สรุปใจความสำคัญของร่างข้อเสนอโครงการ

ดาวเทียมวิจัยและสำรวจดวงจันทร์โดยคนไทย เพื่อยกระดับศักยภาพการแข่งขันของชาติ

หน่วยงานที่รับผิดชอบ: ภาคีความร่วมมืออวกาศไทย

หน่วยงานร่วม:

1. สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
2. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
3. สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)
4. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
5. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
6. สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8. มหาวิทยาลัยมหิดล
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
10. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
13. กระทรวงกลาโหม
14. หน่วยงานภาคเอกชน

ระยะเวลาโครงการ: ปีงบประมาณ 2565 – 2572 (8 ปี)

งบประมาณรวม: 1,050,000,000 บาท (สนับสนุนโดยภาครัฐ 950,000,000 บาท)

ปีงบประมาณ	งบประมาณ (บาท)
2565	5,000,000
2566	19,562,500.00
2567	66,437,500.00
2568	365,500,000.00
2569	332,500,000.00
2570	216,500,000.00
2571	37,500,000.00
2572	7,000,000.00
รวม	**1050,000,000**

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ตามที่สภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ ได้ให้ความเห็นชอบในหลักการโครงการและแผนดำเนินงานของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยเพื่อพัฒนาและสร้างดาวเทียม TSC-1 (ดาวเทียมสำหรับสำรวจและวิจัยใกล้ผิวโลก) และได้ให้ความเห็นชอบในหลักการโครงการของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยเพื่อพัฒนาและสร้างดาวเทียม TSC-2 (ดาวเทียมสำหรับสำรวจและวิจัยจากวงโคจรรอบดวงจันทร์) ในวันที่ 17 กรกฎาคม 2564 แล้วนั้น บัดนี้ภาคีความร่วมมืออวกาศไทยได้ดำเนินการจัดทำแผนดำเนินงานของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยเพื่อพัฒนาและสร้างดาวเทียม TSC-2 แล้วเสร็จ เป็นข้อเสนอต่อสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติในวาระนี้ เพื่อขอความเห็นชอบในแผนดำเนินงานของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยเพื่อพัฒนาและสร้างดาวเทียม TSC-2 และดำเนินการส่งดาวเทียมดังกล่าวไปวิจัยสำรวจดวงจันทร์

การสร้างดาวเทียมเองในประเทศเป็นการยกระดับศักยภาพการแข่งขันของชาติด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีตัวเทียบวัดกับชาติอื่นๆ ชัดเจนในรูปของดาวเทียมและอวกาศยานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นโดยลำดับ ผลักดันให้เกิดการสร้างกำลังคนที่มีทักษะความเชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (STEM) ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคเอกชน สร้างงานวิศวกรรมขั้นสูงในประเทศ การลงทุนด้านอวกาศในประเทศของภาครัฐจะเหนี่ยวนำให้เกิดห่วงโซ่อุปทานใหม่ในประเทศ เป็นการบ่มเพาะระบบนิเวศเทคโนโลยีอวกาศไทย ที่เมื่อเติบโตขึ้นอย่างมั่นคงจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spin-off value) เป็นผลกระทบกว้างขวางสู่อุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอวกาศ เช่น สนับสนุนเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) โดยเป้าประสงค์ด้านผลกระทบสูงสุดของโครงการนี้ คือ การยกระดับระบบนิเวศเทคโนโลยีอวกาศไทยให้มีศักยภาพในการต่อเชื่อมเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่มูลค่าเพิ่มการผลิตระหว่างประเทศ (global value chain) ในระยะเวลา 20 ปีของการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์ชาติในระยะ พ.ศ. 2580

ข้อเสนอต่อสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ

1. ให้ความเห็นชอบในแผนดำเนินงานของภาคีความร่วมมืออวกาศไทยเพื่อพัฒนาและสร้างดาวเทียม TSC-2 (ดาวเทียมสำหรับสำรวจและวิจัยจากวงโคจรรอบดวงจันทร์)
2. มอบหมายสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) พิจารณาการจัดสรรงบประมาณสนับสนุนโครงการข้างต้นตามมติของสภานโยบาย

1. วัตถุประสงค์

1.1 วิจัยและสำรวจดวงจันทร์โดยการบันทึกข้อมูลสเปกตรัมของทุกตำแหน่งบนดวงจันทร์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบของพื้นผิวและศึกษาสภาวะอวกาศ (Space weather)

1.2 พัฒนากำลังคนและขีดความสามารถของประเทศด้านเทคโนโลยีอวกาศ โดยมีตัวเทียบวัดขีดความสามารถ (benchmarking) ในทุกขณะอย่างชัดเจน ทั้งภายในโครงการและเทียบวัดขีดความสามารถของไทยกับประเทศอื่นๆ อันเป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพยิ่งในการวางกลยุทธ์เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของชาติ พร้อมไปกับการสร้างงานที่ใช้ความรู้และทักษะขั้นสูงด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมภายในประเทศ ลดภาวการณ์สูญเสียแรงงานคุณภาพสูง

1.3 สนับสนุนการสร้างระบบนิเวศอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศ (space industry ecosystem) ตั้งแต่ส่วนต้นน้ำถึงปลายน้ำ ด้วยการใช้การสร้างดาวเทียมสำรวจอวกาศด้วยตนเอง เป็นตัวเชื่อมโยงผู้สร้างเทคโนโลยีเข้มข้นภายในประเทศ (deep tech) เข้ากับผู้ใช้

1.4 บ่มเพาะให้ระบบนิเวศอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศมีศักยภาพในการแข่งขันและสามารถเชื่อมเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่มูลค่าเพิ่มการผลิตระหว่างประเทศภายในระยะเวลา 20 ปีข้างหน้าที่อุตสาหกรรมอวกาศจะเป็นอุตสาหกรรมมูลค่าสูงของโลก

1.5 ใช้มูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spill-over value) ที่ได้จากการถ่ายทอดเทคโนโลยี ในรูปของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ การพัฒนากระบวนการ (เช่น กระบวนการผลิต กระบวนการประกันคุณภาพ กระบวนการตรวจสอบ) การพัฒนากำลังคน อันสืบเนื่องมาจากการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ ยกระดับขีดความสามารถของอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอวกาศ (non-space industry) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) เช่น วิศวกรรมอัตโนมัติและหุ่นยนต์ (automation and robotics) อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (smart electronics) ยานยนต์แห่งอนาคต อวกาศยาน การขนส่ง เกษตรอัจฉริยะ และเทคโนโลยีดิจิทัล

2. ขอบเขตงานของโครงการ

2.1 ออกแบบ พัฒนา ผลิต ประกอบ ทดสอบ และส่งดาวเทียม TSC-2 ที่มีคุณลักษณะทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 1 เพื่อไปโคจรวิจัยและสำรวจรอบดวงจันทร์ด้วยเทคนิค hyperspectral imaging และอุปกรณ์ตรวจวัดสภาวะอวกาศ (space weather payload)

2.2 ออกแบบและพัฒนาต้นแบบของดาวเทียม TSC-2 ในทุกระบบย่อย (subsystem) ภายในประเทศ ได้แก่ ระบบระบุวิถีโคจรและควบคุมทิศทาง ระบบผลิตและจัดการไฟฟ้า ระบบคอมพิวเตอร์ที่ปฏิบัติงานเป็นเอกเทศบนดาวเทียม ระบบซอฟต์แวร์ดาวเทียม ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบบันทึกภาพผิวดวงจันทร์ด้วย hyperspectral imager ระบบสื่อสารกับศูนย์ควบคุมบนโลก ระบบรับสัญญาณภาคพื้น เพื่อพัฒนากำลังคนผ่านการปฏิบัติงานในสภาวะแวดล้อมการสร้างดาวเทียมจริงให้บุคลากรมีความพร้อมในการสร้าง ประกอบ และทดสอบดาวเทียม (Assembly Integration and Testing) และมีศักยภาพในการต่อยอดสู่ภาคอุตสาหกรรม

2.3 สร้างห้องปฏิบัติการด้านเทคโนโลยีอวกาศห้วงลึก เป็นกำลังผลักดันสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและดาวเทียมของหน่วยงานภายในประเทศ

2.4 สร้าง แสวงหา และบ่มเพาะ ความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยในประเทศ โดยใช้โจทย์การพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมเป็นตัวเหนี่ยวนำการบูรณาการองค์ความรู้และทรัพยากรร่วมกันภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ ให้เกิดการสร้างระบบนิเวศเพื่อร่วมสร้างงานวิจัยและนวัตกรรม

2.5 สร้าง แสวงหา และบ่มเพาะ ความร่วมมือระหว่างโครงการ TSC และองค์กรชั้นนำจากต่างประเทศเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีในสาขาที่จำเป็นหรือขาดแคลน ให้ไทยสามารถพัฒนาเทคโนโลยีและระบบนิเวศอวกาศในประเทศได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2.6 เลือกสรรบุคลากรรุ่นใหม่ที่มีศักยภาพด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อเข้าร่วมแลกเปลี่ยนความรู้ความชำนาญกับองค์กรชั้นนำทั้งในและต่างประเทศ

2.7 สนับสนุนให้หน่วยงานและสถาบันการศึกษาในประเทศร่วมพัฒนา สร้างบุคลากรรุ่นใหม่ผ่านโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ เช่น การพัฒนาอุปกรณ์วิจัย (payload) การพัฒนาส่วนประกอบดาวเทียม เพื่อรองรับอุตสาหกรรมอวกาศและเทคโนโลยีชั้นสูงของประเทศ

2.8 สนับสนุนการใช้ประโยชน์จากข้อมูลและเทคโนโลยีอวกาศร่วมกันกับหน่วยงานความมั่นคงของภาครัฐ (dual use)

2.9 สนับสนุนการถ่ายทอดเทคโนโลยีอวกาศไปสู่อุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอุตสาหกรรมอวกาศ (non-space industry) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อสนับสนุนเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) บ่มเพาะธุรกิจ start-up หรือ spin-off ใหม่เพื่อใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีและความเชี่ยวชาญที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาภายใต้โครงการ TSC

2.10 สร้างความตระหนักถึงบทบาทของการลงทุนด้านอวกาศต่อการพัฒนาเศรษฐกิจแก่สังคมด้วยโครงสร้างพื้นฐานด้านการเผยแพร่ (outreach) ของหน่วยงานในภาคีความร่วมมือฯ

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเทคนิคของดาวเทียม TSC-2

ลักษณะของดาวเทียม	Microsatellite
ภารกิจ	ภารกิจที่ 1: สำรวจทุกบริเวณของดวงจันทร์ด้วยการบันทึกสเปกตรัม ณ ทุกตำแหน่ง (Hyperspectral Imaging) ภารกิจที่ 2: สำรวจสภาวะอวกาศ (Space Weather) ระหว่างการเดินทางไปดวงจันทร์และขณะปฏิบัติภารกิจรอบดวงจันทร์
มวล	ไม่เกิน 300 กิโลกรัม
วงโคจร	ความสูง 100 กิโลเมตรจากผิวดวงจันทร์
อุปกรณ์วิจัย (payload)	อุปกรณ์วิจัยหลัก: Hyperspectral Imager อุปกรณ์วิจัยรอง: Space Weather Payload
ย่านความถี่	Downlink: X-band, S-band และ UHF Uplink: S-band

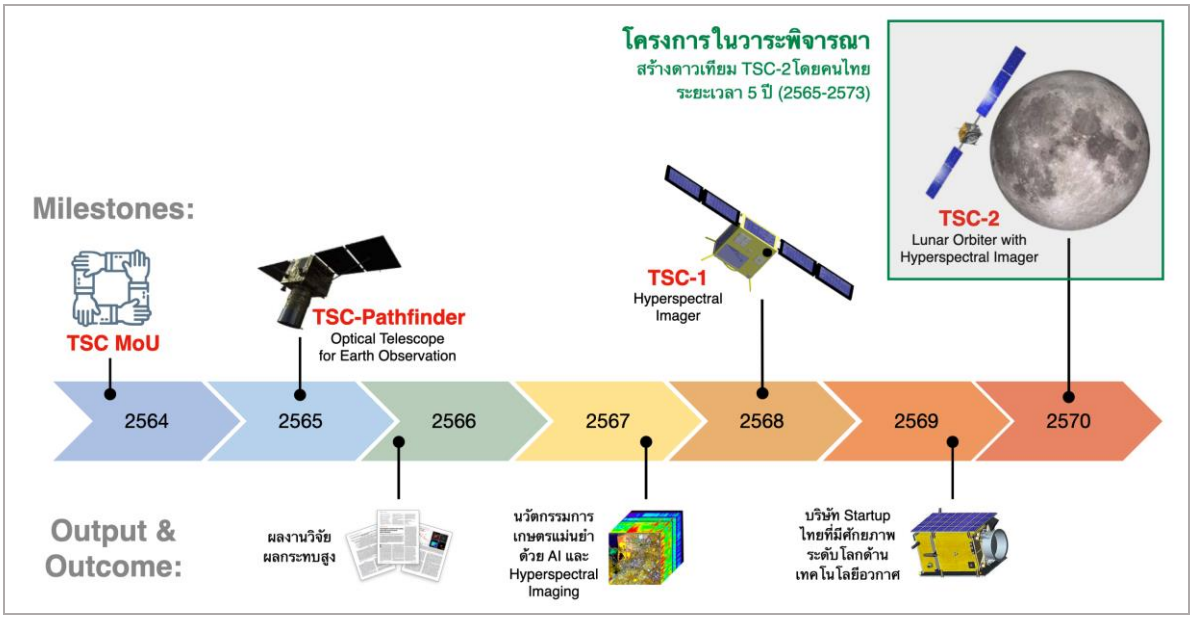
3. หน่วยงานร่วมและการบริหารโครงการ

ชื่อหน่วยงาน	ตัวอย่างศักยภาพในการร่วมโครงการ	ตัวอย่างกิจกรรมในโครงการ
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)	(1) ออกแบบ พัฒนา และสร้างอุปกรณ์วิจัยหลัก (payload) สำหรับดาวเทียมวิจัยและสำรวจดวงจันทร์ (Hyperspectral imager) (2) ประกอบอุปกรณ์วิจัยหลักเข้ากับดาวเทียม ทดสอบระบบย่อยต่างๆ ให้มีความพร้อมใช้งานจริงในอวกาศ (3) ประกอบระบบย่อยเข้าด้วยกันเป็นดาวเทียมสมบูรณ์	(1) ห้องปลอดฝุ่นสำหรับประกอบและทดสอบดาวเทียม (2) ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ (3) ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีคลื่นวิทยุ (4) ห้องปฏิบัติการทัศนศาสตร์และโฟโตนิกส์
สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	(1) ทดสอบดาวเทียมสมบูรณ์ก่อนส่งขึ้นสู่อวกาศ (2) ออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมวงโคจรของดาวเทียม (3) การประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศในบริบทของไทย	(1) ห้องปฏิบัติการภูมิสารสนเทศ (2) อาคารประกอบและทดสอบดาวเทียม (Assembly Integration and Testing) (3) กิจกรรม ณ อุทยานรังสรรค์นวัตกรรมอวกาศ (Space Inspirium)
สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)	(1) ออกแบบสร้างระบบทดสอบดาวเทียม (2) ออกแบบและสร้างห้องทดสอบระบบย่อยของดาวเทียม	(1) ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ (2) ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสุญญากาศ (3) ห้องปฏิบัติการแม่เหล็ก (4) ศูนย์เครื่องมือกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	(1) พัฒนากำลังคน (2) พัฒนาเครื่องตรวจวัดอนุภาคพลังงานสูง (High-Energy Particle Detector)	(1) ห้องปฏิบัติการทัศนศาสตร์
สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)	(1) การพัฒนาธุรกิจใหม่ (2) การถ่ายทอดเทคโนโลยี (3) ความร่วมมือกับภาคเอกชน	(1) หน่วยสนับสนุนส่งเสริมธุรกิจใหม่ การถ่ายทอดเทคโนโลยี และความร่วมมือกับภาคเอกชน (Public-Private Partnership)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	(1) พัฒนากำลังคน (2) ระบบดาวเทียม (satellite bus)	(1) ห้องปฏิบัติการด้านดาวเทียมและอวกาศยาน

ชื่อหน่วยงาน	ตัวอย่างศักยภาพในการร่วมโครงการ	ตัวอย่างกิจกรรมในโครงการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	(1) พัฒนากำลังคน	(1) ห้องปฏิบัติการอวกาศยาน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	(1) พัฒนากำลังคน (2) สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน	(1) สถานีรับสัญญาณดาวเทียมจุฬาภรณ์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	(1) พัฒนากำลังคน (2) ซอฟท์แวร์ควบคุมดาวเทียม	(1) ห้องปฏิบัติการทัศนศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล	(1) พัฒนากำลังคน (2) อุปกรณ์วิจัยตรวจสภาวะอวกาศ (space weather payload)	(1) ห้องปฏิบัติการสภาวะอวกาศ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	(1) พัฒนากำลังคน (2) เทคโนโลยีวัสดุขั้นสูงสำหรับใช้งานในอวกาศ (3) หน่วยเก็บไฟฟ้าสำหรับดาวเทียม	(1) ห้องปฏิบัติการพลังงาน
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)	(1) พัฒนากำลังคน (2) ระบบขับดันด้วยไอออน (ion thruster) สำหรับปรับวิถีโคจรเดินทางสู่ดวงจันทร์	(1) ห้องปฏิบัติการพลาสมา
กระทรวงกลาโหม	อยู่ในระหว่างการหารือ	อยู่ในระหว่างการหารือ

4. ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน 8 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2565 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2572 ดังภาพด้านล่าง และรายละเอียดในหัวข้อ 6 ดาวเทียม TSC-2 จะส่งขึ้นสู่อวกาศในปี 2570 และเดินทางสู่ดวงจันทร์ด้วยเทคนิคปรับวิถีโคจรครั้งละน้อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะใช้เวลาเดินทางประมาณ 18 เดือน ก่อนเริ่มปฏิบัติภารกิจสำรวจดวงจันทร์ในปี 2572



กรอบเวลาการดำเนินงานโครงการในข้อเสนอนี้ คือ ส่งดาวเทียม TSC-2 ขึ้นสู่อวกาศในปี 2570 ในระยะก่อนหน้านั้น ภาคีฯ จะส่งดาวเทียม TSC-Pathfinder (หรือ TSC-P) ขึ้นสู่อวกาศในปี 2565 โดยดาวเทียม TSC-P นี้เป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจาก PMU-B เพื่อพัฒนาศักยภาพและโครงสร้างพื้นฐานตั้งต้นในการริเริ่มสร้างดาวเทียมภายใต้ความร่วมมือระหว่างสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กับ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP) ประเทศจีน และส่งดาวเทียม TSC-1 ขึ้นสู่อวกาศในปี 2568 เพื่อเตรียมความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีและกำลังคนสู่เป้าหมายสำคัญคือการส่งดาวเทียม TSC-2 ไปวิจัยและสำรวจดวงจันทร์

5. แผนการดำเนินงาน (operation)

แผนการดำเนินงานสร้างดาวเทียม TSC-2 ของภาคีฯ แบ่งออกเป็น 15 ขั้นตอนหลัก ดังจะกล่าวต่อไปและแสดงเป็นแผนการดำเนินงานรายปีตั้งแต่ปี 2565-2572 ในตารางที่ 2-9

5.1 Mission Analysis — วิเคราะห์พันธกิจของดาวเทียม เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อภารกิจตามพันธกิจ ซึ่งในกรณีของดาวเทียมวิจัยและสำรวจดวงจันทร์ คือ การกำหนดเป้าหมายทางวิทยาศาสตร์ (Science case) ลักษณะวงโคจร ช่วงคลื่นที่ต้องการบันทึกข้อมูล ฯลฯ วิเคราะห์เชื่อมพันธกิจสู่ภารกิจของดาวเทียม และวิเคราะห์ข้อจำกัดต่างๆ เพื่อหาตัวเลือกในการออกแบบภารกิจให้สอดคล้องกับพันธกิจได้ดีที่สุดภายใต้งบประมาณ ความสามารถทางเทคนิค และระยะเวลาการดำเนินงาน

5.2 Mission Definition Review (MDR) — ขั้นตอนการสอบทานเพื่อรับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาดาวเทียม เพื่อตรวจสอบตัวเลือกหรือการออกแบบที่ทีมวิจัยได้เลือก และนำคำแนะนำไปปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้เหมาะสมแก่พันธกิจ

5.3 **System Design Document** — ขั้นตอนการเตรียมเอกสารระบุการออกแบบภาพรวมของระบบดาวเทียม ที่อยู่ในรูป Block System Diagram โดยการออกแบบคำนึงความสอดคล้องกันของระบบย่อยภายในดาวเทียมทั้งหมด

5.4 **System Design Review (SDR)** — ขั้นตอนสอบทานเพื่อรับข้อคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาดาวเทียม เพื่อตรวจสอบการออกแบบภาพรวมของระบบดาวเทียม

5.5 **System Requirement Review (SRR)** —สอบทานร่วมกันระหว่างของผู้พัฒนาเพื่อเลือกเฟ้นอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะตรงกับต้องการของระบบภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ

5.6 **Bread Board Model (BBM)** — สร้างต้นแบบแรกของระบบดาวเทียม โดยเลือกอุปกรณ์ผู้พัฒนาเห็นพ้องกันในขั้น SRR มาเชื่อมต่อระบบภายในดาวเทียมเข้าด้วยกัน แต่ยังไม่ประกอบเข้ากับระบบย่อยโครงสร้าง

5.7 **Preliminary Design Review (PDR)** — สอบทานเพื่อรับข้อคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาดาวเทียม เพื่อตรวจสอบการทำงานของ BBM หากมีส่วนที่ต้องปรับปรุงหรือจุดที่ต้องแก้ไขจะต้องมีการแก้ไขก่อนที่จะไปในขั้นตอนถัดไป

5.8 **Engineering Model (EM)** — สร้างต้นแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น ที่ถูกพัฒนามาจาก BBM ด้วยการปรับปรุงและคำแนะนำจากขั้น PDR โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะถูกติดตั้งภายในระบบย่อยและมีการทดสอบการทำงานร่วมกันของระบบย่อย (ยกเว้น Flight Software)

5.9 **Space Environment Testing** — ทดสอบสภาวะจำลองในอวกาศ ได้แก่ การทดสอบการสั่นสะเทือน การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะสุญญากาศ เพื่อยืนยันความพร้อมของอุปกรณ์แต่ละชิ้นว่าสามารถปฏิบัติภารกิจในอวกาศได้อย่างไม่บกพร่อง

5.10 **Critical Design Review (CDR)** — สอบทานรับข้อคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการพัฒนาดาวเทียม เพื่อตรวจสอบการทำงานหลังผ่านการทดสอบสภาวะจำลองในอวกาศ

5.11 **Flight Model (FM)** — สร้างดาวเทียมจริงสำหรับการส่งขึ้นสู่อวกาศ ติดตั้งแผงเซลล์สุริยะและทดสอบความคงทนของโครงสร้างทั้งหมดเมื่อเผชิญการสั่นสะเทือนเสมือนการส่งขึ้นสู่อวกาศ

5.12 **Launch and Early Orbit Phase (LEOP)** — ส่งดาวเทียมขึ้นอยู่อวกาศ เข้าสู่วงโคจรรอบโลกและสอบทานความพร้อมของทุกระบบย่อยในอวกาศก่อนเดินทางสู่ดวงจันทร์

5.13 **Orbital Correction Operation** — ปรับวิถีโคจรเดินทางออกจากวงโคจรรอบโลก ไปยังดวงจันทร์ ขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 18 เดือน โดยปฏิบัติภารกิจตรวจวัดสภาวะอวกาศระหว่างการเดินทาง

5.14 **Orbit Insertion Operation** —ใช้ระบบขับดันของดาวเทียมปรับความเร็วและวิถีโคจรที่เหมาะสมในการเข้าสู่วงโคจรรอบดวงจันทร์ โดยในขั้นต้นจะเป็นวงโคจรที่มีความรีมาก ก่อนจะปรับวิถีโคจรอย่างต่อเนื่องเพื่อลดระยะสูงจากผิวดวงจันทร์เป็น 100 กิโลเมตรอันเป็นวงโคจรประจำสำหรับภารกิจวิจัยและสำรวจดวงจันทร์

5.15 **Mission Operation** — ปฏิบัติภารกิจวิจัยและสำรวจดวงจันทร์ ขั้นตอนนี้มีระยะเวลาเบื้องต้น 4 เดือนตามข้อเสนอนี้ แต่สามารถขยายได้ตามอายุการใช้งานของดาวเทียม (ประมาณ 2 ปี)

ภาคีความร่วมมืออวกาศไทยวางแผนดำเนินขั้นตอนข้างต้นในระยะเวลา 8 ปี ดังแผนรายปีสำหรับปี 2565 – 2572 แสดงในตารางที่ 2-9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2565

Activities	2565 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mission Requirement				■	■	■	■	■				
Risk Management				■	■	■	■	■				
Mission Analysis									■	■	■	■

ตารางที่ 3 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2566

Activities	2566 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mission Analysis	■											
Mission Definition Review	■											
System Requirement Review	■											
System Design Review	■	■	■	■								
1st Procurement EM					■	■						
1st Procurement EM Fabrication							■	■	■	■	■	■
Filling to ITU through NBTC								■	■	■		
ITU Public API/A										■	■	■

ตารางที่ 4 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2567

Activities	2567 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1st Procurement EM Fabrication	■	■	■	■	■	■						
ITU Public API/A	■											
ITU Public API/B	■	■	■	■	■							
EM Components Arrived						■						
EM Components Functional Test						■	■	■	■			
EM Assembly and Integration										■	■	■

ตารางที่ 5 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2568

Activities	2568 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
EM Assembly and Integration	■	■	■	■								
Preliminary Design Review		■										
EM Space Environment Testing					■	■	■	■	■			
1st Critical Review Design									■			
EM Space Environment Testing									■	■	■	■
2nd Procurement FM									■			
2nd Procurement FM Fabrication										■	■	■

ตารางที่ 6 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2569

Activities	2569 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2nd Critical Review Design	■											
2nd Procurement FM Fabrication	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
FM Components Functional Test									■	■	■	
FM Assembly and Integration											■	■

ตารางที่ 7 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2570

Activities	2570 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
FM Assembly and Integration	■	■										
FM Space Environment Testing		■	■	■	■							
Endurance Test					■	■	■	■	■	■		
FM Packaging and Shipping										■	■	■
Launch to the Moon												■

ตารางที่ 8 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2571

Activities	2571 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Orbit Correction Operation	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

ตารางที่ 9 ตารางการทำงานในปี พ.ศ. 2572

Activities	2572 Milestones											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Orbit Correction Operation	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Orbit Insertion Operation							■	■				
Mission Operation									■	■	■	■

อภิธานอักษรย่อในตารางที่ 2 – 9

API: Advance Publication Information (ITU)

CDR: Critical Design Review

EM: Engineering Model

FM: Flight Model

ITU: International Telecommunication Union

TSC: Thai Space Consortium

6. งบประมาณ (Budget)

งบประมาณตลอดระยะเวลา 5 ปี ของโครงการสร้างดาวเทียม TSC-2 มีมูลค่า 1,050 ล้านบาท แบ่งออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางงบประมาณรวมของดาวเทียม TSC-2 ปี 2565 – 2572

	จำนวน (บาท)
เงินอุดหนุน (ค่าจ้างชั่วคราว)	
ค่าจ้างบุคลากรในโครงการ (ลูกจ้าง ที่ปรึกษา)	70,000,000
เงินอุดหนุน (ค่าตอบแทน และค่าใช้สอย)	
ค่าใช้จ่ายในการบริหารโครงการ	
ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งดาวเทียมสู่ดวงจันทร์	590,000,000
เงินอุดหนุน (ค่าวัสดุของดาวเทียม TSC-2)	
ระบบสื่อสารระยะไกลระหว่างโลกและดวงจันทร์ (S และ X-band)	42,762,500
ดาวเทียม TSC-2 (Satellite bus)	129,362,500
ระบบขับดัน (Propulsion system)	137,500,000
วัสดุสำหรับพัฒนาอุปกรณ์ภารกิจวิทยาศาสตร์ (Scientific payload)	80,375,000
รวม	**1050,000,000**

7. ผลผลิตสำคัญของโครงการ (Key Project Outputs)

7.1 ผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับ (Output)

- ดาวเทียมสำรวจพื้นผิวโลก TSC-2 ซึ่งจะเป็น Microsatellite มวลไม่เกิน 300 กิโลกรัม และมีคุณลักษณะทางเทคนิคตามตารางที่ 1 ที่ออกแบบและพัฒนาภายในประเทศ
- Hyperspectral Imager ที่ผลิตขึ้นในประเทศสำหรับบันทึกภาพและสเปกตรัมที่สามารถปฏิบัติภารกิจในสภาวะของอวกาศห้วงลึกภายนอกวงโคจรของโลก
- ต้นแบบของระบบย่อยที่จำเป็นในการสร้างดาวเทียม ที่พัฒนาขึ้นในประเทศตั้งแต่ต้นจนมีศักยภาพพร้อมสำหรับใช้งานจริงในอวกาศ (Space-Qualified) ได้แก่ ระบบระบุวิถีโคจรและควบคุมทิศทาง (Attitude Determination and Control System หรือ ADCS) ระบบผลิตและจัดการไฟฟ้า (Electronic Power System หรือ EPS) ระบบคอมพิวเตอร์ที่ปฏิบัติงานเป็นเอกเทศบนดาวเทียม (On-board Computer หรือ OBC) ระบบซอฟต์แวร์ดาวเทียม ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermal Control) ระบบบันทึกภาพผิวโลกด้วย hyperspectral imager ระบบสื่อสารกับศูนย์ควบคุมบนโลกและประมวลผลข้อมูล (Command and Data Handling) ระบบรับสัญญาณภาคพื้น (Ground Station)
- นักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตและบัณฑิตศึกษาในประเทศไม่น้อยกว่า 250 คนร่วมปฏิบัติงานในขั้นตอนการพัฒนาต่างๆ ข้างต้น
- นักวิจัย วิศวกร และช่างเทคนิคในประเทศไม่น้อยกว่า 150 คนร่วมงานวิจัยและพัฒนาตามขั้นตอนต่างๆ ข้างต้น

- นักเรียนและประชาชนผู้สนใจไม่น้อยกว่า 400,000 คน/ปี ได้เข้าชมการสาธิตเทคโนโลยีอวกาศที่ผลิตขึ้นในประเทศและกิจกรรมสร้างความตระหนักถึงบทบาทของการลงทุนด้านอวกาศรากฐานเพื่อการพัฒนาขีดความสามารถของชาติ (ตัวเลขนี้เป็นค่าประมาณขั้นต่ำ อิงจากจำนวนผู้เข้าใช้บริการโครงสร้างพื้นฐานทั่วประเทศต่อปีของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ องค์การมหาชน)

7.2 ผลลัพธ์ (Expected Outcomes) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- ห้องปฏิบัติการในประเทศที่มีความพร้อมในการสร้างและประกอบดาวเทียมที่มีศักยภาพในการแข่งขันระดับโลกอย่างน้อย 2 แห่ง
- ห้องปฏิบัติการในประเทศที่พร้อมให้บริการทดสอบชิ้นส่วนย่อย ระบบย่อย ไปจนถึงดาวเทียมทั้งดวง ตรวจสอบความพร้อมใช้งานในอวกาศ
- บุคลากรในประเทศอย่างน้อย 150 คนที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีอวกาศ ตั้งแต่การสร้างชิ้นส่วนย่อย (components) ระบบย่อย (subsystem) ไปจนถึงการประกอบดาวเทียมทั้งดวง
- นักศึกษาที่ได้รับการศึกษาหรือฝึกฝนภายใต้โครงการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศจริง มีศักยภาพพร้อมป้อนเข้าสู่ระบบนิเวศอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศอย่างน้อย 250 คน
- มหาวิทยาลัยในประเทศอย่างน้อย 5 แห่งมีห้องปฏิบัติการที่พร้อมวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศต่อยอดจากเทคโนโลยีในโครงการ TSC-2
- บริษัทเอกชนในประเทศอย่างน้อย 5 แห่งร่วมลงทุน และ/หรือ ร่วมมือพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศในส่วนต้นน้ำ กลางน้ำ หรือปลายน้ำ
- องค์ความรู้ใหม่จากการพัฒนาเทคโนโลยี ในรูปของต้นแบบเทคโนโลยีไม่น้อยกว่า 20 ชิ้น และผลงานตีพิมพ์ (ISI/Scopus) ไม่น้อยกว่า 40 เรื่อง

7.3 ผลกระทบ (Expected Impacts) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- การก่อตัวของระบบนิเวศอุตสาหกรรมอวกาศในประเทศที่มีศักยภาพต่อเชื่อมเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่มูลค่าระหว่างประเทศ (global value chain)
- การเริ่มปรากฏกรณีสาธิต (success stories) ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจจากการถ่ายทอดกระบวนการและเทคโนโลยีอวกาศสู่ภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ทั้งจากการเพิ่มมูลค่า (Added Value) และการลดต้นทุน (Cost Saving) อนึ่ง ระบบนิเวศอวกาศที่โตเต็มที่มีมูลค่าเพิ่มพลอยได้ (spin-off Value) ประมาณ 3-5 เท่า ของการลงทุน
- บุคลากรวิจัยและวิศวกรรมศักยภาพสูงระดับโลกภายในประเทศ ซึ่งมีตัวเทียบวัด (benchmarking) ที่ชัดเจนกับระดับความเชี่ยวชาญในต่างประเทศ ในรูปของการสร้างและพัฒนาดาวเทียมที่มีขีดความซับซ้อนมากขึ้น
- การจ้างงานทักษะสูงในประเทศ จะสามารถลดการสูญเสียแรงงานคุณภาพสูง การลงทุนในระดับของข้อเสนอนี้จะทำให้เกิดการสร้างงานประมาณ 1700 คน ในระบบนิเวศที่โตเต็มที่