

ระบบรางไทย

สถาปัตยกรรมแห่งความยั่งยืน

THAI RAILWAY SYSTEM: ARCHITECTURE OF SUSTAINABILITY



ผศ. ดร.อรณิชา บุตรพรหม

ระบบรางไทย: สถาปัตยกรรมแห่งความยั่งยืน

ผู้เขียน	ผศ. ดร.อรณิชา บุตรพรหม
อำนวยการผลิต	จุฑาทิพย์ สุภานุจนาเศรษฐ์
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	วีรพรรณ ณรงค์วิทยากร
กองบรรณาธิการ	รัชณาธร หล่อพิเชียร, วริสรา หวังวรวานิชย์, อาภาวรรณ จัดตามาศ
ศิลปกรรม	พลิชฐ์สัทคุณ จุลละมณฑล, ธมลวรรณ มีสังข์

หนังสือเล่มนี้สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ. 2565

Copyright © 2022 ห้ามนำส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้เพื่อผลิตใหม่

ห้ามทำซ้ำหรือละเมิดลิขสิทธิ์โดยส่งเนื้อหาสาระสำคัญ ทั้งทางอิเล็กทรอนิกส์หรือรูปแบบต่าง ๆ

รวมถึงการถ่ายเอกสาร การทำสำเนา หรือการเก็บข้อมูลทุกรูปแบบ

โดยมิได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

อรณิชา บุตรพรหม.

ระบบรางไทย สถาปัตยกรรมแห่งความยั่งยืน = Thai railway system : architecture of sustainability.-- นนทบุรี : สยามจุลละมณฑล, 2569.

394 หน้า.

1. รางรถไฟ. 2. รถไฟ. I. ชื่อเรื่อง.

625.15

ISBN 978-616-95238-2-6

พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2569

จัดทำและพิมพ์โดย

บริษัท สยามจุลละมณฑล จำกัด

เลขที่ 98/28 ถนนเกตต์อำพัฒนา ตำบลบางคูวัด อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110

โทร. 06 3451 9359, 06 1519 3641, 09 2425 5229

www.siamclmt.com • Email: siamclmtcenter@siamclmt.com

ราคา 300 บาท

ระบบรางไทย:

สถาปัตยกรรมแห่งความยั่งยืน

คำนำ

ในห้วงเวลาที่ภูมิทัศน์โลกเผชิญแรงกดดันเชิงโครงสร้างจากภาวะภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้น ความเปราะบางทางสังคมที่ทวีความซับซ้อน และโจทย์การเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต้องตั้งอยู่บนหลักความยั่งยืน คำถามพื้นฐานที่ทุกประเทศไม่อาจหลีกเลี่ยง คือ “เราจะสร้างระบบพัฒนาที่มั่นคงต่ออนาคตได้อย่างไร” สำหรับประเทศไทย หนึ่งในคำตอบเชิงยุทธศาสตร์อยู่ที่ “ระบบราง” ซึ่งมีได้เป็นเพียงโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการเดินทาง หากแต่เป็นสถาปัตยกรรมเชิงระบบที่กำหนดทิศทางการพัฒนาในระยะยาว ตั้งแต่ขบวนรถไฟสายแรกเมื่อกว่าหนึ่งศตวรรษก่อน ระบบรางมีบทบาทหล่อหลอมเศรษฐกิจและสังคมไทย ทว่าในหลายทศวรรษที่ผ่านมา ภาพของระบบรางกลับถูกลดทอนเหลือเพียงทางเลือกในการคมนาคมสาธารณะ ในขณะที่ประเทศที่ก้าวข้ามสู่ความยั่งยืนจากญี่ปุ่นและสวีเดนแลนด์ไจจนถึงจีน ต่างยกระดับระบบรางให้เป็น “เครื่องมือขับเคลื่อนการเปลี่ยนผ่าน” เชื่อมโยงระหว่างเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ เมืองคุณภาพ และสังคมที่เข้มแข็ง ระบบรางจึงมิใช่เพียงเส้นเหล็ก หากคือระบบนิเวศแห่งการพัฒนา ที่กำหนดศักยภาพของประเทศในศตวรรษที่ 21 อย่างแยกไม่ออก

ประเทศไทยกำลังยืนอยู่บนจุดเปลี่ยนที่สำคัญในการยกระดับระบบรางให้เป็นยุทธศาสตร์การพัฒนา มิใช่เพียงเพื่อลดความแออัดของการจราจร หากเพื่อวางรากฐานการเติบโตที่เข้มแข็ง ครอบคลุม และยั่งยืนในทุกมิติ การเปลี่ยนผ่านเชิงโครงสร้างเช่นนี้ย่อมต้องการมากกว่าโครงการลงทุนขนาดใหญ่ หากต้องอาศัยวิสัยทัศน์ร่วม กรอบแนวคิดที่เป็นระบบ และแผนปฏิบัติการที่สามารถตรวจสอบและขับเคลื่อนได้จริง หนังสือ “ระบบรางไทย: สถาปัตยกรรมแห่งความยั่งยืน” จึงถูก

พัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์ความจำเป็นดังกล่าว โดยเสนอ “Thailand Sustainable Rail Architecture (TSRA)” ซึ่งเป็นกรอบสถาปัตยกรรมความยั่งยืนสำหรับระบบรางที่ออกแบบเฉพาะเพื่อบริบทเชิงเศรษฐกิจ-สังคม-ภูมิศาสตร์ของประเทศไทย

TSRA มีใช้เพียงกรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี หากเป็นเครื่องมือเชิงยุทธศาสตร์ที่ช่วยให้ผู้กำหนดนโยบาย นักวางแผน และผู้ปฏิบัติงานสามารถประเมินความพร้อมเชิงระบบของโครงสร้างพื้นฐานรางในปัจจุบัน ระบุช่องว่างเชิงสถาบัน เทคโนโลยี และการกำกับดูแล ออกแบบนโยบายและโครงการที่คำนึงถึงสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมถึงยกระดับการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบรางยั่งยืนให้เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและวัดผลได้

กรอบ TSRA วางอยู่บนสามเสาหลักแห่งความยั่งยืน ได้แก่

เศรษฐกิจ (prosperity) คือ การเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ การสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ และการยกระดับขีดความสามารถการแข่งขันของประเทศ

สังคม (people) คือ การเข้าถึงอย่างเท่าเทียม ความปลอดภัย และการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนทุกกลุ่ม

สิ่งแวดล้อม (planet) คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานสะอาด และการบริหารจัดการทรัพยากรให้สมดุลกับระบบนิเวศ

กรอบแนวคิดนี้จึงทำหน้าที่เป็น “สถาปัตยกรรม” ที่เชื่อมโยงองค์ความรู้เชิงวิศวกรรม พลังงาน ผังเมือง นโยบายสาธารณะ และการบริหารจัดการสมัยใหม่เข้าด้วยกัน เพื่อผลักดันให้ระบบรางไทยทำหน้าที่เป็นเครื่องยนต์หลักของการพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยแปดบทที่วางลำดับอย่างเป็นสถาปัตยกรรมความรู้ เริ่มจากกรอบยุทธศาสตร์ กฎหมาย และสถาบัน (บทที่ 1 – 3) ขยายสู่เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่กำลังกำหนดสมรรถนะของระบบรางยุคใหม่ (บทที่ 4)

พิจารณาผลกระทบเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในลักษณะองค์รวม (บทที่ 5 – 7) ก่อนจะสังเคราะห์ทุกมิติผ่าน TSRA Framework และชุดนโยบายขับเคลื่อน ทั้งเจ็ดประการ (บทที่ 8) เพื่อวางแนวทางเปลี่ยนผ่านระบบรางไทยอย่างเป็นระบบ งานเขียนในแต่ละบทตั้งอยู่บนฐานข้อมูลจากงานวิจัยสากล การวิเคราะห์กรณีศึกษาต่างประเทศ และการทำความเข้าใจบริบทเฉพาะของประเทศไทยอย่างลึกซึ้ง

หนังสือเล่มนี้มุ่งเป็นแหล่งอ้างอิงสำคัญสำหรับผู้กำหนดนโยบาย นักวิชาการ นักวิจัย ตลอดจนผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมรางทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้อ่านทั่วไปที่ต้องการทำความเข้าใจกระบวนการเปลี่ยนผ่านของระบบขนส่งไทยในศตวรรษที่ 21

ขอขอบพระคุณเจ้าของผลงาน หนังสือ งานวิจัย และเอกสารต่าง ๆ ที่ผู้เขียนใช้อ้างอิงในหนังสือนี้ทุกท่าน และทุกหน่วยงาน หนังสือเล่มนี้คงไม่สำเร็จได้ หากปราศจากการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ทั้งอาจารย์ที่ให้ความรู้ เพื่อนร่วมงาน ที่ให้กำลังใจ ผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำแนะนำ และครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านจากใจ และขอขอบคุณผู้อ่านทุกท่านที่ให้โอกาสหนังสือเล่มนี้

ท้ายที่สุด ผู้เขียนคาดหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะมีใช้เพียงงานวิชาการเชิงบรรยาย หากจะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือยุทธศาสตร์ที่ช่วยกระตุ้นการสนทนาข้ามภาคส่วน เสริมพลังการตัดสินใจเชิงนโยบาย และเปิดพื้นที่ให้สังคมไทยมองเห็นว่า ระบบรางไม่ใช่เพียงโครงสร้างพื้นฐาน หากคือเส้นทางสู่นาคตแห่งความยั่งยืนที่ประเทศสามารถร่วมกันออกแบบได้

อรณิชา บุตรพรหม

เมษายน 2569

“

ระบบรางคือบทพิสูจน์สำคัญว่า ประเทศไทย
พร้อมก้าวสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนเพียงใด —
เพราะทางรางคือเส้นที่ลากผ่านทั้งเศรษฐกิจ
สังคม และสิ่งแวดล้อมพร้อมกัน

”

สารบัญ

บทที่ 1 ยุทธศาสตร์ระบบรางกับความยั่งยืนของไทย 19

1.1 ภาพรวมของระบบขนส่งทางรถไฟในประเทศไทย	21
1.2 การกำหนดความยั่งยืนในระบบขนส่งทางรถไฟ	23
1.3 ยุทธศาสตร์และแผน 3 ระดับของประเทศไทย	33
1.4 ยุทธศาสตร์ของการรถไฟแห่งประเทศไทย	47
1.5 ยุทธศาสตร์ของกรมการขนส่งทางราง	48
1.6 กรณีศึกษาต่างประเทศ	53
บทวิเคราะห์	58
บทสรุป	59
เอกสารอ้างอิง	61

บทที่ 2 การสังเคราะห์งานวิจัย 71

2.1 แนวคิดและกรอบการสังเคราะห์	75
2.2 การแปรผันเชิงประจักษ์: PISS Framework และห่วงโซ่คุณค่าการสังเคราะห์	80
2.3 การประเมินความพร้อมของระบบรางไทย ตาม 4 เสาหลักของ TSRA	90
2.4 โมเดลสังเคราะห์ TSR Model และข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ	95
บทวิเคราะห์	103
บทสรุป	105
เอกสารอ้างอิง	107

3.1 กฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับระบบรางในประเทศไทย	112
3.2 โครงสร้างกฎหมายระบบรางไทย	115
3.3 มาตรฐานด้านความปลอดภัยและการให้บริการ	117
3.4 การมีส่วนร่วมของสาธารณะและผู้มีส่วนได้เสีย	119
3.5 ปัญหาเชิงโครงสร้างตลาดและความท้าทายเชิงกฎหมาย ในการปฏิรูป	125
3.6 กรณีศึกษาต่างประเทศ	126
บทวิเคราะห์	135
บทสรุป	138
เอกสารอ้างอิง	140

4.1 นวัตกรรมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม	147
4.2 นวัตกรรมเพื่อความปลอดภัยและความมั่นคง	156
4.3 นวัตกรรมด้านโครงสร้างพื้นฐานและวิศวกรรม	162
4.4 เทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัจฉริยะ	166
4.5 นวัตกรรมด้านการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์	172
บทวิเคราะห์	184
บทสรุป	187
เอกสารอ้างอิง	188

บทที่ 5

ผลกระทบทางเศรษฐกิจของระบบราง

193

5.1 การลดต้นทุนโลจิสติกส์	195
5.2 การลงทุนและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และกลไกการเงิน	202
5.3 ผลกระทบต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และเศรษฐกิจภูมิภาค	209
5.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเชิงเศรษฐศาสตร์	213
บทวิเคราะห์	221
บทสรุป	223
เอกสารอ้างอิง	225

บทที่ 6

ระบบรางเพื่อสังคมและความเท่าเทียม

229

6.1 การเข้าถึงและความเท่าเทียม	231
6.2 ความปลอดภัยและความเป็นธรรม	246
6.3 บทบาทต่อการลดความเหลื่อมล้ำ	259
6.4 การปรับตัวของชุมชน	270
บทวิเคราะห์	276
บทสรุป	277
เอกสารอ้างอิง	278

บทที่ 7**ระบบรางกับสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน 281**

7.1 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	284
7.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการจัดการทรัพยากร	292
7.3 การจัดการมลพิษทางอากาศ เสียง และการสั่นสะเทือน	303
7.4 ผลกระทบทางชีวภาพ การใช้ที่ดินและการอนุรักษ์ระบบนิเวศ	309
7.5 เศรษฐกิจหมุนเวียนและการจัดการของเสียในระบบราง	315
บทวิเคราะห์	321
บทสรุป	322
เอกสารอ้างอิง	324

บทที่ 8**เครื่องยนต์หลักของการเปลี่ยนผ่านสู่ความยั่งยืน****329**

8.1 กรอบสถาปัตยกรรมความยั่งยืนระบบราง TSRA	331
8.2 มิติความยั่งยืน 3 ประการ	333
8.3 ความท้าทายเชิงพื้นที่และเชิงสถาบัน	334
8.4 นโยบายขับเคลื่อนและข้อเสนอเชิงนโยบายเฉพาะบริบทไทย	336
8.5 กรอบการติดตาม ประเมินผลและการประยุกต์ใช้ TSRA	344
บทวิเคราะห์	349
บทสรุป	354
เอกสารอ้างอิง	356

บรรณานุกรม**361****ดัชนี****390****ประวัติผู้เขียน****392**

สารบัญภาพ

ภาพ 1-1	แบบจำลองเชิงแนวคิดของ TSRA และการบูรณาการเชิงวิเคราะห์ของหนังสือ	33
ภาพ 2-1	โมเดลสังเคราะห์การขับเคลื่อนระบบรางไทยสู่ความยั่งยืน	99
ภาพ 3-1	กรอบแนวคิด Participatory Regulation สำหรับระบบรางไทย	124
ภาพ 4-1	ระบบสายส่งเหนือศีรษะ ประเทศญี่ปุ่น	149
ภาพ 4-2	ระบบสายส่งเหนือศีรษะ สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี	151
ภาพ 4-3	รถไฟของ Deutsche Bahn (DB) สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี	153
ภาพ 4-4	ระบบตัวอัจฉริยะ Rabbit ของไทย	167
ภาพ 4-5	ตารางเวลาดีจีทัล สถานะขบวนรถ สถานีพิษณุโลก จ.พิษณุโลก	169
ภาพ 5-1	ต้นทุนโลจิสติกส์ของไทย	196
ภาพ 5-2	วงจรสิ่งแวดล้อมเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ยั่งยืน	218
ภาพ 6-1	การเชื่อมต่อกับระบบขนส่งอื่น สถานีรถไฟต้นหมงมัส จ.นราธิวาส	233
ภาพ 6-2	การติดตั้งลิฟต์และทางลาด สถานีรถไฟฟ้า BTS	233
ภาพ 6-3	ขบวนรถแบบพื้นต่ำ (Low-Floor Train) ประเทศญี่ปุ่น	234
ภาพ 6-4	ขบวนรถแบบพื้นต่ำ (Low-Floor Train) สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	235
ภาพ 6-5	อักษรเบรลล์ในลิฟต์สำหรับผู้พิการทางสายตา สถานีรถไฟฟ้า BTS	235

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ 6-6	การออกแบบเพื่อคนทั้งมวล (Universal Design - UD) ประเทศญี่ปุ่น	238
ภาพ 6-7	สถานีเก่าแก่ ประเทศญี่ปุ่น	238
ภาพ 6-8	การก่อสร้างสถานีโพนทอง จ.ร้อยเอ็ด ในเส้นทางคู่สายใหม่	241
ภาพ 6-9	ห้องน้ำเสมอภาคในสถานีรถไฟ	246
ภาพ 6-10	ทางขึ้น-ลงห้องน้ำ สำหรับผู้พิการ สถานีรถไฟศรีสะเกษ	247
ภาพ 6-11	อุปกรณ์ดับเพลิงที่สถานีรถไฟหัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์	249
ภาพ 6-12	เครื่อง Plasser & Theurer TG 80-M สำหรับงานซ่อมบำรุงรางและก่อสร้างราง	251
ภาพ 6-13	SRT Royal Blossom ที่สถานีรถไฟบุรีรัมย์	261
ภาพ 6-14	ทางรถไฟสายมรณะ หน้าผาที่ถ้ำกระแซ จ.กาญจนบุรี	262
ภาพ 6-15	ห้องสมุดการรถไฟแห่งประเทศไทย สถานีรถไฟไชยา จ. สุราษฎร์ธานี	267

สารบัญตาราง

ตาราง 1-1	สถาปัตยกรรม TSRA และยุทธศาสตร์ 3 ระดับ ของประเทศไทย	39
ตาราง 1-2	สรุป 4 แผนเสริม	46
ตาราง 1-3	SDG และการเชื่อมโยงกับระบบรางไทย	50
ตาราง 1-4	ตารางเปรียบเทียบยุทธศาสตร์ระบบราง กับความยั่งยืนของ 4 ประเทศ	56
ตาราง 2-1	Policy–Infrastructure–Safety–Sustainability Framework	78
ตาราง 2-2	การเปรียบเทียบงานวิจัยด้านการขนส่งสินค้า (Freight)	82
ตาราง 2-3	การเปรียบเทียบงานวิจัยด้านการขนส่งผู้โดยสาร ตามบริบทพื้นที่	84
ตาราง 2-4	ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่ขับเคลื่อน Modal Shift	87
ตาราง 2-5	ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่ขับเคลื่อน Social and Environmental Sustainability	89
ตาราง 2-6	การเชื่อมโยงเชิงตรรกะ (Causal Strength) ขององค์ประกอบใน TSR Model	96
ตาราง 2-7	ข้อเสนอแนะเชิงยุทธศาสตร์	101
ตาราง 4-1	สรุปนวัตกรรมระบบราง ความเชื่อมโยงกับ SDGs และตัวอย่างโครงการ	177
ตาราง 5-1	เปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยกับสหรัฐอเมริกา	197
ตาราง 5-2	ต้นทุนโลจิสติกส์ของสหภาพยุโรป (EU)	198

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง 5-3	มิติความยั่งยืนกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ระบบรางของไทยกับนานาชาติ	203
ตาราง 5-4	เปรียบเทียบกลไกการเงินในการลงทุนระบบราง ในนานาชาติ	207
ตาราง 5-5	เปรียบเทียบการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เชิงเศรษฐศาสตร์ระบบราง	219
ตาราง 6-1	กรณีศึกษาความสำเร็จและความท้าทายในการใช้ Universal Design	237
ตาราง 6-2	การเปรียบเทียบกลไกความเท่าเทียมในระบบราง ระหว่างประเทศ	242
ตาราง 6-3	บทบาทของเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการเพิ่มความปลอดภัย	253
ตาราง 6-4	บทเรียนมาตรฐานความปลอดภัยและความเป็นธรรม จากแนวปฏิบัติสากล	256
ตาราง 6-5	กรณีศึกษาการขนส่งสินค้าท้องถิ่นผ่าน ระบบรางในประเทศไทย	264
ตาราง 6-6	บทเรียนการใช้ระบบรางเพื่อความเท่าเทียม	268
ตาราง 6-7	กลไกเชิงนโยบายการบริหารจัดการภัยคุกคามของชุมชน	272
ตาราง 8-1	7 นโยบายขับเคลื่อนการพัฒนาแบบอย่างยั่งยืน	337
ตาราง 8-2	ทฤษฎีสู่การปฏิบัติสำหรับระบบรางไทย	341
ตาราง 8-3	การสังเคราะห์ความเสี่ยง-ตัวชี้วัด-มาตรการรับมือ	350

รายการคำย่อ

ตัวย่อ

ความหมาย

คค.	กระทรวงคมนาคม
กฟผ.	การไฟฟ้าฝ่ายผลิต
ขร.	กรมการขนส่งทางราง
รฟท.	การรถไฟแห่งประเทศไทย
รฟม.	การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
สผ.	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
สนข.	สำนักงานนโยบายและวางแผนการขนส่ง
สนพ.	สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน
สคช.	สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
สภพอ.	สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน
สวทช.	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
อปท.	องค์กรปกครองท้องถิ่น
ATS	Automatic Train Supervision
ATO	Automatic Train Operation
CBTC	Communications-Based Train Control
ESG	Environmental, Social, and Governance
ARL	Airport Rail Link
BCG	Bio-Circular-Green Economy
BTS	Bangkok Mass Transit System
CE	Circular Economy
CBTC	Communications-Based Train Control

รายการคำย่อ (ต่อ)

ตัวย่อ	ความหมาย
EIRR	Economic Internal Rate of Return
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESG	Environment, Social, Governance
ETCS	European Train Control System
EV	Electric Vehicle
GDP	Gross Domestic Product
HSR	High Speed Rail
ITF	International Transport Forum
ITS	Intelligent Transport Systems
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
M&E	Monitoring and Evaluation
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
MRT	Mass Rapid Transit
NRPA	National Rail Policy Agency
NDC	Nationally Determined Contributions
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
O&M	Operation and Maintenance
PLC	Project Life Cycle
PPP	Public–Private Partnership

รายการคำย่อ (ต่อ)

ตัวย่อ

ความหมาย

PPA	Power Purchase Agreement
SDGs	Sustainable Development Goals
SEM	Structural Equation Modeling
SEM	Structural Equation Modeling
SIA	Social Impact Assessment
SROI	Social Return of Investment
SRI	Sustainable Rail Index
SRR	Social Rate of Return
SROU	Sustainable Rail-Oriented Urbanism
TBL	Triple Bottom Line
TOD	Transit-Oriented Development
TSRA	Thailand Sustainable Rail Architecture
UDC	Urban Development Corporation
UIC	International Union of Railways
UITP	International Association of Public Transport

บทที่ 1

ยุทธศาสตร์ระบบราง กับความยั่งยืนของไทย



“

ร่างไม่เดินไปข้างหน้าด้วยตัวเอง
แต่เดินไปตามวิสัยทัศน์ของผู้นำ

”

—ผู้เขียน

ในโลกที่การเดินทางและการขนส่งมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของผู้คน ระบบรางได้กลายเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาอย่างยั่งยืน ประเทศไทยกำลังอยู่ท่ามกลางการเปลี่ยนผ่านครั้งสำคัญที่ไม่เพียงมุ่งเน้นการสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่ทันสมัย แต่ยังต้องสอดคล้องกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม การวางยุทธศาสตร์ระบบรางจึงเป็นมากกว่าการขับเคลื่อนราง แต่เป็นการกำหนดทิศทางอนาคตของประเทศ ระบบขนส่งทางรางถือเป็นเครื่องมือเชิงยุทธศาสตร์ในการสร้างความสามารถในการแข่งขันระดับชาติและการเติบโตทางเศรษฐกิจที่สมดุล โดยมุ่งสู่การเป็นศูนย์กลางโลจิสติกส์และประตูการค้าของภูมิภาค การพัฒนานี้จึงขึ้นอยู่กับวิสัยทัศน์ นโยบาย และแผนงานที่กำหนดขึ้นอย่างรอบคอบและต่อเนื่องเพื่อผลักดันการเติบโตที่ยั่งยืน

บทแรกนี้จึงทำหน้าที่เป็นแผนที่นำทางเชิงยุทธศาสตร์ที่จะพาผู้อ่านเจาะลึกเข้าไปในทุกชั้นของนโยบายและการวางแผนที่กำหนดทิศทางอนาคตของชาติ ผู้เขียนจะเริ่มต้นด้วยการทบทวนภาพรวมของระบบขนส่งทางรถไฟ

ในประเทศไทย เพื่อทำความเข้าใจสถานะปัจจุบันและความท้าทายเชิงโครงสร้างที่รออยู่ ก่อนจะก้าวเข้าสู่การนิยามอย่างลึกซึ้งว่า “ความยั่งยืน” ในระบบรางของไทยคืออะไร ซึ่งเป็นกรอบความคิดสำคัญของหนังสือเล่มนี้ จากนั้นบทจะนำผู้อ่านเข้าสู่การวิเคราะห์โครงสร้างอำนาจการตัดสินใจอย่างเป็นลำดับ โดยแยกย่อยยุทธศาสตร์และแผน 3 ระดับของประเทศไทย รวมถึงการศึกษารายละเอียดของยุทธศาสตร์ของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และกรมการขนส่งทางราง (ขร.) ในฐานะผู้ปฏิบัติการและผู้กำกับดูแล และปิดท้ายด้วยการเรียนรู้จากกรณีศึกษาต่างประเทศ เพื่อนำมาซึ่งข้อสรุปเชิงสังเคราะห์สำหรับการขับเคลื่อนระบบรางสู่ความยั่งยืน



1.1

ภาพรวมของระบบขนส่งทางรถไฟในประเทศไทย

ระบบขนส่งทางรถไฟของประเทศไทยเริ่มต้นในรัชสมัยรัชกาลที่ 5 โดยเปิดใช้งานสายแรกใน พ.ศ. 2436 และจัดตั้งกรมรถไฟหลวงใน พ.ศ. 2433 ก่อนจะยกฐานะเป็นการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ใน พ.ศ. 2494 การพัฒนาช่วงแรกมุ่งเน้นการเชื่อมโยงศูนย์กลางอำนาจกับภูมิภาคเพื่อความมั่นคงและการบริหารราชการ ต่อมาเริ่มรองรับการขนส่งสินค้าเกษตร แต่ครั้งหลังศตวรรษที่ 20 ระบบรางเผชิญการแข่งขันจากถนนและขาดงบประมาณ ตั้งแต่ต้นทศวรรษ 2000 ประเทศไทยเริ่มปฏิรูประบบรางมุ่งพัฒนารailไฟฟ้าในเมืองและโครงการรถไฟทางคู่ในภูมิภาค ปัจจุบันเครือข่ายรถไฟหลักของ รฟท. ยาวประมาณ 4,044 กิโลเมตร ส่วนใหญ่เป็นทางเดี่ยว ขณะที่โครงการรถไฟทางคู่ระยะที่ 1 และ 2 เริ่มดำเนินการแล้ว

ส่งผลให้ประสิทธิภาพการขนส่งผู้โดยสารและสินค้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ระบบรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ และปริมณฑลขยายตัวรวดเร็ว ลดปัญหาจราจรติดขัด และมลพิษ ความท้าทายในปัจจุบัน คือ การบูรณาการระบบขนส่งสาธารณะทุกรูปแบบให้เชื่อมต่อไร้รอยต่อ พร้อมโครงการรถไฟความเร็วสูงเชื่อมภูมิภาคที่จะเปลี่ยนโฉมโลจิสติกส์และการเดินทางในอนาคต

ระบบรางมีบทบาทเชิงโครงสร้างต่อเศรษฐกิจไทย ทั้งในมิติของการลดต้นทุนโลจิสติกส์ การสร้างการเติบโตและการลงทุน และการเชื่อมโยงภูมิภาคและนานาชาติ การขนส่งทางรางประหยัดพลังงานและมีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าเส้นทางถนน เมื่อโครงข่ายทางคู่และเชื่อมประเทศเพื่อนบ้านสมบูรณ์ ระบบรางสามารถถึงส่วนแบ่งการตลาดสินค้าหนักและปริมาณมาก ช่วยเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันและสร้างงานใหญ่ในภาคก่อสร้างผ่านการพัฒนาเชิงพื้นที่รอบสถานี (Transit-Oriented Development: TOD) กระตุ้นมูลค่าอสังหาริมทรัพย์และการลงทุน การเชื่อมต่อกับสปป.ลาว มาเลเซีย และภูมิภาคอาเซียนทำให้ไทยเป็นประตู (Gateway) สำคัญในห่วงโซ่อุปทาน อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังเผชิญปัญหาโครงสร้าง เช่น ต้นทุนโลจิสติกส์ที่ยังอยู่ในระดับสูง โครงสร้างการขนส่งของประเทศที่ยังคงมีระบบโลจิสติกส์ที่พึ่งพาการขนส่งทางถนนเป็นหลัก ความน่าเชื่อถือของระบบรางที่ยังจำกัด รวมถึงปัญหาความไม่เป็นเอกภาพของโครงสร้างพื้นฐาน การกำกับดูแลที่มีความซ้ำซ้อน ข้อจำกัดด้านเงินทุน เทคโนโลยีดิจิทัล และความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น Thai Sustainable Rail Architecture (TSRA) จึงถูกเสนอเป็นกรอบยุทธศาสตร์สำคัญเพื่อเปลี่ยนข้อจำกัดเชิงโครงสร้างเหล่านี้ให้เป็นโอกาสในการพัฒนาระบบขนส่งที่มั่นคง มีประสิทธิภาพ และยั่งยืน



1.2 การกำหนดความยั่งยืนในระบบขนส่งทางรถไฟ

1.2.1 หลักการสำคัญของความยั่งยืน

แนวคิดของความยั่งยืน (Sustainability) ตามนิยามในรายงานบรุนด์แลนด์ คือ “การพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการของคนรุ่นปัจจุบัน โดยไม่กระทบต่อความสามารถของคนรุ่นต่อไป” เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบรางจึงหมายถึงการบูรณาการความมั่นคงทางเศรษฐกิจ ความเป็นธรรมทางสังคม และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ในกลางทศวรรษ 1990 แนวคิดนี้ถูกต่อยอดสู่ “สามเสาหลัก (Triple Bottom Line: TBL)” ที่เสนอให้การประเมินผลการดำเนินงานต้องครอบคลุมสามมิติที่เชื่อมโยงกัน คือ เศรษฐกิจ (Profit) สังคม (People) และสิ่งแวดล้อม (Planet) กรอบ TBL จึงเป็นการขยายขอบเขตของการวัดผลไปสู่การสร้างคุณค่าเชิงบูรณาการที่แต่ละมิติเสริมกันและกัน เช่น การลงทุนในรางไฟฟ้าที่เพิ่มต้นทุนระยะสั้นแต่ช่วยลดคาร์บอนและเพิ่มคุณภาพชีวิต ซึ่งผลลัพธ์โดยรวม คือ “ผลกำไรยั่งยืน” นอกจากนี้ ในระดับสถาบันยังมีการต่อยอดสู่กรอบ ESG (Environment, Social, Governance) ที่เพิ่ม “มิติธรรมาภิบาล” เข้ามา เพื่อให้เกิดความโปร่งใสและการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ

1.2.1.1 เสาหลักทางเศรษฐกิจ

เสาหลักด้านเศรษฐกิจ (Economic Sustainability) ของระบบรางที่ยั่งยืนไม่ได้มุ่งเพียงผลกำไรระยะสั้น แต่ให้ความสำคัญกับต้นทุนตลอดวงจรชีวิต (Life-Cycle Cost: LCC) และความยืดหยุ่นระยะยาว

(Resilience) ระบบรางต้องแสดงอัตราผลตอบแทนทางสังคม (Social Rate of Return: SRR) ที่ชัดเจนกว่าต้นทุนที่รัฐต้องอุดหนุน เพื่อยืนยันว่าการลงทุนมีความคุ้มค่าต่อสังคมโดยรวมที่สำคัญระบบรางต้องทำหน้าที่เป็น “กลไกเชิงโครงสร้าง” ในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศผ่านการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง (Modal Shift) จากถนนสู่รางซึ่งช่วยลดต้นทุนโลจิสติกส์ ลดการพึ่งพาน้ำมัน และลดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากอุบัติเหตุ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มจากการพัฒนาเชิงพื้นที่รอบสถานี สร้างรายได้เสริมให้ระบบในระยะยาว ปัจจัยความยั่งยืนทางเศรษฐกิจยังรวมถึงการนำเทคโนโลยีมาช่วยการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) และส่งเสริมการร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน (Public Private Partnership: PPP) เพื่อสร้างกลไกทางการเงินที่ยืดหยุ่นและโปร่งใส

1.2.1.2 เสาหลักทางสังคม

ระบบรางที่ยั่งยืนต้องส่งเสริม “ความเท่าเทียมทางสังคม” และ “คุณภาพชีวิตของประชาชน” เป็นสำคัญ โดยต้องออกแบบให้ทุกคนสามารถเข้าถึงได้ (Universal Accessibility) ไม่ว่าจะเป็นผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือกลุ่มเปราะบาง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงผลกระทบทางสังคมของโครงการ (Social Impact Assessment: SIA) อย่างรอบด้าน เช่น การเวนคืนที่เป็นธรรม และการมีส่วนร่วมของประชาชนในทุกขั้นตอน ระบบรางมีบทบาทสำคัญในการยกระดับสุขภาวะของประชาชน โดยการลดความแออัดของการจราจร ลดความเครียดจากการเดินทาง และเพิ่มเวลาคุณภาพ (Quality of Life) ขณะเดียวกันยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างสังคมแห่งโอกาส (Inclusive Society) ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงบริการสาธารณะในราคาย่อมเยา

และมีความปลอดภัย สุดท้ายในภาวะวิกฤต เช่น ภัยพิบัติ ระบบรางยังทำหน้าที่เป็น “เส้นเลือดหลัก” ของระบบเศรษฐกิจและสังคมที่ยังสามารถดำเนินงานได้ต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนความยืดหยุ่นของระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานที่ยั่งยืน

1.2.1.3 เสาหลักทางสิ่งแวดล้อม

มิติสิ่งแวดล้อมคือจุดแข็งโดยธรรมชาติของระบบราง เนื่องจากรถไฟเป็นพาหนะที่ใช้พลังงานต่ำและมีการปล่อยคาร์บอนต่อหน่วยการขนส่งต่ำกว่าการขนส่งรูปแบบอื่นหลายเท่า ระบบรางที่ยั่งยืนจึงต้องมุ่งสู่ การใช้พลังงานไฟฟ้าเต็มรูปแบบ และการบูรณาการพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่การเดินทาง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม การจัดการผลกระทบสิ่งแวดล้อมต้องครอบคลุมทั้งมลพิษทางเสียง การสั่นสะเทือน และคุณภาพอากาศ โดยเฉพาะในเขตเมืองซึ่งอาจต้องประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางวิศวกรรม เช่น ระบบรางลอยยาง (Floating Slab Track: FST) เพื่อลดผลกระทบต่อชุมชน นอกจากนี้ ระบบรางยุคใหม่ควรส่งเสริมหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy: CE) ตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้าง การซ่อมบำรุง ไปจนถึงการรีไซเคิลด้วยการใช้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ และการจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางนี้ไม่เพียงช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แต่ยังสร้างภาพลักษณ์ของระบบรางในฐานะ “ขนส่งสีเขียว” ที่สอดคล้องกับเป้าหมาย Net Zero ของประเทศ

1.2.2 ความเกี่ยวข้องกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจของประเทศไทย

การพัฒนาระบบรางที่ยั่งยืนมีความเชื่อมโยงอย่างลึกซึ้งกับยุทธศาสตร์ชาติและวาระการพัฒนาที่สำคัญของประเทศไทย โดยทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการเปลี่ยนผ่านประเทศไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมและเป็นเศรษฐกิจปล่อยคาร์บอนต่ำ ในมิติสิ่งแวดล้อม ความเกี่ยวข้องของระบบรางมีความเร่งด่วนและชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อประเทศไทยให้คำมั่นในการบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายใน ค.ศ. 2050 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ภายใน ค.ศ. 2065 เนื่องจากภาคการขนส่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ บทบาทของรถไฟในการส่งเสริมการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง (Modal Shift) จึงเป็นหัวใจหลักในการบรรลุเป้าหมายตาม “การมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด” (Nationally Determined Contributions: NDC) หรือเรียกย่อว่า “ข้อตกลงปารีส” (Paris Agreement) การลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานรถไฟโดยเฉพาะระบบไฟฟ้าและทางคู่จึงเป็นกลยุทธ์การลดคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสอดคล้องโดยตรงกับ SDG 13 และ SDG 9 ส่วนในมิติทางเศรษฐกิจ การพัฒนาที่ยั่งยืนของเครือข่ายรถไฟเป็นปัจจัยกระตุ้นโดยตรงต่อขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ วัตถุประสงค์หลัก คือ การลดสัดส่วนต้นทุนโลจิสติกส์ต่อ GDP ให้อยู่ในระดับที่แข่งขันได้กับนานาชาติ โดยการสร้างระบบรางที่เชื่อถือได้และคาดการณ์ได้ ภาคธุรกิจจะได้รับทางเลือกในการขนส่งที่คุ้มทุนกว่าอย่างมาก การจัดการระบบรางที่ยั่งยืนจึงเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการปฏิรูปโครงสร้างเศรษฐกิจไทยในระยะยาว

1.2.3 สถาปัตยกรรมระบบรางยั่งยืนของไทย

1.2.3.1 TSRA คืออะไร

TSRA เป็นกรอบเชิงสถาปัตยกรรมที่ออกแบบเพื่อแปลงนิยามความยั่งยืนเชิงนโยบายให้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินยุทธศาสตร์ แผนงาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง TSRA บูรณาการมิติความยั่งยืนทั้งด้านโครงสร้างพื้นฐาน เทคโนโลยี การให้บริการ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และธรรมาภิบาล เพื่อกำกับทิศทางการพัฒนาระบบรางให้สอดคล้องมาตรฐานสากล เช่น OECD/ITF กรอบแนวคิดเพื่อความยั่งยืน (UIC Sustainability Framework) หลักการรถไฟในเมืองขององค์กรสมาคมขนส่งมวลชนระหว่างประเทศ (UITP Urban Rail Principles) (Union International des Transports Publics: UITP) และดัชนีการเคลื่อนย้ายอย่างยั่งยืนของสหภาพยุโรป (EU Sustainable Mobility Indicators) แม้ไทยมียุทธศาสตร์ระบบรางหลายระดับ แต่ยังขาดโครงสร้างกลางที่เชื่อมทุกแผนผ่านมิติความยั่งยืนอย่างชัดเจน งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นประสิทธิภาพและความปลอดภัย แต่ยังไม่ครอบคลุมวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) การลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonisation) ความเป็นธรรมในสังคม (Social Equity) หรือการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลของระบบราง (Digital Rail Transformation) ดังนั้น TSRA ทำหน้าที่เป็นสถาปัตยกรรมกลาง (Meta-architecture) ที่แปลงนิยามความยั่งยืนสู่รูปแบบประเมินได้ ตรวจสอบช่องว่างนโยบาย และเชื่อมโยงเนื้อหาทั้ง 8 บทให้ต่อเนื่องทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ทั้งนี้ กรอบ TSRA ในงานวิจัยนี้เป็นกรอบแนวคิดที่ผู้เขียนพัฒนาขึ้น โดยอาศัยการสังเคราะห์วรรณกรรมเชิงระบบจากกรอบความยั่งยืนสากลและทฤษฎีระบบขนส่ง เพื่อให้เหมาะสม

กับบริบทของประเทศไทย มีใช้การนำกรอบใดกรอบหนึ่งมาปรับใช้โดยตรง แต่เป็นการบูรณาการแนวคิดจากหลายแหล่งให้เกิดเป็นสถาปัตยกรรมใหม่ในระดับมหภาค

เพื่อให้เห็นถึงกระบวนการพัฒนากรอบดังกล่าว อย่างเป็นระบบ TSRA จึงถูกออกแบบผ่านการสังเคราะห์เชิงแนวคิด โดยอาศัยการจัดหมวดหมู่องค์ประกอบจากวรรณกรรมหลักตามความสัมพันธ์เชิงหน้าที่และเชิงระบบ ซึ่งนำไปสู่การกำหนดโครงสร้าง 4 เสาหลัก ดังรายละเอียดในหัวข้อ 1.2.3.2

1.2.3.2 โครงสร้างหลักของ TSRA 4 เสาหลัก และ 12

โดเมนย่อย

TSRA ถูกพัฒนาขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์เชิงแนวคิดจากวรรณกรรมสากล โดยจัดกลุ่มองค์ประกอบตามบทบาทหน้าที่และความสัมพันธ์เชิงระบบ จนเกิดเป็นโครงสร้าง 4 เสาหลัก ซึ่งมีรากฐานจาก Triple Bottom Line (TBL) ESG ทฤษฎีระบบการขนส่ง (Transportation Systems Theory) และโมเดลโครงสร้างพื้นฐานแห่งความยั่งยืน (Sustainable Infrastructure Model) ดังนี้

1. เสา 1 ธรรมาภิบาลและโครงสร้างกำกับดูแล (Governance Architecture) ครอบคลุมโครงสร้างนโยบาย การกำกับมาตรฐาน การแยกบทบาท Regulator-Operator กลไกการแข่งขัน และความโปร่งใสเชิงสถาบันซึ่งเป็นฐานสำคัญตามแนวทาง แผนฟื้นฟูระบบรางของ OECD (OECD Rail Reform) และการเปิดระบบรางเสรีของ EU (EU Rail Liberalisation)

2. เส้า 2 โครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยี

(Infrastructure & Technology Architecture) รวมโครงสร้างหลัก อาทิ ทางคู่ รถไฟฟ้าความเร็วสูง (High Speed Rail: HSR) มาตรฐานวิศวกรรม การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ เทคโนโลยีดิจิทัล (Digital Twins, CBTC (Communications-Based Train Control)/ ETCS (European Train Control System) และ Big Data) และพลังงานสะอาด ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนหลักสู่ Net Zero

3. เส้า 3 บริการ เศรษฐกิจ และสังคม (Socio-

Economic Services Architecture) พิจารณาคุณภาพบริการ ความตรงเวลา ความเท่าเทียมในการเข้าถึง (Accessibility) ความเป็นธรรม เชิงพื้นที่ (Mobility Justice) ผลกระทบทางเศรษฐกิจ (ลดต้นทุนโลจิสติกส์) และผลตอบแทนทางสังคม (SROI) เพื่อส่งเสริมสมรรถนะเชิงพื้นที่

4. เส้า 4 สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

(Environmental Sustainability Architecture) รวมการประเมิน คาร์บอน (Carbon Intensity) ประสิทธิภาพพลังงาน มลพิษเสียงและการสั่นสะเทือน การจัดการของเสีย ผลกระทบต่อระบบนิเวศ และ Life Cycle Assessment (LCA) เพื่อกำหนดรอยเท้าสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

โครงสร้างดังกล่าวสะท้อนการบูรณาการมิติ ความยั่งยืนในระดับระบบอย่างเป็นองค์รวม (System-Level Integration) ซึ่งทำให้ TSRA สามารถใช้เป็นกรอบวิเคราะห์เชิงนโยบายและการประเมิน เชิงปฏิบัติได้อย่างครอบคลุมและมีนัยเชิงยุทธศาสตร์

1.2.3.3 การประยุกต์ใช้ TSRA ในการวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ ระบบรางของไทย

TSRA สามารถประเมินยุทธศาสตร์ระบบรางใน
3 ระดับ ดังนี้

1. **ระดับนโยบายประเทศ (Macro)** ตรวจสอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาฯ และแผนแม่บทคมนาคมว่าครอบคลุมมิติยั่งยืนครบถ้วนหรือไม่
2. **ระดับองค์กร (Meso)** ประเมินยุทธศาสตร์รฟท. และกรมขนส่งทางราง ในด้านการลงทุน เทคโนโลยี มาตรฐานบริการ และผลกระทบต่อสังคม-สิ่งแวดล้อม
3. **ระดับโครงการ (Micro)** วิเคราะห์โครงการทางคู่ รถไฟฟ้า HSR ผ่าน KPI ความยั่งยืน เช่น การประเมินคาร์บอนประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และคะแนนในการเข้าถึง

1.2.3.4 จุดเชื่อมโยงของ TSRA กับเนื้อหาในหนังสือทั้งเล่ม

เพื่อสร้างความเป็นเอกภาพของเนื้อหาในหนังสือทั้งเล่ม TSRA ถูกใช้เป็นกรอบแนวคิดกลางในการจัดโครงสร้างและเชื่อมโยงแต่ละบทอย่างเป็นระบบ โดยบทที่ 1 ทำหน้าที่วางกรอบ TSRA ในฐานะสถาปัตยกรรมหลัก ขณะที่บทที่ 2 เชื่อมโยงกรอบดังกล่าวกับฐานงานวิจัยของผู้เขียน จากนั้นบทที่ 3 – 7 ทำหน้าที่วิเคราะห์เชิงลึกในแต่ละมิติของ TSRA ได้แก่ ธรรมชาติภาพ โครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยี มิติทางเศรษฐกิจและสังคม และสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ ก่อนนำไปสู่บทที่ 8 ซึ่งสังเคราะห์ผลการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเป็นข้อเสนอเชิงนโยบายและแนวทางการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ ดังนั้น โครงสร้างของหนังสือเล่มนี้จึงมิได้เป็น