รายงานเชิงนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ความมั่นคงทางสุขภาพ

เรื่อง: การพัฒนาระบบบริการสาธารณสุขด้วยอากาศยานไร้คนขับในภาวะปกติ และภาวะอุปสรรคภัยพิบัติการขนส่ง

ส่วนที่ 1: บริบท หลักการ และเหตุผลความจำเป็น

อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเทือกเขาสูงชันและมีความสลับซับซ้อน ส่งผลให้ประชากรในพื้นที่ต้องเผชิญความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงบริการสาธารณสุขขั้นพื้นฐานในบางสภาวะ โดยเฉพาะกลุ่มผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) และผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะสุดท้ายที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตด้วยการล้างไตทางหน้าท้องที่บ้าน ซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาระบบส่งกำลังบำรุงยาและเวชภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากเป็นประจำทุกเดือน

ในช่วงฤดูมรสุม สภาวะฝนตกชุกมักก่อให้เกิดภัยพิบัติดินถล่มและน้ำป่าไหลหลาก ส่งผลให้เส้นทางคมนาคมทางบกซึ่งเป็นถนนดินลูกรังและคอนกรีตแคบลาดชันแปรสภาพเป็นโคลนเหลวหนาแน่น จนเกิดภาวะตัดขาดทางบกโดยสิ้นเชิง ยานพาหนะปกติรวมถึงรถกู้ชีพฉุกเฉินไม่สามารถสัญจรได้ เกิดอุปสรรควิกฤตต่อการขนส่งลำเลียงทางบก ซึ่งอาจส่งผลต่อการขาดยาหรือเวชภัณฑ์ เสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อน หรือการเสียชีวิตของผู้ป่วยอย่างได้

ทั้งนี้ ภายใต้แนวทางการจัดการสาธารณภัยและการแพทย์ในพื้นที่ห่างไกลของสำนักงานเขตสุขภาพที่ 1 และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ ที่มุ่งเน้นการลดความเหลื่อมล้ำและเพิ่มประสิทธิผลการเข้าถึงบริการสาธารณสุขในภาวะวิกฤต โรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา จึงได้บูรณาการความร่วมมือกับคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และมณฑลทหารบกที่ 33 ในการขับเคลื่อนพัฒนาระบบส่งกำลังบำรุงทางอากาศระดับจุลภาค ด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับทางการแพทย์ (Medical Drone) เพื่อยกระดับความมั่นคงทางสาธารณสุข และสร้างระบบปฏิบัติการกู้ชีพที่มีความยืดหยุ่น เท่าทันต่อสถานการณ์วิกฤตในพื้นที่อย่างยั่งยืน

ส่วนที่ 2: ข้อมูลระบบอากาศยานและรายละเอียดเชิงเทคนิค (Technical Summary)

การเลือกสรรและดัดแปลงเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม มีพื้นฐานมาจาก "การออกแบบตามบริบทภูมิศาสตร์และระดับความเร่งด่วนทางการแพทย์" (Context-Driven & Mission-Oriented Architecture) โดยแบ่งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีออกเป็น 2 ระยะ โดยบูรณาการระบบเทคโนโลยีการบินที่ค้ำประกันความปลอดภัยขั้นสูงสุดในทุกมิติภารกิจ ดังนี้

1. **ระยะที่ 1 (ต.แม่นาจร): ขั้นฐานรากในภาวะปกติ (Baseline Routine Protocol)** มุ่งเน้นการใช้อากาศยานที่โดดเด่นด้าน "ความคุ้มค่า ต้นทุนต่ำ และบรรทุกสัมภาระปริมาณมาก" เพื่อจัดส่งยากลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) และเวชภัณฑ์ทั่วไปในลักษณะเส้นทางบินประจำ (Routine Air Corridor) บรรเทาความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงบริการสาธารณสุขเชิงรุก
2. **ระยะที่ 2 (ต.ปางหินฝน): ขั้นยุทธวิธีในภาวะภัยพิบัติตัดขาด (Tactical Contingency Protocol)** เปลี่ยนผ่านเข้าสู่ระบบ "การปฏิบัติการร่วมขนานคู่ (Dual-UAV)" เพื่อรับมือความวิกฤตและความเสี่ยงระดับสูง โดยบูรณาการ โดรนตรวจการณ์ระดับจุลภาค (Micro-UAV) ที่มีเทคโนโลยีเรดาร์เลเซอร์สแกนร่องลมเปิดน่านฟ้า บินนำร่องควบคู่ไปกับ โดรนขนส่งกำลังบำรุงขนาดใหญ่ (Heavy-Payload UAV) เพื่อจัดส่งเวชภัณฑ์ช่วยชีวิตและน้ำยาฟอกไตน้ำหนักมากถึงมือผู้ป่วยวิกฤตอย่างแม่นยำ ปลอดภัย และทันท่วงทีภายใต้สภาพมรสุม

ตาราง 1: เปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะทางวิศวกรรมของอากาศยาน

คุณลักษณะทางวิศวกรรม	ระยะที่ 1: ต.แม่นาจร DJI AGRAS T70P	ระยะที่ 2: ต.ปางหินฝน DJI Air 3S (โดรนนำร่อง)	ระยะที่ 2: ต.ปางหินฝน DJI FlyCart 30 (โดรนขนส่ง)
1. ประเภทและโครงสร้าง	โดรนปีกหมุน 4 แกน	Quadcopter (พับแขนได้)	Coaxial Octocopter (4 แกน 8 ใบพัด)
2. น้ำหนักตัว / เพดานบิน	มอเตอร์สเตเตอร์ 155 \times 22 มม.	724 กรัม / เพดานบิน 6,000 ม.	ใบพัดคาร์บอน 54 นิ้ว / เพดานบิน 6,000 ม.
3. พิกัดบรรทุกสัมภาระ	สูงสุด 70 กิโลกรัม	เน้นลาดตระเวน (ไม่บรรทุกของ)	สูงสุด 40 กิโลกรัม (โหมดแบตเดี่ยว)
4. ความเร็ว / ต้านลม	ความเร็ว Governed (รักษาเสถียรภาพยา)	บินเร็วสุด 20 ม./วินาที (ต้านลม 12 ม./วินาที)	บินเร็วสุด 20 ม./วินาที (ต้านลม 12 ม./วินาที)
5. พลังงาน / ระยะเวลา	แบตเตอรี่ LiPo DB2160 (41Ah)	แบตเตอรี่ 62.5 Wh (บินนานสุด 45 นาที)	แบตเตอรี่คู่ DB2000 (มีระบบอุ่นตัวเอง)
6. ระบบนำทางและสัญญาณ	DJI O3 (ระยะไกลสุด 5–8 กม.) + RTK	DJI O4 (ระยะไกลสุด 20 กม.)	DJI O3 (ระยะไกล 8–20 กม.) + สำรอง 4G
7. มาตรฐานการป้องกัน	ซีลวงจรหนาแน่นทนลมเขา	ทนทานสภาพมรสุม	มาตรฐานระดับ IP55 ทนฝนและฝุ่น

สรุปยุทธวิธีการควบคุมและความปลอดภัยขั้นสูง

- **ระบบกล้องตรวจการณ์ (Air 3S):** กล้องคู่แนวตั้ง (1-inch CMOS 50MP และ Tele 3x 48MP) ไดนามิกเรนจ์ 14 สต็อป พร้อม Night Mode 10-bit สำหรับสแกนร่องเขาและพิสูจน์ทราบจุดจอดในสภาวะทัศนวิสัยต่ำ
- **ระบบความปลอดภัยเชิงรุก (Air 3S & FlyCart 30):** ติดตั้งระบบเรดาร์เลเซอร์ด้านหน้า (Forward-Facing LiDAR) และ Active Phased Array Radar รอบทิศทาง ตรวจจับสิ่งกีดขวาง 3 มิติได้ไกล 25 เมตรในเวลากลางคืน พร้อมระบบ Smart RTH บินกลับฐานอัตโนมัติแม้สัญญาณดาวเทียมล่ม
- **ระบบสถาปัตยกรรมสำรอง (FlyCart 30):** สมองกลประคองตัวร่อนจอดหากมอเตอร์ดับ ระบบร่มชูชีพฉุกเฉินในตัว (Built-in Parachute) และระบบควบคุมสายสลิงกว้านยึดน้ำหนัก 90 กก. พร้อมระบบกันแกว่ง (Anti-swing Control) และตัดสลิงด้วยความร้อนเมื่อเกิดเหตุวิกฤตหน้างาน
- **ด้านกฎหมายและความคุ้มครอง**
  - การประกันภัยภาคบังคับและสมัครใจ: อากาศยานที่ปฏิบัติภารกิจมีการจัดทำประกันภัยความรับผิดชอบต่อบุคคลที่สาม (Third-Party Liability Insurance) และประกันภัยตัวเครื่อง (Hull Insurance) โดยสถานะความคุ้มครองสมบูรณ์และไม่หมดอายุตลอดช่วงเวลาปฏิบัติการ
  - ใบอนุญาตผู้บังคับโดรน: ผู้ควบคุมอากาศยานไร้คนขับ (Remote Pilot) ผ่านการฝึกอบรมและมีใบอนุญาตผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานไร้คนขับอย่างถูกต้องตามกฎหมาย พร้อมเผชิญเหตุและควบคุมการบินในสถานการณ์ฉุกเฉิน
- **การอนุมัติและประสานงานร่วม**
  - การขออนุญาตทางราชการ: โรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูล เฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา ได้ดำเนินการจัดทำหนังสือขออนุญาตดำเนินการและประสานงานปฏิบัติการอย่างเป็นทางการ ณ ที่ว่าการอำเภอแม่แจ่ม นำเรียนถึงนายอำเภอแม่แจ่ม และนายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อให้การปฏิบัติภารกิจเป็นไปตามระเบียบราชการอย่างถูกต้อง
  - ภาคีเครือข่ายร่วมปฏิบัติการ: ภารกิจนี้เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีและการกำลังพลร่วมกันระหว่าง คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ มณฑลทหารบกที่ ๓๓ (มทบ.๓๓) กองทัพภาคที่ ๓ ในการสนับสนุนยุทธวิธีและการควบคุมการบิน

ส่วนที่ 3: ผลการดำเนินงานและบันทึกสถิติจลนศาสตร์การบิน (Operational Results & Telemetry)

3.1 ผลสัมฤทธิ์ระยะที่ 1: การทดสอบความเป็นไปได้เชิงระบบในภาวะปกติ (พื้นที่ ต.แม่นาจร) ด้วยระบบอากาศยานปฏิบัติการควบคุมจุดเดียว (Single-UAV Baseline Protocol)

- **กระบวนการเตรียมการและบริการทางการแพทย์ทางไกลร่วม (Pre-flight Tele-Health Protocol):**
  - **วันที่ 7 เมษายน 2569 (TeleMedicine & TelePharmacy Phase):**ทีมผู้ดูแลโรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูลเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา ดำเนินการตรวจและติดตามอาการผู้ป่วยกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ผ่านระบบ TeleMedicine ร่วมกับเจ้าหน้าที่ ณ รพ.สต.บ้านแม่ชา รพ.สต.นาฮ่อง และรพ.สต.บ้านแม่นาจร จากนั้นเชื่อมโยงระบบสารสนเทศส่งต่อไปยังห้องจ่ายยาเพื่อดำเนินกระบวนการTelePharmacy โดยเภสัชกรทำการตรวจสอบความถูกต้อง จัดชุดยารายบุคคล
  - **วันที่ 8 เมษายน 2569 (Logistics Phase):** ดำเนินการส่งมอบยาที่ผ่านการอนุมัติจากระบบเภสัชกรรมทางไกลเข้าสู่กระบวนการขนส่งทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับมุ่งตรงสู่พื้นที่เป้าหมาย
- **ผลสัมฤทธิ์เชิงระบบและการประสานงานภาคพื้นดิน:** ปฏิบัติการลำเลียงยารักษาโรค NCDs ส่งถึงสนามฟุตบอลโรงเรียนบ้านแม่นาจรอย่างปลอดภัย คงความสมบูรณ์ของเวชภัณฑ์ โดยมีอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ในพื้นที่ เป็นผู้ประชิดเครื่อง ณ จุดลงจอด เพื่อปลดล็อกและนำยาไปส่งมอบตรงถึงบ้านพักผู้ป่วย
- **สถิติจลนศาสตร์การบิน (Telemetry Log):**
  - **เส้นทางบิน:** อบต.แม่นาจร --> สนามฟุตบอลโรงเรียนบ้านแม่นาจร
  - **ระยะขจัดตรงทางอากาศ:** 1.12 กิโลเมตร
  - **ระยะเวลาปฏิบัติการบินสุทธิ:** 7 นาที (เวลาขึ้นบิน 14:30 น. - ลงจอด 14:37 น.)
  - **ความเร็วในภาคอากาศเฉลี่ย (Average Ground Speed):** 9.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.2 ผลสัมฤทธิ์ระยะที่ 2: การบริหารวิกฤตในภาวะภัยพิบัติ (พื้นที่ ต.ปางหินฝน) ด้วยระบบอากาศยานปฏิบัติการภายใต้ยุทธวิธีบินคู่ขนาน (Dual-UAV Operational Protocol)

- **บริบทข้อจำกัดทางกายภาพปกติ (Baseline Terrestrial Constraint):** ในภาวะปกติ เส้นทางทางบกจาก รพ.สต.ปางหินฝน ไปยังบ้านพักผู้ป่วยรายใหม่ มีระยะทางรวม 13 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทางด้วยยานพาหนะสูงถึง 31 นาที ทว่าหากเกิดภัยพิบัติดินโคลนถล่ม เส้นทางดังกล่าวอาจถูกตัดขาดได้
- **ผลสัมฤทธิ์การบริหารยุทธวิธีบินอ้อมผ่าน (Aerial Bypass):** คณะทำงานปรับแผนการบินหน้างานจนเข้าสู่ "แผนการบินที่ 3" ซึ่งผ่านการบินทดสอบจำลอง (Test Flight) 1 รอบ และปฏิบัติการจัดส่งจริงสำเร็จ สามารถลำเลียงน้ำยาฟอกไตน้ำหนักรวม 20 กิโลกรัม ข้ามผ่านสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ฝ่ามรสุม ส่งตรงถึงหน้าบ้านผู้ป่วยได้อย่างปลอดภัย
- **สถิติจลนศาสตร์การบินแผนที่ 3 (Successful Telemetry):**
  - **จุดปล่อยตัว (Take-off Site):** ลานใกล้เคียง (บ้านเก่า) พิกัด 18°30'07.8"N 98°10'52.3"E
  - **จุดส่งมอบปลายทาง (Drop Zone):** บ้านผู้ป่วย พิกัด 18°30'02.8"N 98°11'02.8"E
  - **ระยะขจัดตรงทางอากาศ:** 450 เมตร (ย่นระยะเวลาทดแทนการเดินเท้าข้ามเขาฝ่าโคลน 7-20 นาที)
  - **ระยะเวลาปฏิบัติการบินสุทธิ:** 4 นาที (เวลาขึ้นบิน 14:53 น. - ลงจอด 14:58 น.)
  - **ความเร็วในภาคอากาศเฉลี่ย (Average Ground Speed):** 6.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(หมายเหตุ: ความเร็วในภาคอากาศเฉลี่ย เป็นความเร็วเฉลี่ยตลอดทั้งไฟลต์บิน ซึ่งรวมตั้งแต่ช่วงไต่ระดับขึ้น (Take-off) ช่วงบินเดินทางตรง และช่วงเริ่มชะลอความเร็วเพื่อลงจอดที่ Drop Zone เรียบร้อย)

ส่วนที่ 4: การบริหารวิกฤตหน้างานและการปรับเปลี่ยนแผนยุทธวิธี (Crisis Management & Tactical Adaptation)

ในการปฏิบัติการ ณ พื้นที่ ต.ปางหินฝน วันที่ 18 พฤษภาคม 2569 คณะทำงานต้องเผชิญวิกฤตซ้อนวิกฤต ทั้งจากสภาพภูมิอากาศมรสุมฝนตกหนัก ถนนเป็นดินโคลน และภาวะสัญญาณระบบเครือข่ายล่ม (Cellular Blackout) ทีมปฏิบัติการจึงได้ตัดสินใจปรับเปลี่ยนแผนยุทธวิธีหน้างานแบบทันท่วงที (Dynamic Adaptation) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้:

1. **การยกเลิกแผนการบินที่ 1 (Long-Range Abortion):** คณะทำงานวางแผนการบินจาก อบต.ปางหินฝน ไปยัง โรงเรียนบ้านแม่ตูม ระยะทางอากาศ 8.1 กิโลเมตร (ทางบกปกติใช้เวลา 21 นาที) ทว่าเมื่อประเมินความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศและพายุฝน พบว่าระยะทางดังกล่าวเกินขีดความสามารถที่ปลอดภัยของอากาศยานควบคุม ซึ่งจำกัดไว้ไม่เกิน 2 กิโลเมตร ภายใต้สภาวะวิกฤต คณะทำงานจึงสั่งระงับแผนนี้ทันทีเพื่อป้องกันความสูญเสีย
2. **การยกเลิกแผนการบินที่ 2 (Altitude & Terrain Crisis):** คณะทำงานเคลื่อนย้ายกำลังพลส่วนหน้าเข้าตั้งฐานที่ โรงเรียนบ้านแม่ตูม เพื่อบินส่งไปยังลานใกล้เคียง (บ้านเก่า) พิกัด 18°30'07.8"N 98°10'52.3"E (ทางบกปกติใช้เวลา 5 นาที) ทว่าเกิดอุปสรรคเนื่องจากตัวโรงเรียนตั้งอยู่ในพิกัดหลุมต่ำกว่าลานเป้าหมาย ส่งผลให้ความสูงสัมพัทธ์ในแนวดิ่งพุ่งสูงเกินเพดานบินปลอดภัยของอากาศยาน (เกินกว่า 80 เมตร) ประกอบกับฝนตกหนัก ดินสนามแปรสภาพเป็นโคลนเหลวและลื่น ไม่สามารถจัดตั้งจุด Landing ที่ปลอดภัยได้ แผนที่ 2 จึงถูกระงับ
3. **การสัมฤทธิผลในแผนการบินที่ 3 (Tactical Micro-Corridor):** ทีมปฏิบัติการย้ายสถานีภาคพื้นดินขึ้นไปจัดตั้งบน "ลานใกล้เคียง (บ้านเก่า)" ซึ่งเป็นพื้นที่ราบสูงกว่า แล้วเปิดแผนการบินระยะสั้น (Micro-Corridor) มุ่งตรงไปยังบ้านผู้ป่วย ระยะทาง 450 เมตร (ย่นระยะเวลาทดแทนการเดินเท้าข้ามเขาฝ่าโคลน 7-20 นาที) โดยสั่งการให้ใช้ โดรนตรวจการณ์นำร่อง (DJI Air 3S) บินทดสอบเพื่อเคลียร์น่านฟ้าและวัดระยะเพดานบินจริง 1 รอบ เมื่อระบบยืนยันความปลอดภัย จึงส่งโดรนขนส่งลำเลียงหนัก (DJI FlyCart 30) ปฏิบัติการบิน

จากหน้างาน พบว่าผู้ป่วยย้ายบ้านมาอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงตำแหน่ง ปล่อยโดรนขึ้น (เพื่อจะขนส่งไปยังบ้านเก่า ซึ่งเป็นเป้าหมายในปฏิบัติการครั้งนี้) จึงนำน้ำยาฟอกไตส่งมอบให้ผู้ป่วย ณ บ้านหลังใหม่ และดำเนินการขนส่งสิ่งเสมือนน้ำยาฟอกไตจำนวนสองกล่อง น้ำหนักประมาณ 20 กิโลกรัม เพื่อทดสอบระบบสำหรับการประยุกต์ใช้ ปฏิบัติการบินจริงกระทั่งภารกิจเสร็จสิ้น

การคำนวณต้นทุนการบินโดรนทางการแพทย์ (อ.ปางหินฝน อ.แม่แจ่ม)

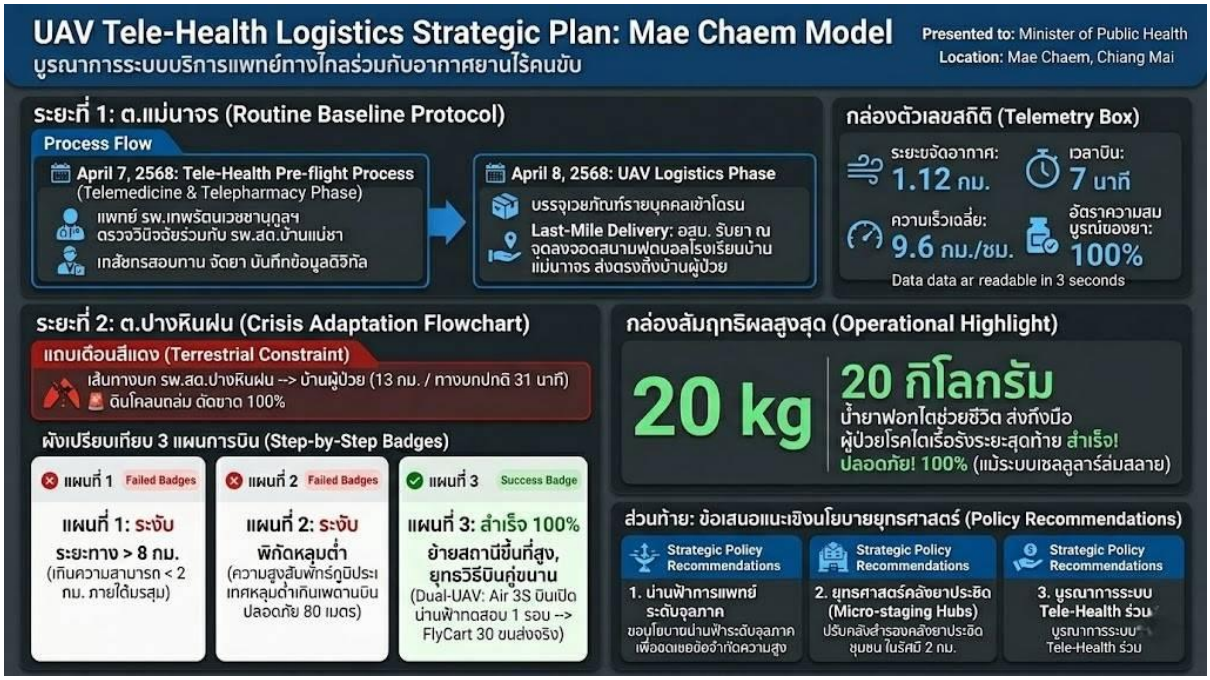
เนื่องจากหน้างานของแม่แจ่มใช้โดรน 2 รุ่นที่มีขนาดและวัตถุประสงค์ต่างกันอย่างชัดเจน ต้นทุนจึงแบ่งออกเป็นสองลักษณะ:การคิดต้นทุนโดรนภาครัฐ/โรงพยาบาล จะอ้างอิงหลักการคำนวณต้นทุนต่อหน่วย (Unit Cost) แสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2: ต้นทุนการบินโดรนทางการแพทย์

หมวดต้นทุน	**โดรนเล็กตรวจการณ์ DJI Air 3S (มูลค่าเครื่อง ~40,000 บาท)**	**โดรนขนส่งเวชภัณฑ์ DJI FlyCart 30 (มูลค่าเครื่องและระบบกว้าน ~650,000 บาท)**
วัตถุประสงค์หลัก	สแกนร่องเขา, พิสูจน์ทราบ, ค้นหา (ทัศนวิสัยต่ำ)	ลำเลียงยา, เวชภัณฑ์, เลือด, อุปกรณ์การแพทย์หนัก
หมวดที่ 1 ต้นทุนทางตรงครุภัณฑ์ (ค่าเสื่อม/ไฟลต์)		
1. ค่าเสื่อมราคาเครื่อง *(คิดอายุการใช้งาน 3 ปี / บินปีละ 300 ไฟลต์)*	~45 บาท	~720 บาท
2. ค่าเสื่อมสภาพแบตเตอรี่ *(Air 3S ก้อนละ ~5,000 บ. / FlyCart ก้อนคู่ ~70,000 บ. อายุ 200 รอบชาร์จ)*	~25 บาท	~350 บาท

หมวดต้นทุน	โดรนเล็กตรวจการณ์ DJI Air 3S (มูลค่าเครื่อง ~40,000 บาท)	โดรนขนส่งเวชภัณฑ์ DJI FlyCart 30 (มูลค่าเครื่องและระบบกว้าน ~650,000 บาท)
วัตถุประสงค์หลัก	สแกนร่องเขา, พิสูจน์ทราบ, ค้นหา (ทัศนวิสัยต่ำ)	ลำเลียงยา, เวชภัณฑ์, เลือด, อุปกรณ์การแพทย์หนัก
หมวดที่ 1 ต้นทุนทางตรงครุภัณฑ์ (ค่าเสื่อม/ไฟลต์)		
3. ค่าเบี้ยประกันภัยบุคคลที่ 3 และตัวเครื่อง *(เฉลี่ยรายปีหารเฉลี่ยรายไฟลต์)*	~15 บาท	~50 บาท
4. ค่ากระแสไฟฟ้าในการชาร์จ *(คำนวณจากความจุวัตต์-ชั่วโมงต่อไฟลต์ 4 นาที)*	~2 บาท	~15 บาท
หมวดที่ 2 ค่าใช้จ่ายบุคลากรและยานพาหนะ (เบิกจ่ายตามงบดำเนินงานปกติ)		
ค่าเบี้ยเลี้ยงบุคลากรหน้างาน (240 บาท/ 1 วัน)	480 บาท (2 คน)	720 บาท (3 คน)
ค่าพาหนะ	944.64 บาท	1,058.32 บาท
รวมต้นทุนปฏิบัติการสุทธิ / 1 ไฟลต์	**~1,511.64 บาท**	**~2,913.32 บาท**
ความคุ้มค่าเชิงเปรียบเทียบ	ประหยัดสูง เหมาะกับกรณีลาดตระเวนเปิดทาง	คุ้มค่าเชิงวิกฤต ย่นเวลาเดินเท้า7-20 นาทีใน 4 นาที

แผนภาพแสดงการบูรณาการระบบบริการแพทย์ทางไกลร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่



ส่วนที่ 5: สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนำร่อง "แม่แจ่มโมเดล" พิสูจน์ให้เห็นถึง ความเป็นไปได้เชิงระบบ (System Feasibility) ในการผสานเทคโนโลยีการแพทย์ทางไกลเข้ากับระบบโลจิสติกส์ไร้คนขับอย่างเต็มรูปแบบ โดยความสำเร็จในระยะที่ 1 (ต.แม่นาจร) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ "TeleMedicine + TelePharmacy + UAV Logistics" ที่เชื่อมโยงการทำงานแบบไร้รอยต่อในสภาวะปกติ ขณะที่บทเรียนจากความล้มเหลวเชิงยุทธวิธีในแผนการบินที่ 1 และ 2 ณ ตำบลปางหินฝน ไม่ได้แสดงถึงความล้มเหลวของโครงการ แต่กลับเป็นข้อมูลสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่า *"การขนส่งลำเลียงยาและเวชภัณฑ์ในพื้นที่ภูเขาสูงชัน ไม่สามารถพึ่งพาระบบอัตโนมัติระยะไกลระยะเดียวได้ แต่ต้องอาศัยการบริหารจัดการยุทธวิธีหน้างาน และการแบ่งระยะบินย่อย (Micro-staging) ตามข้อจำกัดของภูมิประเทศและสภาพอากาศ"*

5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนเชิงประจักษ์

จากการปฏิบัติการบินจริงในแผนที่ 3.2 (Successful Telemetry) โครงสร้างต้นทุนสามารถจำแนกออกเป็น 2 มิติสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเชิงนโยบาย:

1. **ต้นทุนการปฏิบัติการรวม (Total Operational Cost):** เมื่อนำต้นทุนทางตรงครุภัณฑ์ (ค่าเสื่อมโดรน, ค่าเสื่อมแบตเตอรี่, ค่าประกันภัย, ค่ากระแสไฟ) มารวมกับค่าใช้จ่ายบุคลากรและยานพาหนะตามหน้างานจริง (เบี้ยเลี้ยงและค่าพาหนะเดินทางราชการ แบบ 8708) พบว่า:
    - **ภารกิจตรวจการณ์ (DJI Air 3S):** มีต้นทุนรวมที่ 1,511.64 บาท ต่อภารกิจ
    - **ภารกิจขนส่งลำเลียง (DJI FlyCart 30):** มีต้นทุนรวมที่ 2,913.32 บาท ต่อภารกิจ
2. **ความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ (Cost-to-Benefit Weighting):** แม้ต้นทุนต่อไฟลต์ของโดรนขนส่งขนาดใหญ่จะมีมูลค่าสูง แต่เมื่อแลกกับ "เวลาปฏิบัติการสุทธิเพียง 4 นาที" ซึ่งสามารถทดแทนการเดินเท้าฝ่าโคลนสูงและข้ามเขาที่ต้องใช้เวลาถึง 7 - 20 นาที ถือเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในเชิงระบาดวิทยาและการแพทย์ฉุกเฉิน เนื่องจากช่วยลดอัตราการเสียชีวิตหรือความพิการของผู้ป่วยวิกฤตในถิ่นทุรกันดารได้ อีกทั้งยังลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บของบุคลากรและลดการสึกหรอของยานพาหนะทางบกของโรงพยาบาล

5.3 แนวทางการบริหารความเสี่ยงและธรรมาภิบาลการบิน

เพื่อตอบสนองต่อความปลอดภัยสาธารณะ มีการดำเนินการตามกรอบแนวทางแก้ไขและป้องกันไว้ 3 ประการ:

- ☐ **กลยุทธ์ชั่งน้ำหนักความเสี่ยงและประโยชน์ (Weighing Risks and Benefits):** กำหนดเกณฑ์จำกัดพื้นที่ (Area Exclusion Criteria) โดยหลีกเลี่ยงการใช้งานในชุมชนหนาแน่นหรือเขตเมือง แต่เน้นใช้ในกรณีภัยพิบัติขั้นวิกฤตที่ทางบกถูกตัดขาดพื้นที่ห่างไกล ป่า เขา ซึ่งมีความหนาแน่นของประชากรต่ำมากจนความเสี่ยงต่อบุคคลที่สามเข้าใกล้ศูนย์ จึงจะอนุญาตให้บินภายใต้การควบคุมระดับสูง
- ☐ **การโอนย้ายความเสี่ยง (Risk Transfer):** อากาศยานทุกลำที่ปฏิบัติภารกิจต้องจัดทำประกันภัยความรับผิดชอบต่อบุคคลที่สาม และประกันภัยตัวเครื่อง โดยมีสถานะความคุ้มครองที่สมบูรณ์และไม่หมดอายุ เพื่อเป็นหลักประกันทางการเงินแก่ชุมชน
- ☐ **ความถูกต้องทางกฎหมาย (Legal Compliance):** ผู้ควบคุมการบินมีใบอนุญาตอย่างถูกต้อง และโรงพยาบาลดำเนินการตามระเบียบราชการ จัดทำหนังสือขออนุญาตและประสานงานไปยังที่ว่าการอำเภอ และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และมณฑลทหารบกที่ ๓๓ (มทบ.๓๓) กองทัพภาคที่ ๓

คณะผู้จัดทำและประสานงานปฏิบัติการ:

โรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูล เฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่
คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มณฑลทหารบกที่ ๓๓ (มทบ.๓๓) กองทัพภาคที่ ๓

ภาคผนวก ภาพประกอบการดำเนินงาน

หมวดที่ 1: บริบทและปัญหาหน้างาน

ภาพที่ 1: สภาพเส้นทางคมนาคมในภาวะวิกฤต แสดงสภาพข้อจำกัดทางกายภาพของเส้นทางคมนาคมในตำบลปางหินฝนในช่วงฤดูมรสุม ซึ่งแปรสภาพเป็นดินโคลนเหลวหนาแน่น เป็นอุปสรรควิกฤตที่ทำให้ยานพาหนะกู้ชีพไม่สามารถสัญจรเข้าถึงบ้านผู้ป่วยได้ นำไปสู่ความจำเป็นในการใช้ยุทธวิธีส่งกำลังบำรุงทางอากาศ



ภาพที่ 2: ผังเปรียบเทียบการเดินทางทางบก แผนที่แสดงเส้นทางคมนาคมทางบกจาก รพ.สต. ปางหินฝน ถึงบ้านผู้ป่วย ซึ่งมีระยะทางไกลและมีความลาดชันสูง โดยในสภาวะปกติใช้เวลาเดินทางถึง 31 นาที แต่ในภาวะภัยพิบัติจะถูกตัดขาดโดยสิ้นเชิง



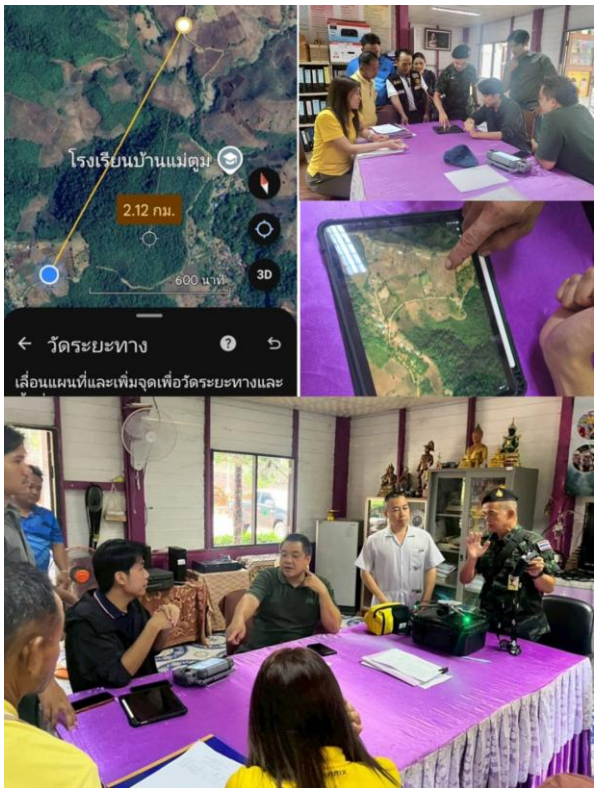
หมวดที่ 2: ระบบการแพทย์ทางไกลและการเตรียมการ

ภาพที่ 3: กระบวนการ TeleMedicine และ TelePharmacy แสดงขั้นตอนการตรวจวินิจฉัยและติดตามอาการผู้ป่วยผ่านระบบ Telemedicine รวมถึงการตรวจสอบและเตรียมเวชภัณฑ์รายบุคคลผ่านระบบ TelePharmacy เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ป่วยได้รับยาที่ถูกต้องแม่นยำก่อนเริ่มกระบวนการขนส่งด้วยโดรน



หมวดที่ 3: การวางแผนยุทธวิธีหน้างาน (Tactical Planning)

ภาพที่ 4: การวิเคราะห์พิกัดและวัดระยะทางอากาศ คณะทำงานประกอบด้วยทีมแพทย์ วิศวกร ทหารสื่อสาร ครู ฝ่ายปกครอง และสาธารณสุข ร่วมกันวิเคราะห์จุดลงศาสตร์การบินและประเมินพิกัดจุดหมายปลายทาง (Drop Zone) เพื่อปรับเปลี่ยนแผนจากแผนที่ 1 และ 2 เข้าสู่แผนที่ 3 ที่ประสบความสำเร็จ



ภาพที่ 5: การเตรียมความพร้อมของอากาศยาน ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมของอากาศยานไร้คนขับ DJI FlyCart 30 และการตรวจสอบระบบเซนเซอร์ก่อนการปฏิบัติงานจริง เพื่อค้ำประกันความปลอดภัยสูงสุดในภารกิจบรรทุกหนัก 20 กก.



ภาพที่ 6: จุดปล่อยตัวและการขึ้นบินคงเส้นทางปกติ ณ อบต. แม่นาจร แสดงการเตรียมความพร้อมและการปล่อยตัวอากาศยานไร้คนขับ DJI AGRAS T70P ณ จุดสตาร์ทองค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาจร เพื่อปฏิบัติภารกิจทดสอบความเป็นไปได้เชิงระบบในภาวะปกติ บินขนส่งสัมภาระยาเส้นทางอากาศมุ่งตรงไปยังพิกัดโรงเรียนบ้านแม่นาจร



หมวดที่ 4: ผลสัมฤทธิ์ของปฏิบัติการ

ภาพที่ 7: การลงจอดและการรับมอบเวชภัณฑ์ Last-Mile Delivery ณ ต.แม่นาจร แสดงความสำเร็จของเส้นทางบินประจำ (Routine Air Corridor) ระยะทาง 1.12 กิโลเมตร โดยอากาศยานลงจอดอย่างแม่นยำ ณ สนามฟุตบอลโรงเรียนบ้านแม่นาจร มีเจ้าหน้าที่ อสม. และทีมงานส่วนหน้าประจำจุด Landing เข้าประชิดตัวเครื่องเพื่อรับมอบกล่องเวชภัณฑ์ที่มีความสมบูรณ์ก่อนนำส่งตรงถึงบ้านผู้ป่วยในชุมชนอย่างปลอดภัย



ภาพที่ 8: ปฏิบัติการส่งมอบน้ำยาฟอกไตด้วยระบบสลิง ใช้โดรนตรวจการณ์ (DJI Air 3S) บินเคลียร์น่านฟ้าและวัดเพดานบินก่อน เมื่อปลอดภัยจึงส่งโดรนขนส่งหนัก (DJI FlyCart 30) ออกปฏิบัติการ พบว่าผู้ป่วยย้ายมาอยู่ใกล้จุดปล่อยโดรน จึงปรับแผนหน้างานส่งมอบน้ำยาฟอกไตจริงให้ผู้ป่วยโดยตรง ณ บ้านหลังใหม่ทันที จากนั้นดำเนินการทดสอบระบบขนส่งสิ่งเสมือนน้ำยาฟอกไต (2 กล่อง, ~20 กก.) ไปยังบ้านหลังเก่าเพื่อทดสอบระบบการบินจริงจนเสร็จสิ้นภารกิจ



ภาพที่ 9: คณะทำงานร่วมและภาพรวมความสำเร็จ คณะทำงานร่วมบูรณาการระหว่างโรงพยาบาลเทพรัตนเวชชานุกูล เฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา, มณฑลทหารบกที่ ๓๓ และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และชุมชนภายหลังเสร็จสิ้นภารกิจ "แม่แจ่มโมเดล" สะท้อนถึงความสำเร็จในการบูรณาการความมั่นคงร่วมกัน

