โครงงานเลขที่ วศ.คพ. 261492/2568

เรื่อง

แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2

โดย

กวิน ชูสิน	รหัส **650610745**
ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส **650612082**
ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส **650610768**
ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส **650612089**

โครงงานนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2568

PROJECT No. CPE 261492/2568

Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2

Kawin Choosin	**650610745**
Natthapon Chanawerot	**650612082**
Thanawat Jaisert	**650610768**
Pariwat Wonginchan	**650612089**

A Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Bachelor of Engineering

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chiang Mai University

2025

หัวข้อโครงงาน	: แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2	
	: Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2	
โดย	: กวิน ชูสิน	รหัส 650610745
	ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส 650612082
	ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส 650610768
	ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส 650612089
ภาควิชา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา	
ปริญญา	: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	: 2568	

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

..... หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
(ผศ.ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ)

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา)

..... กรรมการ
(ผศ. โดม โพธิกานนท์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ)

หัวข้อโครงงาน	: แพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก เฟส 2	
	: Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2	
โดย	: กวิน ชูสิน	รหัส 650610745
	ณัฐพล ชนเวโรจน์	รหัส 650612082
	ธนวัฒน์ ใจเสริฐ	รหัส 650610768
	ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์	รหัส 650612089
ภาควิชา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา	
ปริญญา	: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	: วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	: 2568	

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการคัดกรองและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก (Oral Potentially Malignant Disorders: OPMD และ Oral Cancer) โดยมุ่งเน้นการเพิ่มการเข้าถึงบริการทางทันตกรรมในกลุ่มผู้สูงอายุและประชาชนในพื้นที่ห่างไกล ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 ได้รับการออกแบบให้เป็นแพลตฟอร์มแบบ Hybrid ที่ผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับ Mobile Application และระบบ Tele-consult แบบ Asynchronous เพื่อสนับสนุนการคัดกรองโดยอาสาสมัครสาธารณสุขและบุคลากรแนวหน้า

ในด้านสถาปัตยกรรม ระบบได้รับการปรับปรุงจากรูปแบบ Monolithic ไปสู่ Modular Monolith บนแนวคิด Clean Architecture โดยใช้ Next.js สำหรับส่วน Frontend และ FastAPI สำหรับ Backend ร่วมกับฐานข้อมูล PostgreSQL และระบบจัดเก็บข้อมูล MinIO และ Redis เพื่อเพิ่มความสามารถในการขยายระบบและความทนทาน นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาระบบ AI แบบ Dual-Path ซึ่งประกอบด้วย Primary Path ที่ใช้ GPU (NVIDIA Triton Inference Server) และ Fallback Path ที่ใช้ CPU (TensorFlow Lite) เพื่อรองรับการทำงานต่อเนื่องและลดความเสี่ยงจาก Single Point of Failure โดยสามารถสลับการทำงานอัตโนมัติภายในเวลาไม่เกิน 1 วินาที

ผลการทดสอบระบบพบว่าสามารถรองรับการคัดกรองได้มากกว่า 500 กรณี โดยมีค่า latency เฉลี่ยต่ำกว่า 200 มิลลิวินาที และมีความเสถียรของระบบในระดับสูง นอกจากนี้ ระบบยังรองรับมาตรฐานความปลอดภัยของข้อมูล เช่น PDPA และ HIPAA ผ่านการเข้ารหัสแบบ End-to-End และการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงแบบ Role-Based Access Control

โดยสรุป ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 เป็นแพลตฟอร์มทางการแพทย์ที่สามารถนำไปใช้งานจริงในระดับชุมชน ช่วยเพิ่มโอกาสในการตรวจพบโรคในระยะเริ่มต้น ลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ และสนับสนุนการพัฒนาระบบสุขภาพดิจิทัลอย่างยั่งยืน

Project Title	:	Digital Platform for Detecting and Analyzing Oral Potentially Malignant Disorders and Oral Cancer Phase 2
Name	:	Kawin Choosin 650610745
		Natthapon Chanawerot 650612082
		Thanawat Jaisert 650610768
		Pariwat Wonginchan 650612089
Department	:	Computer Engineering
Project Advisor	:	Assoc. Prof. Patiwet Wuttisarnwattana, Ph.D.
Degree	:	Bachelor of Engineering
Program	:	Computer Engineering
Academic Year	:	2025

ABSTRACT

This project presents a digital platform for detecting and analyzing Oral Potentially Malignant Disorders (OPMD) and oral cancer, aiming to improve access to early screening among elderly populations and underserved communities. The proposed system, eDENT-ELDER Phase 2, is designed as a hybrid AI-driven medical platform integrating mobile applications and asynchronous teleconsultation to support frontline healthcare workers and village health volunteers.

The system architecture has been re-engineered from a monolithic design to a modular monolith based on Clean Architecture principles. It employs Next.js for the frontend and FastAPI for the backend, along with PostgreSQL, MinIO, and Redis for data management and processing. A key contribution is the Dual-Path AI system, which combines a GPU-based primary inference pipeline (NVIDIA Triton) with a CPU-based fallback (TensorFlow Lite), enabling automatic failover within one second and ensuring high system availability.

Experimental results demonstrate that the platform can process over 500 screening cases with an average inference latency below 200 ms and high system reliability. The platform also complies with medical data security standards, including PDPA and HIPAA, through end-to-end encryption and role-based access control.

In conclusion, eDENT-ELDER Phase 2 provides a scalable and reliable AI-assisted screening platform suitable for real-world deployment, enhancing early detection rates, reducing healthcare workload, and supporting sustainable digital health systems.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการแพลตฟอร์มดิจิทัลสำหรับการค้นหาและวิเคราะห์รอยโรคก่อนมะเร็งและมะเร็งช่องปาก (eDENT-ELDER Phase 2) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปฏิเวธ วุฒิสารวัฒนา (Assoc. Prof. Patiwet Wuttisarnwattana, Ph.D.) อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และการสนับสนุนทางวิชาการอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ รวมถึงช่วยชี้แนะแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โดม โพธิกานนท์ (Asst. Prof. Dome Potikanond) และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นวดนย์ คุณเลิศกิจ (Asst. Prof. Navadon Khunlertgit, Ph.D.) คณะกรรมการสอบที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาสาสมัครสาธารณสุข (อสม.) และบุคลากรทางการแพทย์ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และสนับสนุนการพัฒนาโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมทีมทุกคนที่ร่วมแรงร่วมใจในการออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบ จนโครงการสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุน กำลังใจ และความเข้าใจตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

กวิน ชูสิน
ณัฐพล ชนเวโรจน์
ธนวัฒน์ ใจเสริฐ
ปริวัตร วงศ์อินทร์จันทร์
25 มีนาคม 2568

สารบัญ

บทคัดย่อ . . . . . ข
Abstract . . . . . ค
กิตติกรรมประกาศ . . . . . ง
สารบัญ . . . . . จ
สารบัญรูป . . . . . ช
สารบัญตาราง . . . . . ซ

1 บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.1.1 ข้อจำกัดทางเทคนิคของระบบเดิม 4
1.2 ระบบเดิม เฟส 1: AIDOC 4
1.3 ข้อจำกัดของระบบเฟส 1 5
1.4 วิธีดำเนินงาน: การ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบ 6
1.4.1 เสาหลักที่ 1: Architecture Re-engineering 6
1.4.2 เสาหลักที่ 2: High-Availability AI (Dual-Path Inference) 6
1.4.3 เสาหลักที่ 3: Data and Processing Layer 7
1.4.4 เสาหลักที่ 4: Enterprise Security and Compliance 7
1.5 แนะนำ eDENT-ELDER เฟส 2 7
1.5.1 วิสัยทัศน์และคำขวัญ 7
1.5.2 กลุ่มเป้าหมาย 7
1.5.3 4 เสาหลักของแพลตฟอร์ม 7
1.6 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 8
1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.7 ภาคีและผู้ร่วมดำเนินงาน 9

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **10**
2.1 ภาพรวมของโรคมะเร็งช่องปากและรอยโรคก่อนมะเร็ง 10
2.2 ความท้าทายในการคัดกรองในระดับชุมชน 10
2.3 แนวทางการคัดกรองแบบดั้งเดิมและข้อจำกัด 10
2.4 Mobile Health และ Telemedicine 10
2.5 บทบาทของ AI ในการคัดกรอง (ในฐานะเครื่องมือสนับสนุน) 10
2.6 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ 11
2.7 DevOps และความน่าเชื่อถือของระบบ 11
2.8 การวิเคราะห์ระบบที่มีอยู่ 11
2.9 การเปรียบเทียบแนวทางที่มีอยู่ 12
2.10 ช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap) 12

3 วิธีการดำเนินงานและการออกแบบระบบ **13**
3.1 ภาพรวมของระบบ 13
3.2 การออกแบบ Workflow ของระบบ 13
3.2.1 เครื่องมือและเกณฑ์การคัดกรอง 13
3.2.2 ขั้นตอนการยืนยันตัวตน 13
3.2.3 Workflow แบบ Multi-Role 13
3.2.4 เหตุผลในการออกแบบ Workflow 14
3.3 สถาปัตยกรรมของระบบ 14

3.3.1 ภาพรวมสถาปัตยกรรม 14
3.3.2 Technology Stack 14
3.3.3 Low-Level Architecture 14
3.3.4 เหตุผลในการออกแบบ 15
3.4 การออกแบบระบบ AI 15
3.4.1 Dual-Path AI System 15
3.4.2 เหตุผลในการออกแบบ 15
3.5 โครงสร้างพื้นฐานและ DevOps 15
3.6 ความปลอดภัยของระบบ 15
3.7 สรุปวิธีการดำเนินงาน 16

4 การทดสอบและการรับรองคุณภาพ 17
4.1 การทดสอบและการรับรองคุณภาพทางวิศวกรรม 17
4.1.1 กลยุทธ์และเครื่องมือทดสอบ 17
4.1.2 ผลการทดสอบ 17
4.1.3 โปรไฟล์ภาระงานสังเคราะห์ (Synthetic Load) 18
4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 20
4.2 การอภิปรายผล 21
4.3 สรุปผลการดำเนินงาน 21

5 บทสรุป 22
5.1 สรุปและบทสรุป 22

ก ภาคผนวก 25
ก.1 เอกสารประกอบเพิ่มเติม 25
ก.2 คู่มือการใช้งานระบบ 25

สารบัญรูป

1.1 สื่อมวลชนรายงานปัญหาการวินิจฉัยมะเร็งช่องปากล่าช้า ผู้ป่วยในชนบทมักซื้อยามารับประทานเองจนอาการรุนแรง ที่มา: Amarin News / กรมอนามัย 1
1.2 รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 1 2
1.3 รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 2 2
1.4 การ Annotation รอยโรคก่อนมะเร็งด้วย AI เส้นกรอบสีเหลืองแสดงบริเวณที่ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ 2
1.5 ข้อมูลรอยโรคช่องปากทั่วประเทศ ปีงบประมาณ 2559 (ยกเว้น กทม.) จำแนกเป็น 3 กลุ่มตามช่วงอายุ ที่มา: กรมอนามัย 3
1.6 จำนวนทันตแพทย์เฉพาะทาง ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2567 แถวที่ 9 (ไฮไลต์) สาขาวิทยาการวินิจัยโรคช่องปาก มีทันตแพทย์เพียง 96 คน 3
1.7 ระบบ AIDOC เฟส 1: (ซ้าย) หน้า Consent และ Login; (ขวา) Workflow อัปโหลดภาพและคัดกรองด้วย AI สร้างด้วย Flask + Bootstrap + MySQL 5
1.8 สถาปัตยกรรมระบบเดิม: Flask ทำหน้าที่ทั้ง Frontend, Backend, AI Inference และ Image Storage ในหน่วยเดียว ความล้มเหลวของส่วนใดทำให้ระบบทั้งหมดหยุด 5

4.1 ผลการทดสอบ Unit/Integration: Coverage Report และ Vitest UI (900 Pass, 0 Fail) โดยรันเสร็จภายใน $< 13\,\mathrm{s}$ 17
4.2 Request Duration 18
4.3 Failed Requests 19
4.4 Queue Time 19
4.5 Compute Time 20
4.6 AI Inference Latency 20

สารบัญตาราง

3.1 Technology Stack ของระบบ 14

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

มะเร็งช่องปาก (Oral Cancer) ติดอันดับ 1 ใน 10 โรคที่พบบ่อยที่สุดในประเทศไทย ความท้าทายสำคัญในชุมชนชนบทคือพฤติกรรมการซื้อยาปฏิชีวนะมารับประทานเองเมื่อมีแผลในช่องปาก โดยไม่ปรึกษาแพทย์หรือทันตแพทย์ ส่งผลให้การวินิจฉัยล่าช้าและพบโรคในระยะลุกลาม ทำให้ผลการรักษาแย่ลงอย่างมีนัยสำคัญ

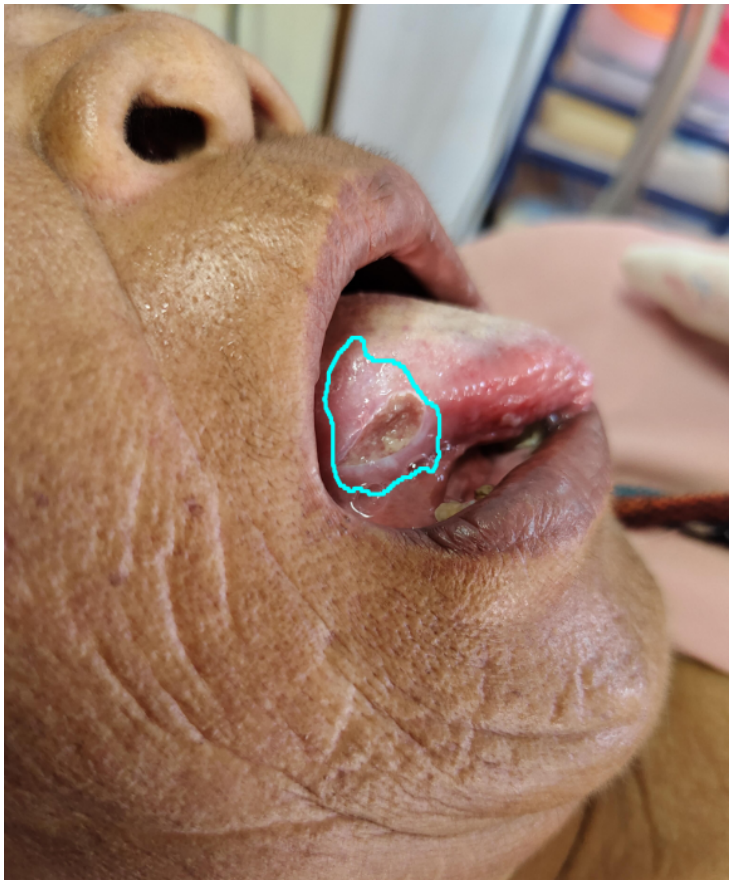
รูปที่ 1.1: สื่อมวลชนรายงานปัญหาการวินิจฉัยมะเร็งช่องปากล่าช้า ผู้ป่วยในชนบทมักซื้อยามารับประทานเองจนอาการรุนแรง ที่มา: Amarin News / กรมอนามัย

ข้อมูลจากกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข แบ่งรอยโรคในช่องปากออกเป็น 3 กลุ่มหลัก:

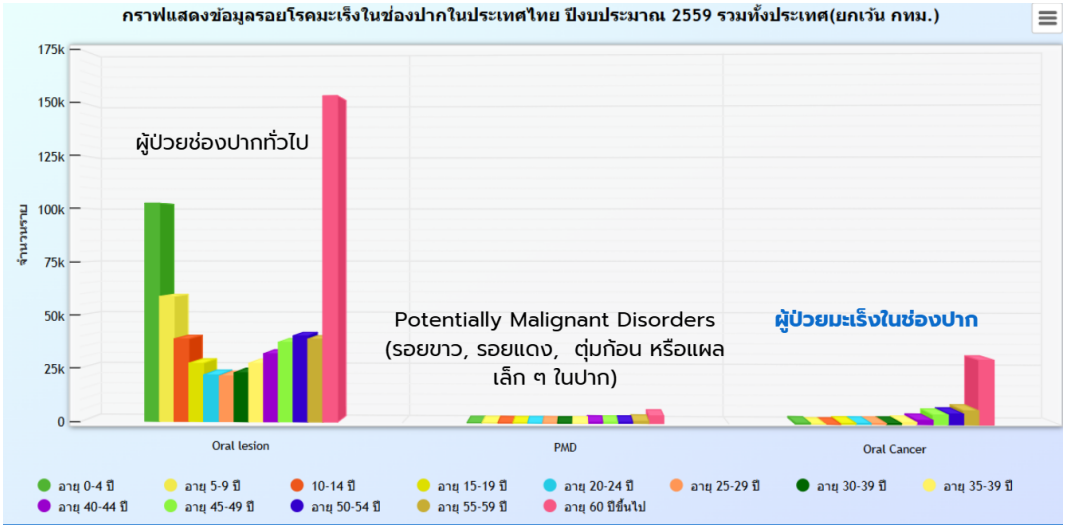
- **รอยโรคช่องปากทั่วไป (Oral Lesion)** — พบมากที่สุด ครอบคลุมทุกช่วงอายุ
- **รอยโรคก่อนมะเร็ง (PMD — Potentially Malignant Disorders)** — รอยขาว (Leukoplakia) รอยแดง (Erythroplakia) ก้อน และแผลเล็กในช่องปาก
- **มะเร็งช่องปาก (OSCC — Oral Squamous Cell Carcinoma)** — พบมากในกลุ่มอายุ 60 ปีขึ้นไป

รูปที่ 1.2: รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 1

รูปที่ 1.3: รอยโรคช่องปาก ตัวอย่างเคสที่ 2



รูปที่ 1.4: การ Annotation รอยโรคก่อนมะเร็งด้วย AI เส้นกรอบสีเหลืองแสดงบริเวณที่ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ



รูปที่ 1.5: ข้อมูลรอยโรคช่องปากทั่วประเทศ ปีงบประมาณ 2559 (ยกเว้น กทม.) จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ตามช่วงอายุ
ที่มา: กรมอนามัย

สถิติจำนวนผู้ได้รับอนุมัติบัตรและวุฒิบัตร ของราชวิทยาลัยทันตแพทย์แห่งประเทศไทย

ลำดับ	สาขา	รวมทั้งหมด			มีชีวิต/เสียชีวิต	
		รวม	อนุมัติบัตร	วุฒิบัตร	มีชีวิต	เสียชีวิต
1	ศัลยศาสตร์ช่องปากและแม็กซิลโลเฟเชียล	476	104	372	471	5
2	ปริทันตวิทยา	187	70	117	184	3
3	ทันตกรรมสำหรับเด็ก	251	82	169	249	2
4	ทันตกรรมจัดฟัน	508	258	250	501	7
5	ทันตกรรมประดิษฐ์	241	122	119	238	3
6	ทันตสาธารณสุข	199	162	37	196	3
7	วิทยาเอ็นโดดอนต์	164	86	78	162	2
8	ทันตกรรมหัตถการ	67	48	19	66	1
9	วิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก	96	72	24	89	7
10	ทันตกรรมทั่วไป	308	46	262	308	0
11	ทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดช่องปากใบหน้า	39	30	9	38	1
12	นิติทันตวิทยา	24	24	0	24	0
	รวม	2560	1104	1456	2526	34

รูปที่ 1.6: จำนวนทันตแพทย์เฉพาะทาง ณ วันที่ 21 พฤศจิกายน 2567 แถวที่ 9 (ไฮไลต์) สาขาวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก มีทันตแพทย์เพียง 96 คน

ปัญหาหลัก

ผู้สูงอายุในชนบทอายุ 50 ปีขึ้นไป โดยเฉพาะกลุ่มเปราะบางที่พึ่งพาผู้ดูแล เผชิญอุปสรรคหนักในการเข้าถึงทันตแพทย์เฉพาะทาง เมื่อได้รับการวินิจฉัย มักพบว่าโรคลุกลามสู่ระยะท้ายแล้ว ส่งผลให้ผลการรักษาแย่ลงและค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอย่างมาก

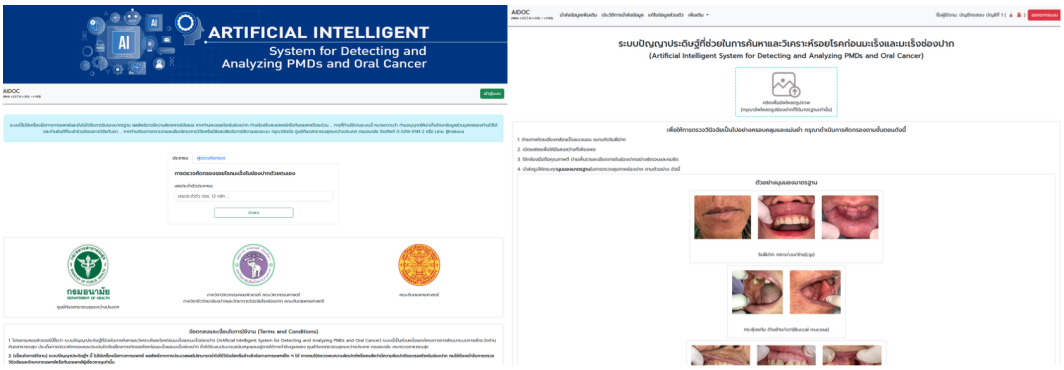
1.1.1 ข้อจำกัดทางเทคนิคของระบบเดิม

แม้ระบบต้นแบบในเฟส 1 จะมีความแม่นยำของ AI ที่น่าพอใจ แต่ยังไม่พร้อมสำหรับการใช้งานจริงในฐานะซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ *ในบริบทซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ ความแม่นยำของ AI เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ — ระบบต้องปลอดภัย โปร่งใส ตรวจสอบได้ และพร้อมใช้งานตลอดเวลา* ระบบเดิมมีช่องโหว่สำคัญ 5 ประการ:

- **ไม่มีกรอบการปฏิบัติตาม PDPA / HIPAA** — ข้อมูลสุขภาพผู้ป่วยถูกจัดเก็บโดยไม่ผ่านมาตรฐานคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล
- **AI แบบ Monolith เป็น Single Point of Failure** — หาก AI Service ล่ม ระบบทั้งหมดหยุดทำงานทันที ไม่มี Fallback
- **ไม่มีระบบ Audit Trail ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง** — ไม่มีกลไกตรวจจับหรือป้องกันการแก้ไขเวชระเบียนย้อนหลัง
- **โค้ดแบบ Monolith ขยายระบบไม่ได้** — การเปลี่ยนแปลงใดก็ตามเสี่ยงกระทบส่วนอื่น ไม่รองรับการ Scale Out แต่ละ Service
- **ไม่มี Role-Based Access Control (RBAC)** — ผู้ใช้ทุกคนที่ผ่านการยืนยันตัวตนเข้าถึงข้อมูลและฟังก์ชันได้เหมือนกัน

1.2 ระบบเดิม เฟส 1: AIDOC

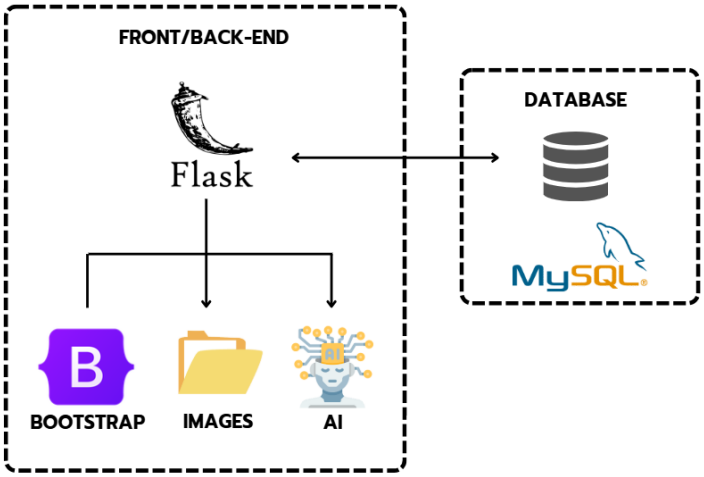
ระบบต้นแบบในเฟส 1 คือ **AIDOC** (*Artificial Intelligent System for Detecting and Analyzing PMDs and Oral Cancer*) พัฒนาและนำไปใช้งานร่วมกับกรมอนามัย สร้างบน Flask Monolith Architecture ใช้ Bootstrap เป็น UI จัดเก็บรูปภาพบน File System และใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูล



รูปที่ 1.7: ระบบ AIDOC เฟส 1: (ซ้าย) หน้า Consent และ Login; (ขวา) Workflow อัปโหลดภาพและคัดกรองด้วย AI สร้างด้วย Flask + Bootstrap + MySQL

1.3 ข้อจำกัดของระบบเฟส 1

"ซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ต้องมีความปลอดภัย โปร่งใส ตรวจสอบได้ และพร้อมใช้งานตลอดเวลา"



รูปที่ 1.8: สถาปัตยกรรมระบบเดิม: Flask ทำหน้าที่ทั้ง Frontend, Backend, AI Inference และ Image Storage ในหน่วยเดียว ความล้มเหลวของส่วนใดทำให้ระบบทั้งหมดหยุด

ข้อจำกัด	ผลกระทบ
ไม่มีการปฏิบัติตาม PDPA / HIPAA	ข้อมูลผู้ป่วยขาดการคุ้มครองตามกฎหมายและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง
Single Point of Failure	หาก Flask ล่ม ระบบทั้งหมดใช้งานไม่ได้ทันที
ไม่มี Audit Trail ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง	เวชระเบียนสามารถถูกแก้ไขโดยไม่มีหลักฐาน
โค้ดแบบ Monolith ขยายระบบยาก	การแก้ไข Bug หรืออัปเดต AI เสี่ยงทำให้ระบบอื่นพัง

1.4 วิธีดำเนินงาน: การ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบ

วิธีดำเนินงานหลักของเฟส 2 คือการ Re-engineer สถาปัตยกรรมระบบใหม่ทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 4 เสาหลักทางวิศวกรรม:

1.4.1 เสาหลักที่ 1: Architecture Re-engineering

- **Next.js** (Layered Design, Mobile-first) สำหรับ Frontend พร้อม Auth Guard และการแยก State Management
- **FastAPI + Clean Architecture + Domain-Driven Design (DDD)** สำหรับ Backend — Business Logic แยกจาก AI Layer อย่างสมบูรณ์
- **Async Queue Processing** (Redis + Celery Workers) ขจัดปัญหาเว็บค้างและ API Timeout จาก Synchronous AI Inference

1.4.2 เสาหลักที่ 2: High-Availability AI (Dual-Path Inference)

- **Primary Path:** NVIDIA Triton Inference Server (GPU, gRPC) พร้อม TensorRT Optimization
- **Fallback Path:** TensorFlow Lite (CPU, HTTP) พร้อม Auto Failover อัตโนมัติ
- **Health Monitoring:** ตรวจสอบสถานะต่อเนื่อง เปิด Auto-Switch ภายใน < 2 s

1.4.3 เสาหลักที่ 3: Data and Processing Layer

- **PostgreSQL** (OLTP + Audit) — ฐานข้อมูลหลักพร้อม Immutable Audit Schema
- **Redis** — Task Queue สำหรับงาน AI แบบ Async และ Cache
- **MinIO** — Object Storage สำหรับรูปภาพทางคลินิก
- **Celery Workers** — ประมวลผลเบื้องหลัง: AI Inference Queue, 2-Tier Audit Chain, Archival และงาน Compliance

1.4.4 เสาหลักที่ 4: Enterprise Security and Compliance

- **TLS 1.3** เข้ารหัสการสื่อสารทุกส่วนแบบ End-to-End
- **RBAC** ครอบคลุม 6 บทบาท: ผู้ป่วย, อสม., ทันตแพทย์, ผู้คัดกรอง, ผู้เชี่ยวชาญ, ผู้ดูแลระบบ
- **2-Tier Audit Logging + Hash-Chain** ป้องกันการแก้ไขย้อนหลัง ตรวจสอบได้ 100%
- **PDPA / HIPAA-ready** สอดคล้องกับกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของไทย

1.5 แนะนำ eDENT-ELDER เฟส 2

1.5.1 วิสัยทัศน์และคำขวัญ

"พบเร็ว – ส่งต่อเร็ว – ติดตามครบ"

"Detect Early — Refer Fast — Follow Up Completely"

1.5.2 กลุ่มเป้าหมาย

1. **ผู้สูงอายุที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป** — กลุ่มเปราะบาง อาศัยในชนบท และต้องพึ่งพาผู้ดูแล
2. **บุคลากรสาธารณสุขแนวหน้า** — อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ทันตาภิบาล และเจ้าหน้าที่ รพ.สต. ที่ผ่าน Train-the-Trainer 6–8 รุ่น

1.5.3 4 เสาหลักของแพลตฟอร์ม

Hybrid Mobile Platform	อินเทอร์เฟซที่ใช้งานง่ายผ่านมุมมองมือถือ และ Web Dashboard สำหรับผู้ดูแลและเจ้าหน้าที่ภาคสนาม
AI-Guided Screening	AI ตรวจจับรอยโรค OPMD/OSCC พร้อม Assisted-Capture และ Quality-Gate รับรองคุณภาพภาพถ่าย
Elderly-Centric Empowerment	เสริมพลัง อสม. (อายุ 50+) ในการคัดกรอง สื่อสารความเสี่ยง และส่งต่ออย่างเป็นระบบ
Async. Tele-Consult	ระบบ Store-and-Forward เชื่อมต่อ อสม. กับผู้เชี่ยวชาญ โดยไม่ต้องนัดหมายพร้อมกัน

1.6 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. **พัฒนาและทดสอบระบบ AI คัดกรอง** OPMD/OSCC ให้มีความแม่นยำสูง ใช้งานได้ในภาคสนาม และเป็นที่ยอมรับของทันตแพทย์เฉพาะทาง
2. **พัฒนาแพลตฟอร์ม eDENT-ELDER** รองรับการคัดกรองด้วยตัวเองและการคัดกรองชุมชน
3. **ประเมินผลลัพธ์ด้านบริการและสังคม** วัดการเข้าถึง เวลาพบผู้เชี่ยวชาญ อัตราตรวจพบระยะแรก และความยั่งยืน

1.6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- **ระดับระบบ:** แพลตฟอร์มที่ผสาน AI ปลอดภัย ตรวจสอบได้ ลดภาระแนวหน้าและเพิ่มโอกาสตรวจพบระยะแรก (Stage-Shift)
- **ระดับชุมชน:** ผู้สูงอายุและครอบครัวในพื้นที่นำร่องได้รับการคัดกรองเร็วขึ้น หัวหน้า อสม. (อายุเฉลี่ย 50+) เป็นทั้งผู้ให้บริการและผู้รับประโยชน์

พื้นที่นำร่องหลัก: เชียงใหม่ • พะเยา • ภูเก็ต • หนองบัวลำภู
เครือข่ายเสริม: สุรินทร์ สมุทรปราการ และจังหวัดอื่นตามความพร้อม

1.7 ภาคีและผู้ร่วมดำเนินงาน

หน่วยงาน	บทบาท
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	คำปรึกษาทางคลินิกและเครือข่ายผู้เชี่ยวชาญ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ทีมพัฒนาระบบ
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ตรวจสอบและให้ Feedback ทางคลินิก
กรมอนามัย ศูนย์ทันตสาธารณสุขระหว่างประเทศ เชียงใหม่	ความร่วมมือด้านข้อมูลและการ Deploy
NurseCMU	บูรณาการงานสาธารณสุขชุมชน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพรวมของโรคมะเร็งช่องปากและรอยโรคก่อนมะเร็ง

มะเร็งช่องปาก (Oral Cancer) และรอยโรคก่อนมะเร็ง (Oral Potentially Malignant Disorders: OPMD) เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ ซึ่งมีความเสี่ยงสูงและมักได้รับการวินิจฉัยในระยะลุกลาม ส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

การตรวจพบในระยะเริ่มต้นมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มโอกาสในการรักษา อย่างไรก็ตาม ผู้ป่วยจำนวนมากยังคงได้รับการวินิจฉัยในระยะท้าย เนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าถึงบริการและการขาดการคัดกรองอย่างต่อเนื่อง

2.2 ความท้าทายในการคัดกรองในระดับชุมชน

การเข้าถึงบริการทางทันตกรรมในพื้นที่ชนบทและพื้นที่ห่างไกลยังคงเป็นข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะการขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญและทรัพยากรทางการแพทย์

นอกจากนี้ ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวมักขาดความตระหนักเกี่ยวกับรอยโรคก่อนมะเร็ง ส่งผลให้การเข้ารับการตรวจล่าช้า และเพิ่มความเสี่ยงในการพัฒนาเป็นมะเร็งในระยะลุกลาม

ปัจจัยด้านระยะทาง ค่าใช้จ่าย และโครงสร้างพื้นฐานด้านสาธารณสุข ยังเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเข้าถึงบริการคัดกรอง

2.3 แนวทางการคัดกรองแบบดั้งเดิมและข้อจำกัด

การคัดกรองแบบดั้งเดิมอาศัยการตรวจโดยทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งแม้จะมีความแม่นยำสูง แต่ไม่สามารถขยายบริการได้ในระดับประชากรจำนวนมาก

นอกจากนี้ ระบบเดิมยังขาดการเชื่อมโยงข้อมูลแบบ real-time และไม่สามารถติดตามผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดปัญหา loss to follow-up ในหลายกรณี

2.4 Mobile Health และ Telemedicine

เทคโนโลยี mobile health (mHealth) และ telemedicine มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการเข้าถึงบริการสุขภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญ

รูปแบบ asynchronous teleconsultation ช่วยให้สามารถส่งข้อมูลและภาพถ่ายไปยังผู้เชี่ยวชาญได้โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในเวลาเดียวกัน

แนวทางนี้ช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ และเหมาะสมกับบริบทของการใช้งานในระดับชุมชน

2.5 บทบาทของ AI ในการคัดกรอง (ในฐานะเครื่องมือสนับสนุน)

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ และสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับรอยโรค

อย่างไรก็ตาม ในบริบทของระบบคัดกรองในชุมชน AI ควรถูกมองเป็นเครื่องมือสนับสนุน มากกว่าหัวใจหลักของระบบ

ข้อจำกัดสำคัญของงานวิจัยก่อนหน้า คือการมุ่งเน้นเฉพาะโมเดล AI โดยไม่ได้พิจารณาการนำไปใช้งานจริง เช่น ปัญหา latency, reliability และ integration กับ workflow

อย่างไรก็ตาม แม้ว่า AI จะมีศักยภาพสูงในการช่วยวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ แต่การนำไปใช้งานจริงยังมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะในด้านความเสถียรของระบบและการผสานเข้ากับ workflow ของบุคลากรทางการแพทย์

งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโมเดล โดยไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้าน deployment เช่น latency, fault tolerance และการรองรับผู้ใช้งานหลายบทบาท ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบที่ใช้งานจริง

2.6 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ

ระบบทางการแพทย์จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญ ได้แก่ ความเสถียร (high availability) ความปลอดภัยของข้อมูล (security) และความสามารถในการขยายระบบ (scalability)

แนวทางการออกแบบสมัยใหม่ เช่น modular architecture และ layered design ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่น และสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย

นอกจากนี้ การใช้กลไก fallback หรือ redundancy ช่วยลดความเสี่ยงจากการล่มของระบบ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบทางการแพทย์

2.7 DevOps และความน่าเชื่อถือของระบบ

แนวทาง DevOps เช่น containerization และ CI/CD pipeline ช่วยให้สามารถ deploy ระบบได้อย่างรวดเร็วและลดข้อผิดพลาด

การแยก environment ระหว่าง staging และ production และการทำ automated testing ช่วยเพิ่มความมั่นใจในคุณภาพของระบบ

2.8 การวิเคราะห์ระบบที่มีอยู่

แม้ว่าจะมีงานวิจัยและระบบต้นแบบจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัด เช่น

- มุ่งเน้นเฉพาะ AI model โดยไม่ครอบคลุมระบบ end-to-end
- ขาดความเสถียรในระดับ production
- ไม่รองรับ workflow ของผู้ใช้งานหลายบทบาท
- ขาดมาตรฐานด้านความปลอดภัยข้อมูล

2.9 การเปรียบเทียบแนวทางที่มีอยู่

จากการศึกษาพบว่าแนวทางการพัฒนาระบบคัดกรองสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

- แนวทางที่เน้นการพัฒนา AI model เป็นหลัก
- แนวทางที่เน้นการพัฒนาระบบ end-to-end

แนวทางแรกมักให้ความสำคัญกับความแม่นยำของโมเดล แต่ยังขาดการพิจารณาด้านการนำไปใช้งานจริง ในขณะที่แนวทางที่สองมุ่งเน้นการใช้งานจริง แต่ยังขาดการผสาน AI อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น การผสานทั้งสองแนวทางเข้าด้วยกัน จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาระบบในบริบทนี้

2.10 ช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap)

จากการศึกษาพบว่า ยังไม่มีระบบที่สามารถผสานองค์ประกอบต่อไปนี้ได้อย่างครบถ้วน

- ระบบคัดกรองที่ใช้งานได้จริงในระดับชุมชน
- การผสาน AI เข้ากับ workflow ของบุคลากรสาธารณสุข
- ระบบที่มีความเสถียรสูง (high availability)
- การออกแบบที่คำนึงถึงผู้สูงอายุและอาสาสมัครสาธารณสุข

ช่องว่างดังกล่าวเป็นแรงจูงใจสำคัญในการพัฒนาโครงงานนี้ ซึ่งมุ่งเน้นการออกแบบแพลตฟอร์มที่สามารถผสาน AI, mobile health และระบบสถาปัตยกรรมที่มีความเสถียรสูง เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ

โดยเฉพาะการออกแบบ workflow ที่สอดคล้องกับการทำงานจริง ของอาสาสมัครสาธารณสุขและบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการนำระบบไปใช้งานจริงในระดับชุมชน

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาแพลตฟอร์ม ที่สามารถตอบโจทย์ในทุกมิติ ทั้งด้านเทคโนโลยี การใช้งานจริง และความยั่งยืนของระบบ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานและการออกแบบระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ

โครงงานนี้พัฒนาแพลตฟอร์ม eDENT-ELDER Phase 2 เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบคัดกรองรอยโรคในช่องปากแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทและกลุ่มผู้สูงอายุ

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่า ระบบคัดกรองที่มีอยู่มักมุ่งเน้นเฉพาะการพัฒนา AI model แต่ยังขาดการออกแบบระบบที่สามารถใช้งานได้จริงในระดับชุมชน เช่น การรองรับ workflow ของผู้ใช้งานหลายบทบาท และความเสถียรของระบบในระดับ production

ดังนั้น ระบบจึงถูกออกแบบให้เป็น Hybrid Digital Health Platform ที่ผสาน Mobile Health, AI และ Telemedicine เข้ากับการทำงานของบุคลากรสาธารณสุข

3.2 การออกแบบ Workflow ของระบบ

3.2.1 เครื่องมือและเกณฑ์การคัดกรอง

Oral Health Assessment Tool (OHAT) ใช้ประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น **Oral Health Impact Profile (OHIP)** ใช้ประเมินผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต

การใช้แบบประเมินมาตรฐานช่วยให้ผลการคัดกรองมีความน่าเชื่อถือ และลดความแปรปรวนของผลลัพธ์ระหว่างผู้ใช้งาน

3.2.2 ขั้นตอนการยืนยันตัวตน

1. ผู้ใช้งานกรอกหมายเลขโทรศัพท์
2. ระบบตรวจสอบข้อมูลและสถานะ
3. ยืนยัน OTP ผ่าน SMS
4. ลง Consent ตาม PDPA
5. กำหนดบทบาทผู้ใช้งาน

☐ **[ใส่รูป]** Authentication Flow
แนวทางนี้ช่วยให้ระบบมีความปลอดภัย และสอดคล้องกับมาตรฐานข้อมูลสุขภาพ

3.2.3 Workflow แบบ Multi-Role

ระบบรองรับผู้ใช้งาน 5 บทบาท ได้แก่

- ผู้ป่วย / อสม.

- ระบบ AI
- ผู้คัดกรอง
- ผู้เชี่ยวชาญ
- ผู้ดูแลระบบ

☐ **[ใส่รูป]** System Flow 5 เลน

Workflow ถูกออกแบบให้เป็นแบบ asynchronous เพื่อลดข้อจำกัดด้านเวลาและเพิ่มความยืดหยุ่น

3.2.4 เหตุผลในการออกแบบ Workflow

การออกแบบ workflow ในลักษณะ multi-role ช่วยให้ระบบสอดคล้องกับการทำงานจริงในระบบสาธารณสุข

โดยเฉพาะบทบาทของอาสาสมัครสาธารณสุข (อสม.) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการเข้าถึงประชาชน

นอกจากนี้ asynchronous workflow ช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในเวลาเดียวกัน

3.3 สถาปัตยกรรมของระบบ

3.3.1 ภาพรวมสถาปัตยกรรม

☐ **[ใส่รูป]** High-level Architecture

ระบบถูกออกแบบโดยใช้แนวคิด Modular Monolith ร่วมกับ Domain-Driven Design (DDD)

3.3.2 Technology Stack

Frontend	Next.js
Backend	FastAPI
Database	PostgreSQL
Storage	MinIO
Cache/Queue	Redis + Celery

ตารางที่ 3.1: Technology Stack ของระบบ

3.3.3 Low-Level Architecture

ระบบ backend ถูกออกแบบให้รองรับ:

- JWT Authentication Guard
- Role-based middleware
- Redis queue สำหรับ async processing

- Audit log แบบ hash-chain

แนวทางนี้ช่วยเพิ่มทั้งความปลอดภัยและ scalability

3.3.4 เหตุผลในการออกแบบ

การเลือกใช้ Modular Architecture ช่วยลดความซับซ้อนของระบบ และสามารถพัฒนาไปสู่ microservices ได้ในอนาคต

3.4 การออกแบบระบบ AI

3.4.1 Dual-Path AI System

□ **[ใส่รูป]** Dual-Path AI

- Primary: GPU (Triton Inference Server)
- Fallback: CPU (TensorFlow Lite)

3.4.2 เหตุผลในการออกแบบ

การออกแบบ Dual-Path ช่วยลด Single Point of Failure และเพิ่มความพร้อมใช้งานของระบบ (high availability)

3.5 โครงสร้างพื้นฐานและ DevOps

□ **[ใส่รูป]** DevOps Pipeline

- Docker containerization
- CI/CD pipeline
- Environment separation

ช่วยลด human error และเพิ่ม reliability

3.6 ความปลอดภัยของระบบ

- JWT Authentication
- Role-Based Access Control
- End-to-End Encryption
- Audit Logging (Tamper-proof)

ระบบถูกออกแบบให้สอดคล้องกับ PDPA และ HIPAA

3.7 สรุปวิธีการดำเนินงาน

ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 ถูกออกแบบโดยเน้นการผสาน เทคโนโลยีเข้ากับบริบทการใช้งานจริงในระบบสาธารณสุข

การออกแบบ workflow, architecture และ AI ถูกพัฒนาไปพร้อมกัน เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้จริง และมีความเสถียรในระดับ production

บทที่ 4
การทดสอบและการรับรองคุณภาพ

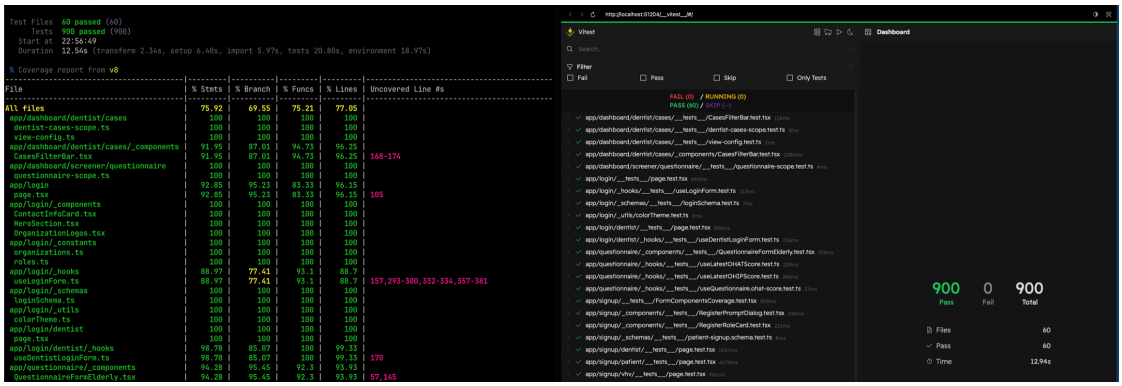
4.1 การทดสอบและการรับรองคุณภาพทางวิศวกรรม

4.1.1 กลยุทธ์และเครื่องมือทดสอบ

- **Unit Test** — ทดสอบ Function, Method และ Class แต่ละตัวแยกกัน
- **Integration Test** — ทดสอบการทำงานร่วมกันของหลาย Component
- **Load Test** — ทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้ภาระงาน เช่น จำนวนผู้ใช้พร้อมกัน, response time, throughput และความเสถียรของระบบ

เครื่องมือ	วัตถุประสงค์
Vitest	Test Runner สำหรับ Unit และ Integration Test ที่รวดเร็ว
React Testing Library	ทดสอบ UI ระดับ Component
jsdom	จำลองสภาพแวดล้อม Browser
Grafana	จำลองภาระงานผู้ใช้เพื่อทดสอบ Load/Performance ของระบบ
Prometheus	เก็บรวบรวม Metrics เช่น CPU, Memory, Latency

4.1.2 ผลการทดสอบ



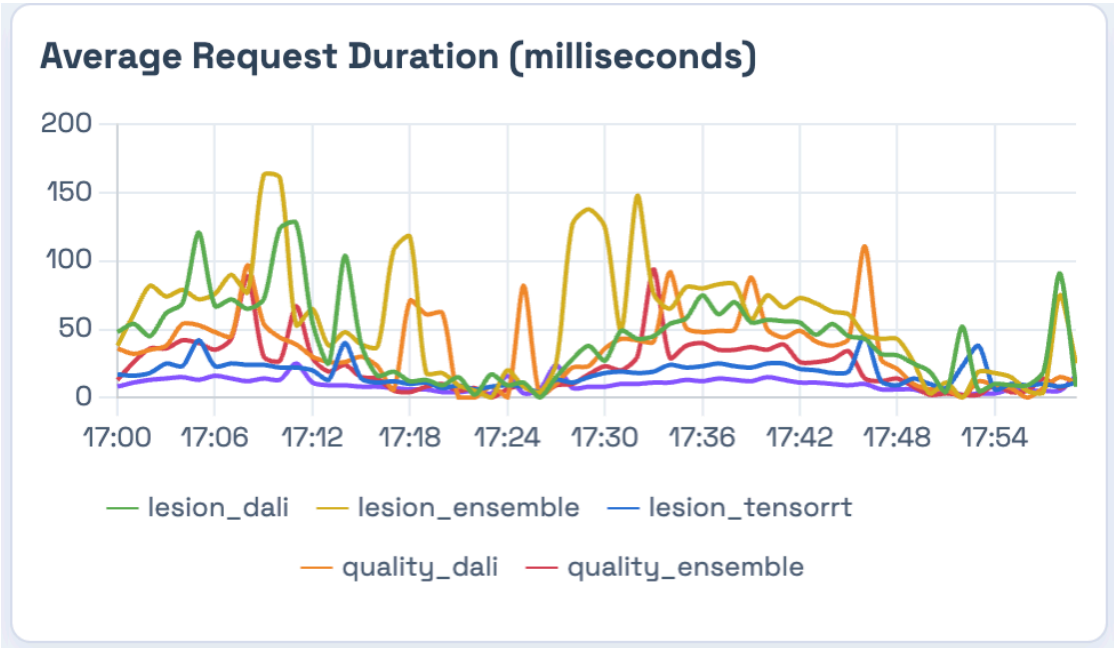
รูปที่ 4.1: ผลการทดสอบ Unit/Integration: Coverage Report และ Vitest UI (900 Pass, 0 Fail) โดยรันเสร็จภายใน < 13 s

จำนวน **Test** ทั้งหมด	900 (Unit + Integration)
สถานะ	ผ่าน **100%**
Code Coverage	≈75%
Critical Logic	**100%**
เวลาในการทดสอบ	< 13 s

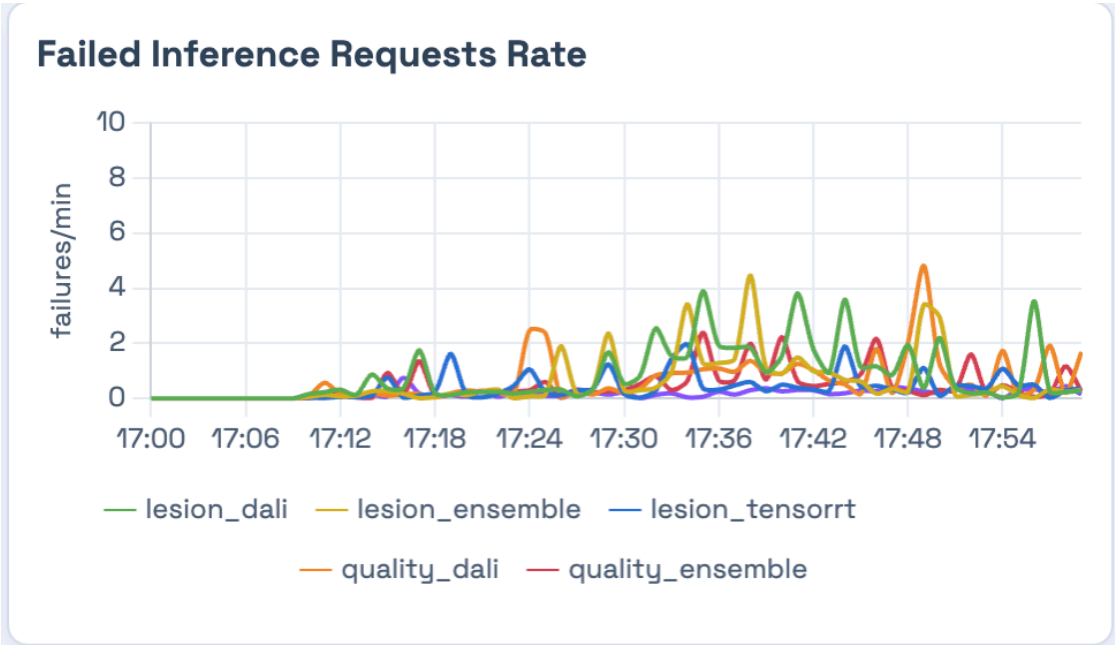
4.1.3 โปรไฟล์ภาระงานสังเคราะห์ (Synthetic Load)

สรุปผล Synthetic Load

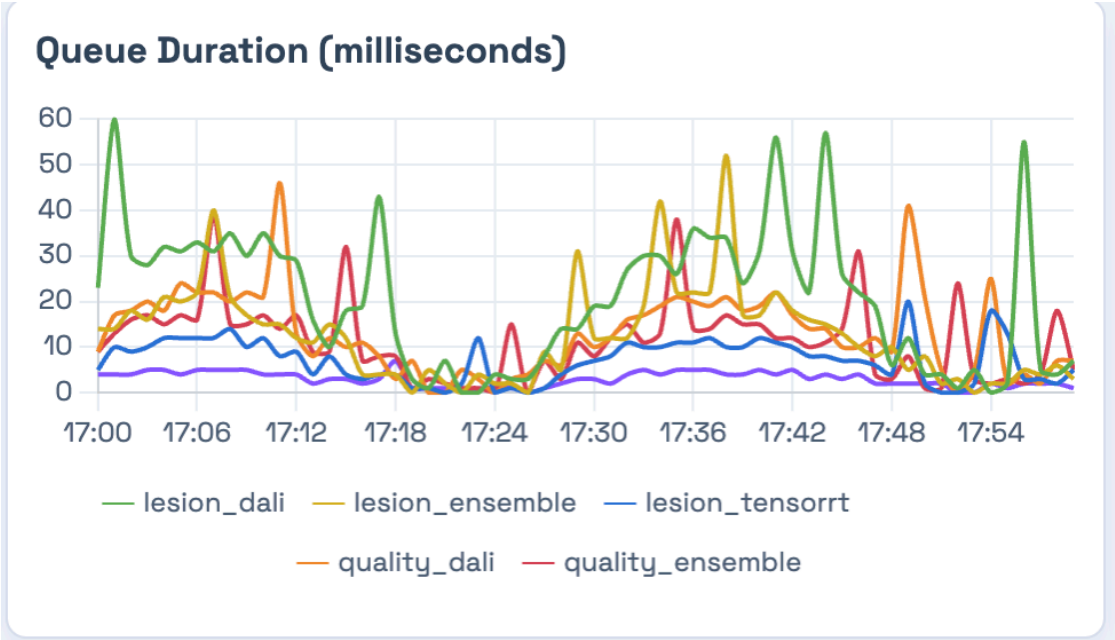
ระยะเวลา	1 ชั่วโมง
จำนวน **Request**	7,632
ค่าเฉลี่ย **RPS**	2.12
Success Rate	99.46%



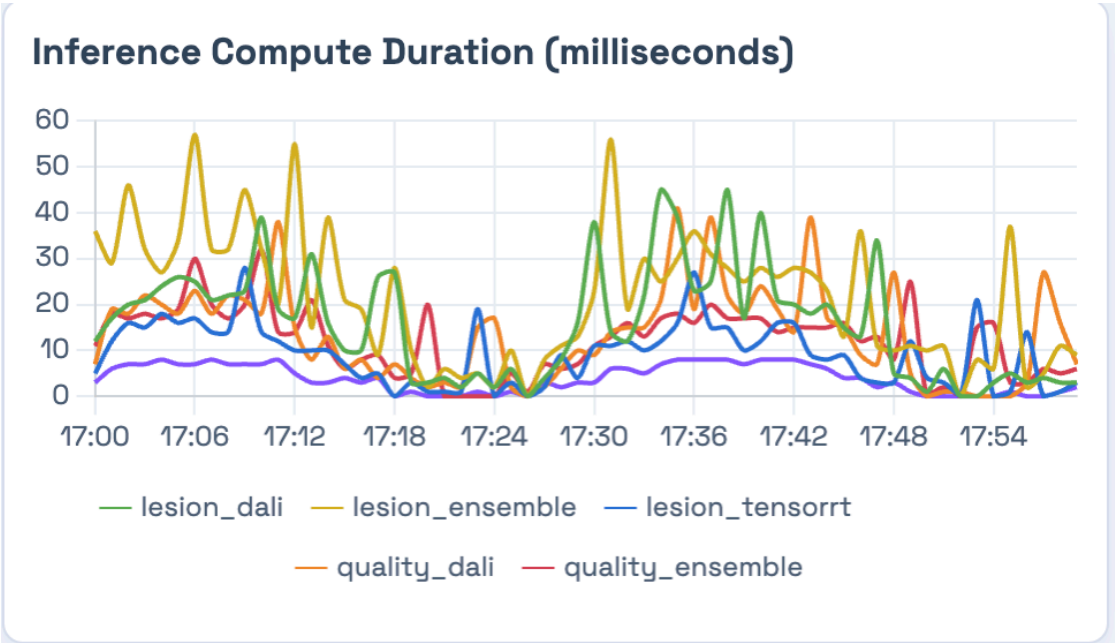
รูปที่ 4.2: Request Duration



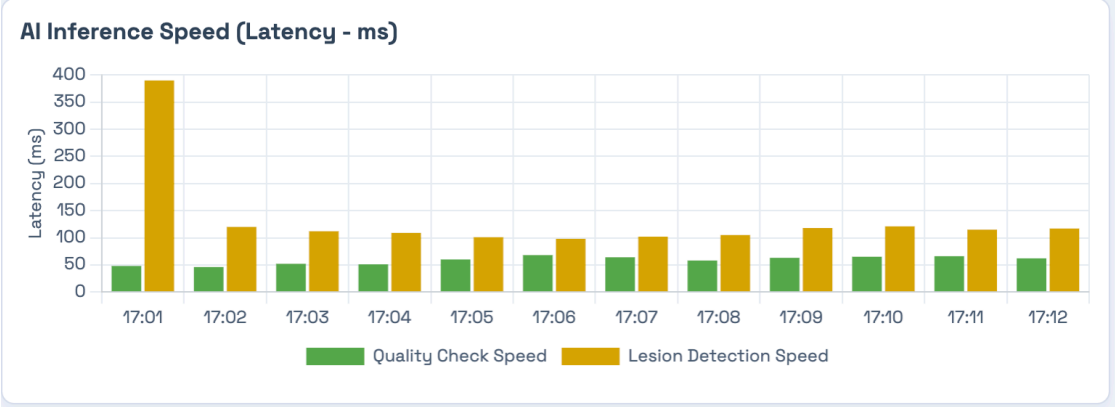
รูปที่ 4.3: Failed Requests



รูปที่ 4.4: Queue Time



รูปที่ 4.5: Compute Time



รูปที่ 4.6: AI Inference Latency

4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบ พบว่าระบบมีอัตราความสำเร็จสูงถึง 99.46% ซึ่งสะท้อนถึงความเสถียรของระบบภายใต้ภาระงานต่อเนื่อง

แม้ค่า RPS จะไม่สูงมาก แต่สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริงในระดับชุมชน ซึ่งไม่ได้มีการใช้งานแบบหนาแน่นเหมือนระบบขนาดใหญ่

นอกจากนี้ ค่า latency และ queue time ที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจัดการคำขอได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิด bottleneck ใน pipeline

4.2 การอภิปรายผล

จากผลการทดสอบ พบว่าความสำเร็จของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับ AI เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการออกแบบระบบโดยรวม ทั้งในด้านสถาปัตยกรรม workflow และ usability

การใช้ Modular Architecture และ Dual-Path AI ช่วยเพิ่มความเสถียรและลดความเสี่ยงจากการล่มของระบบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในระบบทางการแพทย์

นอกจากนี้ การออกแบบ workflow ให้สอดคล้องกับการทำงานจริงของบุคลากร เช่น อสม. และทันตแพทย์ มีบทบาทสำคัญในการทำให้ระบบสามารถใช้งานจริงได้

อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัด เช่น การพึ่งพา AI จากภายนอก และการทดสอบที่ยังอยู่ในระดับนำร่อง

4.3 สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบ eDENT-ELDER Phase 2 สามารถทำงานได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ และมีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริง

ระบบสามารถเพิ่มการเข้าถึงบริการ ลดภาระของบุคลากร และเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจพบโรคในระยะเริ่มต้น

ผลการทดสอบทั้งด้าน functional และ performance ยืนยันถึงความพร้อมของระบบในระดับ production

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปและบทสรุป

โครงการ eDENT-ELDER Phase 2 มีเป้าหมายเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิม และพัฒนาแพลตฟอร์มสำหรับการคัดกรองมะเร็งช่องปากในระดับชุมชนให้สามารถใช้งานได้จริง

จากผลการดำเนินงานในบทก่อนหน้า พบว่าระบบสามารถรองรับกระบวนการคัดกรองแบบครบวงจร ตั้งแต่การเก็บข้อมูลผู้ป่วย การวิเคราะห์ด้วย AI ไปจนถึงการให้คำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีความเสถียรและประสิทธิภาพในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

นอกจากนี้ การออกแบบระบบในลักษณะ Modular Architecture ร่วมกับแนวคิด Dual-Path AI และ DevOps Pipeline ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่น สามารถขยายระบบได้ในอนาคต และลดความเสี่ยงจากความล้มเหลวของระบบ

ผลสำเร็จหลัก

- **สถาปัตยกรรม:** Hybrid Modular System (Next.js + FastAPI + DDD) แทน Legacy Monolith
- **ระบบ AI:** Dual-Path Inference Latency < 200 ms ภายใต้ Synthetic Load อัตรา Request สำเร็จ 99.46% Request ทั้งหมด 7,632
- **ความปลอดภัย:** กรอบ PDPA/HIPAA พร้อม Tamper-Proof Audit Logging และ RBAC ครอบคลุม 6 บทบาท
- **DevOps:** Docker Containerization ครบวงจร พร้อม CI/CD Pipeline และการแยก Environment เข้มงวด
- **คุณภาพ:** 900 Automated Test ผ่าน 100% Coverage 100% บน Critical Business Logic
- **ความร่วมมือ:** หลายสถาบัน ครอบคลุมทันตแพทยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสาธารณสุขชุมชน

แพลตฟอร์มพร้อม Deploy ระดับนำร่องในเชียงใหม่ พะเยา ภูเก็ต และหนองบัวลำภู เพื่อช่วยให้ตรวจพบมะเร็งช่องปากในผู้สูงอายุชนบทเร็วขึ้น ลดการวินิจฉัยระยะท้าย และพัฒนาผลลัพธ์ผู้ป่วยในวงกว้าง

โครงการนี้ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาคอขวดและจุดล้มเหลวของระบบเดิม เปลี่ยนผ่านสู่ **แพลตฟอร์มทางการแพทย์พร้อมใช้งานจริง (Production-Ready)** ด้วยสถาปัตยกรรมที่เสถียร ปลอดภัย และสมบูรณ์ระดับ Enterprise

ข้อจำกัดของโครงการ (Limitations):

- ระบบพึ่งพา AI Model จากภายนอก ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านการควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงโมเดล
- การทดสอบยังอยู่ในระดับนำร่อง และยังไม่ได้ประเมินผลในระดับประชากรขนาดใหญ่
- ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพที่ผู้ใช้งานส่งเข้ามา
- การยอมรับของผู้ใช้งานในระยะยาวยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

งานในอนาคต (Future Work):

- ขยาย AI Model ครอบคลุมรอยโรคช่องปากเพิ่มเติม และปรับปรุงความแม่นยำด้วย Dataset Annotation จากพื้นที่นำร่อง
- ขยายสู่จังหวัดเพิ่มเติมและเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศสุขภาพ (HIS) ของไทย
- ดำเนินการศึกษา Clinical Validation อย่างเป็นทางการ วัด Stage-Shift และเวลาพบผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มนำร่อง
- สำรวจการเชื่อมต่อ LINE OA และ PWA Offline Mode สำหรับชุมชนที่มีอินเทอร์เน็ตจำกัด

โดยสรุป โครงการนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการผสานเทคโนโลยีดิจิทัล เข้ากับระบบสาธารณสุขในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม และสามารถต่อยอดสู่การใช้งานในระดับประเทศได้ในอนาคต

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก

ก.1 เอกสารประกอบเพิ่มเติม

เพิ่มเอกสารหรือเนื้อหาประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงงานในส่วนนี้ เช่น แบบฟอร์มที่ใช้จริง ตัวอย่างข้อมูล หรือคำอธิบายเชิงเทคนิคเพิ่มเติม

ลิงก์ตัวอย่างสำหรับแทนที่

- Dataset: https://example.com/edent-elder/dataset
- Model Card: https://example.com/edent-elder/model-card
- Test Evidence: https://example.com/edent-elder/test-report

ก.2 คู่มือการใช้งานระบบ

อธิบายขั้นตอนการติดตั้งและการใช้งานระบบสำหรับผู้ใช้งานแต่ละบทบาท พร้อมภาพหน้าจอหรือลิงก์อ้างอิงที่จำเป็น

ลิงก์คู่มือ

- User Manual: https://example.com/edent-elder/user-manual
- Admin Manual: https://example.com/edent-elder/admin-manual
- API Documentation: https://example.com/edent-elder/api-docs