

ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ พร้อมด้วยส่วน  
ประเมินตัวสร้างคำถาม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Software Framework for Computerized Adaptive Practice with a Question Generator  
Assessment



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ พร้อมด้วยส่วนประเมินตัวสร้างคำถาม
โดย	น.ส.ปณิดา วิริยะชัยพร
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อดิวงค์ สุชาโต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุญยพุททณະ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.อดิวงค์ สุชาโต)	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุญยพุททณະ)	กรรมการ
.....	
(อาจารย์ ดร.เอกพล ช่วงสุวนิช)	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
.....	
(ดร.ศุภธิดา พรหมพยัคฆ์)	

ปณิดา วิริยะชัยพร : ซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ พร้อมด้วยส่วนประเมินตัวสร้างคำถาม. ( Software Framework for Computerized Adaptive Practice with a Question Generator Assessment) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อดิวงค์ สุชาติ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.โปรดปราน บุญยทุกณะ

ระบบสำหรับการฝึกฝนแบบปรับเหมาะ (adaptive practicing) สามารถส่งเสริมศักยภาพของผู้เรียนได้อย่างเต็มที่ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีระบบนี้อยู่บ้าง แต่การสร้างระบบนี้ยังคงมีความซับซ้อนแม้ว่าปัจจุบันจะมีเครื่องมือต่าง ๆ มาช่วยเหลือก็ตาม วิทยาลัยนพนธ์ฉบับนี้นำเสนอซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ พร้อมด้วยส่วนประเมินตัวสร้างคำถาม โดยใช้ระบบการจัดอันดับของ Elo โดยเฟรมเวิร์กนี้สามารถนำตัวสร้างคำถามมาสร้างเป็นระบบสำหรับการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้อย่างง่ายดายในรูปแบบบริการเอพีไอ (Application Programming Interface; API) บนเว็บไซต์ ซึ่งในเฟรมเวิร์กนี้ประกอบไปด้วย 4 โมเดล ได้แก่ ตัวชี้วัดการเรียนรู้ ผู้เรียน โจทย์คำถาม และบทคำสั่ง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย 7 โมดูล ได้แก่ ส่วนเลือกโจทย์คำถาม ส่วนสร้างโจทย์คำถาม ส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถาม ส่วนแสดงผลโจทย์คำถาม ส่วนตรวจสอบคำตอบ ส่วนแสดงผลย้อนกลับ (feedback) และส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบัน

การแยกส่วนสร้างโจทย์คำถามออกมานั้น ส่งผลให้เฟรมเวิร์กรองรับคำถามสำหรับหลายหัวข้อ อาทิ คำถามวิชาภาษาไทย คำถามวิชาคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ส่วนสร้างโจทย์คำถามยังทำให้ระบบที่สร้างภายใต้เฟรมเวิร์กนี้ มีทรัพยากรโจทย์คำถามที่ไม่จำกัด และขยายฐานข้อมูลโจทย์คำถามได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งเฟรมเวิร์กนี้ยังรองรับคำถามได้หลากหลายประเภทที่สามารถประเมินผลเป็นถูกและผิด อาทิ คำถามปรนัย คำถามเลือกจับคู่ เนื่องจากการออกแบบให้ส่วนแสดงผลโจทย์คำถามเป็นส่วนที่สามารถปรับแต่งได้ เฟรมเวิร์กนี้รองรับการออกรายงานทั้งหมด 5 ประเภทเพื่อใช้วิเคราะห์ทั้งในฝั่งผู้เรียนและฝั่งของระบบ ระบบที่สร้างภายใต้เฟรมเวิร์กนี้ถูกออกแบบให้เป็นเอพีไอจึงทำให้สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ ได้ง่าย นอกจากนี้ระบบที่สร้างภายใต้เฟรมเวิร์กนี้สามารถรองรับการเรียนการสอนทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์สำหรับกลุ่มผู้เรียนทุกขนาด และทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยความเร็วตามความสามารถของตนเอง และผู้สอนไม่จำเป็นต้องสร้างคำถามสำหรับป้อนเข้าในระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 6170205621 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORD: adaptive learning, question generation, development framework, computer-based learning  
 Panida Wiriyachaiyorn : Software Framework for Computerized Adaptive Practice with a Question  
 Generator Assessment. Advisor: Assoc. Prof. ATIWONG SUCHATO, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof.  
 PROADPRAN PUNYABUKKANA, Ph.D.

Although several tools for computerized adaptive practicing are available, implementing adaptive practicing with generators remains complex. This study proposes a framework for computerized adaptive practice (CAP) using the ELO rating system. The framework aims to help convert question generators to a CAP system as a web-service application programming interface, which can be easily integrated with applications. The framework comprises four models (indicator, learner, question instance, and script) and seven customizable modules (question instance selector, question instance generator, distance calculator, question display, answer checker, feedback display, and question instance updater). With the separated question instance generator module and question display module, the framework supports question domains (e.g., mathematics, science, and language) in any form; the question bank can be scaled automatically when there is no question that matches a learner's preference. This feature fills the gap in the literature regarding the existing tools, where educators are required to devise questions, leading to difficulty in scaling for various sizes of learner groups. Five types of reports can be used for analytics. An adaptive practicing system can support online and offline classrooms of any size. Moreover, learners can practice at their pace; educators are not required to handcraft questions for the system.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Computer Engineering  
 Academic Year: 2021

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลยหากปราศจากคำแนะนำจากที่ปรึกษา รศ. ดร.อดิวงค์ สุขาโต และที่ปรึกษาร่วม รศ. ดร. โปรตปธาน บุญยทุกณะ รวมไปถึงอ. ดร.เนืองวงศ์ ทวยเจริญ และอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้คำชี้แนะ มอบความรู้และคำปรึกษาอย่างดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่คอยสนับสนุนทั้งในด้านการเรียน การใช้ชีวิตและด้านอื่น ๆ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในด้านเอกสารต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี



ปณิดา วิริยะชัยพร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
ที่มาและความสำคัญ .....	1
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเรียนรู้แบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ .....	4
ระบบการจัดอันดับของ Elo (Elo Rating System).....	7
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
เฟรมเวิร์กที่นำเสนอ .....	13
ภาพรวมของเฟรมเวิร์ก.....	14
มอดูล .....	22
รายงานสรุปข้อมูล .....	30
อภิปรายผล .....	34
สรุปผล .....	38
เฟรมเวิร์กที่พร้อมใช้งาน.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ประวัติผู้เขียน.....	47

## ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีในปัจจุบันส่งผลอย่างมากในแวดวงการศึกษา การเรียนรู้ ทดสอบ และการฝึกฝนที่  
ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหนึ่งในประโยชน์ของการใช้คอมพิวเตอร์ใน  
การศึกษานั้นก็คือ เราสามารถติดตามผล เก็บข้อมูล และวิเคราะห์การเรียนรู้ได้อย่างสะดวกมากขึ้น  
โดยข้อมูลเหล่านี้จะยิ่งส่งเสริมในการสร้างการเรียนรู้ที่สามารถปรับและทำให้เหมาะสมกับผู้เรียนแต่  
ละคนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการเรียนรู้แบบปรับเหมาะเกิดจากการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่นแนวทางการเรียนรู้  
ความสามารถ ความเข้าใจของผู้เรียน และนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อนำเสนอทรัพยากรการ  
เรียนรู้ที่เหมาะสมให้แก่ผู้เรียน

จากการศึกษาพบว่า การเรียนรู้แบบปรับเหมาะ ส่งผลดีกว่าในแง่ประสิทธิภาพการเรียนรู้  
เมื่อเทียบกับการเรียนรู้แบบเดิม (Li et al., 2018; Mojarad et al., 2018; Murray & Pérez, 2015;  
Wang et al., 2020) นอกจากนี้ Ghysels and Haelermans (2018) และ Meeter (2021) ยัง  
พบว่าการเรียนรู้แบบปรับเหมาะมีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าสำหรับผู้เรียนที่เรียนอ่อนกว่ามากกว่าผู้เรียน  
ที่เรียนเก่ง ดังนั้นการเรียนรู้แบบปรับเหมาะนี้จึงน่าจะช่วยลดช่องว่างระหว่างผู้เรียนเก่งและผู้เรียน  
อ่อนได้

ทั้งนี้แม้ว่าการเรียนรู้แบบปรับเหมาะจะมีข้อดีมากมายดังที่กล่าวไป แต่การออกแบบการ  
เรียนรู้นี้ยังมีความซับซ้อนอยู่มาก ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วย  
คอมพิวเตอร์ (computerized adaptive practicing; CAP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้แบบปรับ  
เหมาะ ซึ่งการฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นี้คือการนำส่งโจทย์คำถามที่เหมาะสมให้กับ



ผู้เรียน โดยพิจารณาจากความสามารถของผู้เรียน และความยากง่ายของโจทย์คำถามเป็นหลัก การฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นี้จะต้องอาศัยฐานข้อมูลโจทย์คำถาม โดยต้องระบุขั้นตอนวิธีในการเลือกโจทย์ให้เหมาะสมด้วย ซึ่งรายละเอียดในส่วนการฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์จะได้กล่าวถึงในบททฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อไป

นอกจากนี้แม้ว่าจะมีเครื่องมือต่าง ๆ ที่ช่วยในการสร้างระบบสำหรับการฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีข้อจำกัดทั้งในด้านความยืดหยุ่นในด้านประเภทโจทย์ ความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ รวมไปถึงการเพิ่มโจทย์คำถามเข้าไปในฐานข้อมูลยังต้องอาศัยแรงงานมนุษย์ ซึ่งทำให้การขยายระบบให้ครอบคลุมโจทย์คำถามหลากหลายประเภท หลากหลายหัวข้อ หรือเพิ่มจำนวนโจทย์คำถามในฐานข้อมูลเป็นไปอย่างยากลำบาก

งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์กสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ พร้อมด้วยส่วนประเมินตัวสร้างคำถาม (Software Framework for Computerized Adaptive Practice with a Question Generator Assessment) โดยจะมีการสร้างและเพิ่มโจทย์คำถามเข้าไปในฐานข้อมูลอย่างอัตโนมัติ เมื่อไม่สามารถค้นหาโจทย์คำถามที่ตรงกับความต้องการของผู้เรียนได้ในฐานข้อมูล ซึ่งช่วยลดปัญหาคอขวดของการขยายฐานข้อมูลในปัจจุบันที่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการเพิ่มโจทย์คำถามเข้าระบบ นอกจากนี้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเฟรมเวิร์กนี้ เช่น คำตอบของผู้เรียนและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละโจทย์คำถาม สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการเรียนได้ทั้งในแง่ของระบบ และแง่ตัวผู้เรียนเอง โดยเฟรมเวิร์กนี้รองรับการเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ ผ่านเอพีไอ

ทั้งนี้ในบทต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่การเรียนรู้แบบปรับเหมาะด้วย  
คอมพิวเตอร์ และระบบการจัดอันดับของ Elo (Elo Rating System; ERS) ที่นำมาประยุกต์ใช้ใน  
งานวิจัยครั้งนี้



## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### การเรียนรู้แบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์

เดิมทีนั้น การสอบแบ่งออกได้เป็นสองวิธี ได้แก่ การทดสอบรายบุคคลและการทดสอบรายกลุ่ม โดยในการทดสอบรายบุคคลนั้น คำถามแต่ละข้อในชุดข้อสอบจะถูกเลือกและปรับให้เหมาะสมกับผู้เข้าสอบ ซึ่งทำให้ผู้เข้าสอบไม่จำเป็นต้องตอบคำถามที่ยากหรือง่ายเกินไป แต่ในขณะเดียวกันการทดสอบรายบุคคลจะใช้ทรัพยากรและงบประมาณมากกว่าการทดสอบรายกลุ่มที่ผู้เข้าสอบหลายคนจะใช้ข้อสอบชุดเดียวกัน (Wainer et al., 2000)

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีจุดประสงค์เพื่อสร้างชุดข้อสอบที่เหมาะสมให้กับผู้เข้าสอบแต่ละคนโดยอัตโนมัติ โดยเลือกโจทย์จากความสามารถปัจจุบันของผู้เข้าสอบ (Meijer & Nering, 1999)

ต่อมาการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการฝึกฝน งานวิจัยของ Hogenboom et al. (2021) และ (Nižnan, 2015) การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์และการฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้น มีส่วนที่คล้ายคลึงกันหลายอย่าง (Jiang, 2020) อาทิ ทั้งคู่นำเสนอทรัพยากรการเรียนรู้ (เช่น โจทย์คำถาม แบบฝึกหัด และบทเรียน) ที่เหมาะสมให้กับผู้เรียนหรือผู้เข้าสอบ แต่จุดสำคัญที่ทำให้การฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แตกต่างจากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์คือการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์นั้น มีจุดประสงค์ที่จะวัดความสามารถของผู้เข้าสอบ โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า

ความสามารถตลอดการเข้าสอบนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่การฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์มีจุดประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาการของผู้เรียน โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าความสามารถของผู้เรียนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอในระหว่างการฝึกฝน

อย่างไรก็ดีแรงจูงใจของผู้เรียนระหว่างการฝึกฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา ในทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (item response theory; IRT) ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Hambleton et al., 1991) มักจะเลือกโจทย์คำถามที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับผู้เข้าสอบมากที่สุด เช่นในแบบจำลอง 1PL และ 2PL ที่พิจารณาเฉพาะค่าความยากง่ายและดัชนีอำนาจจำแนก (discrimination index) ของโจทย์คำถาม จะเลือกโจทย์คำถามที่ผู้ตอบมีโอกาสตอบถูก 50% ในขณะที่ในแบบจำลอง 3PL ที่พิจารณาค่าการเดาถูกด้วย จะเลือกโจทย์คำถามที่ผู้ตอบมีโอกาสตอบถูกมากกว่า 50% เล็กน้อย (Partchev, 2004) ซึ่งจากผลการวิจัยของ Ling et al. (2017) การเลือกโจทย์คำถามที่ผู้ตอบมีโอกาสตอบถูกประมาณ 70% จะสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้ผู้ตอบได้ดีกว่า ทำให้เหมาะสมกับการนำมาปรับใช้ในบริบทการฝึกฝนเรียนรู้ และการที่ผู้เรียนได้รับผลทันทีหลังการตอบโจทย์คำถามแต่ละข้อ ยังส่งเสริมการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น

ทั้งนี้ฐานข้อมูลโจทย์คำถามที่ได้รับการเทียบมาตรฐานค่าความยากง่ายแล้วเป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบหลักของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Thompson & Weiss, 2011) เพื่อความแม่นยำในการตัดสินความสามารถของผู้เข้าสอบ และเพื่อลดจำนวนข้อของโจทย์คำถามที่ใช้ในการตัดสินความสามารถของผู้เข้าสอบ ซึ่งการเทียบมาตรฐานค่าความยากง่ายนั้นมักจะต้องมีการจัดการทดลองเพิ่มขึ้นเพื่อหาค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามแต่ละข้อ แม้ว่าจะมีงานวิจัยบางชิ้น

เสนอวิธีการคำนวณค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามโดยไม่ต้องจัดการทดลองเพิ่มเติม (Chen, 2017; Kang et al., 2020; Makransky & Glas, 2014) แต่การคำนวณยังมีความซับซ้อน ไม่เหมาะสมสำหรับลักษณะของงานวิจัยชิ้นนี้ที่มีความตั้งใจจะเพิ่มจำนวนโจทย์คำถามในฐานข้อมูลเป็นประจำ และยังไม่เหมาะสมสำหรับจุดประสงค์ของงานวิจัยที่มุ่งเน้นให้ใช้ประโยชน์เพื่อการฝึกฝนซึ่งความแม่นยำในการตัดสินความสามารถผู้เรียนและจำนวนข้อของโจทย์คำถามที่ใช้ในแต่ละครั้งเป็นประเด็นรองลงมา

ระบบการจัดอันดับของ Elo ถูกนำมาใช้แก้ปัญหานี้ในการฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ โดยงานวิจัยของ Mangaroska et al. (2019) พบว่าระบบการจัดอันดับของ Elo มีประสิทธิภาพในการเลือกโจทย์คำถามที่มีความยากเหมาะสมสำหรับผู้เรียนแต่ละคน นอกจากนี้ งานวิจัยของ Pankiewicz (2020) กล่าวว่า ระบบการจัดอันดับของ Elo มีประสิทธิภาพแม้ว่าจะมีกลุ่มตัวอย่างจำนวนไม่มากก็ตาม และ Antal (2013) แนะนำว่าควรใช้ระบบการจัดอันดับของ Elo ในกรณีที่ต้องการระบบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ แต่จำนวนข้อของโจทย์ที่ใช้ในแต่ละครั้งไม่เป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งเหมาะสมกับบริบทของงานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างยิ่ง

## ระบบการจัดอันดับของ Elo (Elo Rating System)

ระบบการจัดอันดับของ Elo เกิดขึ้นเมื่อปีค.ศ. 1978 โดย Arpad Elo เดิมทีนี้ระบบนี้ถูกใช้ในการจัดอันดับผู้เข้าแข่งขันในเกมผลรวมศูนย์ (zero-sum game) เช่นหมากรุก ในตอนแรกผู้เข้าแข่งขันจะถูกกำหนดให้มีค่าความสามารถ  $\theta$  และค่าความสามารถนี้จะถูกคำนวณใหม่หลังจากการแข่งขันทุกตาด้วยสมการที่ 1 ค่าความสามารถใหม่นั้นขึ้นอยู่กับค่าความสามารถเดิม คะแนนในตาอื่นๆ (0 คะแนนหากแพ้ 1 คะแนนหากชนะ และ 0.5 คะแนนหากเสมอ) และคะแนนโดยประมาณที่ถูกคำนวณด้วยสมการที่ 2 ค่าความไม่แน่นอน  $K$  ในสมการอาจเป็นค่าคงที่หรือปรับเปลี่ยนไปตามข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้การคำนวณ

$$\hat{\theta}_j = \theta_j + K (S_{jk} - E(S_{jk}))$$

$$\hat{\theta}_k = \theta_k + K (E(S_{jk}) - S_{jk}) \quad (1)$$

$$E(S_{jk}) = \frac{1}{1 + 10^{-(\theta_j - \theta_k)/400}} \quad (2)$$

ภายหลังได้มีการประยุกต์ระบบการจัดอันดับของ Elo เข้ากับบริบทการศึกษา โดยเปรียบเทียบผู้เรียนกับโจทย์คำถามเป็นการแข่งขัน โดยใช้คะแนนเป็น 0 เมื่อผู้เรียนตอบผิด และ 1 เมื่อผู้เรียนตอบถูก และคะแนนโดยประมาณจะถูกคำนวณดังในสมการที่ 3

$$P(\text{correct}_{ij} = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\theta_i - \delta_j)}}, \quad (3)$$

เมื่อ  $\theta_i$  คือค่าความสามารถของผู้เรียน  $i$   $\delta_j$  คือค่าความยากของโจทย์คำถาม  $j$  และ  $correct_{ij}$  คือความถูกต้องของคำตอบของผู้เรียน  $i$  ต่อโจทย์คำถาม  $j$  โดยมีค่าเป็น 0 หรือ 1

เห็นได้ว่าสมการการจัดอันดับของ Elo มีความคล้ายคลึงกับแบบจำลองของ Rasch ในทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ แต่แท้จริงแล้วระบบการจัดอันดับของ Elo มีความเรียบง่ายและยืดหยุ่นสูงจึงสามารถนำไปปรับใช้ได้หลากหลายสถานการณ์ เช่นสามารถเพิ่มค่าการเดาถูกเข้าไปในสมการ จะได้เป็นสมการที่ 4 เมื่อ  $n$  คือจำนวนตัวเลือกของโจทย์คำถาม (Pelánek, 2016)

$$P(correct_{ij} = 1) = \frac{1}{n} + \frac{1 - \frac{1}{n}}{1 + e^{-(\theta_i - \delta_j)}} \quad (4)$$

Klinkenberg et al. (2011) นำระบบการจัดอันดับของ Elo มาประยุกต์ใช้โดยการเพิ่มความเร็วในการตอบคำถามเข้าไปในสมการ โดยผู้เรียนที่ตอบคำถามเร็วกว่าจะได้คะแนนมากกว่า และใช้คะแนนโดยประมาณที่ถูกปรับให้เข้ากับการคำนวณคะแนนนี้ ซึ่งนำเสนอโดย Maris and Van der Maas (2012)

นอกจากนี้ ค่าความไม่แน่นอนที่กล่าวถึงในสมการที่ 2 ยังสามารถปรับได้หลากหลายรูปแบบ Klinkenberg et al. (2011) มองค่าความไม่แน่นอน เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับความถี่และเวลาที่ผู้เรียนตอบโจทย์คำถาม ส่วน Wauters et al. (2010) ใช้ค่าความไม่แน่นอนเป็นตัวแปรตั้งสมการ 5

$$U(n) = \frac{w_0}{1 + ae^{bn}} \quad (5)$$

โดย  $n$  เป็นจำนวนโจทย์คำถามที่ผู้เรียนเคยตอบ และ  $w_0$ ,  $a$ , and  $b$  เป็นค่าคงตัวได้มาจากการนำข้อมูลที่มีอยู่มาคำนวณหาค่าที่เหมาะสม

นอกจากนี้ ระบบการจัดอันดับของ Elo ยังมีการประยุกต์ใช้อีกหลายรูปแบบ เพื่อให้ใช้ได้กับ โจทย์คำถามทั่วไป ในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้ระบบการจัดอันดับของ Elo แบบดั้งเดิม ซึ่งแนะนำโดย Pelánek (2016) และใช้ค่าความไม่แน่นอนตามที่แนะนำโดย Papousek et al. (2014) และ Nižnan et al. (2015) ดังสมการที่ 6 โดย  $n$  คือจำนวนโจทย์คำถามที่ผู้เรียนเคยตอบสำหรับค่าความไม่แน่นอนของความสามารถของผู้เรียน และ  $m$  คือจำนวนครั้งที่ถูกตอบสำหรับค่าความไม่แน่นอนของค่าความยากง่ายของโจทย์คำถาม

$$U(n) = \frac{1}{1+0.05n}, \quad (6)$$

สำหรับในบทต่อไปจะกล่าวถึงเครื่องมือต่าง ๆ สำหรับการสร้างระบบฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน



## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ ดังนั้นในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในบริบทของการสร้างระบบสำหรับฝึกฝน และไม่มี การทดลองเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบค่าความยากง่ายของโจทย์คำถาม

Platform for Adaptive and Reliable Evaluation of Students (PARSE) (Marinagi et al., 2007) นำเสนอแพลตฟอร์มในรูปแบบสแตนด์อะโลน และรองรับการสร้างโจทย์คำถามทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ คำถามปรนัย 4 ตัวเลือก คำถามถูกผิด คำถามจับคู่ และคำถามเติมคำในช่องว่าง แพลตฟอร์มนี้รองรับการสร้างแบบฝึกหัดทั้งแบบปรับเหมาะได้และแบบไม่สามารถปรับเหมาะได้ ในส่วนแบบฝึกหัดที่ปรับเหมาะได้ใช้แบบจำลองของ Bayesian ในการเลือกโจทย์คำถามให้เหมาะสมกับผู้เรียน ผู้เรียนจะได้รับผลทันทีภายหลังจากตอบโจทย์คำถามแต่ละข้อ อย่างไรก็ตามในแพลตฟอร์มนี้ ยังต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้เพิ่มโจทย์คำถามเข้าไปในฐานข้อมูลเท่านั้น และนอกจากนี้ในการสร้างโจทย์คำถามยังต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการประเมินค่าความยากง่ายเบื้องต้นของโจทย์คำถามแต่ละข้ออีกด้วย

Möbius Assessment นำเสนอโดย (DigitalEd) มีความยืดหยุ่นมากกว่า PARSE ทั้งในแง่ของประเภทโจทย์คำถาม ซึ่งรองรับทั้งหมด 16 ประเภท และในแง่ของการเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ รองรับทั้งการเชื่อมต่อกับระบบจัดการรายวิชา รวมถึงมีเอพีไอสำหรับการเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ ผู้เรียนจะได้รับผลภายหลังจากตอบโจทย์คำถามครบทุกข้อในชุด อย่างไรก็ตาม Möbius Assessment ยังต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการสร้างโจทย์และสร้างกฎในการปรับเหมาะ

ของแบบฝึกหัด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าตอบโจทย์คำถามข้อที่ 1 ถูก ให้ไปข้อที่ 3 แต่ถ้าตอบผิดให้ไปข้อที่ 2

#### Recommendation in Personalised Peer-Learning Environments (RiPPLE)

(Khosravi et al., 2019) ถูกนำเสนอเพื่อลดคอขวดในการสร้างโจทย์คำถามที่ต้องอาศัยเฉพาะผู้สอน หรือผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น โดย RiPPLE เปิดโอกาสให้ทั้งผู้เรียนและผู้สอนมีโอกาสเพิ่มโจทย์คำถามเข้าไป ในฐานข้อมูลได้ โดยต้องเป็นคำถามปรนัยเท่านั้น นอกจากนี้โจทย์คำถาม RiPPLE ยังรองรับให้ผู้เรียน และผู้สอนเพิ่มบันทึก และตัวอย่างที่ถูกต้องได้ โดย RiPPLE จะแนะนำโจทย์คำถาม บันทึก และ ตัวอย่างที่ถูกต้องให้กับผู้เรียน โดยใช้ระบบการจัดอันดับของ Elo ในการประเมินความเหมาะสม ระหว่างรายการเหล่านี้และผู้เรียน ซึ่งผู้เรียนจะได้รับผลทันทีหลังจากตอบโจทย์คำถามแต่ละข้อ ในส่วนของการใช้งาน RiPPLE รองรับทั้งการใช้งานแบบแพลตฟอร์มสแตนด์อะโลน และการเชื่อมต่อกับระบบจัดการการเรียนการสอน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Learnosity (Learnosity, 2021) เป็นเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นมากที่สุด โดยจากข้อมูลในเอกสารที่ทาง Learnosity ได้จัดทำขึ้น Learnosity รองรับรูปแบบคำถามหลากหลายประเภท อาทิ คำถามปรนัย คำถามจับคู่ คำถามเติมคำ และยังสามารถรองรับรูปแบบคำถามใด ๆ โดยสามารถเขียน โปรแกรมเพิ่มเติมได้ นอกจากนี้ Learnosity ยังมีส่วนเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์สำหรับการจัดการ ข้อมูล ทำให้สามารถเพิ่มโจทย์คำถามลงในฐานข้อมูลผ่านทางส่วนเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์นี้ ใน ส่วนของการเลือกโจทย์คำถามที่เหมาะสมกับผู้เรียน Learnosity รองรับการจัดเครื่องประมวลผลด้วย ตนเอง (self-host engine) สำหรับการเลือกโจทย์คำถามข้อถัดไปให้ผู้เรียน โดยเครื่องประมวลผลนี้

จะได้รับข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลคำถามที่ทำได้แล้วในเซสชันนั้น รหัสของผู้เรียน ทำให้รูปแบบการเลือกโจทย์คำถามของ Learnosity มีความยืดหยุ่นสูงมาก เพราะสามารถปรับแต่งเองได้เกือบทั้งหมด แต่ถ้าเครื่องประมวลผลนั้นต้องการข้อมูลอื่น ๆ เช่นข้อมูลของผู้เรียนจากเซสชันอื่น จะต้องทำการเรียกปลายทางอื่นของส่วนเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์เพิ่มเติม ในส่วนของการเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ Learnosity รองรับทั้งการเชื่อมต่อกับระบบจัดการการเรียนการสอน และการเชื่อมต่อผ่านส่วนเชื่อมต่อโปรแกรมประยุกต์

จากงานวิจัยและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องที่กล่าวไปข้างต้น จะเห็นได้ว่าแม้จะมีเครื่องมือสำหรับการสร้างระบบสำหรับฝึกฝนแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์อยู่บ้าง แต่ยังคงขาดความยืดหยุ่นทั้งในด้านของรูปแบบโจทย์คำถามและขั้นตอนวิธีสำหรับการเลือกโจทย์คำถามให้เหมาะสมกับผู้เรียน และยังมีปัญหาคอขวดในการขยายฐานข้อมูลโจทย์คำถามเพื่อให้รองรับกับจำนวนผู้เรียน

ทั้งนี้บทถัดไปจะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเฟรมเวิร์กที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวไปข้างต้น

## เฟรมเวิร์กที่นำเสนอ

เฟรมเวิร์กสำหรับการสร้างคำถามเพื่อฝึกฝนแบบไม่สิ้นสุดและปรับเหมาะได้ที่นำเสนอถูก ออกแบบภายใต้ความต้องการซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อจำกัดของเครื่องมือในปัจจุบันที่กล่าวถึงในบท ที่แล้ว จำนวน 6 ข้อดังต่อไปนี้

R1: เฟรมเวิร์กต้องรองรับการเพิ่มโจทย์คำถามเข้าไปในฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ เมื่อไม่มีโจทย์คำถาม ในฐานข้อมูลที่ตรงกับเงื่อนไขที่ต้องการ

R2: เฟรมเวิร์กต้องรองรับประเภทโจทย์คำถามใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นคำถามปรนัย คำถามเติมคำ คำถาม จับคู่ ฯลฯ โดยต้องเป็นโจทย์คำถามที่สามารถให้ตรวจคะแนนโดยอัตโนมัติได้ และมีคะแนนเป็น 0 (ตอบผิด) และ 1 (ตอบถูก) เท่านั้น

R3: ขั้นตอนวิธีสำหรับการเลือกโจทย์คำถามที่เหมาะสมกับผู้เรียนจะต้องสามารถปรับไปใช้รูปแบบอื่น ๆ ของระบบจัดอันดับของ ELo ได้ หรือสามารถปรับไปใช้ขั้นตอนวิธีหรือแบบจำลองอื่นได้

R4: ผู้เรียนจะต้องได้รับผลทันทีหลังจากตอบโจทย์คำถามแต่ละข้อ

R5: เฟรมเวิร์กจะต้องสามารถออกรายงานสรุปข้อมูลเกี่ยวกับผู้เรียน และโจทย์คำถามได้ เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์การเรียนรู้

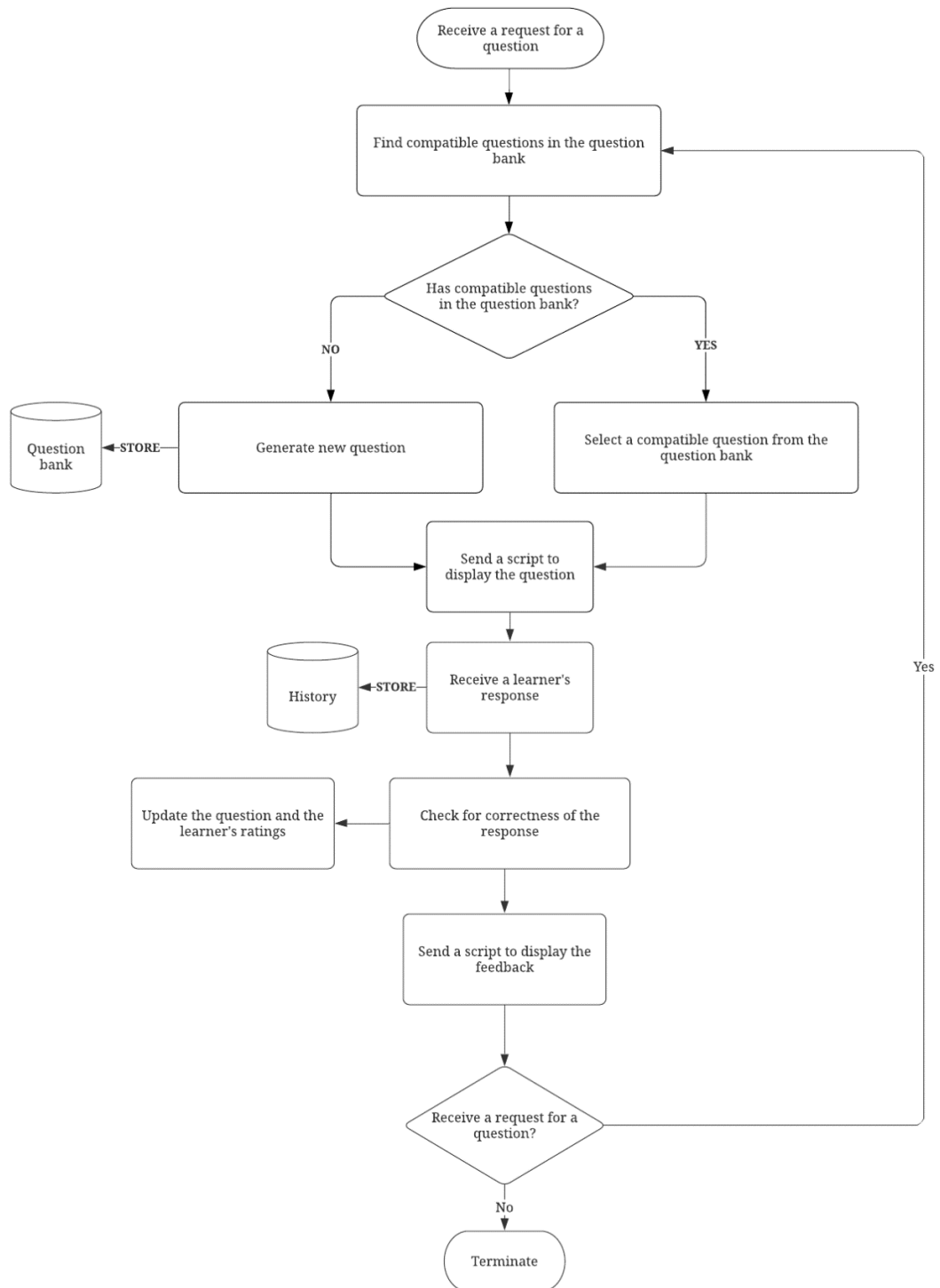
R6: ระบบที่ถูกสร้างภายใต้เฟรมเวิร์กที่นำเสนอจะต้องเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ ได้

เฟรมเวิร์กที่นำเสนอจะถูกออกแบบภายใต้คุณสมบัติทั้ง 6 ข้อที่กล่าวไป โดยประกอบไปด้วยตัวแบบ 4 ชิ้น และมอดูล 7 ชิ้น

### ภาพรวมของเฟรมเวิร์ก

เฟรมเวิร์กนี้ถูกออกแบบให้ระบบที่สร้างภายใต้เฟรมเวิร์กทำหน้าที่เป็นบริการบนเว็บ (web service) เพื่อให้การเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ นั้นทำได้โดยง่าย โดยจะเรียกโปรแกรมประยุกต์ที่ส่งคำขอมาที่ระบบว่าลูกข่าย





ภาพที่ 1. การทำงานโดยรวมของเฟรมเวิร์กที่นำเสนอ

ภาพที่ 1 แสดงถึงแผนผังการทำงานของเฟรมเวิร์กโดยรวม การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อได้รับคำขอโจทย์คำถามจากลูกข่าย จากนั้นส่วนเลือกโจทย์คำถามจะเลือกโจทย์คำถามในฐานข้อมูลที่ตรงกับเงื่อนไขที่ระบุมาในคำขอ หากในฐานข้อมูลไม่มีโจทย์คำถามที่เหมาะสม เฟรมเวิร์กจะส่งต่อข้อมูลที่จำเป็นไปยังส่วนสร้างโจทย์คำถามและสร้างโจทย์คำถาม จากนั้นเพิ่มลงในฐานข้อมูล

ในลำดับถัดมาส่วนแสดงผลโจทย์คำถามจะแปลงโจทย์คำถามที่ถูกเลือกในส่วนของคำถามเป็นจาวาสคริปต์ที่ใช้สำหรับแสดงผลคำถามให้แก่ผู้เรียน และส่งกลับไปยังลูกข่าย จากนั้นเมื่อได้รับคำตอบของผู้เรียนผ่านคำขอของลูกข่าย คำตอบของผู้เรียนจะถูกส่งต่อไปยังส่วนสอบคำตอบเพื่อตรวจคำตอบนั้นว่าถูกต้องหรือไม่ นอกจากนี้คำตอบ และระยะเวลาที่ใช้จะถูกบันทึกไปยังฐานข้อมูลในส่วนประวัติของผู้เรียน หลังจากนั้นค่าความสามารถของผู้เรียนภายใต้หัวข้อตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับโจทย์คำถามนั้น และค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามจะถูกคำนวณใหม่ด้วยส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบัน โดยใช้ระบบการจัดอันดับของ Elo

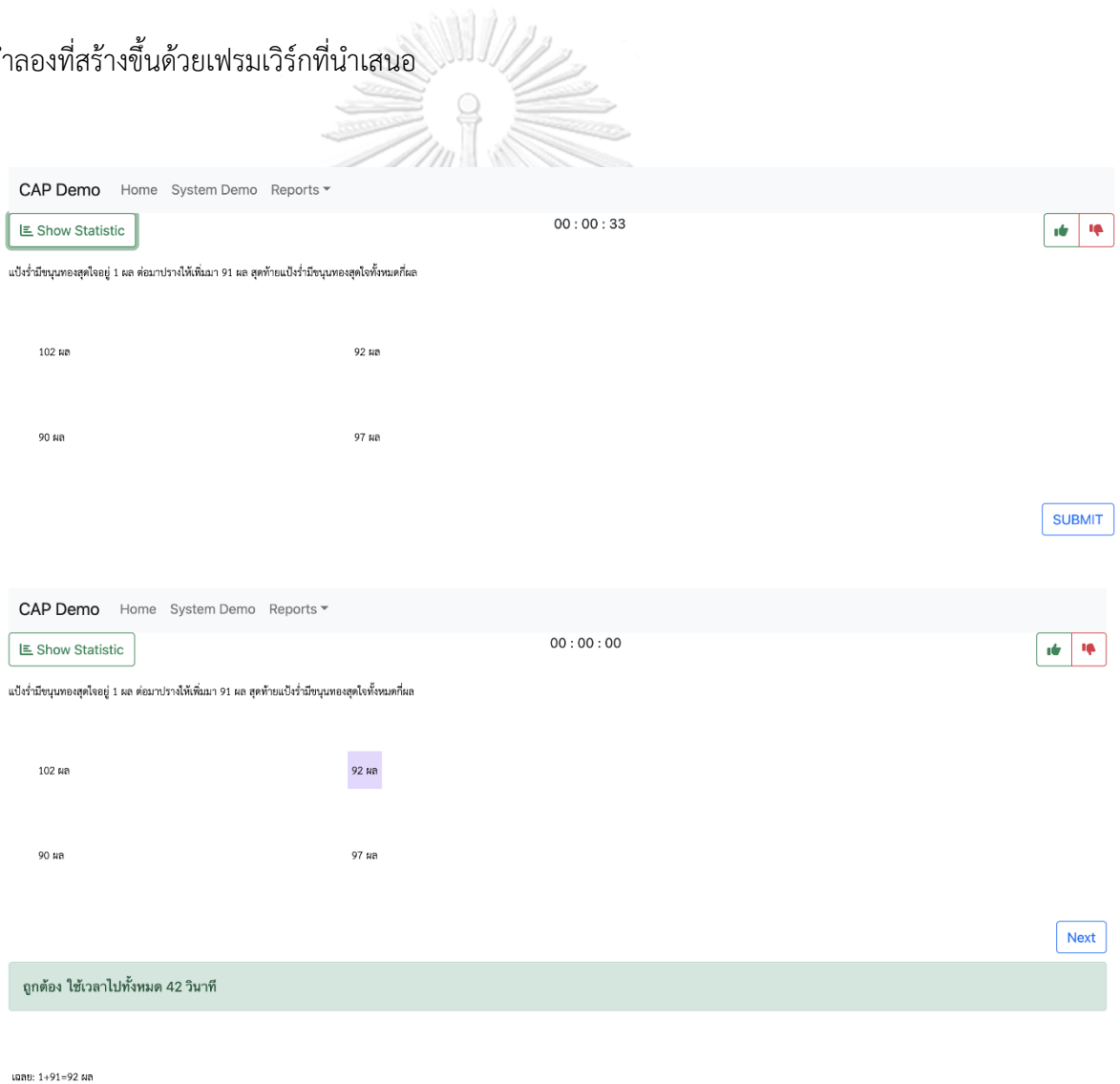
ในขณะเดียวกัน ส่วนแสดงผลย้อนกลับจะประมวลผลส่วนวิธีทำ ความถูกต้องของคำตอบ และคำตอบของผู้เรียนเป็นจาวาสคริปต์ และส่งกลับไปยังลูกข่ายเพื่อแสดงผล เพื่อให้ผู้เรียนเรียนรู้วิธีทำ และข้อบกพร่องของตนเองในการทำโจทย์ข้อนั้น

เนื่องจากเฟรมเวิร์กนี้ถูกออกแบบเพื่อใช้ในการฝึกฝน จึงไม่มีเงื่อนไขในการจับชุดข้อสอบซึ่งแตกต่างจากระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการทดสอบผู้เรียนที่มักจะมีเงื่อนไขในการจับชุดข้อสอบ โดยเฟรมเวิร์กจะเลือกโจทย์คำถามที่เหมาะสมให้จนกว่าจะไม่ได้รับคำขอจากลูกข่าย

นอกเหนือจากนี้ เฟรมเวิร์กยังรองรับการประเมินโจทย์คำถามโดยผู้เรียนว่าเป็นโจทย์คำถามที่ดีหรือไม่ดี แม้ว่าในเบื้องต้น ส่วนเลือกโจทย์คำถามจะไม่ได้นำผลการประเมินนี้มาใช้เลือก แต่ข้อมูลนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์โจทย์คำถาม และปรับปรุงส่วนสร้างโจทย์คำถามในภายหลังได้

ในภาพที่ 2 ได้แสดงตัวอย่างการแสดงผลส่วนคำถามและผลย้อนกลับแก่ผู้เรียนในระบบ

จำลองที่สร้างขึ้นด้วยเฟรมเวิร์กที่นำเสนอ



The image shows two screenshots of a web application interface for a CAP Demo. The top screenshot shows a question with a timer at 00:00:33 and a 'SUBMIT' button. The bottom screenshot shows the same question with a timer at 00:00:00 and a 'Next' button. The question text is in Thai and asks for the sum of the first 91 terms of an arithmetic sequence.

**Top Screenshot:**

- Header: CAP Demo Home System Demo Reports
- Buttons: Show Statistic, 00 : 00 : 33, Like/Dislike
- Text: แป้งรำมีขนุนทองสุดใจอยู่ 1 ผล ต่อมาปรางให้เพิ่มมา 91 ผล สุดท้ายแป้งรำมีขนุนทองสุดใจทั้งหมดกี่ผล
- Options: 102 ผล, 92 ผล, 90 ผล, 97 ผล
- Button: SUBMIT

**Bottom Screenshot:**

- Header: CAP Demo Home System Demo Reports
- Buttons: Show Statistic, 00 : 00 : 00, Like/Dislike
- Text: แป้งรำมีขนุนทองสุดใจอยู่ 1 ผล ต่อมาปรางให้เพิ่มมา 91 ผล สุดท้ายแป้งรำมีขนุนทองสุดใจทั้งหมดกี่ผล
- Options: 102 ผล, 92 ผล (highlighted), 90 ผล, 97 ผล
- Button: Next

**Bottom Bar:**

- Text: ถูกต้อง ใช้เวลาไปทั้งหมด 42 วินาที
- Text: เฉลย: 1+91=92 ผล

ภาพที่ 2. การแสดงผลส่วนคำถามและส่วนผลย้อนกลับแก่ผู้เรียน

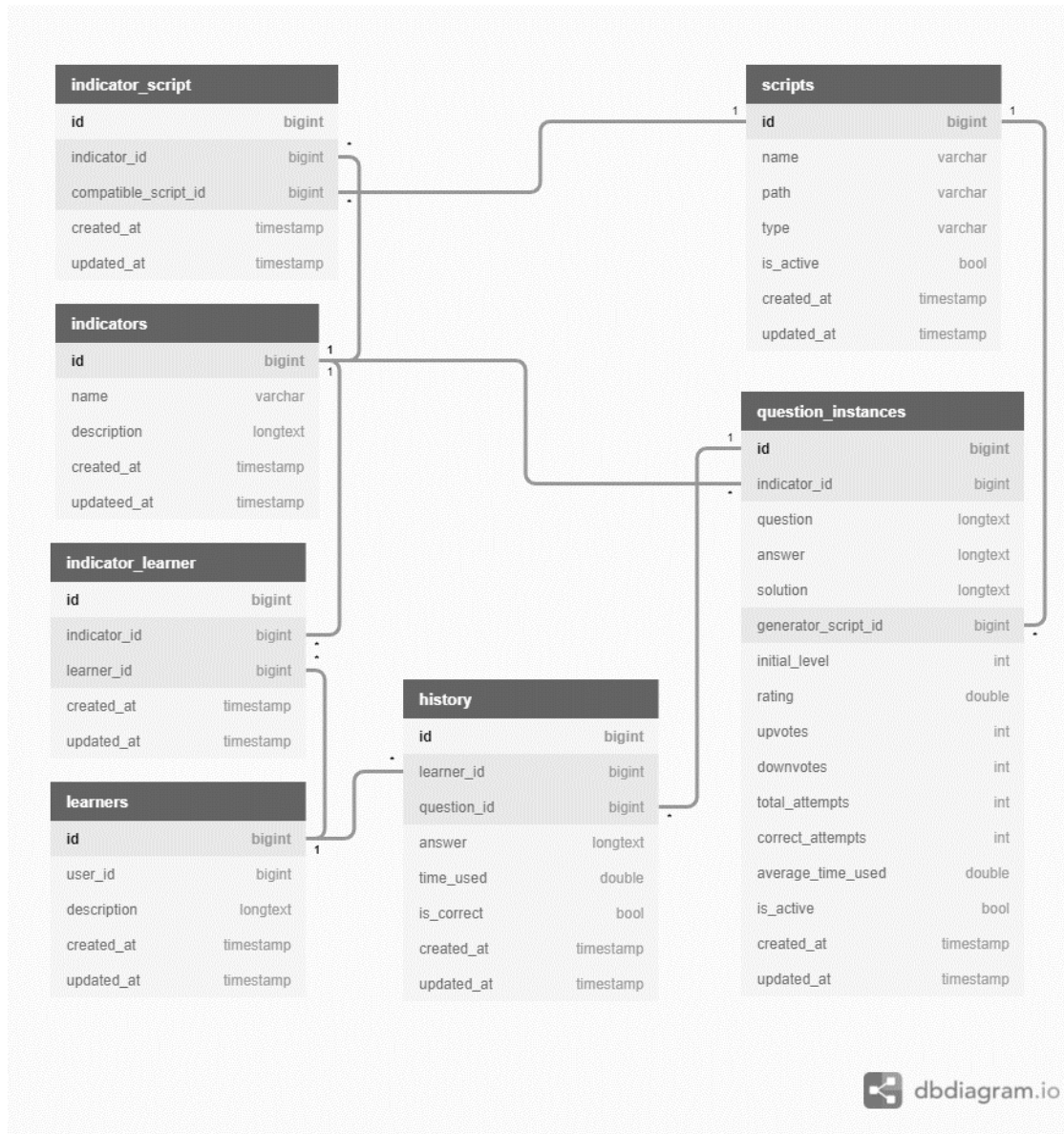


## แบบจำลอง (Model)

แบบจำลอง (Model) เป็นคลาสที่แสดงถึงความสัมพันธ์และโครงสร้างของข้อมูลในเฟรมเวิร์ก ในปัจจุบันเฟรมเวิร์กถูกออกแบบให้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ โดยใช้ MySQL แต่สามารถปรับแต่งให้เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงสัมพันธ์อย่าง MongoDB ได้

ทั้งนี้เฟรมเวิร์กนี้ประกอบไปด้วยแบบจำลองทั้งหมด 4 ชั้น ได้แก่ ตัวชี้วัดการเรียนรู้ ผู้เรียน โจทย์คำถาม และสคริปต์ โดยมีโครงสร้างและความสัมพันธ์ดังที่แสดงในรูปที่ 3





ภาพที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละโมเดล

### ตัวชี้วัดการเรียนรู้

ตัวชี้วัดการเรียนรู้หมายถึงสิ่งที่ระบุสิ่งที่ผู้เรียนควรรู้และปฏิบัติได้ ในเฟรมเวิร์กนี้ตัวชี้วัดการเรียนรู้จะถูกใช้เป็นหัวข้อเพื่อให้ผู้เรียนเลือกที่จะฝึกฝนในสิ่งต่าง ๆ และถูกใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับ

ส่วนเลือกโจทย์คำถามและส่วนสร้างโจทย์คำถาม เพื่อนำเสนอโจทย์คำถามที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการให้กับผู้เรียน

ตัวอย่างตัวชี้วัดการเรียนรู้สำหรับวิชาคณิตศาสตร์ ได้แก่ “หาผลลัพธ์การบวก ลบ คูณ หาร ระคนของจำนวนนับไม่เกิน ๑,๐๐๐ และ ๐” (Ministry of Education, 2008)

ผู้เรียน

เฟรมเวิร์กนี้ไม่เก็บข้อมูลส่วนตัวผู้เรียนอย่างเช่น ชื่อ อายุ แต่จะมีรหัสผู้เรียนสำหรับผู้เรียนแต่ละคน เมื่อลูกข่ายส่งคำขอสำหรับโจทย์คำถามหรือคำตอบของผู้เรียนมาจะต้องแนบรหัสผู้เรียนมาด้วยทุกครั้งเพื่อระบุตัวตน

ผู้เรียนหนึ่งคนสามารถเลือกสนใจได้หลายตัวชี้วัดการเรียนรู้ และจะมีค่าความสามารถของผู้เรียนแตกต่างกันไปในแต่ละหัวข้อตัวชี้วัด โดยเมื่อเลือกสนใจตัวชี้วัดการเรียนรู้ใหม่ ค่าความสามารถของผู้เรียนจะเริ่มต้นที่ 0.0 เสมอ

โจทย์คำถาม

โจทย์คำถามประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนคำถาม ส่วนคำตอบที่ถูกต้อง และส่วนเฉลย และหนึ่งโจทย์คำถามจะอยู่ภายใต้หนึ่งตัวชี้วัดการเรียนรู้เท่านั้น

ส่วนคำถามอาจเป็นคำถามรูปแบบใด ๆ เช่น คำถามปรนัย คำถามลากเส้นต่อจุด คำถามจับคู่ โดยจะเห็นได้ว่าคำถามบางรูปแบบไม่สามารถนำเสนอและจัดเก็บในรูปแบบตัวอักษรเพียงอย่างเดียวได้ ในเฟรมเวิร์กนี้จึงมองว่าส่วนคำถามนี้เก็บค่าเป็นสัญกรณ์วัตถุจาวาสคริปต์ (JavaScript Object Notation; JSON) เพื่อให้สามารถเก็บรูปแบบคำถามได้หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น คำถามลากเส้นต่อจุดจะเก็บข้อมูลส่วนคำถามเป็นตำแหน่งของจุดและลำดับของจุด คุณสมบัติสำคัญของส่วนคำถาม 2 ประการ ได้แก่ ต้องสามารถอ่านค่าและประมวลผลโดยส่วนแสดงผลโจทย์คำถามได้ และต้องสามารถคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถาม 2 ข้อด้วยส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถามได้

ในส่วนคำตอบที่ถูกต้องและส่วนเฉลยใช้การเก็บข้อมูลเป็นสัญกรณ์วัตถุจาวาสคริปต์ เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับส่วนคำถาม แต่ในส่วนคำตอบที่ถูกต้องและส่วนเฉลยนี้ไม่จำเป็นต้องถูกคำนวณด้วยส่วนคำนวณความแตกต่าง ส่วนเฉลยจำเป็นต้องสามารถอ่านค่าและประมวลผลได้ด้วยส่วนแสดงผลย้อนกลับ ในขณะที่ส่วนคำตอบที่ถูกต้องต้องสามารถอ่านค่าและประมวลผลได้ด้วยส่วนตรวจสอบคำตอบ

แต่ละโจทย์คำถามจะมีค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ ระดับความยากง่ายเบื้องต้น ค่าความยากง่าย จำนวนครั้งที่ผู้เรียนตอบทั้งหมด จำนวนครั้งที่ผู้เรียนตอบถูก เวลาเฉลี่ยที่ผู้เรียนใช้ และจำนวนโหวตทางบวกและลบ โดยโจทย์คำถามใหม่จะมีค่าความยากง่ายเป็น 0.0 ตามคำแนะนำของ Pelánek (2016) และเมื่อมีผู้เรียนตอบคำถาม ค่าความยากง่ายจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบัน

ระดับความยากง่ายเบื้องต้นจะถูกระบุโดยส่วนสร้างโจทย์คำถาม แม้ว่าค่านี้จะไม่มีการเลือกโจทย์คำถาม แต่ค่านี้จะช่วยให้การวิเคราะห์และปรับปรุงส่วนสร้างโจทย์คำถามเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น เช่น โจทย์คำถามที่ตั้งใจให้เป็นข้อง่าย (ระดับความยากง่ายเบื้องต้นต่ำ) แต่ภายหลังพบว่าค่าความยากง่ายจริง ๆ แล้วสูง อาจหมายถึงส่วนสร้างโจทย์คำถามยังสร้างคำถามได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควร

นอกจากนี้โจทย์คำถามยังถูกระบุว่าเป็นโจทย์คำถามที่ยังใช้อยู่ในปัจจุบันหรือไม่ เพื่อที่จะสามารถคัดกรองคำถามที่ไม่ใช้แล้วออกได้

### สคริปต์

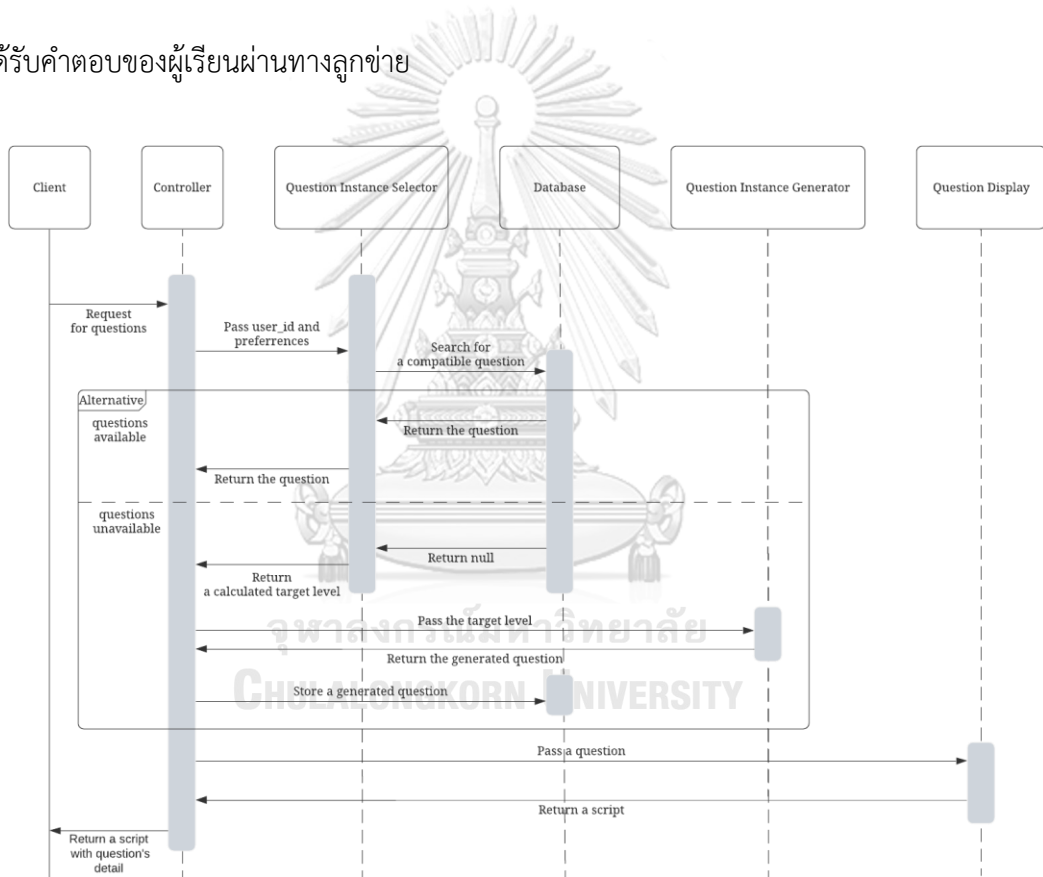
แบบจำลองนี้มีไว้เพื่อจัดการรุ่นของสคริปต์เพื่อให้สามารถเลือกสคริปต์ที่ต้องใช้ได้โดยง่าย เช่น สคริปต์สำหรับการสร้างคำถามภายใต้ตัวชี้วัดการบวกลบเลข 1 หลักกับเลข 1 หลัก โดยหนึ่งสคริปต์อาจเกี่ยวข้องกับหนึ่งตัวชี้วัดการเรียนรู้หรือมากกว่า และในทางกลับกัน หนึ่งตัวชี้วัดการเรียนรู้อาจเกี่ยวข้องกับหนึ่งสคริปต์หรือมากกว่า

### มอดูล

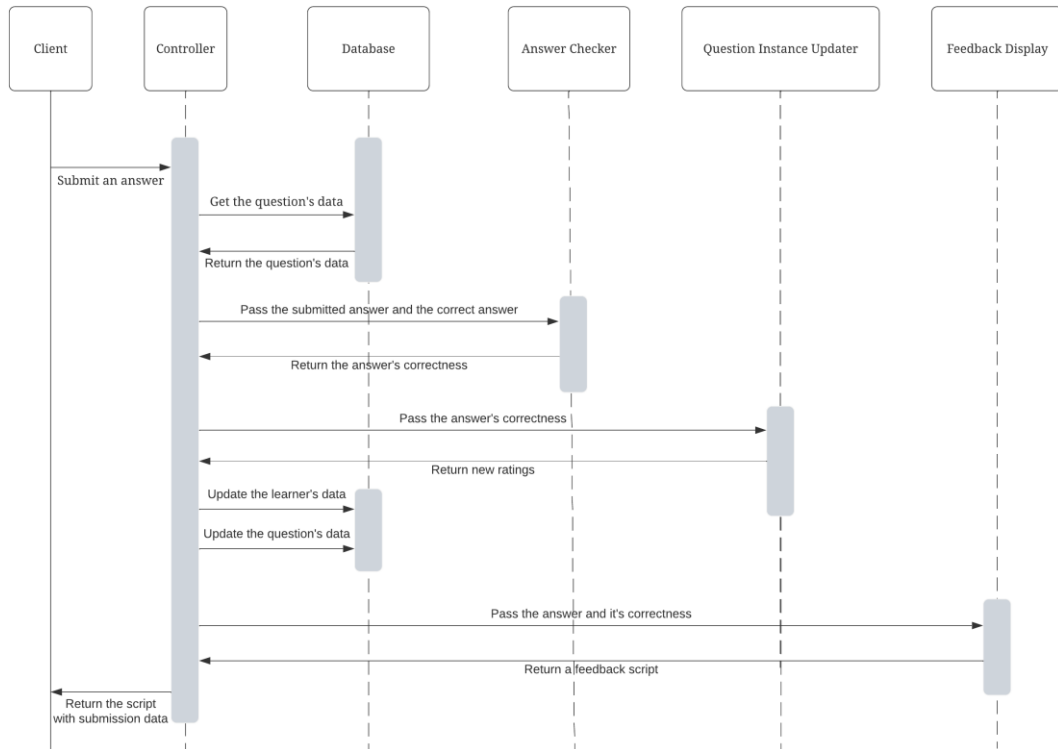
มอดูลถือเป็นส่วนสำคัญในเฟรมเวิร์กที่นำเสนอนี้ โดยรับหน้าที่ประมวลผลต่าง ๆ เช่น สร้างโจทย์คำถาม ตรวจสอบคำตอบ โดยเฟรมเวิร์กนี้ประกอบไปด้วย 7 มอดูล แบ่งเป็นมอดูลที่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพิ่ม 5 มอดูล ได้แก่ ส่วนสร้างโจทย์คำถาม ส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถาม ส่วนแสดงผลโจทย์คำถาม ส่วนตรวจสอบคำตอบ และส่วนแสดงผลย้อนกลับ (feedback) และมอดูล

ที่เฟรมเวิร์กมีค่าเริ่มต้นให้แล้ว 2 มอดูล ได้แก่ ส่วนเลือกโจทย์คำถามและส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบัน โดยทั้ง 2 มอดูลนี้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้

รูปภาพที่ 4 แสดงแผนผังการทำงานแบบลำดับปฏิสัมพันธ์ (sequence diagram) เมื่อได้รับคำขอโจทย์คำถามจากลูกข่าย และรูปภาพที่ 5 แสดงแผนผังการทำงานแบบลำดับปฏิสัมพันธ์เมื่อได้รับคำตอบของผู้เรียนผ่านทางลูกข่าย



ภาพที่ 4. แผนผังการทำงานเมื่อได้รับคำขอโจทย์คำถามจากลูกข่าย



ภาพที่ 5. แผนผังการทำงานเมื่อได้รับคำตอบของผู้เรียนจากลูกข่าย



### ส่วนเลือกโจทย์คำถาม

ส่วนเลือกโจทย์คำถามนี้มีหน้าที่ในการเลือกโจทย์คำถามในฐานข้อมูลที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการที่ระบุในคำขอจากลูกข่าย ถ้าไม่มีโจทย์คำถามที่เหมาะสมเฟรมเวิร์กจะคำนวณระดับความยากง่ายของโจทย์ที่ต้องการโดยประมาณ และส่งต่อไปยังส่วนสร้างโจทย์คำถามต่อไป

เฟรมเวิร์กนี้ได้ระบุโปรแกรมในส่วนของส่วนเลือกโจทย์คำถามมาให้แล้ว โดยเบื้องต้นจะรวบรวมโจทย์คำถามภายใต้ตัวชี้วัดการเรียนรู้ที่ต้องการไว้ในคลังคำถามชั่วคราว โดยยกเว้นโจทย์คำถามที่ผู้เรียนเคยตอบไปแล้ว นอกจากนี้ได้รับคำขอให้รวบรวมโจทย์คำถามที่เคยตอบแล้ว จะนำโจทย์คำถามที่เคยตอบแล้วใส่ลงในคลังด้วยก็ต่อเมื่อผู้เรียนเว้นระยะตอบคำถามจากโจทย์คำถามข้อนั้นไปแล้ว 20 ครั้งเป็นต้นไป เพื่อป้องกันการได้รับคำถามที่ซ้ำติดกันเกินไป

ต่อมาถ้าระดับความยากง่ายโดยประมาณของโจทย์ไม่ได้ถูกระบุมาในคำขอ เฟรมเวิร์กจะสุ่มโอกาสที่ผู้เรียนมีโอกาสตอบถูกจากการแจกแจงปกติ  $\sim(0.70,0.1)$  และค่าความยากง่ายของโจทย์จะต้องมีค่าระหว่าง 0.5 และ 1 ดังสมการที่ 7 ด้านล่างแสดงถึงการคำนวณค่าความยากง่ายของโจทย์ที่เหมาะสม

$$\delta_i = \theta_i - \ln\left(\frac{P}{1-P}\right), \quad (7)$$

โดย  $\delta_i$  คือค่าความยากง่ายของโจทย์ที่เหมาะสม  $\theta_i$  คือค่าความสามารถของผู้เรียน และ  $P$  คือโอกาสที่ผู้เรียนจะตอบถูก โจทย์คำถามที่มีค่าความยากง่ายใกล้เคียงค่าความยากง่ายที่เหมาะสมมากที่สุดจะถูกเลือกจากคลังโจทย์คำถามชั่วคราว หากไม่มีโจทย์คำถามที่เหมาะสมอยู่ เฟรมเวิร์กจะแปลงค่าความยากง่ายที่เหมาะสมเป็นระดับความยากง่ายแทน โดยเปรียบเทียบกับโจทย์คำถามภายใต้ตัวชี้วัดเดียวกันที่ยังใช้งานอยู่ ว่าค่าความยากง่ายที่เหมาะสมนั้นอยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่เท่าใด โดยหากอยู่ไม่เกินเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 25 จะเรียกว่าระดับ 1 หากอยู่ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 25 ถึง 50 จะเป็นระดับ 2 เรื่อยไป และส่งระดับความยากง่ายนี้ไปยังส่วนสร้างโจทย์คำถามต่อไป



ถ้าหากคำขอจากลูกข่ายระดับความยากง่ายที่ต้องการเอาไว้ ส่วนเลือกโจทย์คำถามนี้จะเลือกเฉพาะโจทย์คำถามที่อยู่ในระดับความยากง่ายที่ต้องการเท่านั้น โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ไทม์กับโจทย์คำถามภายใต้ตัวชี้วัดเดียวกันที่ยังใช้งานอยู่เช่นกัน เช่นถ้าคำขอระดับความยากง่ายเป็น 1 จะเลือกสุ่มจากเฉพาะโจทย์คำถามในคลังโจทย์คำถามชั่วคราวที่มีค่าความยากง่ายไม่เกินเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 25 เท่านั้น หากไม่มีโจทย์คำถามที่เหมาะสมก็จะส่งระดับความยากง่ายที่ระบุไว้ ไปยังส่วนสร้างโจทย์คำถามเช่นเดียวกัน

ทั้งนี้ส่วนเลือกโจทย์คำถามสามารถปรับแต่งแก้ไขเป็นแบบจำลองอื่น ๆ หรือรูปแบบอื่น ๆ ของระบบการจัดอันดับของ Elo ได้

#### ส่วนสร้างโจทย์คำถาม

หลังจากส่วนเลือกโจทย์คำถามไม่พบโจทย์คำถามที่ตรงกับความต้องการในฐานข้อมูล ส่วนสร้างโจทย์คำถามนี้จะรับหน้าที่ต่อการสร้างโจทย์คำถามที่ตรงกับความต้องการขึ้นมา และเพิ่มลงในฐานข้อมูล รวมถึงส่งต่อไปยังส่วนแสดงผลโจทย์คำถามเพื่อแสดงผลให้ผู้เรียนต่อไป

ส่วนสร้างโจทย์คำถามนี้จะรับข้อมูลนำเข้าเป็นตัวชี้วัดการเรียนรู้ และระดับความยากง่าย โดยประมาณที่ต้องการ และส่งออกข้อมูลเป็นโจทย์คำถามที่ประกอบไปด้วยส่วนคำถาม ส่วนคำตอบ ที่ถูกต้อง และส่วนเฉลย ในรูปแบบสัญญาณวัตถุจาวาสคริปต์ ระดับความยากง่ายเบื้องต้นเป็นค่าที่ระบุหรือไม่ระบุก็ได้ แต่หากระบุจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงส่วนสร้างโจทย์คำถามได้ดียิ่งขึ้นดังที่จะกล่าวในส่วนรายงานความแตกต่างของโจทย์คำถาม

ส่วนสร้างโจทย์คำถามนี้ส่งผลให้เฟรมเวิร์กสามารถขยายฐานข้อมูลโจทย์คำถามได้อย่างอัตโนมัติและไม่สิ้นสุด ทำให้ระบบที่สร้างภายใต้เฟรมเวิร์กนี้รองรับกลุ่มผู้เรียนทุกขนาดที่มีความต้องการจำนวนโจทย์คำถามแตกต่างกัน รวมไปถึงลดปัญหาคอขวดในการรอผู้เชี่ยวชาญหรือผู้สอนในการเพิ่มโจทย์คำถามเข้าฐานข้อมูลอีกด้วย

### ส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถาม

เฟรมเวิร์กนี้คาดหวังให้มีโจทย์คำถามจำนวนไม่สิ้นสุดเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้เรียน แต่หากส่วนสร้างโจทย์คำถามสร้างโจทย์คำถามที่ไม่มีหลากหลาย ซ้ำกันเป็นจำนวนมาก ก็ไม่อาจทำให้เฟรมเวิร์กนี้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ แม้ว่าจะไม่สามารถบังคับส่วนสร้างโจทย์คำถามได้โดยตรง แต่เฟรมเวิร์กนี้รวมถึงการประเมินและวิเคราะห์ส่วนสร้างโจทย์คำถามเอาไว้ด้วย ดังนั้นส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถามนี้จะถูกเรียกใช้เมื่อต้องการประเมินความหลากหลายของโจทย์คำถามที่สร้างขึ้นมา เพื่อบอกว่าโจทย์คำถามเหล่านั้นมีความต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยมีข้อมูลนำเข้าเป็น โจทย์คำถาม 2 ข้อขึ้นไป และส่งกลับเป็นเมตริกซ์ระยะห่างระหว่างคำถามแต่ละคู่ โดยมีค่า 0.0 เมื่อคำถามเหมือนกันทุกประการ และ 1.0 เมื่อคำถามคู่นั้นแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง

### ส่วนแสดงผลโจทย์คำถาม

เฟรมเวิร์กนี้ไม่ครอบคลุมถึงส่วนหน้าบ้าน (front-end) ที่แสดงผลให้ผู้เรียนเห็นโดยตรง แต่ใช้วิธีให้ส่วนแสดงผลโจทย์คำถามรับหน้าที่แปลงส่วนคำถามจากโจทย์คำถามให้เป็นสคริปต์ที่สามารถแทรกในส่วนหนึ่งของเอชทีเอ็มแอล (HyperText Markup Language; HTML) ของโปรแกรม

ประยุกต์ที่เป็นลูกข่ายเพื่อให้ลูกข่ายสามารถใช้สคริปต์นั้นในการแสดงคำถามแก่ผู้เรียนโดยง่าย โดยสคริปต์นั้นจะต้องประกอบไปด้วยส่วนที่โต้ตอบกับผู้เรียนได้ เช่น คำตอบที่สามารถคลิกได้หากเป็นโจทย์คำถามปรนัย

ทั้งนี้เฟรมเวิร์กนี้แนะนำให้ใช้ Konva (KonvaJS, 2021) ในการสร้างสคริปต์ โดย Konva เป็นเฟรมเวิร์กจาวาสคริปต์สำหรับเอชทีเอ็มแอล 5 ในการแสดงผลด้วยกราฟิก และรองรับการแสดงผลรูปแบบต่าง ๆ ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นรูปทรง รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว ฯลฯ จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการสร้างสคริปต์ที่มีส่วนที่โต้ตอบกับผู้เรียน

ส่วนตรวจสอบคำตอบ

จุดประสงค์ของมอดูลนี้คือเพื่อตรวจสอบคำตอบของผู้เรียนว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ โดยวิธีการอาจจะเป็นการเปรียบเทียบคำตอบของผู้เรียนกับคำตอบที่ถูกต้องที่ระบุในโจทย์คำถามโดยตรง หรืออาจใช้วิธีที่ซับซ้อนขึ้นอย่างการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (natural language processing) ก็ได้ โดยจะต้องประเมินและให้คะแนนเป็น 0 และ 1 เท่านั้น ซึ่งคะแนนนี้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนปรับปรุงโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบันเพื่อคำนวณค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามและค่าความสามารถของผู้เรียนต่อไป

ส่วนแสดงผลย้อนกลับ

ส่วนแสดงผลย้อนกลับมีหน้าที่สร้างสคริปต์สำหรับแสดงผลต่าง ๆ ให้กับผู้เรียนหลังตอบคำถาม เช่น วิธีทำที่ถูกต้อง คำตอบที่ถูกต้อง โดยใช้หลักการเดียวกับส่วนแสดงผลโจทย์คำถาม แต่สคริปต์สำหรับแสดงผลย้อนกลับนี้ไม่จำเป็นต้องมีส่วนที่ให้ผู้เรียนโต้ตอบกลับมาได้

ส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบัน

ส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบันนี้รับข้อมูลนำเข้าเป็นความถูกต้องของคำตอบของผู้เรียน และข้อมูลเกี่ยวกับโจทย์คำถามและผู้เรียน เพื่อนำมาคำนวณค่าความยากง่ายของโจทย์คำถาม และค่าความสามารถของผู้เรียน โดยใช้ระบบจัดอันดับของ Elo เป็นวิธีการคำนวณที่รวมอยู่กับเฟรมเวิร์กซึ่งคำนวณค่าความไม่แน่นอนโดยใช้สมการที่ 6 โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าค่าความไม่แน่นอนของค่าความสามารถของผู้เรียนจะลดลง เมื่อผู้เรียนตอบคำถามภายใต้ตัวชี้วัดนั้น ๆ มากขึ้น และค่าความไม่แน่นอนของค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามจะลดลง เมื่อโจทย์คำถามได้รับการตอบมากขึ้น

จากนั้นใช้สมการ 3 ในการคำนวณความน่าจะเป็นที่ผู้เรียนจะตอบโจทย์คำถามนั้น ๆ ถูก และใช้ความน่าจะเป็นนี้แทนคะแนนโดยประมาณ สุดท้ายจึงคำนวณค่าความยากง่ายของโจทย์คำถาม และค่าความสามารถของผู้เรียน โดยใช้สมการที่ 8

$$\hat{\theta}_j = \theta_j + U_j(S_{jk} - E(S_{jk}))$$

$$\hat{\theta}_k = \theta_k + U_k(E(S_{jk}) - S_{jk}) \quad (8)$$

เมื่อ  $j$  คือผู้เรียน  $k$  คือโจทย์คำถาม  $\theta_j$  คือค่าความสามารถของผู้เรียนปัจจุบัน  $\theta_k$  คือค่าความยากง่ายของโจทย์คำถามปัจจุบัน  $U$  คือค่าความไม่แน่นอนที่ถูกคำนวณด้วยสมการที่ 6  $E(S_{jk})$  คือคะแนนโดยประมาณของผู้เรียน  $j$  และโจทย์คำถาม  $k$  และ  $S_{jk}$  คือคะแนนที่ผู้เรียนได้จากส่วนตรวจสอบคำตอบ โดยคะแนนจะต้องมีค่าเป็น 0 (ตอบผิด) หรือ 1 (ตอบถูก) เท่านั้น

ทั้งนี้ส่วนปรับโจทย์คำถามให้เป็นปัจจุบันนี้สามารถปรับเปลี่ยนไปใช้แบบจำลองอื่น หรือรูปแบบอื่นของระบบจัดอันดับของ Elo ได้ โดยต้องสอดคล้องกับส่วนเลือกโจทย์คำถาม

### รายงานสรุปข้อมูล

ในปัจจุบันเฟรมเวิร์กสามารถรายงานสรุปข้อมูลได้ใน 5 หัวข้อ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเรียนรู้ของผู้เรียน วิเคราะห์ข้อมูลของโจทย์คำถาม รวมไปถึงวิเคราะห์และปรับปรุงมอดูลต่าง ๆ เช่น ปรับปรุงส่วนสร้างโจทย์คำถามให้สร้างได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### รายงานสรุปข้อมูลระบบ

รายงานสรุปข้อมูลระบบจะสรุปข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับระบบ ได้แก่ จำนวนตัวชี้วัดการเรียนรู้ จำนวนผู้เรียนในระบบ และจำนวนคำถามทั้งหมดในระบบ

#### รายงานความแตกต่างของโจทย์คำถาม

รายงานความแตกต่างของโจทย์คำถามมุ่งเน้นเพื่อประเมินความสามารถของส่วนสร้างโจทย์คำถามว่าสามารถสร้างโจทย์คำถามที่แตกต่างกันได้มากน้อยเพียงใด โดยลูกข่ายต้องระบุตัวชี้วัดการเรียนรู้ที่ต้องการสร้างโจทย์คำถามเพื่อประเมินผล (หรือถ้าต้องการทดสอบสคริปต์สำหรับการสร้างสคริปต์ใดสคริปต์หนึ่งโดยเฉพาะก็สามารถระบุรหัสของสคริปต์นั้นแทนได้) จำนวนโจทย์คำถามที่จะสร้าง ระยะห่างขั้นต่ำของคำถามที่จะนับว่าเป็นโจทย์คำถามที่แตกต่างกัน

โดยเมื่อได้รับคำขอรายงานประเภทนี้ เฟรมเวิร์กจะส่งคำสั่งให้ส่วนสร้างโจทย์คำถามสร้างโจทย์คำถามมาจำนวนหนึ่งตามที่ระบุมาในคำขอ จากนั้นจะใช้ส่วนคำนวณความแตกต่างระหว่างคำถามในการคำนวณเมตริกซ์ระยะห่างของส่วนคำถามในโจทย์เหล่านั้น จากนั้นจึงใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบ่งข้อมูลแบบลำดับชั้นจากล่างขึ้นบนด้วยวิธีพันธะเชื่อมโยงเดี่ยว (hierarchical agglomerative clustering with a single linkage method) เพื่อจัดกลุ่มคำถามที่ใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน โดยระยะทางระหว่างคำถามต้องน้อยกว่าค่าระยะห่างขั้นต่ำที่ระบุในคำขอเท่านั้นจึงจะถูกรวมกลุ่มกัน การที่คำถามอยู่ในกลุ่มเดียวกันหมายความว่าคำถามเหล่านั้นเป็นคำถามที่ไม่แตกต่างกัน

ในรายงานนี้ประกอบไปด้วยรหัสของสคริปต์ที่ถูกประเมิน (ถ้ามี) ตัวชี้วัดการเรียนรู้ของโจทย์คำถามที่ถูกประเมิน ระยะห่างขั้นต่ำที่ระบุ จำนวนกลุ่มคำถามทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของจำนวนคำถามในแต่ละกลุ่มและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนคำถามในกลุ่มที่ใหญ่ที่สุด นอกจากนี้รหัสของโจทย์คำถามในกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดจะถูกสุ่มและระบุในรายงานด้วยเพื่อให้สามารถวิเคราะห์คำถามที่ซ้ำ และปรับปรุงป้องกันไม่ให้อาจสร้างโจทย์คำถามสร้างโจทย์คำถามที่ไม่หลากหลาย

ทั้งนี้โจทย์คำถามทั้งหมดที่ถูกสร้างเพื่อใช้ประเมินความแตกต่างนี้จะถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล  
ในฐานะโจทย์คำถามที่ยังใช้อยู่

#### รายงานข้อมูลตัวชี้วัดการเรียนรู้

รายงานข้อมูลตัวชี้วัดการเรียนรู้จะแจกแจงรายละเอียดเกี่ยวกับตัวชี้วัดการเรียนรู้ที่ระบุในคำ  
ขอ โดยประกอบไปด้วยจำนวนผู้เรียนที่สนใจในตัวชี้วัดการเรียนรู้ จำนวนโจทย์คำถามที่ยังใช้อยู่และ  
จำนวนโจทย์คำถามที่ไม่ใช้แล้วภายใต้ตัวชี้วัดการเรียนรู้ และจำนวนสคริปต์ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้  
ค่าเฉลี่ยความยากง่ายของโจทย์คำถามที่ยังใช้อยู่จะถูกรวมอยู่ในรายงานนี้ด้วย

#### รายงานข้อมูลโจทย์คำถาม

รายงานข้อมูลโจทย์คำถามจะประกอบไปด้วยรายละเอียดของโจทย์คำถามที่ระบุในคำขอ  
ประกอบด้วยระดับความยากง่ายเบื้องต้น จำนวนครั้งที่ผู้เรียนตอบทั้งหมด จำนวนครั้งที่ผู้เรียนตอบ  
ถูก เวลาเฉลี่ยที่ผู้เรียนใช้ และจำนวนโหวตทางบวกและลบ รวมถึงค่าความยากง่ายของโจทย์คำถาม  
และเปอร์เซ็นต์ไทม์ของค่าความยากง่ายเมื่อเทียบกับโจทย์คำถามที่ยังใช้งานอยู่ภายใต้ตัวชี้วัดการ  
เรียนรู้เดียวกัน

จากที่กล่าวไปข้างต้นว่าระดับความยากง่ายเบื้องต้นเป็นค่าที่จะระบุหรือไม่ระบุก็ได้ แต่ถ้า  
ส่วนสร้างโจทย์คำถามระบุค่านี้ไว้ด้วย จะทำให้สามารถประเมินส่วนสร้างโจทย์คำถามได้ดีขึ้นว่าโจทย์  
คำถามที่สร้างมีความยากง่ายตรงกับที่ตั้งใจไว้มากเพียงใด เช่นถ้าระบุค่าความยากง่ายเบื้องต้นต่ำ

(ตั้งใจให้เป็นโจทย์คำถามระดับง่าย) แต่ได้เปอร์เซ็นต์โศกนาฏกรรมของความยากง่ายจริงสูง (เป็นโจทย์คำถามระดับยากสำหรับผู้เรียนในระบบ) หมายความว่าส่วนสร้างโจทย์คำถามยังสร้างโจทย์คำถามที่ตั้งใจให้เป็นโจทย์ง่ายให้ง่ายสำหรับผู้เรียนไม่ได้

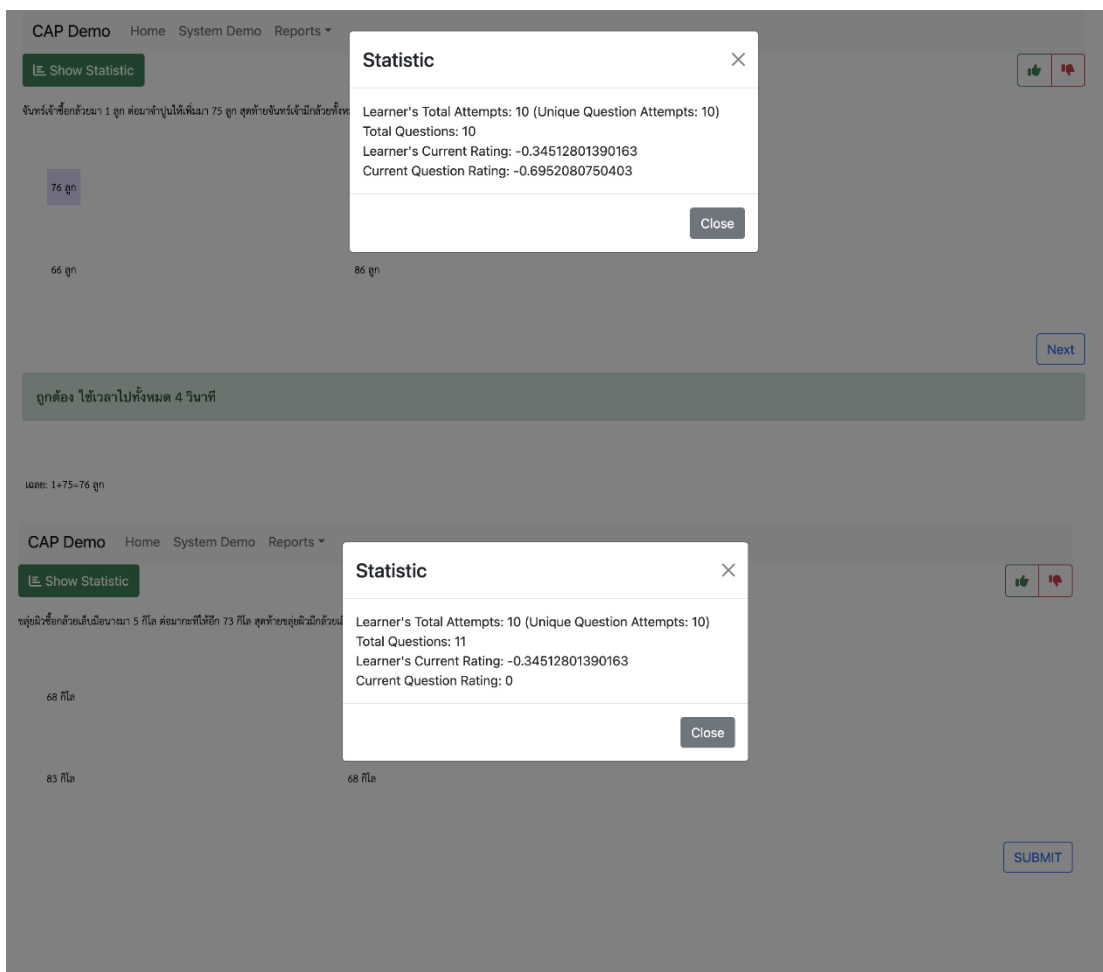
#### รายงานข้อมูลผู้เรียน

เฟรมเวิร์กนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ปรากฏในรายงานข้อมูลผู้เรียนจะประกอบไปด้วยข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนของผู้เรียน โดยแบ่งเป็นส่วน ๆ ตามตัวชี้วัดการเรียนรู้ และแต่ละส่วนประกอบไปด้วยข้อมูลภายใต้ตัวชี้วัดการเรียนรู้ ได้แก่ ค่าความสามารถปัจจุบันของผู้เรียน จำนวนครั้งการตอบคำถาม จำนวนครั้งการตอบคำถามที่ถูกต้อง และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการตอบคำถาม



## อภิปรายผล

ในบทที่แล้วได้นำเสนอเฟรมเวิร์กสำหรับการสร้างคำถามเพื่อฝึกฝนแบบไม่สิ้นสุดและปรับ  
เหมาะได้ ซึ่งการเชื่อมต่อกับส่วนสร้างโจทย์คำถาม ทำให้เป็นไปตามความต้องการ R1 และเฟรมเวิร์ก  
นี้ยังรวมไปถึงการวิเคราะห์และรายงานความแตกต่างของโจทย์คำถามที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อช่วย  
ป้องกันไม่ให้อาจารย์มีโจทย์คำถามที่ซ้ำ หรือใกล้เคียงกันมากเกินไป และช่วยในการพัฒนาและ  
ปรับปรุงส่วนสร้างโจทย์คำถามในอนาคต การเพิ่มโจทย์คำถามโดยอัตโนมัติด้วยส่วนสร้างโจทย์คำถาม  
นี้ส่งผลให้ระบบที่สร้างขึ้นภายใต้เฟรมเวิร์กนี้สามารถรองรับกลุ่มผู้เรียนตั้งแต่ขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาด  
ใหญ่ได้ โดยที่ผู้สอนไม่จำเป็นต้องเป็นผู้เพิ่มโจทย์คำถามเข้าฐานข้อมูลด้วยตนเอง ดังที่แสดงในภาพที่  
6 เมื่อผู้เรียนตอบคำถามในระบบจนครบแล้ว ระบบจะสร้างคำถามใหม่โดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 6. แสดงการสร้างคำถามใหม่เมื่อผู้เรียนตอบคำถามในระบบหมดทุกคำถามแล้ว

ในแง่มุมมองของประเภทโจทย์คำถาม (ความต้องการ R2) เฟรมเวิร์กนี้ได้แยกส่วนในการแสดงผลเป็นส่วนแสดงผลโจทย์คำถามซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมให้สอดคล้องกับโจทย์คำถามที่ต้องการได้ ส่งผลให้เฟรมเวิร์กสามารถรองรับโจทย์คำถามประเภทใด ๆ ภายใต้งี้อ่อนไขว่าต้องเป็นโจทย์คำถามที่สามารถให้ตรวจคะแนนโดยอัตโนมัติได้ และมีคะแนนเป็น 0 (ตอบผิด) และ 1 (ตอบถูก) เท่านั้น ซึ่งในเฟรมเวิร์กนี้แนะนำให้ใช้ Konva ในส่วนการแสดงผลคำถาม

ส่วนการเลือกโจทย์คำถามในเฟรมเวิร์กที่นำเสนอนี้ โดยเบื้องต้นจะใช้ระบบจัดอันดับของ Elo ในการเลือกโจทย์คำถามให้กับผู้เรียน อย่างไรก็ตามส่วนการเลือกโจทย์คำถามนี้สามารถแก้ไขหรือบันทึกทับเพื่อใช้แบบจำลองหรือขั้นตอนวิธีอื่นในการเลือกโจทย์คำถามได้ ซึ่งตรงกับความต้องการในข้อ R3

หลังจากผู้เรียนตอบคำถามแต่ละข้อ ส่วนแสดงผลย้อนกลับจะสร้างจาวาสคริปต์ (JavaScript) ที่ใช้ในการแสดงผลย้อนกลับให้กับผู้เรียนตามความต้องการในข้อ R4

สำหรับความต้องการข้อ R5 เฟรมเวิร์กนี้รองรับการรายงานข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมด 5 แบบ ได้แก่ รายงานภาพรวมของระบบ รายงานการประเมินความหลากหลายของโจทย์คำถาม รายงานข้อมูลตัวชี้วัด รายงานข้อมูลโจทย์คำถาม และรายงานข้อมูลผู้เรียน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ทั้งในการวิเคราะห์ระบบ วิเคราะห์โจทย์คำถาม ไปจนถึงวิเคราะห์การเรียนรู้ของผู้เรียนได้

ระบบที่ถูกสร้างภายใต้เฟรมเวิร์กนี้ถูกออกแบบเพื่อให้เป็นบริการบนเว็บ (web-service) และมีเอพีไอเพื่อใช้ในการติดต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ จึงสามารถตอบสนองความต้องการข้อ R6 ได้เป็นอย่างดี

จากคุณสมบัติของเฟรมเวิร์กที่ได้วิเคราะห์ไปข้างต้น จะเห็นว่าเฟรมเวิร์กที่นำเสนอไปนี้เหมาะสำหรับการสร้างระบบสำหรับฝึกฝนที่ปรับเหมาะได้ โดยไม่จำกัดประเภทและหัวข้อของคำถาม เช่น คำถามวิชาคณิตศาสตร์ คำถามวิชาภาษาไทย และเหมาะสำหรับระบบนี้ สามารถใช้ในกลุ่มผู้เรียนขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่กลุ่มเล็กไปจนถึงกลุ่มใหญ่ ที่มีความต้องการโจทย์คำถามจำนวนแตกต่างกัน

เนื่องจากเฟรมเวิร์กจะจัดการในส่วนของการสร้างโจทย์คำถามและนำเข้าฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ ลด  
ปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดจากการอาศัยผู้สอนหรือผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้สร้างโจทย์คำถามและนำเข้าฐานข้อมูล  
อย่างไรก็ตามเฟรมเวิร์กนี้ออกแบบโดยเน้นการใช้งานในบริบทของการฝึกฝนโดยเฉพาะ และเฟรม  
เวิร์กมองว่าความสามารถของผู้เรียนนั้นเปลี่ยนแปลงได้เสมอในระหว่างการฝึกฝน จึงเหมาะสำหรับ  
การใช้สร้างระบบที่ไม่มุ่งเน้นเรื่องการประเมินผลและเปรียบเทียบความสามารถระหว่างผู้เรียน



## สรุปผล

เฟรมเวิร์กสำหรับการสร้างคำถามเพื่อฝึกฝนแบบไม่สิ้นสุดและปรับเหมาะได้ที่น่าเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้มีคุณสมบัติที่ตอบสนองความต้องการครบทั้ง 6 ข้อดังที่ได้อภิปรายไปในบทก่อนหน้านี้ รวมถึงสามารถรายงานสรุปข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การเรียนรู้ นอกจากนี้แล้วข้อมูลที่ถูกรวบรวมในระบบยังสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลในด้านอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์อำนาจจำแนกของตัวลงในคำถามปรนัย และวิเคราะห์ดัชนีอำนาจจำแนกของคำถาม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บไว้มาใช้ในการค้นหาแบบกริด (Grid search) เพื่อหาค่าความไม่แน่นอนในระบบจัดอันดับของ Elo ที่ให้ความแม่นยำในการเลือกโจทย์คำถามที่เหมาะสมมากขึ้น

อย่างไรก็ตามเฟรมเวิร์กนี้ยังสามารถพัฒนาได้อีกหลายแนวทางในอนาคต ในปัจจุบัน แต่ละโจทย์คำถามจะเกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดเพียง 1 หัวข้อเท่านั้น การปรับปรุงให้โจทย์คำถามสามารถเกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดมากกว่า 1 หัวข้ออาจมีประโยชน์มากขึ้นได้

นอกจากนี้ในเฟรมเวิร์กนี้ยังมีปัญหาเริ่มต้นเย็น (cold start problem) เช่นเมื่อผู้เรียนเลือกที่จะทำโจทย์คำถามในตัวชี้วัดใหม่ ค่าความสามารถของผู้เรียนในตัวชี้วัดนั้นจะเริ่มต้นที่ 0.0 แม้ว่าตัวชี้วัดที่เลือกใหม่จะมีความคล้ายคลึงกับตัวชี้วัดเดิมที่ผู้เรียนเคยตอบโจทย์คำถามมาแล้วก็ตาม ซึ่งถ้าสามารถระบุความเชื่อมโยงระหว่างตัวชี้วัดแต่ละหัวข้อได้ จะทำให้เฟรมเวิร์กนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามในอนาคตผู้วิจัยมุ่งหวังจะพัฒนาเฟรมเวิร์กและปรับปรุงข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาข้างต้น รวมถึงนำเฟรมเวิร์กที่นำเสนอนี้ไปใช้พัฒนาระบบสำหรับการฝึกฝนแบบไม่สิ้นสุดที่ปรับเหมาะได้ และนำระบบไปใช้จริง นอกจากนี้ผู้วิจัยตั้งใจว่าจะสามารถสร้างชุมชนเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ ในเฟรมเวิร์ก เพื่อส่งเสริมการพัฒนาระบบสำหรับการฝึกฝนแบบปรับเหมาะได้ และส่งเสริมการวิเคราะห์การเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น โดยมุ่งหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะมีประโยชน์ในวงการเทคโนโลยีการศึกษาในอนาคต



## เฟรมเวิร์กที่พร้อมใช้งาน

สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมของเฟรมเวิร์กที่พร้อมใช้งาน และระบบลูกข่ายตัวอย่างได้ที่

<https://github.com/neufii/framework-for-CAP>



## บรรณานุกรม

- Antal, M. (2013). On the use of elo rating for adaptive assessment. *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Informatica*, 58(1), 29-41.
- Chen, P. (2017). A comparative study of online item calibration methods in multidimensional computerized adaptive testing. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 42(5), 559-590.  
<https://dx.doi.org/10.3102/1076998617695098>
- DigitalEd. *Online Assessment System for STEM Courses*. Retrieved November 08 from <https://www.digitaled.com/products/assessment>
- Ghysels, J., & Haelermans, C. (2018). New evidence on the effect of computerized individualized practice and instruction on language skills. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(4), 440-449. <https://dx.doi.org/10.1111/jcal.12248>
- Hambleton, R. K., Zaal, J. N., & Pieters, J. P. (1991). Computerized adaptive testing: Theory, applications, and standards. In *Advances in educational and psychological testing: Theory and applications* (pp. 341-366). Springer.  
[https://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-2195-5\\_12](https://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-2195-5_12)
- Hogenboom, S. A., Hermans, F. F., & Van der Maas, H. L. (2021). Computerized adaptive assessment of understanding of programming concepts in primary school children. *Computer Science Education*, 1-30.  
<https://dx.doi.org/10.1080/08993408.2021.1914461>
- Jiang, S. (2020). *On-The-Fly Parameter Estimation Based on Item Response Theory in Item-based Adaptive Learning Systems* University of Minnesota Digital Conservancy].



Kang, H.-A., Zheng, Y., & Chang, H.-H. (2020). Online calibration of a joint model of item responses and response times in computerized adaptive testing. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 45(2), 175-208.

<https://dx.doi.org/10.3102/1076998619879040>

Khosravi, H., Kitto, K., & Williams, J. J. (2019). RiPPLE: A Crowdsourced Adaptive Platform for Recommendation of Learning Activities. *Journal of Learning Analytics*, 6(3), 91-105. <https://dx.doi.org/10.18608/jla.2019.63.12>

Klinkenberg, S., Straatemeier, M., & van der Maas, H. L. (2011). Computer adaptive practice of maths ability using a new item response model for on the fly ability and difficulty estimation. *Computers & Education*, 57(2), 1813-1824.

<https://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2011.02.003>

KonvaJS. (2021). *Konva.js - JavaScript 2d canvas library*. KonvaJS. Retrieved November 08 from <https://konvajs.org/>

Learnosity. (2021). *Powering assessment excellence for learning products*. Retrieved November 08 from <https://learnosity.com/>

Li, H., Cui, W., Xu, Z., Zhu, Z., & Feng, M. (2018). Yixue Adaptive Learning System and Its Promise on Improving Student Learning. 10th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2018),

Ling, G., Attali, Y., Finn, B., & Stone, E. A. (2017). Is a computerized adaptive test more motivating than a fixed-item test? *Applied Psychological Measurement*, 41(7), 495-511. <https://dx.doi.org/10.1177/0146621617707556>

- Makransky, G., & Glas, C. A. (2014). An automatic online calibration design in adaptive testing. *Journal of Applied Testing Technology*, 11(1), 1-20.
- Mangaroska, K., Vesin, B., & Giannakos, M. (2019). Elo-rating method: Towards adaptive assessment in e-learning. 2019 IEEE 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT),
- Marinagi, C. C., Kaburlasos, V. G., & Tsoukalas, V. T. (2007). An architecture for an adaptive assessment tool. 2007 37th annual frontiers in education conference - global engineering: knowledge without borders, opportunities without passports,
- Maris, G., & Van der Maas, H. (2012). Speed-accuracy response models: Scoring rules based on response time and accuracy. *Psychometrika*, 77(4), 615-633.  
<https://dx.doi.org/10.1007/s11336-012-9288-y>
- Meeter, M. (2021). Primary school mathematics during Covid-19: No evidence of learning gaps in adaptive practicing results. *Trends in Neuroscience and Education*, 25, 100163. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2021.100163>
- Meijer, R. R., & Nering, M. L. (1999). Computerized adaptive testing: Overview and introduction. *Applied Psychological Measurement*, 23(3), 187-194.  
<https://dx.doi.org/10.1177/01466219922031310>
- Ministry of Education, T. (2008). *Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)*. Retrieved from  
<https://drive.google.com/file/d/1SjOZqObmU52DP1ODySpOmVEcUzW-7xP7/view>
- Mojarad, S., Essa, A., Mojarad, S., & Baker, R. S. (2018). Studying adaptive learning

efficacy using propensity score matching. Companion Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK'18),

Murray, M. C., & Pérez, J. (2015). Informing and performing: A study comparing adaptive learning to traditional learning. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 18, 111-125. <https://dx.doi.org/10.28945/2165>

Nižnan, J. (2015). Modeling Speed-Accuracy Tradeoff in Adaptive System for Practicing Estimation. 8th International Conference on Educational Data Mining, Madrid, Spain.

Nižnan, J., Pelánek, R., & Rihák, J. (2015). Student Models for Prior Knowledge Estimation. 8th International Conference on Educational Data Mining, Madrid, Spain.

Pankiewicz, M. (2020). A warm-up for adaptive online learning environments--the Elo rating approach for assessing the cold start problem. ICCE 2020-28th International Conference on Computers in Education, Proceedings,

Papousek, J., Pelánek, R., & Stanislav, V. (2014). Adaptive practice of facts in domains with varied prior knowledge. Educational Data Mining 2014,

Partchev, I. (2004). *A visual guide to item response theory*. <https://www.metheval.uni-jena.de/irt/VisualIRT.pdf>

Pelánek, R. (2016). Applications of the Elo rating system in adaptive educational systems. *Computers & Education*, 98, 169-179.

Thompson, N. A., & Weiss, D. A. (2011). A framework for the development of

computerized adaptive tests. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 16, 1. <https://dx.doi.org/10.7275/wqzt-9427>

Wainer, H., Dorans, N. J., Flaugher, R., Green, B. F., & Mislevy, R. J. (2000). *Computerized adaptive testing: A primer*. Routledge.  
<https://dx.doi.org/10.4324/9781410605931>

Wang, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. (2020). When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive Learning Environments*, 1-11.  
<https://dx.doi.org/10.1080/10494820.2020.1808794>

Wauters, K., Desmet, P., & Van Noortgate, W. (2010). Monitoring learners' proficiency: weight adaptation in the elo rating system. *Educational Data Mining 2011*,



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Panida Wiriyachaiporn
วัน เดือน ปี เกิด	21 May 1996
สถานที่เกิด	Bangkok, Thailand
วุฒิการศึกษา	Department of Computer Enigneering Faculty of Engineering Chulalongkorn University
ที่อยู่ปัจจุบัน	9/1068 B Tower Ideo Mix 103 Sukhumvit 103 Rd. Bangna Bangkok 10260 THAILAND
ผลงานตีพิมพ์	Wiriyachaiporn, Panida & Chanasit, Kankawee & Suchato, Atiwong & Punyabukkana, Proadpran & Chuangsuwanich, Ekapol. (2018). Algorithmic Music Composition Comparison. 1-6. 10.1109/JCSSE.2018.8457397.