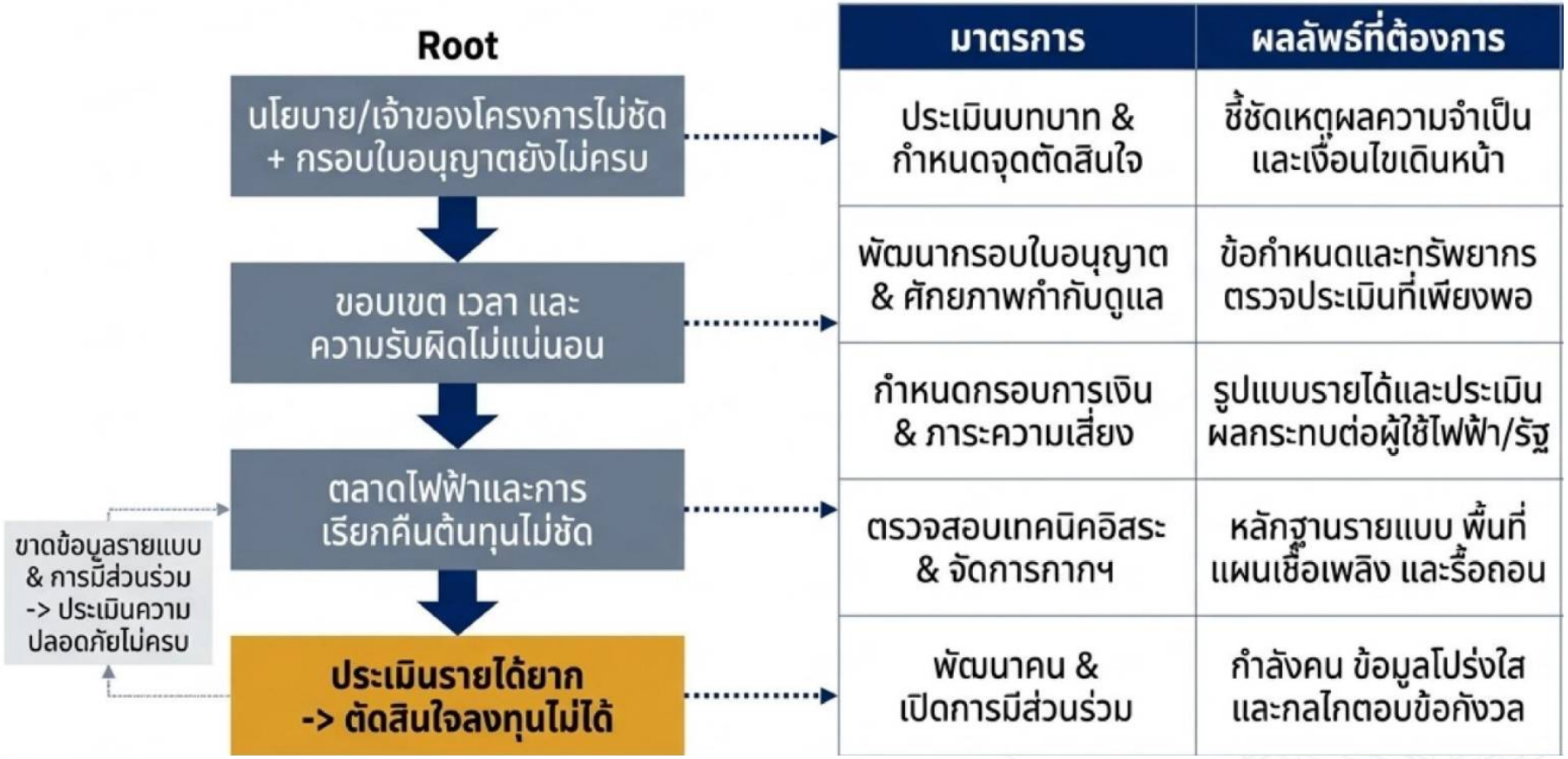
Small Modular Reactor (SMR)

จากอุปสรรคสู่มาตรการ: การสร้างสะพานข้ามข้อจำกัดขั้นวิกฤต



Small Modular Reactor (SMR)

อุปสรรคเชิงระบบ (Killer Barriers) และมาตรการปลดล็อกที่ต้องดำเนินการโดยหน่วยงานเจ้าภาพ

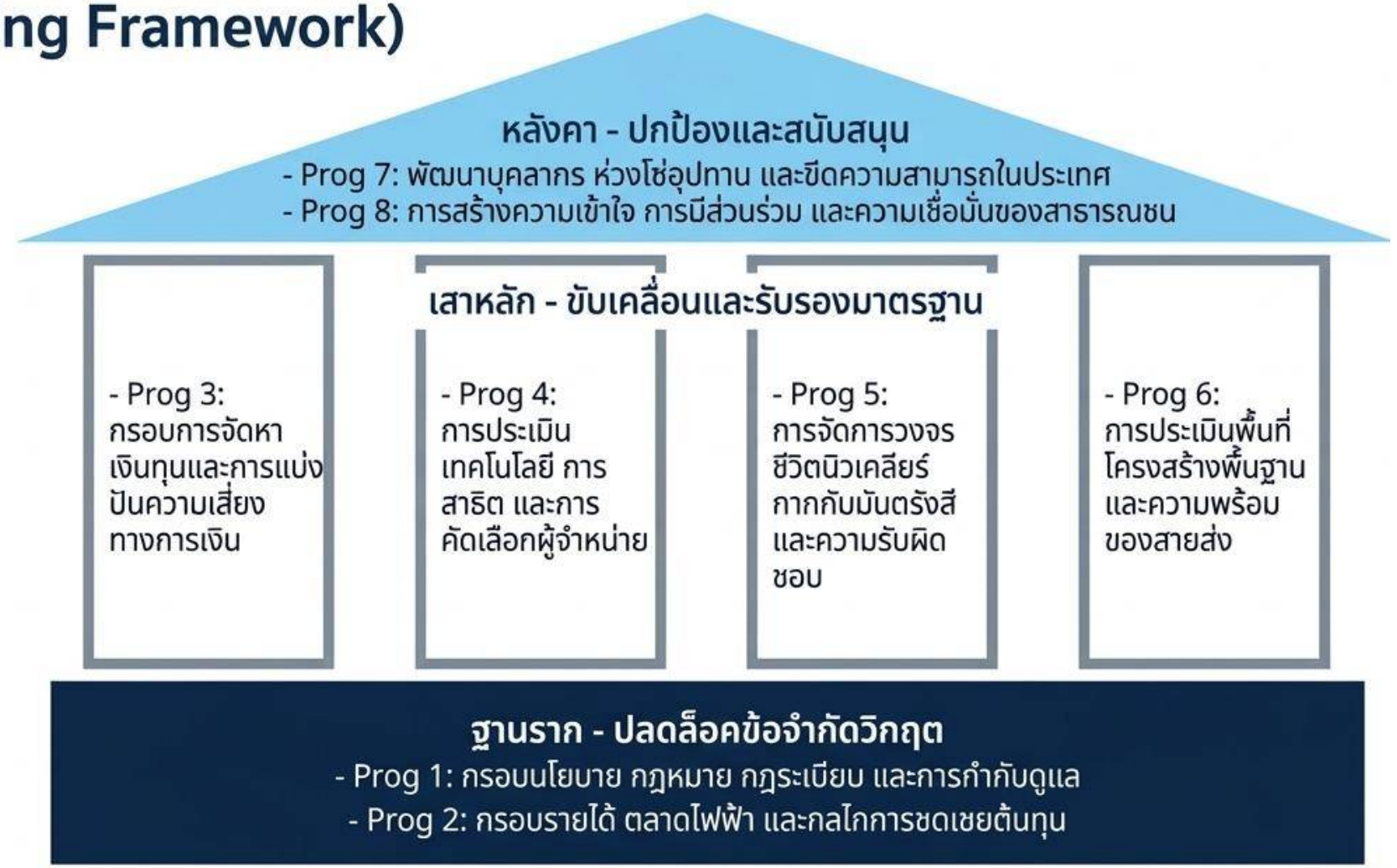


หลักการสำคัญ: ต้องรักษาการแยกบทบาทหน่วยงานผู้ส่งเสริมและพัฒนาโครงการ ออกจากผู้กำกับดูแลอย่างเด็ดขาด เพื่อความโปร่งใสและมาตรฐานความปลอดภัยสูงสุด

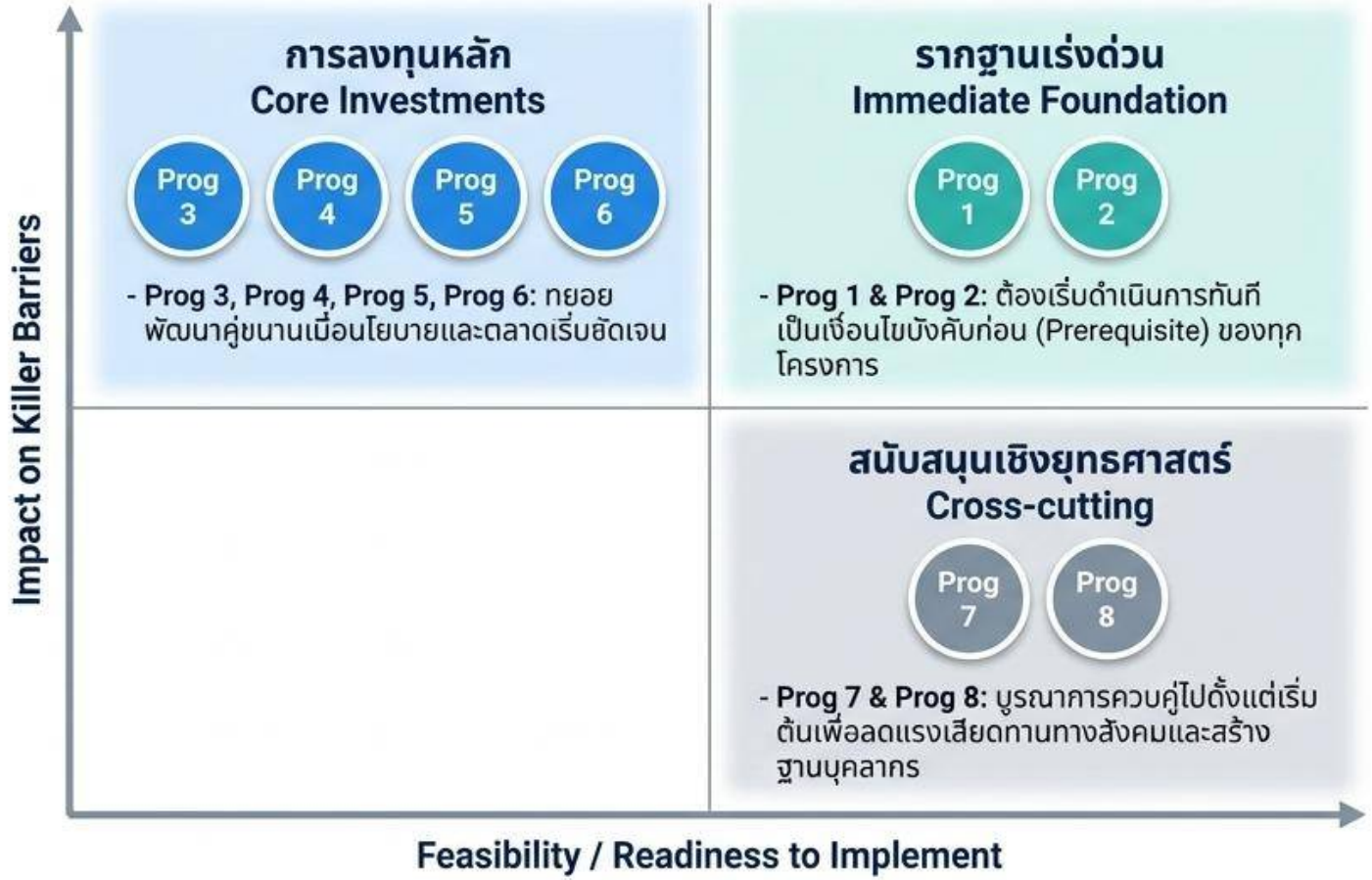
Gemini Notebook

Small Modular Reactor (SMR)

บูรณาการ 8 โครงการยุทธศาสตร์เพื่อปลดล็อคเทคโนโลยี SMR (Enabling Framework)



กลยุทธ์การจัดลำดับความสำคัญของแผน TAP (Prioritization Strategy)



ไม่สามารถข้ามขั้นตอนได้ การแก้ปัญหาด้านเงินทุนและวิศวกรรมจะล้มเหลวหากปราศจากฐานรากทางกฎหมายและรายได้ (Prog 1 & 2)

Small Modular Reactor (SMR)

<u>คำถามที่ต้องการคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ</u>

1. SMR ควรตอบโจทย์ใดของระบบพลังงานไทย และต้องเพิ่มคุณค่าเหนือทางเลือกอื่นด้านใดจึงควรศึกษาหรือเดินหน้าต่อ?

2. อุปสรรคใดในร่างเป็นต้นเหตุที่ต้องแก้ก่อนจริง ๆ

3. ก่อนลงทุนหรือขยายระดับประเทศ ต้องเห็นหลักฐานอะไรจึงมั่นใจว่าคุ้มค่า เชื่อถือได้ และดูแลต่อเนื่องได้?

menti.com

6802 2645


พักถึง 11:05

วงเสวนาที่ 2

ลดคาร์บอนในอุตสาหกรรมและการบิน เทคโนโลยีใช้ได้แค่ไหน?

CREAGY

Barrier Analysis and Enabling Framework (BAEF)

Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies

Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies

"จัดการ CO_2 ตั้งแต่ออกจากแหล่งกำเนิด ไปจนถึงปลายทางที่ตรวจสอบได้ ไม่ใช่เพียงการติดตั้งเครื่องดักจับ"



Target user:
ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม (ซีเมนต์, เคมี) และโรงไฟฟ้า

Target user:
ผู้ให้บริการโครงสร้างพื้นฐานขนส่ง

Target user:
ผู้ให้บริการกักเก็บ, ผู้ใช้ CO_2, ชุมชนรอบพื้นที่, หน่วยงานกำกับดูแล

หมุดหมายสำคัญถึงปี 2035 (Conditions for Scale)

- ☑ คู่แหล่งปล่อย-แหล่งกักเก็บผ่านการศึกษาความเหมาะสมแล้ว
- ☑ มีโครงการนำร่องที่พิสูจน์การทำงาน 'ครบห่วงโซ่'
- ☑ มีกรอบอนุญาต มาตรฐาน CO_2 และระบบ MRV (ติดตาม/ทวนสอบ)
- ☑ มีสัญญาบริการ รูปแบบรายได้ และผู้รับผิดชอบตลอดอายุโครงการชัดเจน

สิ่งที่เทคโนโลยีทำได้ / ขอบเขต	สิ่งที่เทคโนโลยี ไม่สามารถทำได้ / ข้อควรระวัง
ดักจับ ขนส่ง ใช้ประโยชน์ หรือ กักเก็บถาวร	**ปริมาณดักจับ ≠ ปริมาณลดสุทธิ:** 1 ตันที่ดักจับ ไม่เท่ากับ 1 ตันที่ลดก๊าซเรือนกระจกได้จริง (ต้องหักลบพลังงานที่ใช้กิ้งระบบ)
สำรวจแหล่งกักเก็บและสร้างโครงสร้างพื้นฐานร่วม	**ใช้ประโยชน์ ≠ กักเก็บถาวร:** ต้องระวังการปล่อยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ
ติดตามตรวจสอบและทวนสอบ (MRV)	**BECCS ≠ ปล่อยสุทธิติดลบอัตโนมัติ:** ต้องประเมินการใช้ที่ดินและแหล่งชีวมวล
	ไม่ทดแทนประสิทธิภาพ: ไม่ใช้แทนการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานที่เหมาะสมกว่า
	ไม่ลบล้างความรับผิด: ไม่ทำให้ภาระติดตามและจบหลังปิดแหล่งกักเก็บหมดไป

The Synchronized Chain: Capture -> Transport -> Storage

CCS/CCUS: จากความหวังทางเทคโนโลยี สู่ความท้าทายทางการเงินและโครงสร้างพื้นฐาน

โครงการ CCS/CCUS เริ่มใช้งานเชิงพาณิชย์แล้วทั่วโลก แต่ความสำเร็จไม่ได้อยู่ที่ “เครื่องดักจับ” เพียงอย่างเดียว หัวใจสำคัญคือ “ความพร้อมทั้งห่วงโซ่” (Whole-Chain Readiness) และการบริหารความเสี่ยงเพื่อนำไปสู่ความคุ้มค่าในการลงทุน (Bankability)



สถานการณ์โลก (Global Reality)

- มีกำลังดักจับที่เดินระบบแล้วเพียง >50 ล้านตัน CO_2/ปี (ต้นปี 2025)
- แผนงานในอนาคตสูงถึง 425 ล้านตัน/ปี แต่หลายโครงการถูกเลื่อนไปใกล้ไกล้ปี 2035
- Insight: ตัวเลขพยากรณ์รวมศักยภาพในอนาคต อย่าสับสนระหว่าง “ประกาศโครงการ” กับ “ลดก๊าซได้จริง”



ช่องว่างทางการเงิน (The Bankability Gap)

- อุปสรรคใหญ่สุดไม่ใช่ค่าก่อสร้าง (CAPEX) แต่คือ “ความเสี่ยงข้ามห่วงโซ่” (Cross-Chain Risk)
- หากท่อส่งหรือแหล่งกักเก็บมีปัญหา เครื่องดักจับจะไร้ค่าทันที แต่ต้นทุนคงที่ยังเดินหน้าต่อ
- Insight: สินเชื่อพาณิชย์ >15,000 ล้านดอลลาร์ใน 2 ปีล่าสุด ไหลเข้าเฉพาะตลาดที่รัฐช่วยลดความเสี่ยงทั้งระบบ (เช่น สหราชอาณาจักร)



ข้อเสนอสำหรับไทย (Thailand’s Imperative)

- เป้าหมาย 2030-2035: ต้องวางกรอบโครงสร้างพื้นฐาน (Hub) และจัดสรรความเสี่ยงก่อนเลือกเทคโนโลยี
- ตอบคำถามสำคัญ: ใครเป็นผู้จ่าย? และใครรับความเสี่ยงหากห่วงโซ่ใดห่วงโซ่หนึ่งหยุดชะงัก?
- Insight: ทุนให้เปล่าช่วยให้สร้างเสร็จ แต่สัญญาการรับซื้อระยะยาวเท่านั้นที่ทำให้โครงการอยู่รอด

สถานะจริงของอุตสาหกรรม: ความพร้อมแตกต่างกันในแต่ละภาคส่วน

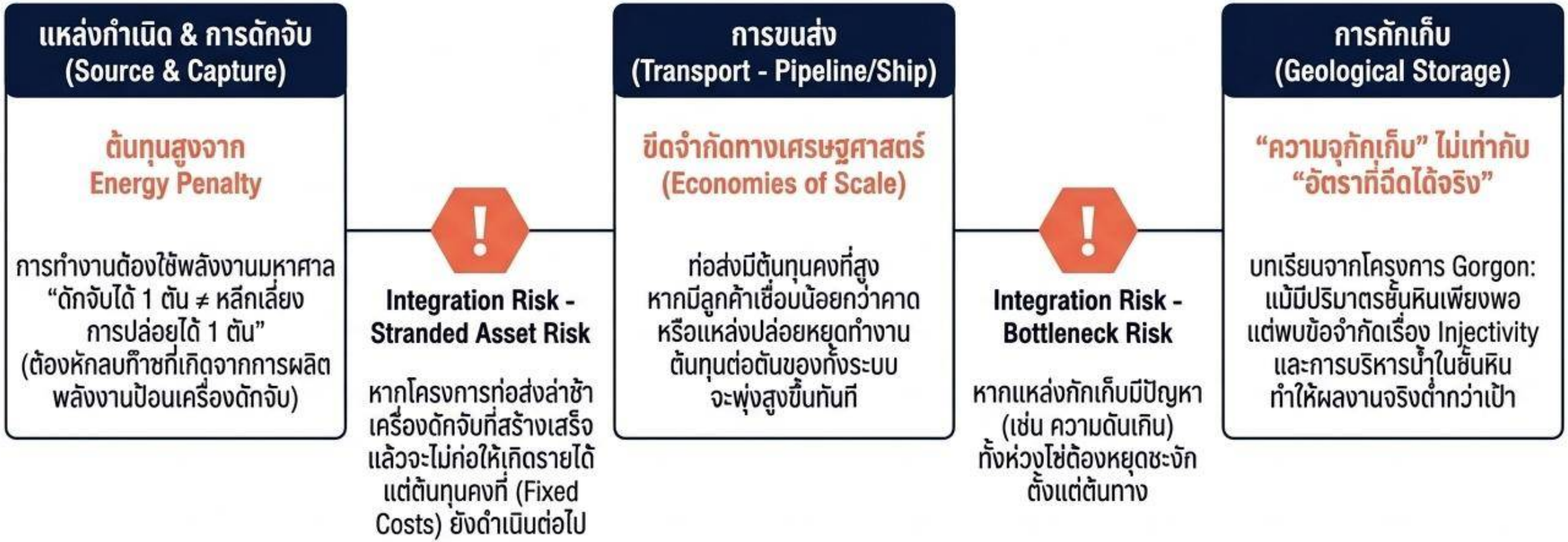
ภาคอุตสาหกรรม (Sector)	ระดับความพร้อม (Maturity)	โครงการอ้างอิง (Key Projects)	บทเรียนสำคัญ (Core Challenge / Lesson)
O&G / Gas Processing		Quest (แคนาดา), Gorgon (ออสเตรเลีย)	มีฐานการใช้งานจริง แต่ “พื้นที่กักเก็บเชิงทฤษฎี” ไม่เท่ากับ “อัตราการฉีดได้จริง” (Gorgon พบข้อจำกัดด้านความดัน)
Cement		Brevik (นอร์เวย์)	กำลังสร้างห่วงโซ่ CCS จริงที่แรกของโลก พิสูจน์ว่าอุตสาหกรรมหนักเดินหน้าได้เมื่อมีรัฐร่วมแบกรับความเสี่ยง (Longship Project)
Power Generation		Petra Nova (สหรัฐฯ), Boundary Dam (แคนาดา)	พิสูจน์แล้วว่าทำได้จริง แต่เศรษฐศาสตร์เป็นอุปสรรค (Petra Nova ต้องหยุดเมื่อราคาร่วง) / ค่า “จับได้ 90%” ไม่เท่ากับประสิทธิภาพตลอดปี
Transport / Marine		Clipper Eris (ดักจับบนเรือ), Haru Oni (e-fuels)	ยังอยู่ในระดับสาธิต (Demonstration) / ต้องคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกและปลายทางกักเก็บ
BECCS		ADM Illinois (สหรัฐฯ), Stockholm (สวีเดน)	โครงการใหม่กำลังขยายขนาด แต่มีประเด็นเรื่องการรั่วไหลลงชั้นหินที่ไม่ได้รับอนุญาต (ADM) และความซับซ้อนของเงินทุน

ข้อควรระวังในการตีความข้อมูล (Mind the Gap)

- **CCS ≠ CCUS**: การดักจับไปใช้ประโยชน์ (เช่น e-fuels ที่ Haru Oni) ไม่ใช่การกักเก็บถาวร CO_2 จะถูกปล่อยกลับเมื่อเผาไหม้
- **Project Announced ≠ Net-Zero Achieved**: กำลังออกแบบสูงสุด ไม่ใช่ปริมาณที่ลดก๊าซเรือนกระจกได้จริงในแต่ละปี
- **Failure Misattribution**: ความล้มเหลวระดับ 7,500 ล้านเหรียญของโครงการ Kemper เกิดจากเทคโนโลยี Gasification ใหม่ ไม่ใช่ความล้มเหลวของเทคโนโลยี CCS

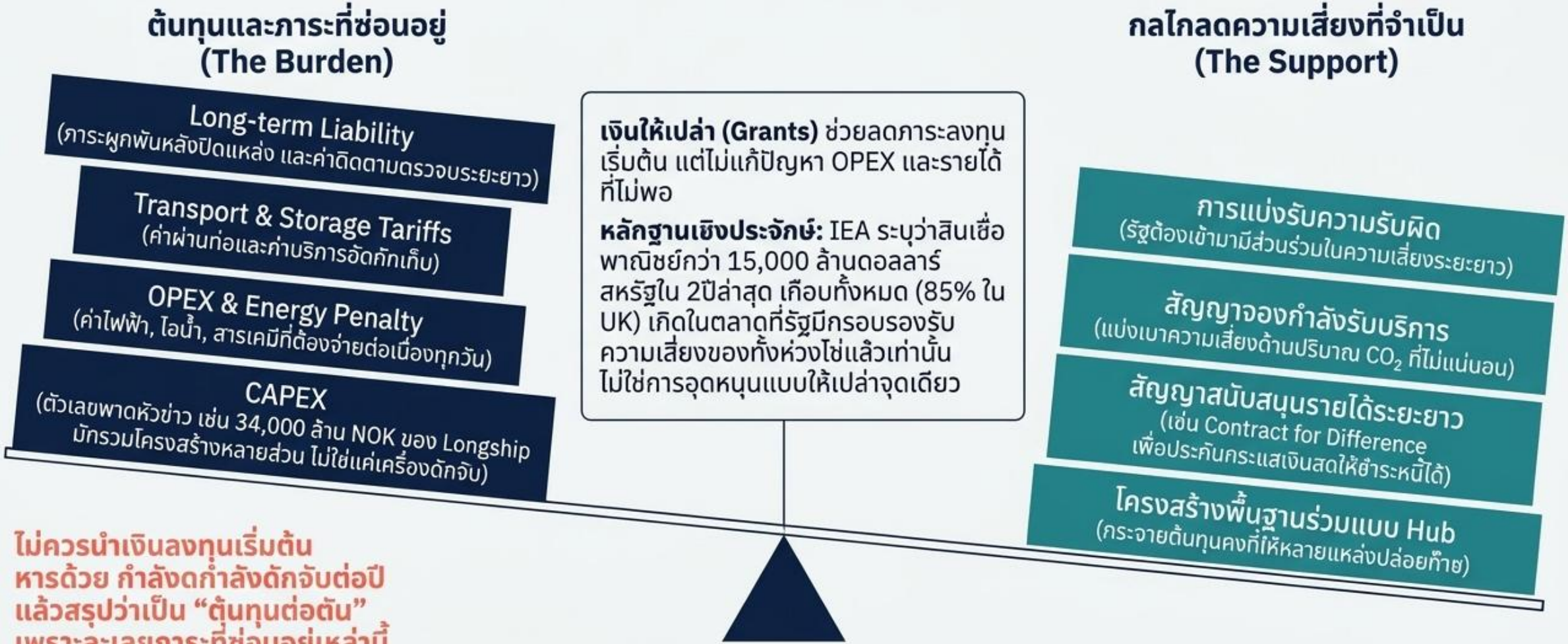
กับดัก “ความเสี่ยงข้ามห่วงโซ่”: โครงสร้างพื้นฐานที่แยกขาดจากกันไม่ได้

ความท้าทายหลักไม่ใช่แค่ค่าก่อสร้าง แต่คือ **“ไก่กับไข่”** (Chicken-or-Egg dilemma) ของโครงสร้างพื้นฐาน
โรงงานไม่กล้าลงทุนเครื่องดักจับถ้าไม่มีท่อส่ง ส่วนท่อส่งก็ไม่กล้าสร้างถ้าไม่มีลูกค้าการันตีปริมาณ



ความเสี่ยงเหล่านี้ทำให้สัญญามีความซับซ้อนสูงมาก หากองค์ประกอบใดล้มเหลว ทั้งระบบจะสร้างรายได้ไม่ได้เลย (Whole-chain failure)

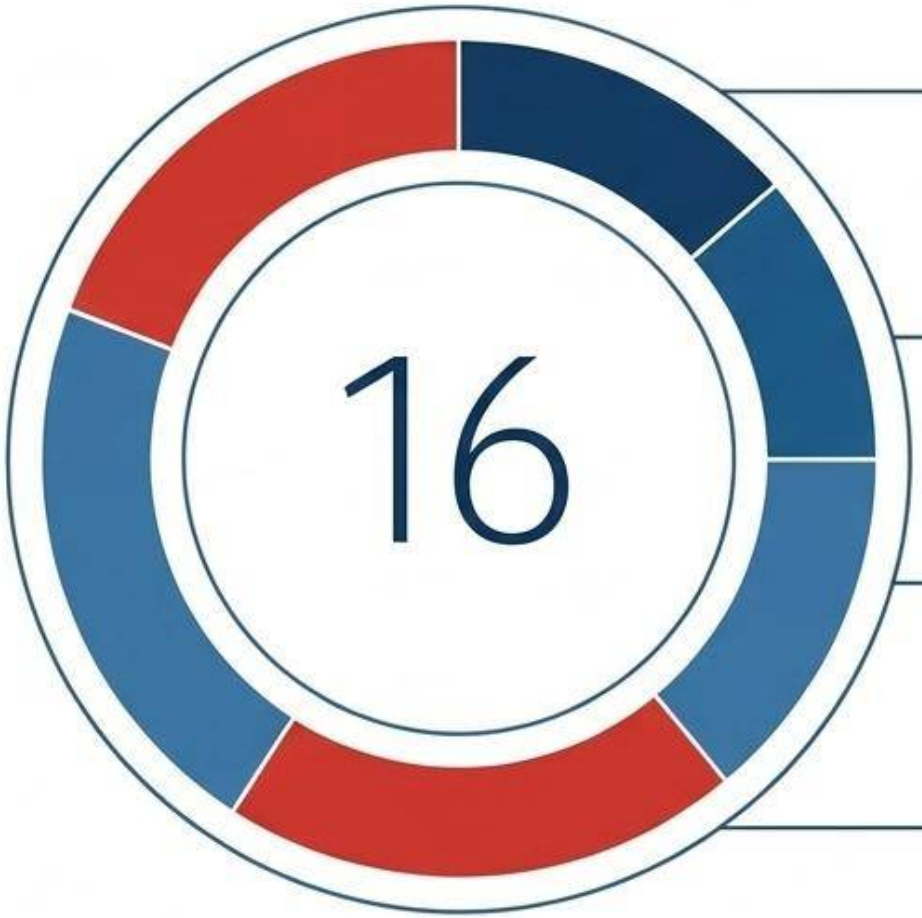
สมการการเงิน (Bankability): เงินให้เปล่าสร้างโครงการได้ แต่ไม่ทำให้โครงการอยู่รอด



ไม่ควรนำเงินลงทุนเริ่มต้นหารด้วย กำลังดกำลังดักจับต่อปี แล้วสรุปว่าเป็น “ต้นทุนต่อตัน” เพราะละเลยภาระที่ซ่อนอยู่เหล่านี้

การนำ CCUS มาใช้ในไทยเป็นความท้าทายเชิงระบบ ไม่ใช่เพียงเรื่องของเทคโนโลยี

การพัฒนา CCUS ปัจจุบันติดขัดจากอุปสรรค 16 ประการ ซึ่งกระจายตัวอยู่ใน 4 มิติหลัก



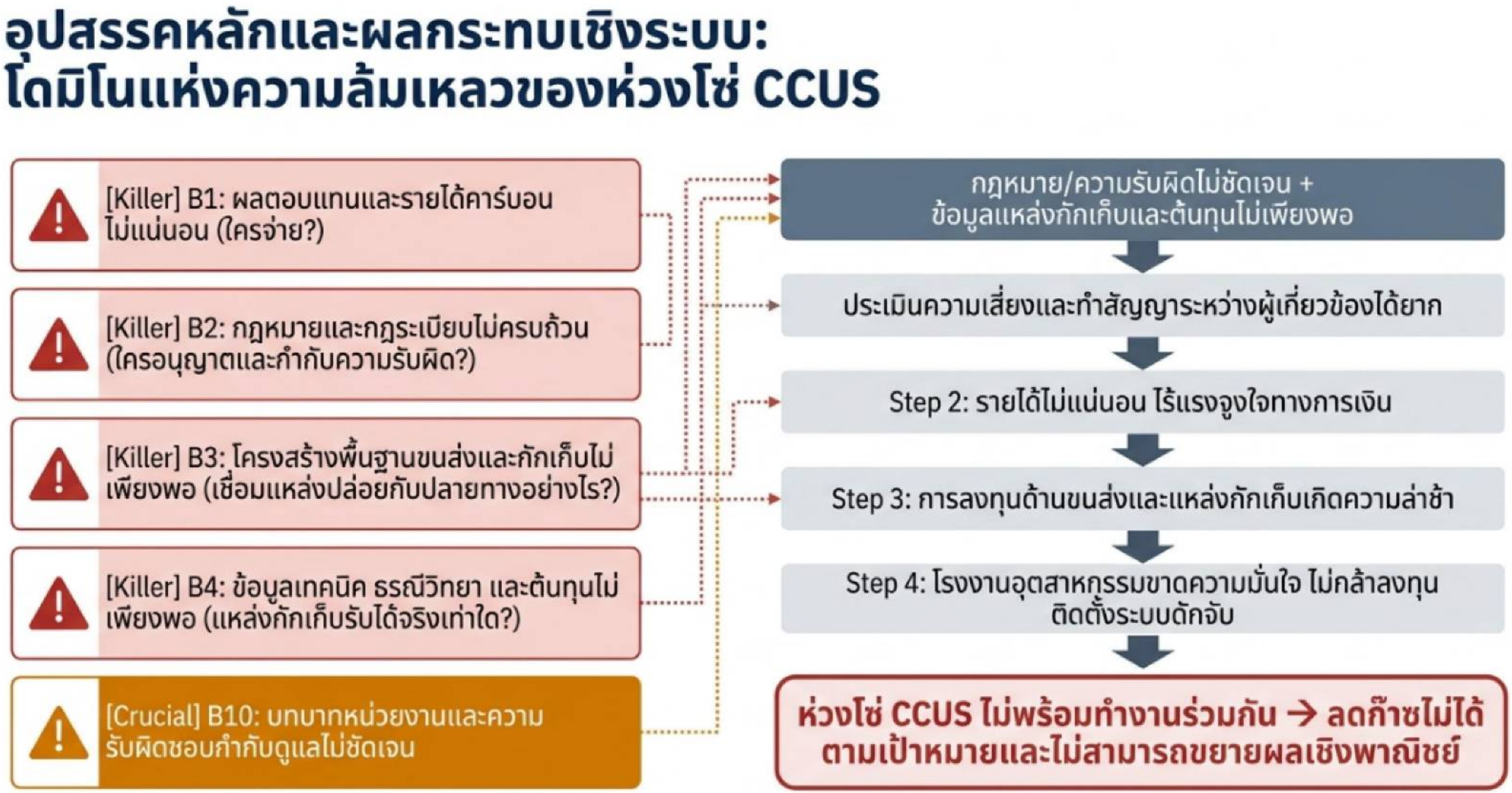
มิติเศรษฐกิจและการเงิน
ความไม่แน่นอนของผลตอบแทนและต้นทุนที่สูงมาก

มิตินโยบายและกฎหมาย
กรอบกฎหมายที่ยังไม่สมบูรณ์และบทบาทหน่วยงานที่ไม่ชัดเจน

มิติโครงสร้างพื้นฐานและเทคนิค
ขาดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ชัดเจนและขาดโครงข่ายท่อขนส่ง

มิติความรู้และการยอมรับ
การขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญและความกังวลของชุมชน

Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies



หมายเหตุ: การประเมินดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของที่ปรึกษา โดยพิจารณาจากผลการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการหารือกับผู้เชี่ยวชาญ

Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies

"Crucial Barriers": อุปสรรคสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนความคุ้มค่าและการขยายผล

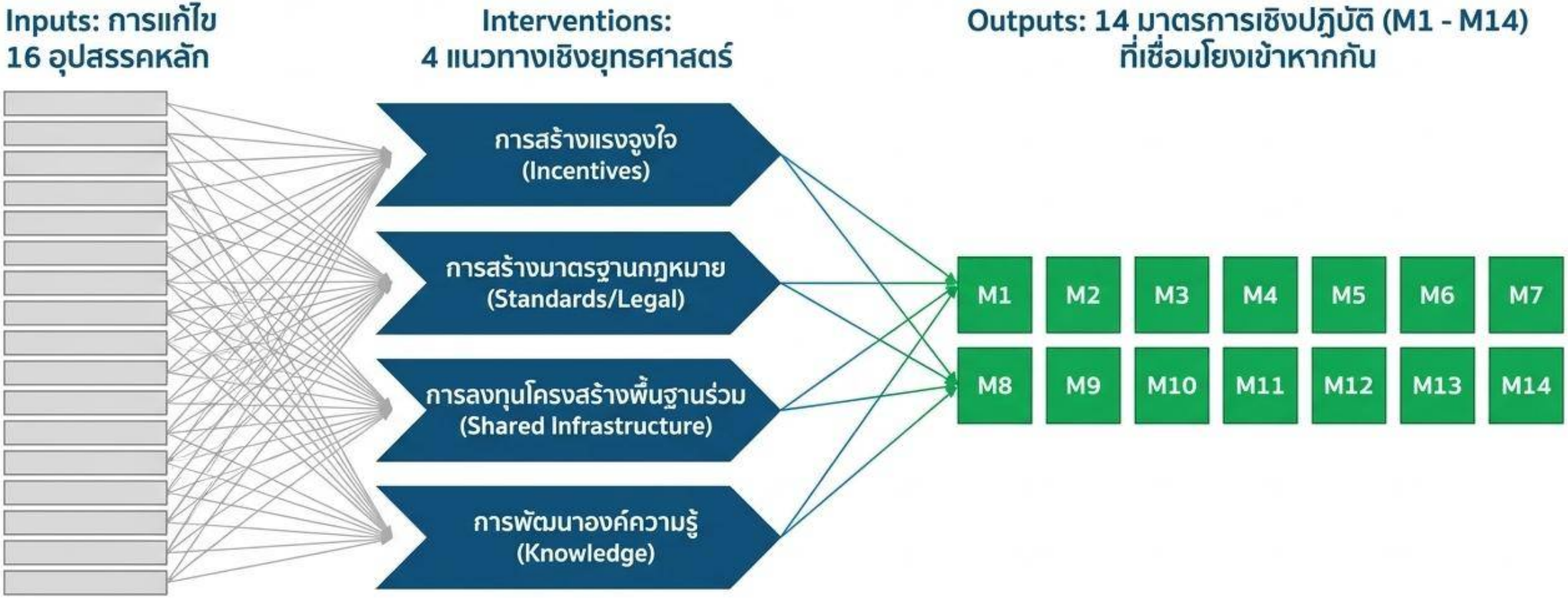
ด้านการระดมทุนและผลประโยชน์ (Finance & Viability)

- B5: ต้นทุนการลงทุน (CAPEX) และการดำเนินงาน (OPEX) เริ่มต้นสูงมาก
- B6: ขาดการสนับสนุนทางการเงิน (Financing support) ที่ชัดเจนและต่อเนื่อง
- B9: ความไม่ชัดเจนของผลประโยชน์และความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ในบริบทไทย

ด้านระบบและองค์กร (System & Institution)

- B8: ความไม่สอดคล้องกันของพื้นที่ (Geographic mismatch) ระหว่างแหล่งปล่อย CO2 และแหล่งกักเก็บ
- B7: ข้อจำกัดในการบูรณาการระบบระหว่างเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน
- B10: บทบาทและอำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแลที่ทับซ้อนและยังไม่ชัดเจน

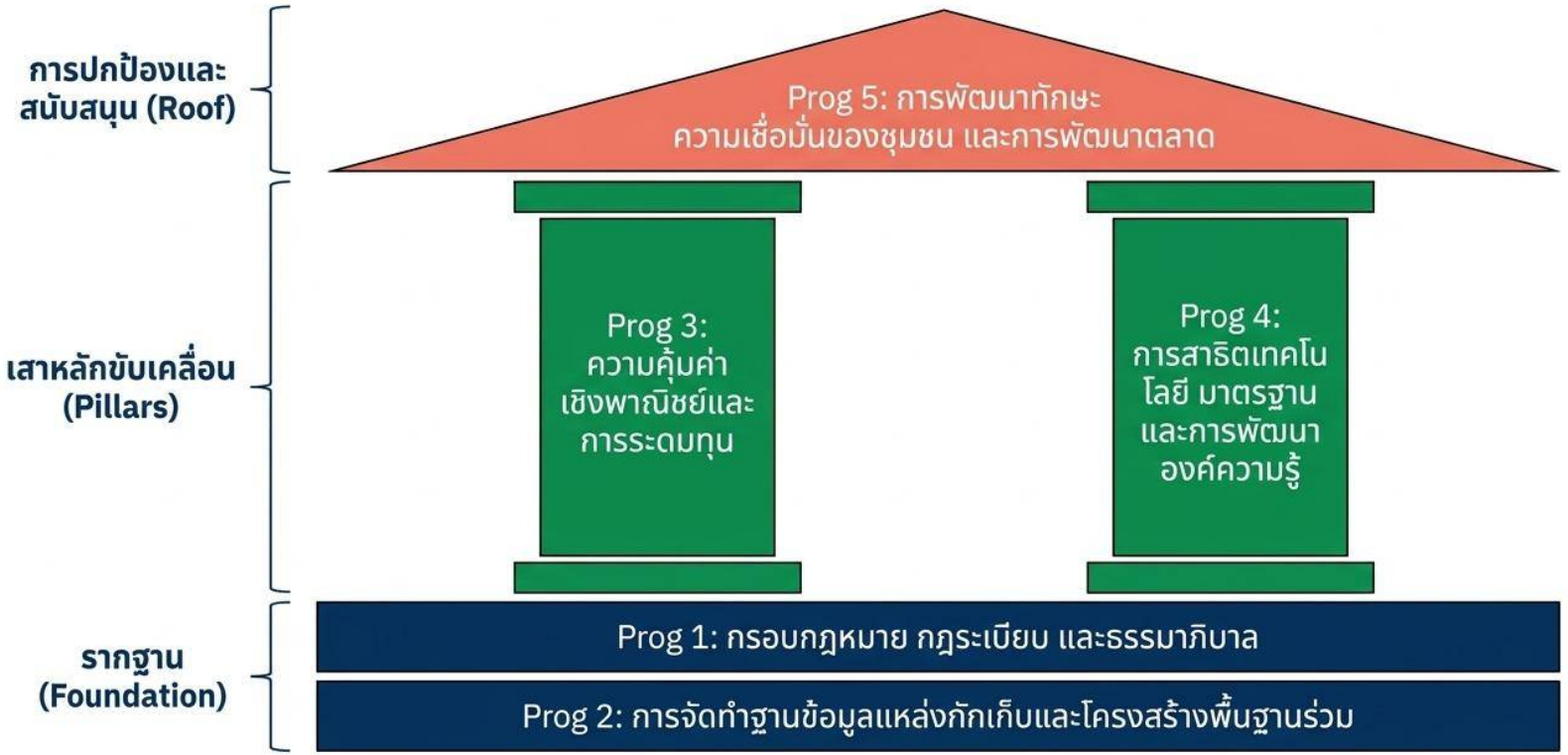
จากอุปสรรคสู่มาตรการ: การแก้ปัญหา CCUS ต้องทำแบบผสมผสาน (Portfolio Approach)



ตารางวิเคราะห์มาตรการ: การจับคู่ทางออกเพื่อทลายคอขวดของ CCUS

หมวดหมู่อุปสรรค	มาตรการแก้ไขที่เสนอ (Proposed Measures)	ผลลัพธ์เชิงรุกและข้อจำกัด
 ด้านการเงิน (Financial) | B1, B5, B6	**M1-M3, M10-M12**: กลไกราคาคาร์บอน, เงินอุดหนุน, กลไกแบ่งปันความเสี่ยง	**จุดแข็ง**: ดึงดูดเอกชน ลดความเสี่ยงโครงการแรกเริ่ม / **ข้อจำกัด**: ใช้งบประมาณรัฐหรือกลไกค้ำประกันสูง
 ด้านกฎหมายและองค์กร (Legal) | B2, B10	**M4, M5**: ออกแบบกรอบกฎหมาย CCUS, ตั้งกลไกประสานงานระดับชาติ	**จุดแข็ง**: สร้างความเชื่อมั่นระยะยาว ใช้งบประมาณต่ำ / **ข้อจำกัด**: ต้องอาศัยการบูรณาการขั้นสูงระหว่างกระทรวง
 ด้านเทคนิคและข้อมูล (Technical) | B3, B4, B7, B8	**M6-M8**: โครงสร้างพื้นฐานร่วม, แผนที่ประเมินแหล่งกักเก็บ, R&D มาตรฐาน	**จุดแข็ง**: ปลดล็อคปัญหาข้อมูล ลดต้นทุนรวม / **ข้อจำกัด**: ต้องการเงินลงทุน (CAPEX) เริ่มต้นมหาศาล

กรอบการดำเนินงาน (Enabling Framework): 5 แผนงานหลักเพื่อการขับเคลื่อน



1 Programme 1: Legal, Regulatory & Governance

มาตรการหลัก:

- ออกกฎหมายเฉพาะสำหรับ CCUS (M4)
- ตั้งกลไกประสานงานระดับชาติ (M5)

✓ **ผลลัพธ์:** ขจัด Killer Barrier (B2) ให้ความชัดเจนเรื่องสิทธิ์พื้นที่กักเก็บและการออกใบอนุญาต

2 Programme 2: CO2 Storage & Shared Infrastructure

มาตรการหลัก:

- พัฒนาโครงข่ายขนส่งและฮับเก็บก๊าซร่วม (M6)
- จัดทำแผนที่ Source-Sink Mapping (M7)

✓ **ผลลัพธ์:** ขจัด Killer Barriers (B3, B4) เปลี่ยนจากโครงการเดี่ยวสู่ระบบนิเวศน์ร่วม (Multi-user hubs)

ข้อเสนอแนะเชิงยุทธศาสตร์สำหรับประเทศไทย (2030–2035)

การเริ่มพัฒนาโครงการ ไม่ควรเริ่มจากการ “เลือกเทคโนโลยีทดลอง” แต่ต้องเริ่มจากการตอบโจทย์ “ห่วงโซ่และธุรกิจ”

การตรวจสอบความพร้อมทางวิศวกรรม (Engineering & Infrastructure Path)

- **ระบุแหล่งปล่อย (Source Definition):** ประเมินปริมาณ, ความเข้มข้น, ชั่วโมงการทำงาน และอายุสินทรัพย์เทียบกับทางเลือกอื่น (หลีกเลี่ยงการปล่อยก่อนติด CCS)
- **พิสูจน์การกักเก็บ (Storage Injectivity):** ลงทุนสำรวจและเจาะประเมินจริง ห้ามใช้เพียง “ศักยภาพพื้นที่เชิงทฤษฎี” เพื่อป้องกันปัญหาแบบโครงการ Gorgon
- **วางระบบขนส่ง (Transport Hub):** ออกแบบมาตรฐานคุณภาพ CO_2 และเงื่อนไขสัญญารับส่งแบบเครือข่ายศูนย์กลาง (Hub)
- **(For BECCS):** เพิ่มการประเมินแหล่งที่มาของชีวมวล, การใช้ที่ดิน และบัญชีคาร์บอนตลอดห่วงโซ่

เช็คลิสต์ 5 คำถามการเงินและความเสี่ยง (Commercial & Risk Checklist)

- ☑ **1. ใครเป็นผู้จ่าย? (Who pays?)** — โรงงาน, ผู้ซื้อผลิตภัณฑ์คาร์บอนต่ำ, หรือรัฐ? (มีสัญญาผูกพันหรือยัง?)
- ☑ **2. รายได้ผูกกับอะไร? (Revenue tied to?)** — นับจาก CO_2 ที่ดักจับได้, ที่ขนส่ง, ที่กักเก็บ, หรือผลลดสุทธิ (Net Avoided)? ต้องแยกให้ชัดเจน
- ☑! **3. หากท่อหรือที่กักเก็บหยุด ใครรับความเสียหาย? (Cross-chain liability?)** — ห้ามผลักความเสี่ยงให้คู่สัญญาฝ่ายเดียว
- ☑ **4. หากโรงงานปิดก่อนกำหนด ใครจ่ายค่าท่อที่เหลือ? (Stranded asset recovery?)** — สำคัญมากสำหรับระบบ Hub ที่พึ่งพาลูกค้าหลักรายเดียว
- ☑! **5. หลังหมดเงินสนับสนุน โครงการรอดหรือไม่? (Post-grant survival?)** — รวมถึงค่าใช้จ่ายในการปิดแหล่งและติดตามหลังปิด

ความท้าทายที่แท้จริงของ CCS ในไทย: ไม่ใช่แค่เรื่องต้นทุนสูง แต่คือการที่โครงการมีต้นทุนเกิดขึ้นแน่นอนในทุกๆ วัน ในขณะที่รายได้และความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานยังเต็มไปด้วยความไม่แน่นอน หากไม่แก้โจทย์นี้ โครงการอาจทำได้ในทางเทคนิค แต่จะไม่มีวันได้รับอนุมัติสินเชื่อ (**Unbankable**)

Gemini Notebook

Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies

<u>คำถามที่ต้องการคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ</u>

1. CCUS ควรเริ่มจากแหล่งปล่อยหรือกลุ่มอุตสาหกรรมใด และต้องเพิ่มคุณค่าเหนือทางเลือกลดก๊าซอื่นอย่างไรจึงคุ้มค่า?

2. อุปสรรคใดเป็น Killer ที่แท้จริง?

3. มาตรการใดควรเริ่มก่อน เพื่อให้พร้อมใช้งานจริง?

menti.com

6802 2645

Barrier Analysis and Enabling Framework (BAEF)

Sustainable Aviation Fuel (SAF)

สถานการณ์ SAF โลก: การผลิตเชิงพาณิชย์เริ่มต้นแล้ว แต่ความท้าทายหลักคือ ความต่อเนื่อง ต้นทุน และคาร์บอนต่ำจริง

< 1%

สัดส่วนการใช้ SAF ต่อเชื้อเพลิงอากาศยานโลกในปี 2026 (ปริมาณ 2.4 ล้านตัน หรือประมาณ 0.8%)

2-3x

ราคา SAF สูงกว่าเชื้อเพลิงปกติ สะท้อนโครงสร้างตลาดและต้นทุนโลจิสติกส์

$4.3B

ส่วนต่างต้นทุนเชื้อเพลิงที่อุตสาหกรรมการบินต้องจ่ายเพิ่มในปี 2026 (ประเมินโดย IATA)

ภาพลวงตาของการเปิดโรงงาน (Capacity vs. Ramp-up)

ข่าวการเปิดโรงงาน ≠ การผลิตเต็มกำลัง

การเพิ่มระดับการผลิต (Ramp-up) เพื่อให้ได้คุณภาพตามสเปก ต้องใช้เวลาและเงินทุนหมุนเวียนมหาศาลหลังจากการเปิดตัว

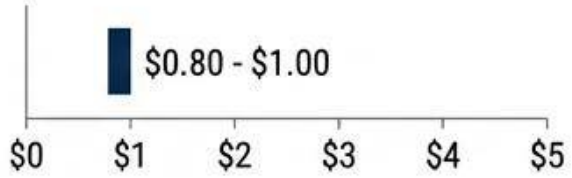
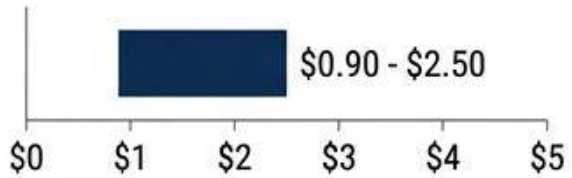
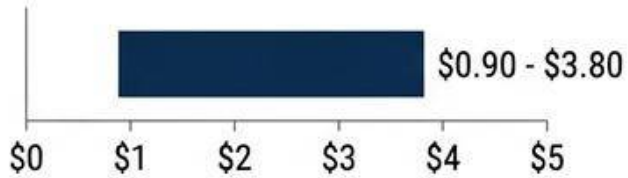
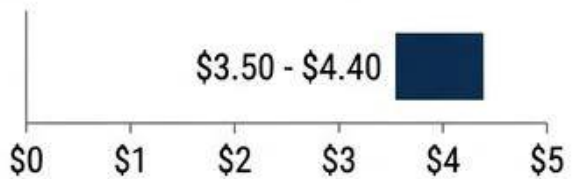
มาตรฐานที่ซ้อนทับ (Standardization Gap)

มาตรฐานเชื้อเพลิงการบิน (ASTM) ≠ มาตรฐานความยั่งยืนทางคาร์บอน

การเคลมว่า ‘ลดคาร์บอน 80%’ ไม่สามารถใช้เหมารวมได้ทุกเทคโนโลยี ต้องประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA)

การตั้งคำถามเชิงยุทธศาสตร์จึงไม่ใช่ ‘ผลิตได้หรือไม่’ แต่คือ ‘ผลิตได้ต่อเนื่อง และขายได้คุ้มทุนตลอดวัฏจักรหรือไม่’

การประเมินเทคโนโลยีและต้นทุน: HEFA มีความพร้อมสูงสุด แต่เส้นทางอื่นจำเป็นสำหรับการขยายฐานวัตถุดิบในระยะยาว

เทคโนโลยี & วัตถุดิบ (Pathway & Feedstock)	ความพร้อมเชิงพาณิชย์	จุดเด่น / ข้อจำกัดหลัก	ราคาประเมินขั้นต่ำ (MSP) [ดอลลาร์/ลิตร]
HEFA น้ำมันใช้แล้ว (UCO) และไขมัน		**จุดเด่น:** ต่อยอดโครงสร้างพื้นฐานเดิมได้ดีที่สุด **ข้อจำกัด:** วัตถุดิบมีจำกัด ต้องตรวจสอบย้อนกลับเข้มงวด	
Alcohol-to-Jet (ATJ) เอทานอล / แอลกอฮอล์		**จุดเด่น:** กระจายความเสี่ยงจาก UCO สู่ฐานเกษตรกรรม **ข้อจำกัด:** ขึ้นอยู่กับราคาและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเอทานอล	
Gasification-FT ชีวมวล / ขยะชุมชน		**จุดเด่น:** ต้นทุนวัตถุดิบต่ำ ใช้เศษวัสดุได้มาก **ข้อจำกัด:** CAPEX สูงมาก ความซับซ้อนในการทำความสะอาดก๊าซ	
Power-to-Liquid (e-SAF) ไฮโดรเจนคาร์บอนต่ำ + CO_2		**จุดเด่น:** ไม่พึ่งพาชีวมวล ขยายสเกลได้ทางทฤษฎี **ข้อจำกัด:** พึ่งพาราคาไฟฟ้าสะอาด ไฮโดรเจน และการดักจับ CO_2	

หมายเหตุ: ต้นทุนที่แสดงคือ Minimum Selling Price (MSP) เชิงแบบจำลองของ ICAO (ฐานปี 2017) ไม่ใช่ราคาซื้อขายในตลาดปัจจุบัน (ซึ่งต้องบวกค่าโลจิสติกส์) และ Co-processing มีโครงสร้างต้นทุนแยกต่างหาก ไม่สามารถเทียบต่อลิตรในตารางนี้ได้

Gemini Notebook

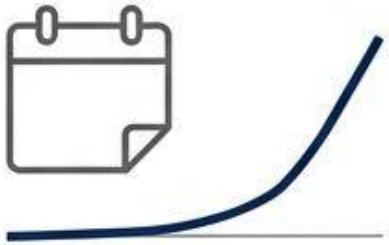
บทเรียนจากโครงการจริงทั่วโลก: ความเสี่ยงในการดำเนินงานที่นักลงทุนและผู้กำหนดนโยบายต้องระวัง



ภาพลวงตาของกำลังการผลิต

การขยายโรงกลั่นไม่ได้แปลว่าผลิต SAF ได้ 100% ของกำลังการผลิตรวม

กรณีศึกษา: Neste สิงคโปร์ ลงทุน 1,600 ล้านยูโร ได้กำลังผลิตรวม 2.6 ล้านตัน/ปี แต่ศักยภาพการผลิต SAF สูงสุดจริงอยู่ที่ 1 ล้านตัน/ปี (ความสำเร็จต้องรวมระบบคลังและท่อส่งด้วย)



ระยะเวลาไต่ระดับ (Ramp-up)

วันที่เปิดโรงงาน ≠ วันที่ผลิตเชื้อเพลิงได้ตามสเปกและเดินเครื่องเต็มกำลัง

กรณีศึกษา: LanzaJet สหรัฐฯ เปิดตัว ม.ค. 2024 แต่คาดว่าจะผลิตเชื้อเพลิงได้ตามข้อกำหนด (ASTM) ใน พ.ย. 2025 และยังต้องระดมทุนเพิ่มอีกมหาศาลเพื่อรันระบบ



ความซับซ้อนของการบูรณาการ

เทคโนโลยีที่ทดสอบแยกส่วนอาจล้มเหลวโดยสิ้นเชิงเมื่อเชื่อมต่อทั้งระบบ (End-to-End)

กรณีศึกษา: Fulcrum สหรัฐฯ โรงงานเปิดปี 2022 แต่ล้มละลายปี 2024 สาเหตุจากปัญหาอุปกรณ์ผู้รับเหมา และการทดสอบระบบไม่ครบวงจร ทำให้กระแสเงินสดขาดแคลน



ช่องว่างขนาดเทคโนโลยีใหม่

e-SAF เพิ่งพ้นจากแนวคิดในห้องทดลอง แต่ยังมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความต้องการ

กรณีศึกษา: INERATEC เยอรมนี ออกแบบสูงสุดเพียง 2,500 ตัน/ปี ต้องพึ่งพาทั้งเงินกู้ เงินให้เปล่ามหาศาล และต้องการ H2/CO2 ราคาถูกเพื่อความอยู่รอด

สถานะประเทศไทย (2025-2026): ก้าวพ้นจุดเริ่มต้น ก้าวสู่การผลิตและส่งมอบเชิงพาณิชย์จริง

GC (Global Chemical) - ต่อยอดสินทรัพย์เดิม

โมเดลการผลิต: Co-processing (นำน้ำมันใช้แล้วเข้าร่วมกระบวนการโรงกลั่นเดิม)

สถานะจริง: เริ่มผลิตเชิงพาณิชย์ มกราคม 2025

ผลลัพธ์: เชื้อเพลิงถูกใช้งานจริงแล้วในเที่ยวบินพาณิชย์ของ Bangkok Airways ระยะแรกตั้งเป้า 6 ล้านลิตร/ปี

Key Takeaway: เริ่มต้นได้เร็วและลดเงินลงทุนสร้างหน่วยใหม่ แต่ต้องมีความชัดเจนในการพิสูจน์ลัดส่วนคาร์บอนชีวภาพที่ลดได้จริง

BSGF (บางจาก) – สร้างหน่วยผลิตอิสระ

โมเดลการผลิต: Stand-alone HEFA (ผลิตจาก UCO)

สถานะจริง: เริ่มผลิตและขายเชิงพาณิชย์ พฤษภาคม 2026

ผลลัพธ์: สร้างยอดขาย SAF จริง 39 ล้านลิตร ใน Q2/2026 (ลงทุนตามประกาศเดิม 8,500 ล้านบาท)

Key Takeaway: มีฐานการผลิตและส่งออกจริงข้ามวัฏจักรแล้ว ความท้าทายต่อไปคือการรักษาระดับกำไรท่ามกลางการแข่งขันแย่งยิง UCO

โครงสร้างพื้นฐาน: ทดสอบการผสมและส่ง SAF ผ่านท่อ (BAFS) ไปสุวรรณภูมิและดอนเมืองสำเร็จแล้วตั้งแต่ปี 2024

ข้อควรระวังด้านกฎระเบียบ (Reality Check): มาตรฐาน CAAT ที่มีผล 1 ม.ค. 2026 คือ อนุญาตให้ผสมสูงสุด 50% ซึ่งแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับ “การบังคับให้ต้องผสม (Mandate)” โครงการต้องประเมินอุปสงค์ตามความเป็นจริง

Gemini Notebook

Sustainable Aviation Fuel (SAF)

SAF คือเชื้อเพลิงการบินยั่งยืนที่ต้องผ่านข้อกำหนดทั้ง "คุณภาพ" และ "ความยั่งยืน" โดยมีเป้าหมายผลักดันการใช้ถึง 10% ภายในปี 2035

นิยามเทคโนโลยี

เชื้อเพลิงการบินจากวัตถุดิบทางเลือก (หมุนเวียน/ของเสีย)
ครอบคลุมเส้นทาง HEFA, FT และ ATJ

หมายเหตุ: ร่าง TNA ให้ความสำคัญกับ ATJ เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับฐานเอทานอล โรงกลั่น และปิโตรเคมีของไทยได้

1. คุณภาพและความเหมาะสมสำหรับอากาศยาน (ASTM D7566)



2. ความยั่งยืนและผลลดก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (ICAO's CORSIA)

เป้าหมายเบื้องต้น

2030
สัดส่วน SAF ≥5% | โรงงาน ATJ ≥1 แห่ง (กำลังผลิต ≥100 ล้านลิตร/ปี) | นำร่องที่สนามบินสุวรรณภูมิ ดอนเมือง และอู่ตะเภา

2035
สัดส่วน SAF ≥10% | ขยายสู่สนามบินนานาชาติหลักอื่นๆ

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

สายการบิน, ผู้ผลิต/ผู้จำหน่ายเชื้อเพลิง, ผู้ให้บริการเติมเชื้อเพลิง, สนามบิน, และผู้จัดหาวัตถุดิบ (ผู้ผลิตเอทานอล เกษตรกร ผู้รวบรวมของเสีย)

ขอบเขต (Value Chain Scope)

วัตถุดิบ → ผลิต → รับรอง/ตรวจสอบย้อนกลับ → ผสม/จัดเก็บ/ขนส่ง → ทดสอบ → ส่งมอบ

ข้อจำกัดและข้อควรระวัง

- **[Not Zero-Emission]:** ไม่ใช่เชื้อเพลิงที่ไร้การปล่อยก๊าซ ต้องประเมินผลลดก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA)
- **[Bio ≠ Sustainable]:** วัตถุดิบชีวภาพ/ของเสีย ไม่ได้รับประกันความยั่งยืนเสมอไป ต้องตรวจสอบแหล่งที่มาได้
- **[Supply ≠ Feasibility]:** การมีเอทานอลอยู่แล้ว ไม่เท่ากับมี "ปริมาณส่วนเกินที่ยั่งยืนและแข่งขันได้" สำหรับผลิต SAF
- **[Not 100% Interchangeable]:** ห้ามเหมารวมว่า SAF ทุกชนิดผสมได้ในสัดส่วนเดียวกัน ต้องตรวจสอบข้อกำหนดรายผลิตภัณฑ์
- **[No Framework = No Market]:** การมีสินค้าไม่ได้แปลว่ามีผู้ซื้อ หากไร้กรอบอุปสงค์และการแบ่งภาระต้นทุนที่ชัดเจน ห้ามซ้ำประโยชน์ลดก๊าซซ้ำซ้อน

นัยเชิงนโยบายและการลงทุน: ทิศทางการพัฒนา SAF ของไทยเพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขัน (2030-2035)

ไม่ควรมองการสนับสนุน 'SAF' เป็นก้อนเดียว แต่ต้องแยกยุทธศาสตร์การลงทุนตามระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีและบริบทของประเทศ

Horizon 1: ขยายผลฐานเดิม (HEFA / Co-processing) - ปัจจุบันถึง 2030

เป้าหมาย: เพิ่มประสิทธิภาพและใช้ประโยชน์สูงสุดจากโครงสร้างพื้นฐานเชิงพาณิชย์ที่มีอยู่แล้ว

สิ่งที่ต้องพิสูจน์ก่อนลงทุนเพิ่ม (Gating Criteria):

- ปริมาณ UCO ในประเทศที่สามารถรวบรวมได้จริงในราคาที่แข่งขันได้
- ระบบตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) ที่รัดกุมเพื่อป้องกันการสวมสิทธิ
- สัญญาอุปสงค์ที่ชัดเจน (Off-take agreements) เพื่อลดความเสี่ยงด้านราคา

Horizon 2: กระจายความเสี่ยงวัตถุดิบ (Alcohol-to-Jet: ATJ) - 2030+

เป้าหมาย: ลดการพึ่งพา UCO โดยดึงศักยภาพฐานเกษตรกรรมของไทยมาใช้

สิ่งที่ต้องพิสูจน์ก่อนลงทุนเพิ่ม (Gating Criteria):

- เอทานอลต้องเข้าเกณฑ์ 'คาร์บอนต่ำ' ตามมาตรฐานสากล (ไม่ใช่เอทานอลทั่วไป)
- ความชัดเจนเรื่องโครงสร้างต้นทุน: ต้องสร้างโรงงานผลิตเอทานอลใหม่ หรือมีสัญญารองรับ
- ความคุ้มค่าและเงินทุนหมุนเวียนในช่วงไต่ระดับ (Ramp-up)

Horizon 3: ทางเลือกระยะยาว (Gasification-FT / e-SAF) - 2035+

เป้าหมาย: สร้างเส้นทางใหม่จากขยะและพลังงานสะอาด เพื่อหลุดพ้นจากข้อจำกัดด้านชีวมวล

สิ่งที่ต้องพิสูจน์ก่อนลงทุนเพิ่ม (Gating Criteria):

- ความสำเร็จในการเดินระบบครบห่วงโซ่ (End-to-End) ป้องกันความล้มเหลว
- การเข้าถึงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ไฮโดรเจน และแหล่งดักจับ CO2 ในราคาที่ต่ำอย่างมีนัยสำคัญ

Key Takeaway **สำหรับการขอทุนระดับสากล:** โครงการใหม่ต้องแสดงให้เห็นถึง 'ต้นทุนต่อหนึ่งตัน CO_2e ที่ลดได้จริง (Cost per Tonne of CO2e removed)' และความอยู่รอดข้ามวัฏจักรตลาด การมีแค่ชื่อผลิตภัณฑ์ว่าเป็น SAF ไม่เพียงพอต่อการดึงดูดเม็ดเงินลงทุนเชิงยุทธศาสตร์อีกต่อไป

Gemini Notebook

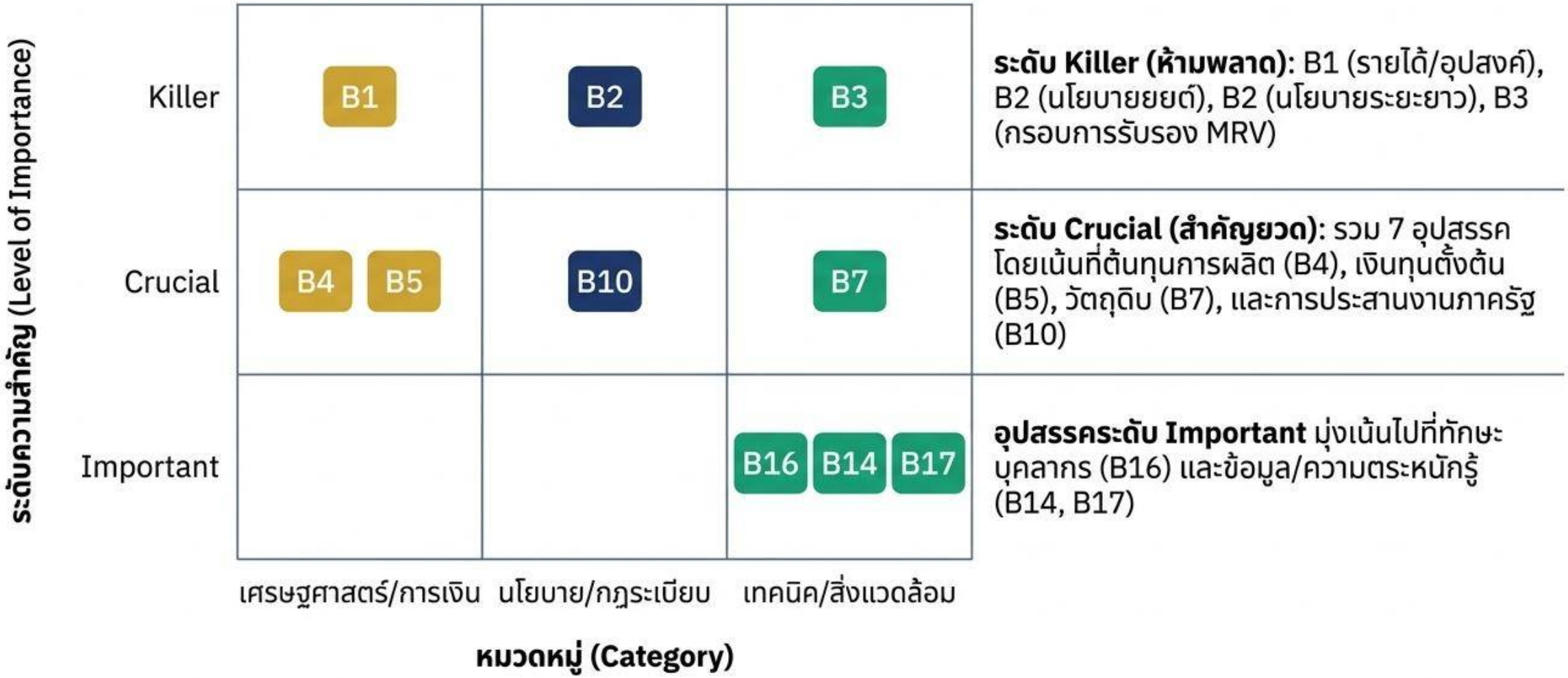
อุปสรรค 18 ประการกระจายอยู่ตลอดห่วงโซ่คุณค่า โดยมีคอขวดสำคัญที่การรับประกันอุปสงค์และต้นทุนการผลิต



1. จัดหาวัตถุดิบ	2. การผลิตและกลั่น	3. การรับรอง	4. โครงสร้างพื้นฐาน	5. การรับซื้อ
อุปสรรค**การเข้าถึงแหล่งทุน**ของเกษตรกร, ข้อจำกัดของ**ปริมาณวัตถุดิบยั่งยืน** (B7, B11, B18)	**ต้นทุนผลิตสูง**, **ความต้องการทุนตั้งต้นมหาศาล**, ข้อจำกัดด้าน**เทคโนโลยี** (B4, B5, B8, B15)	ขาด**กรอบ MRV** ที่สมบูรณ์, **ต้นทุนการรับรอง** มาตรฐานสูง (B3, B12)	ข้อจำกัดด้าน**โครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง**, ความซับซ้อนด้าน**กฎระเบียบ** (B9, B10, B13)	**ความไม่แน่นอนของอุปสงค์**, **ต้นทุนทางการเงินสูง**, ขาด**นโยบายระยะยาว** (B1, B2, B6)

หมายเหตุ: การประเมินดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของที่ปรึกษา โดยพิจารณาจากผลการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการหารือกับผู้เชี่ยวชาญ

ปัญหาด้านเศรษฐศาสตร์และกฎระเบียบคืออุปสรรคระดับวิกฤต (Killer & Crucial) ที่ต้องแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก



ระดับ Killer (ห้ามพลาด): B1 (รายได้/อุปสงค์), B2 (นโยบายยยต์), B2 (นโยบายระยะยาว), B3 (กรอบการรับรอง MRV)

ระดับ Crucial (สำคัญยวด): รวม 7 อุปสรรค โดยเน้นที่ต้นทุนการผลิต (B4), เงินทุนตั้งต้น (B5), วัตถุดิบ (B7), และการประสานงานภาครัฐ (B10)

อุปสรรคระดับ Important มุ่งเน้นไปที่ทักษะบุคลากร (B16) และข้อมูล/ความตระหนักรู้ (B14, B17)

Sustainable Aviation Fuel (SAF)

ความไม่แน่นอนของนโยบายและมาตรฐานการรับรอง เป็นอุปสรรคระดับ “Killer” ที่ส่งผลกระทบลูกโซ่ต่อการลงทุน

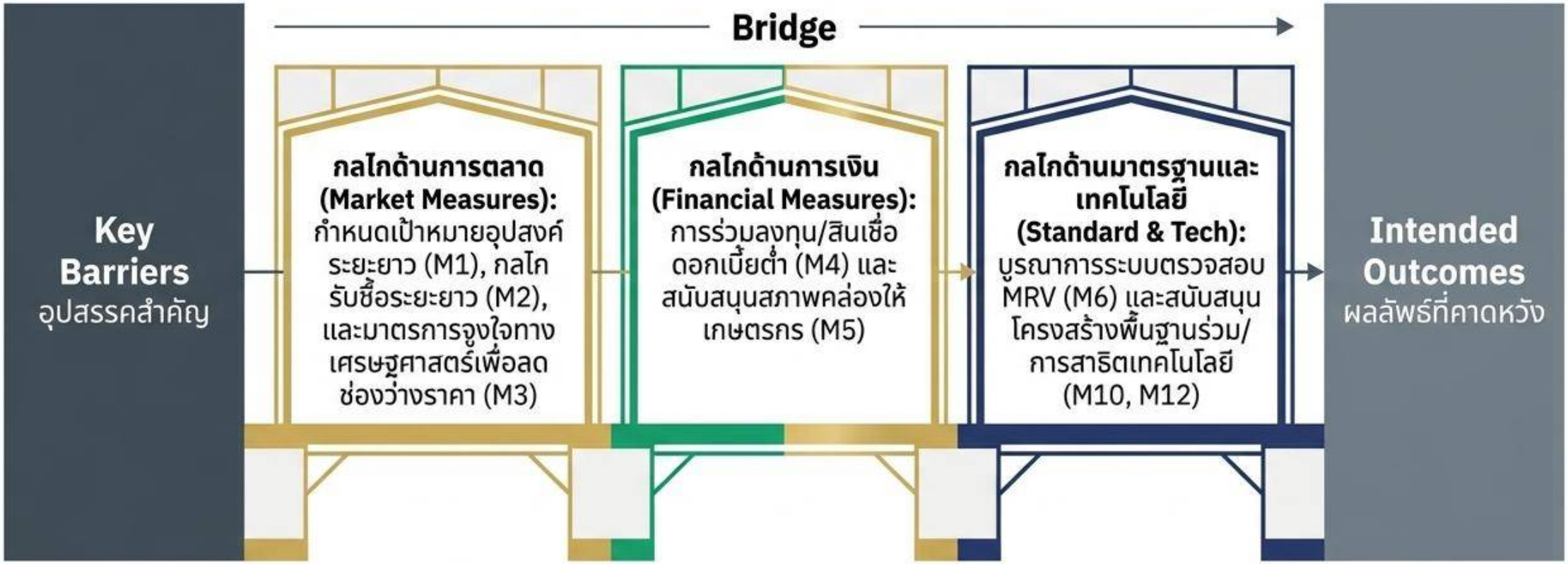
5 อุปสรรคหลักในการพัฒนา SAF

ระดับอุปสรรค	ประเด็นปัญหา	คำถามหลักที่ต้องตรวจสอบ
[KILLER] B1	อุปสงค์และสัญญารับซื้อไม่แน่นอน	ขาดสัญญารับซื้อระยะยาว (ใครซื้อ? ปริมาณเท่าใด? ระยะเวลาใด? ใครรับส่วนต่างราคา?)
[KILLER] B2	ขาดนโยบายและเส้นทางอุปสงค์	ขาด Roadmap ระยะยาว (ผู้ผลิตและสายการบินจะวางแผนลงทุนจากกรอบใด?)
[KILLER] B3	กรอบความยั่งยืนและ MRV ไม่สมบูรณ์	การรับรองและการประเมิน (เชื้อเพลิงและข้อมูลลดก๊าซจะเป็นที่ยอมรับในตลาดเป้าหมายอย่างไร?)
[CRUCIAL] B4	ต้นทุนการผลิตและส่วนต่างราคาสูง	SAF แพงกว่า Jet A-1 ราว 2-4 เท่า (ต้นทุนเพิ่มอยู่ที่ใด และใครควรรับภาระช่วงเริ่มต้น?)
[CRUCIAL] B7	วัตถุดิบยั่งยืนมีจำกัด	แข่งขันกับการใช้ประโยชน์เดิม (มีวัตถุดิบเข้าถึงได้จริงโดยไม่กระทบอุตสาหกรรมเดิมเท่าใด?)

แผนผังผลกระทบเชิงเหตุ-ผล



การเปลี่ยนอุปสรรคให้เป็นทางออก ต้องอาศัยมาตรการที่สมดุลระหว่างการให้แรงจูงใจและการสร้างกฎเกณฑ์



ข้อควรระวัง (Trade-offs): มาตรการอุดหนุน (Subsidies) เห็นผลเร็วแต่มีภาระทางการคลังสูง จึงควรใช้เครื่องมือผสมผสาน (Blended Finance)

Sustainable Aviation Fuel (SAF)

การขับเคลื่อน SAF ต้องดำเนิน 5 มาตรการคู่ขนาน โดยพัฒนากรอบอุปสงค์และการรับรอง ก่อนขยายการลงทุนขนาดใหญ่

5 มาตรการปลดล็อก

มาตรการ	ผลที่ต้องได้
มาตรการที่ 1: กำหนดเส้นทางอุปสงค์และกลไกสนับสนุนสัญญารับซื้อ	ปริมาณเป้าหมาย ขอบเขตผู้ใช้ และเงื่อนไขตลาดที่สามารถวางแผนลงทุนได้
มาตรการที่ 2: จัดกรอบคุณภาพ ความยั่งยืน การตรวจสอบย้อนกลับ และ MRV	หลักฐานที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลและวัตถุประสงค์ตลาดยอมรับ
มาตรการที่ 3: ประเมินวัตถุดิบส่วนเกินที่ยั่งยืนและห่วงโซ่อุปทาน	ทราบปริมาณวัตถุดิบที่เข้าถึงได้จริง ต้นทุน และข้อจำกัดการใช้ทรัพยากร/ที่ดิน
มาตรการที่ 4: พิสูจน์เทคโนโลยี ATJ และประเมินเศรษฐศาสตร์เทียบทางเลือก	ข้อมูลสมรรถนะ ต้นทุนที่แท้จริง ผลลดก๊าซ และความพร้อมในการขยายกำลังผลิต
มาตรการที่ 5: ออกแบบการเงินและโครงสร้างพื้นฐานร่วมกัน	กลไกแบ่งรับความเสี่ยง และระบบโครงสร้างพื้นฐาน (ผสม-จัดเก็บ-ส่งมอบ) ที่รองรับการใช้จริง

ลำดับการดำเนินการเชิงกลยุทธ์ (Strategic Sequencing):
ต้องพัฒนากรอบอุปสงค์ (Demand) และมาตรฐานการรับรอง (Certification) คู่ขนานกันไป พร้อมพิสูจน์วัตถุดิบและเทคโนโลยี **"ก่อน"** ที่จะก้าวไปสู่การขยายการลงทุนขนาดใหญ่ (Scale-up) เพื่อสร้างฐานแผนงานนโยบายและความยั่งยืนที่แข็งแกร่ง ป้องกันความเสี่ยงของโครงการข้ามสาย

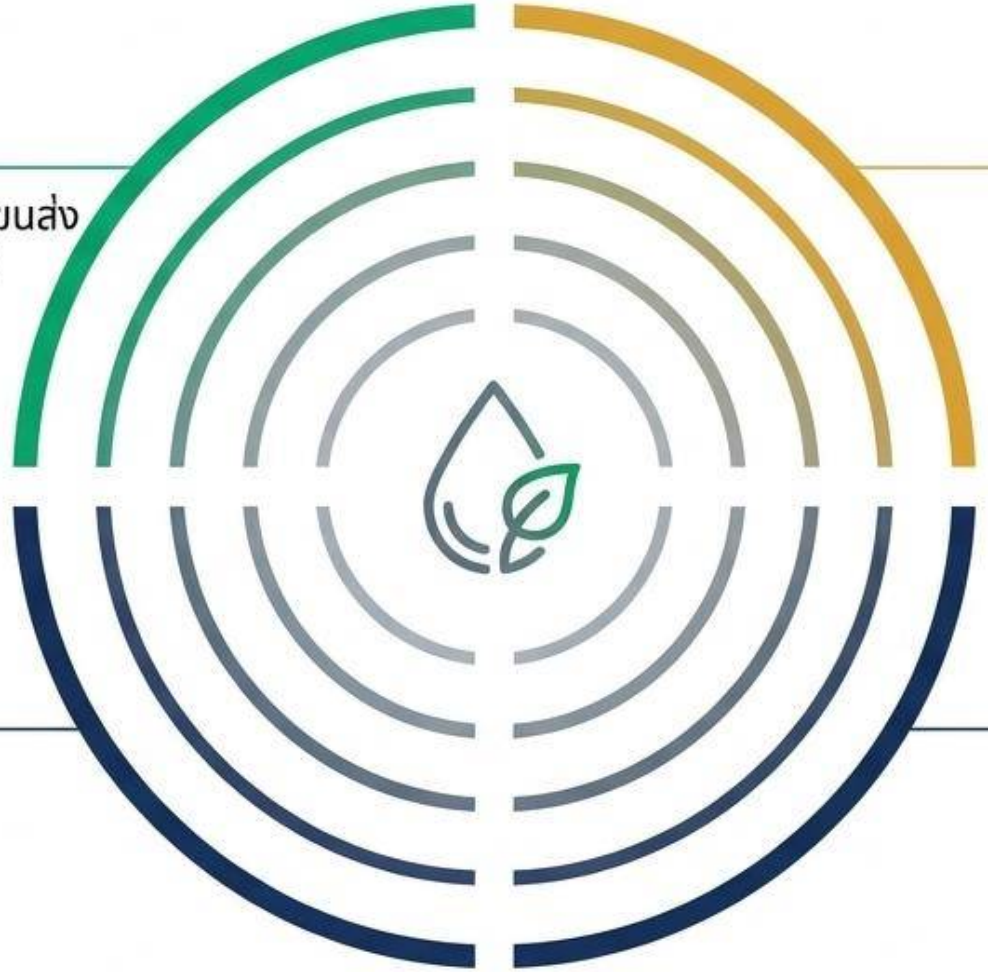
ความสำเร็จในการพัฒนา SAF จะสร้างผลกระทบเชิงบวก (Ripple Effect) ต่อเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง

ด้านสิ่งแวดล้อม

ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่ง
ปกป้องความหลากหลายทางชีวภาพ
จากการจัดการวัตถุดิบที่ดี

ด้านเศรษฐกิจฐานราก

สร้างรายได้ทางเลือกใหม่
ให้เกษตรกรและสหกรณ์
(ผู้รวบรวมวัตถุดิบ/ชีวมวล)



ด้านความสามารถในการแข่งขัน

ปกป้องสายการบินของไทย
จากมาตรการกีดกันทางการ
ค้าระหว่างประเทศ

ด้านอุตสาหกรรมและการจ้างงาน

ยกระดับห่วงโซ่มูลค่าการผลิต
ในประเทศ (Domestic Value
Chain) และสร้างงานทักษะสูง
ในสายงานวิศวกรรมสีเขียว

Sustainable Aviation Fuel (SAF)

<u>คำถามที่ต้องการคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ</u>

1. ไทยควรเริ่มจากวัตถุดิบ เส้นทางผลิต และกลุ่มผู้ใช้ใด เพื่อเพิ่มคุณค่าเหนือทางเลือกอื่น?

2. อุปสรรคใดเป็น Killer จริง และ Enabling Framework ใดต้องเริ่มก่อน?

3. ก่อนขยายสู่เป้าหมายปี 2035 ต้องเห็นหลักฐานอะไร และกรณีใดควรชะลอหรือปรับเส้นทางผลิต?



วงเสวนาที่ 3

พลังงานที่พึ่งพาได้: เตรียมโครงสร้างพื้นฐานอย่างไรให้พร้อมรับภัยพิบัติ?

CREAGY

Barrier Analysis and Enabling Framework (BAEF)

Solar PV for Infrastructure

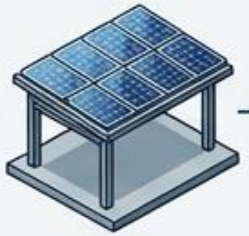
CREAGY

Solar PV for Infrastructure คือการผสานระบบผลิตไฟฟ้าเข้ากับโครงสร้างเมือง โดยมีหมุดหมายปี 2035 เพื่อสร้างความพร้อมและมาตรฐานที่ชัดเจน

นิยาม & กลุ่มเป้าหมาย



BIPV: วัสดุผลิตไฟฟ้าที่เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบอาคาร (เช่น กระจก, ผนัง)



โซลาร์บนโครงสร้าง (Attached): ติดตั้งเพิ่มบนโครงสร้างที่รองรับได้



ประยุกต์เฉพาะทาง (Special): เช่น ถนนหรือทางเท้า (ประเมินต่างจากหลังคา)

กลุ่มเป้าหมาย:

เจ้าของอาคาร (รัฐ/เอกชน)	อปท.	คมนาคม
ผู้พัฒนาโครงการ	สถาปนิก & วิศวกร	ESCOs

หมุดหมายสำคัญสู่ปี 2035

เป้าหมายระยะยาวปี 2050 คือ 3,500 MW
แต่ปี 2035 เน้นความพร้อมมากกว่าตัวเลข MW

- **โครงการนำร่อง:** ตรวจสอบผลผลิต ความปลอดภัย และความทนทานได้จริง
- **มาตรฐานชัดเจน:** มีแนวทางอนุญาตตามประเภทการใช้งาน
- **โมเดลธุรกิจพิสูจน์ได้:** รูปแบบจัดซื้อที่ประเมินต้นทุนตลอดอายุ (Life-cycle cost)
- **การบำรุงรักษา:** มีผู้รับผิดชอบ O&M และจัดการขยะที่ชัดเจน

ตัวชี้วัด (KPIs): วัดผลไฟฟ้าที่ใช้จริง, ผลลดก๊าซ, ต้นทุนตลอดอายุ และ ไม่กระทบหน้าที่หลักของอาคาร (ไม่ใช่วัดแค่ MW ติดตั้ง)

สิ่งที่ทำได้ vs สิ่งที่ทำไม่ได้

ขอบเขตที่ครอบคลุม (Scope)

ผลิตภัณฑ์ | การออกแบบ | ระบบเชื่อมโครงข่าย
ทดสอบความปลอดภัย | จัดการซาก

สิ่งที่ไม่สามารถทำได้ (Limitations)

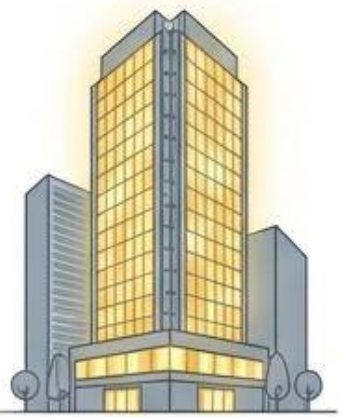
- **ไม่ใช่ทุกพื้นผิวติดตั้งได้:** ต้องประเมินแดด, เงา, และความแข็งแรงของโครงสร้างเสมอ
- **ไม่การันตีว่าถูกกว่าโซลาร์หลังคา:** ต้องเปรียบเทียบความคุ้มค่าเป็นรายโครงการ
- **ไม่ใช่ระบบไฟสำรองอัตโนมัติ:** เมื่อไฟดับไม่สามารถใช้แทนไฟฉุกเฉินได้ทันทีหากไม่แยกระบบรองรับ
- **ไม่ทดแทนหน้าที่หลักของโครงสร้าง:** ห้ามลดทอนการรับน้ำหนัก, การกันน้ำ, หรือความปลอดภัยจากอัคคีภัย

เทคโนโลยี BIPV จะเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานเขตเมืองให้เป็นแหล่งผลิตพลังงานสะอาด โดยมีเป้าหมาย 3,500 MW ภายในปี 2050



โซลาร์ฟาร์มทั่วไป

ใช้พื้นที่กว้างขวาง มีข้อจำกัดในเขตเมืองหนาแน่น



โซลาร์เซลล์บูรณาการกับอาคาร (BIPV)

เปลี่ยนเปลือกอาคารและหน้าต่างให้เป็นแหล่งผลิตพลังงานใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

ระยะที่ 1: นำร่อง

เครือข่ายห้องปฏิบัติการเขตเมือง (Pilot Urban Lab)

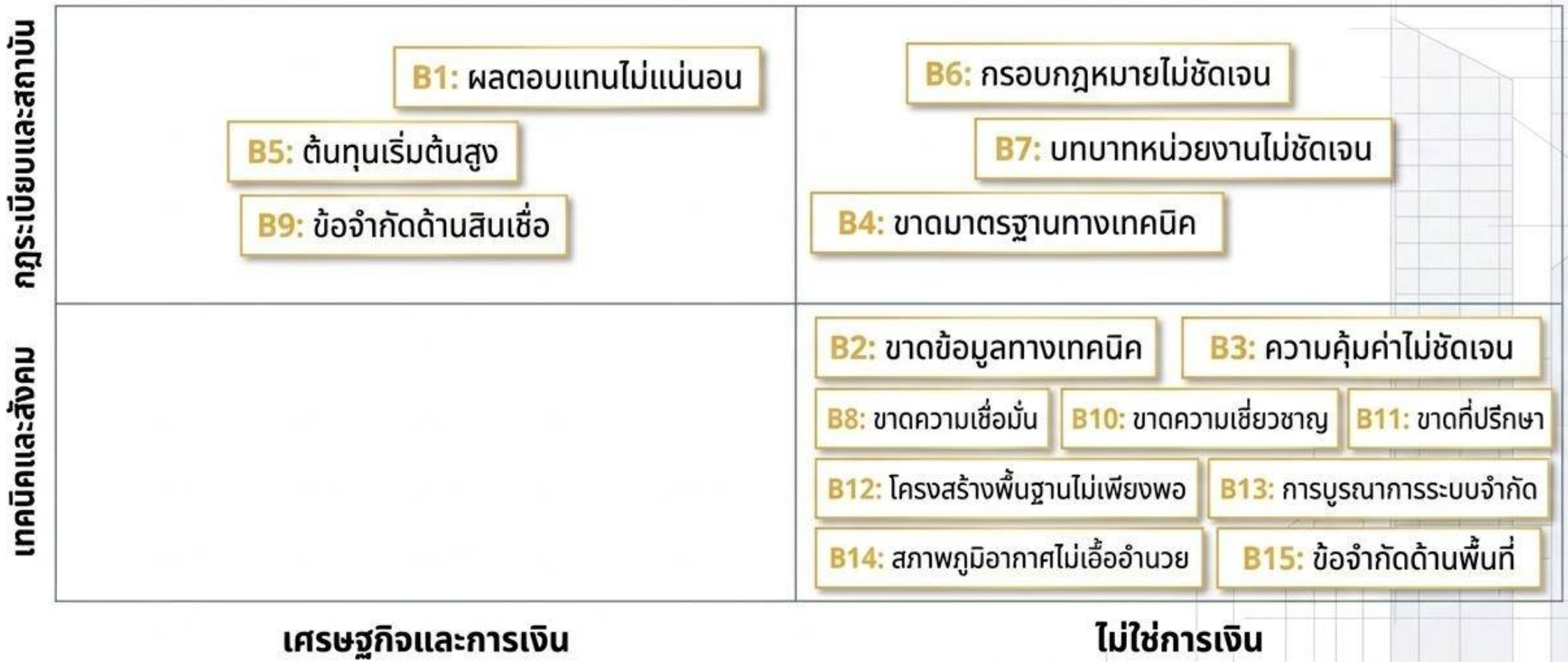
ระยะที่ 2: สาธิตผล

ศูนย์กลางการสาธิตระดับภูมิภาค 5 แห่งในเขตเมืองหนาแน่น

ระยะที่ 3: เป้าหมายปี 2050

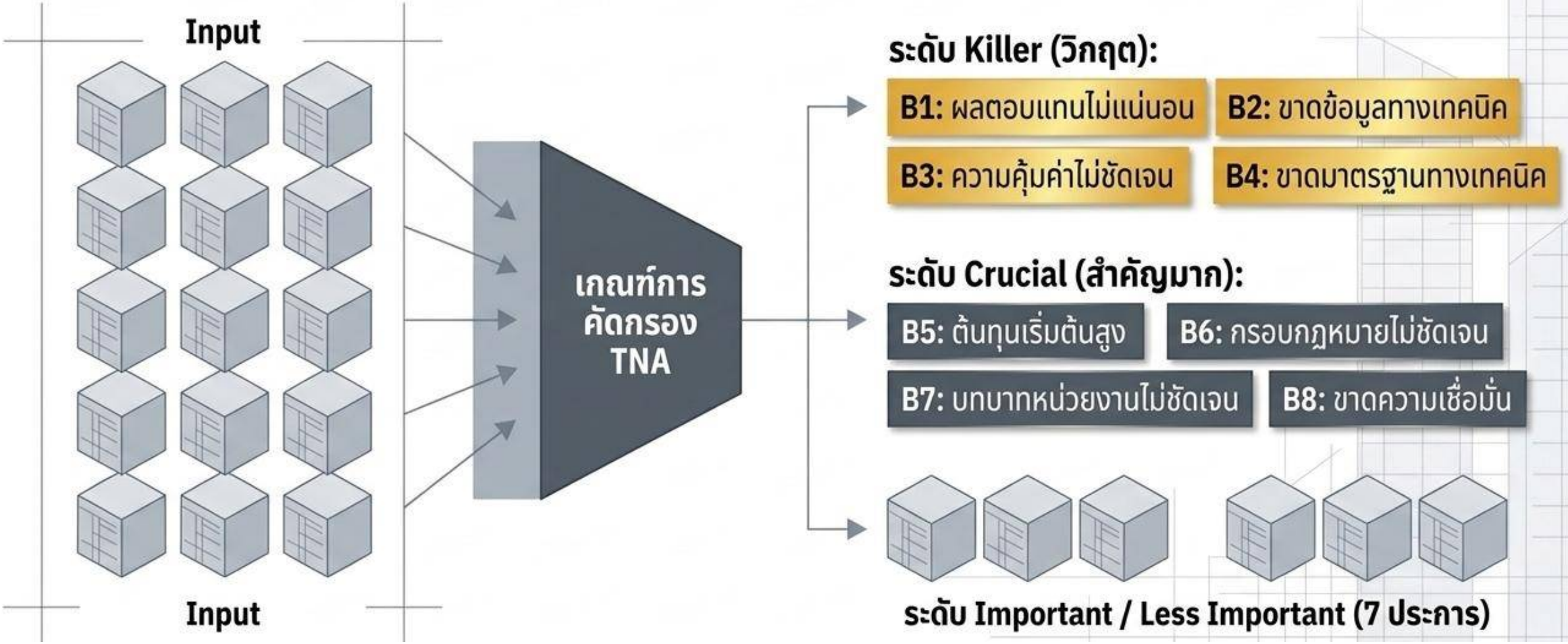
กำลังการผลิตสะสม 3,500 MW สำหรับสบาร์กอิตี้และอาคารสูง

การประเมินอุปสรรคแบบครอบคลุมพบปัจจัยท้าทาย 15 ประการที่ขัดขวางการขยายผลระดับประเทศ

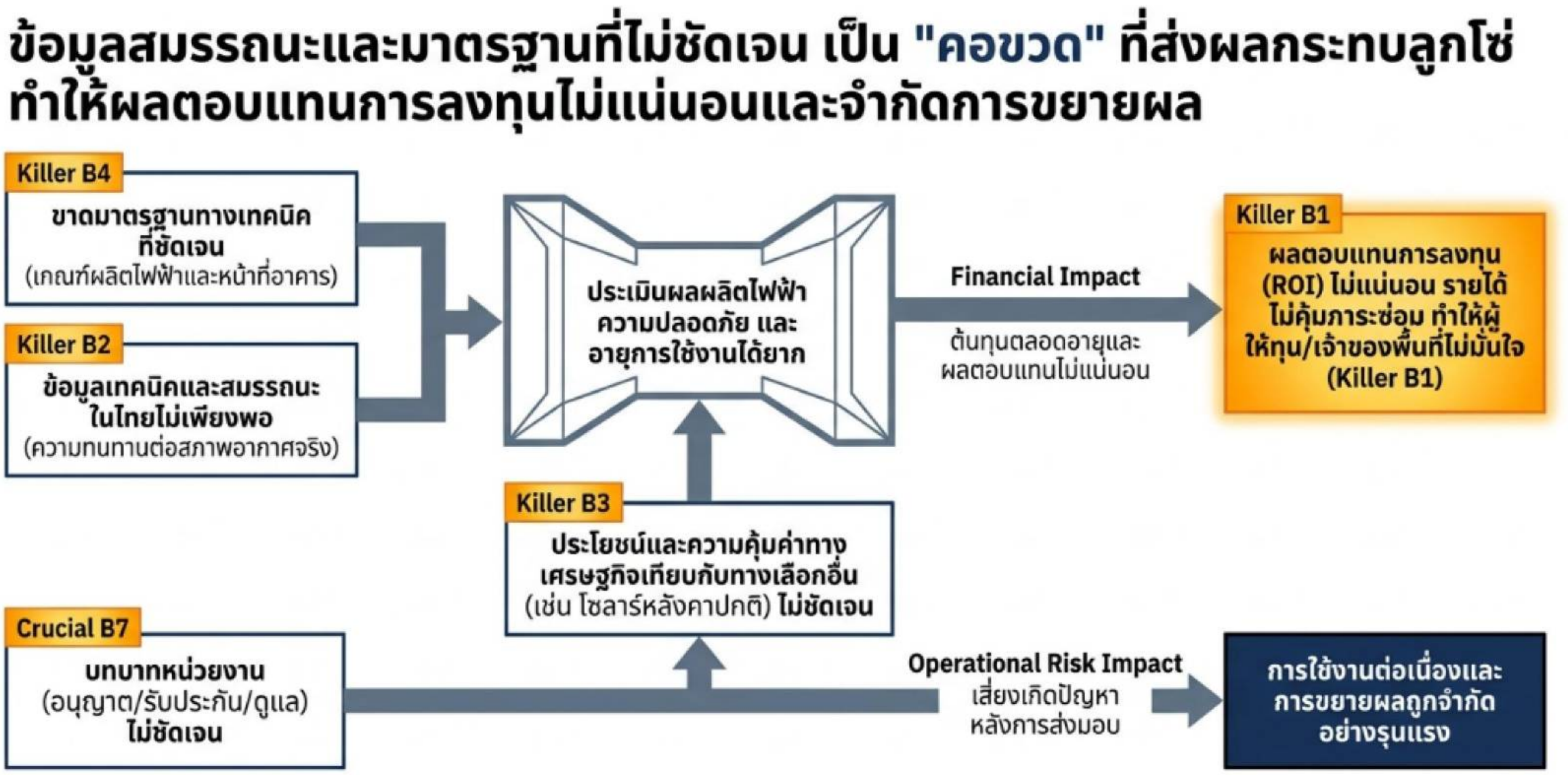


หมายเหตุ: การประเมินดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของที่ปรึกษา โดยพิจารณาจากผลการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการหารือกับผู้เชี่ยวชาญ

ผ่านการคัดกรองอย่างเป็นระบบ พบอุปสรรคระดับ Killer (วิกฤต) 4 ประการ และ Crucial (สำคัญมาก) 4 ประการที่ต้องแก้ไขเร่งด่วน



Solar PV for Infrastructure



หมายเหตุ: การประเมินดังกล่าวอาศัยดุลยพินิจของที่ปรึกษา โดยพิจารณาจากผลการทบทวนเอกสาร ข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และการหารือกับผู้เชี่ยวชาญ

การดำเนินมาตรการจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรที่เฉพาะเจาะจง แต่ให้ผลตอบแทนเชิงระบบที่คุ้มค่าในระยะยาว

ทรัพยากรที่จำเป็น (Required Resources)



การเงิน: เงินอุดหนุนและกองทุนสำหรับโครงการนำร่องเพื่อลดความเสี่ยง



เทคนิค: ห้องปฏิบัติการทดสอบและอุปกรณ์วิจัย R&D ขั้นสูง



บุคลากร: คณะทำงานข้ามหน่วยงานและผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานอาคาร

การประเมินผลกระทบ (Strengths & Risks)

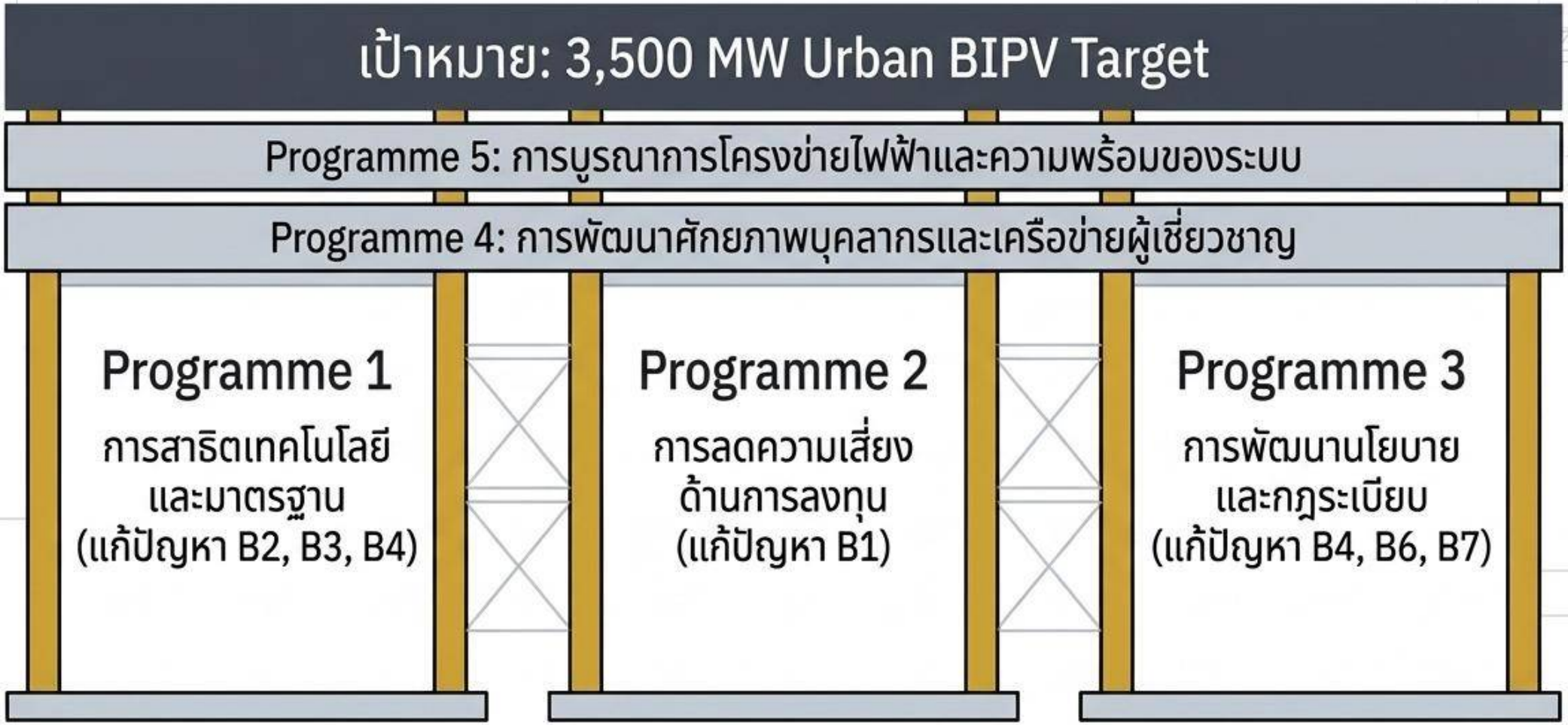
+ จุดแข็ง (Strengths):

- ปลดล็อกการลงทุนจากภาคเอกชนได้ในระดับสเกล
- สร้างฐานข้อมูลทางเทคนิคที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมไทย
- สร้างกฎกติกาการลงทุนและการเชื่อมต่อกริดที่ชัดเจน

— ความเสี่ยงและข้อจำกัด (Risks):

- ต้องอาศัยการบูรณาการที่ซับซ้อนระหว่างหน่วยงานพลังงาน คมนาคม และผังเมือง
- ต้องใช้งบประมาณอุดหนุนภาครัฐจำนวนมากในระยะเริ่มต้นเพื่อดึงดูดนักลงทุนกลุ่มแรก

มาตรการต่างๆ ถูกจัดกลุ่มเป็น 5 แผนงานหลัก (Programmes) เพื่อสร้าง Enabling Framework ที่ครอบคลุมและบูรณาการ



Solar PV for Infrastructure

<u>คำถามที่ต้องการคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ</u>

1. อาคารหรือโครงสร้างพื้นฐานประเภทใดมีศักยภาพเหมาะสมสำหรับ Solar PV for Infrastructure ในประเทศไทย และควรพิจารณาปัจจัยใดในการเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น?

2. อุปสรรคใดเป็น Killer และมาตรการใดต้องเริ่มก่อน?

3. ก่อนขยายสู่เป้าหมายปี 2035 ต้องเห็นหลักฐานอะไรจากระบบเดิมและพื้นที่สาธิต?

menti.com

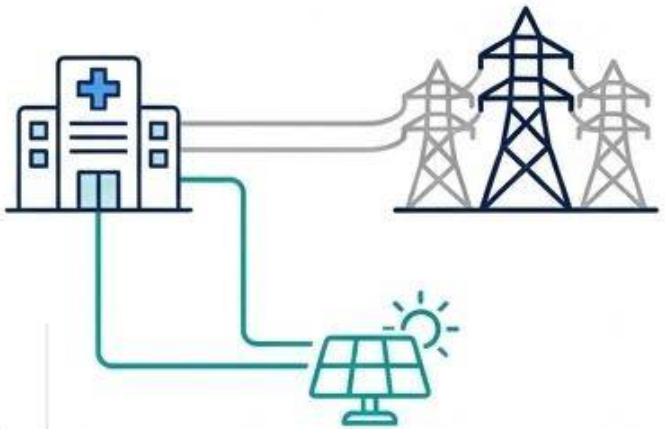
6802 2645

Barrier Analysis and Enabling Framework (BAEF)

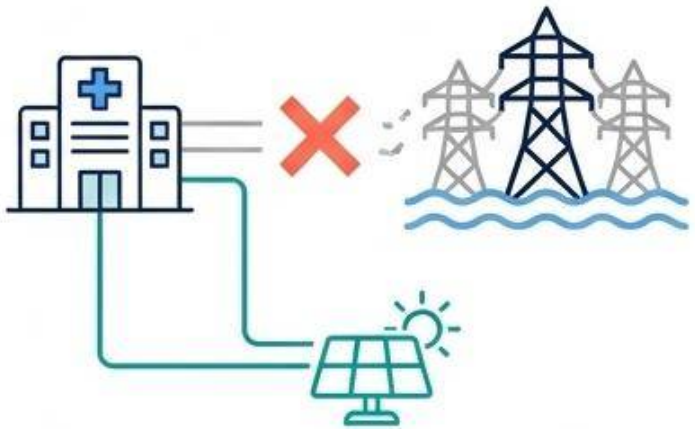
Energy for Disaster Resilience

สถาปัตยกรรมระบบ:
การรักษาความต่อเนื่องของพลังงานยามวิกฤต

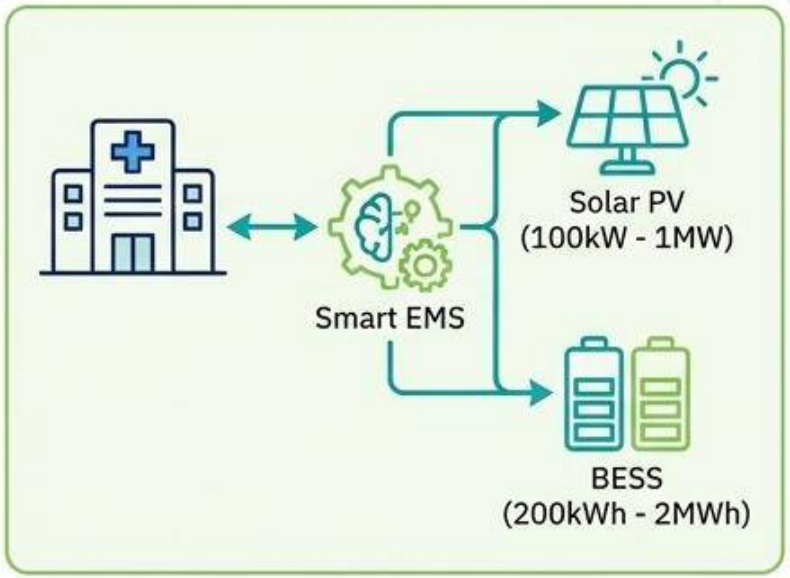
สภาวะปกติ
(Normal State)



เมื่อเกิดภัยพิบัติ
(Grid Failure)



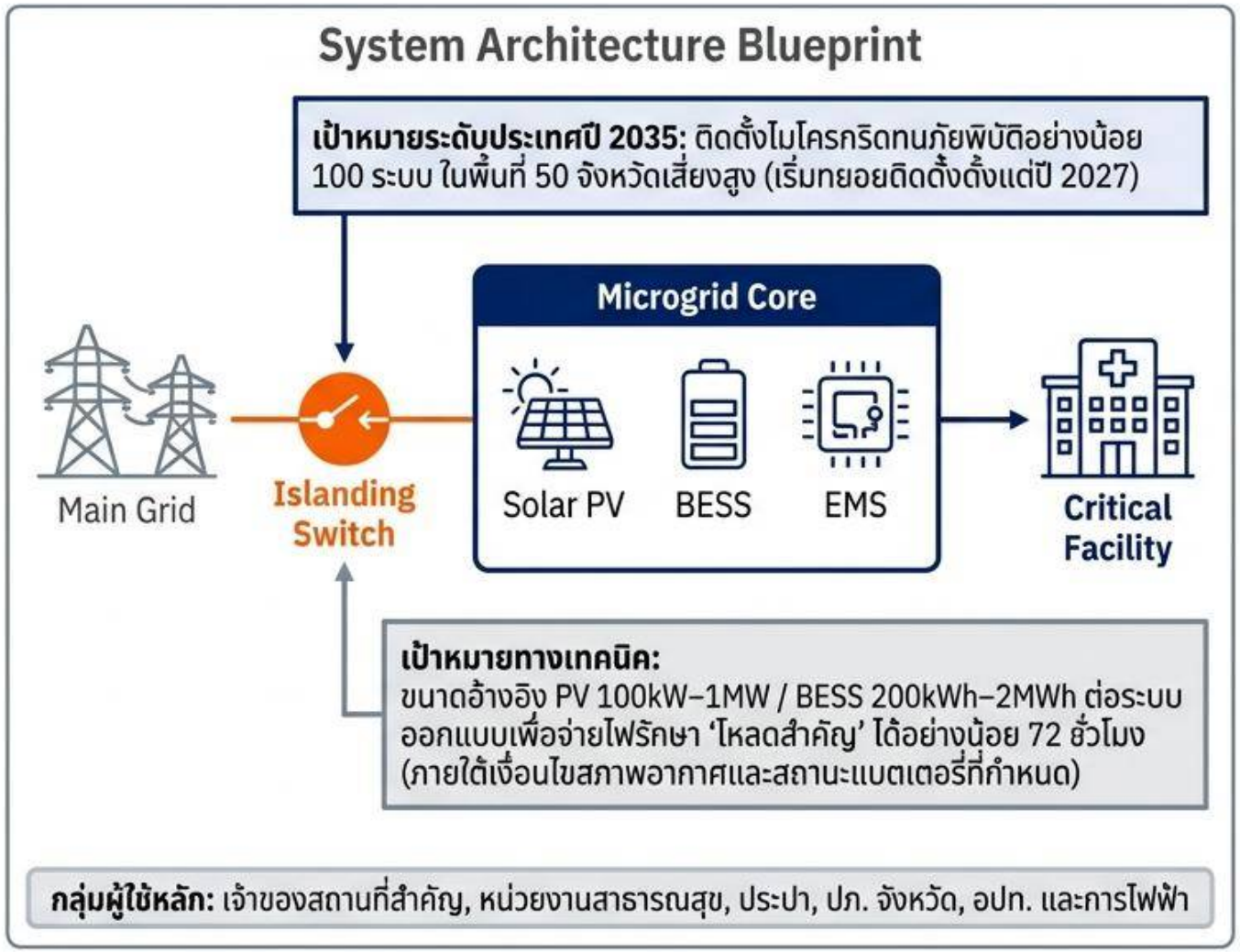
โหมดแยกตัวอิสระ
(Islanding Mode)



ระบบแยกตัวอิสระ (Islanding) ช่วยให้โรงพยาบาลและศูนย์พักพิงมีไฟฟ้า
รองรับโหลดวิกฤตได้ต่อเนื่องอย่างน้อย 72 ชั่วโมง

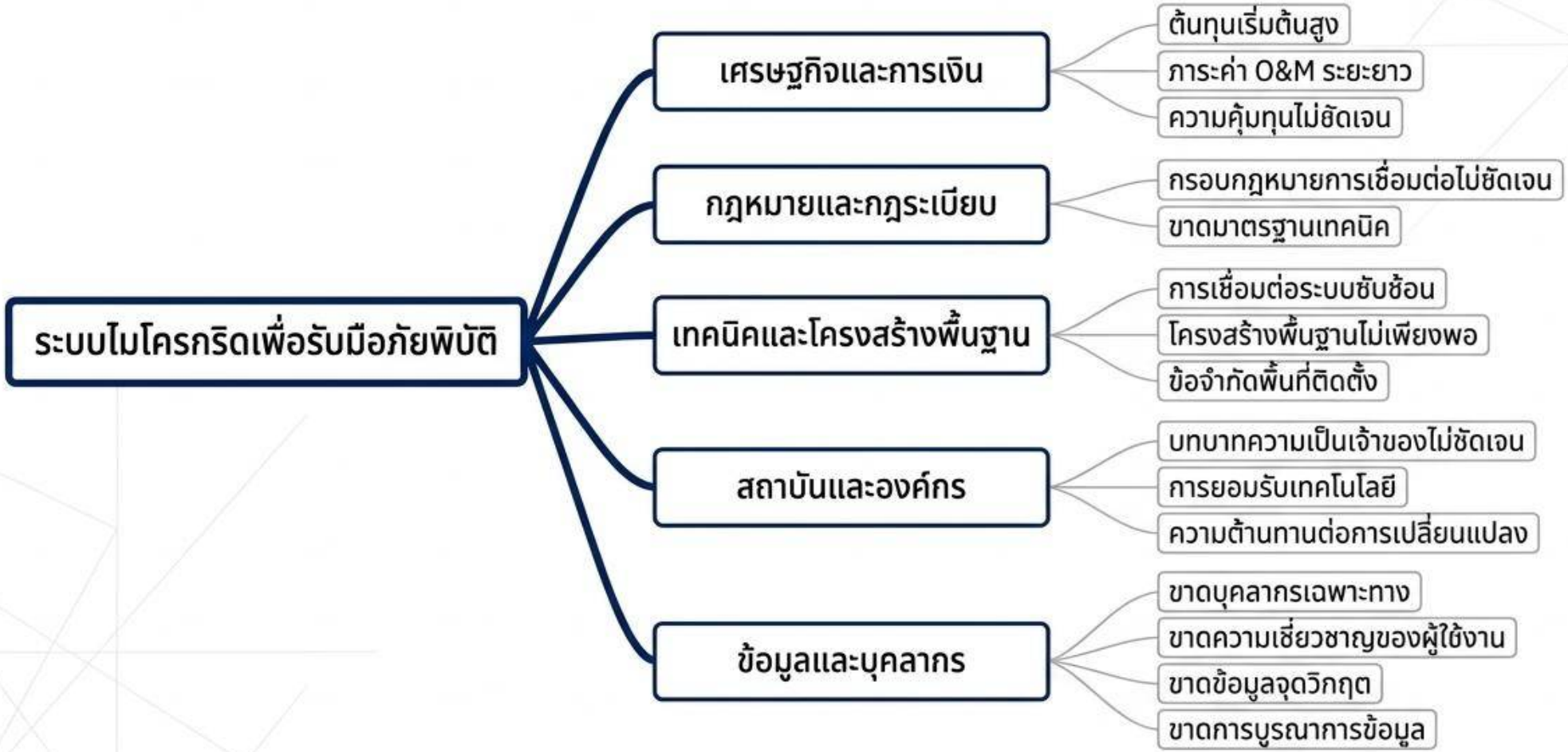
นิยาม เป้าหมาย และขอบเขตความสามารถของระบบพลังงานรับมือภัยพิบัติ

การรักษาบริการไฟฟ้าสำหรับสถานที่สำคัญ (โรงพยาบาล ศูนย์พักพิง ประปา) เมื่อโครงข่ายหลักล่ม
โดยรู้ชัดว่าจะจ่ายให้ใคร นานเท่าใด และใครเป็นผู้ควบคุม



สิ่งที่ระบบทำได้ (Tech Scope)	ข้อจำกัด / สิ่งที่ทำไม่ได้ (Blind Spots)
✓ ระบบควบคุมให้แยกจ่ายไฟอิสระ (Islanding) และเริ่มจ่ายไฟเมื่อระบบดับ (Black-start) ได้อย่างปลอดภัย	✗ การมีแค่โซลาร์+แบตเตอรี่ ไม่ได้แปลว่าจะแยกจ่ายไฟฉุกเฉินหรือเริ่มระบบหลังไฟดับได้เสมอ หากไม่ได้ออกแบบและทดสอบไว้
✓ จ่ายไฟให้เฉพาะ 'โหลดสำคัญ' ที่ถูกจัดลำดับความสำคัญไว้ล่วงหน้า	✗ ไม่สามารถจ่ายไฟได้ทั้งอาคาร (ไม่ใช่พลังงานสำรองไม่จำกัด ต้องประเมินกรณีฝนตกต่อเนื่องหรือแบตเตอรี่เสื่อม)
✓ ทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้าและโครงสร้างพื้นฐานเดิมของสถานที่	✗ ไม่ได้ทดแทน UPS ของอุปกรณ์สำคัญโดยอัตโนมัติ และอาจยังต้องพึ่งพาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Genset) เดิม
✓ ถูกออกแบบมาเพื่อทนทานต่อสภาวะฉุกเฉินและไฟดับ	✗ ระบบจะไม่ 'ทนภัย' หากตัวอุปกรณ์เองไม่ถูกป้องกันจากน้ำท่วม พายุ หรือความร้อนในพื้นที่นั้นๆ

ภูมิทัศน์ของอุปสรรคในการขยายผลเทคโนโลยี



การวิเคราะห์ BAEF ระบุข้อจำกัด 15 ประการ ซึ่งจำเป็นต้องถูกคัดกรองเพื่อหาอุปสรรคขั้นวิกฤต

การคัดกรองและจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรค

B1: กรอบกฎหมายและระเบียบไม่ชัดเจน	B2: ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นสูง	B3: ค่าใช้จ่าย O&M และแบตเตอรี่สูง	B4: บทบาทความเป็นเจ้าของระบบไม่ชัดเจน
B5: การเชื่อมต่อระบบ	B6: ขาดข้อมูลจุดวิกฤต	B7: ความคุ้มทุน (ROI) ไม่ชัดเจน	B8: โครงสร้างพื้นฐานสนับสนุนไม่เพียงพอ
กลุ่มอุปสรรค B9-B15 (บุคลากร, การยอมรับ, พื้นที่ติดตั้ง)			

โฟกัสการแก้ปัญหา: มาตรการทั้งหมดจะถูกออกแบบมาเพื่อปลดล็อกอุปสรรคระดับ Killer และ Crucial เป็นหลัก

จุดเปราะบาง: อุปสรรคหลักและห่วงโซ่ความล้มเหลวเชิงระบบ (Failure Pathways)

การลงทุนเพียงฮาร์ดแวร์ โดยปราศจากการแก้ไขกฎระเบียบและขาดงบประมาณดูแล จะนำไปสู่ความล้มเหลวเมื่อเกิดภัยพิบัติจริง

5 Core Barriers

กฎระเบียบ (Regulatory)

B1 [Killer]: **กฎหมายและกติกาไม่ชัดเจน** - เงื่อนไขการเชื่อมต่อ การแยกจ่าย (Islanding) และการกลับเข้าโครงข่ายคืออะไร?

การเงิน (Financial)

B2 [Killer]: **ต้นทุนเริ่มต้นสูง** - ใครเป็นผู้ลงทุน และควรเริ่มที่สถานที่ใดก่อน?

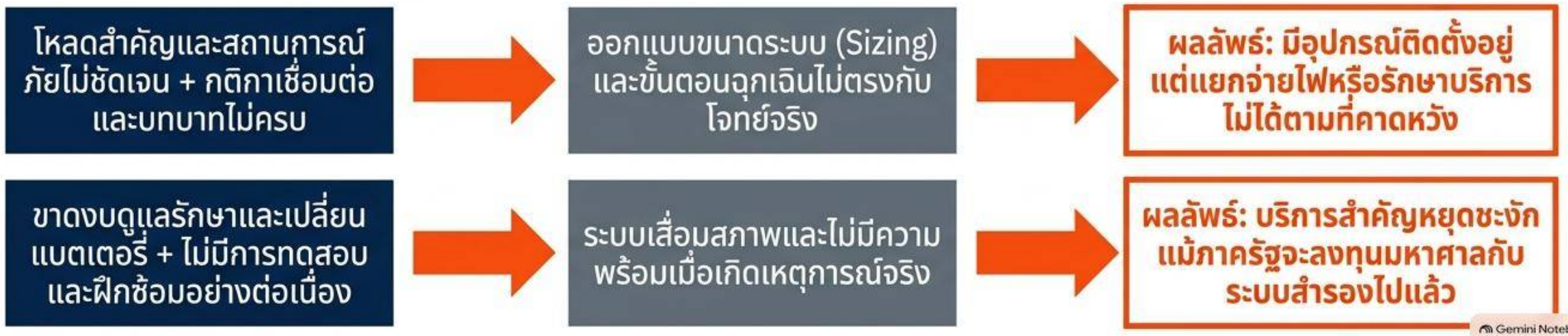
B3 [Killer]: **ขาดงบ** OPEX - มีงบประมาณสำหรับทดสอบ ซ่อมแซม และเปลี่ยนแบตเตอรี่ตลอดอายุการใช้งานหรือไม่?

การจัดการ & เทคนิค (Ops & Tech)

B4 [Killer]: **บทบาทไม่ชัดเจน** - ใครคือเจ้าของ? ใครมีอำนาจสั่งเปิดใช้ฉุกเฉินและควบคุมโหลด?

B5 [Crucial]: **ความยากในการเชื่อมต่อ** - ระบบใหม่จะทำงานร่วมกับการไฟฟ้า, UPS และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมได้อย่างไร?

Mini Cause-and-Effect Flowchart



Gemini Notebook

มาตรการขับเคลื่อน โครงสร้างความรับผิดชอบ และลำดับการดำเนินงาน

แผนปฏิบัติการเพื่อแก้ไขอุปสรรค สร้างระบบพร้อมใช้งานจริง (Ready-to-use) และเตรียมความพร้อมสู่เป้าหมายปี 2035

มาตรการที่เสนอ (Proposed Measures)	เจ้าภาพเบื้องต้น (Proposed Owners)	ผลลัพธ์ที่ต้องได้ (Required Outcomes)
สำรวจโหลดสำคัญ & สถานการณ์ภัย	เจ้าของสถานที่ร่วมกับ ปภ. จังหวัด และการไฟฟ้า	ได้รายการบริการที่ต้องรักษา ระยะเวลาสำรองไฟ และเกณฑ์การออกแบบระบบ
ชี้แจงกฎและมาตรฐานเชื่อมต่อ/แยกจ่าย	กกพ., กฟน./กฟภ., และหน่วยงานกำกับดูแล	ได้ขั้นตอนการขออนุญาต มาตรฐานระบบป้องกัน และเงื่อนไขการทดสอบที่ชัดเจน
กำหนดเจ้าของ & ขั้นตอนเปิดใช้ฉุกเฉิน	หน่วยงานเจ้าของสถานที่ ร่วมกับจังหวัด อปท. และการไฟฟ้า	ได้รายชื่อผู้มีอำนาจตัดสินใจ และการแบ่งความรับผิดชอบที่ชัดเจนเมื่อเกิดภัย
จัดเตรียมงบตลอดอายุ & เทียบความคุ้มค่า	เจ้าของโครงการ, สำนักงบประมาณ, และแหล่งทุน	ได้งบประมาณสำหรับบำรุงรักษา ทดสอบ เปลี่ยนอุปกรณ์ (ประเมินเทียบกับมูลค่าความเสียหายที่หลีกเลี่ยงได้)
นำร่อง ทดสอบไฟดับ & ฝึกซ้อม	ทีมวิศวกรรม, การไฟฟ้า, เจ้าหน้าที่สถานที่, และผู้ประเมินอิสระ	ได้หลักฐานยืนยันว่าสามารถรักษาโหลดสำคัญได้จริง (Islanding & Black-start) โดยไม่เสี่ยงต่อบริการปกติ

Strategic Sequencing



Energy for Disaster Resilience

<u>คำถามที่ต้องการคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญ</u>

1. ควรเริ่มที่สถานที่และบริการใด และต้องรักษาไฟฟ้านานเท่าใดจึงตอบโจทย์ภัยของพื้นที่?

2. อุปสรรคใดเป็น Killer ที่ทำให้เทคโนโลยีนี้ไม่เกิด?

3. กรอบสนับสนุนและชุดมาตรการใดควรเริ่มก่อนเพื่อให้พร้อมใช้งานจริง?

menti.com

6802 2645

ข้อเสนอร่วมเพื่อก้าวต่อ

ร่วมเลือกเทคโนโลยีสู่ก้าวต่อไป

โปรดจัดลำดับโดยพิจารณาว่า เทคโนโลยีใดตอบความเสี่ยงภูมิอากาศของไทยและสร้างประโยชน์ได้ชัด เพิ่มคุณค่าเหนือระบบเดิม และมีเหตุผลว่าการสนับสนุนจากต่างประเทศจะช่วยปลดล็อกข้อจำกัดที่สำคัญได้

1. Small Modular Reactor (SMR)
2. Sustainable Aviation Fuel (SAF)
3. Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) related Technologies
4. Solar PV for Infrastructure
5. Energy for Disaster Resilience

menti.com

6802 2645

WHAT IGNITES CREATIVE ENERGY?



COMMITMENT



COMPETENCE



COLLABORATION



COMMUNICATION



COMPASSION



CREATIVITY



CLARITY



CONTENTIOUSNESS



COFFEE

THANK YOU

Telephone
+66(0) 82 048 6575

Email
happy@thecreagy.com

Website
www.thecreagy.com