

ระบบรักษาโรคหลอดเลือดสมองเฉียบพลันเคลื่อนที่ระยะไกล MSU-SOS®

Mobile Stroke Emergency Telecare System: MSU-SOS®

พรชัย ชันยากร^{1*} ยงชัย นิลนนท์² และ บัณฑิต กังวานณรงค์กุล³

Pornchai Chanyagorn^{1*} Yongchai Nilanont² and Bundid Kungwannarongkun³

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

²ศูนย์โรคหลอดเลือดสมอง โรงพยาบาลศิริราช คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

²Siriraj Stroke Center, Siriraj Hospital, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

*Corresponding Author E-mail: pomchai.cha@mahidol.ac.th

Received: 20/06/24, Revised: 18/07/24, Accepted: 22/07/24

บทคัดย่อ

โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) เป็นสาเหตุที่ทำให้คนไทยเสียชีวิตและพิการเป็นอันดับ 2 โดยมีอัตราการเกิดอยู่ที่ 1,880 รายต่อประชากร 1 แสนราย อาการของโรคเกิดจากหลอดเลือดในสมองตีบจากลิ่มเลือดอุดตันหรือแตกจนมีเลือดออกในสมอง ทำให้เซลล์สมองเสียหายและตายลง หากไม่ได้รับการรักษาที่ถูกต้องภายใน 270 นาที ผู้ป่วยมีโอกาสความพิการหรือเสียชีวิตสูง ระบบการรักษาโรคหลอดเลือดสมองเฉียบพลันเคลื่อนที่ระยะไกล เพิ่มโอกาสของผู้ป่วยโดยเฉพาะผู้ป่วยในพื้นที่ห่างไกลให้สามารถเข้าถึงการตรวจวินิจฉัยและการรักษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านประสาทวิทยาสมองและบุคลากรชุดปฏิบัติงานที่ผ่านการฝึกตามมาตรฐานอย่างรวดเร็วที่สุด โดยศูนย์โรคหลอดเลือดสมอง โรงพยาบาลศิริราช และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ร่วมกันออกแบบ พัฒนา และเปิดใช้งานระบบการรักษาที่ชื่อว่า MSU-SOS® ตั้งแต่วันที่ 17 มิ.ย. 2561 ครอบคลุม 8 พื้นที่ทั่วประเทศ มีผู้ป่วยได้รับบริการรวม 1,414 ราย สามารถเพิ่มอัตราการเข้าถึงยาละลายลิ่มเลือด (rtPA) 2.8 เท่า และลดอัตราการลง 2 เท่าเมื่อเทียบกับการรักษาด้วยระบบปกติ โดยบทความนี้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเฉพาะทางวิศวกรรมเทียบกับตัวชี้วัดสำคัญด้านเวลา โดยใช้ข้อมูลจริงจากการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบหรือกระบวนการทางวิศวกรรมสำหรับการรักษาโรคหลอดเลือดสมองที่ครอบคลุมและมีผลต่อผลการรักษาโดยตรง

คำสำคัญ: โรคหลอดเลือดสมอง การออกแบบกระบวนการ การแพทย์ทางไกล

Abstract

Cerebrovascular disease or stroke was the 2nd ranking incident to cause death or total disability of Thai people. Death or disability was

caused by either obstruction of blood flow (acute ischemic stroke) or burst of blood vessel (intracerebral hemorrhage stroke) in the brain permanently damaged brain cells. There were 1,880 cases of stroke per 100,000 populations in Thailand and most of cases is in rural areas where stroke care service was not available. If an acute stroke patient could have medical treatment from neurologists within 270 minutes, the possibility of death and disability could be reduced significantly. Since 2018, the Siriraj Stroke Center, Siriraj Hospital and Faculty of Engineering, Mahidol University had jointly designed, developed and deployed the Mobile Stroke Emergency Telecare platform in 8 areas of Thailand. There were The platform was composed of Mobile Stroke vehicle, patient loading/un-loading system, communication system, medical CT image system, and stroke management system. This research was to study cost and correlation of work process performed in each version with time KPI in real stroke treatment cases. The result of this work could be beneficial to future design of work processes in such emergency telecare in which time constraint had directly impact on result of medical outcome.

Keywords: Stroke, Process Design, Telemedicine

1. บทนำ

1.1 โรคหลอดเลือดสมองรุนแรงเฉียบพลัน และปัญหาของการรักษา

โรคหลอดเลือดสมองรุนแรงเฉียบพลัน (Acute Stroke) มีโอกาสเกิดขึ้น 1,880 รายต่อประชากร 1 แสนราย ผู้ป่วยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีปัญหาการเดินทางทำให้ไม่สามารถเข้าถึงการวินิจฉัยและรักษาภายในเวลา 270 นาทีแรกเมื่อเกิดอาการ เป็นผลให้ผู้พิการถาวรหรือเสียชีวิต โดย Acute Stroke ถือเป็นโรคอันดับ 2 ที่ก่อให้เกิด

ภาวะพิการของประชาชนไทย สาเหตุที่ทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถเข้ารับการวินิจฉัยและรักษาใน 270 นาที เช่น ผู้ป่วยหรือญาติขาดความรู้เรื่อง Acute Stroke โรงพยาบาลใกล้เคียงผู้ป่วยขาดศักยภาพในการตรวจรักษา ความขาดแคลนแพทย์เชี่ยวชาญด้านประสาทวิทยา เป็นต้น ระบบรักษาโรคหลอดเลือดสมองเฉียบพลันเคลื่อนที่ระยะไกล ได้รับการออกแบบ พัฒนา และติดตั้งใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ซึ่งเรียกระบบบริการนี้ว่า MSU-SOS[®] หรือ Mobile Stroke Unite – Stroke One Stop โดยความร่วมมือของ ศูนย์โรคหลอดเลือดสมอง โรงพยาบาลศิริราช กับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และภาคีเครือข่าย

1.2 ระบบปฏิบัติการ Mobile Stroke Unit – Stroke One Stop

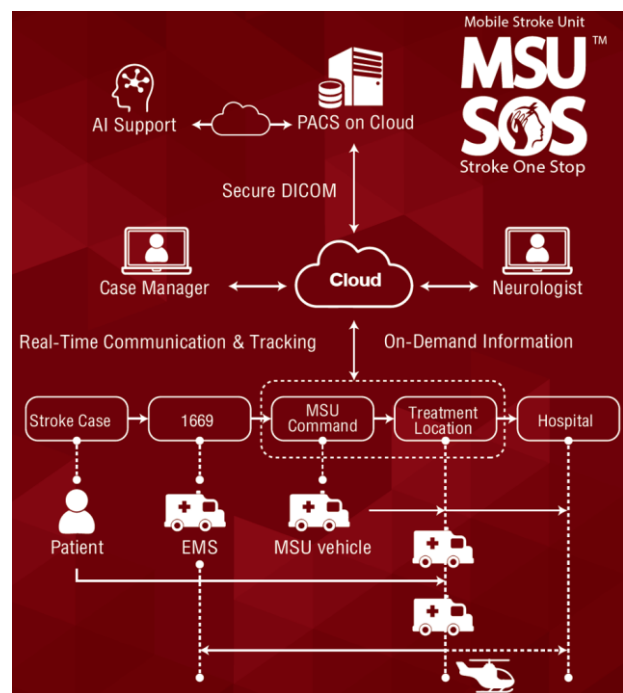
ระบบ MSU-SOS[®] ประกอบด้วย รถรักษาโรคหลอดเลือดสมองเฉียบพลัน (รถ MSU) ระบบการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยติดตั้งบนรถระบบสื่อสารบนรถและที่ศูนย์สั่งการ ระบบจัดการด้านภาพรังสีบนรถและบน Cloud และระบบบริหาร Stroke บน Private Cloud

จากรูปที่ 1 เมื่อผู้ป่วยมีอาการที่อาจเป็น Stroke ชนิดรุนแรงเฉียบพลัน อาการเช่น แขน/ขา ด้านใดด้านหนึ่งอ่อนแรง ปากเบี้ยว พูดไม่ชัด ผู้ป่วยหรือญาติติดต่อหมายเลขโทรศัพท์ 1669 เพื่อให้เจ้าหน้าที่ทางการแพทย์สอบถามประวัติโดยละเอียด หากมีอาการบ่งชี้ชัดเจนทางเจ้าหน้าที่จะดำเนินการ Activate MSU-SOS[®] ให้ออกปฏิบัติการ 1669 ส่งโรงพยาบาลฉุกเฉินขั้นสูง (ALS) ไปรับผู้ป่วย และศูนย์ MSU-SOS[®] แจ้งบุคลากรชุดปฏิบัติการเวอร์ออกปฏิบัติหน้าที่พร้อมรถ MSU บุคลากรชุดปฏิบัติการบนรถ MSU ประกอบด้วย พนักงานขับรถ พยาบาลวิชาชีพ/แพทย์ทั่วไป และเจ้าหน้าที่รังสี โดยรถ ALS ไปรับผู้ป่วย ณ สถานที่เกิดเหตุ เพื่อนำส่งรถ MSU ณ จุดนัดพบ (Meeting Point) เช่น สถานีบริการน้ำมัน หรือ พื้นที่องค์กรบริหารส่วนภูมิภาค หรือ โรงพยาบาลชุมชน เป็นต้น เมื่อผู้ป่วยมาถึงจุดนัดพบ จะดำเนินการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยขึ้นบนรถ MSU เพื่อเริ่มกระบวนการวินิจฉัยและรักษา ได้แก่ การตรวจร่างกาย สัญญาณชีพ การทำงานของระบบประสาทเบื้องต้น ตรวจสอบโดยใช้เครื่อง Computed Tomography Scanner (CT Scanner) รวมถึงการตรวจการแข็งตัวของโลหิต พยาบาลผู้จัดการรายกรณี (Case Manager) ทำหน้าที่ประสานงานกับแพทย์เชี่ยวชาญประสาทวิทยา (Neurologist) ที่อยู่นอกพื้นที่ให้เข้าร่วมตรวจด้วยระบบสื่อสาร Emergency Telecare ผ่านโครงข่าย Internet เพื่อให้ดูและสั่งการตรวจร่างกาย ดูภาพ CT สมอง และสอบถามประวัติผู้ป่วย ญาติ หรือทีม MSU ด้วยตนเองแบบ Real-time และในกรณีเส้นเลือดสมองตีบและไม่มีข้อห้ามการให้ยา เมื่อแพทย์เชี่ยวชาญประสาทวิทยามีคำสั่ง (Order) ให้ยา rt-PA (ยาละลายลิ่มเลือด) หรือยาอื่นๆ ที่จำเป็น แพทย์หรือพยาบาลบนรถ MSU จะดำเนินการรักษาตามคำสั่งทันที ในขณะที่พยาบาลผู้จัดการรายกรณี (Case Manager) ดำเนินการประสานการส่งต่อผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลปลายทางต่อไปเพื่อรับการรักษาต่อเนื่อง เช่น การใส่สายสวนลากลุ่มเลือดจากสมอง หรือการผ่าตัดเอาการหลังให้ยา เป็นต้น [1, 2]

จากรูปแบบปฏิบัติการดังกล่าวทำให้ระยะเวลาที่ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยโดยเครื่อง CT Scanner และ Neurologist เมื่อมาถึงรถ MSU (Door-to-CT) อยู่เฉลี่ยที่ 7.54 นาที +/- 4.75 นาที และเวลาจากเมื่อมาถึงรถ MSU จนได้รับการรักษาด้วยยาละลายลิ่มเลือด (Door-to-Needle) เฉลี่ยที่ 20.8 นาที +/- 11.51 นาที (ข้อมูลจากรถ MSU-1 ถึง MSU-6) ซึ่งถือว่าเร็วกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบ Stroke Fast track ที่จะใช้เวลาที่ 40-45 นาที และมาตรฐานทางการแพทย์ยอมรับสำหรับปฏิบัติการ Stroke Fast Track ที่ไม่ควรเกิน 60 นาทีนับจากเวลาที่ผู้ป่วยมาถึงโรงพยาบาล

2. Work Process and Time KPI

กระบวนการทำงานของ MSU-SOS[®] มีเหตุการณ์และกิจกรรมที่สำคัญของกระบวนการเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับ Mobile Stroke Emergency Telecare System ที่นำเสนอในบทความนี้ ได้ดังนี้ (1) เวลาที่ผู้ป่วยมีอาการหรือมีผู้พบเห็นผู้ป่วยมีอาการ หรือเวลาครั้งสุดท้ายที่เห็นผู้ป่วยมีอาการปกติ เรียกว่า “Onset time หรือ Last seen normal time” (2) เวลาที่ 1669 ขอ Activate บริการ MSU-SOS[®] เรียกว่า “Activated time” (3) เวลาที่ผู้ป่วยถูกเคลื่อนย้ายเข้ารถ MSU เรียกว่า “Door time” (4) เวลาที่ผู้ป่วยได้รับการตรวจสอบด้วยเครื่อง CT Scan และได้ภาพแรกเข้ามาในระบบ MSU-SOS[®] เรียกว่า “CT time” (5) เวลาที่แพทย์เชี่ยวชาญประสาทวิทยา (Neurologist) ตัดสินใจและมีคำสั่งรักษา เรียกว่า “Decision time” และ (6) เวลาที่มีการให้ยา rt-PA หรือยาละลายลิ่มเลือดบนรถ MSU โดยให้เฉพาะผู้ป่วยที่เป็นโรคหลอดเลือดสมองตีบ และไม่มีข้อห้ามในการให้ยา และญาติ/ผู้ป่วยยินยอม เรียกว่า “Needle time”



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของ MSU-SOS[®]

*หมายเหตุ MSU-SOS[®] เป็นเครื่องหมายการค้าจดทะเบียน [9]

สำหรับ Time KPI ที่สำคัญเพื่อวัดผลประสิทธิภาพของระบบ Mobile Stroke Emergency Telecare มีดังนี้

(ก) **“Door time – CT time” หรือ Door-to-CT** เป็นช่วงเวลาที่ได้รับผู้ป่วยขึ้นรถ MSU ซึ่งนำนักผู้ป่วย ส่งข้อมูลภาพถ่ายการตรวจร่างกาย ข้อมูลประวัติผู้ป่วย ให้ Neurologist และ Case Manager เวลาที่นักรังสีและทีมเตรียมผู้ป่วย จัดทำทางเพื่อเตรียมเข้าเครื่อง CT Scanner จนเริ่ม CT Scan ได้ภาพสมองภาพแรก หากระบบมีปัญหาทางวิศวกรรม เช่น อุปกรณ์ถ่ายผู้ป่วยติดขัด อุปกรณ์ซึ่งนำหนักมีปัญหา หรือสัญญาณการสื่อสารบนรถ MSU มีปัญหา หรือระบบปฏิบัติการของเครื่อง CT scanner มีปัญหา จะทำให้ Door-to-CT มีค่าเพิ่มขึ้น

(ข) **“CT time - Needle time” หรือ CT-to-Needle** เป็นช่วงเวลาตั้งแต่ได้ภาพ CT สมองภาพแรกให้ Neurologist เห็นในระบบ พร้อมทั้งค่าข้อมูลสำคัญต่างๆ เช่น ค่าความดันโลหิต การหายใจ ค่า SpO2 ประวัติการให้ยา ประวัติความเจ็บป่วยเดิม จนถึงเวลาที่ Neurologist ตัดสินใจกำหนดและมีการสั่งการรักษายาโดยการให้ยาละลายลิ่มเลือด และเวลาที่ฉีดยาละลายลิ่มเลือดให้ผู้ป่วยทางหลอดเลือดดำ ซึ่งหากระบบของ MSU-SOS® ที่ออกแบบไม่มีคุณภาพเพียงพอ จะทำให้เวลา CT-to-Needle จะมีค่าเพิ่มขึ้น

(ค) **“Door time – Needle time” หรือ Door-to-Needle** เป็นช่วงเวลาตั้งแต่ผู้ป่วยเริ่มเคลื่อนย้ายขึ้นรถ MSU ไปจนถึงเวลาที่ผู้ป่วยได้รับการฉีดยาละลายลิ่มเลือด rt-PA แบบทันที เนื่องจากการเตรียมยาต้องการข้อมูลน้ำหนักผู้ป่วยเพื่อคำนวณปริมาณยาที่จะให้โดยแบ่งเป็น 2 ปริมาณ คือ ปริมาณยาที่ต้องฉีดทันที (Bolus dose) และปริมาณยาที่ต้องให้ทางหลอดเลือดดำภายใน 1 ชั่วโมง (Drip dose) และค่าความดันโลหิตก่อนการให้ยา หากระบบออกแบบมาไม่มีการส่งข้อมูลและการสื่อสารอาจทำให้ค่า Door-to-Needle เพิ่มขึ้นได้

ซึ่งหากค่าของ Door-to-CT หรือ CT-to-Needle หรือ Door-to-Needle เพิ่มขึ้น หมายถึงโอกาสที่ผู้ป่วยจะได้ประโยชน์จากระบบ MSU-SOS® ลดลง ส่งผลให้ผู้ป่วยมีโอกาสพิการหรือเสียชีวิตมากขึ้น

3. หน่วยรักษาอัมพาตเคลื่อนที่ (Mobile Stroke Unit)

รถหน่วยรักษาอัมพาตเคลื่อนที่ หรือ Mobile Stroke Unit Vehicle ชื่อย่อ รถ MSU เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบ MSU-SOS® ที่ได้รับการจดทะเบียนสิทธิบัตรการประดิษฐ์ และจดทะเบียนเครื่องหมายการค้า โดยมีหน่วยรักษาอัมพาตเคลื่อนที่ (Mobile Stroke Unit) ตลอด 5 ปีใน 8 พื้นที่ ดังนี้ (A1) สังกะวันตคของแม่น้ำเจ้าพระยาและ จ.นนทบุรี จ.นครปฐม บางส่วน (A2) อ.บางแสน จ.ชลบุรี และอำเภอใกล้เคียง (A3) อ.จอมบึง จ.ราชบุรี และอำเภอใกล้เคียง (A4) อ.เขียงของ จ.เขียงราย และอำเภอใกล้เคียง (A5) อ.ธาตุพนม จ.นครพนม และอำเภอใกล้เคียง (A6) อ.สิริรัฐ นิคม จ.สุราษฎร์ธานี และอำเภอใกล้เคียง (A7) อ.คลองท่อม จ.กระบี่ และอำเภอใกล้เคียง (A8) อ.ชะอวด จ.นครศรีธรรมราช และอำเภอใกล้เคียง โดยก่อนที่โรงพยาบาลในพื้นที่จะสามารถใช้งานระบบ MSU-SOS® และ

รถ MSU ได้จะมีการสำรวจทางการแพทย์และทางวิศวกรรมร่วมกัน บุคลากรปฏิบัติการในพื้นที่ต้องผ่านการฝึกตามหลักสูตรมาตรฐานด้านการดูแลผู้ป่วย Stroke และหลักสูตรมาตรฐานปฏิบัติการ MSU-SOS® Standardization มีการภาคทฤษฎีและปฏิบัติการ และฝึกทวนเสมือนจริงอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์จากการขาดความชำนาญ และปัญหาที่อาจเกิดจากระบบและอุปกรณ์

ปัจจุบันรถ MSU มีทั้งหมด 4 รูปแบบ 2 รุ่นย่อย และปัจจุบันผลิตเพื่อใช้ปฏิบัติการจำนวน 6 คัน มีรายละเอียดดังนี้ MSU-1 (2017), MSU-2 (2019), MSU-3 & 4 (2020), และ MSU-5 & 6 (2021-2022) โดยรูปที่ 2-3 แสดงความแตกต่างภายนอกของรถ MSU และอยู่ระหว่างผลิตอีก 1 คัน

รถ MSU ทุกคันต้องผ่านมาตรฐานด้านความปลอดภัยของกรมการขนส่งทางบก ผ่านมาตรฐานด้านรังสีของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ผ่านมาตรฐานรถฉุกเฉินทางการแพทย์ขั้นพื้นฐานจากสถาบันการแพทย์ฉุกเฉิน โดยการตรวจจะดำเนินการทุกปีหรือตามที่กฎหมายกำหนด เพื่อต่อใบอนุญาต และต้องมีการฝึกทวนของทีมปฏิบัติการร่วมปีละ 1 ครั้ง

สำหรับระบบ MSU-SOS® รถทั้ง 6 คัน และคันต่อไปในอนาคต ใช้ระบบการจัดการเป็นมาตรฐานเดียวกันคือ MSU Management System ติดตั้งบน Private Cloud ภายในประเทศไทย ในขณะที่ระบบ Mobile Stroke Emergency Telecare นั้นมีความแตกต่างกันเนื่องจากการปรับปรุงออกแบบเพิ่มเติมตลอดช่วงเวลา 5 ปีที่ใช้งาน โดยทางผู้ออกแบบได้กำหนดตัวชี้วัดคุณภาพของระบบและแสดงค่าตามตารางที่ 1



รูปที่ 2 Exterior of MSU-1 (2017)



รูปที่ 3 Exterior of MSU-2 ถึง MSU-6 (2019 – 2022)

ตารางที่ 1 แสดงค่าของตัวชี้วัดเชิงคุณภาพของระบบในรถ MSU แต่ละรูปแบบ

ตัวชี้วัดเชิงคุณภาพ	MSU 1	MSU 2	MSU 3&4	MSU 5&6
Q1: การล่าเสียงผู้ป่วย	**	**	**	***
Q2: การสื่อสารภาพเสียง	*	**	***	***
Q3: การแสดงภาพ CT สมอ	**	**	**	***
Q4: การส่งข้อมูลภาพ CT	**	**	***	***

ตัวชี้วัดคุณภาพของระบบ Mobile Stroke Emergency Telecare เรื่อง **“การล่าเสียงผู้ป่วย”** เป็นการวัดจากเวลาที่ใช้ล่าเสียงผู้ป่วยจากรถ ALS มาสู่รถ MSU ซึ่งน้ำหนักตัวผู้ป่วย ซึ่งรถแต่ละรูปแบบมีความต่างกัน และการเตรียมทำ CT Scan ซึ่งสอดคล้องกับ Time KPI คือ **Door-to-CT** time โดยค่า ******* คือใช้เวลาเฉลี่ยสั้นที่สุดและ ***** คือใช้เวลาเฉลี่ยนานที่สุด เมื่อมีการเรียงลำดับจากข้อมูลปฏิบัติการจริง สำหรับตัวชี้วัดเชิงคุณภาพ **“การสื่อสารภาพเสียง”** และ **“การแสดงภาพ CT สมอ”** และ **“การส่งข้อมูลภาพ CT”** เป็นผลจากระบบสื่อสาร ระบบเสียง ระบบภาพ และ start-up ระบบบนรถ MSU ในแต่ละรุ่นที่มีความแตกต่างกัน เพื่อให้ Neurologist และ Case Manager ได้ตอบโต้กับทีม MSU บนรถได้เสมือนอยู่บนรถ ซึ่งมีผลต่อ Time KPI คือ **CT-to-Needle** และ **Door-to-Needle** โดยค่า ******* คือ ค่าเฉลี่ย Network QoS ดีสุด และ ***** คือค่าเฉลี่ย Network QoS แย่ที่สุดเมื่อเรียงลำดับจากข้อมูลการปฏิบัติการจริง โดยวัดจากค่าเฉลี่ยของ Network QoS เช่น Ping time, Data package latency, และ Data Jitter ในช่วงเวลาออกปฏิบัติการ

4. ผลการปฏิบัติงานของ MSU-SOS® เปรียบเทียบกับ Time KPI

จากข้อมูลการปฏิบัติงานของ MSU-SOS® ตั้งแต่วันที่ 7 มิ.ย. 2561 ถึงวันที่ 10 ก.ค. 2566 ให้บริการผู้ป่วยจำนวนทั้งสิ้น 1,412 ราย (เพศชาย 815 ราย และเพศหญิง 597 ราย) อายุเฉลี่ย 62.3 ปี (Max 98 ปี Min 20 ปี) จากทั้งหมด 8 ศูนย์ปฏิบัติการ MSU โดยมีจำนวนผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองแบบตีบที่รับยาสลายลิ่มเลือดชนิด rt-PA จำนวน 355 ราย และชนิดอื่น 20 ราย และได้รับยาสลายลิ่มเลือดพร้อมส่งต่อเพื่อใส่สายสวนลากลิ่มเลือดจากเส้นเลือดสมอง จำนวน 71 ราย รวมทั้งหมด 446 ราย (ร้อยละ 31.59 ของผู้ป่วยทั้งหมด 1,412 ราย) โดยมีค่า Time KPI แยกตามรูปแบบรถ MSU ได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่า Min, Max, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนผู้ป่วย เฉพาะที่ได้รับยาสลายลิ่มเลือดจำแนกตามรถ MSU คันที่ 1 ถึง คันที่ 6 และรวมทั้ง 6 คัน

	Door-to-CT	CT-to-Needle	Door-to-Needle	No. of Pt.
MSU-1	6.58 นาที [1, 37] +/- 4.76	14.62 นาที [4, 88] +/- 10.90	21.20 นาที [7, 93] +/- 11.84	113 ราย
MSU-2	6.73 นาที [1, 34] +/- 4.40	15.32 นาที [4, 73] +/- 10.97	22.05 นาที [8, 90] +/- 12.88	115 ราย
MSU-3	7.76 นาที [2, 16] +/- 2.78	11.89 นาที [4, 52] +/- 9.79	19.65 นาที [9, 61] +/- 9.95	54 ราย
MSU-4	9.54 นาที [3, 53] +/- 6.75	10.18 นาที [5, 28] +/- 5.33	19.72 นาที [9, 59] +/- 8.33	71 ราย
MSU-5	8.43 นาที [4, 31] +/- 4.13	11.98 นาที [3, 65] +/- 11.25	20.42 นาที [11, 76] +/- 12.48	60 ราย

	Door-to-CT	CT-to-Needle	Door-to-Needle	No. of Pt.
MSU-6	7.30 นาที [4, 11] +/- 1.45	12.73 นาที [4, 64] +/- 11.13	20.03 นาที [11, 71] +/- 11.19	33 ราย
ALL	7.54 นาที [1, 53] +/- 4.75	13.27 นาที [3, 88] +/- 10.35	20.80 นาที [7, 93] +/- 11.51	446 ราย

*หมายเหตุ รูปแบบการแสดงค่า “Average [min, max] +/- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน”

5. คุณภาพระบบเครือข่าย (Network Quality of Services: QoS)

การติดตามคุณภาพของเครือข่ายที่ใช้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของรถ MSU แต่ละคัน นำมาปรับปรุงเสถียรภาพของระบบเครือข่าย ให้มีความพร้อมตลอดการออกปฏิบัติการของรถ MSU มีการทดสอบการตั้งค่าของอุปกรณ์เครือข่ายเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมกับการถ่ายทอดภาพและเสียงจากภายในรถ MSU ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการค่าเฉลี่ยตรวจติดตามคุณภาพเครือข่าย (Network QoS) จำนวนตามรถ MSU คันที่ 1 ถึง คันที่ 6 ตั้งแต่เริ่มออกปฏิบัติการถึงจบปฏิบัติการ

Average time of	MSU 1 (4G)	MSU 2 (4G/LTE)	MSU 3&4 (LTE/5G)	MSU 5&6 (LTE/5G)
Ping Time (msec)	1.6	0.178	0.048	0.006
Data Latency (msec)	3	3.53	1	0
Packet loss (%)	25	13.8	0	0

*หมายเหตุ แสดงค่าเฉลี่ยในช่วงที่ออกปฏิบัติการ จาก Core Switch ของ MSU แต่ละคัน

รถ MSU 1 มีอุปกรณ์เครือข่ายที่รองรับการบริการอินเทอร์เน็ตแบบผู้ให้บริการเดียวด้วยเทคโนโลยี 4G จึงเกิดการกระตุกของภาพ เสียง และความละเอียดของภาพลดลงในบางช่วงของการปฏิบัติการ [3, 4] จากตารางที่ 3 MSU-1 มีค่า Ping time เฉลี่ยมีค่าสูงที่สุด คือ 1.6 msec ค่า Data latency เฉลี่ยมีค่าสูงเป็นอันดับสอง และ Package loss เฉลี่ยสูงถึง 25% เมื่อเทียบกับทุก MSU กระบวนการปฏิบัติการ โดยตรง รถ MSU 2 ออกแบบระบบสื่อสารรองรับ 2 ผู้ให้บริการแบบ Active-Active ด้วยเทคโนโลยี 4G/LTE เพื่อสลับเครือข่ายเมื่อจำเป็น ลดค่า Package loss เฉลี่ยลงเหลือ 13.8% ใน MSU 3 และ 4 ออกแบบอุปกรณ์สื่อสารแบบแยกส่วน 3 ชุด และกำหนดตำแหน่งติดตั้งเสาอากาศ และการสะท้อนสัญญาณจากตัวป้องกันรังสีที่ตั้งบนโครงสร้างตัวรถ เปลี่ยนใช้เทคโนโลยี 5G เพิ่มระบบการจัดการ Network Load Balancing ลดปัญหาการสื่อสารที่มีผลเสียต่อการออกปฏิบัติงานได้ตามตารางที่ 3

รถ MSU 5 และ 6 ติดตั้งเสารับส่งสัญญาณ MIMO ในย่านความถี่เทคโนโลยี 4G LTE และในย่าน 5G Sub-6 (< 6GHz) และ เสาสัญญาณและ Directional ย่านความถี่ 5G Sub-6 ส่งผลให้คุณภาพสัญญาณสื่อสารทางเทคนิค เช่น ค่า RSSI ค่า Signal loss ดีขึ้น ส่งผลให้ค่า Ping time ค่า Data latency และ % Package loss มีค่าดีขึ้นตามตารางที่ 3 แต่การออกแบบนี้มีส่วนกระทบต่อการสื่อสาร และค่าใช้จ่ายด้านโครงข่ายสูงที่สุด [5, 6]

พื้นที่และเส้นทางปฏิบัติการของรถ MSU เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพสัญญาณสื่อสาร เนื่องจาก MSU-SOS® จะออกปฏิบัติการในพื้นที่ห่างไกล มีจุดับสัญญาณตลอดเส้นทาง และมีความไม่คุ้มค่าทางธุรกิจในการกระจายสัญญาณสื่อสาร จึงจำเป็นต้องมี

การปรับตั้งค่าอุปกรณ์เครือข่ายบนรถ MSU เป็นระยะๆ เพื่อให้คงประสิทธิภาพการใช้งานในระหว่างออกปฏิบัติการ

6. สรุป

MSU-SOS[®] เป็นการบูรณาการความรู้ความเชี่ยวชาญทางการแพทย์ด้านการรักษาโรคหลอดเลือดสมอง การแพทย์ฉุกเฉิน กับความเชี่ยวชาญทางวิศวกรรมศาสตร์ด้านการออกแบบตัวรถ ระบบทางวิศวกรรม ระบบสารสนเทศ และระบบสื่อสาร จนเกิด Eco System ที่สามารถแก้ปัญหาการเข้าถึงการรักษาโรค Stroke ที่ทันสมัย ช่วยลดอัตราการเสียชีวิตลงได้อย่างมีนัยสำคัญ [1, 2] ตัวรถ MSU ได้รับการจดทะเบียนสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ [7] และได้ยื่นขอจดทะเบียนสิทธิบัตรในต่างประเทศผ่าน PCT Office [8] ในขณะที่ตัวระบบต่างๆ อยู่ระหว่างการขอรับรองมาตรฐาน เช่น ISO 27001, IEC 60601-1 CL.14, IEC 62304, ISO 14971, ISO 13485 เพื่อให้ MSU-SOS[®] ได้รับการยอมรับในระดับสากล และขยายการใช้งานไปยังต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nilanont, Y., Chanyagorn, P., Shukij, K. et al. "Comparing performance measures and clinical outcomes between mobile stroke units and usual care in underserved areas," *Neurological Sciences* 44, vol. 44, no. 4, pp. 1261–1271, 2023.
- [2] Nilanont, Y., Shukij, K., Pengtong, W. et al. "Comparing Process, Performance Measures and Clinical Outcome Between Mobile Stroke Unit and Usual Care in Underserved Areas," in *Proc. of International Stroke Conference 2021*, Session title: Cerebrovascular Systems of Care, vol. 52, AP123, March 2021.
- [3] Lyko, T., et al., "Improving quality of experience in adaptive low latency live streaming," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 33, pp. 15957–15983, 2023.
- [4] Biernacki, A. and K. Tutschku, "Performance of HTTP video streaming under different network conditions," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 72, no.2, pp. 1143-1166, 2014.
- [5] Chen M., Yang J., Hao Y., Mao S., Hwang K., "A 5G Cognitive System for Healthcare," *Big Data and Cognitive Computing*, vol.1 no. 2, pp. 1-15, 2017.
- [6] R. S. H. Istepanian, N. Y. Philip and M. G. Martini, "Medical QoS provision based on reinforcement learning in ultrasound streaming over 3.5G wireless systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 27, no. 4, pp. 566-574, May 2009.
- [7] มหาวิทยาลัยมหิดล และบริษัท อาร์เอ็มเอ ออโตโมทีฟ จำกัด, สิทธิบัตรการประดิษฐ์ "ยานพาหนะสำหรับการตรวจวินิจฉัยทางรังสี," เลขที่สิทธิบัตร 94146, วันที่ขึ้นทะเบียน 17 มิถุนายน 2566.
- [8] Yongchai Nilanont and Pornchai Chanyagorn, "A Mobilized Diagnostic System," PCT Patent Filling Number PCT/TH2022/000026, PCT Patent Office, Filling date 29 June 2022.
- [9] ยงชัย นิละนนท์ และ พรชัย ชันยากร, "MSU-SOS – Stroke One Stop," เครื่องหมายการค้าจดทะเบียน เลขที่ 231100724, วันที่อนุมัติ 11 มกราคม 2566.