

รายงานฉบับสมบูรณ์

การจัดทำแผนปฏิบัติการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ด้านระบบโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ ระยะ 5 ปี
และ (ร่าง) นโยบายด้านคุณภาพแห่งชาติ (ระยะที่ 1)

โครงการ	จัดทำแผนปฏิบัติการพัฒนา ววน. ด้านระบบโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ ระยะ 5 ปี และ (ร่าง) นโยบายด้านคุณภาพแห่งชาติ (ระยะที่ 1)
สัญญาเลขที่	ORG67OS003
ระยะเวลา	14 เดือน (1 สิงหาคม พ.ศ. 2567 – 30 กันยายน พ.ศ. 2568)
งบประมาณ	2,370,445 บาท
วันที่จัดทำ	30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568

คณะนักวิจัย

นางสาวสิวิณี สวัสดิ์อารี | หัวหน้าโครงการ | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวจริยา บัวเจริญ | นางเนตรนพิศ คุ่มทุกทิศ | นางสาวนงลักษณ์ ตั้งไพศาลกุล
นางสาววชิพร เย็นน้ำ | นางสาวสุนันติยา พาระนา | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
นางสาวกรัณท์รัตน์ นาขว | นางสาวสุภาวดี สอดสี |
สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
นายพิชชา สิงห์พันธุ์ | หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านความสามารถในการแข่งขัน

สารบัญ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	4
ก. วัตถุประสงค์ของรายงานฉบับนี้.....	4
ข. แผนที่ของรายงาน: แต่ละบทมีเนื้อหาอะไร.....	5
ค. สารสำคัญและข้อค้นพบหลัก	6
ง. กรอบการพัฒนา NQI และข้อเสนอเชิงนโยบาย.....	6
จ. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ 4 ข้อ.....	7
ฉ. ความเสี่ยงสำคัญที่ต้องบริหาร	8
ช. ตัวชี้วัดความสำเร็จ (KPIs) สำคัญ.....	8
บทที่ 1 บทนำ.....	9
1.1 ที่มาของโครงการ.....	9
1.2 โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพและบทบาทสำคัญ.....	9
1.3 สถานภาพและความสามารถของ NQI ของไทยในปัจจุบัน.....	15
1.4 ความไม่สอดคล้องระหว่างการพัฒนากำลังคนและนโยบายเทคโนโลยี	15
1.5 หลักการ เหตุผล และสมมติฐาน	16
1.6 บริบทที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการดำเนินโครงการ.....	17
1.7 กระบวนการศึกษา.....	17
บทที่ 2 การศึกษาเชิงนโยบาย	19
2.1 ข้อค้นพบจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1-13.....	19
2.2 การส่งเสริมการลงทุนและความต้องการ NQI.....	21
2.3 การศึกษา Technology Trends.....	22
2.4 ข้อเสนอแนะเบื้องต้นจากการวิเคราะห์นโยบาย.....	23
บทที่ 3 ตัวอย่างการคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมเป้าหมาย	25
3.1 อุตสาหกรรมเกษตร.....	25
3.2 อุตสาหกรรมอาหาร.....	26
3.3 อุตสาหกรรมสุขภาพและการแพทย์.....	27
3.4 อุตสาหกรรมหุ่นยนต์และการขับเคลื่อนอัตโนมัติ.....	28
3.5 อุตสาหกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม.....	29
3.6 สรุปภาพรวมลักษณะงานวิจัยไทยในเทคโนโลยีเป้าหมาย.....	29
บทที่ 4 การศึกษาเชิงเทคโนโลยี	31
4.1 แนวคิดในการวิเคราะห์เทคโนโลยีเป้าหมาย	31
4.2 รายการเทคโนโลยีอนาคตที่ควรให้ความสนใจ.....	35
4.3 สถานะอุตสาหกรรมปัจจุบัน: การเปลี่ยนผ่าน หรือการต่อยอด.....	36

4.4 กรอบ NQI สามระดับและกิจกรรมเฉพาะ.....	41
4.5 หน่วยตรวจสอบและรับรองกลุ่มใหม่.....	41
4.6 ความท้าทายของ NQI ในยุคเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงเร็ว.....	42
4.7 โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพแบบดิจิทัล (Digital Quality Infrastructure).....	43
บทที่ 5 เกณฑ์ในการพิจารณาลงทุน.....	53
5.0 กรอบความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งทุนของกองทุน ววน.....	53
5.1 กลยุทธ์การลงทุน NQI.....	55
5.2 บทบาทของรัฐและหน่วยงาน NQI ภาครัฐ.....	55
5.3 แหล่งงบประมาณและทุนตามประเภทงาน NQI.....	56
5.4 รูปแบบการอุดหนุนและเงื่อนไขการใช้.....	57
5.5 กรอบการจัดลำดับความสำคัญในการลงทุน NQI.....	57
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	59
6.1 ข้อสรุปจากการทดสอบสมมติฐาน.....	59
6.2 ตาราง Mapping: เทคโนโลยีเป้าหมาย → NQI ที่ต้องพัฒนา → แหล่งทุน.....	59
6.3 ความเสี่ยงสำคัญและแนวทางบรรเทา.....	61
6.4 ตัวชี้วัดความสำเร็จ (KPIs) ตามข้อเสนอแนะ.....	63
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	64
6.6 ภาพอนาคต: NQI ไทย พ.ศ. 2573.....	65
6.7 การประเมินเชิงยุทธศาสตร์: ถามอย่างไรจึงจะได้คำตอบที่ถูกต้อง.....	66
6.8 สังเคราะห์วิสัยคิด: กรอบที่สามารถใช้ได้ซ้ำในทุกกรอบการวางแผน.....	68
ภาคผนวก ก: การวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจในอุตสาหกรรมเป้าหมาย.....	72
สรุปเทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจแยกตามอุตสาหกรรม.....	87
ภาคผนวกข: เทคโนโลยีและคุณลักษณะเฉพาะของกระบวนการผลิตยานยนต์.....	89
Engine Technology: ชิ้นส่วนเครื่องยนต์.....	90
Alternative Energy & Sustainability.....	90
Smart Vehicle Technology.....	90

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ปลายทางในการจัดทำกรอบแนวทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ (National Quality Infrastructure, NQI) ระยะ 5 ปี เพื่อรองรับทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของไทยในอนาคต โดยการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดำเนินการโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ร่วมกับสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) และหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านความสามารถในการแข่งขัน (บพข.) ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

บทบาทและหน้าที่ของโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพในบริบททางเศรษฐกิจที่สำคัญ 3 ประเด็น ดังปรากฏในตารางนี้

โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ: เมื่อทำงานปกติ จะไม่มีใครมองเห็น เมื่ออ่อนแอ จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายและความเสียหายที่แพงและยาวนานมาก เมื่อเข้าใจอย่างถ่องแท้ จะมีคุณค่าเชิงยุทธศาสตร์

การค้าระหว่างประเทศในปัจจุบันไม่ใช่เรื่องของภาษีอีกต่อไป อุปสรรคทางการค้าที่แท้จริงคือข้อกำหนดทางเทคนิค มาตรฐานความปลอดภัย เกณฑ์สิ่งแวดล้อม ความเข้ากันได้ทางดิจิทัล และการยอมรับใบรับรอง ทั้งหมดนี้ขับเคลื่อนโดย NQI

ประเทศที่มีบทบาทในการกำหนดมาตรฐาน มาตรฐานการวัดและกระบวนการวัดมาตรฐาน และระบบการรับรองระบบงานในระดับสากล คือประเทศที่กำหนดกติกาตลาดโลก NQI จึงไม่ใช่เพียงระบบเทคนิค แต่เป็นเครื่องมือการทูตเชิงเศรษฐกิจ

นวัตกรรมที่ขาดความสามารถในการวัดและรับรองที่น่าเชื่อถือระดับสากล ไม่สามารถขยายผลสู่ตลาดเชิงพาณิชย์ได้ — NQI คือสะพานเชื่อมระหว่างผลการวิจัยกับตลาด

ก. วัตถุประสงค์ของรายงานฉบับนี้

รายงานฉบับนี้ครอบคลุมการดำเนินงานระยะที่ 1 ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการกำหนดประเด็นที่ควรพิจารณา หลักเกณฑ์การพิจารณา และแหล่งงบประมาณที่เหมาะสมในการสนับสนุนโครงการที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศในแต่ละมิติ ดังนั้นรายงานฉบับนี้จึงได้นำเสนอ "กรอบการคิดและกระบวนการวิเคราะห์" ที่จำเป็นต่อการพัฒนา NQI อย่างเป็นระบบไปพร้อมกันด้วย เนื่องจากตระหนักว่า หากรายงานมีแต่ข้อเสนอแนะโดยไม่มีกรอบการคิดอาจนำไปสู่การนำไปใช้ชั่วคราว ในขณะที่ประเทศไทยมีความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนา NQI ให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและกฎระเบียบทางการค้าของโลก ซึ่งจำเป็นที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา NQI ทั้งระดับผู้กำหนดนโยบาย และหน่วยงาน NQI เห็นความสัมพันธ์(สามขา)ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การ

พัฒนา NQI และการใช้ประโยชน์จาก NQI ในการนำนวัตกรรมเข้าสู่ตลาด และเพิ่มมูลค่าให้แก่อุตสาหกรรมไปในทิศทางเดียวกัน

รายงานนี้ตั้งใจจะนำเสนอวิธีคิด ควบคู่กับผลการวิเคราะห์
ผู้อ่านเป้าหมายคือผู้กำหนดนโยบาย ผู้บริหารกองทุน และผู้นำนองค์กร NQI ที่ต้องตัดสินใจว่าจะลงทุน NQI ด้านใด อย่างไร และด้วยแหล่งทุนใด
รายงานนี้จึงไม่เพียงนำเสนอ "คำตอบ" แต่พยายามแสดงให้เห็น "กระบวนการคิด" ที่นำไปสู่คำตอบ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำกรอบการคิดนี้ไปใช้กับสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปในอนาคตได้ด้วยตนเอง
คำถามสำคัญที่รายงานนี้พยายามตอบมีอยู่ 3 ข้อ ได้แก่ (1) ประเทศไทยต้องการ NQI แบบไหน รองรับอะไร และเพื่อใคร? (2) NQI แต่ละประเภทควรลงทุนอย่างไร โดยใคร และด้วยทุนประเภทใด? และ (3) กรอบการวิเคราะห์ที่ใช้ตอบสองคำถามแรกซ้ำได้สำหรับเทคโนโลยีและสถานการณ์ใหม่ในอนาคตคืออะไร?

ข. แผนที่ของรายงาน: แต่ละบทมีเนื้อหาอะไร

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจโครงสร้างและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด รายงานฉบับนี้จัดโครงสร้างเป็น 3 ชั้นของการวิเคราะห์ที่เชื่อมโยงกัน ดังนี้

ชั้นการวิเคราะห์	เนื้อหา
ชั้นที่ 1: บริบทและบทเรียน (บทที่ 1-2) เพื่อตอบคำถามว่า: "ไทยอยู่ที่ไหน และเดินทางมาอย่างไร?"	บทที่ 1 NQI คืออะไร ทำงานอย่างไร และทำไมจึงต้องพัฒนาเป็นระบบ บทที่ 2 การทบทวนนโยบายย้อนหลัง 60 ปีบอกอะไรเกี่ยวกับทิศทางที่ไทยควรพัฒนา NQI และข้อจำกัดที่ต้องเผชิญ
ชั้นที่ 2: การวิเคราะห์เทคโนโลยีและอุตสาหกรรม (บทที่ 3-4) เพื่อตอบคำถามว่า: "ไทยควรพัฒนา NQI รองรับอะไร และต้องตัดสินใจอะไรก่อน?"	บทที่ 3 นำเสนอการใช้ข้อมูล R&D เพื่อประเมินสถานะความพร้อมของประเทศ บทที่ 4 คือแก่นหลักของรายงาน อธิบายและแสดงการใช้ Feature-based Analysis มาเป็นกรอบการคิดในการตอบคำถามว่า "NQI ที่ต้องพัฒนา" คืออะไร สำหรับเทคโนโลยีและบทบาทที่ประเทศไทยเลือก

ขั้นที่ 3: กรอบการตัดสินใจและการลงทุน (บทที่ 5-6) ตอบคำถาม: "ใครควรลงทุนอะไร ด้วยทุนประเภทใด?"	บทที่ 5 นำเสนอตรรกะในการเลือกแหล่งทุน (Fundamental Fund FF/Strategic Fund, SF/Science and Technology Infrastructure, ST/งบประมาณแผ่นดิน) โดยอาศัยลักษณะงาน NQI เป็นเกณฑ์ บทที่ 6 สังเคราะห์ทุกชั้นเป็นข้อเสนอแนะ พร้อมชุดคำถามที่อาจมีประโยชน์ในการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้อง หรือต้องใช้ NQI ในอนาคต
---	---

ค. สำคัญและข้อค้นพบหลัก

การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุม 3 มิติหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์นโยบาย การสำรวจแนวโน้มเทคโนโลยี และการประเมินสถานะอุตสาหกรรม มีข้อค้นพบสำคัญดังนี้

- ประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเองอย่างเป็นระบบ แม้จะลงทุนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องมากกว่า 60 ปี เนื่องจากนโยบายระดับชาติมุ่งเน้นการ "นำเทคโนโลยีมาใช้" ไม่ใช่การ "สร้างเทคโนโลยีของตนเอง" — ข้อค้นพบนี้กำหนดทิศทาง NQI ที่ไทยควรพัฒนาในระยะแรก
- การลงทุนจากต่างประเทศในกลุ่มอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ช่วงปี 2565-2567 มีมูลค่ารวมกว่า 13 ล้านล้านบาท นำโดย Semiconductor & Electronics (42%) ซึ่งสร้างความต้องการบริการ NQI ที่สูงและเฉพาะทางอย่างเร่งด่วน — แต่ NQI ของไทยยังไม่พร้อมรองรับ ดังที่เห็นจากกรณี EV Battery
- งานวิจัยที่ได้รับทุนในประเทศส่วนใหญ่มีลักษณะจำเพาะและขนาดเล็ก ไม่มีเป้าหมายพัฒนาแพลตฟอร์มเทคโนโลยีที่ขยายผลได้ ข้อค้นพบนี้สนับสนุนการมุ่งเน้น NQI เพื่อรองรับการลงทุนจากต่างประเทศและยกระดับอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในระยะแรก ก่อนที่จะพัฒนา NQI สำหรับการสร้างเทคโนโลยีใหม่
- การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (Digital QI) ไม่ใช่ทางเลือก แต่เป็นข้อกำหนดบังคับตามกฎหมายระเบียบตลาดส่งออกหลัก โดยเฉพาะ EU Digital Product Passport ที่มีผลบังคับใช้ปี 2570 — ซึ่งจีนได้เริ่มเจรจา Mutual Recognition กับ EU ไปแล้วตั้งแต่ปี 2568

ง. กรอบการพัฒนา NQI และข้อเสนอเชิงนโยบาย

รายงานนี้เสนอกรอบการพัฒนา NQI ตามระดับห่วงโซ่คุณค่า ซึ่งแต่ละระดับมีวัตถุประสงค์ผู้รับผิดชอบ และแหล่งทุนที่แตกต่างกันตามตรรกะ ไม่ใช่ตามความสะดวก ดังนี้

ระดับ NQI	วัตถุประสงค์ ผู้รับผิดชอบ และแหล่งทุน
NQI ต้นน้ำ (Pre-normative NQI)	สนับสนุนการวิจัยก่อนการกำหนดมาตรฐาน สร้างวิธีวัดและทดสอบใหม่สำหรับเทคโนโลยีที่ยังไม่มีมาตรฐาน ผู้รับผิดชอบ: NMI (มว.) ร่วมกับมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัย แหล่งทุน: ทุน ST เป็นหลัก เนื่องจากเป็นการสร้างโครงสร้างพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีใหม่
NQI กลางน้ำ (Industrial NQI)	รับรองคุณภาพกระบวนการผลิตและชิ้นส่วนตามมาตรฐานสากล รองรับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมเป้าหมาย ผู้รับผิดชอบ: ห้องปฏิบัติการภาครัฐและเอกชนที่ได้รับการรับรองระบบงาน แหล่งทุน: ทุน SF สำหรับการพัฒนาความสามารถใหม่ และการลงทุน หรือร่วมทุนของภาคเอกชนเพื่อสร้างบริการที่มีตลาดรองรับแล้ว หรือคาดว่าจะมีตลาดรองรับในอนาคตอันใกล้
NQI ปลายน้ำ (Public Interest NQI)	กำกับดูแลตลาดและคุ้มครองผู้บริโภค รักษาความเป็นธรรมทางการค้าและความปลอดภัยสาธารณะ ผู้รับผิดชอบ: หน่วยงานกำกับดูแลตามกฎหมาย แหล่งทุน: ทุน FF และงบประมาณแผ่นดิน เนื่องจากเป็นบริการสาธารณะที่รัฐต้องจัดให้

จ. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ 4 ข้อ

- เร่งพัฒนา NQI กลางน้ำและปลายน้ำสำหรับอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพและความพร้อมสูง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร (food ingredients & food additives) และการบริการทางการแพทย์ ซึ่งมีวัตถุดิบและโครงสร้างพื้นฐานรองรับอยู่แล้ว
- กำหนดเทคโนโลยีแกน 3-5 กลุ่มสำหรับการลงทุน NQI ต้นน้ำ เช่น Advanced Biotechnology, AI in Manufacturing, Advanced Electronics และ Clean Energy โดยเข้าร่วมกิจกรรม pre-normative research ระดับนานาชาติ เช่น VAMAS เพื่อสร้างประสบการณ์ในการทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ หรือมาตรฐานกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเฉพาะ หรือเทคโนโลยีขั้นสูง รวมทั้งกระบวนการผลักดันไปสู่มาตรฐานระหว่างประเทศ
- พัฒนา Digital NQI โดยเร่งด่วน โดยเริ่มจาก Digital Calibration Certificate (DCC) ในฐานะ Metrological Traceability Foundation สำหรับ EU Digital Product Passport และสร้าง National DQI Platform ที่เชื่อมโยงกับระบบสากล เพื่อรองรับข้อกำหนด Digital Product Passport ของสหภาพยุโรปที่จะมีผลบังคับในปี พ.ศ. 2570
- ทบทวนกลไกการให้ทุนเพื่อหลีกเลี่ยงการให้ทุน NQI ที่ซ้ำซ้อน โดยกำหนดเงื่อนไขที่ชัดเจนว่าการพัฒนา NQI ลักษณะใดควรอยู่ภายใต้ทุน FF, SF หรือ ST และสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน NQI ภาครัฐและภาคเอกชนในรูปแบบ consortium

ฉ. ความเสี่ยงสำคัญที่ต้องบริหาร

รายงานฉบับนี้ระบุความเสี่ยง 7 ประการที่มีนัยสำคัญต่อความสำเร็จของการพัฒนา NQI โดยความเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดและผลกระทบสูงที่สุด 3 ประการ ได้แก่ ความไม่ต่อเนื่องของนโยบาย NQI ระหว่างรัฐบาล, NQI ที่ไม่ทันความต้องการของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมที่ไทยมีศักยภาพและอุตสาหกรรมใหม่ และการแตกกระจายของระบบ Digital NQI อันเกิดจากการที่แต่ละหน่วยงานพัฒนาระบบดิจิทัลของตนเอง โดยขาด Common Data Standard รายละเอียดและแนวทางบรรเทาปรากฏในหัวข้อ 6.3

ข. ตัวชี้วัดความสำเร็จ (KPIs) สำคัญ

KPI	เป้าหมาย / กรอบเวลา
จำนวนห้องปฏิบัติการ Food Ingredients ที่ได้รับการรับรองระบบงานตาม ISO/IEC 17025 ที่มีข้อบ่งชี้ความสามารถรองรับอาหารสำหรับผู้สูงอายุ (Modified Diets) อาหารเฉพาะกลุ่มโรค (Therapeutic Foods) และอาหารทางการแพทย์	≥ 10 แห่ง ภายใน 3 ปี
จำนวนห้องปฏิบัติการวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร และหน่วยรับรองวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร (ความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม) ที่ได้รับการรับรองระบบงานตาม ISO/IEC 17025 และ ISO 17065	≥ 5 แห่ง ภายใน 3 ปี
Certification Body (CB) และ Validation and Verification Body (VVB) ที่รองรับงาน Carbon Emission and Capture, Energy Consumption and Saving, Green Building Certification, System Validation: Network of Sensors & IoT และ Software Validation	ด้านละมากกว่า 2 แห่ง ภายใน 3 ปี
จำนวน Digital Calibration Certificate (DCC) ที่ออกต่อปี	≥ 1,000 ใบ ภายในปีที่ 2
ความพร้อมรองรับ EU Digital Product Passport	100% ก่อนปี พ.ศ. 2570
จำนวนหน่วยงาน NQI ที่เชื่อมระบบดิจิทัลถึงกันผ่านแพลตฟอร์มกลาง	≥ 5 หน่วยงาน ภายใน 3 ปี
จำนวนโครงการ Pre-normative Research ที่ได้รับทุนในเทคโนโลยีแกน	≥ 5 โครงการ/ปี

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

โครงการนี้ริเริ่มโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) เพื่อศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะในการสนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ (National Quality Infrastructure, NQI) ให้สามารถรองรับการนำนวัตกรรมไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ

ความต้องการหลักของ สกสว. ครอบคลุม 2 ประเด็น ได้แก่ (1) กำหนดแนวทางที่ชัดเจนว่า การพัฒนา NQI ลักษณะใดควรอยู่ภายใต้ทุนวิจัยแต่ละประเภท ได้แก่ ทุนมูลฐาน (FF) ทุนเชิงกลยุทธ์ (SF) และทุนพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ST) และ (2) จัดทำแผนปฏิบัติการพัฒนา NQI ระยะ 5 ปี ที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ

วัตถุประสงค์ที่แท้จริงของรายงานฉบับนี้: นำเสนอวิธีคิด ควบคู่กับผลการวิเคราะห์

รายงานฉบับนี้ไม่ใช่เพียงแผนปฏิบัติการที่ระบุว่าต้องทำอะไร วัตถุประสงค์ที่แท้จริงคือการนำเสนอกระบวนการคิด วิธีวิเคราะห์ และกรอบการตัดสินใจ เพื่อให้หน่วยกำหนดนโยบายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำกรอบนี้ไปปรับใช้และตัดสินใจได้ด้วยตนเองในอนาคต เมื่อบริบทและข้อมูลเปลี่ยนแปลงไป

แสดงกระบวนการคิดควบคู่กับคำตอบ: NQI ที่ดีต้องสอดคล้องกับทิศทาง R&D และอุตสาหกรรมของประเทศในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ กรอบการคิดที่ยืดหยุ่นจึงมีประโยชน์ระยะยาวมากกว่าคำตอบที่ตายตัว

วิธีใช้รายงานฉบับนี้: แต่ละบทจะเริ่มต้นด้วยการอธิบาย "ทำไมต้องวิเคราะห์เรื่องนี้" และ "ต้องการข้อสรุปอะไรจากการวิเคราะห์" ก่อนที่จะนำเสนอการวิเคราะห์จริง ส่วนนำของแต่ละบทจึงมีรายละเอียดที่ส่งเสริมการสร้างความเข้าใจระยะยาว

1.2 โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพและบทบาทสำคัญ

โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ (Quality Infrastructure, QI) หมายถึง "ระบบที่ประกอบขึ้นจากองค์กร ทั้งองค์กรภาครัฐและเอกชน โดยมีนโยบาย กฎหมายและกรอบการกำกับดูแล และแนวปฏิบัติร่วมกัน โดยพึ่งพากระบวนการ 5 ด้าน ได้แก่ มาตรฐาน การกำหนดมาตรฐาน การรับรองระบบงาน การตรวจสอบและรับรอง และการกำกับดูแลตลาด" (นิยามที่ได้รับการรับรองจากที่ประชุม DCMAS Network ซึ่งมี UNIDO เป็นเจ้าภาพ มิถุนายน พ.ศ. 2560) ทั้งนี้ การดำเนินการทั้ง 5 ด้านควรเป็นอิสระจากกันในทาง

วิชาการ แต่มีการประสานทิศทางและนโยบายให้สอดคล้องกัน เพื่อให้องค์ประกอบทั้งหมดทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ มีทิศทางและเป้าหมายเดียวกัน

1.2.1 องค์ประกอบ 5 ด้านของโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ

องค์ประกอบ 5 ด้าน ได้แก่

องค์ประกอบ	วัตถุประสงค์และบทบาทหลัก
มาตรวิทยา (Metrology)	วิทยาศาสตร์ของการวัด มุ่งให้ผลการวัดไม่ว่าจะกระทำที่ใด เมื่อใด หรือโดยผู้ใดสามารถเปรียบเทียบกันได้ ผ่านแนวคิดความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (Metrological Traceability) โดยอ้างอิงกับระบบหน่วยระหว่างประเทศ (International System of Units, SI) ประเทศไทยเป็นภาคีสัญญามetricตั้งแต่ พ.ศ. 2455 และเข้าร่วม CIPM MRA ใน พ.ศ. 2542
การกำหนดมาตรฐาน (Standard)	การจัดทำเอกสารข้อกำหนด หลักเกณฑ์ หรือแนวทางเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นกรอบปฏิบัติอย่างเดียวกัน WTO สนับสนุนให้ประเทศสมาชิกนำมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO, IEC, ITU) ไปใช้หรืออ้างอิงในการกำหนดมาตรฐานของประเทศ
การรับรองระบบงาน (Accreditation)	กระบวนการประเมินหน่วยตรวจสอบและรับรอง (Conformity Assessment Body, CAB) ตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องอย่างอิสระ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าหน่วยตรวจสอบและรับรองมีความสามารถ ความเป็นกลางและความพร้อมในการให้บริการตรวจสอบและรับรอง ทำให้ผลการทดสอบ สอบเทียบ ตรวจ และรับรองเป็นที่ยอมรับข้ามพรมแดน ผ่านข้อตกลง IAF MLA และ ILAC MRA
การตรวจสอบและรับรอง (Conformity Assessment)	กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ บริการ หรือกระบวนการที่มีสมบัติตามที่มาตรฐานระบุ รูปแบบหลักของการตรวจสอบและรับรอง คือ การทดสอบ การสอบเทียบ การรับรอง และการตรวจ เป็นการดำเนินการโดยบุคคลที่สามอย่างอิสระเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและการยอมรับ
การกำกับดูแลตลาด (Market Surveillance)	มาตรการตามกฎหมายที่ทำให้มั่นใจว่าสินค้าและบริการที่เข้าสู่ตลาดเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เช่น การสั่งถอนผลิตภัณฑ์ การเรียกคืน และการห้ามเข้าสู่ตลาด ความอ่อนแอของการกำกับดูแลตลาดอาจ

	นำไปสู่ภาวะตลาดล้มเหลว (Market Failure) ตลาดที่มีการแข่งขันที่ไม่เป็นธรรม และผู้บริโภคขาดความเชื่อมั่น
--	--

1.2.2 โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศและการเชื่อมโยงระหว่างประเทศ

โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ (National Quality Infrastructure, NQI) ของแต่ละประเทศประกอบด้วยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Metrology Institute, NMI) องค์กรกำหนดมาตรฐานแห่งชาติ (National Standard Body, NSB) และองค์กรรับรองระบบงานแห่งชาติ (National Accreditation Body, NAB) ซึ่งต้องดำเนินการอย่างเป็นอิสระจากกัน และเป็นอิสระจากหน่วยให้บริการตรวจสอบและรับรอง (Conformity Assessment Body, CAB) เพื่อรักษาหลักการตรวจสอบถ่วงดุล องค์กรระดับชาติเหล่านี้มีหน้าที่สร้างการยอมรับตามข้อตกลงระหว่างประเทศ เพื่อให้ผลการตรวจสอบและรับรองในประเทศเป็นที่ยอมรับในตลาดต่างประเทศโดยไม่ต้องทดสอบซ้ำ นอกจากนี้ เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคและสังคม แต่ละประเทศยังมีหน่วยกำกับดูแลตลาดอีกด้วย

1.2.3 เหตุใดจึงต้องบริหารจัดการ NQI อย่างเป็นระบบ

สรุปภาพโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพของประเทศ (2562) ระบุเหตุผล 5 ประการที่ทำให้ NQI ที่เป็นระบบมีความจำเป็นเร่งด่วนสำหรับไทย ดังนี้

- เศรษฐกิจไทยพึ่งพาการส่งออกและการท่องเที่ยวเป็นหลัก มูลค่ารวมกว่า 10 ล้านล้านบาท (ประมาณ 70% ของ GDP ในปี 2560) ความสามารถในการแข่งขันของสินค้าและบริการไทยจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพและความเชื่อถือได้ของ NQI โดยตรง
- การยกระดับความสามารถในการแข่งขันและสร้างมูลค่าด้วยคุณภาพและนวัตกรรม จำเป็นต้องมีระบบ NQI ที่มีสมรรถนะและความยืดหยุ่นสูง มีบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์และทักษะสูง
- การรองรับและสนับสนุนอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ เช่น EV, Smart Electronics, Medical Hub ซึ่งต้องการบริการตรวจสอบและรับรองระดับสูงที่พัฒนาใหม่จำนวนมาก ภาคเอกชนจะตัดสินใจลงทุนก็ต่อเมื่อมั่นใจว่าจะสามารถเข้าถึงบริการตรวจสอบและรับรองที่จำเป็นได้ทันเวลา
- การพัฒนาตลาดในประเทศเพื่อคุณภาพชีวิตของประชาชน และยกระดับสินค้า หัตถกรรมและสินค้าท้องถิ่น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น บริษัทแห่งหนึ่งในออสเตรเลีย นำสมุนไพรฟ้าทะลายโจรที่ไปผลิตเป็นยาชื่อ "Cold Combat" ที่สามารถขายได้ทั่วโลกในราคาที่สูงกว่าสมุนไพรฟ้าทะลายโจรกว่า 10 เท่า เพราะสามารถสร้างคุณค่าและพิสูจน์คุณภาพได้

- การเปลี่ยนแปลงในข้อตกลงทางการค้าระดับโลก ทำให้ประเทศไทยต้องยกระดับมาตรฐานและระบบการตรวจสอบรับรองให้ทัดเทียมสากล โดยเฉพาะกฎระเบียบใหม่ด้านสิ่งแวดล้อม Carbon Border Adjustment Mechanism และ Digital Product Passport

1.2.4 ผลจากการศึกษาวิจัยระดับนานาชาติ

ประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำทุกประเทศล้วนสร้างสถาบันมาตรวิทยาและโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพตั้งแต่ระยะแรกของการพัฒนาอุตสาหกรรม เช่น Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ของเยอรมนี, National Physical Laboratory (NPL) ของสหราชอาณาจักร, National Institute of Standards and Technology (NIST) ของสหรัฐอเมริกา และ National Metrology Institute of Japan (NMIJ) ของญี่ปุ่น สถาบันเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นรากฐานที่รองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรม การพัฒนาการส่งออก และความน่าเชื่อถือของกฎระเบียบมาตลอด

ประเทศ / สถาบัน	บทเรียนสำคัญที่ถ่ายทอดได้
เยอรมนี — PTB/1887	ความสอดคล้องเชิงสถาบันระยะยาว การเชื่อมมาตรวิทยากับยุทธศาสตร์อุตสาหกรรม ระบบรับรองที่เข้าถึงได้สำหรับ SME และการมีส่วนร่วมระดับนานาชาติที่แข็งแกร่ง
สหราชอาณาจักร — NPL/1900	การศึกษาวิจัยพบว่า NQI ที่ดีก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 2,500 ล้านปอนด์ต่อปี และเพิ่มการเจริญเติบโตด้านผลผลิตได้ถึงร้อยละ 13 รัฐบาลจึงจัดทำยุทธศาสตร์ NQI ระดับชาติและ NSSF
สหรัฐอเมริกา — NIST/1901	บูรณาการ NQI เข้ากับนโยบาย STI และอุตสาหกรรมเป้าหมายอย่างเป็นระบบ เป็นฐานของ Global Rule-Making ในหลายสาขาเทคโนโลยี
ญี่ปุ่น — NMIJ/1903	NQI เป็นกลไกหลักในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ SME และรักษาความสามารถในการแข่งขันของการส่งออก

1.2.5 NQI กับนวัตกรรมและการวิจัยและพัฒนา

นวัตกรรมต้องการ NQI อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ใน 3 มิติ ได้แก่

- (1) สมรรถนะที่วัดได้ เพื่อพิสูจน์ว่านวัตกรรมมีคุณลักษณะที่อ้างไว้จริง
- (2) ผลลัพธ์ที่เปรียบเทียบกันได้ เพื่อให้นักวิจัยและผู้ซื้อในตลาดต่างประเทศยืนยันผลได้ และ
- (3) ใบรับรองที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อนำนวัตกรรมเข้าสู่ตลาดได้จริง

อุตสาหกรรมอุบัติใหม่ที่เป็นเป้าหมายของไทย ล้วนต้องพึ่งพาความสามารถทางการวัด และบริการตรวจสอบและรับรองที่มีความเฉพาะและเป็นความสามารถระดับสูง รวมทั้งระบบ NQI แบบดิจิทัล ตัวอย่างเช่น Hydrogen ต้องการการวัดและการวิเคราะห์ที่แม่นยำสูง อุปกรณ์การแพทย์ต้องการห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองระบบงาน ระบบดิจิทัลต้องการมาตรฐานความสามารถในการทำงานร่วมกัน (Interoperability Standards) และการเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจสีเขียวต้องการการตรวจสอบและรับรองการปล่อยมลพิษที่น่าเชื่อถือ

หลักการสำคัญ: NQI เชื่อม STI กับตลาด

นวัตกรรมที่ขาดความสามารถในการวัดและการทดสอบที่เชื่อถือได้ไม่สามารถขยายผลสู่เชิงพาณิชย์ได้ ทุนวิจัยที่ลงทุนไปจะไม่สามารถสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้ หากไม่มี NQI ที่พร้อมรองรับ ดังนั้น การลงทุนใน NQI จึงเป็นการลงทุนเพื่อเพิ่มผลตอบแทนจาก R&D ทั้งระบบ

1.2.6 NQI กับ SME และการเข้าถึงตลาด

ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ซึ่งเป็นกระดูกสันหลังของเศรษฐกิจไทยมักเผชิญอุปสรรคในการเข้าถึง NQI ได้แก่ ต้นทุนการรับรองสูง การเข้าถึงห้องทดสอบที่จำกัด ความล่าช้าในกระบวนการตรวจสอบและรับรอง และความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานที่ยังน้อย อุปสรรคเหล่านี้ทำให้ SME ไม่สามารถพิสูจน์คุณภาพสินค้าและเจาะตลาดส่งออกได้อย่างเต็มศักยภาพ

ระบบ NQI ที่ออกแบบมาอย่างมียุทธศาสตร์สามารถเป็น "ตัวลดความไม่เท่าเทียม" (SME Equaliser) ได้ โดยลดอุปสรรคการปฏิบัติตามกฎระเบียบ จัดบริการทดสอบแบบ Cluster-based ให้เหมาะกับขนาดของธุรกิจ และเพิ่มความพร้อมในการส่งออก

1.2.7 NQI ในฐานะเครื่องมือการทูตเชิงเศรษฐกิจและการสร้างอิทธิพลระดับโลก

ในเวทีระหว่างประเทศ ประเทศที่มีบทบาทในการกำหนดมาตรฐาน กรอบการวัด และระบบรับรองระบบงาน คือประเทศที่กำหนดกติกาตลาดโลก นี่คือเหตุผลที่ประเทศเศรษฐกิจชั้นนำลงทุนในการมีส่วนร่วม QI ระดับนานาชาติอย่างต่อเนื่อง

ในบริบทของอาเซียน ปัจจุบันยังไม่มีประเทศใดมีกรอบ Digital QI ที่ครอบคลุม ทำให้ยังมี Window of Opportunity สำหรับไทย ประเทศอาเซียนที่สร้าง National DQI และเชื่อมกับ EU Registry ก่อนจะสามารถวางตำแหน่งตนเองเป็น Regional Hub ด้าน Conformity Assessment ซึ่งหมายถึงรายได้จากการให้บริการรับรองแก่ประเทศอื่นในภูมิภาค

มิติ	ความหมายเชิงยุทธศาสตร์สำหรับไทย
การมีส่วนร่วมในองค์กรมาตรฐานระดับสากล (ISO, IEC, OIML)	ประเทศที่เสนอและผลักดันมาตรฐานในอุตสาหกรรมที่ตนมีความเชี่ยวชาญ สามารถกำหนดเงื่อนไขที่เอื้อต่อผู้ประกอบการของตนได้
การเป็นส่วนหนึ่งของ CIPM MRA และ ILAC MRA	ใบรับรองที่ออกโดยหน่วยงานไทยได้รับการยอมรับโดยตรงในตลาดต่างประเทศ ลดการทดสอบซ้ำและต้นทุนการค้า
การพัฒนา Digital QI และ เชื่อมกับระบบสากล	เป็น Entry Point สู่ Global Digital Trade Architecture และเป็นปัจจัยชี้ขาดความสามารถในการส่งออกไปตลาด EU ภายหลัปี 2570
การสร้าง Regional Presence ใน ASEAN QI	เพิ่มอำนาจต่อรองในเวทีการค้าและเพิ่มรายได้จากบริการ Conformity Assessment ให้กับประเทศในภูมิภาค

1.2.8 ผลกระทบจาก NQI ที่ไม่เป็นระบบ

สรุปภาพรวม NQI ระบุผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทยจาก NQI ที่ยังขาดความเป็นระบบ ใน 3 ด้านหลัก ดังนี้

ด้าน	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
ปัญหาการส่งออก	สินค้าไทยถูกตีกลับจากประเทศปลายทางเนื่องจากพบการปนเปื้อน ข้อมูลบนฉลากไม่ถูกต้อง หรือไม่ผ่านกระบวนการตรวจสอบที่ได้รับการยอมรับตามข้อตกลงระหว่างประเทศ สูญเสียโอกาสในการเข้าสู่ตลาดและเสียความน่าเชื่อถือ
ปัญหาการสร้างนวัตกรรม	หากไม่มีความสามารถในการวัดหรือทดสอบเพื่อระบุและพิสูจน์สมรรถนะใหม่ของนวัตกรรม ก็ไม่สามารถนำนวัตกรรมเข้าสู่ตลาดได้ ผู้ประกอบการต้องส่งนวัตกรรมไปทดสอบในต่างประเทศ เพิ่มต้นทุนและเสียเวลา สูญเสียโอกาสการเป็นผู้นำตลาด
ปัญหาการเข้าสู่เศรษฐกิจดิจิทัลและอุตสาหกรรม 4.0	การแข่งขันในอนาคตต้องการ NQI ระดับสูง เช่น การทดสอบความปลอดภัยของข้อมูล Software Functionality Testing และการรับรองระบบกระบวนการผลิตอัตโนมัติ ประเทศที่ไม่พร้อมอาจสูญเสียความสามารถในการแข่งขันอย่างถาวร

1.3 สถานภาพและความสามารถของ NQI ของไทยในปัจจุบัน

ก่อนการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนา จำเป็นต้องเข้าใจสถานภาพปัจจุบันของ NQI ไทยอย่างตรงไปตรงมา คณะนักวิจัยสรุปสถานภาพดังนี้

ด้าน	สถานภาพปัจจุบัน
องค์กรหลัก	มีครบทุกด้าน ได้แก่ สถาบันมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐาน หน่วยรับรองระบบงาน และหน่วยทดสอบและรับรอง — ถือเป็นจุดแข็ง
การประสานทิศทาง	ขาดนโยบายและยุทธศาสตร์ NQI ระดับชาติ ทำให้แต่ละหน่วยงานพัฒนาแยกส่วนโดยไม่มีทิศทางร่วม
การลงทุน	ต่ำและกระจุกกระจาย เมื่อเทียบกับขนาดและความหลากหลายของอุตสาหกรรมไทย
หน่วยตรวจสอบและรับรอง	ความสามารถและจำนวนไม่เพียงพอ การแก้ปัญหาเป็นแบบระยะสั้น ไม่เป็นระบบ ขาดความต่อเนื่อง เช่น การใช้ห้องปฏิบัติการตามมาตรา 5
การกำกับดูแลตลาด	ขอบข่ายค่อนข้างจำกัด ทั้งด้วยความสามารถของหน่วยกำกับดูแล และความซับซ้อนของตลาดภายในประเทศที่มีขนาดใหญ่

1.4 ความไม่สอดคล้องระหว่างการพัฒนากำลังคนและนโยบายเทคโนโลยี

ปัญหาเชิงระบบที่อธิบายได้ว่าทำไมประเทศไทยจึงยังไม่มีเทคโนโลยีของตนเอง แม้จะลงทุนพัฒนากำลังคนมาหลายทศวรรษ มีดังนี้

- นโยบายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเน้นการรับเทคโนโลยีแล้วนำมาใช้และต่อยอด ไม่ใช่การสร้างเทคโนโลยีใหม่ตั้งแต่ต้น
- มีการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง แต่การพัฒนานักวิจัยหลังสำเร็จการศึกษาค่อนข้างจำกัดและไม่ต่อเนื่อง ทั้งในด้านการวิจัยและการสนับสนุนเส้นทางอาชีพ
- ความขัดแย้งเชิงระบบที่สำคัญ: นักเรียนทุนระดับสูงได้รับการฝึกฝนในต่างประเทศเพื่อการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยี แต่เมื่อกลับมาประเทศไทย นโยบายเศรษฐกิจกลับเน้นการนำเทคโนโลยีไปใช้และต่อยอด ทำให้ทักษะระดับสูงดังกล่าวไม่ได้รับการนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่

1.5 หลักการ เหตุผล และสมมติฐาน

กรอบการศึกษานี้ตั้งอยู่บนปัจจัยสำคัญ 2 ด้าน ได้แก่

- 1. บทบาทของ NQI ในระบบเศรษฐกิจโลก: NQI คือระบบที่สนับสนุนการค้าและอุตสาหกรรม การที่ประเทศไทยอยู่ในห่วงโซ่การผลิตโลกได้จำเป็นต้องมี NQI ที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ
- 2. วิสัยทัศน์ของแผนด้าน ววน. พ.ศ. 2566-2570: มุ่งพัฒนาประเทศไทยสู่การเป็นประเทศพัฒนาแล้ว ที่มีความสามารถในการแข่งขัน พึ่งพาตนเองได้ และสร้างโอกาสใหม่ได้ในอนาคต ซึ่งต้องการ NQI ที่รองรับการสร้างความรู้ใหม่และนวัตกรรม

การศึกษานี้กำหนดสมมติฐานเริ่มต้น 5 ข้อ แต่ละข้อมีนัยต่อทิศทางการพัฒนา NQI ที่แตกต่างกัน ดังนี้

สมมติฐาน	เหตุที่สำคัญต่อการวางแผน NQI: ถ้าสมมติฐานนี้เป็นจริง... / ถ้าสมมติฐานนี้เป็นเท็จ...
สมมติฐานที่ 1: รัฐไม่มีนโยบาย NQI ที่ชัดเจน	ถ้าจริง: การพัฒนา NQI แต่ละด้าน ต้องสร้าง case สำหรับตัวเอง ไม่มีนโยบายแม่บทรองรับ ข้อเสนอแนะต้องเสนอกลไกนโยบายใหม่ด้วย ถ้าเท็จ: สามารถต่อยอดจากนโยบายที่มีอยู่ได้ทันที ซึ่งจะเปลี่ยนทิศทางและลำดับความสำคัญของข้อเสนอแนะอย่างมีนัยสำคัญ
สมมติฐานที่ 2: รัฐมีเป้าหมายสร้างเทคโนโลยีของตนเอง	ถ้าจริง: ต้องพัฒนา NQI ต้นน้ำ (Pre-normative Research) ควบคู่กับ R&D ซึ่งต้องการทุน ST และบุคลากรระดับสูง ถ้าเท็จ (ซึ่งการศึกษาพบว่าเป็นกรณีนี้): ควรมุ่งเน้น NQI กลางน้ำเพื่อรองรับการผลิตและดึงดูด FDI เป็นลำดับแรก — สมมติฐานนี้จึงเป็น "ตัวชี้ทิศทาง" สำคัญที่สุดของการศึกษา
สมมติฐานที่ 3: ข้อมูลทุนวิจัยสะท้อนทิศทาง R&D ของประเทศได้	ถ้าจริง: สามารถใช้ NRIIS ระบุสาขาที่ไทยมีความเข้มข้น R&D สูง เพื่อวางแผน NQI ให้สอดคล้อง ถ้าเท็จบางส่วน (ซึ่งเป็นกรณีนี้): ต้องตีความข้อมูล NRIIS อย่างระมัดระวัง เพราะงานวิจัยส่วนใหญ่มีขอบข่ายแคบและจำเพาะ ไม่สะท้อนศักยภาพของประเทศอย่างแท้จริง
สมมติฐานที่ 4: ทรัพยากรชีวภาพเป็นจุดแข็งที่ควรต่อยอด	ถ้าจริง: ควรลงทุน NQI ต้นน้ำสำหรับ Biotechnology, Food Sciences, Agricultural Technology เป็นลำดับต้น เพราะไทยมีวัตถุดิบที่ไม่ต้องแข่งขัน นัยสำคัญ: NQI ด้านนี้มีศักยภาพสร้างรายได้เปรียบที่เลียนแบบยาก เพราะฐานวัตถุดิบไม่สามารถโยกย้ายได้

สมมติฐานที่ 5: ทำเลและความสัมพันธ์ระหว่างประเทศเอื้อต่อความเป็นผู้นำ	ถ้าจริง: มี case ที่ชัดเจนสำหรับการลงทุน NQI เพื่อวางตำแหน่งไทยเป็น Regional Hub ด้าน Conformity Assessment และ Digital QI นัยสำคัญ: Window of Opportunity นี้มีระยะเวลา ประเทศที่ลงทุนก่อนจะได้ตำแหน่งนั้นไป
--	--

บทเรียนจากกระบวนการตั้งสมมติฐาน

การตั้งสมมติฐานและตรวจสอบว่าเป็นจริงหรือเท็จก่อนวางแผน NQI เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะสมมติฐานที่ผิดนำไปสู่การลงทุนที่ผิดทิศทาง ตัวอย่างเช่น ถ้าเชื่อสมมติฐานที่ 2 ว่าไทยต้องการ NQI เพื่อสร้างเทคโนโลยีใหม่ แต่ความจริงนโยบายยังไม่พร้อม การลงทุน NQI ต้นน้ำที่ตามมาจะขาดผู้ใช้ประโยชน์

กรอบการตั้งสมมติฐานและตรวจสอบนี้สามารถนำไปใช้ซ้ำในอนาคตได้ เมื่อบริบทเปลี่ยน สมมติฐานควรได้รับการทบทวนใหม่ และข้อเสนอแนะจะเปลี่ยนตามไปด้วย

1.6 บริบทที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการดำเนินโครงการ

ในช่วงระหว่างการดำเนินโครงการ เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 4 ประการ ดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงผู้บริหารในหน่วยงาน NQI และหน่วยงานนโยบาย ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนในด้านโครงสร้างและทิศทางการพัฒนา NQI
- ภูมิรัฐศาสตร์และมาตรการภาษีตอบโต้ (Reciprocal Tariff) ของสหรัฐอเมริกา ส่งผลให้ต้นทุนการค้าระหว่างประเทศสูงขึ้นและเกิดความไม่สมดุลในการพัฒนาเทคโนโลยีระดับโลก
- การขยายตัวของ Generative AI สู่กลุ่มผู้ใช้งานใหม่ สร้างความต้องการเร่งด่วนในการพัฒนากระบวนการทดสอบและรับรองความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความลำเอียงของระบบ AI
- การเร่งกระบวนการ Digital Transformation ของภาคเอกชน และการออกกฎระเบียบใหม่ เช่น EU Regulation 2024/1781 ที่กำหนดให้สินค้าบางประเภทต้องมีข้อมูลคุณภาพดิจิทัลที่สืบค้นได้

1.7 กระบวนการศึกษา

เนื่องจากคาดว่าจะไม่มีการศึกษาต่อในระยะที่ 2 และ 3 คณะนักวิจัยจึงปรับกระบวนการศึกษาให้ครอบคลุมผลผลิตที่ควรได้จากการศึกษาทั้ง 3 ระยะ โดยดำเนินการใน 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลเชิงนโยบายและแนวโน้มเทคโนโลยีอนาคต
2. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปข้อค้นพบเบื้องต้น ควบคู่กับการรวบรวมข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ผ่านการหารือแบบไม่เป็นทางการ
3. คัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพโดยใช้เกณฑ์ 2 ชุด ได้แก่ เกณฑ์ชุดแรก: ความพร้อมเข้าสู่ตลาด (Near-term Relevance) นโยบายรัฐบาล แนวโน้มมูลค่าตลาดโลก และความเข้มข้นของ R&D ในประเทศ และเกณฑ์ชุดสอง: ความหลากหลายในการประยุกต์ใช้ข้ามอุตสาหกรรม
4. สรุปและสังเคราะห์ข้อเสนอแนะ

ข้อสังเกตเกี่ยวกับทุน ST และข้อจำกัดของข้อมูล R&D

เป้าหมายของทุน ST เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี ทำให้ยังไม่สามารถประเมินได้ชัดเจนว่า "ภูมิทัศน์เทคโนโลยีที่ สกสว. คาดหวัง" มีลักษณะอย่างไร ซึ่งส่งผลให้การวางแผน NQI ตีความยังขาดทิศทางที่แน่ชัด

ข้อมูล R&D จากฐานข้อมูล NRIIS ไม่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ที่มีน้ำหนักในการวิเคราะห์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่มีลักษณะจำเพาะและขอบข่ายแคบ จึงยากที่จะสะท้อนจุดแข็งที่แท้จริงของประเทศ เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น เช่น ความพร้อมของเทคโนโลยีและมูลค่าตลาด

ช่องว่างที่พบ: ภาคอุตสาหกรรมไม่ได้แจ้งความต้องการ NQI ให้หน่วยงานนโยบายทราบอย่างเป็นระบบ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะอยู่ภายใต้แรงกดดันทางธุรกิจที่สูง การสื่อสารสองทางระหว่างภาคอุตสาหกรรมกับหน่วยงาน NQI และหน่วยงานนโยบายจึงเป็นกลไกที่จำเป็นต้องพัฒนา

บทที่ 2 การศึกษาเชิงนโยบาย

ก่อนที่จะพัฒนา NQI คำถามที่ควรตอบให้ได้ก่อนคือ "NQI ที่จะสร้างขึ้นนั้นจะต้องรองรับอะไร" เพราะ NQI มีคุณค่าก็ต่อเมื่อมันรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม หรือรองรับการนำเทคโนโลยีไปสู่การใช้ประโยชน์ในระบบเศรษฐกิจได้จริง ดังนั้น การศึกษาเชิงนโยบายในบทนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบคำถามพื้นฐาน 3 ข้อก่อน

1. ประเทศไทยต้องการสร้าง หรือใช้เทคโนโลยี? — เพราะ NQI ที่รองรับสองบทบาทนี้ต่างกันอย่างไรสำคัญ
2. เทคโนโลยีที่รัฐบาลส่งเสริมอยู่คืออะไร และมีโอกาสเติบโตในตลาดโลกอย่างไร? — เพราะการลงทุน NQI ต้องสอดคล้องกับทิศทางที่มีอุปสงค์จริง
3. ประเทศไทยมีความเข้มข้นของ R&D ในสาขาใดบ้างอยู่แล้ว? — เพราะ NQI ที่ต่อยอดจากฐานที่มีอยู่ย่อมมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด

คำตอบของทั้งสามคำถามนี้จะกำหนดว่า NQI ที่ควรลงทุนมีลักษณะอย่างไร ระดับใด และใช้แหล่งทุนใด การศึกษาในบทนี้ครอบคลุม 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การทบทวนแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1–13 การวิเคราะห์แนวโน้มการลงทุนในไทย และการศึกษา Technology Trends จากแหล่งระดับสากล

2.1 ข้อค้นพบจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1–13

การศึกษาเชิงนโยบายเริ่มต้นด้วยความคาดหวังว่าจะรวบรวมเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในประเทศและมีจุดแข็งที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตาม คณะนักวิจัยพบว่าไม่สามารถระบุอย่างชัดเจนได้ว่าประเทศไทยมีเทคโนโลยีใดเป็นของตนเอง ถึงแม้ว่าจะมีการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลาย แต่เทคโนโลยีเหล่านั้นล้วนได้รับการพัฒนาและนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น แม้จะมีการลงทุนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องมากกว่า 60 ปี ข้อค้นพบนี้นำไปสู่คำถามสำคัญ: จากการลงทุนเชิงระบบทั้งหมดที่เกิดขึ้น ทำไมประเทศไทยจึงยังไม่มีเทคโนโลยีที่เป็นของตนเอง?

เพื่อตอบคำถามดังกล่าว คณะนักวิจัยจึงทำการทบทวนเส้นทางการพัฒนาอุตสาหกรรมในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติทั้ง 13 ฉบับ โดยมุ่งเน้นการดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ "การพัฒนาอุตสาหกรรม" "การพัฒนาเศรษฐกิจ" และ "การพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี" เพื่อระบุว่านโยบายของรัฐที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีมีลักษณะอย่างไรตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ช่วงแผนพัฒนาฯ	ลักษณะสำคัญด้าน NQI และเทคโนโลยี
ฉบับที่ 1–2 (พ.ศ. 2504–2514)	เริ่มวางระบบมาตรฐานและการทดสอบสินค้าส่งออก เน้นอุตสาหกรรมทดแทนการนำเข้าโดยใช้วัตถุดิบในประเทศ เช่น เคมี โลหะ ปูนซีเมนต์ น้ำตาล ผ้า — มุ่งเน้นการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้า ยังไม่มีเป้าหมายสร้างเทคโนโลยีของตนเอง
ฉบับที่ 3–4 (พ.ศ. 2515–2524)	ส่งเสริมอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก กำหนดมาตรฐานสินค้าส่งออก เช่น เสื้อผ้า อิเล็กทรอนิกส์ เพอร์นิเจอร์ — ยังคงเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้
ฉบับที่ 5–6 (พ.ศ. 2525–2534)	จัดตั้งสภาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เริ่มส่งเสริมการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ กำหนดแผนงานด้าน วท. 4 แผนงาน — แผนงานเน้น "เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต" ไม่ใช่ "สร้างเทคโนโลยีใหม่"
ฉบับที่ 7–9 (พ.ศ. 2535–2549)	กำหนดอุตสาหกรรมเป้าหมาย 6 สาขา ส่งเสริม R&D เพิ่มงบวิจัย พ้นตัวจากวิกฤตเศรษฐกิจปี 2540 — เพิ่มความสนใจการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากบริษัทข้ามชาติ แต่ยังไม่มีความพยายามสร้างเทคโนโลยีใหม่
ฉบับที่ 10–11 (พ.ศ. 2550–2559)	ต่อยอดห่วงโซ่มูลค่า สร้างอุตสาหกรรมใหม่ที่มีศักยภาพสูง เน้น Green Industry และ BCG Economy เป็นครั้งแรก — ปรากฏคำว่า "สร้างนวัตกรรม" แต่ยังเน้น "นำมาใช้" มากกว่า "สร้างใหม่"
ฉบับที่ 12–13 (พ.ศ. 2560–2570)	Thailand 4.0 ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม EV, Smart Electronics, BCG — มีการกล่าวถึงการสร้างนวัตกรรมมากขึ้น แต่อุตสาหกรรมเป้าหมายส่วนใหญ่ยังเป็นการนำเทคโนโลยีจากต่างชาติเข้ามาสร้างมูลค่า

บทสรุปสำคัญ 3 ประการจากการทบทวน

- รัฐเห็นความสำคัญของคุณภาพและมาตรฐานมาตั้งแต่แผนฉบับแรก และกำหนดให้เป็นเป้าหมายในทุกฉบับ — บ่งชี้ว่า NQI ไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่ยังขาดนโยบาย NQI ที่ชัดเจนในเชิงบูรณาการ
- รัฐสนับสนุนการ "นำเทคโนโลยีมาใช้ ปรับปรุง หรือต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลิตภาพ" อย่างชัดเจนตั้งแต่แผนฉบับที่ 6 แต่ไม่เคยกำหนดให้การ "สร้างเทคโนโลยีของตนเอง" เป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยและพัฒนาในแผนฉบับใดเลย
- ประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเองอย่างเป็นระบบ แม้จะลงทุนต่อเนื่องมากกว่า 6 ทศวรรษ — ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับลักษณะของนโยบายที่เน้นการนำมาใช้ ไม่ใช่การสร้าง

2.2 การส่งเสริมการลงทุนและความต้องการ NQI

ข้อมูลการขอรับการส่งเสริมการลงทุนใน 5 อุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ช่วงปี 2565–2567 แสดงให้เห็นว่า มีการขอรับการส่งเสริมการลงทุนมากกว่า 3,700 โครงการ มูลค่ารวมกว่า 13 ล้านล้านบาท โดยกลุ่มที่ได้รับการลงทุนสูงสุด ได้แก่ Semiconductor & Advanced Electronics (42%) และ Bio-based & Green Industries (34%)

ข้อมูลนี้สะท้อนให้เห็นถึงทิศทางของโลกในปัจจุบันและมุมมองของตลาดโลกที่มองมายังประเทศไทย รวมถึงชี้ให้เห็นว่าไทยยังไม่มีเทคโนโลยีที่เป็นของตนเอง ดังนั้น หากต้องการเตรียมความพร้อมสำหรับการพัฒนา NQI ในกลุ่มที่เกี่ยวข้อง ควรให้ความสำคัญกับการรองรับบริษัทข้ามชาติที่กำลังจะเข้ามาลงทุนในประเทศไทย เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันในระดับสากล

กรณีศึกษา: ความพร้อมของ NQI รองรับผู้ประกอบการ EV Battery

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) ได้รับการประสานงานจากผู้ประกอบการด้าน Semiconductor & Advanced Electronics และ EV & Battery & Key Parts รายหนึ่งที่รับการส่งเสริมการลงทุน เพื่อขอหารือเกี่ยวกับการสอบเทียบในประเทศไทย จากการหารือและการศึกษาคำขอใช้บริการ NQI ของบริษัทดังกล่าว มีข้อสรุปเบื้องต้นดังนี้

ประเด็น	รายละเอียดและนัยสำคัญ
ความคาดหวังของผู้ลงทุน	ผู้ประกอบการต่างชาติที่เข้ามาลงทุนก่อตั้งโรงงานในประเทศไทยคาดหวังที่จะสามารถเข้าถึงบริการ NQI ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับที่ได้รับในประเทศต้นทาง โดยให้ความสำคัญอย่างยิ่งว่าบริการ NQI เหล่านั้นต้องได้รับการรับรองระบบงานตามมาตรฐานระหว่างประเทศหรือมาตรฐานของกลุ่มลูกค้าทุกราย
ขนาดความต้องการที่เกิดขึ้นจริง	ผู้ประกอบการจากจีนซึ่งกำลังก่อสร้างโรงงานผลิตแบตเตอรี่ในไทย นำเข้าเครื่องมือมากกว่า 3,000 รายการ (แต่ละรายการอาจมีจำนวนมากกว่าหนึ่งชิ้น) ซึ่งไม่มีห้องปฏิบัติการเอกชนใดในไทยสามารถให้บริการสอบเทียบได้ทั้งหมดและพร้อมกัน
ข้อจำกัดของ มว.	แม้แต่มว. เองก็ไม่เคยให้บริการสอบเทียบในปริมาณและความหลากหลายระดับนี้มาก่อน จึงประเมินว่าต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 6 เดือนในการให้บริการทั้งหมด ซึ่งผู้ประกอบการไม่สามารถรอได้ เนื่องจากมีกำหนดเปิดโรงงาน

บทเรียนและข้อเสนอแนะ	กรณีนี้ชี้ให้เห็นความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนากลไก NQI Consortium ระหว่างห้องปฏิบัติการภาครัฐและเอกชน เพื่อให้สามารถระดมบริการ NQI ได้อย่างรวดเร็วในช่วง ramp-up ของอุตสาหกรรมใหม่ — หากไม่มีกลไกนี้ ไทยจะสูญเสียความน่าเชื่อถือในฐานะฐานการผลิตอุตสาหกรรมขั้นสูง
----------------------	--

2.3 การศึกษา Technology Trends

คณะนักวิจัยทบทวนรายงานแนวโน้มเทคโนโลยีจาก 4 แหล่งหลัก โดยทบทวนย้อนหลัง 5 ปี เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและการเกิดขึ้นของเทคโนโลยีใหม่ รวมถึงตรวจสอบว่าเทคโนโลยีใดที่ปรากฏอย่างต่อเนื่องในทุกรายงาน ซึ่งบ่งชี้ถึงความมีนัยสำคัญระยะยาว

แหล่งข้อมูล Technology Trends	ฉบับที่ศึกษาและลักษณะการวิเคราะห์
Future Today Institute Tech Trends Report	ฉบับ ค.ศ. 2019, 2020, 2023 และ 2024 — ครอบคลุมเทคโนโลยีกลุ่มใหญ่ 23 สาขา ได้แก่ AI/GenAI, Biotechnologies, Health Technologies, Quantum, Energy, Agricultural Technologies และอื่นๆ โดยแต่ละกลุ่มมีเทคโนโลยีย่อยหลายรายการที่วิเคราะห์ความพร้อมเข้าสู่ตลาด (Near-term Relevance)
World Economic Forum Top 10 Emerging Technologies	ฉบับ ค.ศ. 2020, 2021, 2023 และ 2024 — เน้นเทคโนโลยีที่มีผลกระทบต่อสังคมในวงกว้าง เช่น AI for scientific discovery, Carbon-capturing microbes, Genomics for transplants, Flexible batteries
McKinsey Technology Trends Outlook	ฉบับ ค.ศ. 2022, 2023 และ 2024 — วิเคราะห์เชิงธุรกิจและมูลค่าตลาด เหมาะสำหรับการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์
รายงานสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA)	ฉบับ พ.ศ. 2565 — ครอบคลุม 50 เทคโนโลยีใน 6 กลุ่มที่สอดคล้องกับบริบทไทย

ข้อสังเกตสำคัญจากการทบทวนทุกแหล่ง: การระบาดของ COVID-19 เป็นตัวเร่งสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยีดิจิทัลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเร็วกว่าที่คาด ในขณะเดียวกัน เทคโนโลยีบางกลุ่มเช่น Quantum Technology ปรากฏในรายงานเกือบทุกฉบับอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี แต่ยังคงอยู่ในช่วงวิจัยต้นแบบ และยังไม่ได้รับการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์

เกณฑ์การคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ

การคัดเลือกเทคโนโลยีเพื่อจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนา NQI ใช้เกณฑ์ 3 มิติ ดังนี้

มิติ	เหตุผลและวิธีการประเมิน
ความพร้อมเข้าสู่ตลาด (Near-term Relevance)	คัดเลือกเฉพาะเทคโนโลยีที่อยู่ใน 2 ระดับแรกของ Near-term Relevance ตามกรอบของ Future Today Institute เนื่องจากการพัฒนา NQI ต้องดำเนินการล่วงหน้าหรือควบคู่กับการพัฒนาอุตสาหกรรม ไม่สามารถรอให้อุตสาหกรรมพร้อมแล้วค่อยพัฒนา NQI ตามได้
นโยบายรัฐบาลและการส่งเสริมการลงทุน	จัดกลุ่มเทคโนโลยีตามอุตสาหกรรมเป้าหมายในยุทธศาสตร์ชาติ แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 13 และแผน ววน. พ.ศ. 2566–2570 รวมถึงข้อมูลการขอรับการส่งเสริมการลงทุน BOI เพื่อให้มั่นใจว่า NQI ที่พัฒนาขึ้นจะสอดคล้องกับทิศทางที่รัฐกำลังผลักดัน
แนวโน้มมูลค่าตลาดโลกและ R&D ในประเทศ	ทบทวนมูลค่าตลาดโลกจากรายงานวิจัยตลาด (Market Research Reports) และสืบค้นโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในฐานข้อมูล NRIS (National Research and Innovation Information System) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564–2566 เพื่อประเมินความเข้มข้นของการวิจัยในแต่ละสาขาในประเทศไทย

2.4 ข้อเสนอแนะเบื้องต้นจากการวิเคราะห์นโยบาย

ผลจากการศึกษาเชิงนโยบายนำไปสู่การค้นพบหลักที่สำคัญว่า ไม่สามารถระบุอย่างชัดเจนได้ว่าประเทศไทยมีเทคโนโลยีใดเป็นของตนเอง แม้ว่าจะมีการใช้เทคโนโลยีหลากหลายในประเทศ แต่เทคโนโลยีเหล่านั้นล้วนได้รับการพัฒนาและนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น ซึ่งข้อค้นพบนี้นำไปสู่การกำหนด 2 แนวทางการพัฒนา NQI ดังนี้

แนวทางที่ 1 — ยังคงนโยบายเดิม (นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มผลิตภาพ): เน้นการพัฒนา NQI กลางน้ำและปลายน้ำ เพื่อบริการส่งเสริมการลงทุนและการส่งออก โดยกำหนดเทคโนโลยีที่สนใจเป็นพิเศษเพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีในอนาคต ทั้งนี้ การพัฒนา NQI ต้องดำเนินการโดยประสานแผนงานกับกระทรวงอุตสาหกรรมเป็นหลัก เพื่อให้บริการ NQI สามารถสนับสนุนการลงทุนและการพัฒนาอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม ทันเวลา และมีประสิทธิภาพ

แนวทางที่ 2 — เปลี่ยนทิศทางการสร้างเทคโนโลยีของตนเอง: ต้องปรับแผนพัฒนาฉบับต่อไปให้มีเป้าหมายที่ชัดเจนว่าจะพัฒนาเทคโนโลยีใด และพัฒนา NQI ต้นน้ำ (pre-normative research) ควบคู่กับการพัฒนาเทคโนโลยีเป้าหมาย โดยแนวทางนี้ต้องการการตัดสินใจเชิงนโยบายระดับชาติที่ชัดเจนก่อน

บทที่ 3 ตัวอย่างการคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมเป้าหมาย

ในบทที่ 2 ได้ตรวจสอบว่าทิศทางนโยบายและการลงทุนของประเทศไทยชี้ไปในทิศทางใด บทนี้ต้องการตอบคำถามที่ต่อเนื่องกันว่า "ในแต่ละอุตสาหกรรมเป้าหมาย มีเทคโนโลยีใดที่น่าสนใจ และ R&D ของไทยอยู่ที่ไหนในเส้นทางนั้น" เหตุที่ต้องดูทั้งสองสิ่งนี้พร้อมกันมีเหตุผลชัดเจน: หากจะพัฒนา NQI เพื่อรองรับเทคโนโลยีใด แต่ R&D ในประเทศยังอยู่ในระดับเบื้องต้นมาก NQI ที่ควรลงทุนก่อนคือ NQI ต้นน้ำ ไม่ใช่ NQI กลางน้ำหรือปลายน้ำ ซึ่งจะใช้แหล่งทุนที่ต่างกัน ในทางกลับกัน หากมีอุตสาหกรรมที่ R&D แข็งแกร่งและตลาดพร้อมแล้ว NQI กลางน้ำที่รองรับการนำสินค้าเข้าสู่ตลาดคือสิ่งที่เร่งด่วนที่สุด

กระบวนการคัดเลือกเทคโนโลยีในบทนี้ใช้เกณฑ์ 3 มิติ ได้แก่ มูลค่าตลาดโลก (แบ่งขึ้นขนาดโอกาส) ความพร้อมเข้าสู่ตลาด (แบ่งขึ้นระยะเวลาที่ NQI ต้องพร้อม) และสถานะ R&D ในประเทศจากฐานข้อมูล NRIIS (แบ่งขึ้นว่าต้องการ NQI ระดับใด) ผู้อ่านสามารถนำกระบวนการนี้ไปใช้กับเทคโนโลยีอื่นได้เองในอนาคต

3.1 อุตสาหกรรมเกษตร

CRISPR-Cas9 และ Genomics

รายละเอียด	ข้อมูล
มูลค่าตลาดโลก (2029)	~9.76 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (CAGR 25.3% ตั้งแต่ 2022)
การประยุกต์ใช้หลัก	ปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานโรค เร่งผลผลิต ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ
สถานะใน R&D ไทย	อยู่ในช่วงเริ่มต้น มีการวิจัยในพืชและข้าว แต่ยังไม่ได้รับอนุมัติเชิงพาณิชย์
NQI ที่จำเป็น	วิธีการทดสอบ GMO มาตรฐานการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพ ห้องปฏิบัติการ BSL-2

ตัวอย่างโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในไทย (NRIIS พ.ศ. 2564–2566)

ชื่อโครงการวิจัย	การวิเคราะห์: สะท้อนลักษณะใด
โครงการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพและนวัตกรรม การผลิตพืชปลอดภัย	ขอบข่ายกว้างแต่ไม่เจาะจงว่าจะพัฒนาเทคโนโลยีใด ไม่มีเป้าหมายเฉพาะที่วัดได้
การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ต้านทานโรคไหม้โดย เทคโนโลยีแก้ไขจีโนม	มุ่งแก้ปัญหาเฉพาะโรคพืชชนิดหนึ่ง ไม่ได้มุ่งสร้างแพลตฟอร์มเทคโนโลยี CRISPR ที่ใช้ได้กว้างขวาง

การตรวจสอบพืชตัดแปรพันธุกรรม (GMOs) ในวัตถุดิบอาหารสำเร็จรูปสำหรับสัตว์น้ำ	เป็นงานวิจัยด้านการตรวจสอบ (downstream) ไม่ใช่การสร้างเทคโนโลยี GMO — สะท้อนว่า R&D ไทยส่วนใหญ่อยู่ที่การประยุกต์ใช้ ไม่ใช่การสร้าง
การปรับปรุงพันธุ์มันเทศเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางอาหารสูง	เฉพาะพืชชนิดเดียว ผลลัพธ์จำกัดอยู่ที่พันธุ์พืชหนึ่งชนิด ไม่ก่อให้เกิดองค์ความรู้ที่นำไปประยุกต์ข้ามสาขาได้

3.2 อุตสาหกรรมอาหาร

Synthetic Biology และ Precision Fermentation

รายละเอียด	ข้อมูล
มูลค่าตลาดโลก (2029)	~16.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (CAGR 17% ตั้งแต่ 2020)
การประยุกต์ใช้หลัก	ผลิตโปรตีนทางเลือก, สารแต่งรส, เอนไซม์ และ Probiotics จากจุลินทรีย์
ตัวอย่างในไทย	บริษัท MUU ผลิตนมสังเคราะห์ปราศจากสารก่อภูมิแพ้โดยใช้ Precision Fermentation
NQI ที่จำเป็น	วิธีวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารชีวผลิต การรับรอง Novel Food และ Functional Food

ตัวอย่างโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในไทย (NRIIS พ.ศ. 2564–2566)

ชื่อโครงการวิจัย	การวิเคราะห์: สะท้อนลักษณะใด
การพัฒนา Lactobacillus reuteri KUB-AC5 สายพันธุ์ใหม่ด้วยชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับการผลิต Probiotics	มุ่งที่สายพันธุ์จุลินทรีย์หนึ่งสายพันธุ์เพื่อใช้ผลิตภัณฑ์เดียว ขาดการมองภาพรวมว่าจะพัฒนาแพลตฟอร์ม Precision Fermentation ของไทย
การคัดแยกและศึกษาลักษณะของเซลล์ต้นกำเนิดของตัวอ่อนของไก่กระดูกดำ: พื้นฐานการวิจัยเพื่อพัฒนาเนื้อไก่ที่เพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการ	เป็นงานวิจัยพื้นฐานที่ยังอยู่ขั้นแรก ไม่มีแผนการพัฒนาต่อที่ชัดเจนจนถึงผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์

การพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมชนิดความชื้นสูงจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันเพื่อพัฒนาโครงสร้างเส้นใยและลักษณะเนื้อสัมผัส	มุ่งปรับปรุงเนื้อสัมผัสเท่านั้น — เป็นงานปรับปรุงเทคนิคแทนที่จะสร้างเทคโนโลยีใหม่
การผลิตเนื้อเทียมแห้งไร้สารก่อภูมิแพ้ทางการค้า	ผลิตภัณฑ์เดียว ขอบข่ายแคบ ไม่มีองค์ประกอบของการสร้างแพลตฟอร์มที่ขยายได้

3.3 อุตสาหกรรมสุขภาพและการแพทย์

Gene Editing, Bioprinting และ AI in Biology

เทคโนโลยี	มูลค่าตลาดโลกและการประยุกต์
Gene Editing & CRISPR	25 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2032 (CAGR 24.8%) — รักษาโรคมะเร็ง โรคทางพันธุกรรม
Genome Sequencing (NGS)	115 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2033 (CAGR 22.2%) — วิเคราะห์โรคเฉพาะบุคคล
3D Bioprinting & Tissue Engineering	64 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2033 (CAGR 14.4%) — ปลุกถ่ายอวัยวะ วัสดุทางการแพทย์
Generative AI in Biology	502 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2034 (CAGR 17.3%) — ค้นพบยาใหม่ ออกแบบสารประกอบ

ตัวอย่างโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในไทย (NRIIS พ.ศ. 2564–2566)

ชื่อโครงการวิจัย	การวิเคราะห์: สะท้อนลักษณะใด
การพัฒนาการรักษาแนวทางใหม่สำหรับโรคโลหิตจางเบต้าธาลัสซีเมียโดยการเลียนแบบการกลายพันธุ์ชนิด HPFH ด้วยเทคโนโลยี CRISPR/Cas9	มุ่งที่โรคเดียว เป็นงานวิจัยทางคลินิกขั้นต้น — แม้มีคุณค่าทางวิชาการ แต่ขาดแผนการขยายผลเป็นแพลตฟอร์ม Gene Therapy
การพัฒนาโครงร่างปลุกถ่ายกระดูกสังเคราะห์ชนิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยการเคลือบด้วยสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	เจาะจงที่วัสดุเดียว (hydroxyapatite) กระดูกชนิดเดียว — ไม่มีองค์ประกอบที่จะพัฒนาเป็นแพลตฟอร์ม Bioprinting ที่ใช้ได้กว้างขวาง

การพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติของเนื้อเยื่อปอดเพื่อศึกษากลไกการติดเชื้ออุบัติใหม่โดยใช้เชื้อโคโรนาไวรัส 2019 เป็นต้นแบบ	เป็น Organoid สำหรับโรคเฉพาะ เกิดขึ้นเพราะ COVID-19 — งาน opportunistic ที่ขาดแผนระยะยาวสำหรับพัฒนาศักยภาพ Biocomputing
การวิจัยและพัฒนาระบบแปลผลยีนกลัสซ์พันธุศาสตร์จากข้อมูล whole genome sequencing	เป็นงานประยุกต์ NGS สู่การแพทย์เฉพาะบุคคล มีศักยภาพ แต่เป็นโครงการเดี่ยวที่ยังไม่มีการผูกโยงกับ Ecosystem ห้องปฏิบัติการและมาตรฐานที่จำเป็น

3.4 อุตสาหกรรมหุ่นยนต์และการขับเคลื่อนอัตโนมัติ

เทคโนโลยีสำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ Exoskeleton for Rehabilitation (มูลค่าตลาด ~1,863 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2033), Human-Machine Interfaces (7.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2028) และ Drone Systems (1,098 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2030)

ตัวอย่างโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในไทย (NRIIS พ.ศ. 2564–2566)

ชื่อโครงการวิจัย	การวิเคราะห์: สะท้อนลักษณะใด
หุ่นยนต์สวมใส่บนร่างกายแบบใช้พลังงานต่ำ ฝึกลำบากการขับเคลื่อนด้วยล้อเพื่อช่วยเหลือการเดินของมนุษย์	เน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างประเทศ ยังไม่มีเป้าหมายพัฒนา Core Technology Exoskeleton เป็นของไทย
การใช้เทคโนโลยีการสำรวจพื้นที่การแพร่กระจายดินเค็มจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ (UAV)	เป็นการประยุกต์ Drone ที่มีอยู่แล้วสำหรับงานสำรวจเฉพาะ ไม่ได้พัฒนา Drone Technology — สะท้อนว่าไทยเป็น Technology User ไม่ใช่ Creator
ระบบตรวจจับและรบกวนการทำงานของอากาศยานไร้คนขับที่มีการรวมศูนย์กลางในการเฝ้าระวังความปลอดภัย	งาน Niche สำหรับความมั่นคง — มีคุณค่าแต่ไม่ก่อให้เกิดอุตสาหกรรม Drone ของไทย
การแปลผลสัญญาณสมอง กล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหวระหว่างการทำจิตภาพ	งานวิจัยพื้นฐานด้าน Brain-Computer Interface — มีศักยภาพ แต่ยังห่างไกลจากการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมในประเทศ

3.5 อุตสาหกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีหลักในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Perovskite Solar Cells (CAGR 48.6% ตั้งแต่ 2023), Biofuels (มูลค่า 140 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2020) และ Biomaterials (355 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2023) ซึ่งประเทศไทยมีข้อได้เปรียบด้านวัตถุดิบอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ

ตัวอย่างโครงการวิจัยที่ได้รับทุนในไทย (NRIIS พ.ศ. 2564–2566)

ชื่อโครงการวิจัย	การวิเคราะห์: สะท้อนลักษณะใด
การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ โดยการใช้ควอนตัมดอทของทินออกไซด์และ นิกเกิลออกไซด์	มุ่งปรับปรุงวัสดุ Layer เดียว ไม่ได้มุ่งสร้างแพลตฟอร์ม Perovskite Solar Cell ของไทยที่จะแข่งขันในตลาดได้
การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกต์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์จากแกนสาบเสือ	ใช้วัตถุดิบพืชในไทย (สาบเสือ) — เป็นจุดแข็ง แต่ยังเป็น งานทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ยังขาดแผนสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์
การพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อการผลิต พลังงาน เชื้อเพลิงชีวภาพและสารชีวผลิตภัณฑ์	กว้างแต่กระจายกระจาย ครอบคลุมหลายผลิตภัณฑ์โดย ไม่มีโฟกัส — ไม่นำไปสู่ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่ แข็งแกร่ง
การพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มของ อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและพลังงานชีวภาพ	ต่อยอดอุตสาหกรรมที่มีอยู่ (ปาล์มน้ำมัน) — สะท้อนว่า งาน R&D ส่วนใหญ่เกาะตามอุตสาหกรรมเดิม ไม่ได้สร้าง อุตสาหกรรมพลังงานใหม่

3.6 สรุปภาพรวมลักษณะงานวิจัยไทยในเทคโนโลยีเป้าหมาย

เมื่อพิจารณาตัวอย่างโครงการวิจัยข้างต้นในแต่ละอุตสาหกรรม พบรูปแบบที่สอดคล้องกันอย่าง มีนัยสำคัญดังสรุปในตารางต่อไปนี้

อุตสาหกรรม	ลักษณะหลัก	ระดับ (Basic / Applied / Translational)	ช่องว่างสำคัญที่พบ
เกษตร	เฉพาะพืช / โรค	Applied	ไม่มีโครงการสร้างแพลตฟอร์ม CRISPR หรือ Genomics ระดับชาติ — ขาดการเชื่อมโยงกับ NQI สำหรับ Biosafety Testing

อาหาร	ผลิตภัณฑ์เดียว	Applied / Basic	ขาดโครงการพัฒนา Food Ingredient Platform ที่จะลดการนำเข้า — ไม่มีการวิจัยระบบการผลิตหรือเครื่องจักรอาหาร
การแพทย์	โรคเฉพาะ / วัสดุเฉพาะ	Basic / Applied	มีความลึกทางวิชาการแต่ขาดเส้นทางสู่การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม — ไม่มีแผน NQI รองรับที่ชัดเจน
หุ่นยนต์/ อัตโนมัติ	การประยุกต์ใช้	Applied	เป็น Technology User เป็นหลัก — ไม่มีโครงการพัฒนา Core Robotics Technology ของไทย
พลังงาน	ต่อยอด อุตสาหกรรมเดิม	Applied	วนเวียนอยู่กับฟิชและวัตถุดิบที่มีอยู่ — ขาดการลงทุน R&D ใน Next-generation Energy Technology

ข้อสังเกตสำคัญจากการวิเคราะห์แนวโน้มการวิจัยในไทย

ตัวอย่างโครงการข้างต้นชี้ให้เห็นรูปแบบที่สม่ำเสมอ: งานวิจัยมุ่งแก้ปัญหาเฉพาะหน้าทางวิชาการ ไม่ได้มุ่งสร้างแพลตฟอร์มเทคโนโลยีที่ขยายผลและสร้างอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ ยังขาดโครงการขนาดใหญ่ที่ดำเนินงานโดยองค์กรขนาดใหญ่ซึ่งมีเป้าหมายพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออุตสาหกรรมอย่างจริงจัง

ข้อสรุป: หากยังไม่มีนโยบายชัดเจนในการส่งเสริมการสร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมจาก R&D ในประเทศ การพัฒนา NQI ควรมุ่งเน้นเป็นปัจจัยดึงดูดการลงทุนจากบริษัทข้ามชาติ ควบคู่กับการประสานแผนงานกับกระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อให้บริการ NQI ที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนการลงทุนและการพัฒนาอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม ทันเวลา และมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ในบทที่ 3 ข้างต้นแสดงให้เห็นว่างานวิจัยของไทยมีลักษณะจำเพาะและขาดการมองภาพรวมในระดับแพลตฟอร์มเทคโนโลยี ข้อค้นพบนี้นำไปสู่คำถามสำคัญในบทที่ 4 ว่า หากไทยไม่ได้สร้างเทคโนโลยีขึ้นเอง NQI ที่ต้องพัฒนาควรมีลักษณะอย่างไร และควรรองรับเทคโนโลยีกลุ่มใดเป็นลำดับแรก เพื่อให้สอดคล้องกับทั้งทิศทางการลงทุนจากต่างประเทศและศักยภาพที่แท้จริงของประเทศ

บทที่ 4 การศึกษาเชิงเทคโนโลยี

บทนี้เป็นแกนของรายงาน เพราะนำเสนอกระบวนการคิดและวิเคราะห์ที่เป็นเครื่องมือหลักของการศึกษานี้ หากบทที่ 2 ตอบว่า "นโยบายชี้ทิศทางใด" และบทที่ 3 ตอบว่า "R&D ของไทยอยู่ที่ไหน" บทนี้จะตอบคำถามที่ควรถามก่อนการออกแบบ NQI คือ "ประเทศไทยควรมีความสัมพันธ์กับเทคโนโลยีแต่ละตัวอย่างไร หรือในฐานะอะไร" — เพราะ NQI ที่รองรับ "การสร้างเทคโนโลยีเอง" กับ NQI ที่รองรับ "การนำเทคโนโลยีมาใช้" นั้นแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ทั้งในด้านลักษณะงาน ระดับความเชี่ยวชาญที่จำเป็น และแหล่งทุนที่เหมาะสม

เนื้อหาของบทนี้ครอบคลุม 4 ส่วน ซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นลำดับ ดังนี้ (1) แนวคิด Feature-based Technology Analysis ซึ่งเป็นกรอบการคิดที่ใช้ตลอดทั้งบท (2) รายการเทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจซึ่งได้จากการวิเคราะห์แบบ Feature-based Technology Analysis (3) การสำรวจสถานะอุตสาหกรรมปัจจุบันเพื่อระบุว่าต้องการ NQI ประเภทใดเร่งด่วนที่สุด และ (4) ข้อท้าทายของ NQI ในยุคที่เทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงเร็ว รวมถึง Digital NQI

4.1 แนวคิดในการวิเคราะห์เทคโนโลยีเป้าหมาย

ก่อนที่จะอธิบายวิธีวิเคราะห์ จำเป็นต้องทำความเข้าใจ "ปัญหา" ที่การวิเคราะห์นี้ต้องการแก้ก่อน ปัญหาคือ: หากถามว่า "ประเทศไทยควรพัฒนา NQI ด้านใด" คำตอบขึ้นอยู่กับว่าถามอะไรก่อน ถ้าถามว่า "ไทยมีอุตสาหกรรมอะไร" คำตอบก็ชัดเจน แต่ถ้าถามว่า "อุตสาหกรรมที่มีอยู่ต้องการ NQI แบบไหน" คำตอบไม่ชัดเจน เพราะ NQI ที่ "รักษาสถานะปัจจุบัน" กับ NQI ที่ "รองรับการเปลี่ยนผ่านสู่เทคโนโลยีใหม่" นั้นต่างกันอย่างสิ้นเชิง

กรอบ Feature-based Technology Analysis แก่ปัญหานี้โดยเริ่มจากจุดที่ถูกต้องที่สุด ซึ่งไม่ใช่ "เทคโนโลยีที่มีอยู่" แต่คือ "คุณลักษณะที่ตลาดต้องการในอนาคต" การเริ่มจากจุดนี้ทำให้สามารถระบุได้ว่า NQI ที่จำเป็นคืออะไร — ไม่ใช่ NQI ที่ "มีอยู่แล้ว" หรือ NQI ที่ "เคยใช้ได้ในอดีต"

ก. แนวคิด Feature-based Technology Analysis

สินค้าและผลิตภัณฑ์ทุกชนิดมีคุณลักษณะ (features) ที่ผู้บริโภคและตลาดให้คุณค่า คุณลักษณะเหล่านี้เป็นสิ่งที่กำหนดว่าผลิตภัณฑ์จะแข่งขันได้หรือไม่ในอนาคต และเป็นสิ่งที่ขับเคลื่อน R&D และการลงทุนทางเทคโนโลยีทั่วโลก

ตัวอย่างที่อธิบายแนวคิดนี้ได้ดีที่สุดมีดังนี้

กรณีศึกษา	บทเรียนสำหรับการออกแบบ NQI
Tesla: กำหนดล่วงหน้าว่ารถยนต์ต้องมีคุณลักษณะ "ขับเองได้" และ "ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์" จากนั้นใช้เวลานับสิบปีรวบรวมเทคโนโลยีที่สร้างคุณลักษณะเหล่านั้น	NQI ที่รองรับ Tesla ต้องมีความสามารถวัดและทดสอบ Battery Performance, AI Safety, และ Emission ซึ่งเป็น NQI แตกต่างจาก NQI รองรับรถยนต์สันดาปอย่างสิ้นเชิง — หาก NQI ไม่ตามทันผลิตภัณฑ์เข้าตลาดไม่ได้
TSMC: เลือกที่จะเป็น "foundry ที่ผลิต chip ให้คนอื่น" แทนที่จะออกแบบ chip เอง กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการว่า "ความแม่นยำในการผลิตสูงที่สุดในโลก"	NQI ที่รองรับ TSMC ต้องเป็น NQI ที่วัดความแม่นยำระดับ nanometer ได้ ซึ่งแตกต่างจาก NQI ที่รองรับการออกแบบ chip — การเลือกบทบาทต่างกันนำไปสู่ NQI ที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิง
AMD: กำหนดคุณลักษณะ "multicore processing" ให้ chip เพื่อแข่งขันกับ Intel ที่ครองตลาดมายาวนาน	NQI ต้องสามารถทดสอบ multicore performance ในลักษณะที่ตลาดยอมรับได้ — ถ้าไม่มี NQI ที่รองรับการทดสอบคุณลักษณะใหม่ นี้ ไม่มีทางพิสูจน์ให้ลูกค้าเชื่อได้

แนวคิดนี้คือ Feature-based Technology Analysis ซึ่งเป็นแก่นของกระบวนการคิดที่รายงานฉบับนี้ต้องการนำเสนอ กระบวนการมี 4 ขั้นตอน และแต่ละขั้นตอนนำไปสู่การตัดสินใจที่ต่างกัน ดังนี้

ขั้นตอน	คำถามที่ควรถาม และผลที่ได้จากการตอบ
ขั้นที่ 1: ระบุคุณลักษณะเป้าหมาย (What Features?)	ในอีก 5–10 ปี ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนี้ที่ตลาดต้องการจะต้องมีคุณลักษณะใด? คำตอบมาจาก: Technology Trends Report (บทที่ 2) + แนวโน้มการลงทุน FDI + ทิศทางนโยบายรัฐ ผลที่ได้: ชุด "คุณลักษณะที่ต้องสร้าง" ซึ่งเป็นเป้าหมายของการพัฒนาทั้งระบบ
ขั้นที่ 2: ระบุเทคโนโลยีที่จำเป็น (What Technologies Enable These Features?)	เทคโนโลยีใดที่จำเป็นต้องมีเพื่อสร้างคุณลักษณะนั้น? เทคโนโลยีที่ปรากฏซ้ำข้ามหลายอุตสาหกรรม = Enabling Technology ที่มีคุณค่าสูง เพราะการลงทุน NQI รองรับ Enabling Technology หนึ่งตัว ได้ประโยชน์กว้างหลายอุตสาหกรรม ผลที่ได้: รายการ Enabling Technologies ที่ควรให้ความสนใจ (แสดงในหัวข้อ 4.2)

ขั้นที่ 3: ตัดสินใจเชิงยุทธศาสตร์ (User or Creator?)	ประเทศไทยจะเป็นผู้ "ใช้คุณลักษณะนั้น" (Technology User) หรือผู้ "สร้างคุณลักษณะนั้น" (Technology Creator)? นี่คือการตัดสินใจที่กำหนด NQI ทั้งหมด: • User → ต้องการ NQI กลางน้ำ (รองรับการผลิตและทดสอบตามมาตรฐาน) → ทุน SF • Creator → ต้องการ NQI ต้นน้ำ (วิจัยวิธีวัดและสร้างมาตรฐานใหม่) → ทุน ST
ขั้นที่ 4: ออกแบบ NQI ที่สอดคล้อง (What NQI? Which Fund?)	NQI ที่ต้องสร้างควรมีลักษณะอย่างไร อยู่ในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ หรือปลายน้ำ? จากนั้นระบุ: หน่วยงานที่รับผิดชอบ + แหล่งทุนที่เหมาะสม + ลำดับความสำคัญ (รายละเอียดในบทที่ 5)

ข. ตัวอย่างการใช้ Feature-based Technology Analysis: กรณีอุตสาหกรรมโลจิสติกส์

เพื่อให้เห็นภาพว่ากระบวนการ 4 ขั้นตอนข้างต้นทำงานอย่างไรในทางปฏิบัติ ขอนำเสนอตัวอย่างที่ชัดเจนกับอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายของไทย

ขั้นตอน	ผลการวิเคราะห์สำหรับอุตสาหกรรมโลจิสติกส์
ขั้นที่ 1: คุณลักษณะที่ตลาดต้องการ	ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System หรือ ITS) โดยเฉพาะการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ (V2X Communication) ซึ่งจะ เป็นคุณลักษณะหลักของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ในศตวรรษหน้า
ขั้นที่ 2: เทคโนโลยีที่จำเป็น	ต้องการเสาอากาศที่รับส่งข้อมูลจำนวนมากได้ → ต้องการเทคโนโลยีการสื่อสาร 6G (เร็วกว่า 5G กว่า 100 เท่า) → 6G คือ Enabling Technology สำหรับ ITS
ขั้นที่ 3: ไทยจะเป็น User หรือ Creator?	ทางเลือก A (Creator): ไทยต้องการพัฒนาเทคโนโลยี 6G เอง → ต้องการ NQI ต้นน้ำสำหรับการวิจัยและทดสอบ 6G → ใช้ทุน ST ทางเลือก B (User): ไทยต้องการใช้ ITS ในระบบขนส่งของประเทศ → ต้องการ NQI กลางน้ำสำหรับทดสอบและรับรองระบบที่ติดตั้ง → ใช้ทุน SF ความแตกต่างของงบประมาณที่ต้องใช้ระหว่างสองทางเลือกนี้มี นัยสำคัญมาก
ขั้นที่ 4: NQI ที่ต้องพัฒนา	ทางเลือก A: ห้องปฏิบัติการ RF measurement ระดับสูง, วิธีทดสอบ 6G Protocol, Pre-normative Research ร่วมกับ ITU ทางเลือก B: มาตรฐานทดสอบ V2X ตาม ETSI EN 302 663, ห้องปฏิบัติการทดสอบระบบ ITS, การรับรองระบบติดตั้ง

บทเรียนจากตัวอย่างนี้: การตัดสินใจในขั้นที่ 3 เปลี่ยน NQI ทั้งหมด
ตัวอย่างโลจิสติกส์แสดงให้เห็นว่า NQI ที่ต้องพัฒนาไม่ได้ขึ้นกับ "เทคโนโลยี" เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับ "บทบาทที่ประเทศเลือก" ด้วย การข้ามขั้นตอนที่ 3 และลงทุน NQI ทันที จึงมีความเสี่ยงสูงที่จะสร้าง NQI ผิดประเภท
กรอบนี้สามารถนำไปใช้ซ้ำได้กับทุกอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เพียงแต่ต้องตั้งคำถามทั้ง 4 ขั้นตอนก่อนเสมอ
ตัวอย่างการวิเคราะห์อุตสาหกรรมอื่นๆ เพิ่มเติมแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ค. ความท้าทายเชิงยุทธศาสตร์ 2 ประการ

จากกระบวนการข้างต้นนำไปสู่ความท้าทายเชิงกลยุทธ์ที่ประเทศไทยต้องตัดสินใจ 2 ประการ

ความท้าทาย	ทางเลือกและนัยต่อ NQI
การเลือกขอบเขตของเทคโนโลยี	- เทคโนโลยีที่ประยุกต์ได้หลายผลิตภัณฑ์หลายอุตสาหกรรม (Horizontal Technology) มีตลาดกว้าง แต่แข่งขันมาก เช่น AI, Sensor Networks - เทคโนโลยีเฉพาะทางที่ประยุกต์ในอุตสาหกรรมเดียว (Vertical Technology) มีคู่แข่งน้อย แต่ตลาดเริ่มแรกอาจเล็กกว่า เช่น เทคนิคเฉพาะสำหรับผลไม้ไทย นัยต่อ NQI: Horizontal Technology ต้องการ NQI ที่ออกแบบให้ใช้ร่วมกันข้ามอุตสาหกรรม ส่วน Vertical Technology ต้องการ NQI เฉพาะทางที่ลึกกว่า
การเลือกบทบาทในห่วงโซ่คุณค่า	"พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะ" (Technology User) — ต้องการ NQI กลางน้ำที่รองรับการผลิตและทดสอบตามมาตรฐานสากล เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เข้าตลาดได้ "พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สร้างคุณลักษณะ" (Technology Creator) — ต้องการ NQI ต้นน้ำที่รองรับการวิจัย การวัดขั้นสูง และ Pre-normative Research เพื่อสร้างมาตรฐานใหม่ นัยต่อ NQI: บทบาทต่างกัน แหล่งทุนต่างกันโดยสิ้นเชิง ดังรายละเอียดในบทที่ 5

ง. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีและนัยต่อ NQI

ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีในยุคปัจจุบันประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ชิ้นส่วน (Parts) และข้อมูล (Data) ทั้งสองส่วนต้องผ่านกระบวนการผลิต (Manufacturing) ตามต้นแบบที่เกิดจากการวิจัยและพัฒนา และต้องมีการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) รวมถึงเกณฑ์การยอมรับความคลาดเคลื่อน

ความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ NQI ต้องพัฒนาความสามารถในการวัด ทดสอบ และรับรองที่แม่นยำและเข้มงวดสูงขึ้นตาม ประเทศไทยและผู้ประกอบการท้องถิ่นยังมีประสบการณ์ไม่มากนักในการผลิตลักษณะนี้ ดังนั้นการพัฒนา NQI จึงต้องวางแผนควบคู่กับการพัฒนากำลังคนและความเชี่ยวชาญเสมอ

ข้อเสนอแนะ
NQI จะสร้างผลกระทบได้สูงสุดเมื่อพัฒนาควบคู่กับเป้าหมายด้าน R&D การผลิต และการนำเทคโนโลยีมาใช้ที่ชัดเจน การวางแผน NQI และการวางแผน R&D จึงควรดำเนินการไปพร้อมกัน
คำถามที่เป็นประโยชน์ในการพิจารณาโครงการพัฒนา NQI ได้แก่ (1) NQI นี้รองรับบทบาทใด: Technology User หรือ Technology Creator (2) NQI นี้อยู่ในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ หรือปลายน้ำ และ (3) มีเป้าหมาย R&D หรืออุตสาหกรรมที่ชัดเจนที่จะใช้ประโยชน์จาก NQI นี้หรือไม่
การมีคำตอบที่ชัดเจนสำหรับคำถามข้างต้นตั้งแต่ต้น จะช่วยให้โครงการ NQI มีทิศทางและสร้างผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการมากขึ้น

4.2 รายการเทคโนโลยีอนาคตที่ควรให้ความสนใจ

เมื่อนำกระบวนการ Feature-based Technology Analysis จากหัวข้อ 4.1 ไปใช้กับอุตสาหกรรมเป้าหมายทั้ง 6 กลุ่มของไทย พบว่ามีเทคโนโลยีจำนวนหนึ่งที่ปรากฏซ้ำข้ามหลายอุตสาหกรรม เทคโนโลยีเหล่านี้เรียกว่า Enabling Technologies หรือเทคโนโลยีฐาน เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ "ทำให้คุณลักษณะใหม่เกิดขึ้นได้" ในหลายผลิตภัณฑ์พร้อมกัน ภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์คุณลักษณะเป้าหมาย (feature) จำนวนหนึ่งที่มีแนวโน้มค่อนข้างชัดเจนในการนำมาใช้ (รูปที่ ก-2 ถึงรูปที่ ก-14) และตารางสรุปเทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจแยกตามอุตสาหกรรมและคุณลักษณะเป้าหมายจากผลการวิเคราะห์

เหตุที่ต้องให้ความสนใจกับ Enabling Technologies เป็นพิเศษเพราะ การลงทุนพัฒนา NQI เพื่อรองรับ Enabling Technology หนึ่งตัว จะสร้างประโยชน์ให้หลายอุตสาหกรรมพร้อมกัน ทำให้คุ้มค่าการลงทุนมากกว่าการพัฒนา NQI สำหรับเทคโนโลยีเฉพาะทางของอุตสาหกรรมเดียว ซึ่งสำคัญมากในบริบทที่ทรัพยากรมีจำกัด

กลุ่มเทคโนโลยี	รายละเอียดและอุตสาหกรรมที่ประยุกต์ใช้
เทคโนโลยีฐานระยะใกล้ (Near-term Enabling Technologies) พร้อมใช้งานจริงภายใน 3-5 ปี	- Imaging & Sensor Networks — ใช้ใน Smart Farming, อุปกรณ์การแพทย์, Autonomous Vehicles - Systems & Robotics — ใช้ในโลจิสติกส์, การแพทย์, อุตสาหกรรม - Data Analytics & AI — ใช้ได้ทุกอุตสาหกรรม - Advanced Manufacturing — ใช้ใน EV, Electronics, อาหาร - New Materials (ขั้นสูง) — ใช้ใน EV Battery, Biomedical, Packaging NQI ที่จำเป็น: มาตรฐานการทดสอบและสอบเทียบสำหรับ sensors, ระบบ AI, วัสดุใหม่ — เป็น NQI กลางน้ำที่ต้องพัฒนาเร่งด่วน
เทคโนโลยีฐานระยะถัดไป (Next-phase Enabling Technologies) ยังต้องการเวลาพัฒนาอีก 5-10 ปี	- Engineering Biology — ใช้ใน พลังงาน วัสดุ ยา วัคซีน อาหาร - Quantum Technology — ใช้ใน Quantum Sensing, Communication, Computing NQI ที่จำเป็น: Pre-normative Research เพื่อสร้างวิธีการวัดและมาตรฐานใหม่ — เป็น NQI ต้นน้ำที่ต้องเริ่มพัฒนาตั้งแต่วันนี้ เพราะใช้เวลานาน แต่จะไม่พร้อมตามทันอุตสาหกรรมหากรอให้เทคโนโลยีพร้อมก่อนค่อยเริ่ม

ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับรายการเทคโนโลยีที่ได้จากการศึกษาในบทที่ 3 ซึ่งเป็นการยืนยันจากทั้งสองทิศทาง กล่าวคือ ทั้งจากการมองเข้ามาจากอุตสาหกรรม (บทที่ 3) และจากการมองออกไปจากเทคโนโลยีฐาน (บทที่ 4) ล้วนชี้ไปที่กลุ่มเทคโนโลยีเดียวกัน ซึ่งเพิ่มความมั่นใจว่าเทคโนโลยีเหล่านี้มีความสำคัญสูงต่อการพัฒนาประเทศในระยะ 5-15 ปีข้างหน้า

4.3 สถานะอุตสาหกรรมปัจจุบัน: การเปลี่ยนผ่าน หรือการต่อยอด

การสำรวจสถานะอุตสาหกรรมในบทนี้มุ่งตอบคำถามว่า NQI ที่ต้องพัฒนาควรออกแบบมาเพื่อรองรับการเปลี่ยนผ่านทางเทคโนโลยีหรือการต่อยอดความสามารถที่มีอยู่ คำตอบจะกำหนดว่าควรลงทุน NQI ประเภทใด ระดับใด และเร่งด่วนเพียงใด

4.3.1 อุตสาหกรรมยานยนต์

อุตสาหกรรมยานยนต์มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยทั้งในแง่มูลค่าทางเศรษฐกิจ การจ้างงาน และห่วงโซ่อุปทานในประเทศที่ยาว อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมนี้กำลังเผชิญความท้าทาย 4 ด้านพร้อมกัน ทั้งจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี แรงกดดันจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากร

ความท้าทาย	รายละเอียดและนัยต่อ NQI
การขาดแคลนบุคลากรทักษะใหม่	สภาอุตสาหกรรมระบุว่าอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยมีความเชี่ยวชาญด้านระบบกลศาสตร์ แต่ขาดแรงงานด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และซอฟต์แวร์อย่างหนัก ทักษะด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีความเร่งด่วนและเป็นไปได้สูงกว่าในระยะสั้น เนื่องจากสามารถต่อยอดจากโครงสร้างพื้นฐาน NQI ด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้าที่มีอยู่แล้ว แต่ด้านซอฟต์แวร์จะต้องสร้าง NQI ใหม่เกือบทั้งหมด
ผลิตภัณฑ์หลักไม่ผ่านเกณฑ์ตลาดส่งออก	รถกระบะซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยที่ผลิตโดยใช้ชิ้นส่วนในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ไม่สามารถผ่านเกณฑ์การทดสอบในตลาดคู่ค้า เช่น ออสเตรเลีย เนื่องจากข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษที่เข้มงวดขึ้นเรื่อยๆ ต้องลงทุน NQI ด้านการทดสอบประสิทธิภาพและมลพิษเพิ่มเติม
การเพิ่ม Technology Contents	เส้นทางที่เป็นไปได้ในการยกระดับผลิตภัณฑ์ให้มี technology contents สูงขึ้น ได้แก่ Engine Technology, Chassis & Materials Technology, Smart Vehicle Technology และ Alternative Energy & Sustainability แต่ละส่วนต้องการ NQI เพิ่มเติมไม่มากนักและมีพื้นฐานเดิมรองรับ ยกเว้นด้าน Smart Vehicle ที่ต้องพัฒนา NQI ใหม่
การเปลี่ยนผ่าน SMEs ในห่วงโซ่อุปทาน	เพื่อควบคุมต้นทุนการลงทุน NQI ใหม่ ควรเลือกอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ใกล้เคียงกับความเชี่ยวชาญปัจจุบัน สภาอุตสาหกรรมเสนออุตสาหกรรมเป้าหมายสำหรับการเปลี่ยนผ่าน ได้แก่ Rail & Infrastructure, Medical Devices, Agricultural Equipment, Machinery & Metal, Aviation Parts, Defense Industry และ Add-on Automation & Robotics

ตัวอย่าง Measurand และ NQI ที่จำเป็นสำหรับแต่ละกลุ่มเทคโนโลยียานยนต์แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยสรุปประเด็น NQI ที่ต้องพัฒนาใหม่เร่งด่วนที่สุด ได้แก่ การทดสอบและรับรอง Battery สำหรับ EV (Battery Capacity, Efficiency, Charging Rate, Life Cycle) การทดสอบด้าน Emission สำหรับการส่งออก และระบบ NQI สำหรับ Software Testing ในยานยนต์อัตโนมัติ

ข้อสรุปสำหรับการวางแผน NQI

ประเทศไทยมี NQI หลายส่วนที่สามารถรองรับการผลิตยานยนต์ปัจจุบันได้ โดยเฉพาะด้านมาตรวิทยา แต่ด้านการทดสอบและรับรองสำหรับเทคโนโลยีใหม่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม NQI ที่ลงทุนในอุตสาหกรรมยานยนต์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์การแพทย์ และพลังงาน จึงมี Multiplier Effect สูง

4.3.2 อุตสาหกรรมอาหาร

อุตสาหกรรมอาหารของไทยมีขนาดใหญ่และมีศักยภาพสูง แต่มีความขัดแย้งเชิงโครงสร้างที่น่าสนใจ: อาหารไทยเป็นที่รู้จักและชื่นชอบทั่วโลกในด้านความประณีตและ sophistication แต่เครื่องปรุงและวัตถุดิบของไทยกลับไม่เป็นที่รู้จักในระดับสากล เมื่อเทียบกับเครื่องปรุงญี่ปุ่นหรือเกาหลี (กิมจิ โชยุ วาซาบิ มิโอะ) ที่กลายเป็นสินค้าส่งออกระดับโลก นอกจากนี้ Food Ingredients และ Food Additives ส่วนใหญ่ยังต้องนำเข้า แม้ไทยจะมีวัตถุดิบในประเทศเพียงพอ

โอกาส / ประเด็น	รายละเอียดและนัยต่อ NQI
การผลิต Food Ingredients และ Food Additives ทดแทนการนำเข้า	หากพัฒนา NQI รองรับการผลิต food ingredient ในประเทศได้ จะเกิดผลลัพธ์ 3 ประการ: (1) ลดต้นทุนการผลิตให้ผู้ประกอบการ (2) เพิ่มมูลค่าวัตถุดิบในประเทศและเปิดโอกาสส่งออก (3) หากออกแบบ food ingredient ที่มีสมบัติดีกว่า จะช่วยให้สินค้าอาหารไทยแข่งขันในตลาดระดับสูงได้ อย่างไรก็ตาม food ingredient อยู่ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบและรับรองที่เข้มงวดหลายขั้นตอน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่อุตสาหกรรมยังเลือกนำเข้าแทน
การวิจัยการรับรู้รสและกลิ่นของผู้บริโภคต่างชาติพันธุ์	การรับรู้รสและกลิ่นของผู้บริโภคที่มีประสบการณ์ ชาติพันธุ์ และพันธุกรรมต่างกัน เป็นปัจจัยกำหนดความสำเร็จของ food ingredient สำหรับตลาดต่างประเทศ การพัฒนา NQI ด้านนี้จะสนับสนุนการออกแบบ food ingredient สำหรับตลาดเฉพาะกลุ่ม และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันที่เลียนแบบได้ยาก
อาหารเฉพาะทาง (Specialized Foods)	โอกาสที่มีมูลค่าสูงและยังขาด NQI รองรับ ได้แก่ อาหารสำหรับผู้สูงอายุ (Modified Diets), อาหารเฉพาะกลุ่มโรค (Therapeutic Foods) และอาหารทางการแพทย์ ซึ่งสอดคล้องกับการก้าวสู่สังคมสูงอายุและเป้าหมายการเป็น Medical Hub ของไทย
วัสดุสัมผัสอาหาร (Food Contact Materials)	ปัจจุบันยังขาด NQI ด้านความปลอดภัยของวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหาร ทั้งในแง่ความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลายเป็นข้อกำหนดที่เข้มงวดในตลาดสหภาพยุโรปและเอเชียตะวันออก

ข้อจำกัดสำคัญที่ต้องพิจารณา: ประเทศไทยมี NQI รองรับอุตสาหกรรมอาหารในระดับพื้นฐานแล้ว แต่การยกระดับสู่ food ingredients, food technology และการออกแบบระบบการผลิตอาหาร (รวมถึงเครื่องจักรผลิตอาหาร) ต้องลงทุนด้าน R&D และ NQI เพิ่มเติมพอสมควร โดยเฉพาะผู้เชี่ยวชาญด้าน food sciences ซึ่งยังมีน้อยในประเทศ นอกจากนี้ ระบบตรวจสอบ รับรอง และขึ้นทะเบียนยังทำงานแยกกัน ต้องพัฒนาให้เชื่อมโยงกันเพื่อลดภาระซ้ำซ้อนของผู้ประกอบการ

4.3.3 อุตสาหกรรมเกษตร

ความสม่ำเสมอของรสชาติและความน่าเชื่อถือด้านคุณภาพเป็นปัจจัยที่กำหนดราคาสินค้าเกษตรที่บริโภคโดยตรง ไทยมีข้อได้เปรียบด้านความหลากหลายทางชีวภาพและทำเลที่ตั้ง ทำให้ผักและผลไม้มีรสชาติเฉพาะสูง อย่างไรก็ตาม ยังขาดการแปลงข้อได้เปรียบนี้เป็นมูลค่าทางการค้าที่วัดได้และพิสูจน์ได้

ประเด็น	รายละเอียดและ NQI ที่ต้องพัฒนา
การระบุคุณลักษณะเชิงปริมาณที่เป็นจุดเด่น	การระบุและแสดงคุณลักษณะที่สำคัญของผักและผลไม้ไทยในเชิงปริมาณ (เช่น ค่าความหวาน ค่าความเป็นกรด ปริมาณวิตามิน) ต้องอาศัยกระบวนการวัด สุ่มตัวอย่าง และประเมินทางสถิติที่รัดกุม เนื่องจากสินค้าเกษตรมีความแตกต่างกันตามธรรมชาติแม้จะมาจากสวนเดียวกัน ฤดูเดียวกัน NQI ที่จำเป็น: วิธีการวัดมาตรฐาน ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองระบบงาน และระบบสถิติสำหรับการสุ่มตัวอย่างสินค้าเกษตร
เทคโนโลยีการเก็บรักษาและบรรจุภัณฑ์	ผักและผลไม้มีอายุจำกัดและคุณภาพลดลงรวดเร็ว การพัฒนากระบวนการเก็บรักษาและวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยคงความสด รสชาติ และสีส้ม ต้องพิสูจน์ทั้งความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากตลาดคู่ค้าใส่ใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นมาก NQI ที่จำเป็น: วิธีทดสอบความปลอดภัยของวัสดุบรรจุภัณฑ์ และมาตรฐานการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ
จุดแข็ง OECD-GLP ที่ต้องต่อยอด	ไทยเริ่มพัฒนาระบบรองรับข้อตกลง MAD (Mutual Acceptance of Data) ของ OECD มาระยะหนึ่งแล้ว ทำให้มีโครงสร้างพื้นฐานและห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการตาม OECD-GLP แล้วบางส่วน จุดแข็งนี้ควรต่อยอดสู่การยกระดับคุณภาพและความน่าเชื่อถือของสินค้าเกษตรทั้งระบบ
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเพาะปลูก (Carbon Footprint)	ตลาดสำคัญเริ่มกำหนดเกณฑ์ Carbon Footprint สำหรับสินค้าเกษตร ไทยต้องพัฒนา NQI ด้านการวัดและรับรองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดห่วงโซ่การเกษตร ซึ่งยังขาดอยู่โดยสิ้นเชิงในปัจจุบัน

4.3.4 อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพของไทยมีศักยภาพสูงและเติบโตต่อเนื่อง ควรใช้เป็นโอกาสสร้างให้อุตสาหกรรมนี้ผูกพันกับภาพลักษณ์ของประเทศไทยในระยะยาว ซึ่งต้องการ NQI 3 ประเภทดังนี้

ประเด็น NQI	รายละเอียด
การสร้างความหมายที่วัดได้ให้กับ "มาตรฐาน"	คำว่า "บริการที่ได้มาตรฐาน" ต้องมีนิยามที่วัดได้ ครอบคลุมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ผ่านการสอบเทียบ สภาพแวดล้อมและบรรยากาศที่วัดและบริหารจัดการได้ (อุณหภูมิ ความชื้น เสียง แสง) เพื่อให้ความสม่ำเสมอของบริการเกิดขึ้นได้จริงและพิสูจน์ได้
AI สำหรับการวิเคราะห์ตลาดและผู้บริโภค	AI ที่จะสนับสนุนการวิเคราะห์ตลาดและรสนิยมผู้บริโภคเฉพาะในบริบทนี้ต้องพัฒนาขึ้นเอง เนื่องจากข้อมูลและบริบทมีความเฉพาะพื้นที่สูง NQI ที่จำเป็น: มาตรฐานและวิธีทดสอบความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความลำเอียงของ AI ในบริบทนี้
การสร้างและรักษาเอกลักษณ์ที่วัดได้	เอกลักษณ์หมายถึงความเฉพาะที่แตกต่าง เมื่อเลือกนำเสนอสิ่งใดต้องมั่นใจว่าสามารถส่งมอบสิ่งนั้นได้อย่างสม่ำเสมอ NQI ช่วยทำให้องค์ประกอบทางกายภาพของบริการมีความคงเส้นคงวาและวัดได้ สร้างความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภค

4.3.5 อุตสาหกรรมพลังงานและ Datacentres

อุตสาหกรรมเป้าหมายใหม่ 2 กลุ่มที่มีนัยสำคัญสูงต่อการพัฒนา NQI ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับ Datacentres และอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและ Smart Grids การขยายตัวของ AI, Cloud Computing และ Digital Economy ทำให้ความต้องการด้านนี้เติบโตเร็วมากในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา

กลุ่ม	ลักษณะ NQI ที่จำเป็น
อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าสำหรับ Datacentres	ต้องการ NQI ด้านการวัดและรับรองประสิทธิภาพพลังงาน (Power Usage Effectiveness, PUE) การทดสอบระบบ Cooling และความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า รวมถึงการรับรองแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Certificate) สำหรับ Datacentres ที่มีนโยบาย Net Zero
อุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและ Smart Grids	ต้องการ NQI ด้านการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง มาตรฐานการสื่อสาร Smart Grid (IEC 61850) และการรับรองระบบ Energy Storage ซึ่งยังไม่มีความสามารถในไทยในปัจจุบัน NQI ด้านนี้มีความต้องการสูงและไม่สามารถรอได้

พลังงานหมุนเวียนและ Carbon Verification	การเติบโตของ Solar, Wind และ Green Hydrogen ต้องการ NQI ด้านการวัดและรับรองการผลิตพลังงาน (Measurement of Generation) และการยืนยันการลดการปล่อยคาร์บอน (Carbon Reduction Verification) ซึ่งจะเชื่อมโยงโดยตรงกับ CBAM ของสหภาพยุโรป
---	--

4.4 กรอบ NQI สามระดับและกิจกรรมเฉพาะ

การพัฒนา NQI ควรจำแนกออกเป็น 3 ระดับตามห่วงโซ่คุณค่า โดยแต่ละระดับมีกิจกรรมและเป้าหมายที่ชัดเจน ดังนี้

ระดับ NQI	เป้าหมาย	กิจกรรมและบริการหลัก
NQI ต้นน้ำ	แม่นยำพอสำหรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม	การวัดและการวิเคราะห์ขั้นสูง การวิจัยก่อนการกำหนดมาตรฐาน (Pre-normative research) การกำหนดเกณฑ์และออกแบบวิธีทดสอบสำหรับเทคโนโลยีใหม่ การกำหนดมาตรฐาน
NQI กลางน้ำ	น่าเชื่อถือและทันต่อความต้องการของอุตสาหกรรม	บริการตรวจสอบและรับรอง (สอบเทียบ ทดสอบ ตรวจสอบ) การรับรองระบบงาน (Lab Accreditation) การรับรองผลิตภัณฑ์และกระบวนการ คลังผู้ประเมินความสามารถของห้องปฏิบัติการ
NQI ปลายน้ำ	ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดผู้บริโภค และคู่ค้า	การออกแบบมาตรการและข้อกำหนดเพื่อคุ้มครองผู้บริโภคและตลาด การกำกับดูแลตลาด (Market Surveillance) การใช้ข้อมูล NQI ในการจัดทำข้อตกลงทางการค้า

4.5 หน่วยตรวจสอบและรับรองกลุ่มใหม่

นอกเหนือจากหน่วยตรวจสอบและรับรองแบบดั้งเดิม การเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจสีเขียวและเศรษฐกิจดิจิทัลทำให้เกิดความต้องการหน่วยตรวจสอบและรับรองประเภทใหม่ ได้แก่ Validation and Verification Body (VVB) ซึ่งต้องรองรับงานดังต่อไปนี้

- Carbon Emission and Capture — ยืนยันการปล่อยและการดักจับคาร์บอนตามข้อตกลงระหว่างประเทศ
- Energy Consumption and Saving — รับรองประสิทธิภาพพลังงานและการประหยัดพลังงาน
- Green Building Certification — ประเมินและรับรองอาคารสีเขียว
- System Validation: Network of Sensors & IoT — ตรวจสอบความถูกต้องของระบบเซนเซอร์และ IoT ในภาคอุตสาหกรรม
- Software Validation — รับรองความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของซอฟต์แวร์ในกระบวนการผลิต

4.6 ความท้าทายของ NQI ในยุคเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงเร็ว

การพัฒนาเทคโนโลยีที่เร็วกว่าวงจรพัฒนามาตรฐานก่อให้เกิดความท้าทายเชิงระบบต่อ NQI ทุกด้านพร้อมกัน ดังนี้

ด้าน NQI	ความท้าทายเฉพาะ
มาตรวิทยา	ความสามารถสอบกลับได้ทางมาตรวิทยา (Metrological Traceability) จะสั้นลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเทคโนโลยีใหม่ต้องการหน่วยวัดและเกณฑ์อ้างอิงใหม่ที่ยังไม่มีมาตรฐานสากลรองรับ
มาตรฐาน	การกำหนดมาตรฐานต้องทันการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ซึ่งในปัจจุบันมาตรฐานมักตามหลังเทคโนโลยี 3-5 ปี ก่อให้เกิดช่องว่างที่ทำให้ผู้ประกอบการไม่มีมาตรฐานอ้างอิง
การทดสอบ	หากไม่มีมาตรฐานรองรับ ห้องปฏิบัติการทดสอบไม่สามารถออกผลการทดสอบที่มีน้ำหนักทางกฎหมายได้ ทำให้เกิดการชะลอการนำสินค้าสู่ตลาด
การรับรอง	หากไม่มีมาตรฐานรองรับ หน่วยรับรองไม่สามารถออกใบรับรองที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลได้ ซึ่งกีดกันสินค้าจากการเข้าตลาดต่างประเทศ

นัยต่อการลงทุน NQI

ความท้าทายข้างต้นบ่งชี้ว่า การพัฒนา NQI ต้นน้ำ (pre-normative research) ต้องเริ่มต้นพร้อมกับหรือล่วงหน้ากว่าการพัฒนาอุตสาหกรรม ไม่ใช่ตามหลัง มิฉะนั้น NQI จะไม่พร้อมในเวลาที่อุตสาหกรรมต้องการ

4.7 โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพแบบดิจิทัล (Digital Quality Infrastructure)

โลกกำลังเปลี่ยนกฎการค้าระหว่างประเทศในระดับพื้นฐาน ไม่ใช่แค่เพิ่มกฎ ใบรับรองและเอกสารแสดงคุณภาพสินค้าที่เป็นกระดาษหรือไฟล์ PDF กำลังถูกแทนที่ด้วยเอกสารดิจิทัลที่เครื่องอ่านได้ ตรวจสอบได้แบบ Real-time และเชื่อมต่อกับห่วงโซ่อุปทานโลกโดยตรง ประเทศที่เตรียมพร้อมก่อนจะได้เปรียบ ประเทศที่ตามมาทีหลังจะแบกต้นทุนการปรับตัวที่สูงกว่ามาก

ข้อควรระวัง: Digital NQI ≠ การที่แต่ละหน่วยงาน Digitise งานของตัวเอง

ถ้าแต่ละหน่วยงานสร้างระบบ Digital ของตัวเองโดยไม่มี Common Data Standard และ Interoperability Protocol ร่วมกัน ผลลัพธ์จะเป็นหลาย "เกาะ Digital" ที่ยังคุยกันไม่ได้ ลงทุนไปแล้วแต่ปัญหาเดิมยังอยู่

ตัวอย่าง: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) สร้าง Digital Certificate ของตัวเอง / มว. ออก DCC ในระบบของ มว. / กรมศุลกากรมี Digital Customs ของตัวเอง → ทั้งสามระบบคุยกันไม่ได้ → ผู้ส่งออกต้องกรอกข้อมูลซ้ำสามครั้ง

สิ่งที่ต้องการ: Trusted Data Ecosystem — ข้อมูลคุณภาพใช้ Common Semantic Layer ระบบทุกแห่ง Interoperable กันผ่าน Standard Protocol ข้อมูลไหลอัตโนมัติตลอด Supply Chain

4.7.1 แรงขับเคลื่อนสามระดับที่เกิดขึ้นพร้อมกัน

ระดับ	สิ่งที่เกิดขึ้นและผลกระทบต่อไทย
Industry 4.0 / 5.0 (ระดับโรงงาน)	Quality Data ต้องไหลเข้าระบบ ERP/MES โดยตรง ระบบอ่าน Certificate เองโดยอัตโนมัติ — PDF ไม่ Compatible อีกต่อไป ห้องปฏิบัติการทดสอบไทยที่ยังใช้ PDF Certificate จะไม่สามารถเชื่อมเข้าสายการผลิตของลูกค้าได้
UN/CEFACT DPCCE (ระดับการค้าระหว่างประเทศ)	UN/CEFACT ออก Business Requirements Specification สำหรับ Digital Product Conformity Certificate Exchange (DPCCE) ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 — ใบรับรองสินค้า Verify ได้ข้ามพรมแดนโดยอัตโนมัติ ออสเตรเลีย (NATA) เป็น Project Lead — ไทยยังไม่อยู่ในวงสนทนา
EU Digital Product Passport (ระดับกฎระเบียบ)	ESPR มีผลบังคับตั้งแต่กรกฎาคม พ.ศ. 2567 — Battery DPP บังคับกฎหมาย พ.ศ. 2570 — Textile & Electronics ตามมาปี 2570–

	2571 — Iron, Steel, Furniture, Machinery ปี 2571–2573 สินค้าไทยที่กระทบมีมูลค่ารวมกว่า 6.6 แสนล้านบาทต่อปี
--	--

สามสิ่งนี้ไม่ใช่เรื่องแยกกัน

Industry 4.0, UN/CEFACT DPCCE และ EU DPP คือ Global Digital Trade Architecture ชุดเดียวกัน ไทยต้องอยู่ในสถาปัตยกรรมนั้น ไม่ใช่อยู่นอก

4.7.2 ผลกระทบต่อสินค้าส่งออกไทย

Sector / มูลค่าส่งออก EU	DPP Deadline และสถานะความพร้อมของไทย
อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องจักร (~270,000,000,000 บาท/ปี)	Deadline ปี 2570–2571 ยังไม่มี Digital Certificate Infrastructure ระดับชาติ — ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังใช้ PDF
ยานยนต์และชิ้นส่วน (~250,000,000,000 บาท/ปี)	Deadline กุมภาพันธ์ 2570 (Battery DPP) Battery Passport ต้องการ Traceability Data ตลอด Supply Chain — ไทยยังไม่มี National System รองรับ
สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม (฿45,000,000,000 บาท/ปี)	Deadline ปี 2570–2571 มีระบบ Textile Standard อยู่แล้ว แต่เป็น Paper-based — ต้องการ Digital Upgrade ทั้งระบบ
อาหารและสินค้าเกษตร GI (~95,000,000,000 บาท/ปี)	Deadline ปี 2571–2573 มี Certification System อยู่แล้ว แต่ Interoperability กับระบบ EU ยังต้องพัฒนา

ถ้าไม่มี Digital Certificate ที่ระบบ EU ยอมรับ — ระบบ Automated Customs ของ EU จะ Reject สินค้าโดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ส่งออกไม่มีโอกาสอุทธรณ์ในขั้นตอนนั้น

4.7.3 การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัลของ NQI ทั้งระบบ

Digital Quality Infrastructure (DQI) ไม่ใช่การดิจิทัลไชนางานของ มว. เพียงอย่างเดียว แต่คือการเปลี่ยนผ่านของ NQI ทั้ง 5 องค์ประกอบสู่ระบบดิจิทัลที่ Interoperable กัน ตารางต่อไปนี้แสดงบทบาทใหม่ของแต่ละองค์ประกอบในระบบ DQI สถานะปัจจุบัน และหน่วยงานที่รับผิดชอบ:

องค์ประกอบ NQI	บทบาทใน Digital NQI	ผลลัพธ์ที่ต้องการ	หน่วยงานหลัก	สถานะปัจจุบัน
มาตรวิทยา (Metrology)	Digital Calibration Certificate (DCC) — Machine-readable, Verifiable, เชื่อมกับ SI Digital Framework ของ BIPM ผ่าน CIPM MRA	Traceability Foundation ที่ทำให้ Measurement Data ใน EU DPP นำเชื่อถือ และ Verify ได้อัตโนมัติใน Supply Chain	มว. — NIMT Digital Center	☑ DCC Infrastructure พร้อม — รอ Pilot จริงกับ งานบริการของ มว. และห้องปฏิบัติการ สอบเทียบและ อุตสาหกรรม
การกำหนด มาตรฐาน (Standards)	Digital Standards — มอก. Machine-readable, เชื่อมกับ Product Database โดยตรง ระบบ ERP/MES อ่านและ Reference ได้อัตโนมัติ	มอก. ที่ระบบอ่านได้เป็น Linked Data — Compatible กับ ISO/IEC Digital Framework และ EU ESPR Product Requirements	สมอ. (TISI)	⚠ อยู่ระหว่าง พัฒนา — ยังไม่ Machine-readable ครบ
การรับรอง ระบบงาน (Accreditation)	Digital Accreditation — Accredited หน่วยงาน ที่ออก Digital Certificate และ Validate DPP Data ได้ ตาม IAF/ILAC Program	Digital Accreditation Badge ที่ Verify ได้ อัตโนมัติผ่าน ILAC MRA — ใบรับรองจากไทย ยอมรับโดยตรงในตลาดสากลโดยไม่ต้องทดสอบซ้ำ	ONSC (สมอ.)	⚠ Accreditation Scope ยังไม่ ครอบคลุม Digital Certificate Issuers
การตรวจสอบ และรับรอง (Conformity Assessment)	Digital Certificate — Machine-readable, Verifiable, เชื่อมกับ DPP โดยตรง ออกโดย หน่วยงานที่ผ่านการ รับรองระบบงาน	ห้องทดสอบออก Digital Certificate ที่ EU Automated Customs ยอมรับโดยอัตโนมัติ — ผู้ส่งออกไม่ต้องพิสูจน์ตัวเองซ้ำในทุกตลาด	ห้องทดสอบ / หน่วยงานรับรอง ภาครัฐและ เอกชน (ผ่าน ONSC)	⚠ ส่วนใหญ่ยังออก PDF Certificate — ต้องการ Digital Upgrade ทั้งเครือข่าย
การกำกับดูแล ตลาด (Market Surveillance)	Digital Market Surveillance — ใช้ Data Analytics และ DPP Data ตรวจสอบสินค้าไม่ได้มาตรฐานใน Real-time แทนการสุ่ม ตรวจสอบแบบ Manual	ลดต้นทุนการกำกับดูแล เพิ่มประสิทธิภาพ ป้องกัน Race to the Bottom และสินค้าด้อยคุณภาพ จากตลาดออนไลน์	กรมการค้า ภายใน, อย., กรมศุลกากร	⚠ ยังใช้ระบบ Manual เป็นหลัก — ยังไม่มี System เชื่อม กับ DPP Data

หลักการสำคัญ: DQI มีคุณค่าก็ต่อเมื่อทุกองค์ประกอบ NQI ทำงานร่วมกันเป็นระบบ

หาก มว. มี DCC แต่ สมอ. ยังออก มอก. เป็น PDF, ONSC ยังไม่ Accredit ผู้ออก Digital Certificate, และห้องทดสอบยังออก Paper Certificate — DCC จะมีคุณค่าเพียงบางส่วน ไม่สามารถขับเคลื่อนระบบ DQI ที่ผู้ส่งออกต้องการได้

เป้าหมายคือ Trusted Data Ecosystem ที่ข้อมูลคุณภาพจาก NQI ทั้ง 5 องค์ประกอบ ไหลอัตโนมัติตลอด Supply Chain จนถึง EU DPP Registry — ไม่ใช่การ Digitize แต่ละส่วนแยกกัน

4.7.4 จุดแข็งของไทย: DCC และ NQI Ecosystem ที่พร้อมต่อยอด

ไทยมี Asset สำคัญที่ไม่ควรมองข้าม

NIMT Digital Center ได้พัฒนา Digital Calibration Certificate (DCC) Infrastructure ที่ Compatible กับมาตรฐาน PTB (ทุน บพข. ทุน บพค. และทุน FF) ผ่านความร่วมมือกับ PTB Department 9.4 ตั้งแต่ต้น ระบบนี้รองรับ SI Digital Framework ของ BIPM และเชื่อมกับ CIPM MRA Framework อย่างครบวงจร

NIMT Digital Center Lead ทำหน้าที่ Chair ของ International Programme Committee ในการประชุม 6th International DCC Conference (กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569) ที่มีผู้เข้าร่วมกว่า 600 คนจาก 82 ประเทศ ร่วมกับ PTB และ NIST

ประเทศไทยไม่ต้องเริ่มจากศูนย์ — มีฐานที่ผ่านการทดสอบแล้ว แต่ Asset นี้จะมีคุณค่าได้จริงก็ต่อเมื่อ Ecosystem ของทุกหน่วยงานพร้อมรองรับ

4.7.5 ช่องว่างเชิงโครงสร้างของ Digital NQI ไทย (5 องค์ประกอบ)

ปัญหา	ผลกระทบถ้าไม่แก้ / ผู้รับผิดชอบ
1) ขาด Deployment Plan — มว. มี DCC Infrastructure พร้อมแล้ว แต่ยังไม่มีแผนระดับชาติที่จะนำไปสู่ภาคอุตสาหกรรม	ห้องปฏิบัติการทดสอบทั่วประเทศยังคงออก PDF Certificate ในขณะที่ มว. มีระบบ DCC พร้อมรอ — ความสามารถที่สร้างมาค่อยๆ ล้าสมัยโดยไม่ได้ใช้ ผู้รับผิดชอบ: กระทรวงอุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงพาณิชย์ และ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

2) ขาดการเชื่อมต่อกับ Global Registry — ระบบ DCC ของ มว. ผ่านการพัฒนาและทดสอบแล้ว — DCC เป็น Traceability Foundation ของ DPP แต่ยังคงต้องการ National DQI Platform สำหรับการนำ DCC Data เข้าสู่ EU DPP Ecosystem และ DPCCE Protocol	DCC จาก มว. ไม่ว่าจะดีแค่ไหนก็ไม่สามารถ Verify ได้โดยอัตโนมัติในระบบสากล — ผู้ส่งออกยังต้องพิสูจน์ตัวเองซ้ำในทุกตลาด ผู้รับผิดชอบ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการการมาตรฐานแห่งชาติ (ONSC สมอ.) มว. กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
3) ขาด Policy Coherence — หลายกระทรวงดูแลเรื่องนี้คนละส่วน ไม่มีใครดูแลภาพรวมและ Deployment coordination	การลงทุนซ้ำซ้อน ระบบที่ไม่เชื่อมกัน ผู้ส่งออกถูกบังคับใช้หลาย Platform — และ มว. ไม่มีช่องทางนำ Output สู่ตลาดจริง ผู้รับผิดชอบ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติเป็นเจ้าภาพสร้าง National DQI Coordinating Mechanism
สมอ. ยังไม่มี Machine-readable Standards — มอก. เป็น PDF ที่ระบบ ERP/MES อ่านไม่ได้	ห่วงโซ่การผลิตและ Digital Product Passport ไม่สามารถ Reference มอก. โดยตรงได้ — ผู้ประกอบการต้องแปลงข้อมูลเอง เพิ่มต้นทุนและเพิ่มความเสี่ยงข้อผิดพลาด ผู้รับผิดชอบ: สมอ. เป็นเจ้าภาพหลัก โดยมี กระทรวงอุตสาหกรรม และ กระทรวงดิจิทัลฯ สนับสนุน
ONSC ยังไม่ Accredit หน่วยงานออก Digital Certificate — Scope ของ Accreditation ยังไม่ครอบคลุม Digital Conformity	Digital Certificate ที่ห้องทดสอบออก ไม่ว่าจะ Format ดีแค่ไหน ก็ไม่มี Internationally Recognized Accreditation รองรับ — EU และตลาดสากลจะไม่ยอมรับโดยอัตโนมัติ ผู้รับผิดชอบ: ONSC (สมอ.) เป็นเจ้าภาพ โดยดำเนินการตาม IAF MD 4 และ ILAC G20 สำหรับ Digital Accreditation
เครือข่ายห้องทดสอบยังออก PDF Certificate — ยังไม่มี Transition Plan สู่ Digital Certificate	แม้ มว. มี DCC Infrastructure และ ONSC ขยาย Scope แล้ว แต่หากห้องทดสอบกว่า 1,200 แห่งยังออก PDF — ผู้ส่งออกไทยยังถูก Reject จากระบบ EU Automated Customs ต่อไป ผู้รับผิดชอบ: กระทรวงอุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด Transition Timeline และ ONSC สนับสนุน Capacity Building

ยังไม่มีระบบ Digital Market Surveillance — การกำกับดูแลตลาดยังเป็น Manual และแยกส่วน	ไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก DPP Data ที่ไหลเข้ามาเพื่อตรวจจับสินค้าไม่ได้มาตรฐานได้ — เสียโอกาสในการยกระดับการกำกับดูแลตลาดซึ่งเป็น Last Line of Defense ของ NQI ผู้รับผิดชอบ: กรมการค้าภายใน, อย., กรมศุลกากร ร่วมกับกระทรวงดิจิทัลฯ ออกแบบ Data Sharing Architecture
--	---

4.7.6 สถาปัตยกรรม Digital NQI ของไทย (4 ชั้น)

สถาปัตยกรรม Digital NQI ที่ควรสร้างขึ้นประกอบด้วย 4 ชั้น เชื่อมโยงกันจากระดับบนลงล่าง ดังนี้

ชั้น	องค์ประกอบและสถานะปัจจุบัน
ชั้น 1: ระดับสากล (Global)	BIPM, OIML, ISO/IEC, ILAC/IAF, UNECE/UN/CEFACT — มาตรฐานและกรอบสากลที่ไทยต้องเชื่อมต่อ
ชั้น 2: ระดับภูมิภาคและสนธิสัญญา (Regional & Treaty)	CIPM MRA, ILAC MRA, WTO TBT, EU ESPR/DPP, ASEAN MRA — ข้อตกลงที่กำหนดเงื่อนไขการค้า
ชั้น 3: ระดับไทย (วันนี้)	มว. DCC ☒ ผ่านการทดสอบแล้ว สมอ. ⚠️ Digital ไม่ครบ ONSC ⚠️ MRA ไม่ครบ DQI Platform ⚠️ รอ Deploy DPCCE Link ⚠️ รอ Connect
ชั้น 4: ระดับตลาด/อุตสาหกรรม	ผู้ผลิต/ส่งออก, ห้องทดสอบ, Digital Product Passport, Automated Customs — ผู้ใช้ปลายทางที่จำเป็นต้องเข้าถึง Digital Certificate ได้โดยตรง

4.7.7 Roadmap การพัฒนา Digital NQI — 3 เสา 3 ระยะ

เสา / ระยะเวลา	กิจกรรมและผลลัพธ์ที่ต้องการ
เสาที่ 1: Digital Measurement Foundation (ระยะ 1: ภายใน 6 เดือน)	มว. เริ่ม Pilot จริงกับ Lab นำร่องและลูกค้า EV Battery Sector สมอ. Digitise มอก. Standards ให้เป็น Machine-readable ONSC ขยาย Scope สู่ Digital Certificate กำหนด Timeline ชัดเจนว่าเดือนไหน Lab ไหนต้อง Comply

เสาที่ 2: National Certificate Platform (ระยะ 2: ก่อน Deadline 6 เดือน)	จัดตั้ง Thai National DQI Portal สร้าง Digital Product Passport System เชื่อม API กับ National Single Window ส่งหนังสืออย่างเป็นทางการเพื่อเข้าร่วม UN/CEFACT DPCCE Working Group
เสาที่ 3: Global Connectivity (ระยะ 3: ปี 2571–2573)	Register กับ EU DPP Central Registry ทันทีที่เปิด (กรกฎาคม พ.ศ. 2569) Implement UN/CEFACT DPCCE Protocol เต็มรูปแบบ วางตำแหน่งไทยให้เป็น ASEAN Reference Node ด้าน Digital Conformity Assessment

โอกาสเชิงยุทธศาสตร์ของไทยใน ASEAN

ยังไม่มีประเทศใดใน ASEAN มี Comprehensive Digital QI Framework — Window ยังเปิดอยู่ ประเทศ ASEAN ที่สร้าง National DQI และเชื่อมกับ EU Registry ก่อน จะเป็น Regional Hub ด้าน Conformity Assessment ซึ่งหมายถึงรายได้จากการให้บริการรับรองแก่ประเทศอื่นในภูมิภาค

เปรียบเทียบ: EU เป็น Rule Maker สร้าง DPP Registry กลาง | ออสเตรเลีย (NATA) เป็น Project Lead ของ UN/CEFACT DPCCE | จีน (CAICT) เปิดตัว National DPP เมษายน พ.ศ. 2568 และขอ Mutual Recognition กับ EU ไปแล้ว | ไทยยังมีเวลาถ้าเริ่มตอนนี้

การศึกษาเชิงเทคโนโลยีในบทที่ 4 ได้ระบุเทคโนโลยีเป้าหมาย ลักษณะของ NQI ที่จำเป็น และความท้าทายของ NQI ในยุคที่เทคโนโลยีเปลี่ยนเร็ว ข้อค้นพบเหล่านี้นำไปสู่คำถามสำคัญในบทที่ 5 ว่า ใครควรลงทุน ลงทุนอย่างไร และด้วยกลไกใด จึงจะทำให้ NQI ที่จำเป็นเกิดขึ้นได้จริงในระยะเวลาที่เหมาะสม

4.7.8 นัยเชิงการลงทุน: FF / SF / ST สำหรับ Digital NQI

การพัฒนา DQI ต้องใช้ทุนหลายประเภทตามลักษณะของงาน การกำหนดทุนผิดประเภท เช่น ให้ทุน SF กับ สิ่งที่ควรเป็น National Public Goods จะทำให้ต้นทุนการพัฒนาสูงเกินจำเป็นและ Access ไม่ทั่วถึง ตารางนี้ แสดงตรรกะการเลือกทุนสำหรับแต่ละส่วนประกอบของ DQI:

ส่วนประกอบ DQI	ทุนที่เหมาะสม	เหตุผลและตรรกะการลงทุน	ลำดับความสำคัญ
DCC Infrastructure & SI Digital Framework Research — วิธีการวัดใหม่สำหรับ เทคโนโลยีอุบัติใหม่	ST เป็นหลัก	เป็นการสร้าง Scientific Infrastructure ใหม่และ Pre-normative Research — ยังไม่มีตลาดรับ Cost โดยตรง แต่เป็นพื้นฐานที่ DQI ทั้งระบบต้องการ	★★★ เร่งด่วน — Asset พร้อม รอ Deploy

Digital Standards — มอก. Machine-readable, Linked Data, Compatible กับ ISO/IEC Digital Framework	FF เป็นหลัก	เป็น National Public Goods ที่ผลประโยชน์ตกกับผู้ประกอบการทุกภาคส่วน — ไม่มีกลไกตลาดที่จะรับ Cost ได้ หน่วยงานรัฐต้องลงทุนเพื่อประโยชน์สาธารณะ	★★★ เร่งด่วน — Prerequisite ของ DQI ทั้งระบบ
Digital Accreditation — ขยาย ONSC Scope ครอบคลุม Digital Certificate Issuers ตาม IAF/ILAC	FF	เป็นหน้าที่หลักของรัฐในการสร้าง Trust Infrastructure — การรับรองระบบงานเป็นบริการสาธารณะที่ตลาดไม่สามารถให้เองได้ เป็น Prerequisite ก่อน Digital Certificate มีความหมาย	★★★ เร่งด่วน — Bottleneck หลักของระบบ
Digital Conformity Assessment Tools — ระบบออก Digital Certificate สำหรับภาคส่งออก (EV, Electronics, Textile, Food)	SF + ร่วมลงทุนเอกชน	เชื่อมโดยตรงกับอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ และมีตลาดรองรับ — ห้องทดสอบสามารถ Charge ค่าบริการ Digital Certificate ได้ หาก Ecosystem พร้อม ภาคเอกชนควรร่วมลงทุนในส่วนที่ตลาดรับ Cost ได้	★★★ เร่งด่วนมาก — Deadline EV Battery 2570
National DQI Platform — Portal กลางที่รวม Digital Certificate ทุกประเภทและเชื่อม API กับ National Single Window	FF + SF	Platform = National Public Infrastructure (FF); Sector-specific Modules = Strategic Investment (SF) — แยกส่วนให้ชัดเจนเพื่อหลีกเลี่ยงการให้ทุน SF กับส่วนที่ควรเป็น Public Goods	★★★ เร่งด่วนมาก — Backbone ของทั้งระบบ
DPCCE Protocol Integration — เข้าร่วม UN/CEFACT Working Group และ Implement Protocol อย่างเป็นทางการ	FF + SF	ผลประโยชน์ตกกับระบบการค้าของไทยทั้งประเทศ — ไม่มีตลาดรับ Cost ของการเข้าร่วม Working Group โดยตรง แต่ ROI สูงมากเมื่อคิดจากมูลค่าสินค้าส่งออกที่ได้รับประโยชน์	★★ เร่งด่วน — ไทยยังไม่อยู่ใน WG
Digital Market Surveillance — ระบบ Data Analytics ตรวจสอบสินค้าไม่ได้มาตรฐานโดยใช้ DPP Data	FF + งบประมาณแผ่นดิน	เป็นภารกิจกำกับดูแลตามกฎหมาย — ไม่มี Commercial model ที่จะรับ Cost ได้ รัฐต้องลงทุนเพื่อคุ้มครองผู้บริโภคและความเป็นธรรมในตลาด	★ ระยะกลาง — ต่อยอดจาก DPP Data

นัยสำหรับ สกสว.: DQI เป็น Cross-cutting Investment ที่ต้องประสาน FF / SF / ST พร้อมกัน

DQI ไม่สามารถขับเคลื่อนด้วยทุนประเภทเดียว — National Platform, Digital Standards และ Digital Accreditation ต้องการ FF เพราะเป็น Public Infrastructure; Sector-specific Tools ต้องการ SF เพราะมีตลาดรองรับ; DCC Research ต้องการ ST เพราะเป็น Scientific Foundation

ลำดับความสำคัญ: ควรเร่งส่วนที่เป็น Prerequisite ก่อน — ONSC Digital Accreditation Scope + National DQI Platform เป็น Bottleneck หลัก หากสองส่วนนี้ไม่พร้อม การลงทุนใน Sector-specific Tools จะมีผลลัพธ์จำกัด

ความเสี่ยงที่ต้องระวัง: หากแต่ละหน่วยงานใช้ทุน SF พัฒนาระบบของตัวเองโดยขาด Common Data Standard ร่วมกัน จะเกิด Digital Silos ที่ลงทุนแล้วแต่ทั้งระบบยังไม่ทำงาน — สกสว. ควรกำหนดเงื่อนไขการให้ทุน DQI ว่าต้องเชื่อมกับ National DQI Platform และใช้ DPCCE-compatible Data Standard

ตารางต่อไปนี้ออกแบบเพื่อใช้สังเคราะห์ผลการวิเคราะห์จากบทที่ 3-5 ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้ประกอบการจัดลำดับความสำคัญ การมอบหมายหน่วยงานรับผิดชอบ และการเลือกกลไกทุนได้สะดวกขึ้น โดยยังคงเห็นตรรกะเชื่อมโยงระหว่างเทคโนโลยี อุตสาหกรรม ความต้องการด้าน NQI และนโยบาย

เทคโนโลยี / กลุ่มเทคโนโลยี	อุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้อง	ความต้องการด้าน NQI	ระดับ NQI	หน่วยงานหลักที่เกี่ยวข้อง	กลไกทุนที่เหมาะสม	ข้อสังเกตจากการวิเคราะห์	นัยเชิงนโยบาย / แนวทางดำเนินการ
Advanced Biotechnology / Genomics	เกษตร อาหาร สุขภาพ	การทดสอบความปลอดภัยทางชีวภาพ วิจัยและพัฒนาวิธีทดสอบใหม่ ห้องปฏิบัติการมาตรฐาน	ต้นน้ำ + กลางน้ำ	NMI / มหาวิทยาลัย / ห้องปฏิบัติการเฉพาะทาง	ST + SF	ฐานวิจัยมีอยู่บางส่วน แต่ยังคงเสริมความเชื่อมโยงจากงานวิจัยสู่แพลตฟอร์มมาตรฐานและการใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม	เริ่มจาก pre-normative research และ biosafety testing ที่เชื่อมกับอุตสาหกรรมอาหารและสุขภาพ
Precision Fermentation / Synthetic Biology	อาหารและชีวภาพ	วิธีวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ ระบบรับรอง Novel Food / Functional Food ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาอาหาร	กลางน้ำ + ปลายน้ำ	หน่วยงานมาตรฐานอาหาร / ห้องแล็บรัฐและเอกชน / หน่วยกำกับดูแล	SF + FF	มีโอกาสสูงจากฐานวัตถุดิบและตลาดอาหารมูลค่าสูงของไทย	เร่งสร้างความพร้อมด้าน testing และ regulatory pathway ควบคู่กับการยกระดับข้อมูลคุณภาพ
Semiconductor & Advanced Electronics	อิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง การลงทุนต่างประเทศ	การสอบเทียบความแม่นยำสูง ห้องทดสอบเฉพาะทาง ระบบ traceability การรับรองกระบวนการผลิต	กลางน้ำ	NMI / เครือข่าย ห้องปฏิบัติการ / ภาคเอกชน	SF + ร่วมลงทุนเอกชน	อุปสงค์จากการลงทุนเกิดขึ้นชัดเจน มีความเร่งด่วนสูง	พัฒนา consortium ด้านสอบเทียบและทดสอบเพื่อรองรับการ ramp-up ของโรงงานใหม่
EV Battery & Key Parts	ยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่	การสอบเทียบเครื่องมือจำนวนมาก การทดสอบความปลอดภัยและสมรรถนะแบตเตอรี่ ระบบการรับรองที่ยอมรับสากล	กลางน้ำ + ปลายน้ำ	ห้องแล็บรัฐ/เอกชน หน่วยกำกับดูแล	SF + FF + ร่วมลงทุนเอกชน	ความต้องการมีปริมาณสูงและต้องตอบสนองทันเวลา	ควรสร้างกลไกเครือข่ายบริการ และ roadmap การพัฒนา ขอบข่ายทดสอบที่ชัดเจน
Medical Technologies / Genomic Medicine	การแพทย์และสุขภาพ	มาตรฐานห้องปฏิบัติการชีวการแพทย์ การทดสอบทางคลินิก การรับรองเทคโนโลยีการแพทย์	ต้นน้ำ + กลางน้ำ + ปลายน้ำ	มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล วิจัย ห้องปฏิบัติการอ้างอิง หน่วยกำกับดูแล	ST + SF + FF	งานวิจัยมีความลึกบางด้าน แต่ต้องเสริม ecosystem ด้านมาตรฐานและการรับรอง	เลือกลงทุนแบบมุ่งเป้าในสาขาที่ไทยมีศักยภาพเชิงคลินิกและโครงสร้างพื้นฐานรองรับ
AI in Manufacturing / Digital Systems	การผลิตอัจฉริยะ ดิจิทัลอุตสาหกรรม	มาตรฐาน interoperability วิธีประเมินความน่าเชื่อถือ ความแม่นยำ และ bias ของระบบ	ต้นน้ำ + กลางน้ำ	หน่วยมาตรฐานดิจิทัล สถาบันวิจัย ห้องทดสอบซอฟต์แวร์	ST + SF	มีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มการประยุกต์ใช้ AI ในภาคอุตสาหกรรม	จัดลำดับลงทุนใน use case ที่มีความต้องการจากภาคผลิตจริง และเชื่อมกับมาตรฐานสากล
Clean Energy / Solar / Hydrogen	พลังงานสะอาด สิ่งแวดล้อม	มาตรฐานการวัดประสิทธิภาพ การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ การรับรองผลิตภัณฑ์	ต้นน้ำ + กลางน้ำ + ปลายน้ำ	NMI ห้องแล็บพลังงาน หน่วยงานมาตรฐานและกำกับดูแล	ST + SF + FF	มีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์จากแนวโน้มโลกและกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม	เลือกลงทุนในเทคโนโลยีที่เชื่อมกับตลาดและภาวะผูกพันด้านการค้าระหว่างประเทศ
Digital NQI / Digital Product Passport / DCC	ทุกอุตสาหกรรม โดยเฉพาะส่งออก	Digital calibration certificate มาตรฐานข้อมูลกลาง ระบบตรวจสอบย้อนกลับและเชื่อมโยงข้อมูลคุณภาพ	ข้ามระดับ	หน่วยงาน NQI ร่วมกับ หน่วยงานดิจิทัลและกำกับดูแล	SF + FF	เป็น infrastructure เชิงระบบที่หนุนการแข่งขันข้ามสาขา	ให้ความสำคัญเชิงเร่งด่วน พร้อมกำหนด common data standard และสถาปัตยกรรมร่วมระดับประเทศ

บทที่ 5 เกณฑ์ในการพิจารณาลงทุน

บทที่ 2-4 ได้ตอบคำถามว่า NQI ที่ควรพัฒนามีลักษณะอย่างไร รองรับเทคโนโลยีใด และอยู่ในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ หรือปลายน้ำ บทนี้ก้าวต่อไปสู่คำถามที่ผู้กำหนดนโยบายต้องตอบในทางปฏิบัติ คือ "ใครควรลงทุน ลงทุนอย่างไร และใช้กลไกใด"

การทำความเข้าใจลักษณะงาน วัตถุประสงค์ และเงื่อนไขของแต่ละแหล่งทุนมีความสำคัญมาก เพราะ NQI ประเภทเดียวกันอาจใช้แหล่งทุนที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความพร้อมของตลาดและลักษณะงาน ตัวอย่างเช่น การพัฒนา NQI สำหรับเทคโนโลยีใหม่ที่ยังไม่มีมาตรฐานรองรับ เหมาะกับทุน ST ในขณะที่ NQI กลางน้ำที่รองรับอุตสาหกรรมเป้าหมายตามหมวดหมู่ของประเทศ เหมาะกับทุน SF มากกว่า การเลือกแหล่งทุนที่สอดคล้องกับลักษณะงานจึงช่วยให้การลงทุนสร้างผลลัพธ์ได้ตรงตามเป้าหมาย

5.0 กรอบความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งทุนของกองทุน ววน.

กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ซึ่งบริหารโดย สกสว. มีงบประมาณรายปีรวมประมาณ 20,000 ล้านบาท แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน การเลือกแหล่งทุนที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาจากลักษณะงาน ไม่ใช่จากชื่อเทคโนโลยีหรือหน่วยงานผู้ลงทุน

ประเภททุน	วัตถุประสงค์หลัก	ผู้รับทุนหลัก / สัดส่วน	ลักษณะงาน NQI ที่เหมาะสม
ทุน FF (Fundamental Fund) ทุนมูลฐาน ~35-40% ของกองทุน ววน.	พัฒนาศักยภาพด้าน ววน. ของหน่วยงานให้มี ความเข้มแข็งในภาพรวม สนับสนุนงานวิจัย พื้นฐานที่สร้างองค์ความรู้ใหม่ ตอบ พันธกิจของหน่วยงาน	มหาวิทยาลัยและหน่วยงานใน/นอก กระทรวง อว. โครงการ Multi-year ≤3 ปี สนับสนุนนักวิจัยใหม่ ≥20%	NQI ต้นน้ำ: Pre-normative Research สร้างวิธีการวัดและทดสอบใหม่สำหรับเทคโนโลยีอุบัติใหม่ การพัฒนา Reference Materials และ Calibration Methods ใหม่ การวิจัยด้านมาตรวิทยาขั้นสูงในสาขาที่ไทยต้องการสร้างความสามารถ การศึกษาและพัฒนา มาตรฐานใหม่ในระดับ National Standard
ทุน SF (Strategic Fund) ทุนเชิงกลยุทธ์	สนับสนุนงานวิจัยและนวัตกรรมที่ตอบโจทย์เป้าหมายเชิง	หน่วยบริหารและจัดการทุน (PMU) เช่น บพข. บพค. บพท. บว. บริหาร	NQI กลางน้ำที่สอดคล้องกับอุตสาหกรรม ยุทธศาสตร์: การพัฒนาห้องปฏิบัติการ ทดสอบและรับรองสำหรับ EV, Semiconductor, Medical Devices,

~60–65% ของ กองทุน ววน.	ยุทธศาสตร์ของ ประเทศ 13 หมวด หมาย นำ ผลงานวิจัยไปใช้ ประโยชน์เชิง เศรษฐกิจและ สังคม	จัดการผ่าน Program Management	Food Ingredients การพัฒนา NQI Consortium สำหรับอุตสาหกรรมเป้าหมาย การพัฒนา Digital NQI (DCC, Digital Certification Platform) NQI เพื่อรองรับ การส่งออกในอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ตาม หมวดหมาย
ทุน ST (Science & Technology Development Fund) ทุน พัฒนา วท. ~1,000 ล้าน บาท/ปี	พัฒนาโครงสร้าง พื้นฐานด้าน วิทยาศาสตร์ รวมถึงโครงสร้าง พื้นฐานทาง คุณภาพ พัฒนา กำลังคนด้าน ววน. ส่งเสริมโครงการ ลงทุนขนาดใหญ่	หน่วยงานใน/นอก กระทรวง อว. ที่มี พันธกิจด้าน โครงสร้างพื้นฐาน เช่น มว. สวทช. สถาบันมาตรฐานฯ	NQI โครงสร้างพื้นฐาน: การลงทุนเครื่องมือ วัดอ้างอิงระดับชาติ (National Measurement Standards) การพัฒนา ห้องปฏิบัติการ Metrological Calibration สำหรับเทคโนโลยีใหม่ การสร้าง Accreditation Capacity สำหรับ CAB ใน สาขาที่ยังไม่มี การพัฒนา Pre-normative Research Infrastructure
งบประมาณ แผ่นดิน / แผน บูรณาการ	รองรับภารกิจที่รัฐ ต้องให้บริการเป็น ประโยชน์ สาธารณะ ความ มั่นคง และความ ปลอดภัย	กรม/หน่วยงานที่มี กฎหมายรองรับ เช่น สมอ. มว. กรมวิทย์ กรมวิ ทยบริการ	NQI ปลายน้ำ: การกำกับดูแลตลาด การ คุ้มครองผู้บริโภค Legal Metrology การ รักษาความสามารถ NQI พื้นฐานที่มีอยู่แล้ว และจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน การบังคับใช้กฎหมายมาตรฐานและการ ทดสอบสินค้าบังคับ

หลักการสำคัญในการเลือกแหล่งทุน
ถามก่อนเสมอว่า "งาน NQI นี้อยู่ระดับใด" — ต้นน้ำ (สร้างความรู้ใหม่) → FF หรือ ST กลางน้ำ (รองรับการผลิตและส่งออก) → SF ปลายน้ำ (กำกับดูแลตลาด) → งบแผ่นดิน
ถามต่อว่า "มีตลาดพร้อมหรือไม่" — ถ้ามีตลาดชัดเจนและภาคเอกชนน่าจะลงทุนเองได้ รัฐไม่ควรอุดหนุน Supply-side แต่อาจอุดหนุน Demand-side ผ่าน Voucher หรือ Tax Incentive
งาน NQI ขึ้นเดียวอาจต้องใช้หลายแหล่งทุนพร้อมกัน เช่น การพัฒนา NQI สำหรับ EV Battery: ST สำหรับเครื่องมือวัด → FF สำหรับ Pre-normative Research → SF สำหรับห้องปฏิบัติการทดสอบ → งบแผ่นดินสำหรับการรับรองระบบงาน

5.1 กลยุทธ์การลงทุน NQI

การวางกลยุทธ์การลงทุน NQI พิจารณาจาก 2 แกนหลัก ได้แก่ ผู้รับผิดชอบการลงทุน และ ผู้รับประโยชน์ โดยจำแนกบริการ NQI ออกเป็น 4 กลุ่ม ตามประโยชน์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความมั่นคงของชาติ ความปลอดภัยสาธารณะ การนำสินค้าเข้าตลาด และความได้เปรียบทางการค้า

กลยุทธ์	แนวทางและเหตุผล
กลยุทธ์ที่ 1: ภาครัฐลงทุนหลัก	สำหรับบริการ NQI ที่เกี่ยวกับความมั่นคงของชาติและความปลอดภัยสาธารณะ ซึ่งเป็นบริการสาธารณะที่ตลาดเอกชนไม่สามารถรับผิดชอบได้เพียงลำพัง รัฐลงทุนและดำเนินการเอง ยกเว้นในส่วนที่ภาคเอกชนมีขีดความสามารถและควรให้เกิดการแข่งขัน
กลยุทธ์ที่ 2: ภาครัฐและเอกชนร่วมลงทุน	สำหรับบริการที่ยกระดับคุณภาพสินค้าและเทคโนโลยี โดยเฉพาะบริการที่ต้องการการลงทุนสูง มีความเสี่ยงสูง หรือระยะเวลาคืนทุนยาวนานเกินกว่าเอกชนจะลงทุนได้เพียงลำพัง รัฐร่วมลงทุนในช่วงแรก แต่ไม่รับภาระดำเนินการระยะยาว
กลยุทธ์ที่ 3: ภาคเอกชนลงทุนหลัก	สำหรับบริการ NQI ที่รองรับการค้าระหว่างประเทศและมีความต้องการตลาดชัดเจน รัฐทำหน้าที่สร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการลงทุน เช่น มาตรการภาษี นโยบายสร้างอุปสงค์ และการอุดหนุนการลงทุนครั้งแรก

สำหรับการลงทุนตามกลยุทธ์ที่ 1 และ 2 ภาครัฐควรจัดลำดับความสำคัญโดยมุ่งเน้นสาขาอุตสาหกรรมเป้าหมาย และเลือกลงทุนในเทคโนโลยีที่

- (1) สามารถประยุกต์ได้กับหลายอุตสาหกรรม
- (2) มีแนวโน้มว่าจะยังคงมีความสำคัญต่อไปในระยะเวลาหนึ่ง และ
- (3) หากขาดแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดคุณลักษณะสำคัญที่สร้างมูลค่าเพิ่ม

5.2 บทบาทของรัฐและหน่วยงาน NQI ภาครัฐ

การกำหนดบทบาทรัฐในการลงทุน NQI พิจารณาจาก 4 มิติหลัก ดังนี้

มิติ NQI	บทบาทของรัฐและแนวทางดำเนินการ
ความมั่นคงแห่งรัฐ	รัฐต้องลงทุนและดำเนินการเอง เนื่องจากเป็นประโยชน์สาธารณะและ ความต้องการบริการมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะสร้างตลาด บางกรณีอาจไม่เหมาะสมที่จะให้เอกชนรับผิดชอบ
ความปลอดภัยสาธารณะ (กรณีวิกฤต)	รัฐต้องลงทุนในระบบ NQI สำรอง (backup) เพื่อรองรับสถานการณ์ฉุกเฉินที่ต้องการการตัดสินใจและควบคุมสถานการณ์
ความปลอดภัยสาธารณะ (กิจที่ต้องดำเนินการเป็นประจำ)	ส่งเสริมให้ภาคเอกชนลงทุน โดยรัฐสร้างแรงจูงใจผ่านมาตรการด้านนโยบายและภาษี
ความต้องการทางการค้า (มิตินี้คือมิติที่จะรักษาความสามารถในการแข่งขัน)	รัฐร่วมลงทุนโดยสนับสนุนฝั่งผู้ใช้บริการ (Demand-side subsidy) ตามหลักการ "รัฐลงทุนแล้ว รัฐไม่แบกต้นทุน"
ความได้เปรียบทางการค้า (มิตินี้คือมิติที่จะสร้างความสามารถในการแข่งขันแบบก้าวกระโดด)	- รัฐสนับสนุนเชิงนโยบายโดยส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่และนวัตกรรมที่จะสร้างความได้เปรียบทางการค้าให้กับผู้ประกอบการไทย - หากรัฐเล็งเห็นว่าบริการ NQI ใดเป็นฟันเฟือง หรือคานงัดในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสาขาเป้าหมาย หรือเทคโนโลยีใหม่ที่มีแนวโน้มว่าจะเข้ามาแทนที่ หรือ disrupt เทคโนโลยีเดิม รัฐต้องร่วมลงทุนกับภาคเอกชนเพื่อลดความเสี่ยงของภาคเอกชน โดยรัฐวางแผนการลงทุน แผนบริหารความเสี่ยง แผนการประเมินและ exit plan ก่อนลงทุน

5.3 แหล่งงบประมาณและทุนตามประเภทงาน NQI

คณะนักวิจัยจำแนกงาน NQI ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก เพื่อให้การจัดสรรทุนมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังนี้

กลุ่มงาน NQI	แหล่งทุนที่เหมาะสม
NQI เพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ (ต้นน้ำ)	โครงสร้างพื้นฐาน: ทุน ST (Science & Technology Development Fund) วิธีการ กระบวนการ มาตรฐาน: ทุน SF (Strategic Fund)
NQI เพื่อรักษาความสามารถในปัจจุบัน (กลางน้ำและปลายน้ำ)	ทุน FF (Fundamental Fund) งบประมาณแผ่นดิน และงบประมาณแผนบูรณาการ

5.4 รูปแบบการอุดหนุนและเงื่อนไขการใช้

การอุดหนุนการพัฒนา NQI มี 2 รูปแบบหลัก ซึ่งมีจุดแข็งและเงื่อนไขการใช้ที่เหมาะสมแตกต่างกัน การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมจะกำหนดประสิทธิภาพของการลงทุนภาครัฐ

รูปแบบการอุดหนุน	เงื่อนไขที่เหมาะสมและตัวอย่าง
Supply-side Subsidy (อุดหนุนผู้ให้บริการ)	เหมาะสำหรับ: บริการ NQI ชั้นสูงที่เป็นประโยชน์สาธารณะและมีผู้ใช้บริการน้อยราย ผลลัพธ์: ผู้ให้บริการสามารถคิดค่าบริการต่ำลง ตัวอย่าง: การสอบเทียบเครื่องมือวัดความแม่นยำสูงสำหรับงานวิจัย
Demand-side Subsidy (อุดหนุนผู้ใช้บริการ)	เหมาะสำหรับ: บริการที่มีค่าใช้จ่ายสูง มีผู้ใช้จำนวนหนึ่ง และรัฐต้องการผลักดันอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ให้แข่งขันได้ ผลลัพธ์: ผู้ประกอบการใช้บริการมากขึ้น ตลาดบริการ NQI เติบโต รูปแบบ: 쿠폰 voucher ค่าใช้จ่ายหักลดภาษีได้ หรืออุดหนุนโดยตรง
หลักการสำคัญ	"รัฐลงทุนแล้ว รัฐไม่แบกต้นทุน" — เมื่อตลาดบริการ NQI มีขนาดเพียงพอให้ภาคเอกชนแข่งขัน รัฐอุดหนุนเฉพาะการลงทุนครั้งแรกเท่านั้น ไม่รับภาระอุดหนุนต่อเนื่อง นอกจากการสนับสนุนเชิงนโยบายที่สร้างอุปสงค์

5.5 กรอบการจัดลำดับความสำคัญในการลงทุน NQI

นอกเหนือจากกลยุทธ์และรูปแบบการอุดหนุน ผู้กำหนดนโยบายและกองทุน SRI จำเป็นต้องมีเครื่องมือสำหรับจัดลำดับว่าจะลงทุนใน NQI ด้านใดก่อน โดยพิจารณา 3 มิติพร้อมกัน ดังนี้

มิติการประเมิน	คำอธิบายและตัวชี้วัด
ความเร่งด่วน (Time Pressure)	มี Deadline ภายนอกกำหนดไว้หรือไม่ เช่น EU DPP Battery กฎภาพันท์ 2570, EU DPP Electronics 2570–2571, CBAM มีผลบังคับ — NQI ที่รองรับสินค้าเหล่านี้ต้องพัฒนาก่อน Deadline ไม่ใช่หลัง
ผลตอบแทนต่อเม็ดเงิน (ROI / Multiplier Effect)	NQI ที่ประยุกต์ใช้ได้กับหลายอุตสาหกรรมมีผลตอบแทนต่อเม็ดเงินสูงกว่า เช่น การพัฒนา DCC ที่ใช้ได้ทั้ง EV, Electronics และ Medical ดีกว่าการพัฒนาสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว
ความพร้อมของระบบนิเวศ (Ecosystem Readiness)	มีผู้ประกอบการพร้อมใช้บริการหรือไม่ มีห้องปฏิบัติการและบุคลากรพื้นฐานรองรับหรือยัง มีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอยู่ในไทยหรือเปล่า — NQI ที่ระบบนิเวศพร้อมกว่าสร้างผลกระทบได้เร็วกว่า

การนำ 3 มิติ นี้มาใช้ประเมิน NQI แต่ละสาขาพร้อมกัน ทำให้จัดกลุ่มลำดับความสำคัญได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

ประเภท NQI	ความ เร่งด่วน	ROI / Multiplier	ความพร้อม Ecosystem	ลำดับและแนวทาง
Digital Calibration Certificate (DCC) — Traceability Foundation สำหรับ EU DPP	สูงมาก (Deadline 2570)	สูง (ใช้ข้าม อุตสาหกรรม)	สูง (มว. พัฒนา แล้ว)	❶ ลงทุนทันที — มว. มี Asset พร้อม เร่ง Deploy และ Pilot กับ EV Battery Lab นำร่อง — National DQI Platform เชื่อม EU DPP Ecosystem ก.ค. 2569
NQI สำหรับ EV Battery และ Semiconductor	สูงมาก (FDI กำลัง เข้า)	สูง (มูลค่า FDI > \$500B)	กลาง (ต้อง พัฒนาเพิ่ม)	❶ ลงทุนทันที — สร้าง NQI Consortium ระหว่าง มว. + ห้องปฏิบัติการเอกชน
NQI สำหรับอาหารและเกษตร (Food Ingredients, GI)	กลาง (Deadline 2571–2573)	สูง (ส่งออก > \$95B/ปี)	สูง (มีโครงสร้าง พื้นฐาน)	❷ ลงทุนระยะกลาง — ต่อ ยอดจากระบบที่มีอยู่ เร่ง Digitise และ ขอ Mutual Recognition เพิ่มเติม
NQI ต้นน้ำสำหรับ Biotechnology และ AI	ต่ำ (ระยะ ยาว)	กลาง (ขึ้นกับ Policy)	ต่ำ (ต้อง สร้างใหม่)	❸ วางแผนระยะยาว — รอ ความชัดเจนของนโยบาย STI ก่อน เริ่ม ด้วย Pre-normative Research ขนาด เล็ก
NQI สำหรับ Carbon/Green Certification	กลาง (CBAM กำลังมา)	สูง (ส่งผลต่อ การส่งออกทุก สาขา)	ต่ำ–กลาง (เริ่มต้น)	❷ ลงทุนระยะกลาง — สร้างความสามารถด้าน Carbon Measurement และ Renewable Energy Certificate ก่อน Deadline CBAM

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ถึง 5 ได้นำเสนอการวิเคราะห์ใน 4 มิติ ได้แก่ นโยบายและบริบทระดับชาติ เทคโนโลยีเป้าหมายและ R&D ของไทย ลักษณะ NQI ที่จำเป็น และกรอบการลงทุน บทนี้สังเคราะห์ข้อค้นพบเหล่านั้นให้เป็นข้อสรุปที่ทดสอบสมมติฐาน และข้อเสนอแนะที่มีที่มาจากชัดเจนสำหรับผู้กำหนดนโยบายและกองทุน สกสว.

6.1 ข้อสรุปจากการทดสอบสมมติฐาน

ผลการศึกษสามารถทดสอบสมมติฐานทั้ง 5 ข้อที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

สมมติฐาน	ผลการทดสอบ
รัฐไม่มีนโยบาย NQI ที่ชัดเจน	ได้รับการยืนยัน: แม้รัฐให้ความสำคัญกับคุณภาพและมาตรฐานมาตั้งแต่แผนฯ ฉบับที่ 1 แต่ยังขาดนโยบาย NQI เฉพาะเจาะจงที่ครอบคลุมและมีกลไกประสานงานชัดเจน
รัฐมีนโยบายพัฒนา S&T เพื่อสร้างเทคโนโลยีของตนเอง	ได้รับการปฏิเสธบางส่วน: นโยบายจริงมุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มผลิตภาพ ไม่ใช่การสร้างเทคโนโลยีใหม่
ข้อมูลการให้ทุนวิจัยใช้เป็นตัวชี้วัดความเข้มข้นของ R&D ได้	ได้รับการยืนยันบางส่วน: ข้อมูล NRIIS ใช้เป็นแนวโน้มได้ แต่มีข้อจำกัดด้านความครบถ้วนและความเฉพาะเจาะจง
ทรัพยากรธรรมชาติและชีวภาพเป็นจุดแข็ง	ได้รับการยืนยัน: ไทยมีความได้เปรียบด้านวัตถุดิบ แต่ยังขาดการแปลงข้อได้เปรียบนี้เป็นเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง
ทำเลและความสัมพันธ์ระหว่างประเทศเอื้อต่อความเป็นผู้นำภูมิภาค	ได้รับการยืนยัน: สะท้อนผ่านมูลค่าการลงทุนจากต่างประเทศที่สูง แต่ยังคงพัฒนา NQI เพื่อรักษาและขยายข้อได้เปรียบนี้

6.2 ตาราง Mapping: เทคโนโลยีเป้าหมาย → NQI ที่ต้องพัฒนา → แหล่งทุน

ตารางต่อไปนี้จะเชื่อมโยงเทคโนโลยีเป้าหมายของแต่ละอุตสาหกรรมกับระดับ NQI ที่จำเป็น และแหล่งทุนที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจสามารถใช้เป็นกรอบในการพิจารณาจัดสรรงบประมาณ และทุนวิจัยได้โดยตรง

อุตสาหกรรม	เทคโนโลยีเป้าหมาย	ระดับ NQI	NQI ที่ต้องพัฒนา	แหล่งทุน
อาหาร	Food Ingredients & Additives	กลางน้ำ / ปลายน้ำ	Conformity Assessment, Market Surveillance, Lab Accreditation (ISO 17025)	FF และ งบประมาณแผ่นดิน
อาหาร	Precision Fermentation	ต้นน้ำ / กลางน้ำ	Novel Food Testing Methods, Purity Analysis, Biosafety Protocols	SF + ST
การแพทย์	Gene Editing & CRISPR	ต้นน้ำ	Pre-normative Research, Biosafety Testing, Reference Materials	ST
การแพทย์	Genome Sequencing (NGS)	กลางน้ำ	Proficiency Testing, Diagnostic Lab Accreditation, Data Integrity Standards	SF
การแพทย์	3D Bioprinting	ต้นน้ำ / กลางน้ำ	Material Characterization, Biocompatibility Testing, Sterility Testing	ST + SF
เกษตร	CRISPR-Cas9 ในพืช	ต้นน้ำ / กลางน้ำ	GMO Detection Methods, Biosafety Evaluation, Traceability Systems	ST + SF
ยานยนต์ EV	Battery & EV Systems	กลางน้ำ	Calibration (3,000+ instruments), Performance Testing, Emission Testing	FF + SF
พลังงาน	Perovskite Solar Cells	ต้นน้ำ / กลางน้ำ	Efficiency Measurement Standards, Durability Testing, Material Certification	ST + SF
Digital NQI	Digital Product Passport	Infrastructure ส่งผลกระทบ ต่อปลายน้ำ (ทุกสาขา)	Digital Calibration Certificate (DCC), Machine-readable Data Standards, Cybersecurity Protocols	FF + ST

6.3 ความเสี่ยงสำคัญและแนวทางบรรเทา

การพัฒนา NQI เป็นการลงทุนระยะยาวที่มีความเสี่ยงหลายมิติ การบริหารความเสี่ยงอย่างเป็นระบบจึงมีความสำคัญเท่าเทียมกับการวางแผนการลงทุน ตารางต่อไปนี้จะระบุความเสี่ยงสำคัญ 7 ประการ พร้อมระดับผลกระทบและแนวทางบรรเทา

ความเสี่ยง	โอกาสเกิด	ผลกระทบ	สาเหตุและหลักฐาน	แนวทางบรรเทา
ความไม่ต่อเนื่องของนโยบาย NQI	สูง	สูง	เกิดขึ้นจริงระหว่างโครงการ: การเปลี่ยนผู้บริหารในหน่วยงาน NQI นำไปสู่การยกเลิกโครงการที่อนุมัติแล้ว	บรรจุแผนพัฒนา NQI ในยุทธศาสตร์ชาติที่มีผลผูกพันข้ามรัฐบาล; กำหนดกลไก Interagency Steering Committee ที่มีอำนาจตัดสินใจชัดเจน
NQI ไม่ทันความต้องการของอุตสาหกรรม	สูง	สูง	กรณี EV Battery: ผู้ประกอบการต้องรอบริการสอบเทียบ 6 เดือน ซึ่งไม่สอดคล้องกับ timeline การเปิดโรงงาน	พัฒนากลไก NQI Consortium ระหว่างภาครัฐและเอกชน; จัดทำ NQI Readiness Roadmap ควบคู่กับ Investment Promotion Plan
การแตกกระจายของระบบ Digital NQI (Technical Lock-in)	สูง	สูง	แต่ละหน่วยงาน NQI กำลัง Digitise ระบบของตนเองโดยไม่มี Common Data Standard ร่วมกัน หากดำเนินการต่อในแนวทางนี้ จะเกิด "เกาะ Digital" ที่ลงทุนแล้วแต่คุยกันไม่ได้ ผู้ส่งออกต้องกรอกข้อมูลซ้ำหลายระบบ และใบรับรองดิจิทัลจะไม่สามารถ Verify ในระบบสากลได้	กำหนด National Common Data Standard และ Interoperability Protocol ก่อนที่แต่ละหน่วยงานจะพัฒนาระบบของตน; มอบให้สภาพัฒน์เป็นเจ้าภาพ National DQI Coordinating Committee; ออกแบบระบบให้ใช้ Open Standards ตาม UN/CEFACT DPCCE เพื่อหลีกเลี่ยงการผูกขาดกับ Proprietary Platform

ความเสี่ยงจากการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างประเทศ	สูง	กลาง	กลุ่ม Semiconductor & Advanced Electronics (42% ของ FDI) ล้วนใช้เทคโนโลยีและมาตรฐานจากต่างประเทศ	กำหนด Technology Transfer Conditions สำหรับผู้ประกอบการที่รับ BOI; ลงทุน NQI ต้นน้ำสำหรับเทคโนโลยี 3-5 กลุ่มที่มีศักยภาพสูงสุด
กฎระเบียบต่างประเทศเปลี่ยนแปลงเร็ว	กลาง	สูง	EU Digital Product Passport มีผลบังคับปี 2027; มาตรการภาษีตอบโต้ของสหรัฐฯ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างการค้าโลก	ตั้ง Regulatory Intelligence Unit ติดตามกฎระเบียบต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง; เชื่อมโยงกับองค์กร NQI นานาชาติเพื่อรับข้อมูลล่วงหน้า
การลงทุน NQI ข้ำซ้อนและไม่ประสานงาน	กลาง	กลาง	หลายหน่วยงานพัฒนา NQI ในสาขาเดียวกันโดยไม่มีกลไกประสานงาน; ทุนถูกใช้โดยไม่มีแผนระบบ	กำหนดเงื่อนไขการขอทุน NQI ให้ระบุว่าจัดอยู่ในระดับใด (ต้นน้ำ/กลางน้ำ/ปลายน้ำ); จัดทำ NQI National Database เพื่อป้องกันการซ้ำซ้อน
ขาดแคลนบุคลากรทักษะสูง	สูง	กลาง	อุตสาหกรรมยานยนต์ขาดบุคลากรด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และซอฟต์แวร์อย่างเร่งด่วน; NQI ต้นน้ำต้องการนักวิทยาศาสตร์เฉพาะทางซึ่งมีจำนวนจำกัด	บูรณาการการพัฒนาบุคลากรด้าน NQI เข้ากับระบบ Sandbox ของภาคอุตสาหกรรม; ส่งเสริมทุนการศึกษาเฉพาะทางในสาขาที่ขาดแคลนสูง

6.4 ตัวชี้วัดความสำเร็จ (KPIs) ตามข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การพัฒนา NQI มีความชัดเจนและสามารถติดตามความก้าวหน้าได้อย่างเป็นรูปธรรม คณะนักวิจัยเสนอตัวชี้วัดสำคัญตามแต่ละข้อเสนอแนะ ดังนี้

ข้อเสนอแนะ	ตัวชี้วัด (KPI)	เป้าหมาย / กรอบเวลา	หน่วยงานรับผิดชอบหลัก
❶ NQI สำหรับอุตสาหกรรมที่พร้อม	จำนวนห้องปฏิบัติการทดสอบ Food Ingredients ที่ได้รับการรับรอง ISO 17025	≥10 แห่ง / 3 ปี	มว. + กรมวิทยาศาสตร์บริการ + กระทรวงอุตสาหกรรม
❶ NQI สำหรับอุตสาหกรรมที่พร้อม	สัดส่วน Food Ingredients ที่ผลิตในประเทศเพิ่มขึ้น (ลดการนำเข้า)	+15% / 5 ปี	กรมวิชาการเกษตร + BOI + ผู้ประกอบการ
❶ NQI สำหรับอุตสาหกรรมที่พร้อม	ระยะเวลาให้บริการสอบเทียบสำหรับผู้ประกอบการใหม่ (EV, Semiconductor)	≤ 20 วัน / ปี 2	มว. + NQI Consortium
❷ NQI ต้นน้ำและเทคโนโลยีแกน	จำนวนเทคโนโลยีแกนที่ได้รับการกำหนดและมีแผน NQI รองรับ	≥3 กลุ่ม / 2 ปี	สกสว. + สวทช. + มว.
❷ NQI ต้นน้ำและเทคโนโลยีแกน	จำนวนโครงการ Pre-normative Research ที่ได้รับทุนในสาขาเทคโนโลยีแกน	≥5 โครงการ / ปี	สกสว. + บพข.
❸ Digital NQI	จำนวนใบรับรองสอบเทียบดิจิทัล (DCC) ที่ออกโดย มว. และห้องปฏิบัติการในเครือข่าย	≥1,000 ใบ / ปี 2	มว.
❸ Digital NQI	ความพร้อมของระบบ Digital NQI เพื่อรองรับ EU Digital Product Passport	100% / ก่อนปี 2027	มว. + กสทช. + กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
❹ เตรียมพร้อมเทคโนโลยีพลิกผัน	จำนวนบุคลากร NQI ที่ผ่านการอบรมในสาขา Quantum, Engineering Biology	≥50 คน / 3 ปี	สวทช. + มว. + มหาวิทยาลัย
❹ เตรียมพร้อมเทคโนโลยีพลิกผัน	จำนวนมาตรฐานระดับชาติที่พัฒนาขึ้นสำหรับเทคโนโลยีใหม่	≥5 มาตรฐาน / 5 ปี	มอก. + มว.

6.5 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษา คณะนักวิจัยมีข้อเสนอแนะ 4 ข้อหลัก ซึ่งเรียงตามลำดับความเร่งด่วน ดังนี้

ข้อเสนอแนะที่ 1: เร่งพัฒนา NQI สำหรับอุตสาหกรรมที่มีความพร้อมสูง

ให้ความสำคัญกับอุตสาหกรรมที่มีวัตถุดิบ เทคโนโลยี และผู้ประกอบการรองรับอยู่แล้ว โดยเน้น NQI กลางน้ำและปลายน้ำ ได้แก่ ระบบการตรวจสอบและรับรอง (Conformity Assessment) และการกำกับดูแลตลาด (Market Surveillance) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นของผู้บริโภคและกลไกตลาด

อุตสาหกรรมเป้าหมายเร่งด่วน
อุตสาหกรรมอาหาร: Food Ingredients, Food Additives, Therapeutic Foods, Modified Diets สำหรับผู้สูงอายุ
บริการทางการแพทย์: วัคซีนและผลิตภัณฑ์การแพทย์มูลค่าสูง ควบคู่กับการพัฒนา Medical Device Testing
แนวทางอ้างอิง: กรณีสิงคโปร์ที่ผลิต Flow Meter ทดแทนการนำเข้าสำเร็จ โดยเริ่มจากนโยบายชัดเจน + จุดแข็งของตลาด + กำหนดมาตรฐานคุณภาพที่ชัดเจน

ข้อเสนอแนะที่ 2: กำหนดเทคโนโลยีแกนและสร้างศักยภาพ NQI ต้นน้ำ

สำหรับเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มเป็นเทคโนโลยีฐานในระยะ 5–10 ปี เช่น Advanced Biotechnology & Engineering Biology, AI in Manufacturing, Imaging & Sensor Networks และ Autonomous Systems จำเป็นต้องตัดสินใจว่าประเทศจะพัฒนาเทคโนโลยีใดเป็นเทคโนโลยีแกน เนื่องจากการลงทุนพัฒนาทุกเทคโนโลยีไม่มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

สำหรับเทคโนโลยีที่กำหนดเป้าหมาย ให้ส่งเสริมการเข้าร่วมกิจกรรม Pre-normative Research ระดับสากล เช่น VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและเข้าถึงข้อมูล R&D ขั้นสูงจากนานาชาติ

ข้อเสนอแนะที่ 3: เร่งพัฒนา Digital NQI

การพัฒนา Digital NQI เป็นภาระหน้าที่เร่งด่วนที่ไม่อาจชะลอได้ โดยมีกำหนดเวลาที่แน่นอนจาก EU Digital Product Passport (2027) ให้ดำเนินการใน 3 มาตรการเร่งด่วน ดังที่ระบุในหัวข้อ 4.7

ข้อเสนอแนะที่ 4: เตรียมพร้อมสำหรับเทคโนโลยีที่จะสร้างความพลิกผัน

ใช้โอกาสในช่วงการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีครั้งสำคัญนี้ เพื่อสำรวจและสร้างความคุ้นเคยกับเทคโนโลยีที่คาดว่าจะสร้างความพลิกผันในอนาคต เช่น Quantum Technology และ Engineering Biology แม้ว่าไทยอาจยังไม่พร้อมสำหรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว แต่ต้องเตรียมพร้อมในการเป็น "ผู้ใช้ที่ฉลาดและรอบคอบ" รวมถึงต้องกำหนดว่า NQI ต้องพัฒนาหรือปรับเปลี่ยนอย่างไรเพื่อรองรับกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้น

6.6 ภาพอนาคต: NQI ไทย พ.ศ. 2573

หากดำเนินการตามข้อเสนอแนะทั้ง 4 ข้อในรายงานนี้อย่างต่อเนื่องและครบถ้วน ภายในปี พ.ศ. 2573 ระบบ NQI ของไทยจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

มิติ	ภาพอนาคตที่คาดหวัง
การส่งออกและการค้าระหว่างประเทศ	ผู้ส่งออก EV Battery ไทยผ่านระบบ EU Digital Product Passport ได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องทดสอบซ้ำในยุโรป ใบรับรองดิจิทัลที่ออกโดยหน่วยงานไทยเป็นที่ยอมรับโดยตรงในตลาดหลักของโลก ลดต้นทุนการส่งออกของผู้ประกอบการได้อย่างมีนัยสำคัญ
ตำแหน่งในอาเซียน	ไทยเป็น ASEAN Reference Node ด้าน Conformity Assessment และ Digital QI สร้างรายได้จากการให้บริการทดสอบและรับรองแก่ผู้ประกอบการจากประเทศเพื่อนบ้าน เป็นแหล่งดึงดูด FDI ด้านการผลิตอุตสาหกรรมขั้นสูงที่ต้องการ NQI ที่เชื่อถือได้
การรองรับนักลงทุนต่างชาติ	ผู้ประกอบการชั้นนำที่เข้ามาลงทุนในไทยสามารถรับบริการ NQI ได้ภายใน 30 วัน แทนที่จะเป็น 6 เดือนอย่างในปัจจุบัน กลไก NQI Consortium ดำเนินการได้จริงในอุตสาหกรรม EV, Semiconductor และการแพทย์
Digital NQI Ecosystem	ระบบใบรับรองดิจิทัลของหน่วยงาน NQI ทุกแห่งเชื่อมโยงกันผ่าน National Certificate Platform ผู้ประกอบการกรอกข้อมูลครั้งเดียวและระบบแชร์กันเองทุกหน่วยงาน ไม่มี "เกาะ Digital" ที่คุยกันไม่ได้
นวัตกรรมและ R&D	ผลการวิจัยในสาขาอาหารฟังก์ชัน, Advanced Materials และ Biotechnology ที่ผ่านการพิสูจน์ด้วยมาตรฐานการวัดที่ได้รับการยอมรับระดับนานาชาติ สามารถนำเข้าสู่ตลาดต่างประเทศได้โดยตรง ลดการพึ่งพาการทดสอบในต่างประเทศ

ผู้ประกอบการ SME	SME ไทยในอุตสาหกรรมอาหาร สมุนไพร และหัตถอุตสาหกรรมสามารถเข้าถึงบริการ NQI ผ่านระบบ Cluster-based Testing ในราคาที่เข้าถึงได้ และสามารถพิสูจน์คุณภาพสินค้าสำหรับตลาดระดับ Premium ได้
------------------	--

เงื่อนไขสำคัญที่จะทำให้ภาพอนาคตนี้เกิดขึ้นได้

ข้อเสนอแนะทั้ง 4 ข้อต้องดำเนินการพร้อมกัน ไม่ใช่ทีละข้อ เพราะ NQI เป็นระบบที่องค์ประกอบพึ่งพากัน — หาก NQI ต้นน้ำขาด กลางน้ำก็ไม่มีฐาน หาก Digital NQI ไม่เชื่อมกัน ทั้งระบบก็ยังไม่ทำงาน

ต้องมีกลไกระดับนโยบายที่มีอำนาจตัดสินใจและประสานงานข้ามกระทรวง ไม่ใช่คณะกรรมการที่ประชุมแล้วไม่มีผลผูกพัน

การลงทุนใน NQI ต้องเริ่มก่อน Deadline ไม่ใช่ตาม Deadline — NQI ที่สร้างหลัง Deadline ไม่สามารถแก้ปัญหาคาสุญเสียตลาดที่เกิดขึ้นแล้วได้

6.7 การประเมินเชิงยุทธศาสตร์: ถามอย่างไรจึงจะได้คำตอบที่ถูกต้อง

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการคิดและการวิเคราะห์ตลอดทั้ง 5 บท บทสุดท้ายนี้จึงสรุปกระบวนการดังกล่าวเป็นชุดคำถามที่ สกสว. สภาพัฒนา และผู้กำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ในการประเมิน วางแผน และตัดสินใจเกี่ยวกับ NQI ได้ด้วยตนเองในอนาคต

ระดับที่ 1: คำถามก่อนเริ่มวางแผน NQI ใด ๆ

คำถามชุดนี้เป็นประโยชน์ในการตรวจสอบความพร้อมของ NQI ก่อนวางแผนการลงทุน เพื่อให้การพัฒนา NQI สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง

คำถาม	เหตุที่ต้องถามและผลของคำตอบ
ประเทศไทยต้องการเป็น Technology User หรือ Technology Creator ในอุตสาหกรรมนั้น?	User → ต้องการ NQI กลางน้ำ รองรับการผลิตและการเข้าสู่ตลาด ใช้ทุน SF Creator → ต้องการ NQI ต้นน้ำ Pre-normative Research ใช้ทุน FF และ ST ตอบผิด → ลงทุน NQI ผิดระดับ ไม่ตอบโทษ
มีนโยบาย R&D ที่ชัดเจนและสอดคล้องกับ NQI ที่จะพัฒนาหรือไม่?	NQI ไม่สามารถสร้างประโยชน์ได้ตามลำพัง ต้องมี R&D ที่ใช้ NQI นั้นรองรับ หาก R&D ยังไม่มีทิศทาง การพัฒนา NQI ย่อมไม่คุ้มค่า

มีอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการที่จะใช้ NQI นั้นจริงหรือไม่ และมีขนาดเพียงพอหรือไม่?	ขนาดของตลาด NQI มีผลต่อความยั่งยืนของบริการในระยะยาว การประเมินขนาดอุปสงค์ก่อนลงทุนจะช่วยให้วางแผนการให้บริการได้สมจริงมากขึ้น
ถ้าไม่พัฒนา NQI นี้ จะเกิดอะไรขึ้น?	ถ้าคำตอบคือ "ไม่มีอะไรเปลี่ยน" แสดงว่า NQI นั้นยังไม่เร่งด่วน ถ้าคำตอบคือ "สูญเสียการส่งออก สูญเสียการลงทุน หรือผู้บริโภคไม่ได้รับการคุ้มครอง" แสดงว่าเร่งด่วน

ระดับที่ 2: คำถามสำหรับประเมินข้อเสนอโครงการ NQI

เมื่อมีข้อเสนอโครงการพัฒนา NQI เข้ามา คำถามชุดนี้ช่วยประเมินว่าควรสนับสนุนหรือไม่ และด้วยกลไกใด

คำถาม	สิ่งที่ต้องการรู้
NQI นี้อยู่ในระดับใด: ต้นน้ำ กลางน้ำ หรือ ปลายน้ำ?	กำหนดแหล่งทุนที่เหมาะสม (FF/ST/SF/งบแผ่นดิน) หากโครงการตอบคำถามนี้ไม่ได้ แสดงว่ายังไม่พร้อมรับทุน
เทคโนโลยีหรืออุตสาหกรรมที่จะรองรับคืออะไร และอยู่ในช่วงใดของวงจรชีวิต?	NQI ที่สร้างก่อนอุตสาหกรรมพร้อม = ลงทุนล่วงหน้า (ต้องการ FF/ST) NQI ที่สร้างพร้อมอุตสาหกรรม = ลงทุนพัฒนา (ต้องการ SF) NQI ที่สร้างหลังอุตสาหกรรมพร้อม = ลงทุนตาม (อาจเป็น SF หรือเอกชนลงทุนเอง)
มีหน่วยงานที่มีพันธกิจรับผิดชอบ NQI นี้ชัดเจนหรือไม่?	NQI ที่ไม่มี "เจ้าของ" ที่ชัดเจนมักไม่ยั่งยืน เพราะไม่มีใครดูแลรักษาหลังจากโครงการสิ้นสุด
หลังโครงการสิ้นสุด NQI นี้จะดำรงอยู่และมีการใช้งานต่อเนื่องได้อย่างไร?	แผนความยั่งยืนเป็นสิ่งจำเป็น ไม่ควรสนับสนุนโครงการที่ไม่มีคำตอบชัดเจนสำหรับคำถามนี้
มีข้อมูลหรือหลักฐานรองรับการประมาณการผลตอบแทนทางเศรษฐกิจหรือสังคมหรือไม่?	ผลตอบแทนไม่จำเป็นต้องเป็นตัวเงิน แต่ต้องมีตัวชี้วัดที่วัดได้ เช่น จำนวนผู้ประกอบการที่ได้ประโยชน์ มูลค่าการส่งออกที่เพิ่มขึ้น หรือต้นทุนที่ลดลง

ระดับที่ 3: คำถามสำหรับประเมินภาพรวมระบบ NQI ระดับประเทศ (ทบทวนทุก 1-2 ปี)

คำถาม	สิ่งที่ต้องการรู้
ความสามารถด้านการวัดของประเทศ สอดคล้องกับอุตสาหกรรมเป้าหมายใน แผนพัฒนาฯ ปัจจุบันหรือไม่?	ช่องว่างที่พบ = NQI ที่ต้องพัฒนาเร่งด่วน ให้ระบุ อุตสาหกรรมและ Measurand ที่ขาดอยู่
มาตรฐานไทยสอดคล้องกับตลาดส่งออก หลักหรือไม่ โดยเฉพาะตลาดที่มีกฎระเบียบ ใหม่เกิดขึ้น?	กฎระเบียบที่เปลี่ยนแปลง = NQI ที่ต้องปรับปรุงหรือพัฒนา ใหม่ ต้องมี Regulatory Intelligence Unit ติดตามอย่างต่อเนื่อง
การรับรองระบบงานของห้องปฏิบัติการ ไทยครอบคลุมเทคโนโลยีที่มีการลงทุนใหม่ หรือไม่?	นักลงทุนต่างชาติดูความพร้อมด้านนี้ก่อนตัดสินใจ ช่องว่างที่ พบ = สัญญาณเตือนก่อนที่จะสูญเสียโอกาส FDI
การกำกับดูแลตลาดมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะปกป้องผู้ประกอบการที่ดำเนินการ ถูกต้องหรือไม่?	Market Surveillance ที่อ่อนแอ = ผู้ทุจริตได้เปรียบ ตลาด เสื่อมคุณภาพ ส่งผลระยะยาวต่อความเชื่อมั่นในสินค้าไทย
NQI ถูกบูรณาการเข้ากับแผนด้าน ววน. และนโยบายอุตสาหกรรมแห่งชาติหรือไม่?	หาก NQI ไม่ปรากฏในแผนด้าน ววน. แสดงว่ายังไม่ได้รับ การให้ความสำคัญในระดับที่ควรเป็น ซึ่งจะนำไปสู่การลงทุน ที่กระจัดกระจายและขาดการประสานงาน

6.8 สังเคราะห์วิธีคิด: กรอบที่สามารถใช้ได้ซ้ำในทุกรอบการวางแผน

บทสุดท้ายนี้สังเคราะห์กรอบการคิดทั้งหมดที่รายงานฉบับนี้พยายามถ่ายทอดไว้ในที่เดียว เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และตัดสินใจในอนาคตได้ โดยไม่ต้องอ่านรายงาน ทั้งหมดซ้ำ

ก. ลำดับการคิดที่เสนอ: เริ่มจากเป้าหมาย ก่อนออกแบบ NQI

การพัฒนา NQI จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีเป้าหมายที่ชัดเจนตั้งแต่ต้น ลำดับการคิดที่เสนอ ต่อไปนี้เป็นแนวทางที่อาจเป็นประโยชน์ในการวางแผนการลงทุน NQI

ลำดับ	คำถามที่เป็นประโยชน์
1. เริ่มจากนโยบายและตลาด	"ประเทศไทยต้องการพัฒนาอุตสาหกรรมใด และตลาดโลกต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะอะไร" — คำตอบมาจากการทบทวนนโยบาย (บท 2) และ Technology Trends
2. ระบุเทคโนโลยีที่จำเป็น	"เทคโนโลยีใดที่จำเป็นต้องมีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะนั้น" — โดยเฉพาะ Enabling Technologies ที่ใช้ได้ข้ามอุตสาหกรรม
3. กำหนดบทบาทของไทยในห่วงโซ่มูลค่า	"ไทยจะเป็น Technology Creator หรือ Technology User" — คำตอบนี้บ่งชี้ระดับ NQI ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนา
4. ออกแบบ NQI ที่สอดคล้อง	"NQI ควรอยู่ระดับใด และแหล่งทุนใดเหมาะสม" — ต้นน้ำ → ST/FF, กลางน้ำ → SF, ปลายน้ำ → งบประมาณ
5. ประเมินและปรับแผนรอบถัดไป	"ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงสอดคล้องกับเป้าหมายเพียงใด" — ใช้ KPIs ที่ระบุในหัวข้อ 6.4 เป็นเกณฑ์ประกอบการพิจารณา

ข. คำถาม 5 ข้อที่เป็นประโยชน์ในการพิจารณาโครงการพัฒนา NQI

คำถามต่อไปนี้เป็นแนวทางที่อาจช่วยให้การพิจารณาโครงการ NQI มีความรอบคอบและสอดคล้องกับเป้าหมายมากขึ้น ทั้งนี้ผู้พิจารณาสามารถปรับน้ำหนักของแต่ละข้อตามบริบทและสถานการณ์ของแต่ละโครงการได้

คำถาม	เหตุผลและประโยชน์ของการมีคำตอบที่ชัดเจน
1. NQI นี้รองรับเทคโนโลยีหรืออุตสาหกรรมใดโดยเฉพาะ?	การระบุผู้ให้บริการให้ชัดเจนตั้งแต่ต้น จะช่วยให้ออกแบบ NQI ให้ตรงกับความต้องการจริง และวัดผลสำเร็จได้ง่ายขึ้นในภายหลัง
2. NQI นี้อยู่ในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ หรือปลายน้ำ?	การระบุระดับ NQI ช่วยให้เลือกแหล่งทุนได้เหมาะสมกว่า และทำให้ผู้เกี่ยวข้องเข้าใจตรงกันว่าโครงการมีวัตถุประสงค์อย่างไร
3. มีเป้าหมาย R&D หรือการผลิตที่จะใช้บริการ NQI นี้หรือไม่?	การพัฒนา NQI ควบคู่กับโครงการ R&D หรือแผนการผลิตที่ชัดเจน จะช่วยให้เกิดการใช้งานจริงและสร้างประโยชน์ได้เร็วกว่า
4. ภาครัฐหรือภาคเอกชนควรเป็นผู้นำในการลงทุน?	ในกรณีที่ตลาดมีความต้องการชัดเจนและภาคเอกชนมีความสามารถในการลงทุน ภาครัฐอาจสนับสนุนผ่านนโยบายหรือ

	มาตรการจูงใจ แทนการลงทุนโดยตรง ซึ่งจะช่วยให้งบประมาณสามารถนำไปใช้กับส่วนที่จำเป็นกว่าได้
5. มีแผนความยั่งยืนหลังสิ้นสุดโครงการหรือไม่?	การมีแผนดำเนินการต่อเนื่องที่ชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นรายได้ค่าบริการ งบประมาณหน่วยงาน หรือกลไกอื่น จะช่วยให้ NQI สร้างคุณค่าได้ในระยะยาว

ค. ประเด็นที่รายงานฉบับนี้เปิดไว้สำหรับการศึกษาต่อ

รายงานฉบับนี้มุ่งเน้นการสร้างกรอบการคิดและข้อเสนอแนะเชิงทิศทาง ยังมีประเด็นที่ต้องการการศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติม ซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาในระยะที่ 2 และ 3 ดังนี้

- การระบุเทคโนโลยีเฉพาะที่ไทยควรพัฒนาในฐานะ Technology Creator ควรผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างกว้างขวาง เพื่อให้การตัดสินใจสะท้อนศักยภาพและเป้าหมายของประเทศอย่างแท้จริง
- การพัฒนาระบบฐานข้อมูลความต้องการ NQI จากภาคอุตสาหกรรมโดยตรง จะเพิ่มความแม่นยำของการวางแผน NQI ในรอบถัดไปได้อย่างมีนัยสำคัญ
- การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์เชิงปริมาณของการลงทุน NQI เปรียบเทียบกับการใช้บริการจากต่างประเทศ จะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายได้ดียิ่งขึ้น
- การออกแบบกลไก NQI Consortium ระหว่างภาครัฐและเอกชนที่เหมาะสมกับบริบทไทย รวมถึงรูปแบบทางกฎหมายที่เอื้อต่อการดำเนินงานร่วมกัน

บทสรุปเชิงยุทธศาสตร์

โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ (NQI) มักมองไม่เห็นในสายตาสาธารณะเมื่อทำงานได้ดี แต่ความสำคัญจะปรากฏชัดเมื่อขาดหายหรืออ่อนแอ และมีคุณค่าเชิงยุทธศาสตร์สูงเมื่อผู้กำหนดนโยบายเข้าใจและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่

ประเทศที่ประสบความสำเร็จในการยกระดับอุตสาหกรรม มักลงทุนควบคู่กันใน 3 ด้าน ได้แก่ R&D และนวัตกรรม ระบบการผลิตและห่วงโซ่อุปทาน และ NQI ที่รองรับการนำผลการวิจัยไปสู่ตลาด การพัฒนาทั้งสามด้านควบคู่กันจะสร้างผลลัพธ์ได้ดีกว่าการพัฒนาตามลำดับ

รายงานฉบับนี้มุ่งหวังให้กรอบการคิดและชุดคำถามที่นำเสนอเป็นเครื่องมือที่ผู้กำหนดนโยบายและผู้บริหารกองทุนสามารถนำไปปรับใช้ได้เองในทุกกรอบการวางแผน ทั้งนี้ ความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่าง R&D เทคโนโลยี และ NQI จะช่วยให้การพัฒนา NQI ของประเทศมีทิศทางที่ชัดเจนและสอดคล้องกับความต้องการจริงมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาการทำแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ พบว่ามีคำถามจำนวนหนึ่งที่จะได้รับการถามก่อนเริ่มกระบวนการ จึงได้รวบรวมมาเป็นชุดคำถามเชิงยุทธศาสตร์ที่ควรใช้เป็นกรอบการประเมินและขับเคลื่อน NQI อย่างต่อเนื่อง คำถามเหล่านี้ไม่ใช่คำถามเชิงเทคนิค แต่เป็นคำถามเชิงยุทธศาสตร์ที่กำหนดการเติบโตระยะยาว

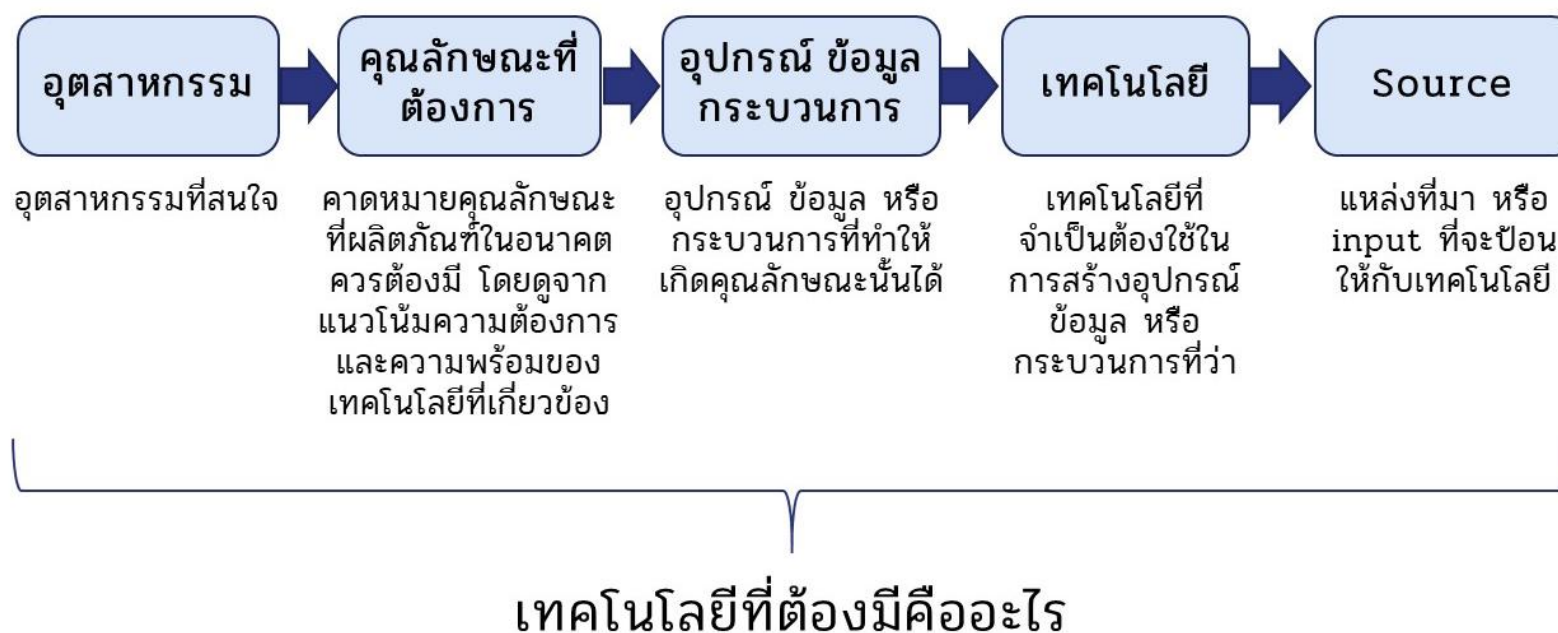
คำถามเชิงยุทธศาสตร์	นัยสำคัญต่อการตัดสินใจลงทุน
ความสามารถด้านการวัดของประเทศ สอดคล้องกับอุตสาหกรรมเป้าหมายหรือไม่?	หากไม่สอดคล้อง: การลงทุน R&D และ FDI อาจสร้างคอขวดในการผลิตและส่งออก แม้จะมีนโยบายส่งเสริมที่ดี
มาตรฐานไทยสอดคล้องกับมาตรฐานระหว่างประเทศและตลาดส่งออกหลักหรือไม่?	หากไม่สอดคล้อง: ผู้ประกอบการต้องรับรองสินค้าสองครั้ง เพิ่มต้นทุนและเวลา ลดความสามารถในการแข่งขัน
การรับรองระบบงานได้รับการยอมรับในระดับสากลหรือไม่?	หากไม่ได้รับการยอมรับ: ใบรับรองที่ออกโดยหน่วยงานไทยไม่สามารถใช้ในตลาดต่างประเทศได้ ต้องทดสอบซ้ำทุกตลาด
การกำกับดูแลตลาดป้องกันการแข่งขันที่เป็นธรรมหรือไม่?	หากไม่: ผู้ประกอบการที่ปฏิบัติตามกฎระเบียบเสียเปรียบผู้ที่ไม่ปฏิบัติตาม ตลาดสูญเสียความน่าเชื่อถือ
NQI ถูกบูรณาการเข้ากับแผนยุทธศาสตร์ STI และอุตสาหกรรมหรือไม่?	หากไม่: การพัฒนา NQI เกิดขึ้นอย่างกระจัดกระจาย ไม่ตอบโจทย์ความต้องการจริงของอุตสาหกรรม ลงทุนซ้ำซ้อน

บทสรุปเชิงยุทธศาสตร์
โครงสร้างพื้นฐานทางคุณภาพ (NQI) มองไม่เห็นเมื่อทำงานได้ดี แพงมากเมื่ออ่อนแอ และมีคุณค่าเชิงยุทธศาสตร์เมื่อเข้าใจอย่างถ่องแท้
ประเทศที่ประสบความสำเร็จในการยกระดับความสามารถทางอุตสาหกรรม ไม่ได้ลงทุนเพียง R&D เขตอุตสาหกรรม และมาตรการส่งเสริมการลงทุน แต่ยังลงทุนใน ความแม่นยำในการวัด ความชัดเจนของกฎระเบียบ และการยอมรับในระดับนานาชาติ
สำหรับประเทศไทย: การลงทุนใน NQI ไม่ใช่ต้นทุน แต่เป็นการบริหารความเสี่ยงทางเศรษฐกิจ และเป็น การวางรากฐานโครงสร้างพื้นฐานที่ทำให้นโยบายและการลงทุนอื่นๆ ทั้งหมดสร้างผลตอบแทนได้จริง

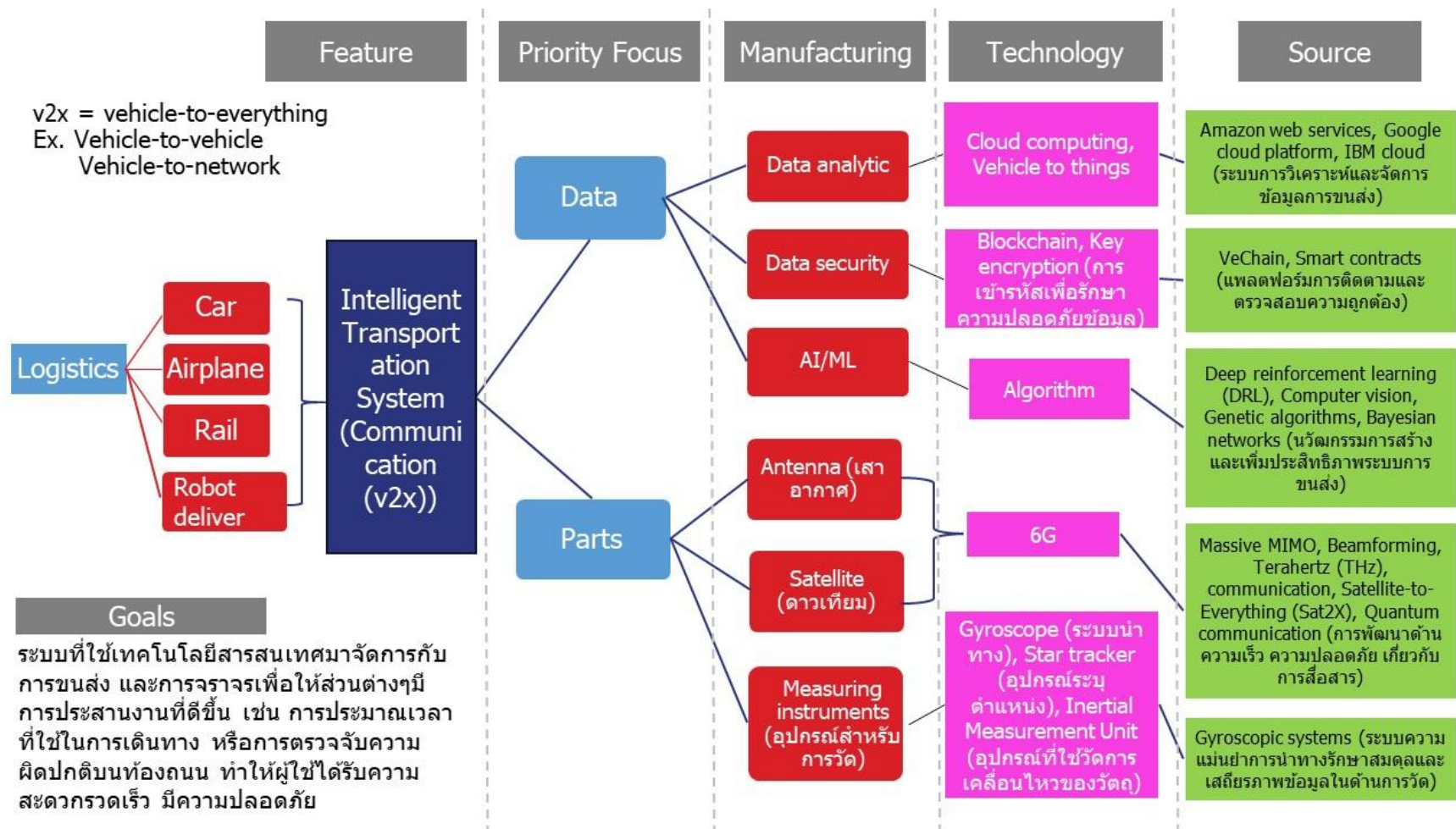
ภาคผนวก ก: การวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจในอุตสาหกรรมเป้าหมาย

ภาคผนวกนี้แสดงแผนภูมิการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจ โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์จากคุณลักษณะที่ผลิตภัณฑ์ในอนาคตควรมี (Feature-based Technology Analysis) ซึ่งเป็นกรอบการวิเคราะห์หลักของโครงการนี้

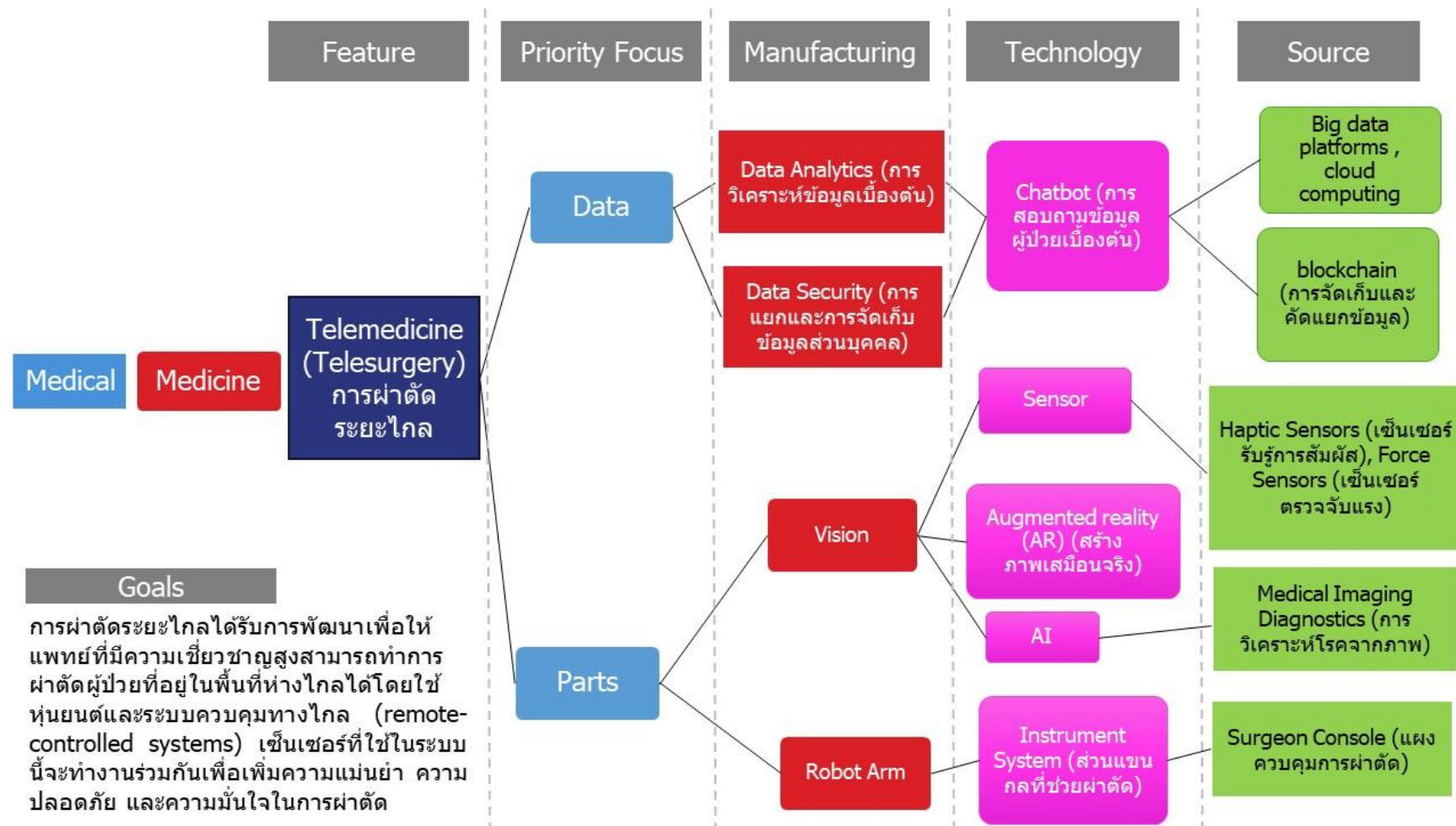
แนวคิดการวิเคราะห์: เริ่มจากการระบุ "คุณลักษณะที่ต้องการ" ของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย จากนั้นระบุเทคโนโลยีที่จำเป็นต้องสนับสนุนให้คุณลักษณะนั้นเกิดขึ้น และท้ายสุดระบุ NQI ที่ต้องพัฒนาเพื่อรองรับเทคโนโลยีดังกล่าว ดังแสดงตามแผนภูมิด้านล่าง (รูป ก-1)



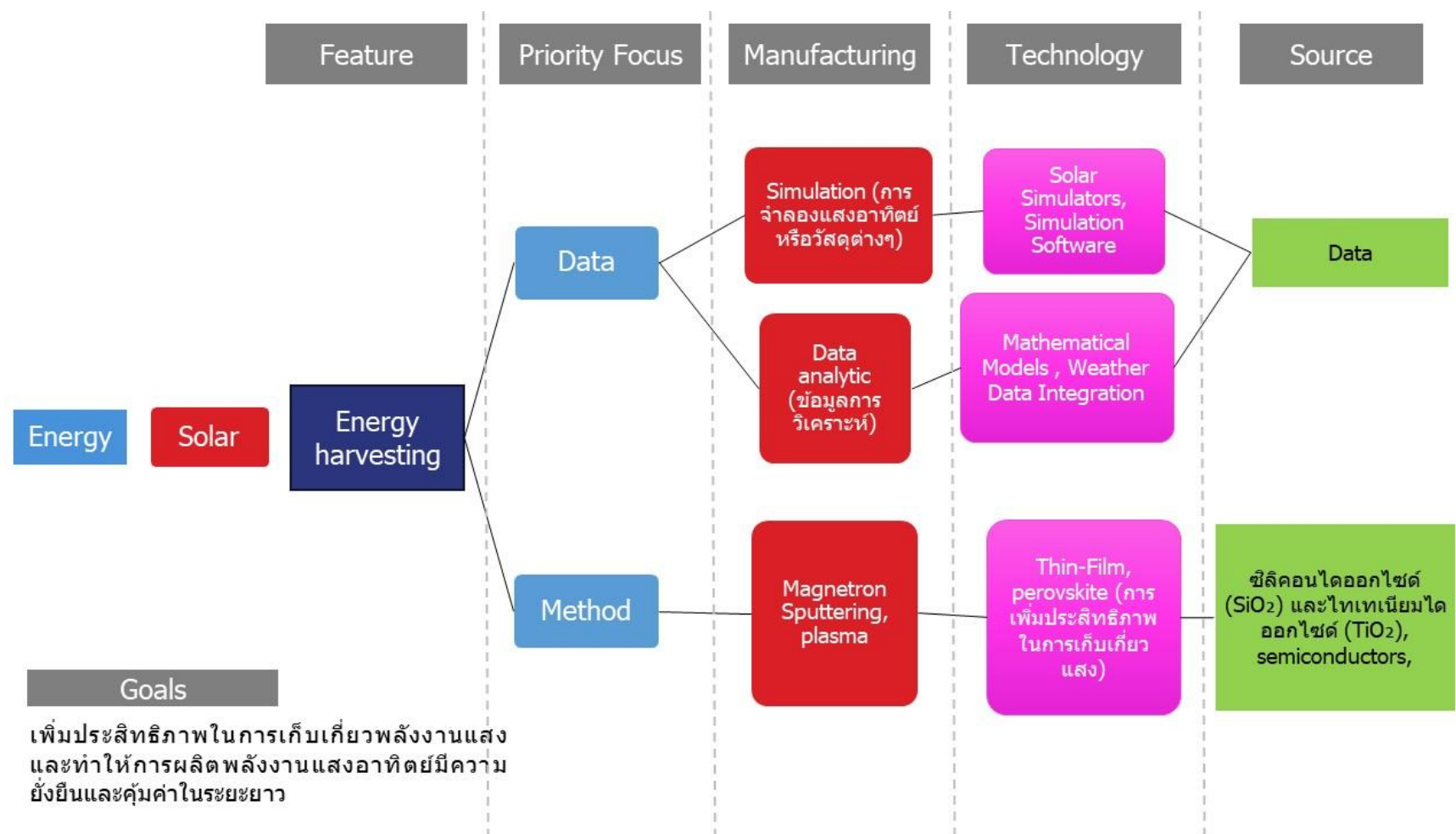
รูปที่ ก-1 แนวคิดการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจจากคุณลักษณะที่ผลิตภัณฑ์ในอนาคตควรมี



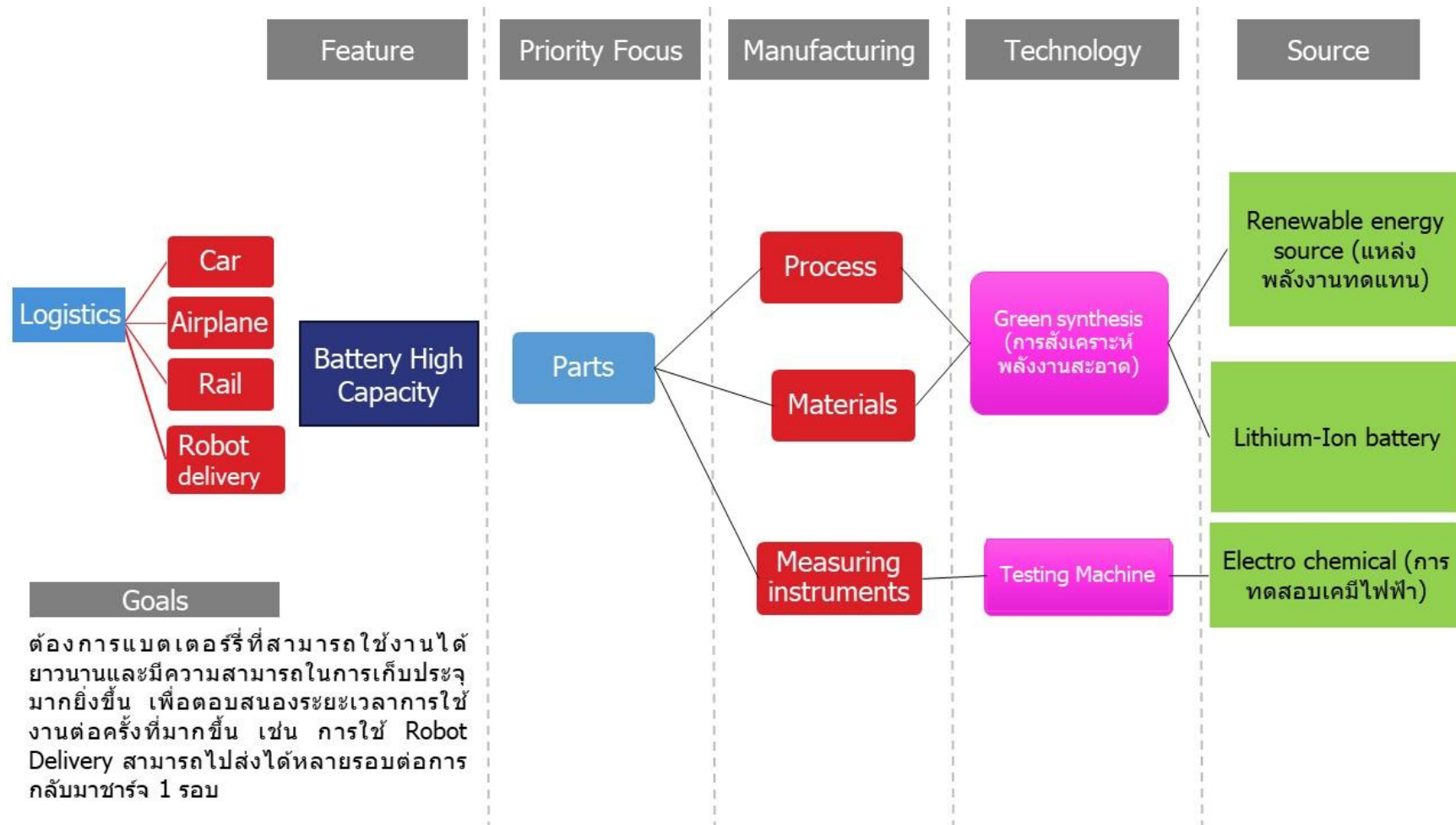
รูปที่ ก-2 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ เมื่อระบุให้ “Intelligent Transportation System” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



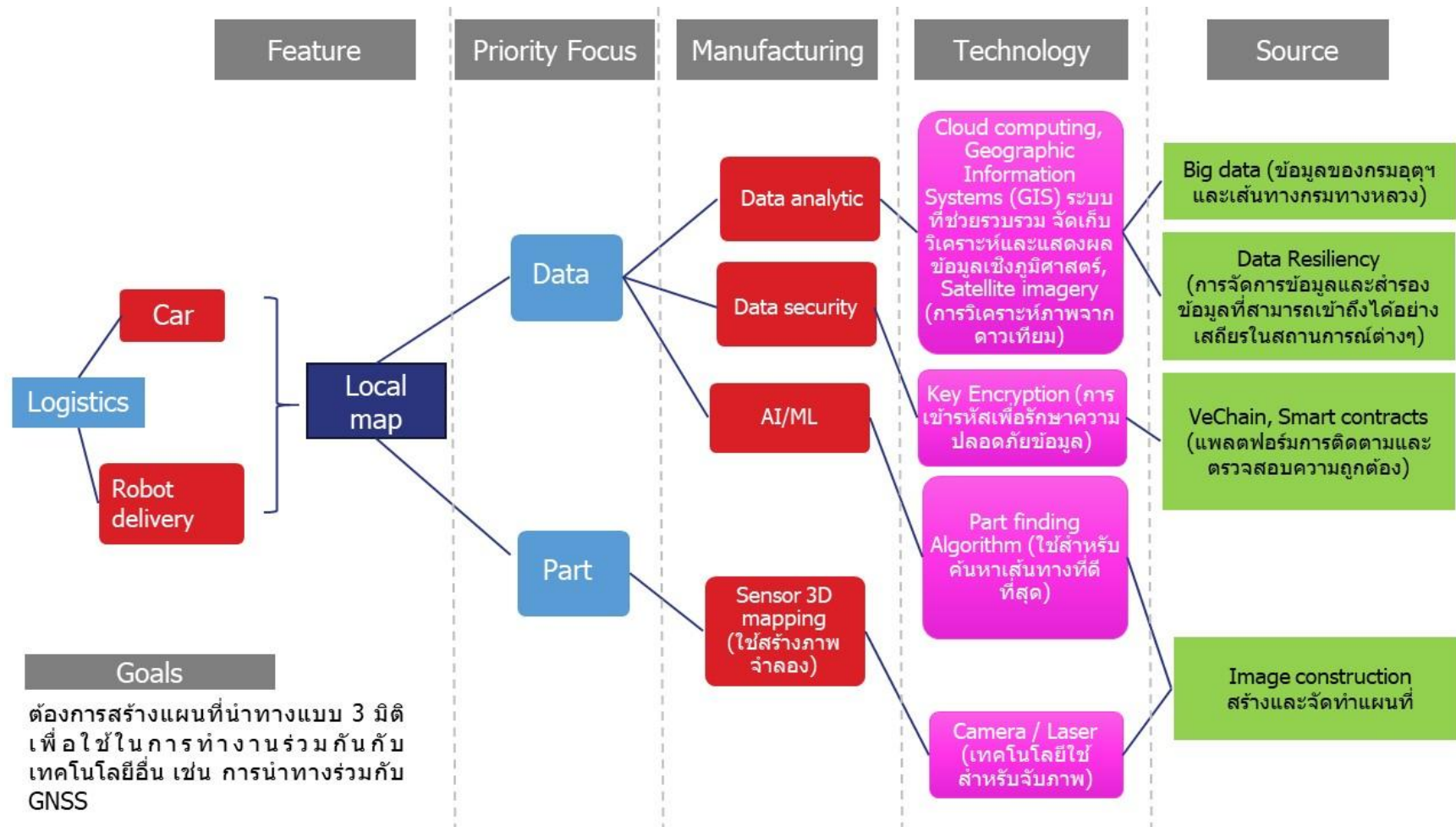
รูปที่ ๓-๓ การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เมื่อระบุให้ “การผ่าตัดทางไกล” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



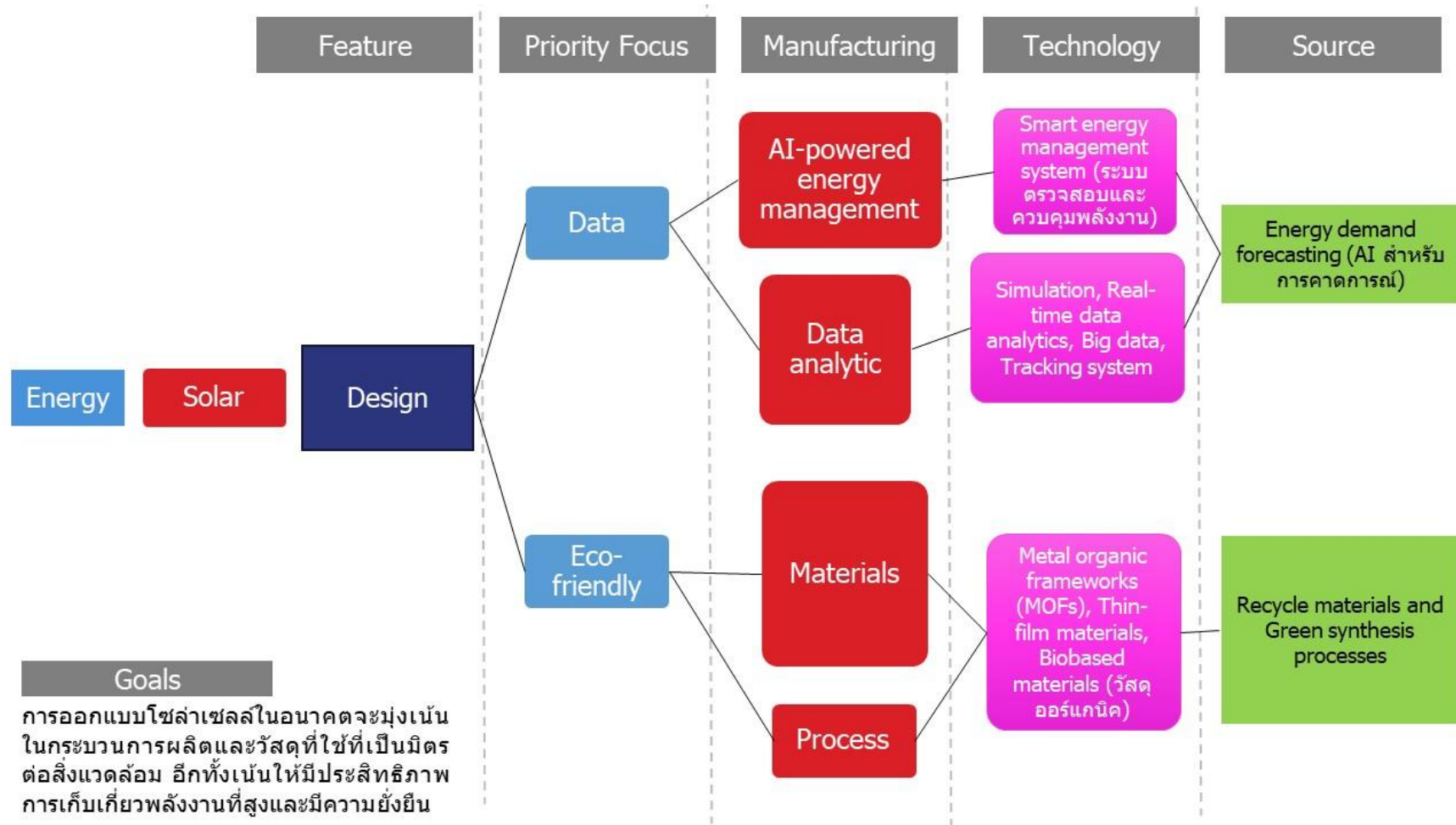
รูปที่ ก-4 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมพลังงาน เมื่อระบุให้ “การเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting)” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



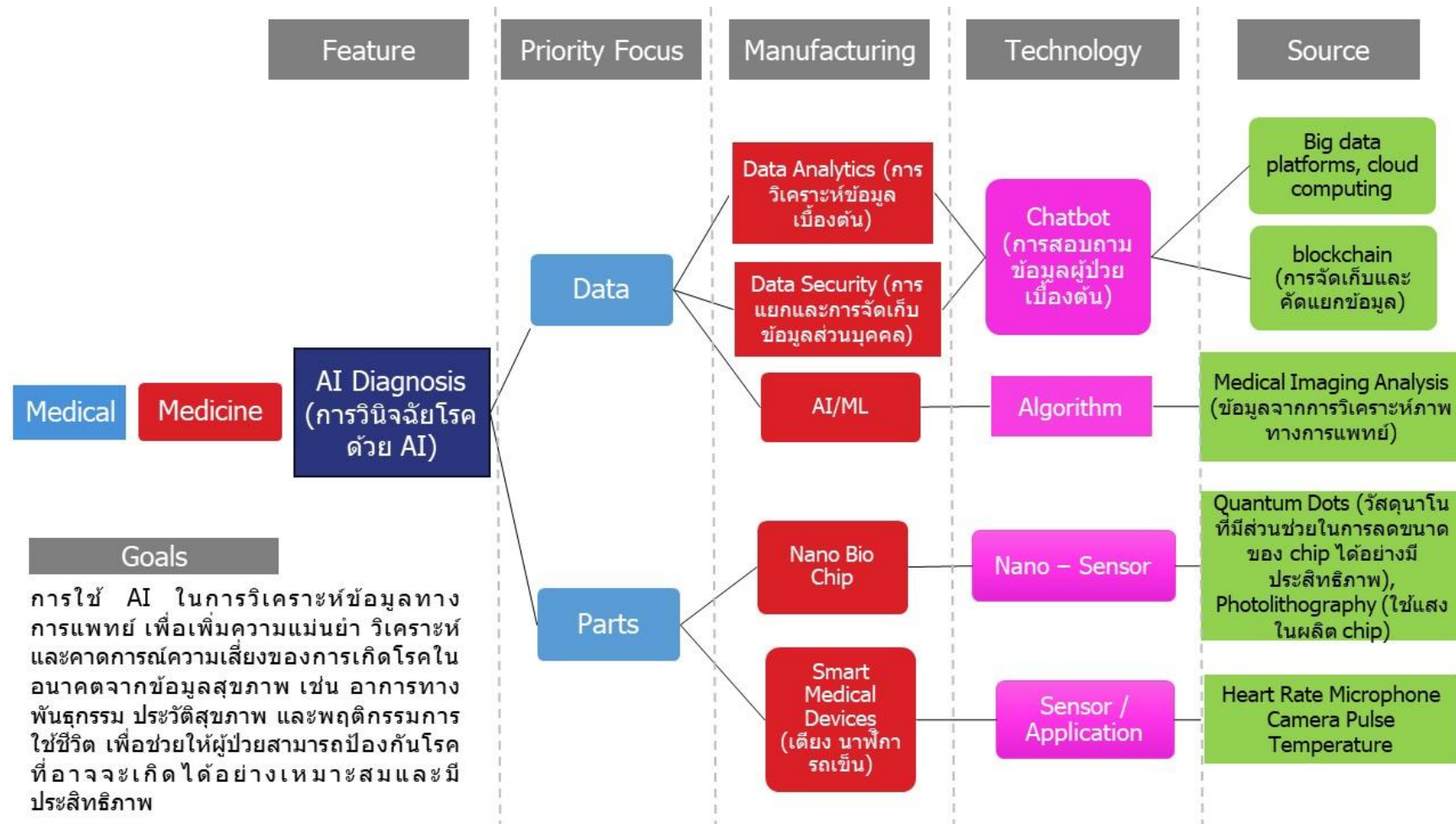
รูปที่ ๓-5 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ เมื่อระบุให้ “แบตเตอรี่ความจุสูง (Battery High Capacity)” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



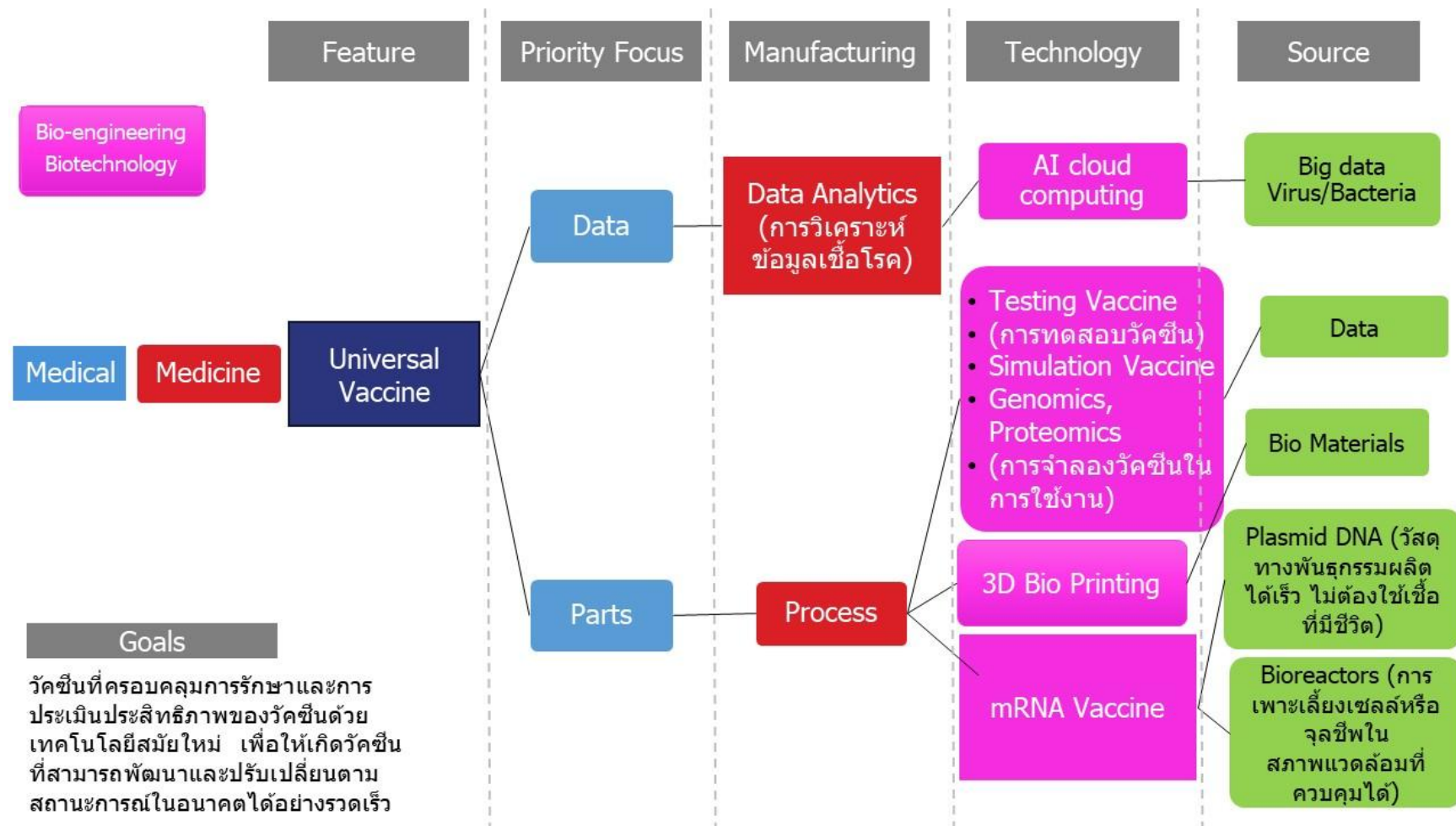
รูปที่ ก-6 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ เมื่อระบุให้ “Local map)” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



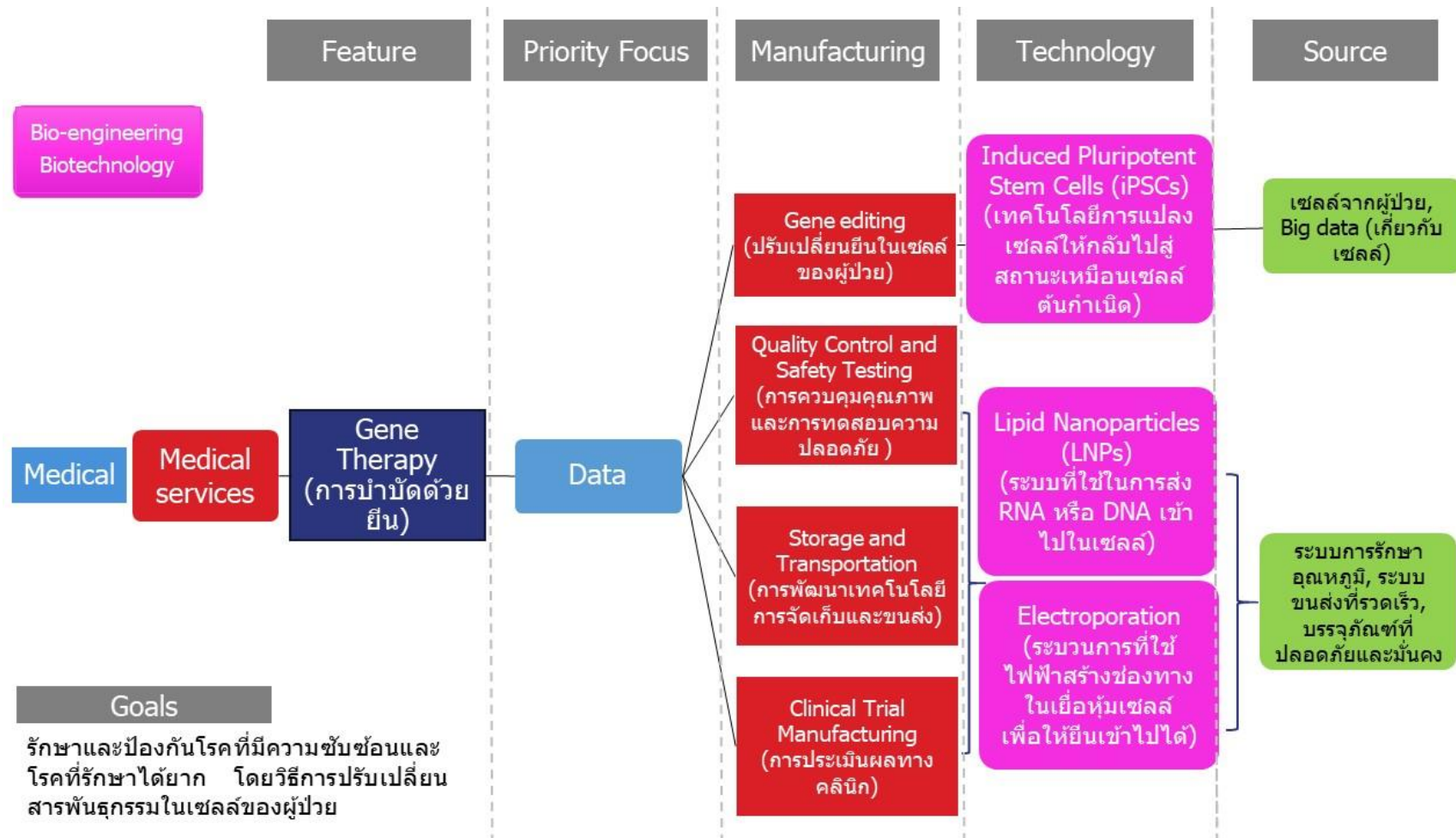
รูปที่ ก-7 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมพลังงาน เมื่อระบุให้ “solar cell & solar panel design” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



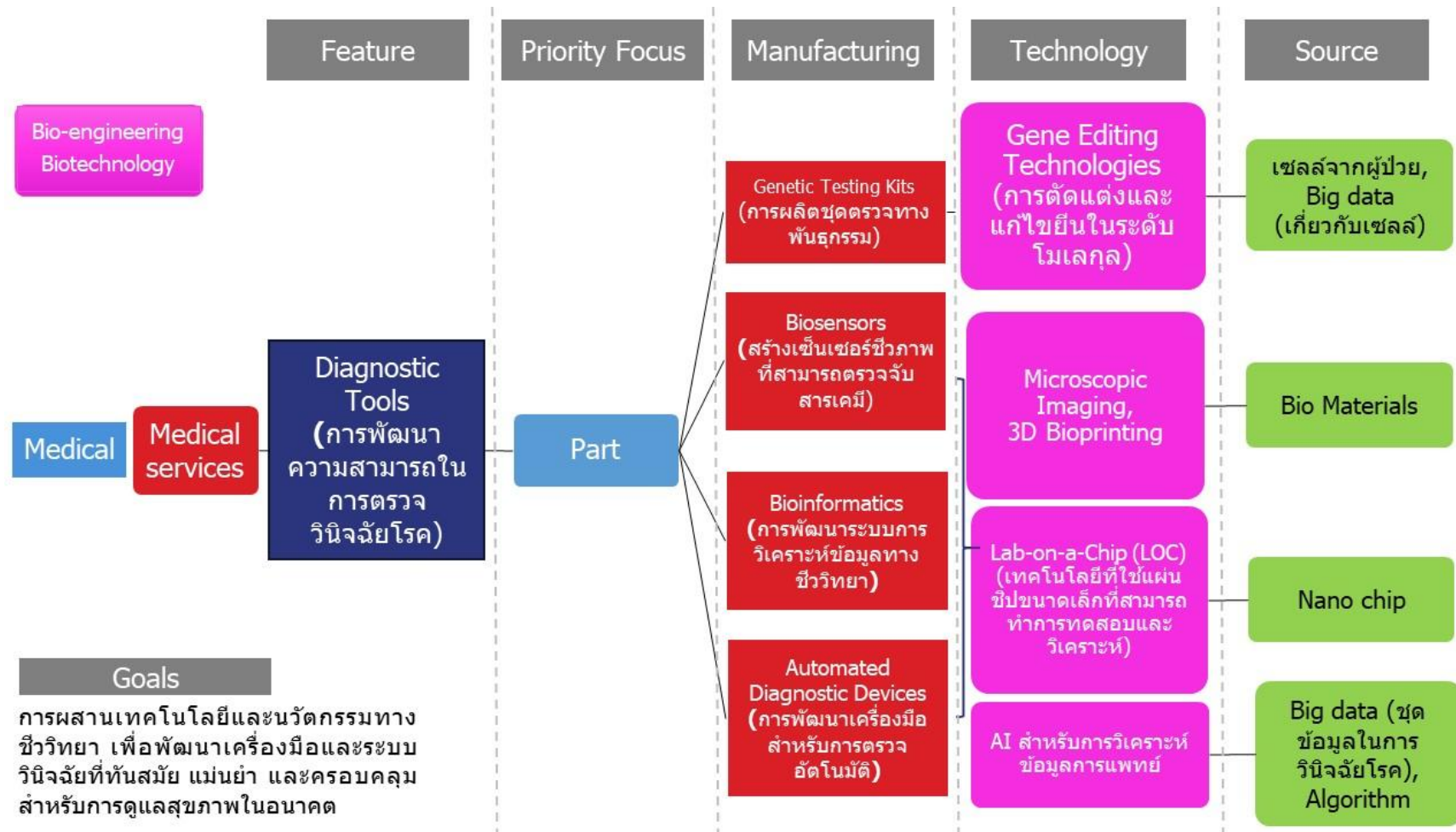
รูปที่ ๓-8 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เมื่อระบุให้ “AI diagnosis” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



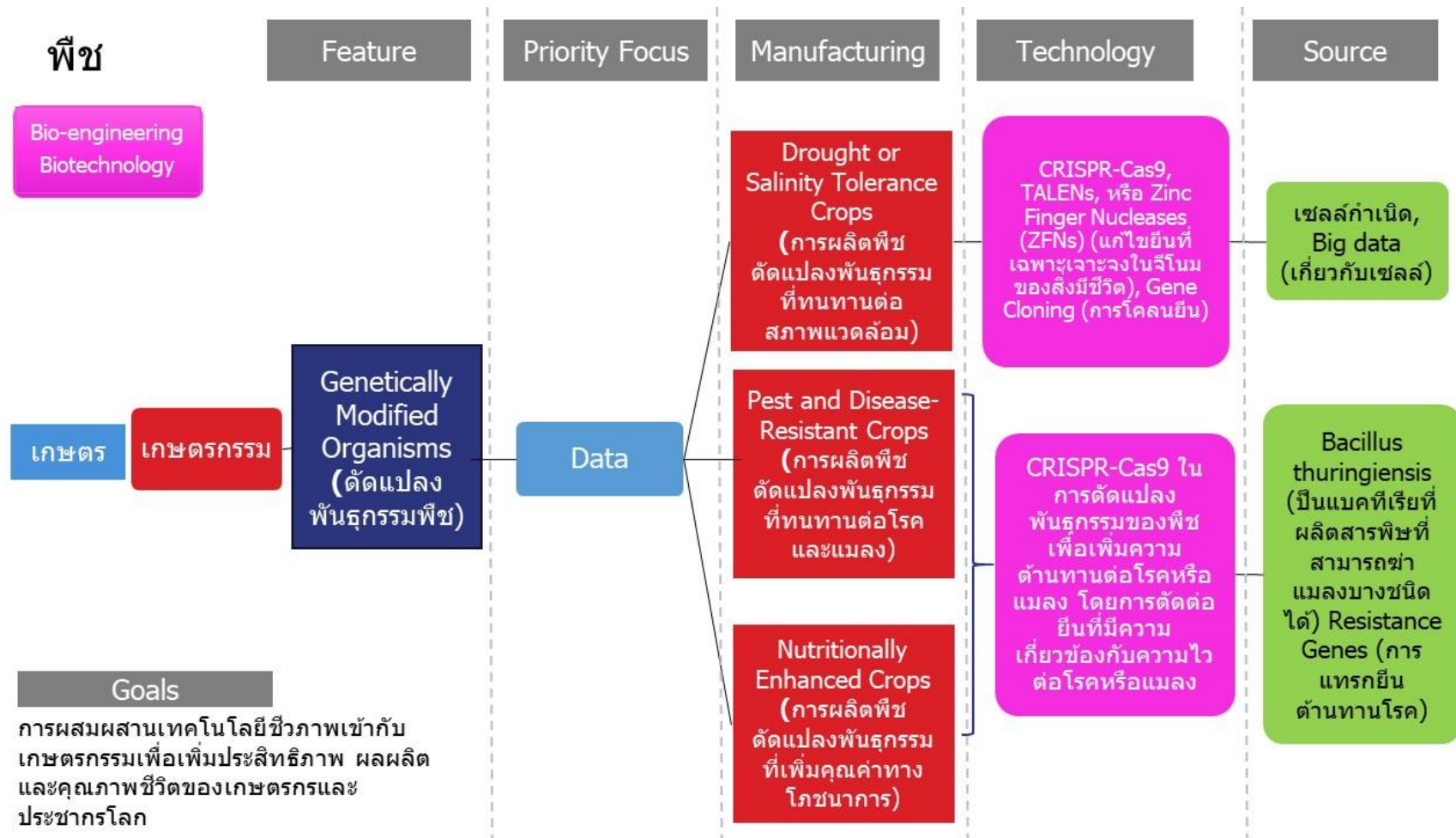
รูปที่ ก-9 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เมื่อระบุให้ “universal vaccine” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



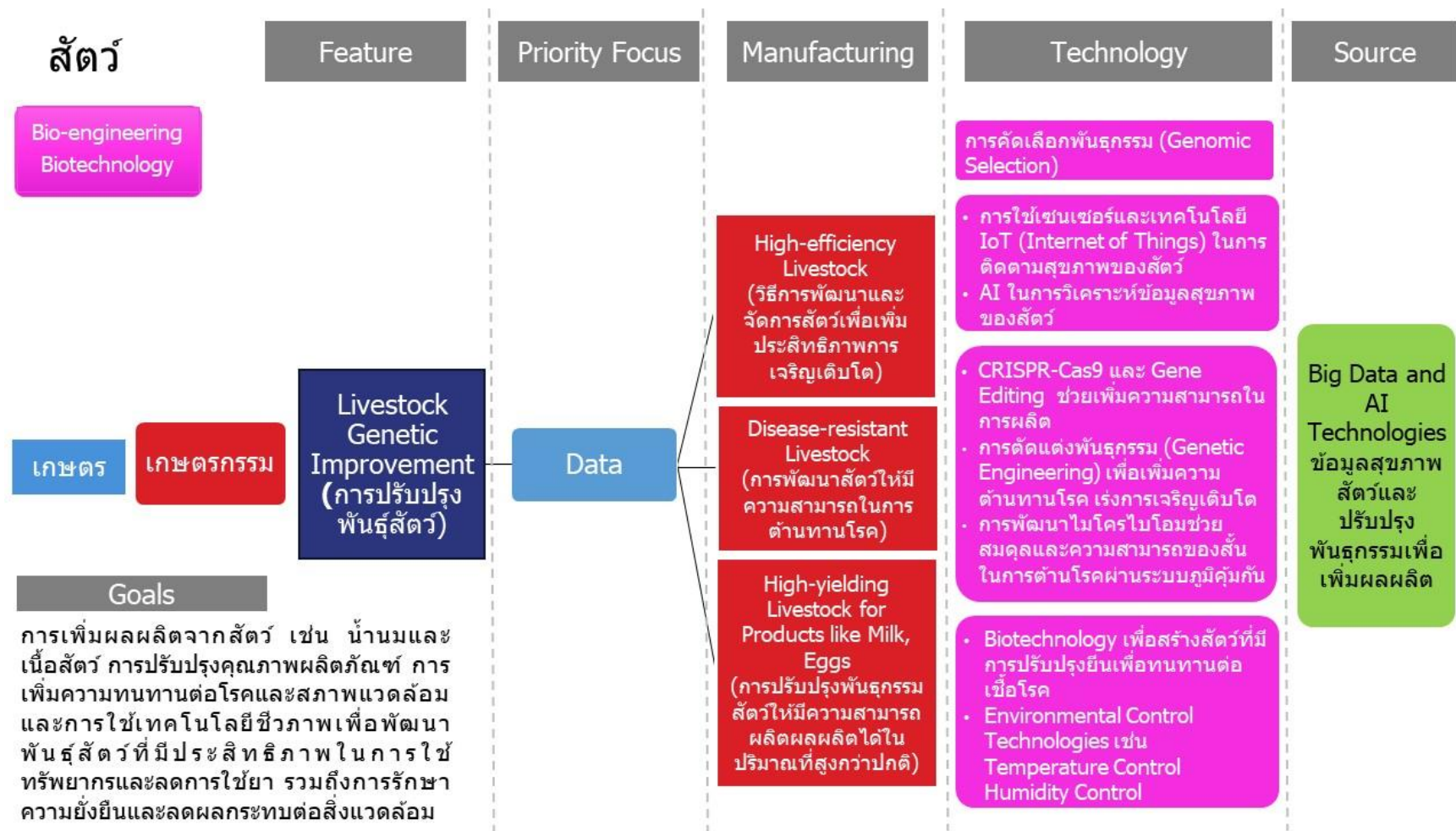
รูปที่ ก-10 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เมื่อระบุให้ “Gene therapy” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



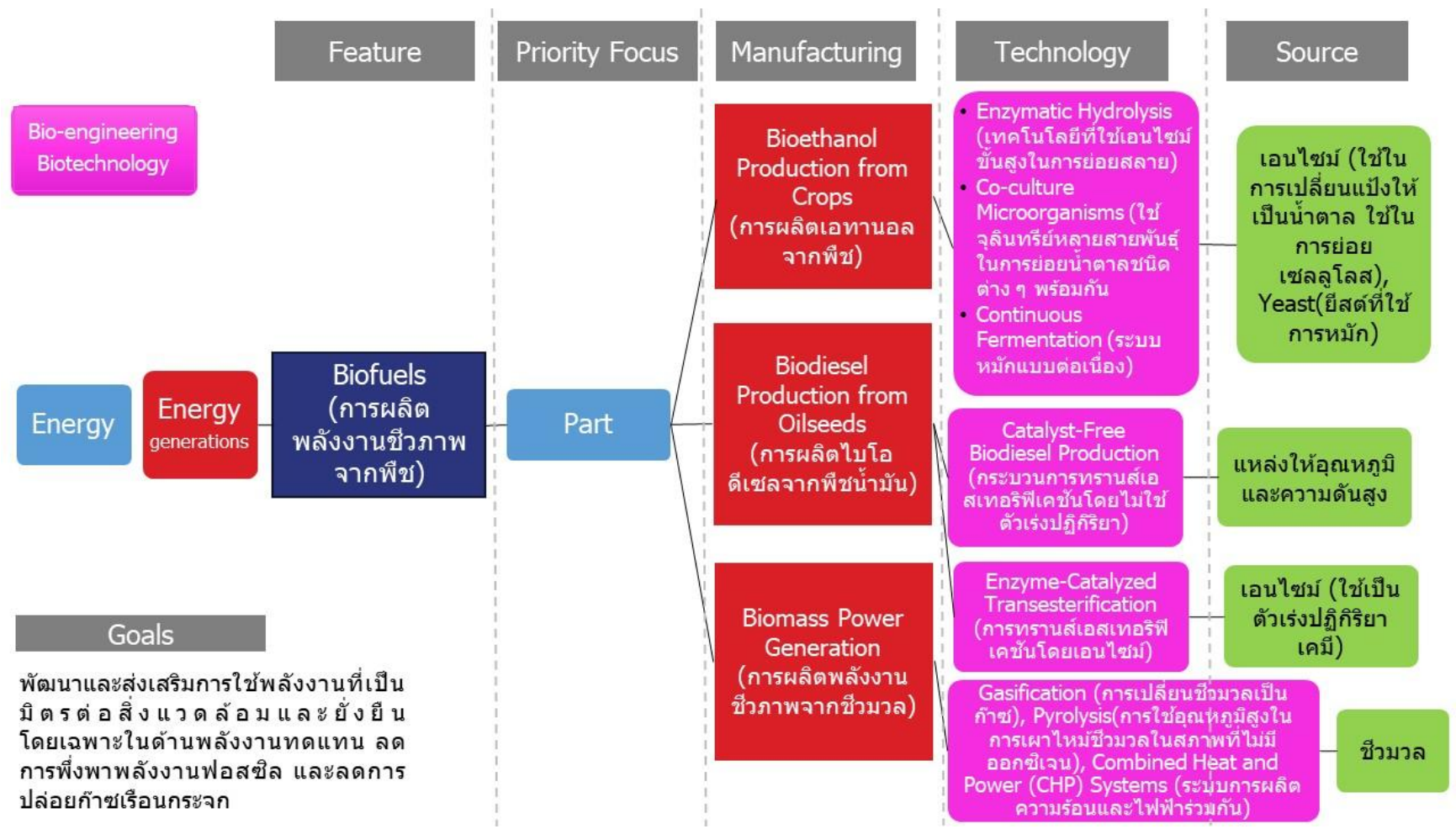
รูปที่ ก-11 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เมื่อระบุให้ “Diagnostic tools” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



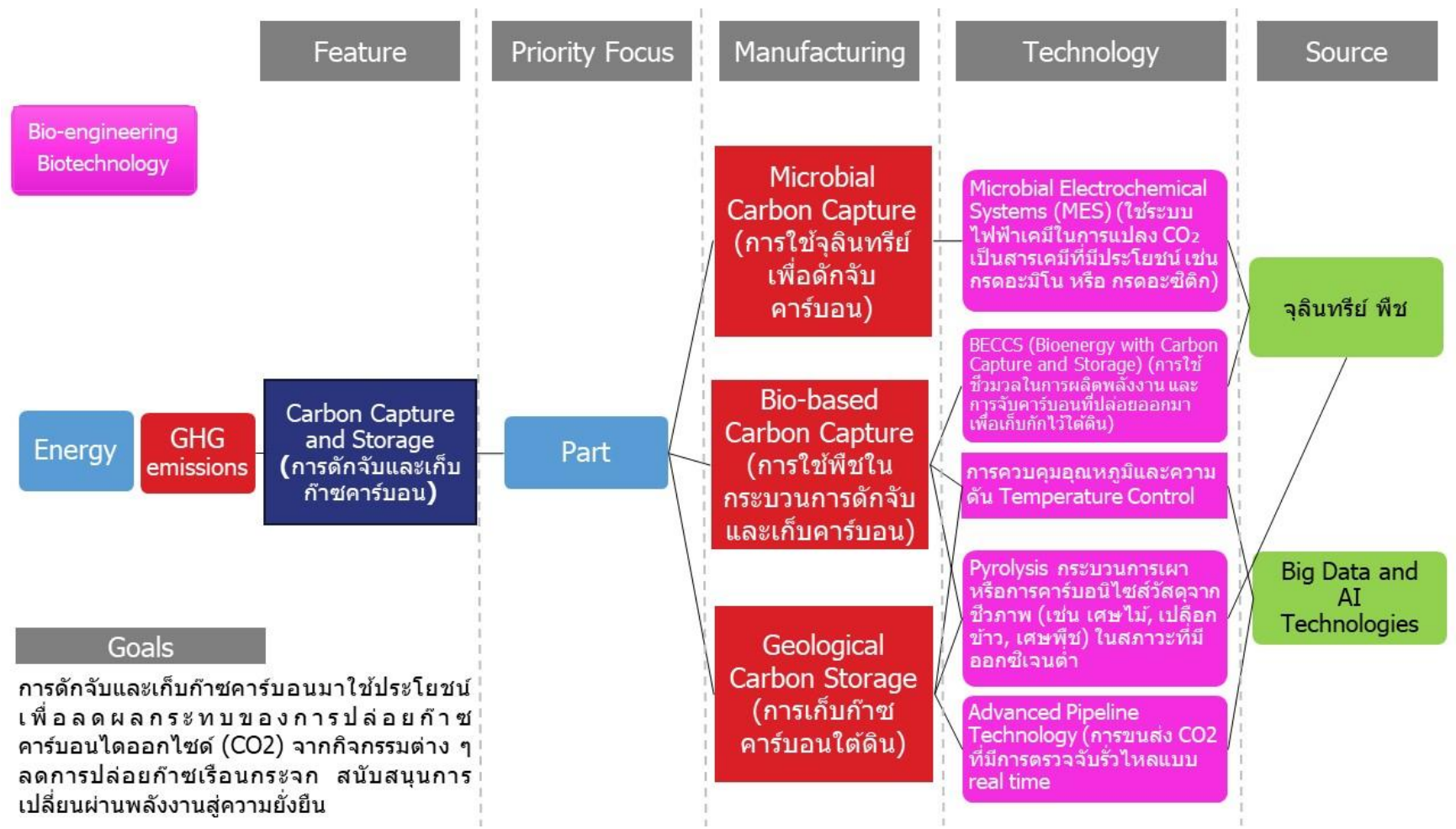
รูปที่ ก-12 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมเกษตร เมื่อระบุให้ “การดัดแปรพันธุกรรม” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



รูปที่ ก-13 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมเกษตร เมื่อระบุให้ “การปรับปรุงพันธุ์สัตว์” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



รูปที่ ก-14 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมพลังงาน เมื่อระบุให้ “Biofuels” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ



รูปที่ ก-15 การวิเคราะห์เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมพลังงาน เมื่อระบุให้ “การดักจับและจัดเก็บคาร์บอนไดออกไซด์” เป็นคุณลักษณะที่ควรสนใจ

สรุปเทคโนโลยีที่ควรให้ความสนใจแยกตามอุตสาหกรรม

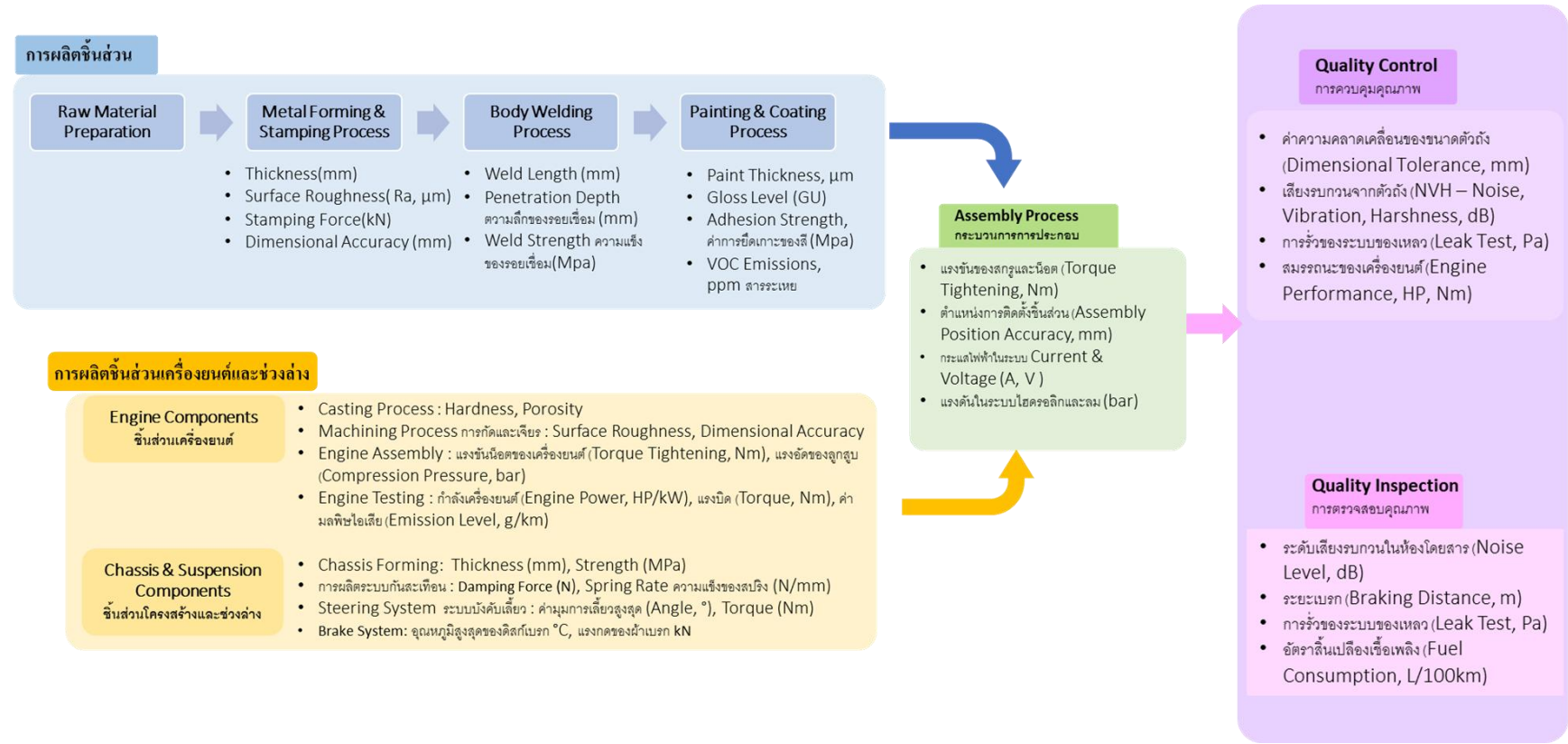
อุตสาหกรรม	พลังงาน			เกษตร		การแพทย์				โลจิสติกส์	
	Energy harvesting	Solar cell and solar panel Design	Carbon Capture and Storage	Genetically Modified Organisms, (GMOs)	Livestock Genetic Improvement	การผ่าตัดระยะไกล	การวินิจฉัยโรคด้วย AI	Universal Vaccine	Gene therapy	Intelligent Transportation System	Local map
คุณลักษณะเทคโนโลยี											
Cloud computing (Big data)	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓
Algorithm						✓	✓			✓	✓
Blockchain						✓	✓			✓	✓
Sensor						✓	✓			✓	✓
Simulation Software										✓	✓
Mathematical Models										✓	✓
Smart energy management system		✓									
Tracking system		✓								✓	✓
Microbial Electrochemical Systems (MES)			✓								
Chatbot						✓	✓			✓	✓
AR (Augmented reality) & AI				✓	✓	✓	✓			✓	✓
Instrument System						✓				✓	✓
Induced Pluripotent Stem Cells (iPSCs)						✓					
Advanced biotechnology & Engineering biology	✓		✓		✓	✓		✓	✓		
CRISPR-Cas9	✓			✓	✓	✓					
Telecom Network (5G/6G)										✓	
Lab-on-a-Chip (LOC)							✓				

อุตสาหกรรม / คุณลักษณะที่ต้องการ	เทคโนโลยีฐานที่จำเป็น
โลจิสติกส์ Intelligent Transportation System	Cloud Computing, Telecom 5G/6G, Sensor Networks, Simulation Software, Mathematical Models, Blockchain, Tracking System
การแพทย์ การผ่าตัดทางไกล	Cloud Computing, iPSCs, Instrument System, AR/AI, Chatbot, Algorithm, Sensor Networks
การแพทย์ การวินิจฉัยด้วย AI	Cloud Computing, Algorithm, Blockchain, Sensor, AR/AI, Lab-on-a-Chip
การแพทย์ Universal Vaccine และ Gene Therapy	Advanced Biotechnology & Engineering Biology, CRISPR-Cas9
พลังงาน Energy Harvesting	Cloud Computing, Advanced Biotechnology, CRISPR-Cas9, Smart Energy Management
พลังงาน Solar Cell & Solar Panel Design	Cloud Computing, Smart Energy Management, Tracking System
พลังงาน Carbon Capture and Storage	Advanced Biotechnology, Microbial Electrochemical Systems (MES)
เกษตร GMOs และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์	Cloud Computing, AR/AI, Advanced Biotechnology, CRISPR-Cas9

หมายเหตุ: ภาพแผนภูมิการวิเคราะห์เทคโนโลยีในรายละเอียด ซึ่งแสดงการวิเคราะห์เชิงลึกสำหรับแต่ละกรณี

ภาคผนวก: เทคโนโลยีและคุณลักษณะเฉพาะของกระบวนการผลิตยานยนต์

ภาคผนวกนี้แสดงรายการชิ้นส่วนยานยนต์ รวมทั้งตัวอย่างปริมาณที่วัด (Measurand) และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ต้องใช้อุตสาหกรรมยานยนต์ปัจจุบันและอุตสาหกรรมยานยนต์อนาคต เพื่อแสดงตัวอย่างความสามารถทางการวัดและทดสอบที่ต้องเตรียมเพิ่มเติม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนพัฒนา NQI



รูปที่ ข-1 แผนภูมิแสดงเทคโนโลยีและ Specification ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพของอุตสาหกรรมยานยนต์ปัจจุบัน

Engine Technology: ชิ้นส่วนเครื่องยนต์

ปริมาณที่วัด	หน่วยและเครื่องมือวัด
กำลังเครื่องยนต์ (Engine Power)	HP หรือ kW — Engine Dynamometer
แรงบิด (Torque)	N·m — Torque Sensor
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน	L/100 km — Fuel Flow Meter
อัตราการปล่อยมลพิษ	g/km (CO ₂ , NO _x , HC, PM) — Emission Analyzer
ประสิทธิภาพการเผาไหม้	% — Combustion Analyzer

Alternative Energy & Sustainability

ปริมาณที่วัด	หน่วยและเครื่องมือวัด
ความจุแบตเตอรี่ (Battery Capacity)	kWh — Battery Tester
ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ (Battery Efficiency)	% — Battery Analyzer
อัตราการชาร์จไฟฟ้า (Charging Rate)	kW — Power Meter
อายุการใช้งาน (Battery Life Cycle)	cycles — Cycle Life Tester
อัตราการปล่อย CO ₂	g/km — CO ₂ Emission Analyzer

Smart Vehicle Technology

ปริมาณที่วัด	หน่วยและเครื่องมือวัด
ความแม่นยำเซนเซอร์ Lidar/Radar	mm — Precision Laser Measurement System
เวลาตอบสนองระบบเบรกอัตโนมัติ	ms — High-Speed Data Acquisition System
อัตราตรวจจับสิ่งกีดขวาง	% — Object Detection Test System
เวลาตอบสนองระบบควบคุมอัตโนมัติ	ms — Control System Analyzer