การสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

พระปฤษฎี ท่าดีสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MUTANT GENERATION FOR CONDITION EXPRESSION ON BPMN MODEL

Phra Pridsadi Tadeesom

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Software Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
โดย	พระปฤษฎี ท่าดีสม
สาขาวิชา	วิศวกรรมซอฟต์แวร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปฤษฎี ท่าดีสม : การสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น (MUTANT GENERATION FOR CONDITION EXPRESSION ON BPMN MODEL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์, 81 หน้า.

แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเป็นแบบจำลองเชิงธุรกิจที่ถูกพัฒนาให้สามารถประมวลกระบวนการกิจกรรมเชิงธุรกิจบนเครื่องประมวลผลแบบจำลอง ซึ่งความสามารถดังกล่าวเป็นสาเหตุให้ต้องมีการทดสอบการทำงานของกระบวนการกิจกรรมบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นให้เป็นไปอย่างถูกต้องตามเงื่อนไขทางธุรกิจ นักทดสอบจึงได้นำเสนอวิธีการสร้างกรณีทดสอบด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน แต่กรณีทดสอบเหล่านั้นยังไม่มีการประเมินคุณภาพ จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้การทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นที่การกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น จากนั้นพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ขึ้นมาเพื่อสามารถทำการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้

งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ทั้งหมด 25 ตัวดำเนินการ และพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นขึ้นด้วยตัวดำเนินการสำหรับนิพจน์เงื่อนไข 3 ตัวดำเนินการคือตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ และตัวดำเนินการเชิงตรรกะ จากนั้นนำมิวแตนท์ที่ได้จากเครื่องมือสร้างมิวแตนท์มาทำการทดสอบมิวเทชัน หลังจาก ทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้าทำให้ทราบว่าผลการทดสอบของแต่ละเทคนิคการสร้างกรณีทดสอบนั้นมีค่าคะแนนมิวเทชันที่แตกต่างกัน ชุดกรณีทดสอบที่มีค่าคะแนนมิวเทชันมากที่สุด เป็นชุดกรณีทดสอบที่มีคุณภาพที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5870918821 : MAJOR SOFTWARE ENGINEERING
KEYWORDS: BPMN / MUTATION TESTING / MUTANT GENERATOR

PRIDSADI TADEESOM: MUTANT GENERATION FOR CONDITION EXPRESSION ON BPMN MODEL. ADVISOR: ASSOC. PROF. TARATIP SUWANNASART, Ph.D., 81 pp.

Business Process Model and Notation (BPMN) is used for representing a business process. A BPMN model is developed for processing on a model engine as the process controller. The model needs to be verified for checking the process correctness. Therefore, there are some proposed researches on the test case generation techniques for BPMN models. However, those generated test cases have not been measured their quality. Accordingly, this research aims to perform the mutation testing on BPMN models. The research covers defining mutation operators for a BPMN model. After that, a mutant generation tool is developed for generating mutants for the mutation testing on BPMN model.

This research defines 25 mutation operators for a BPMN model and develops a mutant generation tool for the condition expression on a BPMN model by using 3 mutation operators which are Expression Arithmetic Replacement (EAR), Expression Relational Replacement (ERR), and Expression Logical Replacement (ELR). After the mutant generation tool generated the mutant, the mutation testing is performed against test cases from the previous researches. The result of mutation testing shows that the mutation scores of each technique are different. There is a test suite which can kill most mutants. The test suite which has the highest mutation score has the highest quality.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Computer Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Software Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการดูแลเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือและความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้เสียสละเวลาและให้คำปรึกษา พร้อมชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัยรวมไปถึงได้รับการตรวจทานเพื่อปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาอันทำให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี อาตมาขอขอบคุณโยมอาจารย์ที่ได้ตั้งใจและทุ่มเทจนทำให้อาตมาดำเนินงานวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร. พรศิริ หมื่นไชยศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรชัย ลลิตโรจน์วงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัย เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเหล่าคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ทางด้านวิชาการและด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งบุคลากรทุกท่านในภาควิชาฯ ที่ช่วยประสานงาน ให้ข้อมูล คำแนะนำ และความช่วยเหลือระหว่างที่อาตมากำลังศึกษาตลอดจนสอบวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณนิสิตร่วมรุ่น รุ่นพี่ รุ่นน้อง ในภาควิชาฯ ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือแรงผลักดันและช่วยสนับสนุนแก่อาตมาตลอดการศึกษาที่ผ่าน

กราบขอบพระคุณ พระวิมลญาณมุนี รองเจ้าคณะจังหวัดพะเยา เจ้าอาวาสวัดลี ที่เป็นผู้อนุญาตและสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้ของอาตมา ตลอดจนอาตมาสามารถดำเนินการวิทยานิพนธ์นี้จนแล้วเสร็จ กราบขอบพระคุณ พระเทพรัตนากร เจ้าอาวาสวัดเทพลีลา พระครูอนุกูลพัฒนกิจ เจ้าอาวาสวัดภาษี ที่ให้ที่พักอาศัย ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ โยมมารดาและโยมลุง ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนตลอดการศึกษาเล่าเรียน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้งานฉบับนี้สำเร็จ

อนึ่ง อาตมาหวังว่า วิทยานิพจน์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น อาตมาขอรับข้อผิดพลาด และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและงานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.6 บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 5

2.1.2 ภาษาเอกซ์เอ็มแอล (XML) 7

2.1.3 การทดสอบมิวเทชัน (Mutation Testing) 8

2.1.4 การทดสอบแบบวีคมิวเทชัน (Weak Mutation Testing) 9

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.2.1 งานวิจัย “Design of a Tool for Generating Test Cases from BPMN”[3] .10

2.2.2 งานวิจัย “การสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองกระบวนการธุรกิจอิงเหตุการณ์ขับเคลื่อน”[4] 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2.3 งานวิจัย “การสร้างกรณีทดสอบจากแผนภาพบีพีเอ็มเอ็นกับแผนภาพบีเพล”[5] 12
2.2.4 งานวิจัย “Mutation operators for WS-BPEL 2.0”[10] 13
บทที่ 3 การกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 15
3.1 กำหนดตัวดำเนินการบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 15
3.2 จัดกลุ่มตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสู่กลุ่มตัวดำเนินการมิวเทชัน 17
3.3 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 19
บทที่ 4 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 24
4.1 ขั้นตอนสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 24
4.1.1 การนำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 25
4.1.2 การระบุตำแหน่งตัวดำเนินการแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 28
4.1.3 การสร้างมิวแตนท์ในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 29
4.2 การออกแบบเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 29
4.2.1 แผนภาพยูสเคส 30
4.2.2 แผนภาพกิจกรรม 33
4.2.3 แผนภาพคลาส 35
4.2.4 แผนภาพลำดับ 41
4.2.5 แผนภาพการติดตั้ง (Deployment Diagram) 42
4.3 การพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 45
4.3.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ 46
4.3.2 โครงสร้างฐานข้อมูล 46
4.3.3 โครงสร้างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 50
บทที่ 5 การทดสอบเครื่องมือ 56
5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ 56

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware).....56
5.1.2 ซอฟต์แวร์ (Software).....56
5.2 การทดสอบเครื่องมือ.....56
5.2.1 กรณีที่ 1 ระบบกู้เงิน.....57
5.2.2 กรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม.....61
5.2.3 กรณีที่ 3 ระบบธุรกิจจำลอง Sample.....61
5.3 ผลการทดสอบเครื่องมือ.....65
บทที่ 6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....67
6.1 สรุปผลการวิจัย.....67
6.2 ข้อจำกัดของเครื่องมือ.....68
6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....68
รายการอ้างอิง.....69
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชัน.....72
ภาคผนวก ข รายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่า.....79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 รายการตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้.....15

ตารางที่ 3-2 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุค่าตัวแปร 19

ตารางที่ 3-3 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุนิพจน์เงื่อนไข 20

ตารางที่ 3-4 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงกิจกรรม 21

ตารางที่ 3-5 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับข้อยกเว้นและเหตุการณ์.....23

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดยูสเคสนำเข้าไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น.....31

ตารางที่ 4-2 รายละเอียดยูสเคสอัพโหลดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 31

ตารางที่ 4-3 รายละเอียดยูสเคสตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข.....32

ตารางที่ 4-4 รายละเอียดยูสเคสสร้างมิวแตนท์ 32

ตารางที่ 4-5 รายละเอียดยูสเคสดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ 33

ตารางที่ 5-1 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบกู้เงิน.....58

ตารางที่ 5-2 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม 62

ตารางที่ 5-3 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบธุรกิจจำลอง Sample.....65

ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบมิวเทชันของทั้งสามกรณี.....66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 ตัวอย่างแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเชิงบรรยาย....6
รูปที่ 2-2 ตัวอย่างภาษาเอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น....7
รูปที่ 2-3 สมการหาคะแนนมิวเทชัน....9
รูปที่ 2-4 ตัวอย่างกรณีทดสอบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น....11
รูปที่ 2-5 การสร้างกระแสควบคุมขั้นต้นของการสร้างกรณีทดสอบ....12
รูปที่ 2-6 ตัวดำเนินการมิวเทชันของดับเบิลยูเอสบีเพล....14
รูปที่ 3-1 ตัวอย่างตัวดำเนินการ <extensionElement> สำหรับระบุค่าและชนิดของตัวแปร..16
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างตัวดำเนินการ <extensionElement> สำหรับระบุค่าตัวแปรแบบเลือกค่า..16
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขทางตรรกศาสตร์ในตัวดำเนินการ <conditionExpression>....16
รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการตั้งเวลาด้วย <timerEventDefinition>....17
รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการกำหนดพฤติกรรมการทำงานของเหตุการณ์ภายใต้ <subProcess>....17
รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์....24
รูปที่ 4-2 ตัวอย่างองค์ประกอบเอกซ์เอ็มแอลในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น Calculate Expense .26
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างรูปแบบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น Calculate Expense....26
รูปที่ 4-4 ตัวอย่าง <definition> ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น....27
รูปที่ 4-5 ตัวอย่าง <process> ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น....27
รูปที่ 4-6 ตัวอย่าง <sequenceFlow> ที่เป็นองค์ประกอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น....27
รูปที่ 4-7 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNDiagram> สำหรับการอธิบายตำแหน่งพิกัดขององค์ประกอบ....27
รูปที่ 4-8 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNShape> ใช้อธิบายข้อมูลพิกัดขององค์ประกอบแบบรูปร่าง....27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-9 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNEdge> ใช้อธิบายข้อมูลพิกัดขององค์ประกอบแบบเส้น ...27
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างการตั้งค่าเงื่อนไขของ Sequence Flow บนเครื่องมือประมวลผล 28
รูปที่ 4-11 ตัวอย่าง Sequence Flow ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 29
รูปที่ 4-12 ตัวอย่างมิวแตนท์ จากตัวดำเนินการ ELR 29
รูปที่ 4-13 แผนภาพยูสเคสของเครื่องมือ 30
รูปที่ 4-14 แผนภาพกิจกรรมเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 34
รูปที่ 4-15 แผนภาพคลาสเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 35
รูปที่ 4-16 โครงสร้างคลาสขอบเขต ImportUI 36
รูปที่ 4-17 โครงสร้างคลาสควบคุม ImportController 36
รูปที่ 4-18 โครงสร้างคลาสขอบเขต CheckUI 37
รูปที่ 4-19 โครงสร้างคลาสควบคุม CheckController 37
รูปที่ 4-20 โครงสร้างคลาสควบคุม GenerateController 38
รูปที่ 4-21 โครงสร้างคลาสขอบเขต ExportUI 38
รูปที่ 4-22 โครงสร้างคลาสควบคุม ExportController 39
รูปที่ 4-23 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี File 39
รูปที่ 4-24 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Content 40
รูปที่ 4-25 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Operator 40
รูปที่ 4-26 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Mutant 40
รูปที่ 4-27 แผนภาพลำดับตรวจสอบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ 43
รูปที่ 4-28 แผนภาพลำดับสร้างมิวแตนท์ของเครื่องมือ 44
รูปที่ 4-29 แผนภาพการติดตั้งเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 45
รูปที่ 4-30 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเอ็นทิตีเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 47
รูปที่ 4-31 ตาราง file_original ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-32 ตาราง content_original ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 48
รูปที่ 4-33 ตาราง mutant ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 49
รูปที่ 4-34 ตาราง mutant_operator_type ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 49
รูปที่ 4-35 ตาราง math_operator ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ 50
รูปที่ 4-36 แผนภาพวินโดว์เนวิเกชันของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์.....51
รูปที่ 4-37 ส่วนต่อประสานหน้าแรก 52
รูปที่ 4-38 ส่วนต่อประสานหน้าต่างนำเข้าไฟล์เอกซ์เอ็มแอล 52
รูปที่ 4-39 ส่วนต่อประสานหน้าเรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการ.....53
รูปที่ 4-40 ส่วนต่อประสานหน้าต่างไม่พบตัวดำเนินการ 53
รูปที่ 4-41 ส่วนต่อประสานหน้าต่างแสดงรายการตัวดำเนินการ 54
รูปที่ 4-42 ส่วนต่อประสานหน้าต่างแสดงรายการมิวแตนท์ 55
รูปที่ 5-1 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงิน.....58
รูปที่ 5-2 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงิน 60
รูปที่ 5-3 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม 63
รูปที่ 5-4 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม.....64
รูปที่ 5-5 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบธุรกิจจำลอง Sample.....64
รูปที่ 5-6 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบธุรกิจจำลอง Sample 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในการออกแบบโครงสร้างกระบวนการเชิงธุรกิจของแต่ละหน่วยงานนั้นมักจะใช้แบบจำลองที่มีสัญลักษณ์ของกระบวนการเชิงธุรกิจเพื่อให้ผู้ใช้ในองค์กรได้เห็นภาพรวมของกระบวนการทางธุรกิจได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ซึ่งทำให้แบบจำลองและสัญลักษณ์ของกระบวนการธุรกิจ หรือ แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น (Business Process Model and Notation หรือ BPMN) ถูกนำมาใช้ในการจำลองกระบวนการทำงานเชิงธุรกิจจริง ต่อมาแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ปรับปรุงข้อกำหนดให้ยืดหยุ่นมากขึ้น เป็นเวอร์ชัน 2 ทำให้นักพัฒนากระบวนการได้เล็งเห็นถึงความสะดวกในการสื่อสารระหว่างนักพัฒนาระบบและผู้ใช้งานทางธุรกิจ และได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้แผนภาพบีพีเอ็มเอ็นสามารถดำเนินงานทางธุรกิจอย่างอัตโนมัติผ่านเครื่องประมวลผลแบบจำลอง (Model Engine) [1, 2] เมื่อผู้ใช้สามารถดำเนินงานกระบวนการทางธุรกิจผ่านการสร้างแบบจำลองกระบวนการได้ จึงเป็นจุดเริ่มต้นของนักทดสอบระบบที่สนใจในการพัฒนากรณีทดสอบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น เพื่อให้การสร้างแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถดำเนินงานได้ผ่านเครื่องมือประมวลผลมีความน่าเชื่อถือต่อผู้ใช้มากขึ้น

กระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญที่สร้างความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ที่นักพัฒนาสร้างขึ้น การสร้างกรณีทดสอบก็เป็นอีกงานหนึ่งที่นักทดสอบระบบควรสร้างกรณีทดสอบที่มีคุณภาพ ในขณะที่มีงานวิจัยแนะนำวิธีการสร้างกรณีทดสอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น [3-5] แต่ยังไม่สามารถประเมินคุณภาพของกรณีทดสอบที่สร้างมาเพื่อทดสอบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ จึงเห็นว่าควรนำเทคนิคของการประเมินคุณภาพของกรณีทดสอบเข้ามาตรวจสอบคุณภาพของกรณีทดสอบที่ได้ เมื่อพิจารณาแล้วการทดสอบมิวเทชัน (Mutation Testing) [6] เป็นเทคนิคหนึ่งที่นักพัฒนาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของกรณีทดสอบด้วยการคำนวณคะแนนมิวเทชัน (Mutation Score) จากกรณีทดสอบที่มีอยู่และยังสามารถช่วยให้นักทดสอบระบบสร้างกรณีทดสอบเพิ่มเติมจากโปรแกรมที่ถูกเปลี่ยนไป [7] งานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการทดสอบมิวเทชันมาประยุกต์กับการทดสอบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อหาคะแนนมิวเทชันของการสร้างกรณีทดสอบจากงานวิจัยก่อนหน้า [3-5]

การทดสอบประเมินประสิทธิภาพกรณีทดสอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นด้วยวิธีการทดสอบมิวเทชันเป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ โดยเริ่มต้นด้วยการนำเสนอตัวดำเนินการมิวเทชันของ

แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น แล้วพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ (Mutant Generator) จากตัวดำเนินการที่นำเสนอและท้ายที่สุดนำแบบจำลองที่ถูกเปลี่ยนแปลงหรือมิวแตนท์มาทดสอบแบบวีคมิวเทชัน (Weak Mutation) เพื่อคำนวณค่าคะแนนมิวเทชันแก่การประเมินคุณภาพของกรณีทดสอบที่มีอยู่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสำหรับทำการทดสอบมิวเทชัน และเพื่อพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. นำเสนอตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
2. เครื่องมือจะอนุญาตให้นำเข้าแผนภาพบีพีเอ็มเอ็นด้วยรูปแบบไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น (bpmn20.xml) เท่านั้น
3. การทดสอบมิวเทชันจะเป็นแบบวีคมิวเทชันรองรับการเปรียบเทียบระดับ ST-WEAK/1 เท่านั้น
4. เครื่องมือจะสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขที่มาจากตัวดำเนินการมิวเทชันทางคณิตศาสตร์ (EAR), ตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงสัมพันธ์ (ERR) และตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงตรรกะ (ELR) เท่านั้น
5. แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่จะนำมาสร้างมิวแตนท์จะมีเงื่อนไขดังนี้
   5.1. ประโยคที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ต้องมีนิพจน์เชิงตรรกศาสตร์ (ELR) คั่นกลางอย่างมาก 1 ตำแหน่ง มีนิพจน์เชิงสัมพันธ์ (ERR) อย่างมาก 2 ตำแหน่ง และนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ (EAR) อย่างมาก 2 ตำแหน่ง
   5.2. ประโยคที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ต้องมีนิพจน์ทางคณิตศาสตร์อย่างมาก 1 ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ต่อ 1 ตำแหน่งนิพจน์
6. การทดสอบมิวเทชันกับมิวแตนท์ของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นจะเลือกทดสอบ 1 นิพจน์ทางคณิตศาสตร์เท่านั้น
7. กรณีทดสอบสำหรับการทดสอบมิวเทชันกับมิวแตนท์ของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นจะเป็นกรณีทดสอบเดิมที่มีอยู่จากงานวิจัยก่อนหน้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    1.1. ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์มิวเทชันและการทดสอบมิวเทชัน
    1.2. ศึกษางานวิจัยและข้อกำหนดของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
2. กำหนดขอบเขตและขั้นตอนดำเนินงานของงานวิจัย
3. กำหนดรายการตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
    3.1. รวบรวมประเภทของตัวดำเนินการมิวเทชัน
    3.2. กำหนดรายการตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
    3.3. จัดกลุ่มของตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเข้าสู่ประเภทของตัวดำเนินการมิวเทชัน
    3.4. กำหนดรายการตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
4. กำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
5. ออกแบบเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
6. พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
7. ทดสอบการทำงานของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
    7.1. ปรับปรุงเครื่องมือสร้างมิวแตนท์หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น
8. ทดสอบมิวเทชันด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เครื่องมือสร้างได้
    8.1. นำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสู่เครื่องมือสร้างมิวแตนท์
    8.2. เครื่องมือสร้างมิวแตนท์จากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่นำเข้า
    8.3. เครื่องมือส่งออกชุดไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ถูกเปลี่ยนแปลง
    8.4. นำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสู่เครื่องประมวลผลแบบจำลองเพื่อทำการทดสอบมิวเทชัน
    8.5. ทดสอบมิวเทชันด้วยกรณีทดสอบจากงานวิจัยอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.6. บันทึกผลการทดสอบมิวแตนท์

8.7. คำนวณค่าคะแนนมิวเทชันของกรณีทดสอบ

8.8. เปรียบเทียบค่าคะแนนมิวเทชันของแต่ละการสร้างกรณีทดสอบ

9. สรุปผลของงานวิจัย

10. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่นำเสนอสามารถนำไปสร้างมิวแตนท์สำหรับการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้
2. เครื่องมือสนับสนุนที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถสร้างมิวแตนท์ที่เป็นนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อนักทดสอบสามารถนำไปทำการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

1.6 บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

งานวิจัยนี้ได้รับคัดเลือกและตีพิมพ์เป็นบทความวิชาการเรื่อง “Mutation Operators in BPMN Model” โดย พระปฤษฎี ท่าดีสม และ ธาราทิพย์ สุวรรณศาสตร์ ในการประชุมวิชาการ “The 9th International Conference on Software Technology and Engineering (ICSTE 2017)” ระหว่างวันที่ 27 – 30 ตุลาคม 2560 ณ The Graduated House มหาวิทยาลัยฮ่องกง เขตบริหารพิเศษฮ่องกงแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

บีพีเอ็มเอ็น หรือ BPMN [1] เป็นแบบจำลองที่แสดงสัญลักษณ์ของกระบวนการทางธุรกิจที่ถูกพัฒนามาจากหน่วยงาน Object Management Group (OMG) ที่พัฒนามาตรฐานสำหรับการให้ความหมายของสัญลักษณ์ให้ผู้ใช้เข้าใจเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวทำให้แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นลดช่องว่างระหว่างการออกแบบกระบวนการทางธุรกิจและการพัฒนากระบวนการบนระบบซอฟต์แวร์ ต่อมา OMG ได้พัฒนาแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น เวอร์ชัน 2 ขึ้นทำให้แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นรองรับการใช้งานที่ยืดหยุ่นขึ้น ทำให้สามารถประมวลผลกระบวนการทางธุรกิจอย่างอัตโนมัติผ่านเครื่องประมวลผลแบบจำลองได้ [2] โดยข้อกำหนดเวอร์ชันนี้เพิ่มความสามารถของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- มีการกำหนดมาตรฐานของเมตาโมเดล (meta-model) และรูปแบบสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถแลกเปลี่ยนแบบจำลองกระบวนการทางธุรกิจระหว่างเครื่องมือ
- กำหนดมาตรฐานของการประมวลผลซีแมนติก (Semantic) ของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่อนุญาตให้ พัฒนาเครื่องมือประมวลผลกระบวนการแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ทำงานร่วมกันได้
- กำหนดรูปแบบการทำงานร่วมกันของแบบจำลองที่ใช้อธิบายองค์ประกอบของกระบวนการทางธุรกิจ
- กำหนดสัญลักษณ์เพิ่มเติมที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างองค์กรที่เปิดใช้งานผ่านเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับแต่ละหน่วยงานธุรกิจ
- กำหนดการจับคู่อย่างละเอียดจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นไปยังแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพลที่ใช้แสดงตัวอย่างการทำงานของเครื่องมือ
- กำหนดองค์ประกอบแบบจำลองเพิ่มเติมสำหรับกระบวนการที่ไม่มีเหตุการณ์แทรกและกระบวนการที่มีเหตุการณ์ย่อย

นอกจากนี้งานวิจัย [8] ได้ระบุระดับของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ดังต่อไปนี้

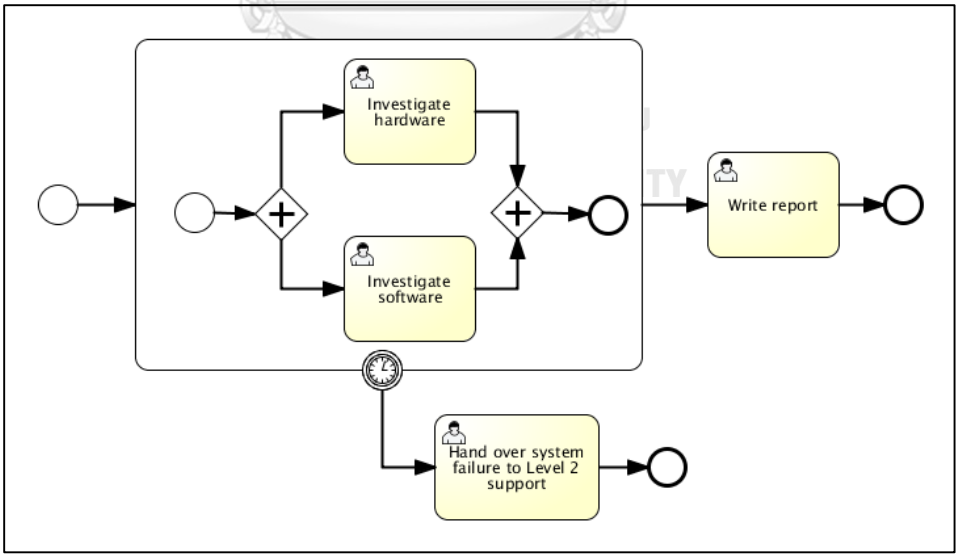
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระดับ 1: แบบจำลองเชิงบรรยาย (Descriptive modeling) – แบบจำลองจะใช้อธิบายรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการ ในขั้นนี้จะเป็นการใช้วิจารณญาณและการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธุรกิจ ซึ่งส่วนมากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นถูกนำมาใช้ในระดับนี้ ดังรูปที่ 2-1

ระดับ 2: แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (Analytical modeling) – แบบจำลองถูกขยายขอบเขตความสามารถให้รองรับข้อยกเว้นและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Exceptions and Events) ซึ่งสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ ซึ่งมีฟีเจอร์เพิ่มเติมของแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ การสนับสนุนการประกันคุณภาพและการใช้แบบจำลองในบริบทที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างโครงการพัฒนา

ระดับ 3: แบบจำลองที่สามารถดำเนินการได้ (Executable modeling) – แบบจำลองเชิงกราฟฟิกที่ถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบไฟล์เอกซ์เอ็มแอลที่ใช้ประมวลผลบนเครื่องประมวลผลแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองสามารถประมวลผลแบบจำลองที่นำเข้ามาอย่างอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้จะใช้ความสามารถระดับ 3 ของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นในการกำหนดตัวดำเนินการและการทดสอบมิวเทชัน จากรูปที่ *2-2* แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลที่ใช้อธิบายการทำงานของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยมี <definitions> เพื่อกำหนดโครงสร้างของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งจะทำการคัดแยกองค์ประกอบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นตามแนวคิดของงานวิจัยนี้



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเชิงบรรยาย

```xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions id="definitions"
    xmlns="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/MODEL"
    xmlns:activiti="http://activiti.org/bpmn"
    targetNamespace="Examples">

    <process id="escalationExample" name="Helpdesk process">

        <startEvent id="theStart" />
        <sequenceFlow id="flow1" sourceRef="theStart" targetRef="firstLineSupport" />

        <userTask id="firstLineSupport" name="First line support" activiti:assignee="kermit">
          <documentation>Fix issue raised by customer</documentation>
        </userTask>
        <sequenceFlow id="flow2" sourceRef="firstLineSupport" targetRef="normalEnd" />

        <endEvent id="normalEnd" />

        <boundaryEvent id="escalationTimer" cancelActivity="true" attachedToRef="firstLineSupport">
            <timerEventDefinition>
                <timeDuration>PT5M</timeDuration>
            </timerEventDefinition>
        </boundaryEvent>
        <sequenceFlow id="flow3" sourceRef="escalationTimer" targetRef="handleEscalation" />

        <userTask id="handleEscalation" name="Handle escalated issue" activiti:candidateGroups="management">
          <documentation>Escalation: issue was not fixed in time by first level support</documentation>
        </userTask>
        <sequenceFlow id="flow4" sourceRef="handleEscalation" targetRef="escalatedEnd" />

        <endEvent id="escalatedEnd" />

    </process>

</definitions>
```

รูปที่ 2-2 ตัวอย่างภาษาเอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

2.1.2 ภาษาเอกซ์เอ็มแอล (XML)

ภาษาเอกซ์เอ็มแอล หรือ Extensible Markup Language [9] เป็นภาษาที่ใช้อธิบายคลาสของข้อมูลวัตถุและบางครั้งใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนมากจะถูกนำมาใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านอินเตอร์เน็ต ซึ่งภาษาเอกซ์เอ็มแอลถูกพัฒนาโดยเวิล์ดไวด์เว็บคอนซอร์เทียม (World Wild Web Consortium – W3C) ด้วยกลุ่มทำงานเอกซ์เอ็มแอล (XML Working Group) ในปี ค.ศ. 1996 โดยหน่วยงานดังกล่าวได้เริ่มต้นจากการดัดแปลงให้ภาษาเอสจีเอ็มแอล (Standard Generalized Markup Language – SGML) ลดความซับซ้อนลงจากเดิมให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนผ่านอินเตอร์เน็ตได้ง่ายขึ้น

ภาษาเอกซ์เอ็มแอลประกอบไปด้วยโครงสร้างเชิงประมวลผลและเชิงกายภาพ ส่วนโครงสร้างเชิงกายภาพประกอบด้วยเอนติตี (entities) ที่ไว้เพื่ออ้างอิงถึงสิ่งจะถูกรวมเข้ามาในไฟล์เอกซ์เอ็มแอล โครงสร้างเชิงประมวลผลประกอบไปด้วยการประกาศค่าของตัวแปร ส่วนประกอบ ข้อคิดเห็น การอ้างอิงตัวประกอบและคำแนะนำในการดำเนินการ ทั้งโครงสร้างเชิงภายภาพและเชิงประมวลผลจะถูกจัดเรียงในรูปแบบที่เหมาะสมที่ได้กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3 การทดสอบมิวเทชัน (Mutation Testing)

ในกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์เป็นกระบวนการตรวจสอบซอฟต์แวร์เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ที่ต้องการทดสอบ รวมไปถึงการประเมินคุณภาพของกรณีทดสอบที่สร้างขึ้นนั้นต้องมีคุณภาพเพียงพอต่อการทดสอบ เมื่อเกิดคำถามในความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ กระบวนการทดสอบมิวเทชันจึงเกิดขึ้น [7] ด้วยการวิเคราะห์มิวเทชัน (Mutation Analysis) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกรณีทดสอบที่มีอยู่ ซึ่งพื้นฐานของการวิเคราะห์อยู่ที่การตั้งสมมติฐานว่าโปรแกรมที่พัฒนานั้นมาจากนักพัฒนาโปรแกรมที่มีความสามารถเพียงพอ ดังนั้นถ้าโปรแกรมที่ทดสอบทำงานไม่ถูกต้อง ตัวโปรแกรมจะมีข้อผิดพลาดที่แตกต่างจากโปรแกรมที่ทำงานถูกต้อง การวิเคราะห์มิวเทชันใช้เพื่อตรวจจับว่ากรณีทดสอบที่มีอยู่เพียงพอที่จะหาข้อผิดพลาดได้หรือไม่

การทดสอบมิวเทชันเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงบางตำแหน่งของโปรแกรมด้วยการสร้างข้อผิดพลาดลงไปในโปรแกรมที่ต้องการทดสอบ แล้วจะเรียกโปรแกรมที่ถูกสร้างข้อผิดพลาดว่า มิวแตนท์ จากนั้นนักทดสอบนำชุดกรณีทดสอบเดิมที่มีอยู่มาทดสอบกับมิวแตนท์เพื่อพิจารณาคุณภาพ หากมิวแตนท์แสดงผลลัพธ์ที่แตกต่างจากโปรแกรมเดิม นั่นคือมิวแตนท์ที่สร้างขึ้นมานั้น “ถูกฆ่า (kill) หรือ ตาย (dead)” หมายถึง กรณีทดสอบที่มีอยู่สามารถหาข้อผิดพลาดของมิวแตนท์ได้ แต่หากกรณีทดสอบแสดงผลลัพธ์กับมิวแตนท์เช่นเดียวกับโปรแกรมดั้งเดิม สามารถอนุมานได้ 2 กรณีคือ 1) กรณีทดสอบที่มีอยู่ไม่เพียงพอ และ 2) มิวแตนท์เป็นมิวแตนท์ที่ฆ่าไม่ตาย หรือมิวแตนท์สมมูล (equivalent mutant) ซึ่งหากเป็นกรณีที่ 2 จะสรุปได้ว่า ไม่มีกรณีทดสอบใดสามารถฆ่ามิวแตนท์ตัวนั้นได้

การสร้างมิวแตนท์จะเริ่มจากการกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชัน (Mutation Operator) เพื่อใช้ในการดำเนินการค้นหาตำแหน่งประโยคที่สามารถดำเนินการสร้างมิวแตนท์ได้ มีงานวิจัยอื่น ๆ ที่กำหนดคำนิยามของตัวดำเนินการสำหรับแต่ละภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นภาษาซี (C language) ภาษาฟอร์แทรน (Fortran Language) ภาษาเอดา (Ada Language) ภาษาจาวา (Java Language) และภาษาเอสคิวแอล (SQL) เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัย [10] ได้ระบุตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล ซึ่งสามารถใช้อ้างอิงในการระบุหาตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

เมื่อมิวแตนท์ถูกสร้างแล้ว นักทดสอบจะนำมิวแตนท์ไปทดสอบกับชุดกรณีทดสอบและบันทึกผลของการทดสอบ จากนั้นนำผลการทดสอบมาคำนวณเพื่อหาค่าคะแนนมิวเทชันเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของชุดกรณีทดสอบ โดยคะแนนมิวเทชันคำนวณได้จากสมการในรูปที่ 2-3 โดยที่ M คือ คะแนนมิวเทชัน D แทนค่าด้วยจำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า T แทนค่าด้วยจำนวนมิวแตนท์ที่ถูก

สร้างมาทั้งหมด และ E แทนค่าด้วยจำนวนมิวแตนท์สมมูล คะแนนมิวเทชันของกรณีทดสอบเป็นอัตราส่วนของจำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่าตายต่อจำนวนมิวแตนท์ทั้งหมดที่สร้างขึ้น เมื่อได้คะแนนมิวเทชันของกรณีทดสอบของแต่ละวิธีการสร้างกรณีทดสอบแล้ว จะทำให้ทราบว่ากรณีทดสอบนั้น ๆ มีประสิทธิภาพหรือไม่

$$M = \frac{D}{T - E}$$

รูปที่ 2-3 สมการหาคะแนนมิวเทชัน

2.1.4 การทดสอบแบบวีคมิวเทชัน (Weak Mutation Testing)

การสร้างมิวแตนท์ของโปรแกรมที่ทดสอบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของกรณีทดสอบที่มีอยู่นั้นทำให้นักทดสอบระบบทราบถึงกรณีทดสอบที่ควรจะเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมเงื่อนไขในโปรแกรมที่ทดสอบและยังเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือ แต่ในการสร้างมิวแตนท์ของโปรแกรมดั้งเดิมนั้นยังเป็นงานหนักเกินไปหากขนาดของโปรแกรมที่ทดสอบมีเงื่อนไขหรือตัวดำเนินการจำนวนมาก จึงทำให้มีการเสนอให้มีการตัดส่วนการเปรียบเทียบการทดสอบมิวเทชันลงให้เป็นส่วนย่อย ซึ่งเรียกว่า การทดสอบแบบวีคมิวเทชัน [6]

Howden W. E., 1982 [11] ได้นิยามการทดสอบแบบวีคมิวเทชันไว้ว่าการทดสอบแบบวีคมิวเทชันนั้นต้องการเพียงสร้างมิวแตนท์บนตำแหน่งหนึ่งในคลาสของโปรแกรมที่ทดสอบ โดยกรณีทดสอบที่มีนั้นจะยังคงสามารถทดสอบส่วนของโปรแกรม (Component) นั้นได้ ส่วนของโปรแกรมเดิม (C) จะถูกเปลี่ยนตัวดำเนินการเป็นมิวแตนท์เป็นส่วนของโปรแกรมที่ถูกเปลี่ยนแปลง (C') ทั้งนี้ Howden ได้กำหนดประเภทของส่วนของโปรแกรมที่สามารถดำเนินการมิวเทชันได้ มีจำนวน 5 ประเภท ดังนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. การอ้างอิงตัวแปร (Variable Reference)
2. การให้ค่าตัวแปร (Variable Assignment)
3. นิพจน์ทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Expression)
4. นิพจน์เชิงสัมพันธ์ (Relational Expression)
5. นิพจน์แบบบูลีน (Boolean Expression)

แต่ Howden ยังไม่ได้ระบุคำนิยามของส่วนของโปรแกรมที่เหมาะสมต่อการทำมิวเทชันและยังยากต่อการนำผลของการเปลี่ยนแปลงมาเปรียบเทียบ

A.J. Offutt, 1994 [12] ได้นำการทดสอบแบบวีคมิวเทชันมานิยามส่วนของโปรแกรมและระบุประเภทของการมิวเทชันบนส่วนของโปรแกรมให้ชัดเจนขึ้น Offutt ให้นิยามของส่วนของ

โปรแกรมว่า “เป็นตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์แล้วสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกับส่วนของโปรแกรมเดิมได้” และได้ระบุให้มี 4 ระดับของการเปรียบเทียบดังนี้

1. **EX-WEAK/1 (Expression-WEAK/1)** คือ การเปลี่ยนตัวดำเนินการในนิพจน์ (Expression) และเปรียบเทียบค่าของนิพจน์นั้นเมื่อมีการดำเนินการนิพจน์แล้ว 1 ครั้ง ซึ่งถือว่าเป็นการเปรียบเทียบส่วนที่ย่อยที่สุดของส่วนของโปรแกรม
2. **ST-WEAK/1 (Statement-WEAK/1)** คือ การเปลี่ยนตัวดำเนินการในนิพจน์ที่สนใจและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของนิพจน์นั้นเมื่อมีการทดสอบประโยค (Statement) แล้ว 1 ครั้ง
3. **BB-WEAK/1 (Basic-Block-WEAK/1)** คือ การเปลี่ยนตัวดำเนินการในนิพจน์ที่สนใจและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของนิพจน์นั้นเมื่อมีการทดสอบกลุ่มของประโยคแล้ว 1 ครั้ง
4. **BB-WEAK/N (Basic-Block-WEAK/N)** คือ การเปลี่ยนตัวดำเนินการในนิพจน์ที่สนใจและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของนิพจน์นั้นเมื่อมีการทดสอบกลุ่มของประโยคที่มีนิพจน์แล้ว N ครั้ง เนื่องจากประโยคที่มีมิวแตนท์บางตัวไม่สามารถฆ่าในการทำซ้ำครั้งแรกได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัย “Design of a Tool for Generating Test Cases from BPMN”[3]

งานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องมือสำหรับสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยเครื่องมือจะมุ่งเน้นการสร้างกรณีทดสอบด้วยเทคนิคกราฟกระแสควบคุม (Control Flow Graph) มาวิเคราะห์หาเส้นทางการทดสอบโดยใช้วิธีการค้นหาแบบลึกก่อน (Depth First Search) เมื่อได้เส้นทางที่ครอบคลุมทุกโหนดของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นแล้ว ก็นำมาสร้างกรณีทดสอบพร้อมทั้งกำหนดข้อมูลทดสอบลงไปในแต่ละกรณีทดสอบ ดังรูปที่ 2-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Test case ID	T01
Test path	1 ->2 ->3 ->5 ->6
Input	***Value***
customerNumber	0174435
contractType	200min
Output	
Expected test scenario	1.startEvent 2.creditCheck 3.creditApproved 4.sendMobileAgreement 5.endEvent

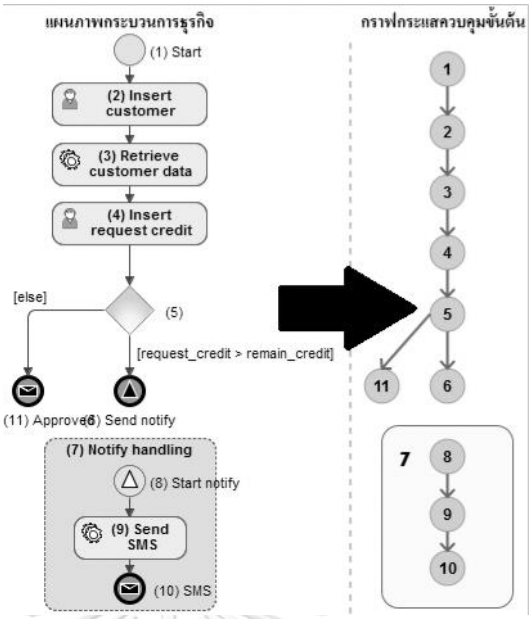
รูปที่ 2-4 ตัวอย่างกรณีทดสอบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

จากตัวอย่างกรณีทดสอบที่ได้มาของงานวิจัยนี้ ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ากรณีทดสอบที่ได้มามีประสิทธิภาพหรือไม่ แต่งานวิจัยนี้สามารถสร้างกรณีทดสอบที่ทดสอบผ่านไปทุกกระบวนการในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

ในงานวิจัยปัจจุบันจะนำกรณีทดสอบที่ได้จากวิธีการสร้างกรณีทดสอบดังกล่าวมาประเมินประสิทธิภาพโดยการหาค่าคะแนนมิวเทชันของกรณีทดสอบต่อไป

2.2.2 งานวิจัย “การสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองกระบวนการธุรกิจอิงเหตุการณ์ขับเคลื่อน”[4]

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีสร้างกรณีทดสอบอีกวิธีการหนึ่งคือการอ้างอิงระหว่างเหตุการณ์ในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นบนกราฟกระแสควบคุม เริ่มจากการสร้างกราฟกระแสควบคุมขั้นต้นแล้วจับคู่เหตุการณ์และค้นหาเส้นทางทดสอบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ต้องการทดสอบ จากนั้นระบุข้อมูลทดสอบและสร้างกรณีทดสอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ตามรูปที่ 2-5 แสดงให้เห็นถึงการสร้างกราฟกระแสควบคุมขั้นต้นจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นก่อนการค้นหาเส้นทางทดสอบ



รูปที่ 2-5 การสร้างกระแสควบคุมขั้นต้นของการสร้างกรณีทดสอบ

ผลสรุปของงานวิจัยพบว่าการอ้างอิงเหตุการณ์ขับเคลื่อนจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นทำให้นักทดสอบระบบสามารถสร้างกรณีทดสอบและข้อมูลทดสอบครอบคลุมตามพฤติกรรมของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งมีข้อดีทั้งการกำหนดเส้นทางที่ครอบคลุมทุกการดำเนินการของกระบวนการในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นและสามารถระบุข้อมูลทดสอบของแต่ละกรณีทดสอบได้

การสร้างกรณีทดสอบจากงานวิจัยนี้เป็นวิธีการที่ครอบคลุมกระแสการเดินทางของกระบวนการในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นแต่ทั้งนี้กรณีทดสอบที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้รับการประเมินประสิทธิภาพของกรณีทดสอบ ในงานวิจัยปัจจุบันจะนำกรณีทดสอบที่ได้จากงานวิจัยนี้มาประเมินหาค่าคะแนนมิวเทชันต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 งานวิจัย “การสร้างกรณีทดสอบจากแผนภาพบีพีเอ็มเอ็นกับแผนภาพบีเพล”[5]

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการสร้างกรณีทดสอบเพื่อทดสอบการทำงานของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เชื่อมต่อกับแบบจำลองบีเพลด้วยการระบุตรรกะทางธุรกิจ (Business Logic) ของกระบวนการเซอร์วิส (Service Task) บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น การสร้างกรณีทดสอบของงานวิจัยนี้ใช้ด้วยเทคนิคสร้างกราฟระบุทิศทาง (Directed Graph) ก่อนแล้วสร้างกระแสควบคุมของแบบจำลอง แล้วจึงนำเข้าข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นและแบบจำลองบีเพลเพื่อสร้างข้อมูลทดสอบและกรณีทดสอบต่อไป

จากผลของงานวิจัยจะได้กรณีทดสอบที่ใช้ทดสอบการทำงานแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เชื่อมต่อกับแบบจำลองบีเพลในส่วนของการทำงานเซอร์วิส ทั้งนี้งานวิจัยปัจจุบันจะเลือกกรณีทดสอบ

บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นมาใช้ในการทดสอบมิวเทชันเพื่อประเมินประสิทธิภาพของกรณีทดสอบต่อไป

2.2.4 งานวิจัย “Mutation operators for WS-BPEL 2.0”[10]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อระบุตัวดำเนินการของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล กระบวนการของงานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์มิวเทชันของภาษาที่ใช้พัฒนาโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นภาษาซี ภาษาฟอร์แทรน ภาษาเอดา ภาษาจาวา และภาษาเอสคิวแอล โดยนักวิจัยได้แบ่งประเภทตัวดำเนินการมิวเทชันตามการทำงานของแบบจำลองเชิงธุรกิจออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ 1) Identifier Mutation Operator 2) Expression Mutation Operator 3) Activity Mutation Operator และ 4) Exception and Event Mutation Operator โดยแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสร้างตัวดำเนินการที่ครอบคลุมวิธีการดำเนินงานของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล

ผลของงานวิจัยสามารถระบุตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับดับเบิลยูเอสบีเพลจำนวน 26 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2-6 แสดงให้เห็นถึงตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพลได้ ซึ่งตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพลนั้นถูกจัดตามประเภท ดังนี้

1. **Identifier Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับการกำหนดตัวแปร
2. **Expression Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับนิพจน์เงื่อนไข ซึ่งในงานวิจัยได้จัดรวมตัวดำเนินการด้านเวลาไว้ในประเภทนี้ด้วย
3. **Activity Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับกิจกรรมของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล ในงานวิจัยได้แยกย่อยการกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันตามการทำซ้ำของกิจกรรมในแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล ได้เป็น 2 ประเภทย่อย ดังนี้
    a. **Concurrent Activity Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันที่เกี่ยวข้องกับการทำซ้ำของกิจกรรมในแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล
    b. **Non-concurrent Activity Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมบนแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพลที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำซ้ำ
4. **Exception and Event Mutation** คือตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับข้อยกเว้นและเหตุการณ์นอกเงื่อนไขบนแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นจะนำประเภทของตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองดับเบิลยูเอสบีเพลมาเป็นต้นแบบในการจำแนกประเภทของตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งจำแนกประเภทตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นด้วยการอ้างอิงการทำงนของแต่ละตัวดำเนินการตามงานวิจัยนี้

OPERATOR		DESCRIPTION
		IDENTIFIER MUTATION
ISV		Replaces a variable identifier by another of the same type
		EXPRESSION MUTATION
EAA		Replaces an arithmetic operator (+, −, *, div, mod) by another of the same kind
EEU		Removes the unary minus operator from an expression
ERR		Replaces a relational operator (=, !=, <, >, <=, >=) by another of the same kind
ELL		Replaces a logical operator (and, or) by another of the same kind
ECC	☆	Replaces a path operator (/, //) by another of the same kind
ECN		Modifies a numerical constant by incrementing/decrementing it by one, or adding/removing one digit
EMD	☆	Modifies a duration expression, replacing it by 0 or by half of its initial value
EMF	☆	Modifies a deadline expression, replacing it by 0 or by half of its initial value
		CONCURRENT ACTIVITY MUTATION
ACI	☆	Changes the `createInstance` attribute from an inbound message activity to *no*
AFP	☆	Replaces a sequential `forEach` activity by a parallel one
ASF	☆	Replaces a `sequence` activity by a `flow` activity
AIS	☆	Changes the `isolated` attribute of a `scope` to *no*
		NON-CONCURRENT ACTIVITY MUTATION
AEL		Deletes an activity
AIE		Deletes an `elseif` element or the `else` element from an `if` activity
AWR		Replaces a `while` activity by a `repeatUntil` activity and vice versa
AJC	☆	Removes the `joinCondition` attribute from an activity
ASI	☆	Exchanges the order of two `sequence` child activities
APM	☆	Removes an `onMessage` element from a `pick` activity
APA	☆	Removes the `onAlarm` element from a `pick` activity or from an event handler
		EXCEPTION AND EVENT MUTATION
XMF		Removes a `catch` element or the `catchAll` element from a fault handler
XMC	☆	Removes a compensation handler definition
XMT	☆	Removes a termination handler definition
XTF	☆	Replaces the fault thrown by a `throw` activity
XER	☆	Removes a `rethrow` activity
XEE	☆	Removes an `onEvent` element from an event handler

Chulalongkorn University

รูปที่ 2-6 ตัวดำเนินการมิวเทชันของดับเบิลยูเอสบีเพล

บทที่ 3
การกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

การกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันเป็นขั้นตอนแรกเริ่มของการวิเคราะห์มิวเทชันบนโปรแกรมหรือแบบจำลองที่จะทำการทดสอบมิวเทชัน ซึ่งงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นที่กำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันเพื่อใช้สำหรับการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยมีขั้นตอนการกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันสำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นดังต่อไปนี้

3.1 กำหนดตัวดำเนินการบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

ขั้นตอนแรกของการกำหนดตัวดำเนินการมิวเทชันคือการกำหนดตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยเริ่มต้นจากการจัดกลุ่มองค์ประกอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อกำหนดรายการตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป เริ่มต้นที่การระบุตัวดำเนินการที่มีในข้อกำหนดบีพีเอ็มเอ็นออกเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อค้นหาตัวดำเนินการทั้งหมดที่สามารถนำมาดำเนินการมิวเทชันได้ จากนั้นจึงจัดกลุ่มตัวดำเนินการในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ออกเป็นกลุ่มตัวดำเนินการที่สร้างมิวแตนท์ได้และกลุ่มตัวดำเนินการที่ไม่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ ทั้งนี้การให้คุณลักษณะของตัวดำเนินการนั้นอ้างอิงมาจาก [1] จากตารางที่ 3-1 แสดงให้เห็นตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้

ตารางที่ 3-1 รายการตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้

ที่	ตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
1	<extensionElement>
2	<conditionExpression>
3	<timerDate> ภายใต้ <timerEventDefinition>
4	<timerCycle> ภายใต้ <timerEventDefinition>
5	<timerDuration> ภายใต้ <timerEventDefinition>
6	แอตทริบิวต์ isSequential ในตัวดำเนินการ <multiInstanceLoopCharacteristics>
7	<loopCardinality> ภายใต้ <multiInstanceLoopCharacteristics>
8	แอตทริบิวต์ behavior ในตัวดำเนินการ <multiInstanceLoopCharacteristics>
9	<standardLoopCharacterisics>
10	<completionCondition> ภายใต้ <adHocSubProcess>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-1 รายการตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ (ต่อ)

ที่	ตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
11	แอตทริบิวต์ ordering ในตัวดำเนินการ <adHocSubProcess>
12	<cancelRemainingInstances> ภายใต้ <adHocSubProcess>

จากตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นดังกล่าว สามารถแบ่งประเภทของตัวดำเนินการแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นตามคุณลักษณะของตัวดำเนินการตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตัวดำเนินการ <extensionElement> ในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นจะเป็นการอนุญาตให้เครื่องมือประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสามารถกำหนดค่าตัวแปรที่จะใช้ในการประมวลผลในส่วนถัดไปของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น รูปที่ 3-1 และ รูปที่ 3-2 แสดงตัวอย่างตัวดำเนินการ <extensionElement> ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

```
<userTask id="userTask1" name="Add Income" activiti:candidateGroups="management">
  <extensionElements>
    <activiti:formProperty id="income" name="income" type="long" required="true"/>
    <activiti:formProperty id="maximum" name="maximum" type="long"/>
  </extensionElements>
</userTask>
```

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างตัวดำเนินการ <extensionElement> สำหรับระบุค่าและชนิดของตัวแปร

```
<extensionElements>
  <activiti:formProperty id="duration" name="Timer duration" type="enum" required="true">
    <activiti:value id="long" name="One hour"/>
    <activiti:value id="short" name="10 seconds"/>
  </activiti:formProperty>
</extensionElements>
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างตัวดำเนินการ <extensionElement> สำหรับระบุค่าตัวแปรแบบเลือกค่า

ตัวดำเนินการ <conditionExpression> และ <timerEventDefinition> เป็นองค์ประกอบที่มีการระบุนิพจน์เงื่อนไขขององค์ประกอบที่อยู่ในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งตัวดำเนินการ <conditionExpression> ใช้สำหรับกำหนดเงื่อนไขตรรกศาสตร์ขององค์ประกอบในขณะที่ตัวดำเนินการ <timerEventDefinition> ใช้สำหรับกำหนดเงื่อนไขด้านเวลาขององค์ประกอบ รูปที่ *3-3* แสดงตัวอย่างเอกซ์เอ็มแอลของตัวดำเนินการ และรูปที่ *3-4* ใช้แสดงตัวอย่างตัวดำเนินการ

```
<conditionExpression xsi:type="tFormalExpression">
  <![CDATA[ ${isMoreDetails == true and maximum >= 200} ]]>
</conditionExpression>
```

รูปที่ 3-3 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขทางตรรกศาสตร์ในตัวดำเนินการ <conditionExpression>

```
<boundaryEvent id="shortTimer" cancelActivity="true" attachedToRef="shortTimerTask">
  <timerEventDefinition>
    <timeDuration>PT10S</timeDuration>
  </timerEventDefinition>
</boundaryEvent>
```

รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการตั้งเวลาด้วย <timerEventDefinition>

ตัวดำเนินการ <multiInstanceLoopCharacteristics> ใช้กำหนดพฤติกรรมของกิจกรรมในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นอย่างละเอียด ซึ่งตัวดำเนินการนี้ใช้ควบคุมการทำงานซ้ำของกิจกรรมเป็นหลัก แต่สามารถจัดการรายละเอียดของการทำซ้ำของกิจกรรมที่อยู่ภายใต้ตัวดำเนินการได้ โดยการจัดการลำดับของกิจกรรมนั้นจะถูกกำหนดด้วยแอตทริบิวต์ isSequential ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ *3-5* การจัดการจำนวนรอบของกิจกรรมภายในตัวดำเนินการด้วย <loopCardinality> และการกำหนดเงื่อนไขในข้อยกเว้นด้วยแอตทริบิวต์ behavior

```
<subProcess id="sid-393C8A81-BD63-4087-A9AA-4F201FA24C83" name="subProcess">
  <multiInstanceLoopCharacteristics isSequential="false">
    <completionCondition>${user > 1}</completionCondition>
  </multiInstanceLoopCharacteristics>
</subProcess>
```

รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการกำหนดพฤติกรรมการทำงานของเหตุการณ์ภายใต้ <subProcess>

ตัวดำเนินการ <standardLoopCharacteristics> ใช้กำหนดพฤติกรรมของการทำกิจกรรมซ้ำในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งตัวดำเนินการนี้ใช้ควบคุมการทำซ้ำอย่างง่ายที่มีเงื่อนไขไม่ซับซ้อน ด้วยการกำหนดค่าให้กับแอตทริบิวต์ เช่น loopMaximum เพื่อกำหนดค่าจำนวนรอบสูงสุดในการทำซ้ำ testBefore เพื่อกำหนดการทดสอบการทำซ้ำในรอบแรก และ loopCondition เพื่อกำหนดเงื่อนไขของการทำซ้ำ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวดำเนินการ <adHocSubProcess> ใช้เพื่อกำหนดพฤติกรรมของกิจกรรมที่ถูกกำหนดไว้ให้เป็นกิจกรรมเฉพาะกิจ โดยสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานของกิจกรรมด้วยการกำหนดค่าของแอตทริบิวต์ เช่น ordering เพื่อกำหนดลำดับการดำเนินการกิจกรรมของกิจกรรมทั้งหมด completionCondition เพื่อกำหนดเงื่อนไขการออกจากกิจกรรมเฉพาะกิจ และ cancelRemainingInstances เพื่อกำหนดการยกเลิกกิจกรรมอื่นเมื่อมีกิจกรรมเฉพาะกิจ

3.2 จัดกลุ่มตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสู่กลุ่มตัวดำเนินการมิวเทชัน

ตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นจากขั้นตอนก่อนหน้า นำตัวดำเนินการแต่ละรายการคัดแยกคุณสมบัติตามประเภทตัวดำเนินการมิวเทชัน [10] โดยมีรายละเอียดคุณสมบัติตามประเภทตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ดังนี้

1) ตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุค่าตัวแปร (Identifier Mutation Operator)

ตัวดำเนินการประเภทนี้จะดำเนินการกับการระบุตัวแปรที่จะนำมาใช้ในบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปลและชนิดของตัวแปล ดังนั้นการทำมิวเทชันของตัวดำเนินการชนิดนี้จะสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของกรณีทดสอบได้

2) ตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุนิพจน์เงื่อนไข (Expression Mutation Operator)

ตัวดำเนินการมิวเทชันประเภทนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการประมวลผลเงื่อนไขในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งตัวดำเนินการมีคุณลักษณะที่แบ่งได้อีก 4 ประเภทย่อย ดังต่อไปนี้

ก. ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Operator)

ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ใช้เพื่อคำนวณหาค่าทางคณิตศาสตร์ภายใต้ตัวดำเนินการ <conditionExpression> ประกอบไปด้วยตัวดำเนินการ 5 ตัว ดังต่อไปนี้ +, -, *, / และ mod

ข. ตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ (Relational Operator)

ตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์เป็นตัวดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบค่าของตัวแปรในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นซึ่งส่วนใหญ่อยู่ภายใต้ตัวดำเนินการ <conditionExpression> โดยประกอบไปด้วยตัวดำเนินการจำนวน 6 ตัว ดังต่อไปนี้ <, >, <=, >=, = และ !=

ค. ตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (Logical Operator)

ตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์นี้สามารถนำมาเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อประโยคเงื่อนไขให้ครอบคลุมความต้องการให้มากขึ้นซึ่งอยู่ภายใต้ตัวดำเนินการ <conditionExpression> โดยประกอบไปด้วยตัวดำเนินการจำนวน 2 ตัว คือ and และ or

ง. ตัวดำเนินการเกี่ยวกับเวลา (Deadline Operator)

ตัวดำเนินการเกี่ยวกับเวลาในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นมีไว้เพื่อตั้งเวลาดำเนินกิจกรรมของบีพีเอ็มเอ็นนั้น ๆ ซึ่งตัวดำเนินการดังกล่าวจะอยู่ภายใต้ <timerEventDefinition> โดยมีอยู่ 3 วิธีดังนี้คือ <timerDate> (การตั้งค่าวันที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เริ่มดำเนินการ), <timerCycle> (การตั้งค่าการทำซ้ำตามระยะเวลาที่กำหนด) และ <timerDuration> (การกำหนดระยะเวลาก่อนเริ่มกิจกรรม)

3) ตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงกิจกรรม (Activity Mutation Operator)

ตัวดำเนินการประเภทนี้กำหนดรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรมในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ให้มีรูปแบบการปฏิบัติงานที่แตกต่างไปจากเดิม ด้วยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของตัวดำเนินการที่ควบคุมกิจกรรม

4) ตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับข้อยกเว้นและเหตุการณ์ (Exception and Event Mutation Operators)

ตัวดำเนินการประเภทนี้ดำเนินการตรวจสอบกิจกรรมที่ผิดปรกติที่ผู้ออกแบบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ระบุไว้ โดยตัวดำเนินการจะระบุกิจกรรมที่จะดำเนินการต่อไปในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นหรือหยุดดำเนินการกิจกรรมในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

3.3 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

เมื่อจำแนกชนิดตัวดำเนินการจากรายการตัวดำเนินการของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่สามารถมิวเทชันเข้าสู่ประเภทตัวดำเนินการมิวเทชันแล้ว ทำให้ได้รายการตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นทั้งหมด 25 ตัวดำเนินการ ดังมีรายละเอียดแบ่งตามประเภทของตัวดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุค่าตัวแปร

ตัวดำเนินการมิวเทชันในประเภทนี้ มีจำนวน 2 ตัวดำเนินการ ดังแสดงรายละเอียดแต่ละตัวดำเนินการ ในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุค่าตัวแปร

รหัส	ชื่อตัวดำเนินการ	คำอธิบาย
IVR	**I**dentifier **V**alue **R**eplacement	เปลี่ยนตัวแปรด้วยตัวแปรอื่นที่มีชนิดเดียวกัน ใน <extensionElement>
ITR	**I**dentifier **D**ifferent **T**ype **R**eplacement	เปลี่ยนตัวแปรด้วยตัวแปรอื่นที่มีต่างชนิดกัน ใน <extensionElement>

2. ตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุนิพจน์เงื่อนไข

ตัวดำเนินการมิวเทชันในประเภทนี้ มีจำนวน 7 ตัวดำเนินการ ดังแสดงรายละเอียดแต่ละตัวดำเนินการ ในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันที่ระบุนิพจน์เงื่อนไข

รหัส	ชื่อตัวดำเนินการ	คำอธิบาย
EAR	**E**xpression **A**rithmetic **R**eplacement	เปลี่ยนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (+, -, *, /, mod) ที่อยู่ในนิพจน์ใน<conditionExpression>
ERR	**E**xpression **R**elational **R**eplacement	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ (<,<=, >,>=, ==, !=) ที่อยู่ในนิพจน์ใน<conditionExpression>
ELR	**E**xpression **L**ogical **R**eplacement	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (and, or) ที่อยู่ในนิพจน์ใน <conditionExpression>
ETA	**E**xpression **T**ime **A**djustment	ปรับระยะเวลาของ <timerDuration> ภายใต้ <timerEventDefinition> ด้วย 0 ,ครึ่งหนึ่งของเวลาเดิมและค่าเวลาที่มากกว่าเดิมหนึ่งหน่วย
EDA	**E**xpression **D**ate **A**djustment	ปรับวันที่ของ <timerDate> ภายใต้ <timerEventDefinition> ด้วยวันในอดีต
ERA	**E**xpression **R**epetition **A**djustment	ปรับจำนวนการทำซ้ำของ <timerCycle> ภายใต้ <timerEventDefinition> ด้วย 0 หรือครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิม
ECA	**E**xpression **C**ycle **A**djustment	ปรับช่วงระยะเวลา <timerCycle> ภายใต้ <timerEventDefinition> ด้วย 0, ค่าครึ่งหนึ่งของเวลาเดิมและค่าเวลาที่มากกว่าเดิมหนึ่งหน่วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงกิจกรรรม

ตัวดำเนินการมิวเทชันในประเภทนี้ มีจำนวน 15 ตัวดำเนินการ ดังแสดงรายละเอียดแต่ละตัวดำเนินการ ในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงกิจกรรม

รหัส	ชื่อตัวดำเนินการ	คำอธิบาย
ASR	**A**ctivity **S**equential **R**eplacement	เปลี่ยนค่าแอตทริบิวต์ “isSequential” ใน <multiInstanceLoopCharacteristics> ระหว่าง “true” และ “false”
ATR	**A**ctivity **T**est **R**eplacement	เปลี่ยนค่าแอตทริบิวต์ “testBefore” ใน <standardLoopCharacterisics> ระหว่าง “true” และ “false”
AMR	**A**ctivity loop**M**aximum **R**eplacement	ปรับค่าแอตทริบิวต์ “loopMaximum” ใน <standardLoopCharacterisics> ด้วย 0, ค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิมและค่ามากกว่าเดิมหนึ่งหน่วย
AAS	**A**ctivity **A**rithmetic replacement in **S**tandard loop	เปลี่ยนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (+, -, *, /, mod) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน<loopCondition> ภายใต้ <standardLoopCharacterisics>
ARS	**A**ctivity **R**elational replacement in **S**tandard loop	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ (<,<=, >,>=, ==, !=) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <loopCondition> ภายใต้ <standardLoopCharacterisics>
ALS	**A**ctivity **L**ogical replacement in **S**tandard loop	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (and, or) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <loopCondition> ภายใต้ <standardLoopCharacterisics>
ACR	**A**ctivity **C**ardinality **R**eplacement	เปลี่ยนค่า <loopCardinality> ภายใต้ <multiInstanceLoopCharacteristics> ด้วย 0, ค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิมและค่ามากกว่าเดิมหนึ่งหน่วย
AAM	**A**ctivity **A**rithmetic replacement in **M**ultiInstanceLoop	เปลี่ยนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (+, -, *, /, mod) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <multiInstanceLoopCharacteristics>
ARM	**A**ctivity **R**elational replacement in **M**ultiInstanceLoop	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ (<,<=, >,>=, ==, !=) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <multiInstanceLoopCharacteristics>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-4 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันเชิงกิจกรรม (ต่อ)

รหัส	ชื่อตัวดำเนินการ	คำอธิบาย
ALM	**A**ctivity **L**ogical replacement in **M**ultiInstanceLoop	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (and, or) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน<completionCondition> ภายใต้ <multiInstanceLoopCharacteristics>
AAA	**A**ctivity **A**rithmetic replacement in **A**dhoc subprocess	เปลี่ยนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (+, -, *, /, mod) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <adHocSubProcess>
ARA	**A**ctivity **R**elational replacement in **A**dhoc subprocess	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ (<,<=, >,>=, ==, !=) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <adHocSubProcess>
ALA	**A**ctivity **L**ogical replacement in **A**dhoc subprocess	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (and, or) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <adHocSubProcess>
ALA	**A**ctivity **L**ogical replacement in **A**dhoc subprocess	เปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ (and, or) ที่อยู่ในนิพจน์ ใน <completionCondition> ภายใต้ <adHocSubProcess>
AOR	**A**ctivity **O**rdering **R**eplacement	ปรับค่าแอตทริบิวต์ “ordering” ใน <adHocSubProcess> ระหว่าง “Parallel” และ “Sequential”
ARR	**A**ctivity cancel**R**emainingInstances **R**eplacement	ปรับค่า <cancelRemainingInstances> ภายใต้ <adHocSubProcess> ระหว่าง “true” และ “false”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับข้อยกเว้นและเหตุการณ์

ตัวดำเนินการมิวเทชันในประเภทนี้ มีจำนวน 1 ตัวดำเนินการ ดังแสดงรายละเอียดแต่ละตัวดำเนินการ ในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 รายการตัวดำเนินการมิวเทชันเกี่ยวกับข้อยกเว้นและเหตุการณ์

รหัส	ชื่อตัวดำเนินการ	คำอธิบาย
XBR	e**X**ception and event **B**ehavior **R**eplacement	ปรับค่าแอตทริบิวต์ “behavior” ใน <multiInstanceLoopCharacteristics> ด้วย “None”, “One”, “All” และ “Complex”

จากขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์เพื่อใช้ทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบจากงานวิจัยก่อนหน้า ดังนั้นเครื่องมือสร้างมิวแตนท์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเน้นให้สามารถสร้างมิวแตนท์จากนิพจน์เงื่อนไข โดยกำหนดให้สร้างมิวแตนท์บนตัวดำเนินการ <conditionExpression> ซึ่งสามารถสร้างมิวแตนท์ได้จากตัวดำเนินการมิวเทชันจำนวน 3 ตัว ดำเนินการดังนี้ EAR หรือการเปลี่ยนนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ ERR หรือการเปลี่ยนนิพจน์เชิงสัมพันธ์ และ ELR หรือการเปลี่ยนนิพจน์เชิงตรรกศาสตร์ เป็นต้น

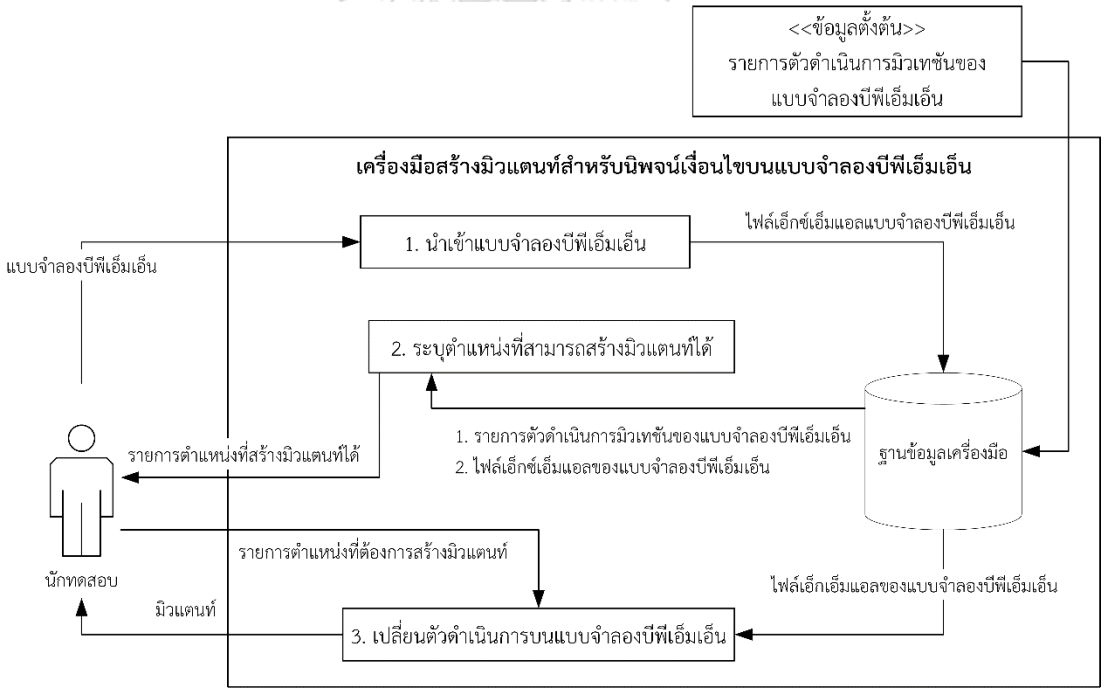
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

ในบทนี้อธิบายถึงขั้นตอนการสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ โดยเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ถือเป็นเครื่องมือสนับสนุนการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งในบทนี้จะเริ่มจากข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องมือ จากนั้นอธิบายการออกแบบเครื่องมือด้วยภาษายูเอ็มแอล (UML) ที่อธิบายภาพรวมการทำงาน รวมไปถึงรายละเอียดองค์ประกอบที่ใช้ในการพัฒนา ในส่วนท้ายของบทอธิบายถึงสภาพแวดล้อมที่ใช้พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์และอธิบายส่วนต่อประสานในเครื่องมือ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

การทดสอบมิวเทชันนั้นจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนตัวดำเนินการให้แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นดั้งเดิมเป็นมิวแตนท์ในการทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อสนับสนุนการสร้างมิวแตนท์บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น จึงได้พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยเครื่องมือสร้างมิวแตนท์นั้นมีภาพรวม ดังแสดงในรูปรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

เครื่องมือสร้างมิวแตนท์เริ่มต้นเมื่อนักทดสอบนำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น จากนั้นเครื่องมือจะระบุตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นโดยเปรียบเทียบจากตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น จากนั้นเครื่องมือจะจัดเก็บแต่ละตำแหน่งที่สามารถทำมิวเทชันได้

แล้วแสดงรายการตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้แก่นักทดสอบ เมื่อนักทดสอบเลือกรายการตำแหน่งที่ต้องการสร้างมิวแตนท์แล้ว เครื่องมือจะทำการสร้างมิวแตนท์โดยเปลี่ยนตัวดำเนินการแต่ละตำแหน่งตามรายการที่นักทดสอบระบุ ท้ายที่สุดเครื่องมือจะส่งออกมิวแตนท์ที่ได้แก่นักทดสอบ โดยรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของเครื่องมืออย่างละเอียดมีดังต่อไปนี้

4.1.1 การนำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

นักทดสอบระบบนำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นในรูปแบบของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลซึ่งเป็นคุณสมบัติของแบบจำลองที่สามารถดำเนินการผ่านเครื่องประมวลผลแบบจำลองได้ โดยไฟล์เอกซ์เอ็มแอลตัวอย่างจะมีรายละเอียดภายในไฟล์ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ซึ่งมีองค์ประกอบโครงสร้างของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ที่เครื่องประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสามารถนำมาประมวลผลได้ หากนำไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นดังกล่าวมาประมวลผลบนเครื่องมือประมวลผลแบบจำลองแล้วจะได้แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเชิงบรรยายดังแสดงในรูปที่ 4-3

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลนั้นสามารถบ่งชี้คุณลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ จากองค์ประกอบดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 <definition> เป็นส่วนที่ใช้กำหนดคุณลักษณะของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลที่นำเข้ามา ภายใน <definition> จะมีแอตทริบิวต์ที่ถูกตั้งค่าไว้เพื่อบ่งบอกถึงคุณลักษณะของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ดังบรรทัดที่ 3 ในรูปที่ *4-4* แอตทริบิวต์ xmlns จะมีค่าที่อ้างอิงถึงข้อกำหนดของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ได้กำหนดไว้โดย OMG (Object Management Group)

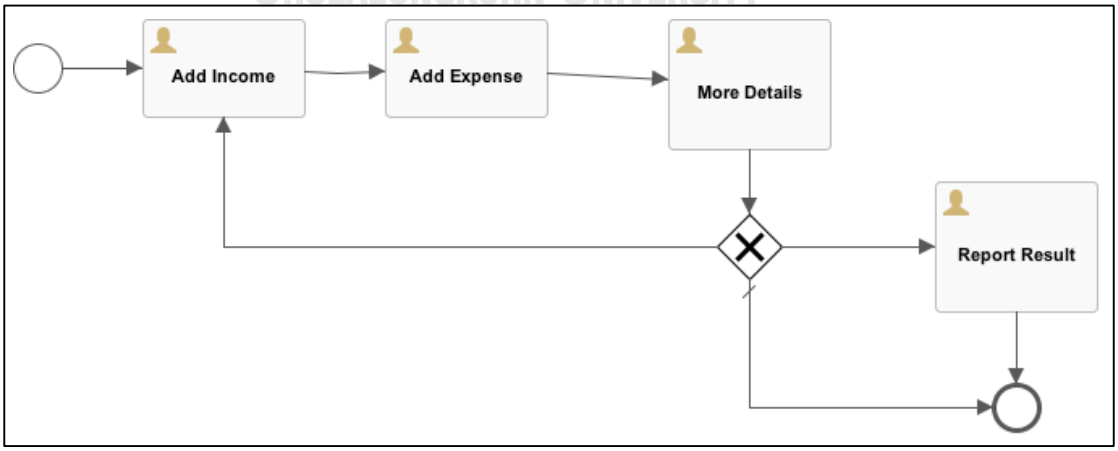
ส่วนที่ 2 <process> เป็นส่วนที่ใช้บ่งบอกองค์ประกอบของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนี้ซึ่งอยู่ภายใต้ <definition> ที่บ่งบอกคุณลักษณะของกระบวนการของแต่ละองค์ประกอบในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นด้วยแอตทริบิวต์ isExecutable ที่ใช้สำหรับระบุความสามารถการดำเนินการอัตโมมัติผ่านเครื่องประมวลผลแบบจำลอง ดังรูปที่ *4-5* และองค์ประกอบอื่นที่อยู่ภายใต้ <process> ถือเป็นโครงสร้างที่ใช้เพื่ออธิบายข้อมูลจำเพาะและการกำหนดเส้นทางขององค์ประกอบในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ดังตัวอย่างรูปที่ *4-6* แสดงการใช้งานองค์ประกอบเส้นลำดับ (Sequence Flow) ของกิจกรรมในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งภายในองค์ประกอบเส้นลำดับนั้นจะมีการระบุข้อมูลจำเพาะ เช่น การระบุรหัสและชื่อขององค์ประกอบด้วยแอตทริบิวต์ id และ name การระบุกิจกรรมก่อนหน้าของเส้นลำดับด้วยแอตทริบิวต์ sourceRef การระบุกิจกรรมต่อจากเส้นลำดับด้วยแอตทริบิวต์ targetRef และการกำหนดเงื่อนไขของเส้นลำดับด้วย <conditionExpression>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
<definitions xmlns="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/MODEL"
 xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
 xmlns:activiti="http://activiti.org/bpmn" xmlns:bpmndi="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/DI"
 xmlns:omgdc="http://www.omg.org/spec/DD/20100524/DC" xmlns:omgdi="http://www.omg.org/spec/DD/20100524/DI"
 typeLanguage="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" expressionLanguage="http://www.w3.org/1999/XPath"
 targetNamespace="http://www.activiti.org/processdef">
  <process id="Calculate_Expense" name="Calculate Expense" isExecutable="true">
    <startEvent id="start"/>
    <userTask id="userTask1" name="Add Income" activiti:candidateGroups="management">...</userTask>
    <userTask id="userTask2" name="Add Expense" activiti:candidateGroups="management">...</userTask>
    <userTask id="userTask3" name="More Details" activiti:candidateGroups="management">...</userTask>
    <exclusiveGateway id="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-28A69CABC150" name="isMoreDetails" default="sid-
    D716815F-7B8E-4369-82AD-CD851A22EB04"/>
    <endEvent id="sid-1921B34F-926A-4792-A6F9-1DFDEE445CB8"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow4" sourceRef="userTask3" targetRef="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-
    28A69CABC150"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow1" sourceRef="start" targetRef="userTask1"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow3" sourceRef="userTask2" targetRef="userTask3"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow2" sourceRef="userTask1" targetRef="userTask2"/>
    <userTask id="sid-4A6C7609-F772-42FA-9CD2-9DBF19292618" name="Report Result"
    activiti:candidateGroups="management"/>
    <sequenceFlow id="sid-45E1DFB7-F580-4995-BF95-34D0AD08C448" sourceRef="sid-4A6C7609-F772-42FA-9CD2-
    9DBF19292618" targetRef="sid-1921B34F-926A-4792-A6F9-1DFDEE445CB8"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow5" name="No" sourceRef="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-28A69CABC150"
    targetRef="sid-4A6C7609-F772-42FA-9CD2-9DBF19292618">...</sequenceFlow>
    <sequenceFlow id="sid-D716815F-7B8E-4369-82AD-CD851A22EB04" sourceRef="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-
    28A69CABC150" targetRef="sid-1921B34F-926A-4792-A6F9-1DFDEE445CB8"/>
    <sequenceFlow id="sequenceFlow6" name="Yes" sourceRef="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-28A69CABC150"
    targetRef="userTask1">...</sequenceFlow>
  </process>
  <bpmndi:BPMNDiagram id="BPMNDiagram_Calculate_Expense">
    <bpmndi:BPMNPlane bpmnElement="Calculate_Expense" id="BPMNPlane_Calculate_Expense">
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="start" id="BPMNShape_start">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="userTask1" id="BPMNShape_userTask1">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="userTask2" id="BPMNShape_userTask2">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="userTask3" id="BPMNShape_userTask3">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-28A69CABC150" id="BPMNShape_sid-9DFF8E63-
      8C97-449F-8AB3-28A69CABC150">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="sid-1921B34F-926A-4792-A6F9-1DFDEE445CB8" id="BPMNShape_sid-1921B34F-
      926A-4792-A6F9-1DFDEE445CB8">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNShape bpmnElement="sid-4A6C7609-F772-42FA-9CD2-9DBF19292618" id="BPMNShape_sid-4A6C7609-
      F772-42FA-9CD2-9DBF19292618">...</bpmndi:BPMNShape>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow5" id="BPMNEdge_sequenceFlow5">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sid-D716815F-7B8E-4369-82AD-CD851A22EB04" id="BPMNEdge_sid-D716815F-
      7B8E-4369-82AD-CD851A22EB04">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow6" id="BPMNEdge_sequenceFlow6">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow3" id="BPMNEdge_sequenceFlow3">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sid-45E1DFB7-F580-4995-BF95-34D0AD08C448" id="BPMNEdge_sid-45E1DFB7-
      F580-4995-BF95-34D0AD08C448">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow4" id="BPMNEdge_sequenceFlow4">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow1" id="BPMNEdge_sequenceFlow1">...</bpmndi:BPMNEdge>
      <bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow2" id="BPMNEdge_sequenceFlow2">...</bpmndi:BPMNEdge>
    </bpmndi:BPMNPlane>
  </bpmndi:BPMNDiagram>
</definitions>
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-2 ตัวอย่างองค์ประกอบเอกซ์เอ็มแอลในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น Calculate Expense



รูปที่ 4-3 ตัวอย่างรูปแบบแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น Calculate Expense

```
<definitions id="definitions"
    xmlns="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/MODEL"
    xmlns:activiti="http://activiti.org/bpmn"
    targetNamespace="Examples">
```

รูปที่ 4-4 ตัวอย่าง <definition> ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

```
<process id="Calculate_Expense" name="Calculate Expense" isExecutable="true">
```

รูปที่ 4-5 ตัวอย่าง <process> ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

```
<sequenceFlow id="sequenceFlow5" name="No" sourceRef="sid-9DFF8E63-8C97-449F-8AB3-28A69CABC150"
targetRef="sid-4A6C7609-F772-42FA-9CD2-9DBF19292618">
  <conditionExpression xsi:type="tFormalExpression">
    <![CDATA[ ${isMoreDetails == false} ]]>
  </conditionExpression>
</sequenceFlow>
```

รูปที่ 4-6 ตัวอย่าง <sequenceFlow> ที่เป็นองค์ประกอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

ส่วนที่ 3 <bpmndi:BPMNDiagram> ส่วนนี้อยู่ภายใต้ <definition> มีหน้าที่ในการอธิบายตำแหน่งพิกัดขององค์ประกอบ มีลักษณะขององค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ *4-7* ซึ่งภายในมี <bpmndi:BPMNPlane> ไว้สำหรับอธิบายองค์ประกอบตามประเภททั้งที่เป็นรูปร่าง (Shape) ดังรูปที่ *4-8* และเส้น (Edge) ดังรูปที่ *4-9* ที่ภายในจะมีข้อมูลพิกัดตำแหน่งและคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบ

```
<bpmndi:BPMNDiagram id="BPMNDiagram_Calculate_Expense">
  <bpmndi:BPMNPlane bpmnElement="Calculate_Expense" id="BPMNPlane_Calculate_Expense">...
  </bpmndi:BPMNPlane>
</bpmndi:BPMNDiagram>
```

รูปที่ 4-7 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNDiagram> สำหรับการอธิบายตำแหน่งพิกัดขององค์ประกอบ

```
<bpmndi:BPMNShape bpmnElement="start" id="BPMNShape_start">
  <omgdc:Bounds height="30.0" width="30.0" x="0.0" y="15.0"/>
</bpmndi:BPMNShape>
```

รูปที่ 4-8 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNShape> ใช้อธิบายข้อมูลพิกัดขององค์ประกอบแบบรูปร่าง

```
<bpmndi:BPMNEdge bpmnElement="sequenceFlow6" id="BPMNEdge_sequenceFlow6">
  <omgdi:waypoint x="435.0" y="140.0"/>
  <omgdi:waypoint x="130.0" y="140.0"/>
  <omgdi:waypoint x="130.0" y="60.0"/>
</bpmndi:BPMNEdge>
```

รูปที่ 4-9 ตัวอย่าง <bpmndi:BPMNEdge> ใช้อธิบายข้อมูลพิกัดขององค์ประกอบแบบเส้น

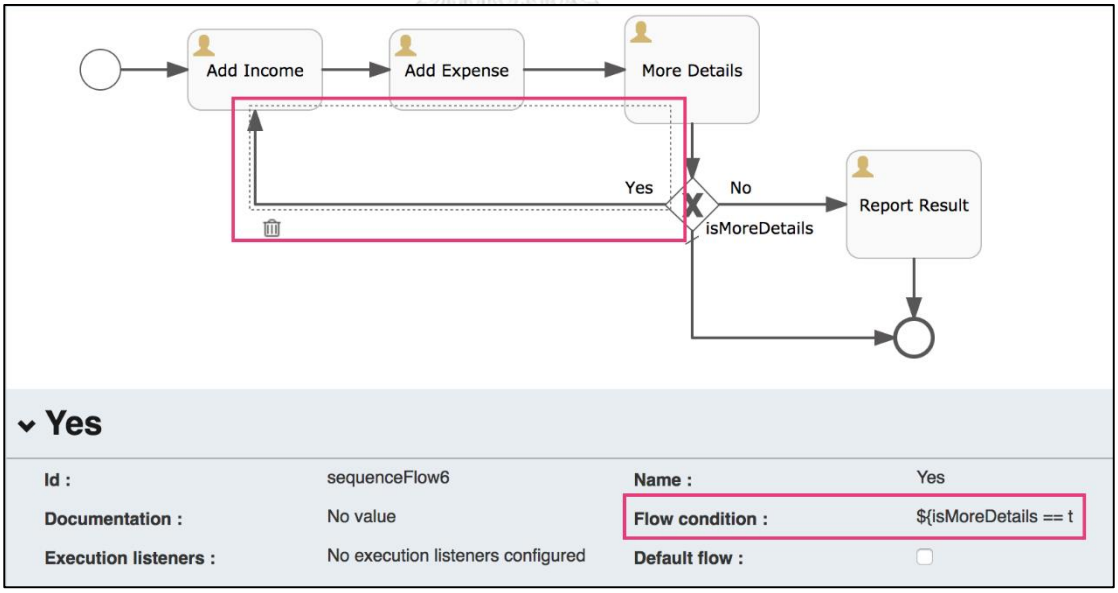
สำหรับเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นจะเข้าไปแก้ไขตัวดำเนินการที่อยู่ภายใต้ส่วนที่ 2 ของไฟล์เอกซ์เอ็มแอล หรือ ส่วน <process> ของไฟล์ นอกจากนี้เครื่องมือจะเก็บข้อมูลไฟล์ทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการสร้างมิวแตนท์ต่อไป

4.1.2 การระบุตำแหน่งตัวดำเนินการแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

เครื่องมือสร้างมิวแตนท์นั้นจะดำเนินการค้นหาตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ โดยมิวแตนท์ที่สร้างจะต้องประกอบไปด้วยตัวดำเนินการที่อยู่ในนิพจน์เงื่อนไข ภายใต้ <conditionExpression> ซึ่งตัวดำเนินการมิวเทชันที่เครื่องมือสามารถสร้างได้คือ ตัวดำเนินการเชิงคณิตศาสตร์ หรือ EAR ตัวดำเนินการเชิงความสัมพันธ์ หรือ ERR และตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ หรือ ELR เท่านั้น

แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ถูกออกแบบด้วยเครื่องประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นจะถูกกำหนดเงื่อนไขลงบนนิพจน์เงื่อนไขดังรูปที่ 4-10 จะเห็นว่าการใช้งานเส้นลำดับของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ซึ่งสามารถตั้งชื่อและเงื่อนไขได้บนเครื่องมือประมวลผลแบบจำลอง เมื่อผู้ใช้ต้องการส่งออกแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น เครื่องมือจะส่งออกไฟล์เอกซ์เอ็มแอล ดังแสดงในรูปที่ 4-11

จากคุณสมบัติข้างต้นการระบุตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์นั้น เครื่องมือสร้างมิวแตนท์จะเข้าไปค้นหาตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไข <conditionExpression> จากนั้นตรวจสอบตัวดำเนินการที่อยู่ภายใน หากเครื่องมือสร้างมิวแตนท์พบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ เครื่องมือจะแสดงรายการตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ให้แก่นักทดสอบเพื่อพิจารณาการสร้างมิวแตนท์ต่อไป



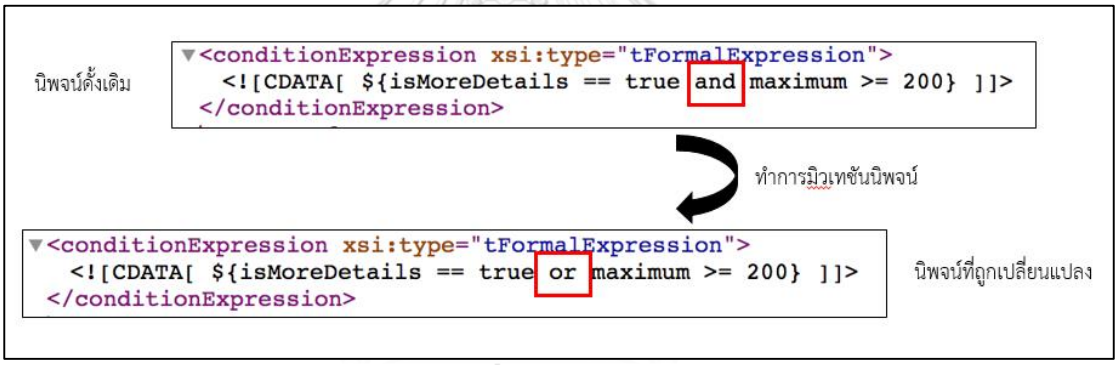
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างการตั้งค่าเงื่อนไขของ Sequence Flow บนเครื่องมือประมวลผล

```
<sequenceFlow id="sequenceFlow6" name="Yes" sourceRef="fork1" targetRef="userTask1">
  <conditionExpression xsi:type="tFormalExpression">
    <![CDATA[ ${isMoreDetails == true or maximum >= 200} ]]>
  </conditionExpression>
</sequenceFlow>
```

รูปที่ 4-11 ตัวอย่าง Sequence Flow ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

4.1.3 การสร้างมิวแตนท์ในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

เมื่อนักทดสอบเลือกตำแหน่งรายการตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ เครื่องมือจะอ่านค่าตำแหน่งของนิพจน์ที่นักทดสอบกำหนด จากนั้นเครื่องมือจะทำการเปลี่ยนตัวดำเนินการทีละตัวดังตัวอย่างในรูปที่ 4-12 แล้วสร้างมิวแตนท์ที่อยู่ในรูปแบบของไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น จากนั้นจัดเก็บเข้าชุด เมื่อเครื่องมือเปลี่ยนตัวดำเนินการครบตามรายการที่กำหนดไว้ เครื่องมือจะส่งออกชุดไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของมิวแตนท์ให้แก่นักทดสอบเพื่อนำเข้าสู่เครื่องประมวลผลแบบจำลองต่อไป



รูปที่ 4-12 ตัวอย่างมิวแตนท์ จากตัวดำเนินการ ELR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

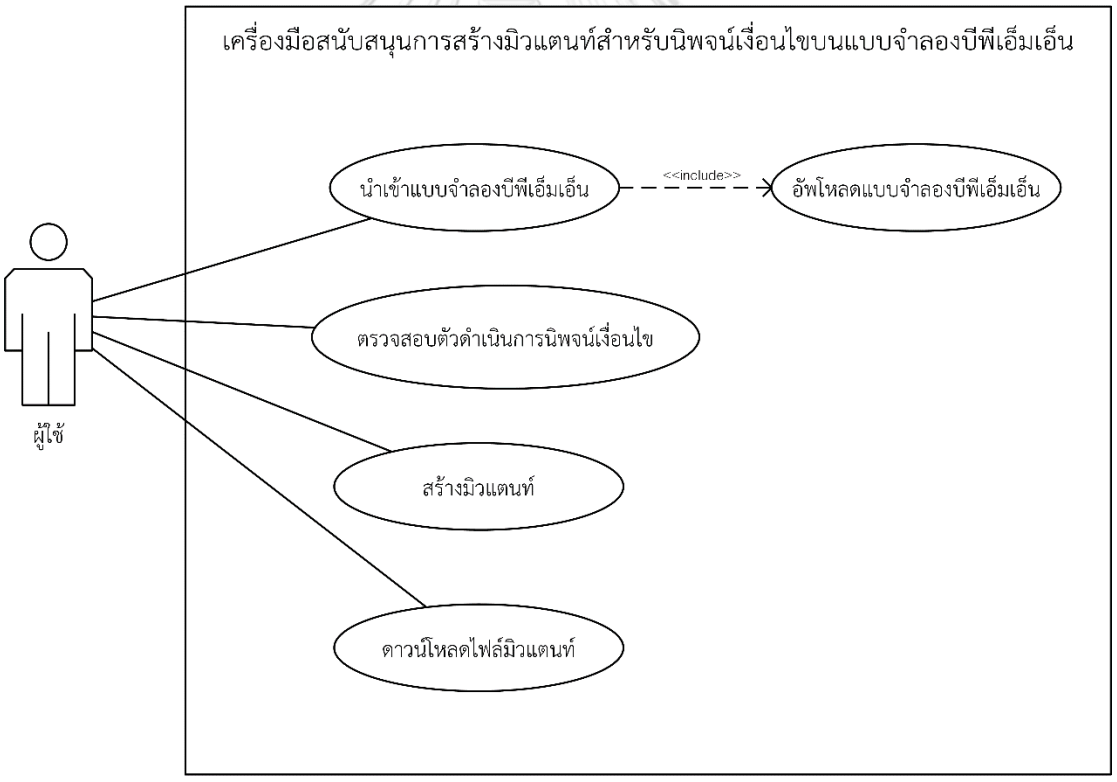
4.2 การออกแบบเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

การออกแบบเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ จะอธิบายด้วยแผนภาพยูสเคสเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และฟังก์ชันการทำงานของระบบ จากนั้นแสดงให้เห็นขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือด้วยแผนภาพกิจกรรม สำหรับการพัฒนาเครื่องมือแสดงให้เห็นโครงสร้างข้อมูลด้วยแผนภาพคลาส ความสัมพันธ์ภายในของแต่ละคลาสนั้นจะนำเสนอด้วยแผนภาพลำดับ และใช้แผนภาพการติดตั้งแสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรม

4.2.1 แผนภาพยูสเคส

ผู้ใช้งานเครื่องมือมีปฏิสัมพันธ์กับฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ถูกแสดงด้วยแผนภาพยูสเคส ดังรูปที่ 4-13 ซึ่งแผนภาพยูสเคสประกอบไปด้วย 5 ยูสเคส คือ 1) นำเข้าไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 2) อัพโหลดไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น 3) ตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข 4) สร้างมิวแตนท์ และ 5) ดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ ซึ่งการนำเข้าไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นผู้ใช้จะเลือกไฟล์เพื่อนำเข้าสู่เครื่องมือ ซึ่งมีรายละเอียดยูสเคสแสดงดัง

ตารางที่ 4-1 เมื่อผู้ใช้ได้นำเข้าไฟล์แล้วเครื่องมือจะทำการอัพโหลดไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นโดยจะมีรายละเอียดยูสเคสแสดงดังตารางที่ 4-2 จากนั้นผู้ใช้ตรวจสอบตัวดำเนินการในไฟล์ที่นำเข้าด้วยยูสเคสตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข ซึ่งมีรายละเอียดยูสเคสแสดงไว้ในตารางที่ 4-3 เมื่อผู้ใช้ต้องการสร้างไฟล์มิวแตนท์ ซึ่งมีรายละเอียดยูสเคสไว้ในตารางที่ 4-4 และหลังจากที่เครื่องมือได้ทำการสร้างมิวแตนท์แล้วผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ ซึ่งมีรายละเอียดยูสเคสในตารางที่ 4-5



รูปที่ 4-13 แผนภาพยูสเคสของเครื่องมือ

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดยูสเคสนำเข้าไฟล์แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

ชื่อยูสเคส	นำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
แอคเตอร์	ผู้ใช้
รายละเอียดยูสเคส	นำเข้าไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อตรวจสอบตัวดำเนินการ
ยูสเคสที่สัมพันธ์	Include: อัพโหลดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
เงื่อนไขก่อนหน้า	
ขั้นตอน	1. เครื่องมือแสดงหน้าต่างสำหรับเลือกไฟล์ 2. ผู้ใช้เลือกไฟล์ ที่ต้องการ 3. ผู้ใช้กดปุ่ม Import
เงื่อนไขภายหลัง	เครื่องมืออัพโหลดไฟล์สู่ระบบ

ตารางที่ 4-2 รายละเอียดยูสเคสอัพโหลดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

ชื่อยูสเคส	อัพโหลดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
แอคเตอร์	เครื่องมือ
รายละเอียดยูสเคส	เครื่องมืออัพโหลดไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่ได้และจัดเก็บรายละเอียดข้อมูลภายในไฟล์ไว้ในฐานข้อมูล
ยูสเคสที่สัมพันธ์	-
เงื่อนไขก่อนหน้า	ผู้ใช้นำเข้าแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสู่เครื่องมือ
ขั้นตอน	1. เครื่องมืออัพโหลดเอกซ์เอ็มแอลของ BPMN 2.0 สู่พื้นที่ภายในเครื่องมือ 2. เครื่องมืออ่านไฟล์เอกซ์เอ็มแอล 3. เครื่องมือสร้างรหัสไฟล์ลงในฐานข้อมูล 4. เครื่องมือจัดเก็บรายละเอียดไฟล์ลงในฐานข้อมูล
เงื่อนไขภายหลัง	-

ตารางที่ 4-3 รายละเอียดยูสเคสตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข

ชื่อยูสเคส	ตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข
แอคเตอร์	ผู้ใช้
รายละเอียดยูสเคส	ผู้ใช้เรียกการตรวจสอบจากเครื่องมือและเครื่องมือแสดงผลการตรวจสอบแก่ผู้ใช้
ยูสเคสที่สัมพันธ์	-
เงื่อนไขก่อนหน้า	เครื่องมืออัพโหลดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นแล้วเสร็จ
ขั้นตอน	1. ผู้ใช้เรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการนิพจน์เงื่อนไข 2. เครื่องมือเรียกข้อมูลรายละเอียดจากฐานข้อมูล 3. เครื่องมืออ่านค่ารายละเอียดจากฐานข้อมูล 4. เครื่องมือเปรียบเทียบตัวดำเนินการกับตัวดำเนินการมิวเทชัน 5. เครื่องมือจัดเก็บตำแหน่งที่ตัวดำเนินการมีประเภทตรงกัน 6. เครื่องมือแสดงผลรายการตำแหน่งที่พบทั้งหมดแก่ผู้ใช้
เงื่อนไขภายหลัง	-

ตารางที่ 4-4 รายละเอียดยูสเคสสร้างมิวแตนท์

ชื่อยูสเคส	สร้างมิวแตนท์
แอคเตอร์	ผู้ใช้
รายละเอียดยูสเคส	ผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่ต้องการสร้างมิวแตนท์แก่เครื่องมือ
ยูสเคสที่สัมพันธ์	-
เงื่อนไขก่อนหน้า	ไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้รับการตรวจสอบตัวดำเนินการแล้ว
ขั้นตอน	1. ผู้ใช้เลือกตำแหน่งจากหน้าจอเครื่องมือ 2. ผู้ใช้กดปุ่ม “Generate” 3. เครื่องมืออ่านค่าตำแหน่งที่ส่งมาจากผู้ใช้ 4. เครื่องมือสร้างมิวแตนท์ให้ครบทุกตำแหน่ง 4.1. เครื่องมือเรียกรายละเอียดตำแหน่งจากฐานข้อมูล 4.2. เครื่องมือเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการทีละตำแหน่ง 4.3. เครื่องมือจัดเก็บมิวแตนท์ทีละตำแหน่งลงในฐานข้อมูล 5. เครื่องมือแสดงรายละเอียดมิวแตนท์ที่สร้างขึ้น

เงื่อนไขภายหลัง	-

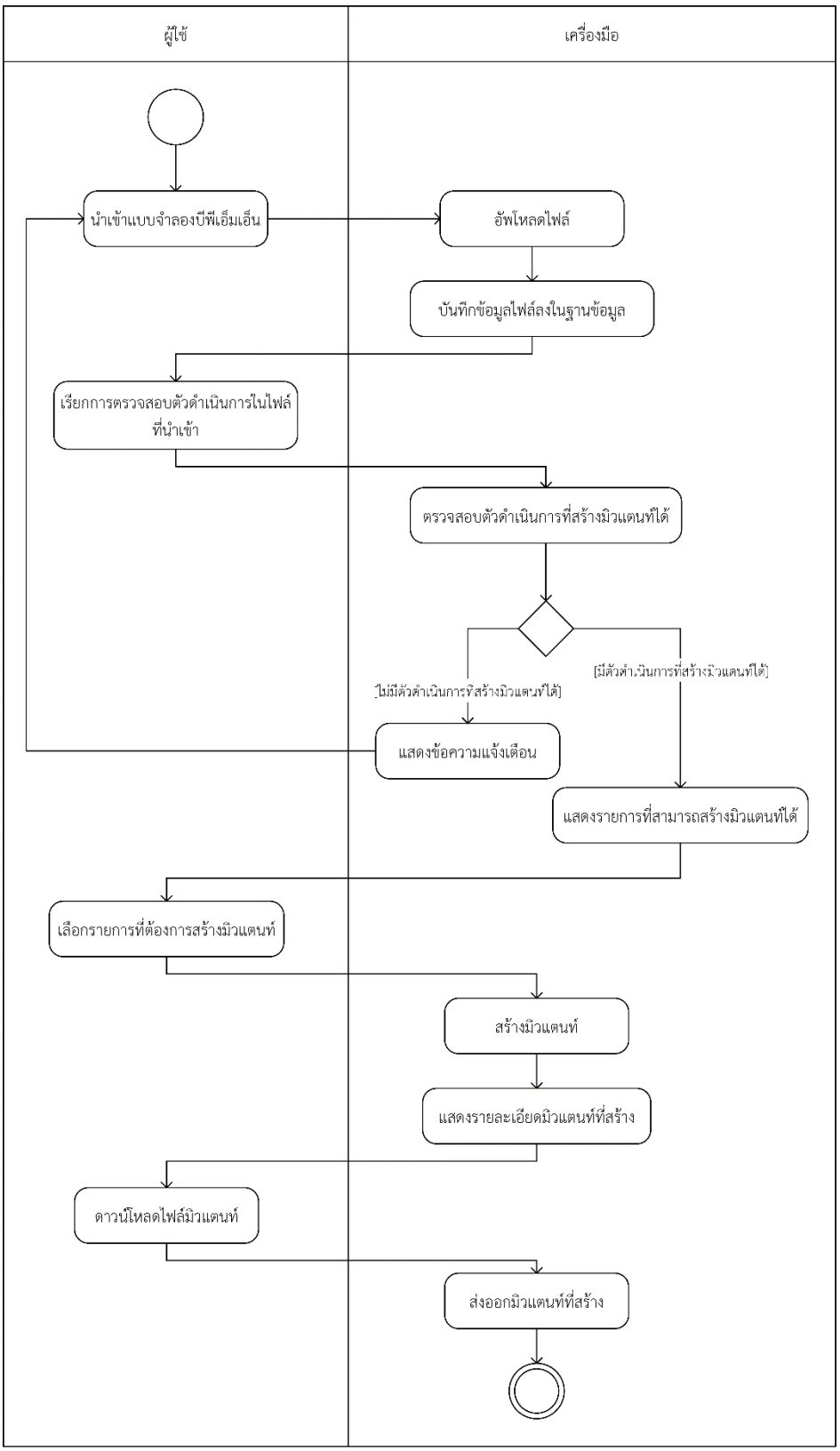
ตารางที่ 4-5 รายละเอียดยูสเคสดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์

ชื่อยูสเคส	ดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์
แอคเตอร์	ผู้ใช้
รายละเอียดยูสเคส	ผู้ใช้ดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ที่สร้างแล้ว
ยูสเคสที่สัมพันธ์	-
เงื่อนไขก่อนหน้า	เครื่องมือสร้างมิวแตนท์แล้วเสร็จ
ขั้นตอน	1. ผู้ใช้กดปุ่ม “Export” 2. เครื่องมือเรียกไฟล์มิวแตนท์จากฐานข้อมูล 3. เครื่องมือสร้างและบีบอัดไฟล์มิวแตนท์ 4. เครื่องมือส่งออกไฟล์มิวแตนท์ 5. ผู้ใช้จัดเก็บไฟล์มิวแตนท์
เงื่อนไขภายหลัง	-

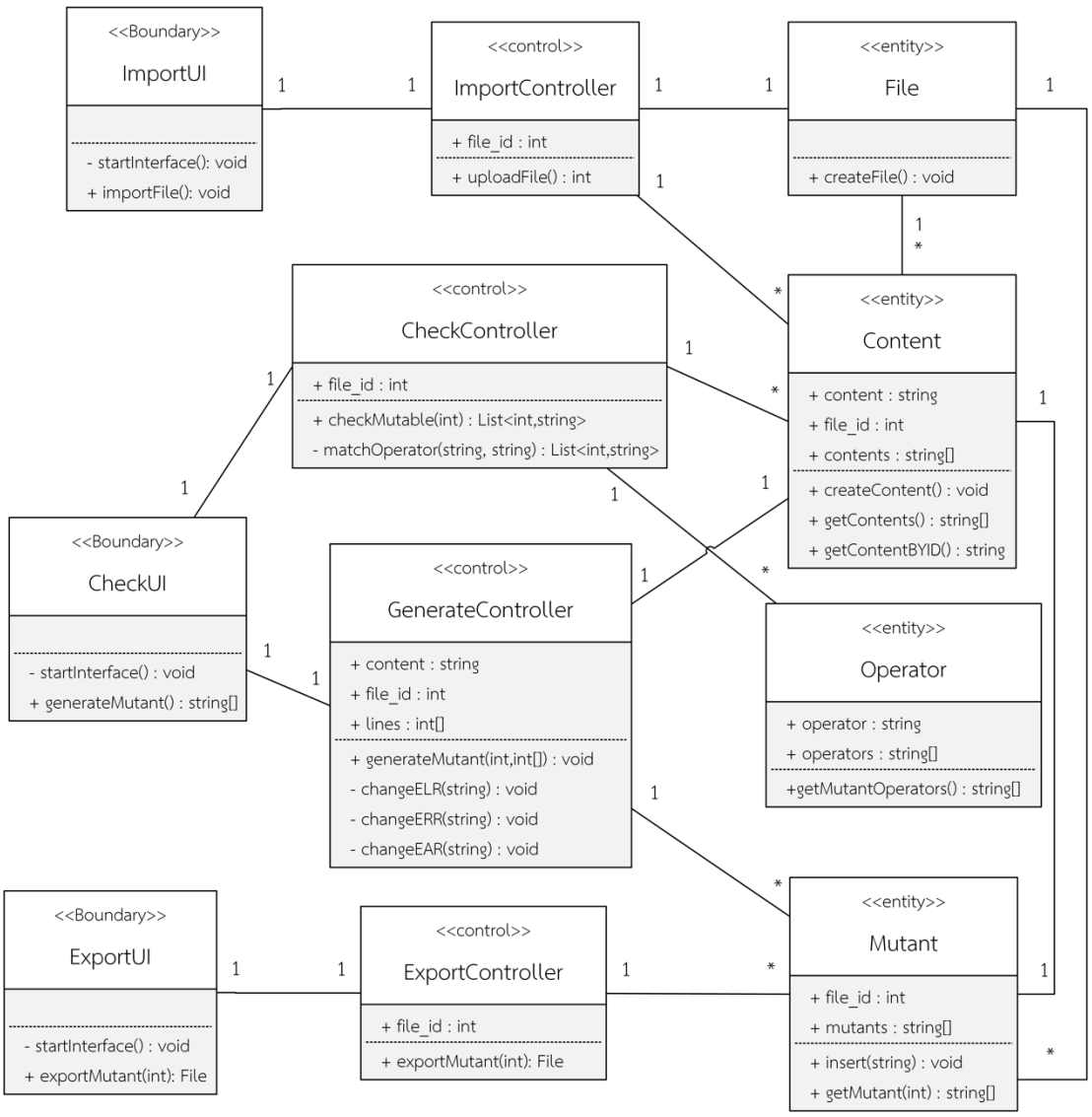
4.2.2 แผนภาพกิจกรรม

ขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือที่เป็นภาพรวมถูกอธิบายด้วยแผนภาพกิจกรรม ในหัวข้อนี้แผนภาพกิจกรรมของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ ถูกอธิบายไว้ในรูปที่ 4-14 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ โดยแผนภาพจะอธิบายการทำงานระหว่างผู้ใช้และเครื่องมือ เริ่มต้นจากผู้ใช้นำเข้าไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น เมื่อนำเข้าเสร็จเครื่องมือจะอัพโหลดไฟล์ไปยังในเครื่องมือ เครื่องมือจะอ่านไฟล์ที่ผู้ใช้นำเข้ามาเพื่อบันทึกข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ลงไปจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล เมื่อจัดเก็บแล้วผู้ใช้สามารถเรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการในไฟล์ที่นำเข้า เครื่องมือทำการตรวจสอบด้วยการเรียกรายละเอียดไฟล์และตรวจสอบกับตัวดำเนินการมิวเทชันในฐานข้อมูลหากพบตัวดำเนินการที่ตรงกัน เครื่องมือจะทำการจัดเก็บตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ จากนั้นเครื่องมือแสดงรายการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ให้แก่ผู้ใช้ หากเครื่องมือไม่พบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ ระบบจะแสดงข้อความแจ้งเตือนแล้วผู้ใช้กลับไปยังการนำเข้าไฟล์ใหม่อีกครั้ง เมื่อผู้ใช้เลือกรายการที่ต้องการสร้างมิวแตนท์แล้ว เครื่องมือจะทำการสร้างมิวแตนท์ด้วยการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดทีละตำแหน่ง จากนั้นจัดเก็บรายละเอียดที่เปลี่ยนแปลงนั้นลงในฐานข้อมูล จากนั้นเครื่องมือแสดงรายละเอียดมิวแตนท์ที่สร้างขึ้นทั้งหมด จากนั้นผู้ใช้ดาวน์โหลดมิวแตนท์ ซึ่งเครื่องมือทำการสร้างไฟล์มิวแตนท์และบีบอัดไฟล์มิวแตนท์แล้วส่งออกแก่ผู้ใช้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-14 แผนภาพกิจกรรมเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-15 แผนภาพคลาสเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น

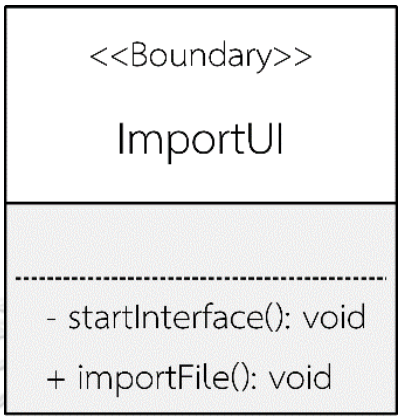
4.2.3 แผนภาพคลาส

โครงสร้างการทำงานและความสัมพันธ์ของแต่ละคลาสถูกแสดงด้วยแผนภาพคลาส โดยเครื่องมือสร้างมิวแตนท์นั้นแสดงการทำงานของคลาสและความสัมพันธ์ไว้ดังแสดงในรูปที่ 4-15 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างคลาสขอบเขต (Boundary) กับคลาสควมคุม (Control) และคลาสควบคุมกับคลาสเอ็นทิตี (Entity)

การอธิบายคลาสในรูปที่ 4-15 นั้นใช้วิธีอธิบายคลาสแบบบีซีอี (BCE หรือ Boundary Control Entity) ซึ่งคลาสขอบเขตคืออ๊อบเจกต์ (Object) ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนต่อประสานเชื่อมต่อไปยังผู้ใช้เครื่องมือ คลาสควบคุมคืออ๊อบเจกต์ที่ประมวลผลหลักซึ่งเป็นที่ประมวลผลข้อมูลจากคลาสขอบเขตและคลาสเอ็นทิตี และคลาสเอ็นทิตีคืออ๊อบเจกต์ที่ใช้จัดการข้อมูลในเครื่องมือ

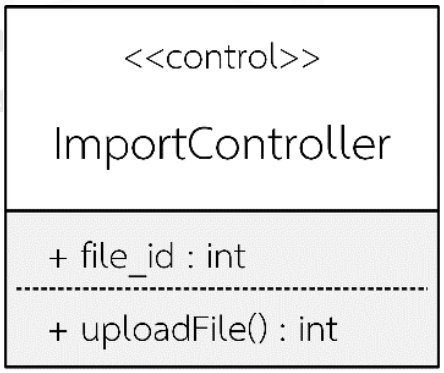
แผนภาพคลาสในเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ถูกแบ่งเป็นคลาสขอบเขตจำนวน 3 คลาส คลาสควบคุมจำนวน 4 คลาส และคลาสเอ็นทิตีจำนวน 4 คลาส ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

1) **ImportUI** เป็นคลาสขอบเขตที่ใช้เมื่อประสานงานระหว่างเครื่องมือและผู้ใช้ ซึ่งคลาสจะให้ผู้ใช้เลือกไฟล์สำหรับนำเข้าสู่เครื่องมือ โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 โครงสร้างคลาสขอบเขต ImportUI

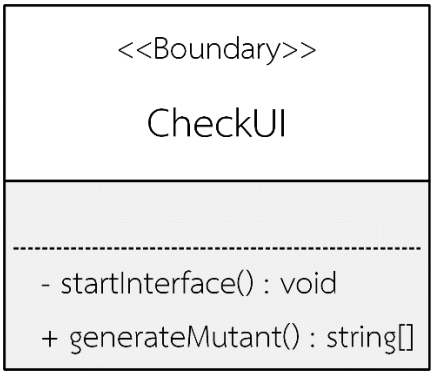
2) **ImportController** เป็นคลาสควบคุมที่ถูกเรียกใช้เมื่อผู้ใช้เริ่มต้นเลือกไฟล์จากส่วนต่อประสานและคลาสอัพโหลดไฟล์ จากนั้นคลาสอ่านรายละเอียดภายในไฟล์ แล้วคลาสสร้างไฟล์ไว้ในฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี File และจัดเก็บรายละเอียดของไฟล์ไว้ในฐานข้อมูลผ่านคลาสคลาสเอ็นทิตี Content โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-17



รูปที่ 4-17 โครงสร้างคลาสควบคุม ImportController

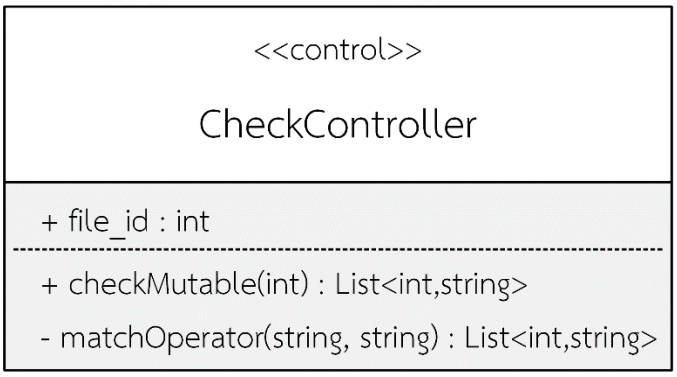
3) **CheckUI** เป็นคลาสขอบเขตที่ใช้ประสานงานระหว่างเครื่องมือและผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้เรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการมิวเทชันในไฟล์ที่นำเข้า แสดงผลรายการตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ หลังจาก CheckController ได้ทำการตรวจสอบแล้ว และเชื่อมต่อไปยัง

GenerateController เมื่อผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่ต้องการสร้างมิวแตนท์ โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-18 โครงสร้างคลาสขอบเขต CheckUI

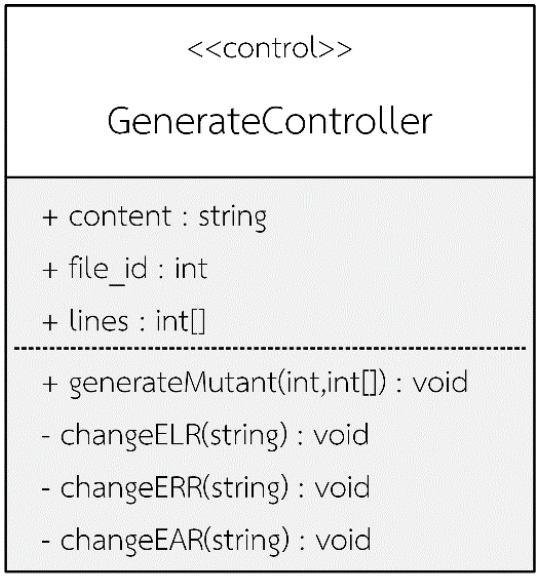
4) **CheckController** เป็นคลาสควบคุมที่ถูกเรียกใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการตรวจสอบตัวดำเนินการหลังจากที่ผู้ใช้ร้องขอการตรวจสอบตัวดำเนินการมิวเทชันในไฟล์ที่นำเข้า คลาสจะทำการเรียกคลาสขอบเขต CheckUI และเรียกค่ารายละเอียดจากฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Content จากนั้น คลาสจะทำการตรวจสอบแต่ละตำแหน่งของตัวดำเนินการเมื่อตรงกับตัวดำเนินการมิวเทชันซึ่งถูกเรียกผ่านคลาสเอ็นทิตี Operator คลาสจะจัดเก็บตำแหน่งที่ตรงกันและแสดงผลรายการตำแหน่งกลับไปยังคลาสขอบเขต CheckUI โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-19 โครงสร้างคลาสควบคุม CheckController

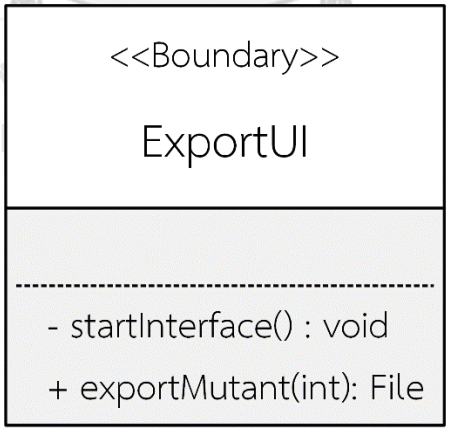
5) **GenerateController** เป็นคลาสควบคุมที่ถูกเรียกใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการสร้างมิวแตนท์หลังจากที่ผู้ใช้เลือกรายการตำแหน่งที่ต้องการจากคลาสขอบเขต CheckUI คลาสจะรับค่า

แล้วเปลี่ยนตัวดำเนินการทีละตำแหน่งและจัดเก็บรายละเอียดที่ถูกเปลี่ยนไว้ในฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Mutant โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-20



รูปที่ 4-20 โครงสร้างคลาสควบคุม GenerateController

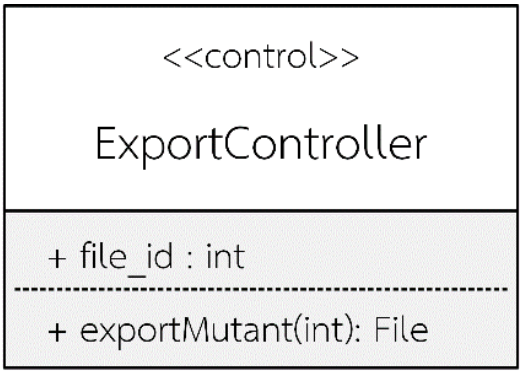
6) **ExportUI** เป็นคลาสขอบเขตที่ประสานงานระหว่างเครื่องมือกับผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้ต้องการดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ โดยจะแสดงรายการมิวแตนท์ที่ถูกสร้างและปุ่มดาวน์โหลดไฟล์ โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21 โครงสร้างคลาสขอบเขต ExportUI

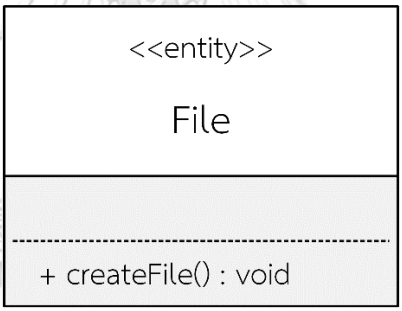
7) **ExportController** เป็นคลาสควบคุมที่ถูกเรียกใช้เมื่อผู้ใช้ต้องการสร้างไฟล์มิวแตนท์และส่งออกไฟล์ โดยเมื่อคลาสขอบเขต ExportUI เรียกแสดงรายการมิวแตนท์ที่สร้างขึ้น คลาสจะทำการเรียกรายการจากฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Mutant และเมื่อคลาสขอบเขต

ExportUI เรียกดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ คลาสจะทำการสร้างไฟล์มิวแตนท์และบีบอัดไฟล์แล้วส่งออกกลับไปยังคลาสขอบเขต ExportUI โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 โครงสร้างคลาสควบคุม ExportController

8) **File** เป็นคลาสเอ็นทิตี ที่ใช้สำหรับ สร้างและเรียกดูข้อมูลไฟล์ โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-23



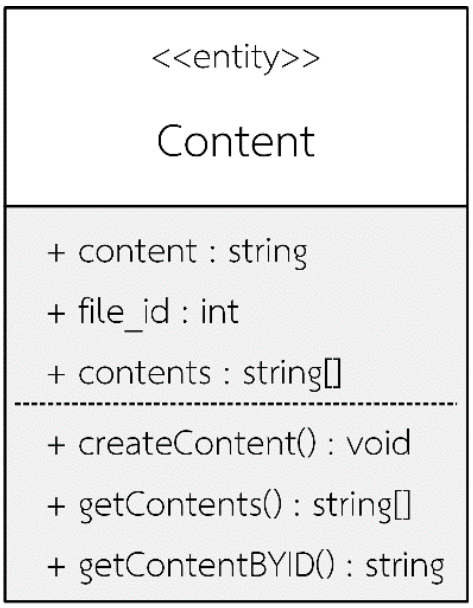
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-23 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี File

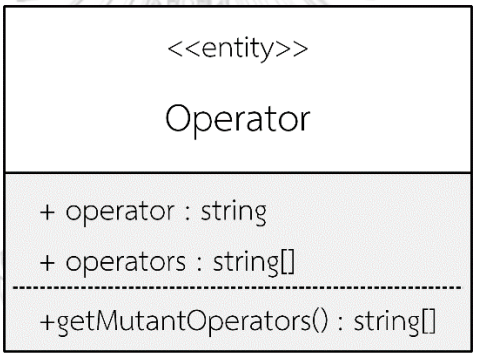
9) **Content** เป็นคลาสเอ็นทิตี ที่ใช้สำหรับจัดการข้อมูลรายละเอียดภายในไฟล์ โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-24

10) **Operator** เป็นคลาสเอ็นทิตี ที่ใช้สำหรับการเรียกดูตัวดำเนินการมิวเทชันและชนิดของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-25

11) **Mutant** เป็นคลาสเอ็นทิตี ที่ใช้สำหรับจัดการข้อมูลมิวแตนท์ที่สร้าง โดยโครงสร้างคลาสมีลักษณะดังรูปที่ 4-26

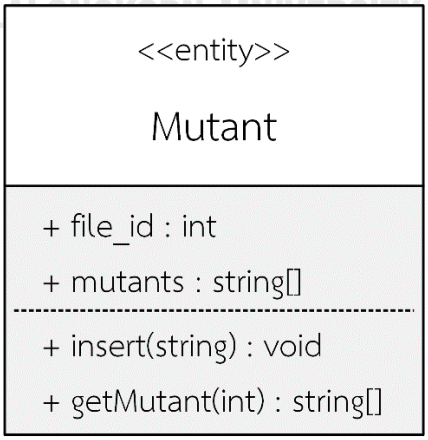


รูปที่ 4-24 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Content



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-25 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Operator



รูปที่ 4-26 โครงสร้างคลาสเอ็นทิตี Mutant

4.2.4 แผนภาพลำดับ

จากแผนภาพคลาสแสดงให้เห็นโครงสร้างจากความสัมพันธ์ของคลาสที่เป็นองค์ประกอบ โดยความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างคลาสนั้นจะถูกแสดงด้วยแผนภาพลำดับ ซึ่งแผนภาพลำดับของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นจะแสดงลำดับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอ๊อบเจกต์ ตามการทำงานของเครื่องมือดังต่อไปนี้

1) แผนภาพลำดับตรวจสอบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้

การตรวจสอบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้มีลำดับปฏิสัมพันธ์ระหว่างอ๊อบเจกต์ในเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ตามรูปที่ 4-27 ซึ่งเริ่มต้นจากผู้ใช้ร้องขอการตรวจสอบผ่านส่วนต่อประสานไปยังคลาสควบคุม ซึ่งในกรณีนี้คือคลาสควบคุม CheckController โดยเป้าหมายของการทำงานนี้ต้องการแสดงรายการตำแหน่งที่สามารถทำการสร้างมิวแตนท์ได้แก่ผู้ใช้

เมื่อคลาสควบคุมถูกร้องขอให้ตรวจสอบตำแหน่งที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ คลาสควบคุมจะร้องขอข้อมูลรายละเอียดไฟล์จากฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Content และร้องขอข้อมูลตัวดำเนินการมิวเทชันจากฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Operator หลังจากนั้นเครื่องมือจะนำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลมาตรวจสอบเทียบเคียงทีละรายละเอียดของไฟล์ต้นฉบับด้วยเมธอด (Method) matchOperator เมื่อมีตำแหน่งใดมีตัวดำเนินการตรงกับตัวดำเนินการมิวเทชัน คลาสขอบเขตจะทำการจัดเก็บและส่งรายการดังกล่าวกลับไปยังผู้ใช้ผ่านส่วนต่อประสานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) แผนภาพลำดับสร้างมิวแตนท์

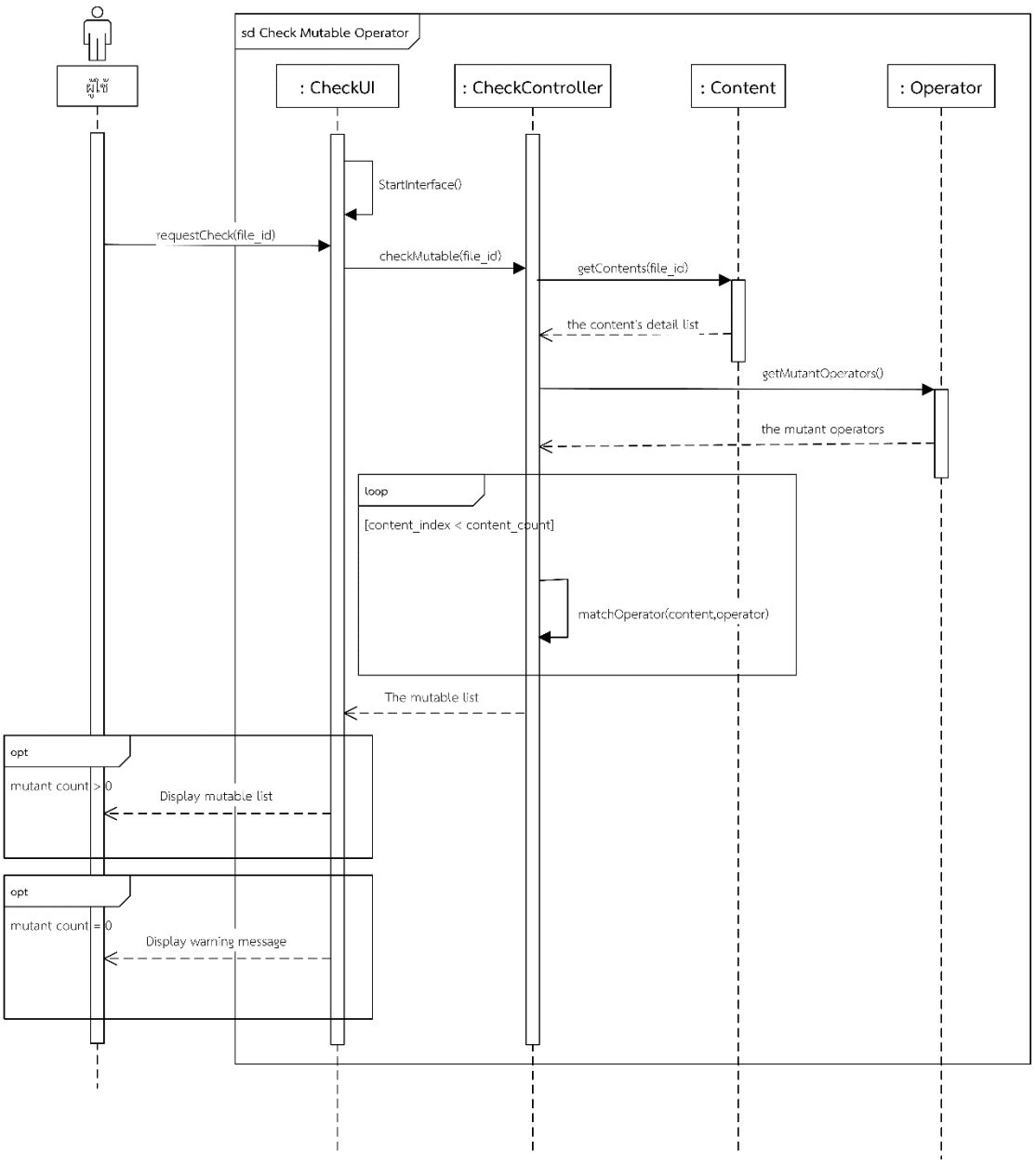
การสร้างมิวแตนท์ของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์บนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นมีลำดับตามแผนภาพลำดับสร้างมิวแตนท์ตามรูปที่ 4-28 ซึ่งลำดับการสร้างมิวแตนท์จะเริ่มต้นขึ้นเมื่อผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่ต้องการสร้างมิวแตนท์ผ่านส่วนต่อประสานแล้วร้องขอการสร้างมิวแตนท์ผ่าน generateMutant(file_id, lines) จากนั้นคลาสควบคุมจะทำการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดต้นแบบทีละบรรทัด โดยเริ่มทำการร้องขอข้อมูลรายละเอียดแต่ละบรรทัดของรายละเอียดต้นแบบจากฐานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตี Content จากนั้นจะทำการเปลี่ยนตัวดำเนินการทีละประเภทเริ่มต้นจากตัวดำเนินการเชิงตรรกะด้วย changeELR(content) แล้วจัดเก็บมิวแตนท์ที่ได้ไปยังฐานข้อมูล จากนั้นเปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ด้วย changeERR (content) แล้วจัดเก็บมิวแตนท์ที่ได้ไปยังฐานข้อมูล ท้ายที่สุดเปลี่ยนตัว

ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ changeEAR(content) แล้วจัดเก็บมิวแตนท์ที่ได้ไปยังฐานข้อมูล โดยที่การจัดเก็บมิวแตนท์ไปยังฐานข้อมูลจะถูกคลาสควบคุมร้องขอผ่านคลาสเอ็นทิตี Mutant เมื่อสร้างมิวแตนท์ครบตามเงื่อนไข คลาสควบคุมจะทำการร้องขอรายการมิวแตนท์ที่สร้างขึ้นนั้นอีกครั้งผ่านคลาสเอ็นทิตี Mutant จากนั้นส่งรายการมิวแตนท์ที่ได้กลับไปแสดงผลให้แก่ผู้ใช้ผ่านส่วนต่อประสานคลาสขอบเขต ExportUI เพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบและร้องขอการดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์ต่อไป

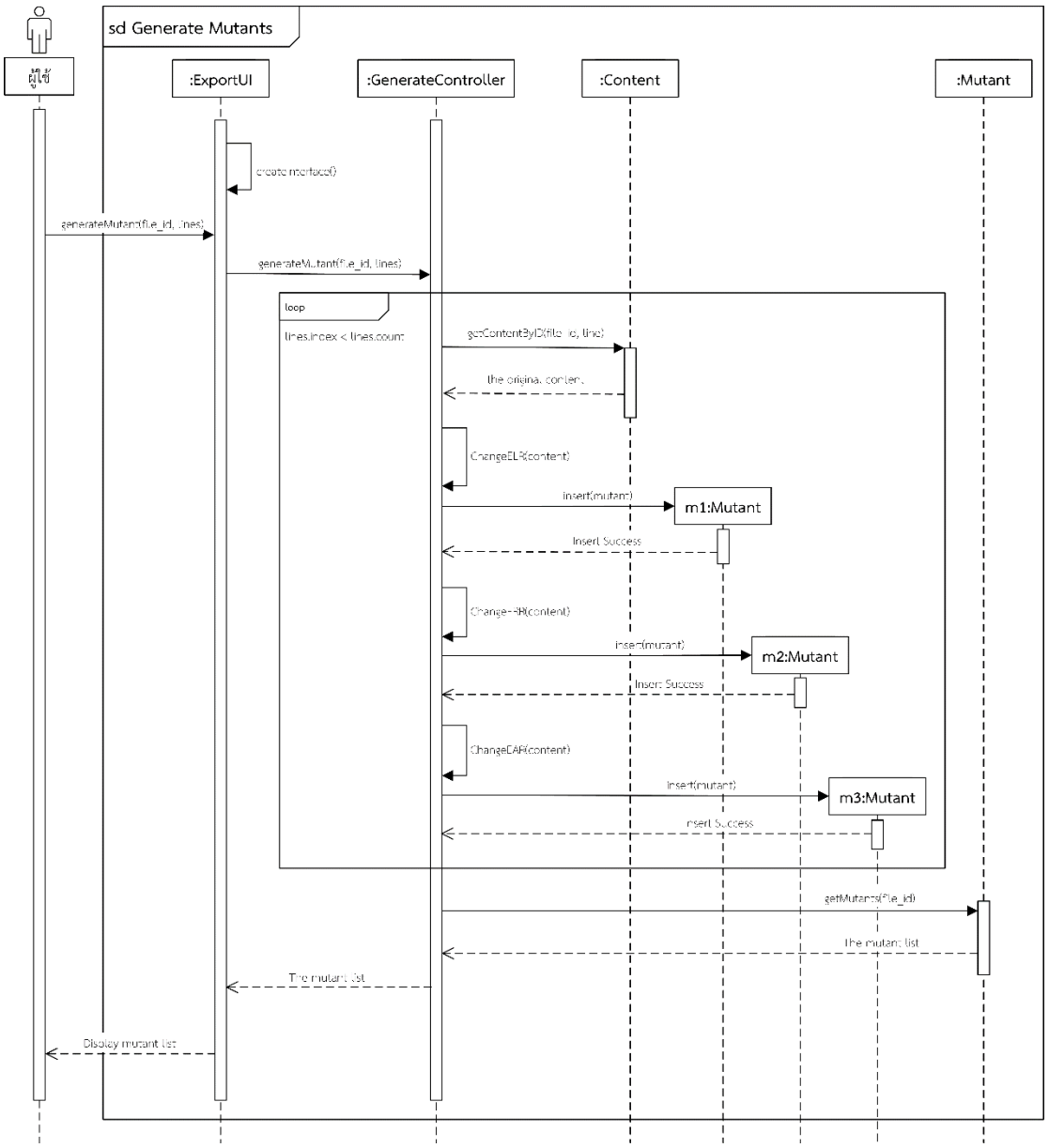
4.2.5 แผนภาพการติดตั้ง (Deployment Diagram)

เครื่องมือสร้างมิวแตนท์ตามโครงสร้างการพัฒนานั้นมีจุดประสงค์ให้มีความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้งาน จึงได้ออกแบบให้แยกส่วนระหว่างส่วนควบคุมให้อยู่ในรูปแบบเว็บเซอร์วิสที่รับค่าผ่านทาง HTTP และส่งค่าเป็น JSON ไปยังส่วนต่อประสาน เพื่อให้นักพัฒนาสามารถกำหนดคุณลักษณะพิเศษเพิ่มเติมของส่วนขอบเขตในอนาคต ดังนั้นจึงมีการแยกส่วนระหว่างคลาสส่วนควบคุมและส่วนขอบเขตให้ทำงานแยกกันและเชื่อมต่อกันด้วย JSON ทั้งนี้เครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นในเวอร์ชันนี้สามารถเรียกใช้งานส่วนต่อประสานได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ด้วย HTTP จากรูปที่ 4-29 แสดงให้เห็นว่าสถาปัตยกรรมของส่วนต่อประสานและส่วนควบคุมนั้นได้ถูกพัฒนาบนเทคโนโลยี MVC (Model-View-Controller) ภายใต้เฟรมเวิร์คภาษาพีเอชพี (PHP) ชื่อว่า Codeignitor ซึ่งถูกติดตั้งไว้บน Application Server ซึ่งส่วนควบคุมและส่วนต่อประสานจะอยู่ใน Application Server ที่แตกต่างกันและในส่วนการจัดการข้อมูลนั้น สถาปัตยกรรมแสดงให้เห็นว่ามีการใช้งานฐานข้อมูลผ่าน MySQL บน Database Server ในการจัดเก็บข้อมูล

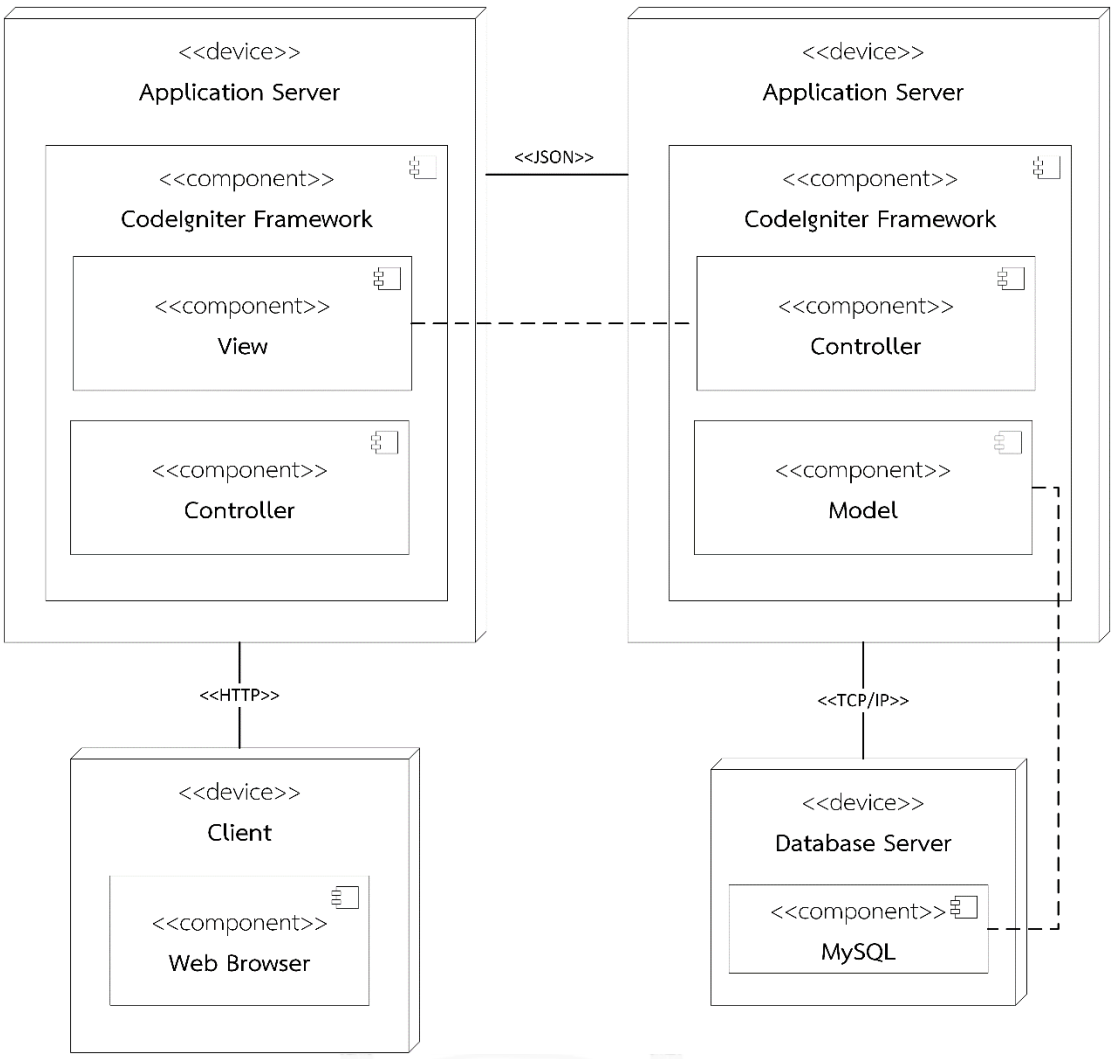
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-27 แผนภาพลำดับตรวจสอบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้



รูปที่ 4-28 แผนภาพลำดับสร้างมิวแตนท์ของเครื่องมือ



รูปที่ 4-29 แผนภาพการติดตั้งเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 การพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงสภาพแวดล้อมในการพัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น รวมไปถึงรายละเอียดโครงสร้างฐานข้อมูลและอธิบายลักษณะของส่วนต่อประสานของเครื่องมือ

4.3.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ

สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

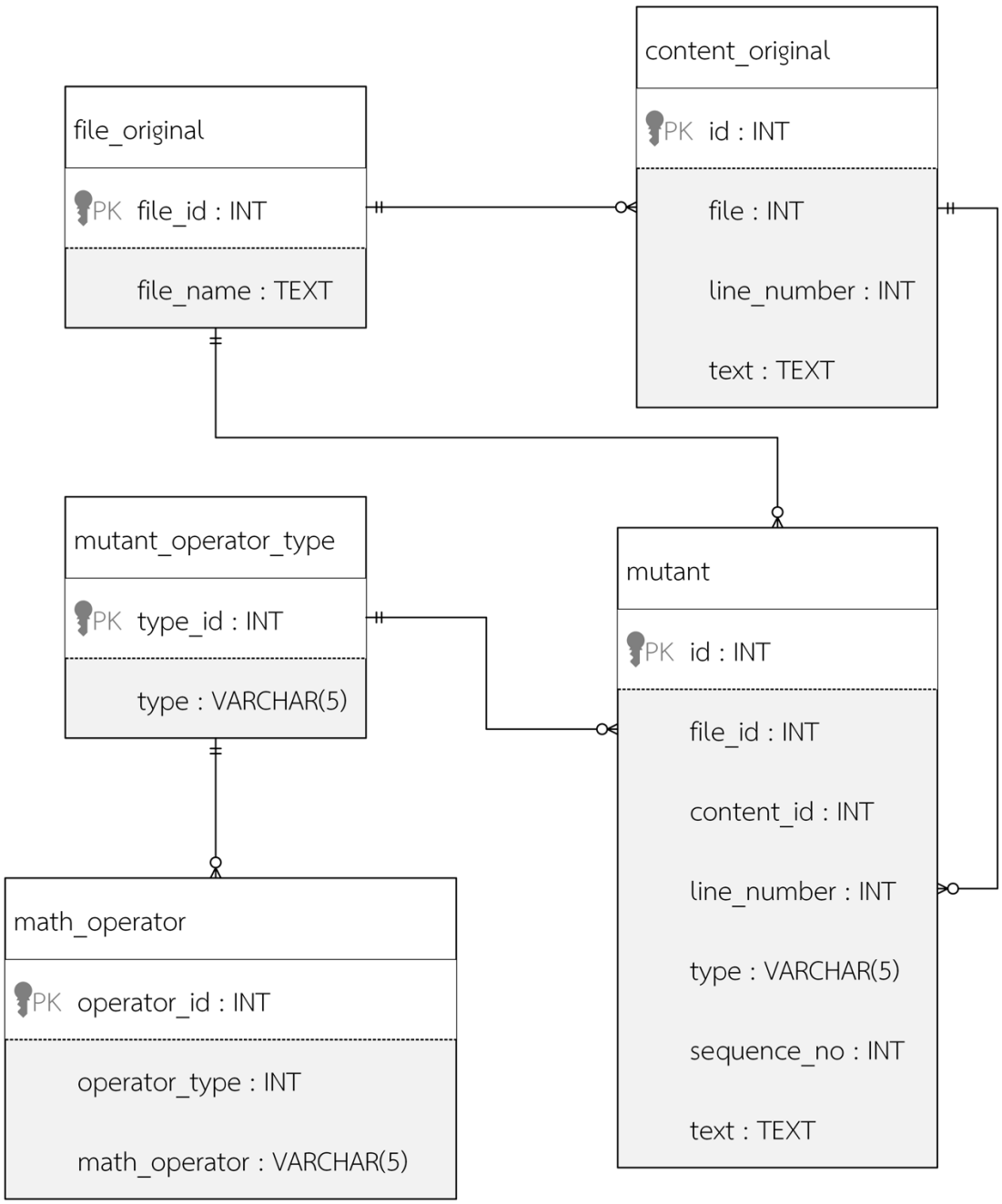
1) ฮาร์ดแวร์ (Hardware)
   - เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะหน่วยประมวลผลอินเทลคอร์ไอไฟว์ 2.7 กิกะเฮิรตซ์ (Intel Core i5 2.7GHz)
   - หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์หรือแรม (RAM) 4.0 กิกะไบต์ (4 GB)
   - ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) 1 เทระไบต์ (1 TB)
2) ซอฟต์แวร์ (Software)
   - ระบบปฏิบัติการ (Operating System) ไมโครซอฟต์วินโดวส์ 8.1 (64 บิต)
   - Visual Studio Code สำหรับสร้างและแก้ไขข้อความในการสร้างเว็บเซอร์วิสและส่วนต่อประสาน
   - XAMPP เวอร์ชัน 3.2.2 สำหรับจำลอง Application Server
   - ฐานข้อมูล MySQL เวอร์ชัน 10.1.28

4.3.2 โครงสร้างฐานข้อมูล

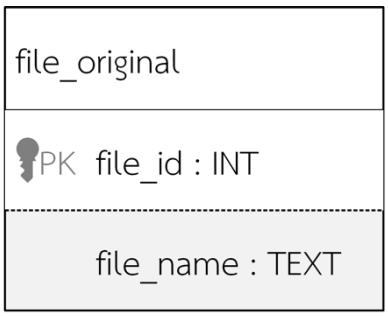
จากแผนภาพคลาสนั้นแสดงให้เห็นถึงการใช้งานข้อมูลผ่านคลาสเอ็นทิตีเพื่อจัดการข้อมูลในฐานข้อมูลโดยที่โครงสร้างฐานข้อมูลของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์มีทั้งหมด 5 ตารางและแต่ละตารางมีความสัมพันธ์กันตามแบบจำลองความสัมพันธ์เอ็นทิตี (ER Diagram) ดังรูปที่ 4-30

ตาราง file_original ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลไฟล์เพื่อใช้ในการอ้างอิงจุดเริ่มต้นของไฟล์ในเครื่องมือ มีแอตทริบิวต์ (Attribute) คือ file_id เป็นคีย์หลักและ file_name สำหรับจัดเก็บชื่อไฟล์ ดังแสดงในรูปที่ 4-31

Chulalongkorn University

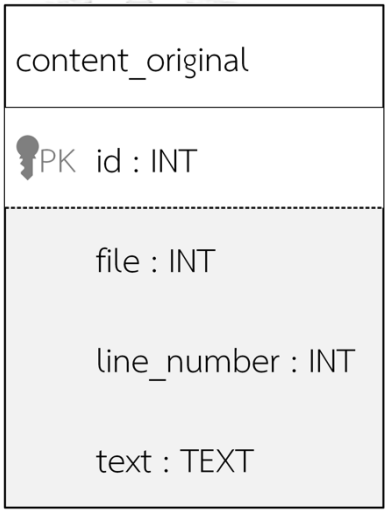


รูปที่ 4-30 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างเอ็นทิตีเครื่องมือสร้างมิวแตนท์



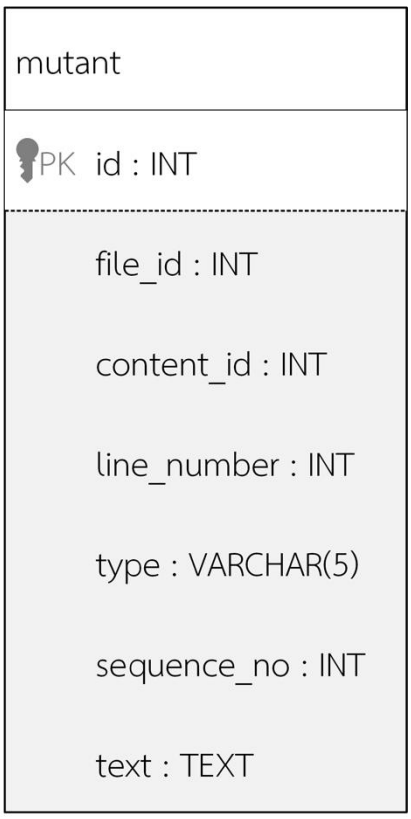
รูปที่ 4-31 ตาราง file_original ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

ตาราง content_original ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดที่อยู่ในไฟล์ มีแอตทริบิวต์ คือ id เป็นคีย์หลัก, file เป็นคีย์นอกให้อ้างอิงถึงไฟล์, line_number จัดเก็บเลขที่ตำแหน่งของรายละเอียดในไฟล์ และ text จัดเก็บข้อมูลรายละเอียด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4-32

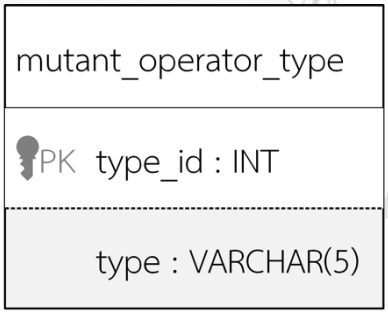


รูปที่ 4-32 ตาราง content_original ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

ตาราง mutant ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดมิวแตนท์ที่ถูกสร้าง มีแอตทริบิวต์ คือ id เป็นคีย์หลัก, file_id เป็นคีย์นอกใช้อ้างอิงถึงไฟล์, content_id เป็นคีย์นอกให้อ้างอิงถึงรายละเอียดในไฟล์, line_number ใช้จัดเก็บเลขที่ตำแหน่งมิวแตนท์ในไฟล์, type ใช้จัดเก็บชนิดของมิวแตนท์, sequence_no ใช้จักเก็บลำดับในการสร้างมิวแตนท์ และ text ใช้จัดเก็บรายละเอียดมิวแตนท์ ดังลักษณะในรูปที่ 4-33



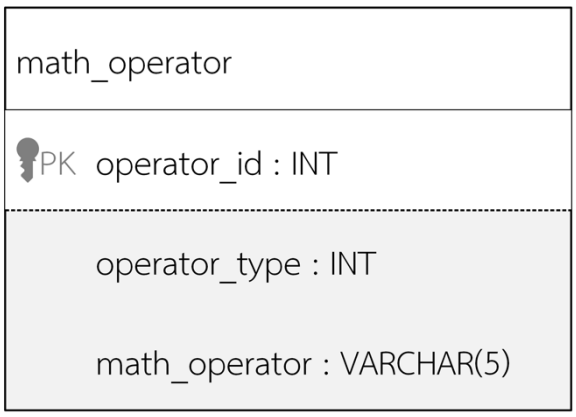
รูปที่ 4-33 ตาราง mutant ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์



รูปที่ 4-34 ตาราง mutant_operator_type ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

ตาราง mutant_operator_type ใช้อ้างอิงชนิดของมิวแตนท์ มีแอตทริบิวต์คือ type_id เป็นคีย์หลักและ type เป็นชื่อของชนิดมิวแตนท์ มีลักษณะดังรูปที่ 4-34

ตาราง math_operator ให้จัดเก็บตัวดำเนินการตามชนิดของมิวแตนท์ มีแอตทริบิวต์คือ operator_id เป็นคีย์หลัก, operator_type เป็นคีย์นอกใช้อ้างอิงชนิดของมิวแตนท์ และ math_operator ใช้เก็บตัวดำเนินการทั้งหมด มีลักษณะดังรูปที่ 4-35



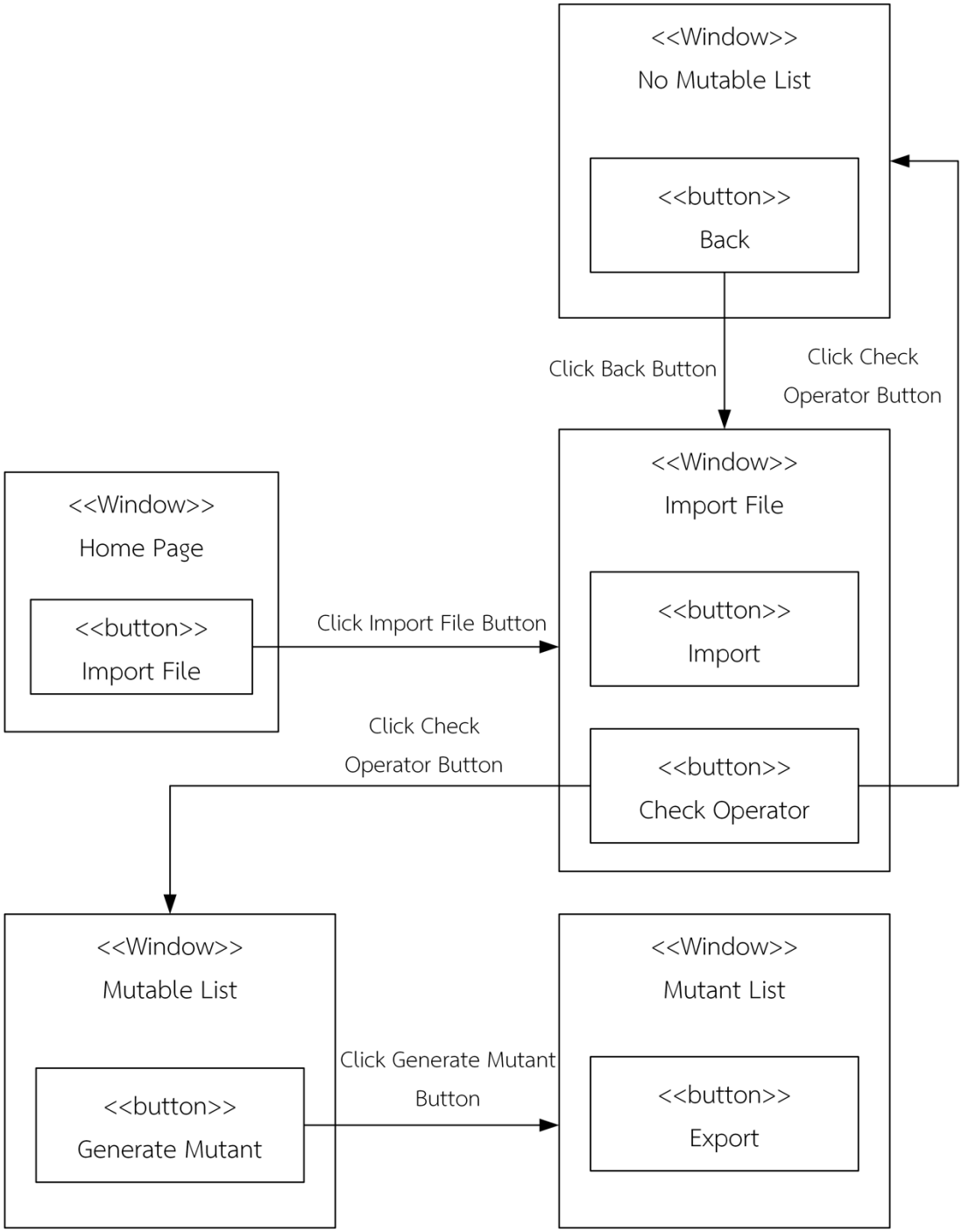
รูปที่ 4-35 ตาราง math_operator ในฐานข้อมูลเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

4.3.3 โครงสร้างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์

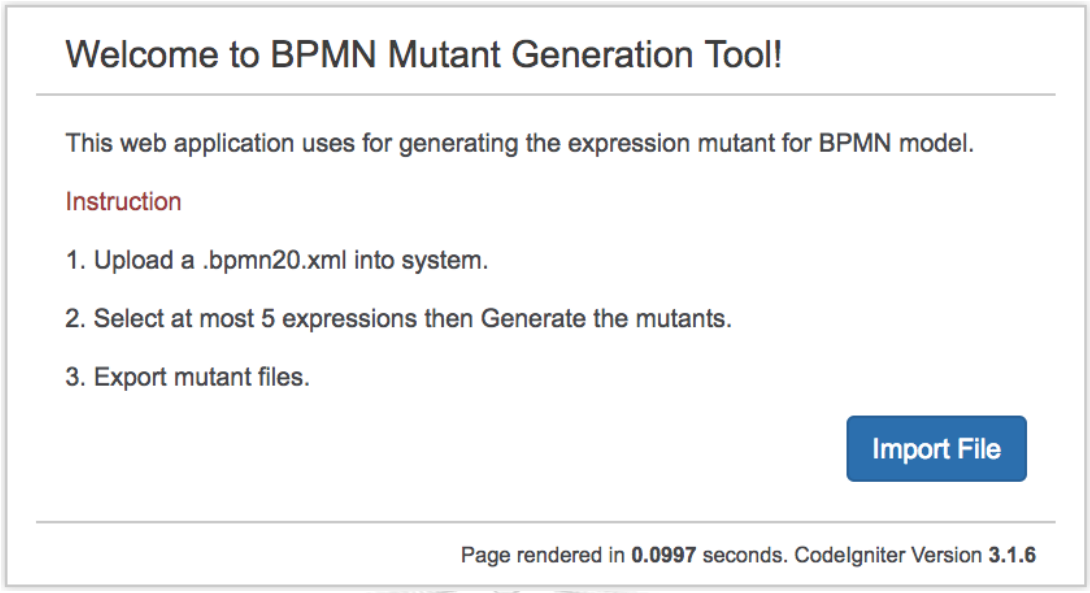
โครงสร้างส่วนต่อประสานของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพวินโดว์เนวิเกชัน (Window Navigation) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้และการทำงานขององค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 4-36 โดยรายละเอียดของส่วนประกอบในแผนภาพมีดังต่อไปนี้

1. **หน้าแรก** เป็นหน้าต่างหน้าแรก โดยแสดงคำแนะนำการใช้เครื่องมือเมื่อกดปุ่ม “Import File” เครื่องมือจะนำไปสู่หน้าต่างนำเข้าไฟล์ ดังรูปที่ 4-37
2. **หน้าต่างนำเข้าไฟล์** เป็นหน้าต่างสำหรับผู้ใช้เลือกไฟล์ที่ต้องการนำเข้าสู่เครื่องมือสร้างมิวแตนท์ ดังมีลักษณะดังรูปที่ 4-38

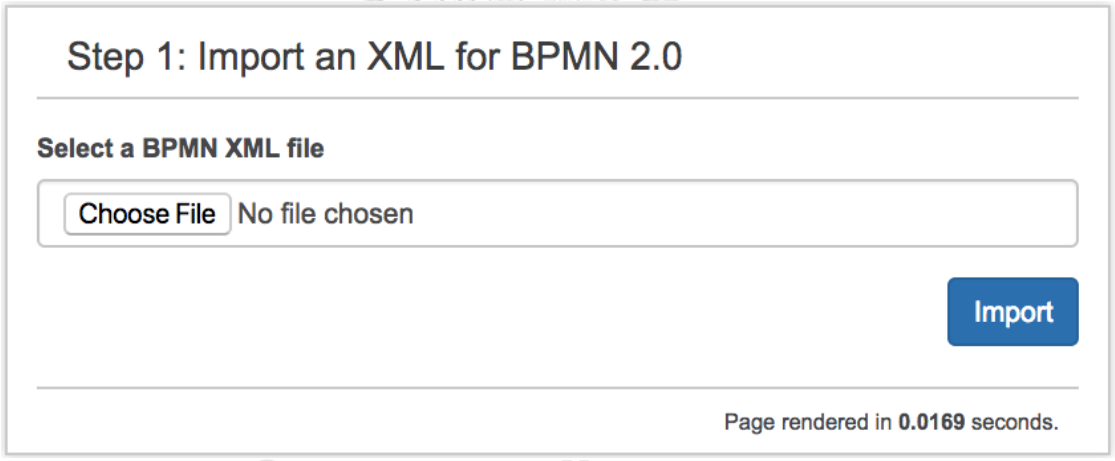
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-36 แผนภาพวินโดว์เนวิเกชันของเครื่องมือสร้างมิวแตนท์



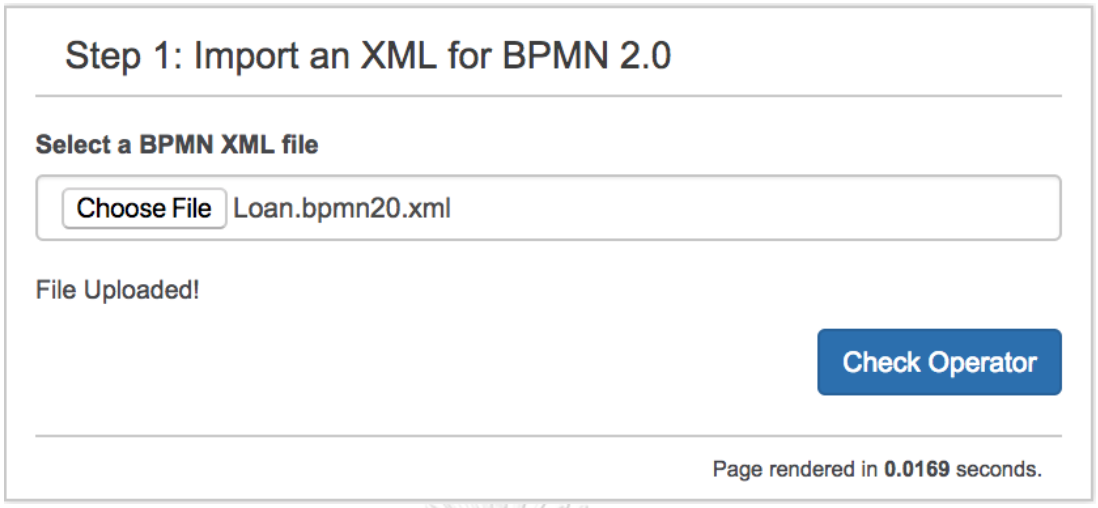
รูปที่ 4-37 ส่วนต่อประสานหน้าแรก



CHULALONGKORN UNIVERSITY

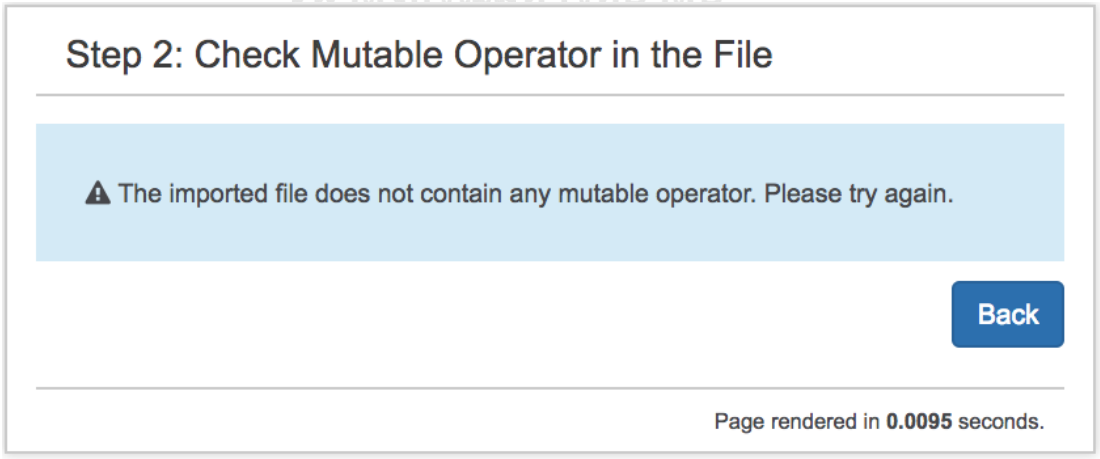
รูปที่ 4-38 ส่วนต่อประสานหน้าต่างนำเข้าไฟล์เอกซ์เอ็มแอล

3. **หน้าต่างเรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการ** เป็นหน้าต่างที่ต่อเนื่องจากหน้าต่างนำเข้าไฟล์ เมื่อผู้ใช้ต้องการเรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการผู้ใช้กดปุ่ม “Check Operator” ดังรูปที่ 4-39 หากเครื่องมือพบตัวดำเนินการที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้จะนำไปสู่ หน้าต่างแสดงรายการตำแหน่งตัวดำเนินการ หากไม่พบเครื่องมือจะแสดงหน้าต่างไม่พบตัวดำเนินการ

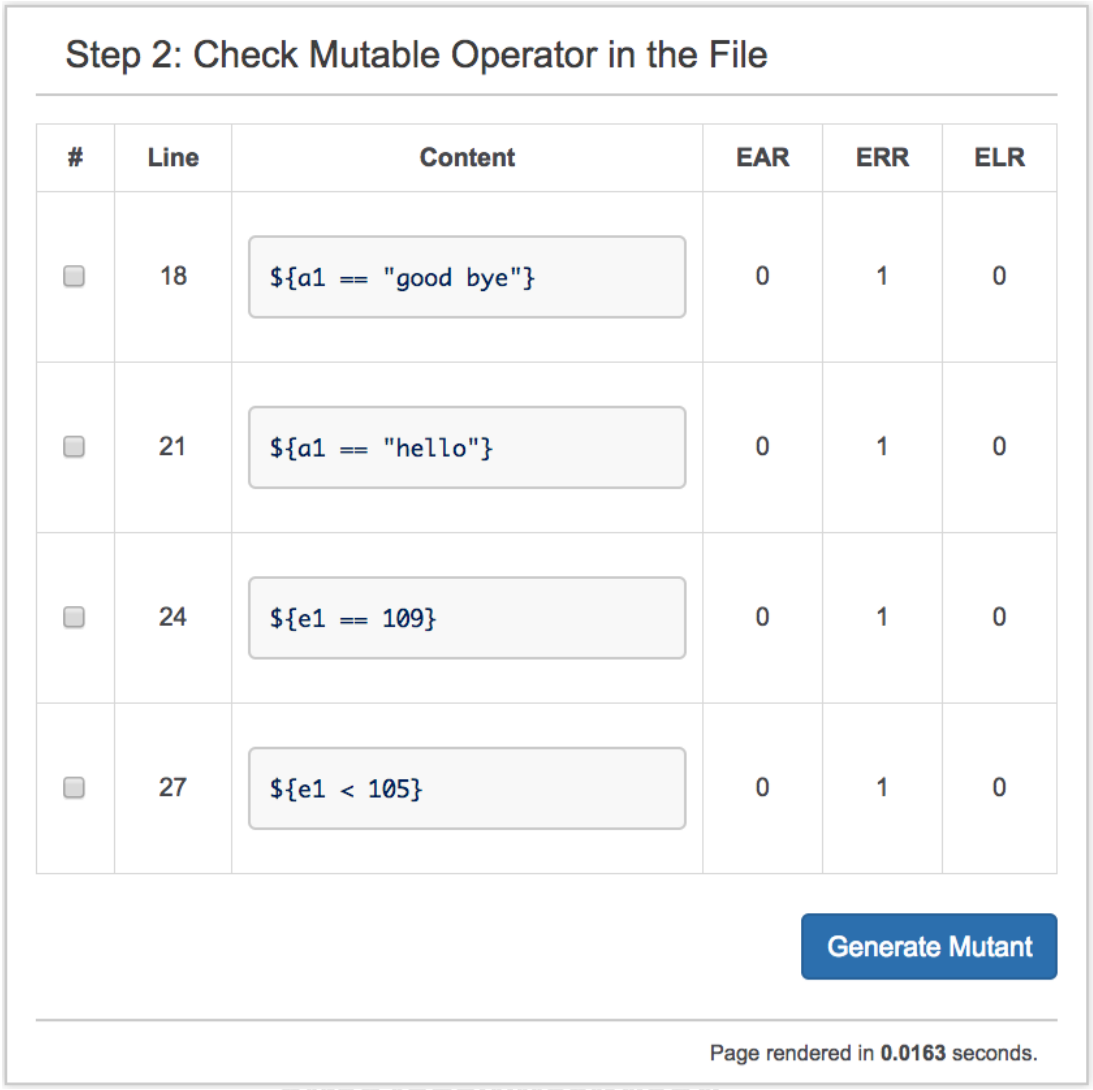


รูปที่ 4-39 ส่วนต่อประสานหน้าเรียกการตรวจสอบตัวดำเนินการ

4. **หน้าต่างแสดงรายการตัวดำเนินการ** เป็นหน้าต่างแสดงรายการตำแหน่งตัวดำเนินการพร้อมเลขที่ตำแหน่งบรรทัด เมื่อเครื่องมือสามารถระบุตำแหน่งตัวดำเนินการมิวเทชันบนไฟล์ได้ และเมื่อผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่ต้องการและกดปุ่ม “Generate Mutant” จะนำไปสู่หน้าต่างแสดงรายการมิวแตนท์ ดังรูปที่ 4-41
5. **หน้าต่างไม่พบตัวดำเนินการ** เป็นหน้าต่างแสดงข้อความชี้แจงแก่ผู้ใช้เมื่อเครื่องมือไม่สามารถระบุตำแหน่งตัวดำเนินการมิวเทชันบนไฟล์ได้ ดังรูปที่ 4-40
6. **หน้าต่างแสดงรายการมิวแตนท์** เป็นหน้าต่างแสดงรายการมิวแตนท์พร้อมรายละเอียด และเมื่อผู้ใช้ต้องการดาวน์โหลดไฟล์มิวแตนท์สามารถกดที่ “Export” ดังรูปที่ 4-42

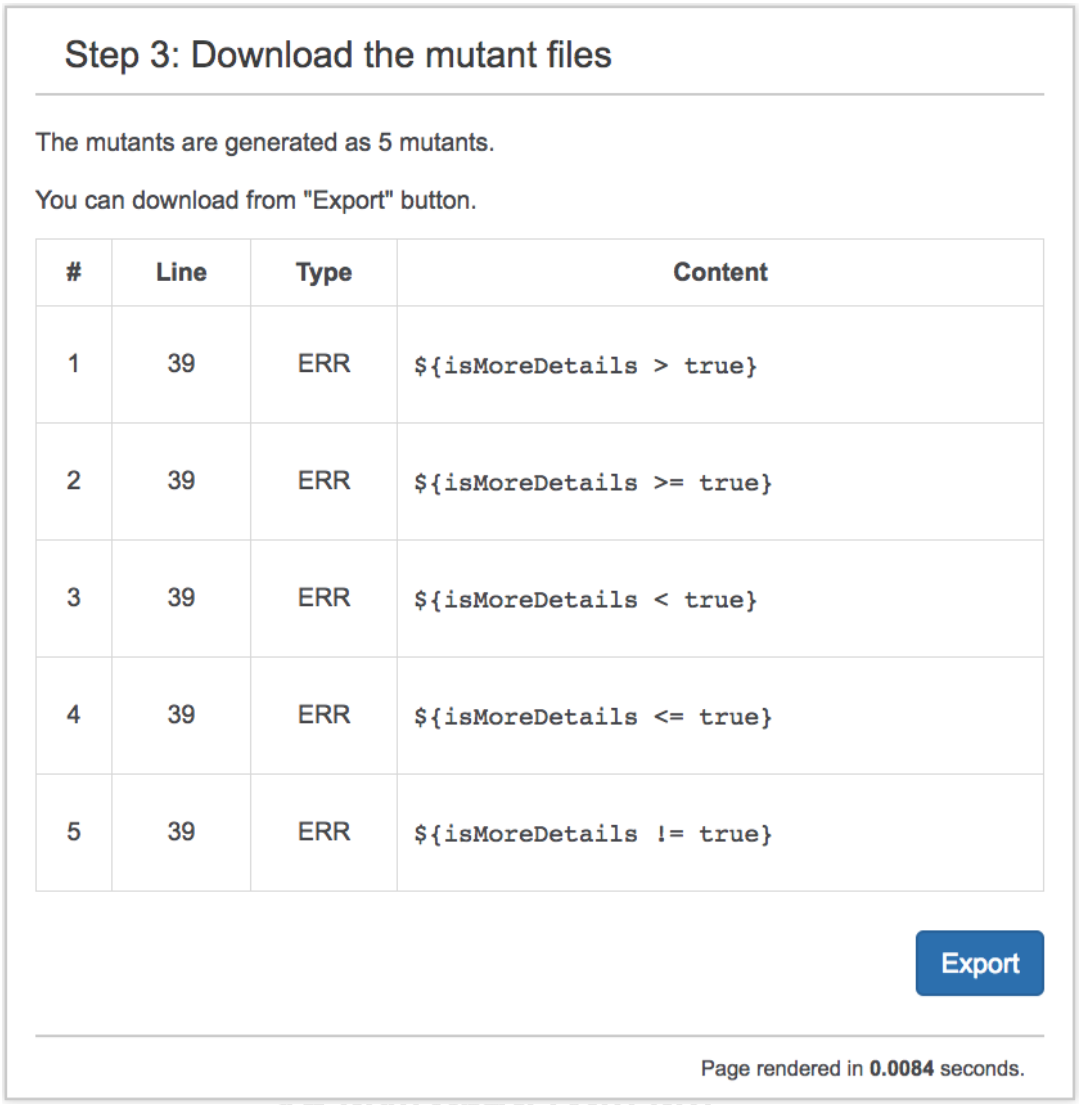


รูปที่ 4-40 ส่วนต่อประสานหน้าต่างไม่พบตัวดำเนินการ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-41 ส่วนต่อประสานหน้าต่างแสดงรายการตัวดำเนินการ



Step 3: Download the mutant files

The mutants are generated as 5 mutants.

You can download from "Export" button.

#	Line	Type	Content
1	39	ERR	`${isMoreDetails > true}`
2	39	ERR	`${isMoreDetails >= true}`
3	39	ERR	`${isMoreDetails < true}`
4	39	ERR	`${isMoreDetails <= true}`
5	39	ERR	`${isMoreDetails != true}`

Export

Page rendered in **0.0084** seconds.

รูปที่ 4-42 ส่วนต่อประสานหน้าต่างแสดงรายการมิวแตนท์

บทที่ 5
การทดสอบเครื่องมือ

ในบทนี้อธิบายถึงการทดสอบเครื่องมือสนับสนุนการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นหรือเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น การทดสอบเครื่องมือเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ ซึ่งจะกล่าวถึงสภาพแวดล้อมในการทดสอบ กรณีทดสอบที่ใช้ในการทดสอบและผลของการทดสอบ

5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

5.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Laptop) หน่วยประมวลผลกลางอินเทลคอไอไฟว์ 2.7 กิกะเฮิรตซ์ (intel core i5 2.7 GHz)
- หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์หรือแรม (RAM) 8.0 กิกะไบต์ (8.0 GB)
- ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) 256 กิกะไบต์ (256 GB)

5.1.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

- ระบบปฏิบัติการแมคโอเอส (Mac OS) เวอร์ชัน 10.13 (High Sierria)
- เว็บเบราว์เซอร์กูเกิลโครม เวอร์ชัน 63
- เครื่องประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น Activiti เวอร์ชัน 6.0.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 การทดสอบเครื่องมือ

การทดสอบเครื่องมือนั้นเป็นส่วนสำคัญที่สามารถตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้เครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้น มีจุดประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการมิวเทชันที่อยู่ในไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น การทดสอบเครื่องมือจึงคำนึงถึงการตรวจสอบการทำงานในส่วนการเปลี่ยนตัวดำเนินการมิวเทชันที่อยู่ในไฟล์ถูกต้องและครบถ้วนหรือไม่ และสามารถนำมิวแตนท์ที่สร้างขึ้นไปใช้งานได้หรือไม่ การทดสอบนี้จะนำมิวแตนท์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเครื่องมือมาทำการทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบที่ถูกสร้างขึ้นจากงานวิจัยก่อนหน้ามาทำการทดสอบมิวเทชัน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลของการทดสอบในระดับวีคมิวเทชัน โดยจะทำการทดสอบผ่านเครื่องประมวลผล

แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อใช้ในการประมวลผลแบบจำลองที่เป็นมิวแตนท์นั้นเช่นเดียวกับการประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นต้นแบบ

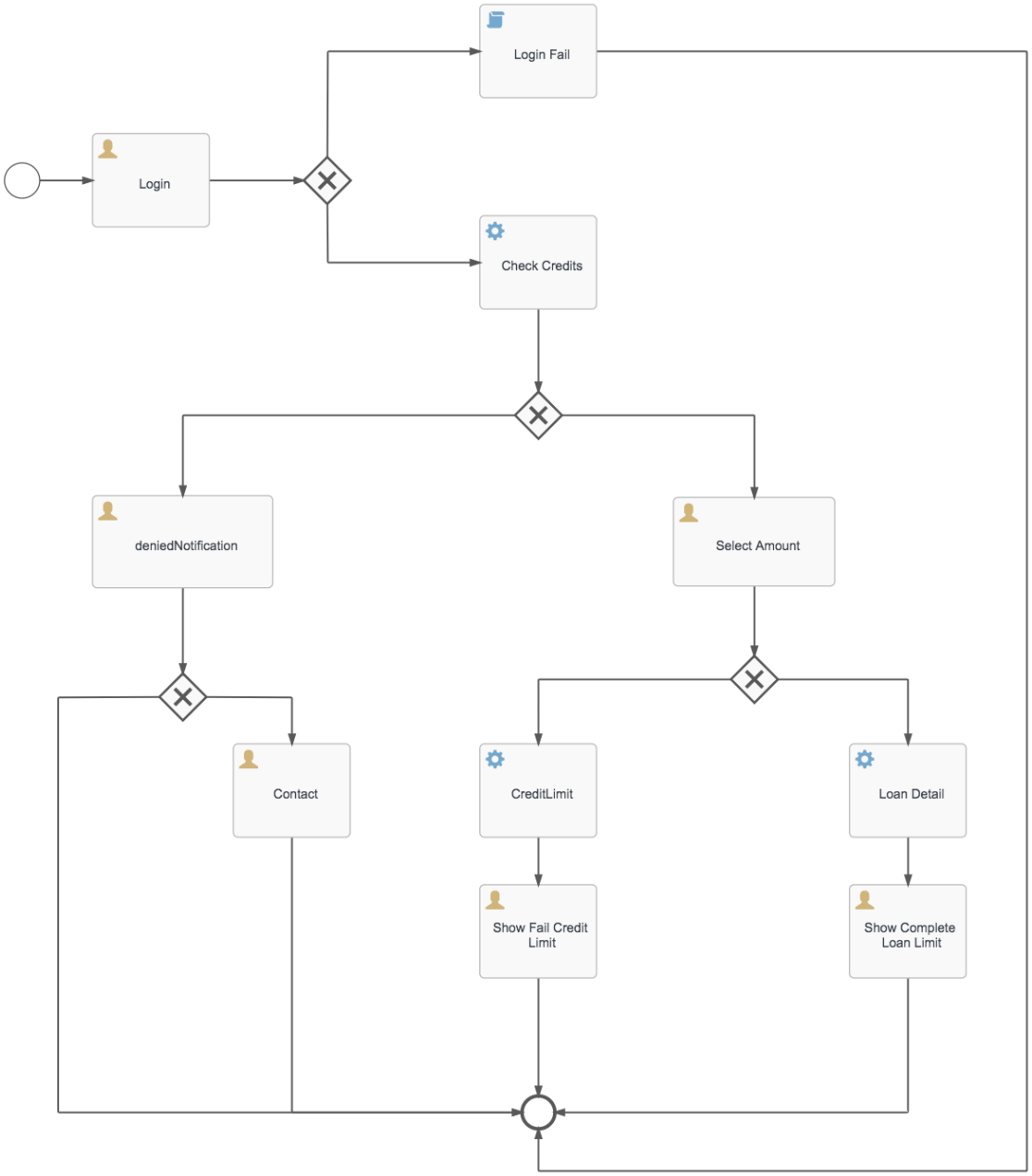
5.2.1 กรณีที่ 1 ระบบกู้เงิน

ระบบกู้เงินเป็นกรณีศึกษาหนึ่งในงานวิจัยเครื่องมือสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น [13] โดยงานวิจัยดังกล่าวนั้นนำเสนอการสร้างกรณีทดสอบจากเทคนิคกราฟกระแสควบคุมเพื่อนำมาค้นหาเส้นทางการทดสอบเชิงลึกก่อน จากนั้นจึงสร้างข้อมูลทดสอบสำหรับแต่ละกรณีทดสอบ จากรูปที่ 5-1 แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงิน เงื่อนไขภายในแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงินคือการตรวจสอบความสามารถในการกู้เงินของผู้ขอยื่นกู้ผ่านการล็อกอินเข้าสู่ระบบ

เมื่อนำแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงินเข้าสู่เครื่องมือสร้างมิวแตนท์แล้ว เครื่องมือสามารถพบตำแหน่งบรรทัดบนแบบจำลองที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ ตามรูปที่ 5-2 จากนั้นเลือกตำแหน่งบรรทัดที่ 17, 23, 47 และ 50 เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการ ท้ายที่สุดเครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงินได้ โดยมีรายการมิวแตนท์ดังตารางที่ 5-1

เมื่อทำการทดสอบมิวเทชันด้วยกรณีทดสอบจาก [13] แล้วนั้นทำให้ได้ผลคะแนนมิวเทชันดังตารางที่ 5-4 ซึ่งตารางบันทึกผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ก และรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าแสดงไว้ในภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5-1 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงิน

ตารางที่ 5-1 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบกู้เงิน

ที่	บรรทัด	ชนิดมิวแตนท์	นิพจน์ต้นแบบ	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
1	17	ERR	${credit <= 0}	${credit > 0}
2	17	ERR	${credit <= 0}	${credit >= 0}
3	17	ERR	${credit <= 0}	${credit < 0}

ตารางที่ 5-1 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบกู้เงิน (ต่อ)

ที่	บรรทัด	ชนิดมิวแตนท์	นิพจน์ต้นแบบ	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
4	17	ERR	${credit <= 0}	${credit == 0}
5	17	ERR	${credit <= 0}	${credit != 0}
6	23	ERR	${credit > 0}	${credit >= 0}
7	23	ERR	${credit > 0}	${credit < 0}
8	23	ERR	${credit > 0}	${credit <= 0}
9	23	ERR	${credit > 0}	${credit == 0}
10	23	ERR	${credit > 0}	${credit != 0}
11	47	ERR	${credit - amount > 0}	${credit - amount >= 0}
12	47	ERR	${credit - amount > 0}	${credit - amount < 0}
13	47	ERR	${credit - amount > 0}	${credit - amount <= 0}
14	47	ERR	${credit - amount > 0}	${credit - amount == 0}
15	47	ERR	${credit - amount > 0}	${credit - amount != 0}
16	47	EAR	${credit - amount > 0}	${credit + amount > 0}
17	47	EAR	${credit - amount > 0}	${credit * amount > 0}
18	47	EAR	${credit - amount > 0}	${credit / amount > 0}
19	47	EAR	${credit - amount > 0}	${credit mod amount > 0}
20	50	ERR	${credit - amount <= 0}	${credit - amount > 0}
21	50	ERR	${credit - amount <= 0}	${credit - amount >= 0}
22	50	ERR	${credit - amount <= 0}	${credit - amount < 0}
23	50	ERR	${credit - amount <= 0}	${credit - amount == 0}
24	50	ERR	${credit - amount <= 0}	${credit - amount != 0}
25	50	EAR	${credit - amount <= 0}	${credit + amount <= 0}
26	50	EAR	${credit - amount <= 0}	${credit * amount <= 0}
27	50	EAR	${credit - amount <= 0}	${credit / amount <= 0}
28	50	EAR	${credit - amount <= 0}	${credit mod amount <= 0}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Step 2: Check Mutable Operator in the File

#	Line	Content	EAR	ERR	ELR
☐	17	${credit <= 0}	0	1	0
☐	23	${credit > 0}	0	1	0
☐	26	${userid == '003'}	0	1	0
☐	29	${userid != '003'}	0	1	0
☐	40	${contactagent == 'Contact'}	0	1	0
☐	43	${contactagent == 'Not Contact'}	0	1	0
☐	47	${credit - amount > 0}	1	1	0
☐	50	${credit - amount <= 0}	1	1	0

Generate Mutant

Page rendered in **0.0183** seconds.

รูปที่ 5-2 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบกู้เงิน

5.2.2 กรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มเป็นกรณีศึกษาหนึ่งจากงานวิจัยการสร้างกรณีทดสอบจากแผนภาพบีพีเอ็มเอ็นร่วมกับแผนภาพบีเพล [5] โดยงานวิจัยดังกล่าวนั้นนำเสนอการสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เชื่อมต่อไปยังแผนภาพบีเพล วิธีการสร้างกรณีทดสอบของงานวิจัยใช้เทคนิคจากกราฟระบุทิศทาง (Directed Graph) ร่วมกับกราฟกระแสควบคุม ทั้งนี้ในการทดสอบเครื่องมือครั้งนี้จะเลือกกรณีทดสอบและข้อมูลการทดสอบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเท่านั้น จากรูปที่ 5-3 แสดงให้เห็นกระบวนการของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม ซึ่งเงื่อนไขของแบบจำลองนั้นคือต้องมีรหัสบัตรและรหัสผ่านตรงกัน และผู้ใช้ต้องมีเงินเพียงพอต่อการถอนเงิน

เมื่อนำแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มเข้าสู่เครื่องมือสร้างมิวแตนท์แล้ว เครื่องมือสามารถพบตำแหน่งบรรทัดบนแบบจำลองที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ ดังรูปที่ 5-4 จากนั้นเลือกตำแหน่งบรรทัดที่ 34 และ 37 เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการ ท้ายที่สุดเครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มได้ โดยมีรายการมิวแตนท์ดังตารางที่ 5-2

หลังจากการทดสอบมิวเทชันด้วยกรณีทดสอบจาก [5] แล้วนั้นทำให้ทราบคะแนนมิวเทชันดังตารางที่ 5-4 นอกจากนี้ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มแสดงไว้ในภาคผนวก ก และรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าแสดงไว้ในภาคผนวก ข

5.2.3 กรณีที่ 3 ระบบธุรกิจจำลอง Sample

ระบบธุรกิจจำลอง Sample เป็นกรณีศึกษาอย่างง่ายของงานวิจัยการสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองกระบวนการธุรกิจอิงเหตุการณ์ขับเคลื่อน [4] โดยงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอการสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นจากการสร้างกราฟกระแสควบคุมแล้วจับคู่เหตุการณ์จากความสัมพันธ์แบบอ้างอิง จากรูปที่ 5-5 แสดงให้เห็นกระบวนการในระบบธุรกิจจำลอง ซึ่งมีเงื่อนไขในการส่งอีเมล์ (E-mail)

เมื่อนำแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบธุรกิจจำลอง Sample เข้าสู่เครื่องมือสร้างมิวแตนท์แล้ว เครื่องมือสามารถพบตำแหน่งบรรทัดบนแบบจำลองที่สามารถสร้างมิวแตนท์ได้ ดังรูปที่ 5-6 จากนั้นเลือกตำแหน่งบรรทัดที่ 24 และ 27 เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวดำเนินการ ท้ายที่สุดเครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบธุรกิจจำลอง Sample ได้ โดยมีรายการมิวแตนท์ดังตารางที่ 5-2

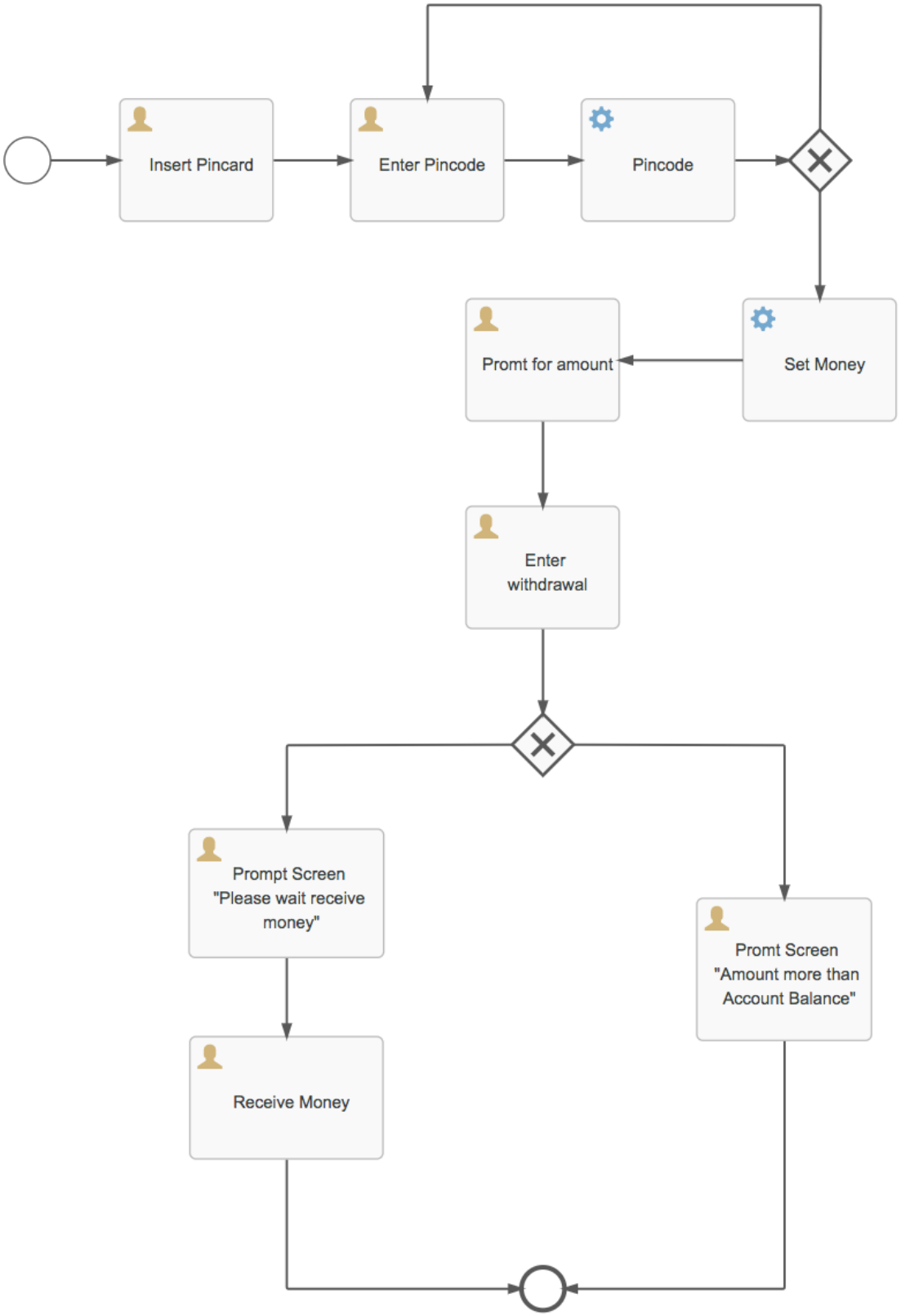
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังจากการทดสอบมิวเทชันด้วยกรณีทดสอบจาก [4] แล้วนั้นทำให้ทราบคะแนนมิวเทชันดังตารางที่ 5-4 นอกจากนี้ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันของระบบธุรกิจจำลอง Sample `แสดงไว้ในภาคผนวก ก และรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าแสดงไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5-2 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

ที่	บรรทัด	ชนิดมิวแตนท์	นิพจน์ต้นแบบ	นิพนจ์ที่เป็นมิวแตนท์
1	34	ERR	${money - withdraw < 0}	${money - withdraw > 0}
2	34	ERR	${money - withdraw < 0}	${money - withdraw >= 0}
3	34	ERR	${money - withdraw < 0}	${money - withdraw <= 0}
4	34	ERR	${money - withdraw < 0}	${money - withdraw == 0}
5	34	ERR	${money - withdraw < 0}	${money - withdraw != 0}
6	34	EAR	${money - withdraw < 0}	${money + withdraw < 0}
7	34	EAR	${money - withdraw < 0}	${money * withdraw < 0}
8	34	EAR	${money - withdraw < 0}	${money / withdraw < 0}
9	34	EAR	${money - withdraw < 0}	${money mod withdraw < 0}
10	37	ERR	${money - withdraw >= 0}	${money - withdraw > 0}
11	37	ERR	${money - withdraw >= 0}	${money - withdraw < 0}
12	37	ERR	${money - withdraw >= 0}	${money - withdraw <= 0}
13	37	ERR	${money - withdraw >= 0}	${money - withdraw == 0}
14	37	ERR	${money - withdraw >= 0}	${money - withdraw != 0}
15	37	EAR	${money - withdraw >= 0}	${money + withdraw >= 0}
16	37	EAR	${money - withdraw >= 0}	${money * withdraw >= 0}
17	37	EAR	${money - withdraw >= 0}	${money / withdraw >= 0}
18	37	EAR	${money - withdraw >= 0}	${money mod withdraw >=0}

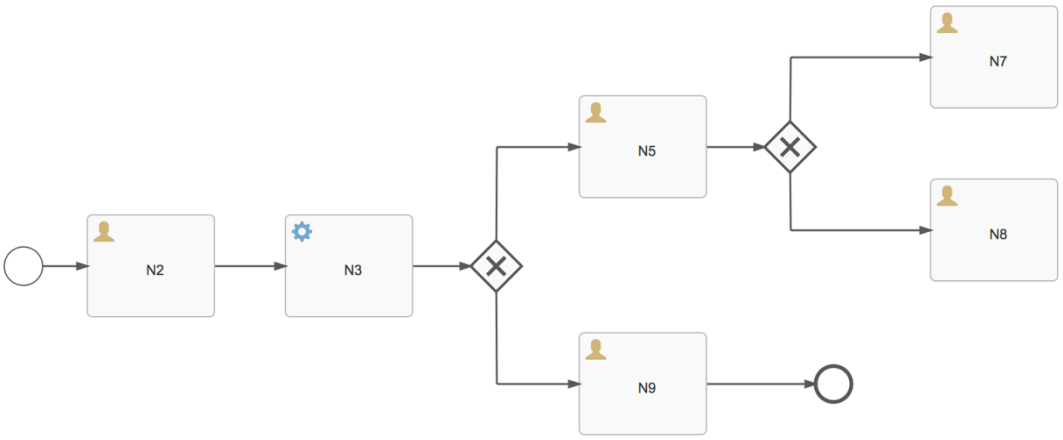
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5-3 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

รูปที่ 5-4 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5-5 แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นของระบบธุรกิจจำลอง Sample

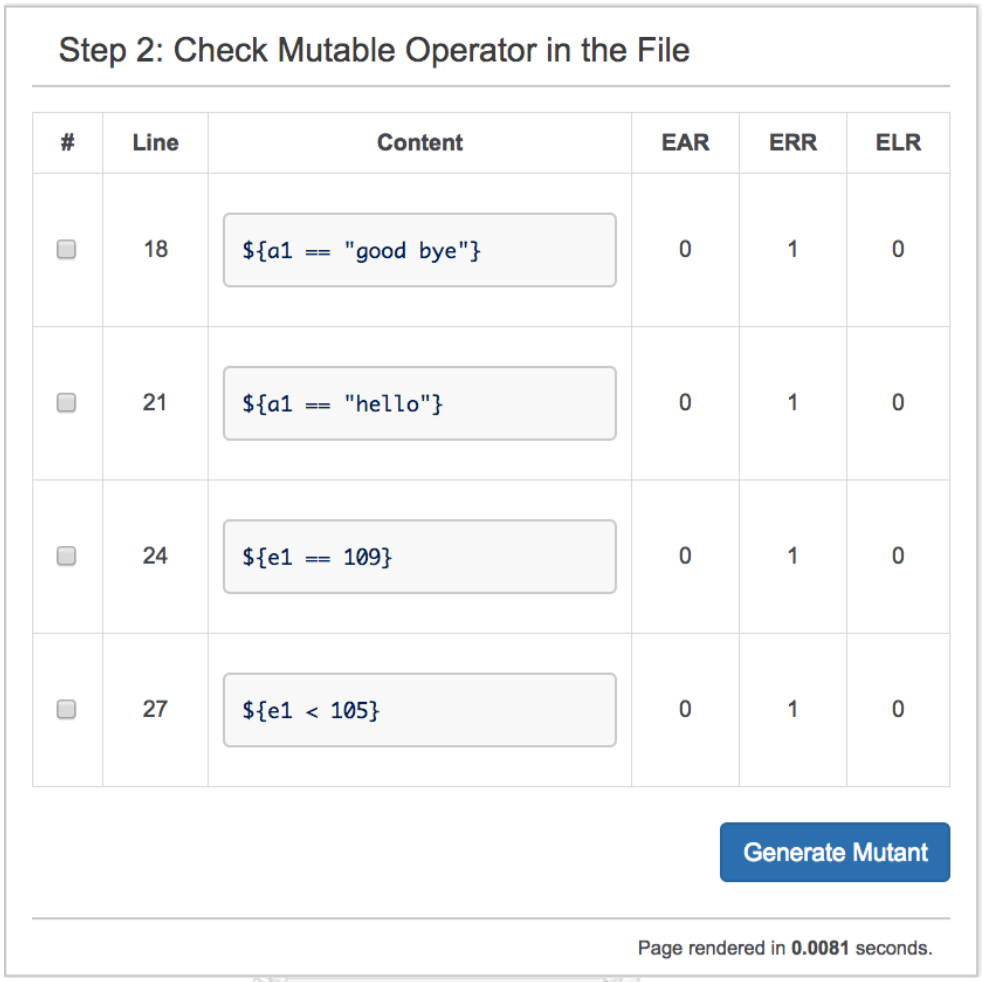
ตารางที่ 5-3 รายการมิวแตนท์ที่เครื่องมือสร้างด้วยแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบธุรกิจจำลอง Sample

ที่	บรรทัด	ชนิดมิวแตนท์	นิพจน์ต้นแบบ	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
1	24	ERR	${e1 == 109}	${e1 > 109}
2	24	ERR	${e1 == 109}	${e1 >= 109}
3	24	ERR	${e1 == 109}	${e1 < 109}
4	24	ERR	${e1 == 109}	${e1 <= 109}
5	24	ERR	${e1 == 109}	${e1 != 109}
6	27	ERR	${e1 < 105}	${e1 > 105}
7	27	ERR	${e1 < 105}	${e1 >= 105}
8	27	ERR	${e1 < 105}	${e1 <= 105}
9	27	ERR	${e1 < 105}	${e1 == 105}
10	27	ERR	${e1 < 105}	${e1 != 105}

5.3 ผลการทดสอบเครื่องมือ

จากกรณีทั้งสามข้างต้นนั้น เครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขได้จำนวนมิวแตนท์ครบตามจำนวนที่คาดหวังไว้ นอกจากนี้เมื่อนำมิวแตนท์ดังกล่าวมาทำการทดสอบมิวเทชัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 5-4

จากการทดสอบมิวเทชัน ทำให้ทราบคะแนนมิวเทชันของแต่ละกรณีดังแสดงใน ตารางที่ 5-4 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม ได้คะแนนมิวเทชันมากที่สุดอยู่ที่ 77.78 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกรณีที่ 1 ระบบกู้เงินได้คะแนนมิวเทชันที่ 60.71 เปอร์เซ็นต์ และท้ายที่สุดกรณีที่ 3 ระบบธุรกิจจำลอง Sample มีคะแนนมิวเทชันที่ 50 เปอร์เซ็นต์ จากการสร้างกรณีทดสอบของกรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มจะสังเกตได้ว่างานวิจัย [5] มีการสร้างกรณีทดสอบที่มากกว่ากรณีอื่น และมีคะแนนมิวเทชันที่มากกว่ากรณีอื่นด้วย จะเห็นได้ว่ากรณีทดสอบจากงานวิจัยดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วย



รูปที่ 5-6 ตำแหน่งที่เครื่องมือพบบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นระบบธุรกิจจำลอง Sample

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบมิวเทชันของทั้งสามกรณี

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
จำนวนมิวแตนท์ที่สร้าง	28	18	10
จำนวนกรณีทดสอบที่ถูกฆ่า	17	14	5
จำนวนมิวแตนท์สมมูล	0	0	0
คะแนนมิวเทชัน	**60.71%**	**77.78%**	**50%**

บทที่ 6
สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ ศึกษา วิจัย พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นและทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นแล้วนั้น สามารถสรุปผลการวิจัย ชี้แจงข้อจำกัดของเครื่องมือและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการนำเสนอรายการตัวดำเนินการมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นด้วยการสังเคราะห์ตัวดำเนินการที่สามารถมิวเทชันได้ โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เป็นมาตรฐานโดย OMG (Object Management Group) เพื่อเป็นการพิสูจน์รายการตัวดำเนินการมิวเทชันที่ได้นำเสนอ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเป็นเครื่องมือสนับสนุนงานวิจัยขึ้น ทั้งนี้เครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์จากไฟล์เอกซ์เอ็มแอลของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นขึ้นได้ และจากนั้นจึงนำมิวแตนท์ที่ได้มาทดสอบมิวเทชันเพื่อหาคะแนนมิวเทชันของกรณีทดสอบที่สร้างขึ้น

เครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นสามารถสร้างมิวแตนท์จากตัวดำเนินการบนนิพจน์เงื่อนไขในแบบจำลอง ด้วยตัวดำเนินการมิวเทชัน จำนวน 3 ชนิด ตัวดำเนินการคือ 1) EAR (Expression Arithmetic Replacement) คือการเปลี่ยนตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน 2) ERR (Expression Relational Replacement) คือการเปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงสัมพันธ์ด้วยสัญลักษณ์เชิงสัมพันธ์ในกลุ่มเดียวกัน และ 3) ELR (Expression Logical Replacement) คือการเปลี่ยนตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ด้วยตัวดำเนินการเชิงตรรกศาสตร์ในกลุ่มเดียวกัน ทั้งนี้เมื่อเครื่องมือทำการตรวจสอบตัวดำเนินการภายใต้นิพจน์เงื่อนไขแล้ว เครื่องมือยังสามารถสร้างและส่งออกมิวแตนท์แก่ผู้ใช้ได้

จากการทดสอบมิวเทชันกับกรณีทดสอบของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น ทั้ง 3 กรณีนั้น พบว่าเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สามารถสร้างมิวแตนท์สำหรับแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้จริง และมิวแตนท์นั้นสามารถถูกนำกลับไปใช้บนเครื่องประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้ นอกจากนี้การทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นสามารถดำเนินการได้ด้วยการเปลี่ยนตัวดำเนินการบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นด้วยตัวดำเนินการมิวเทชันที่ได้นำเสนอข้างต้น ทำให้ทราบอีกว่าแต่ละการสร้างกรณีทดสอบนั้นมีประสิทธิภาพเพียงใด โดยทำการทดสอบมิวเทชันกับแต่ละกรณีทดสอบเพื่อหาค่าคะแนนมิวเทชัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า งานวิจัยนี้สามารถสร้างเครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบน

แบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นเพื่อสนับสนุนและทำการทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นได้อย่างสมบูรณ์

6.2 ข้อจำกัดของเครื่องมือ

เครื่องมือสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น มีข้อจำกัดในฟังก์ชันงานดังต่อไปนี้

1) เครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์เงื่อนไขเท่านั้น
2) เครื่องมือสามารถทำการเปลี่ยนตัวดำเนินการให้เป็นมิวแตนท์ด้วยตัวดำเนินการมิวเทชันจำนวน 3 ชนิดคือ EAR ERR และ ELR เท่านั้น
3) เครื่องมืออนุญาตให้ผู้ใช้เลือกตำแหน่งบรรทัดเพื่อการสร้างมิวแตนท์ได้ไม่เกิน 5 ตำแหน่งบรรทัด
4) เครื่องมือสามารถสร้างมิวแตนท์จากประโยคที่มีนิพจน์เชิงตรรกศาสตร์ (ELR) อย่างมาก 1 ตำแหน่ง มีนิพจน์เชิงสัมพันธ์ (ERR) อย่างมาก 2 ตำแหน่ง และนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ (EAR) อย่างมาก 2 ตำแหน่ง โดยที่นิพจน์ทางคณิตศาสตร์ 1 ตำแหน่งสามารถมีตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์อย่างมาก 1 ตำแหน่ง

6.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

งานวิจัยการสร้างมิวแตนท์สำหรับนิพจน์เงื่อนไขบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นนั้นยังสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อให้การทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการพัฒนาดังต่อไปนี้

1) พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ที่สามารถสร้างมิวแตนท์บนนิพจน์อื่นและสร้างมิวแตนท์ด้วยตัวดำเนินการมิวเทชันอื่น
2) พัฒนาเครื่องมือสำหรับทดสอบมิวเทชันบนแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นที่เชื่อมต่อกับเครื่องมือประมวลผลแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น
3) ประเมินประสิทธิผลของตัวดำเนินการมิวเทชันของแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็นให้ครบทุกตัวเพื่อสามารถนำไปใช้พัฒนาเครื่องมือสร้างมิวแตนท์ได้ในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] *Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0*, formal/2011-01-03, 2011.

[2] H. Völzer, "An Overview of BPMN 2.0 and Its Potential Use," in *Business Process Modeling Notation: Second International Workshop, BPMN 2010, Potsdam, Germany, October 13-14, 2010. Proceedings*, J. Mendling, M. Weidlich, and M. Weske, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 14-15.

[3] P. Yotyawilai and T. Suwannasart, "Design of a tool for generating test cases from BPMN," *Proceedings of 2014 International Conference on Data and Software Engineering, ICODSE 2014,* pp. 1-6, 2014.

[4] สราวุฒิ วลีธรชีพสวัสดิ์, "การสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองกระบวนการธุรกิจอิงเหตุการณ์ขับเคลื่อน," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

[5] ไชยยศ นนท์โชติ, "การสร้างกรณีทดสอบจากแผนภาพบีพีเอ็มเอ็นร่วมกับแผนภาพบีเพล," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

[6] M. R. Woodward, "Mutation testing—its origin and evolution," *Information and Software Technology,* vol. 35, no. 3, pp. 163-169, 1993.

[7] R. A. DeMillo, D. S. Guindi, W. M. McCracken, A. J. Offutt, and K. King, "Extended overview of the Mothra software testing environment.," presented at the Second Workshop on Software Testing, Verification, and Analysis, Banff, AB, Canada, Canada, 1988.

[8] G. Aagesen and J. Krogstie, "BPMN 2.0 for Modeling Business Processes," in *Handbook on Business Process Management 1: Introduction, Methods, and Information Systems*, 2015, pp. 219-250.

[9] *Extensible Markup Language (XML) 1.0* 2008.

[10] A. Estero-Botaro, F. Palomo-Lozano, and I. Medina-Bulo, "Mutation operators for WS-BPEL 2.0," presented at the ICSSEA 2008, 21th International Conference on Software & Systems Engineering and their Applications, January 2008.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[11] W. E. Howden, "Weak Mutation Testing and Completeness of Test Sets," *IEEE Transactions on Software Engineering,* vol. SE-8, no. 4, pp. 371-379, 1982. IEEE

[12] A. J. Offutt and S. D. Lee, "An empirical evaluation of weak mutation," *IEEE Transactions on Software Engineering,* vol. 20, no. 5, pp. 337-344, 1994. IEEE

[13] ปรัชญ์ ยศยาวิไล, "เครื่องมือสร้างกรณีทดสอบจากแบบจำลองบีพีเอ็มเอ็น," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชัน

ในภาคผนวก ก จะแสดงรายละเอียดตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชัน โดยแบ่งตามกรณีดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ระบบกู้เงิน

การทดสอบมิวเทชันกับแบบจำลองระบบกู้เงินนั้นใช้กรณีทดสอบที่อ้างอิงมาจากงานวิจัย [13]

ตารางที่ ก-1 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบกู้เงินบนบรรทัดที่ 17

<table>
<tr><td>รหัสการทดสอบ</td><td colspan="3">MT-LOAN-001</td></tr>
<tr><td>ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์</td><td colspan="3">17</td></tr>
<tr><td>กรณีทดสอบ</td><td colspan="3">TC1, TC2</td></tr>
<tr><td>ผลการทดสอบ</td><td colspan="3"><table>
<tr><th>รหัสมิวแตนท์</th><th>TC1</th><th>TC2</th></tr>
<tr><td>Mutant#1</td><td>Dead</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#2</td><td>Live</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#3</td><td>Dead</td><td>Live</td></tr>
<tr><td>Mutant#4</td><td>Live</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#5</td><td>Dead</td><td>Live</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>สรุปผลการทดสอบ</td><td colspan="3">จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 5 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 5 มิวแตนท์</td></tr>
</table>

ตารางที่ ก-2 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบกู้เงินบนบรรทัดที่ 23

รหัสการทดสอบ	MT-LOAN-002		
ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์	23		
กรณีทดสอบ	TC3, TC4		
ผลการทดสอบ	**รหัสมิวแตนท์**	**TC3**	**TC4**
	Mutant#1	Live	Live
	Mutant#2	Dead	Dead
	Mutant#3	Dead	Dead
	Mutant#4	Dead	Dead
	Mutant#5	Live	Live
สรุปผลการทดสอบ	จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 3 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 5 มิวแตนท์		

ตารางที่ ก-3 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบกู้เงินบนบรรทัดที่ 47

รหัสการทดสอบ	MT-LOAN-003	
ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์	47	
กรณีทดสอบ	TC3	
ผลการทดสอบ	**รหัสมิวแตนท์**	**TC3**
	Mutant#1	Live
	Mutant#2	Dead
	Mutant#3	Live
	Mutant#4	Dead
	Mutant#5	Live
	Mutant#6	Live
	Mutant#7	Live
	Mutant#8	Live
	Mutant#9	Live
สรุปผลการทดสอบ	จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 2 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 9 มิวแตนท์	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก-4 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบกู้เงินบนบรรทัดที่ 50

<table>
<tr><td>รหัสการทดสอบ</td><td>MT-LOAN-004</td></tr>
<tr><td>ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์</td><td>50</td></tr>
<tr><td>กรณีทดสอบ</td><td>TC4</td></tr>
<tr><td>ผลการทดสอบ</td><td>
<table>
<tr><th>รหัสมิวแตนท์</th><th>TC4</th></tr>
<tr><td>Mutant#1</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#2</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#3</td><td>Live</td></tr>
<tr><td>Mutant#4</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#5</td><td>Live</td></tr>
<tr><td>Mutant#6</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#7</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#8</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#9</td><td>Dead</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>สรุปผลการทดสอบ</td><td>จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 7 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 9 มิวแตนท์</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

การทดสอบมิวเมชันกับระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มอ้างอิงกรณีทดสอบจากงานวิจัย [5]

ตารางที่ ก-5 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มบนบรรทัดที่ 34

รหัสการทดสอบ	MT-ATM-001						
ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์	34						
กรณีทดสอบ	TC5, TC6, TC7, TC8, TC11, TC12						
ผลการทดสอบ	**รหัสมิวแตนท์**	**TC5**	**TC6**	**TC7**	**TC8**	**TC11**	**TC12**
	Mutant#1	Live	Live	Live	Live	Live	Live
	Mutant#2	Live	Live	Live	Live	Live	Live
	Mutant#3	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
	Mutant#4	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
	Mutant#5	Live	Live	Live	Live	Live	Live
	Mutant#6	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
	Mutant#7	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
	Mutant#8	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
	Mutant#9	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead	Dead
สรุปผลการทดสอบ	จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 6 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 9 มิวแตนท์						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-6 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็มบนบรรทัดที่ 34

รหัสการทดสอบ	MT-ATM-002						
ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์	37						
กรณีทดสอบ	TC1, TC2, TC3, TC4, TC9, TC10						
ผลการทดสอบ	**รหัสมิวแตนท์**	**TC1**	**TC2**	**TC3**	**TC4**	**TC9**	**TC10**
	Mutant#1	Live	Live	Dead	Live	Live	Live
	Mutant#2	Dead	Dead	Live	Dead	Dead	Dead
	Mutant#3	Dead	Dead	Live	Dead	Dead	Dead
	Mutant#4	Dead	Dead	Live	Dead	Dead	Dead
	Mutant#5	Live	Live	Live	Live	Live	Live
	Mutant#6	Live	Live	Dead	Live	Live	Live
	Mutant#7	Live	Live	Dead	Live	Live	Live
	Mutant#8	Live	Live	Dead	Live	Live	Live
	Mutant#9	Live	Live	Dead	Live	Live	Live
สรุปผลการทดสอบ	จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 8 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์ จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 9 มิวแตนท์						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรณีที่ 3 ระบบธุรกิจจำลอง Sample

การทดสอบมิวเมชันกับระบบธุรกิจจำลอง Sample อ้างอิงกรณีทดสอบจากงานวิจัย [4]

ตารางที่ ก-7 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบธุรกิจจำลอง Sample บนบรรทัดที่ 24

<table>
<tr><td>ของ</td><td colspan="2">MT-SAMPLE-001</td></tr>
<tr><td>ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์</td><td colspan="2">24</td></tr>
<tr><td>กรณีทดสอบ</td><td colspan="2">TC1</td></tr>
<tr><td>ผลการทดสอบ</td><td>รหัสมิวแตนท์</td><td>TC1</td></tr>
<tr><td></td><td>Mutant#1</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td></td><td>Mutant#2</td><td>Live</td></tr>
<tr><td></td><td>Mutant#3</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td></td><td>Mutant#4</td><td>Live</td></tr>
<tr><td></td><td>Mutant#5</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>สรุปผลการทดสอบ</td><td colspan="2">จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 3 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 5 มิวแตนท์</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก-8 ตารางบันทึกผลการทดสอบมิวเทชันระบบธุรกิจจำลอง Sample บนบรรทัดที่ 27

<table>
<tr><td>รหัสการทดสอบ</td><td>MT-SAMPLE-002</td></tr>
<tr><td>ตำแหน่งบรรทัดของมิวแตนท์</td><td>27</td></tr>
<tr><td>กรณีทดสอบ</td><td>TC2</td></tr>
<tr><td>ผลการทดสอบ</td><td>
<table>
<tr><th>รหัสมิวแตนท์</th><th>TC2</th></tr>
<tr><td>Mutant#1</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#2</td><td>Dead</td></tr>
<tr><td>Mutant#3</td><td>Live</td></tr>
<tr><td>Mutant#4</td><td>Live</td></tr>
<tr><td>Mutant#5</td><td>Live</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>สรุปผลการทดสอบ</td><td>จำนวนมิวแตนท์ที่ถูกฆ่า 2 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์สมมูล 0 มิวแตนท์
จำนวนมิวแตนท์ในการทดสอบ 5 มิวแตนท์</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
รายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่า

ในภาคผนวก ข จะแสดงรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าจากการทดสอบมิวเทชันกับกรณีที่ใช้ทดสอบเครื่องมือ ดังแบ่งตามกรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ระบบกู้เงิน

หลังจากทำการทดสอบมิวเทชันแล้ว ทำให้ทราบถึงรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของกรณีทดสอบของระบบกู้เงิน ดังแสดงในตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 รายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของระบบกู้เงิน

บรรทัดมิวแตนท์	รหัสมิวแตนท์	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
23	Mutant#1	${credit > 0}
23	Mutant#5	${credit != 0}
47	Mutant#1	${credit - amount >= 0}
47	Mutant#3	${credit - amount <= 0}
47	Mutant#5	${credit - amount != 0}
47	Mutant#6	${credit + amount > 0}
47	Mutant#7	${credit * amount > 0}
47	Mutant#8	${credit / amount > 0}
47	Mutant#9	${credit mod amount > 0}
50	Mutant#3	${credit - amount < 0}
50	Mutant#5	${credit - amount != 0}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรณีที่ 2 ระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

หลังจากทำการทดสอบมิวเทชันแล้ว ทำให้ทราบถึงรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของกรณีทดสอบของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม ดังแสดงในตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 รายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของระบบถอนเงินจากตู้เอทีเอ็ม

บรรทัดมิวแตนท์	รหัสมิวแตนท์	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
34	Mutant#1	${money - withdraw > 0}
34	Mutant#2	${money - withdraw >= 0}
34	Mutant#5	${money - withdraw != 0}
37	Mutant#5	${money - withdraw != 0}

กรณีที่ 3 ระบบธุรกิจจำลอง Sample

หลังจากทำการทดสอบมิวเทชันแล้ว ทำให้ทราบถึงรายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของกรณีทดสอบของระบบธุรกิจจำลอง Sample ดังแสดงในตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 รายการมิวแตนท์ที่ไม่ถูกฆ่าของระบบธุรกิจจำลอง Sample

บรรทัดมิวแตนท์	รหัสมิวแตนท์	นิพจน์ที่เป็นมิวแตนท์
24	Mutant#2	${e1 >= 109}
24	Mutant#4	${e1 <= 109}
27	Mutant#3	${e1 <= 105}
27	Mutant#4	${e1 == 105}
27	Mutant#5	${e1 != 105}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

พระปฤษฎี ท่าดีสม (ฉายา ปญฺญาวุโธ) เกิดเมื่อวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2533 ภูมิลำเนาอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (หลักสูตรนานาชาติ) ในปีการศึกษา 2554 หลังจากจบการศึกษา ได้ทำงานเป็นโปรแกรมเมอร์และนักวิเคราะห์ระบบให้แก่บริษัทเอกชนในประเทศไทย เป็นเวลา 5 ปี เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2558 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม) สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างปิดภาคเรียน ปีการศึกษา 2558 ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2559 พระปฤษฎีได้รับการอุปสมบทโดยพระวิมลญาณมุนี ณ วัดลี จังหวัดพะเยา และยังคงครองเพศบรรพชิตก่อนจะกลับเข้ามาศึกษาต่อในปีการศึกษาถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University