



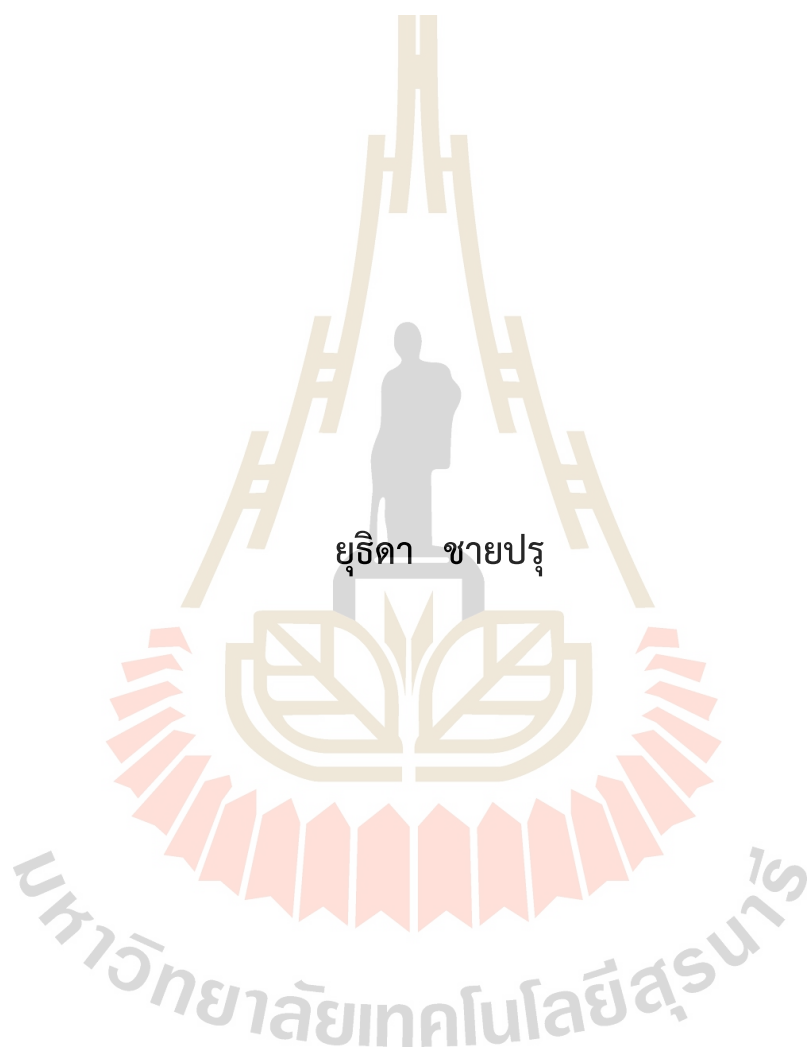
การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION GAME FOR
NON-DESTRUCTIVE AIRCRAFT TESTING

ยุริดา ชายปรุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการการบิน
สถาบันการบินพลเรือน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2568

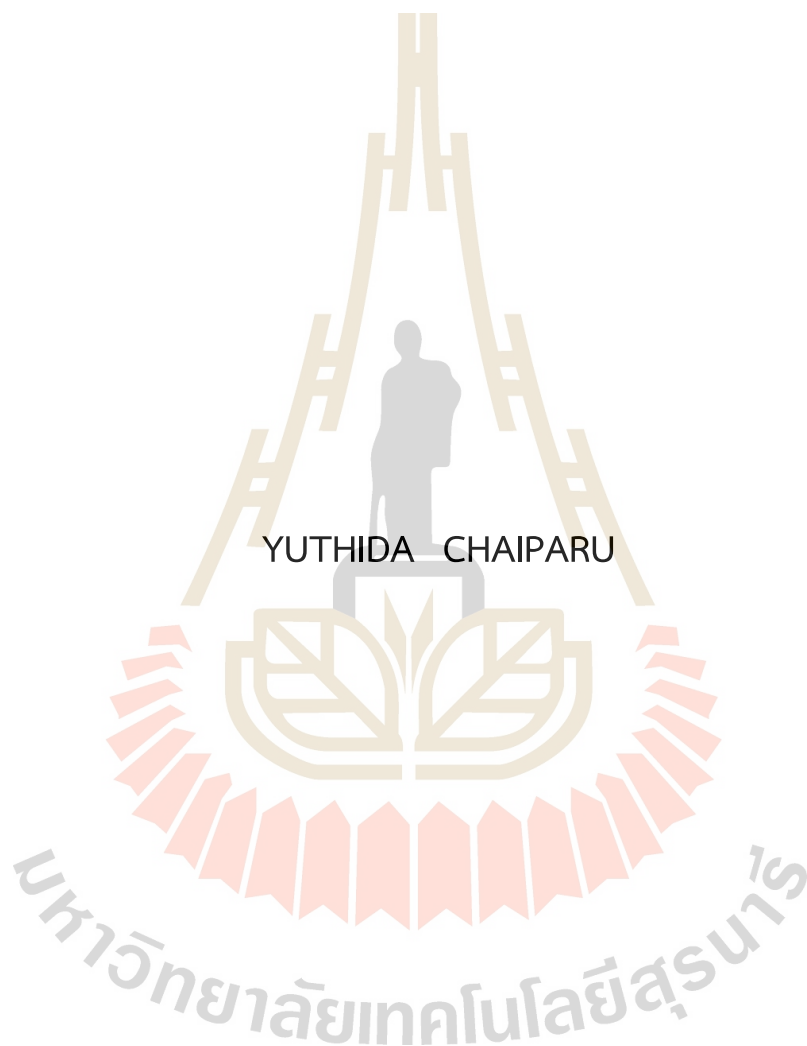
การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย



ยุธิดา ข่ายปรุ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการการบิน
สถาบันการบินพลเรือน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2568

THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION GAME FOR
NON-DESTRUCTIVE AIRCRAFT TESTING



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF MANAGEMENT
AVIATION MANAGEMENT
CIVIL AVIATION TRAINING CENTER THAILAND
ACADEMIC YEAR 2025



การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

สถาบันการบินพลเรือน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับ
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ชัยฤทธิ์ คำเพระ)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.คงศักดิ์ ชุ่มชุม)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.วราภรณ์ เต็มแก้ว)

กรรมการ

(อ. ดร.อรรธพล ม่วงสวัสดิ์)

กรรมการ

(อ. ดร.พันศักดิ์ เนินทราย)

รักษาการ รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

สถาบันการบินพลเรือน

(อ. ดร.ชัยฤทธิ์ คำเพระ)

ผู้อำนวยการกองวิชาวิทยาการการบิน

สถาบันการบินพลเรือน

ยุธิดา ชายปรุ : การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION GAME FOR NON-DESTRUCTIVE AIRCRAFT TESTING)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ. ดร.คงศักดิ์ ชมชุม, 112 หน้า

วิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย และ (2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย รูปแบบวิจัยเป็นแบบการวิจัยและพัฒนา แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเกมจำลองและเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ระยะที่ 3 ทำการทดลองและศึกษาผลลัพธ์ของการใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย สำหรับประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สถาบันการบินพลเรือน ทุกชั้นปี ประจำปีการศึกษา 2566 จำนวน 112 คน กลุ่มทดลอง ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ สถาบันการบินพลเรือน ชั้นปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2566 ที่ลงทะเบียนรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 จำนวน 38 คน เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ (1) เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (3) แบบประเมินความเหมาะสมของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย และ (4) แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลอง สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ ค่า t-test แบบ Paired Samples ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย พบว่า (1) เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายได้ออกแบบและประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.63 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 (2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากใช้เกมจำลองสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และมีความพึงพอใจต่อเกมระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.24 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.80

สาขาวิชาการจัดการการบิน
ปีการศึกษา 2568

ลายมือชื่อนักศึกษา

ยุธิดา ชายปรุ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ. ดร. คงศักดิ์ ชมชุม

YUTHIDA CHAIPARU : THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION GAME FOR NON-DESTRUCTIVE AIRCRAFT TESTING

THESIS ADVISOR : KONGSAK CHOMCHUM, Ph.D., 112 PP.

The purposes of this research were (1) to design and develop a simulation game for non-destructive aircraft testing and (2) to compare the academic achievement pretest and posttest learning by the simulation game. The methodologies used in this Research and Development (R&D) are divided into 3 phases: Phase 1: Study the format of the simulation game and the content of non-destructive aircraft testing. Phase 2: Design and develop a simulation game for non-destructive aircraft testing. The research sample in Phase 2 consisted of 3 media technology experts purposively selected by the researcher (Purposive Sampling). Phase 3: Experiment and evaluate the results of the game. The population consisted of 112 diploma students in the AMEL Course at the CATC for the academic year 2023. The experimental group consisted of 38 first-year diploma students majoring in Gas Turbine Engine Technology who enrolled in the course 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 during the third semester of the 2023 academic year. The research instruments included (1) the simulation game for non-destructive aircraft testing, (2) an achievement test on the topic of non-destructive aircraft testing, (3) a game content appropriateness evaluation form, and (4) a student satisfaction questionnaire regarding the simulation game. The data analysis included mean, standard deviation, percentage, and comparison of academic achievement with the Paired Samples t-test.

The results of the research were as follows: (1) The simulation game for non-destructive aircraft testing was successfully developed and evaluated by experts, receiving the highest level of appropriateness with a mean score of 4.63 and a standard deviation of 0.42. (2) After using the simulation game, students' post-test scores were significantly higher than their pre-test scores at the 0.05 level, and had a high level of satisfaction with the developed game, with an average overall satisfaction value of 4.24 and an average standard deviation of 0.80.

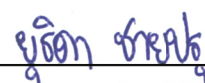
Aviation Management

Academic Year 2025

Student's signature _____

Advisor's signature _____

Co-advisor's signature _____





กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ. ดร.คงศักดิ์ ชมชุม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อ. ดร.วราภรณ์ เต็มแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการและคำแนะนำ ตลอดจนร่วมแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ อย่างดียิ่งมาโดยตลอดระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย รวมถึง อ. ดร.ธัญรัตน์ คำเพระ ที่ได้สละเวลาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อ. ดร.อรรถพล ม่วงสวัสดิ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เพื่อแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.อัฐพล อริยฤทธิ์ ที่คอยให้คำชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัย มาโดยตลอด และเจ้าหน้าที่หลักสูตรปริญญาโท สถาบันการบิณพลเรือนทุกท่าน ในการให้ความช่วยเหลือ คอยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียนการจัดการมหาบัณฑิตรุ่น 10 สาขาวิชาการจัดการการบิณ สถาบันการบิณพลเรือน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาตลอดการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่สาวที่คอยมอบกำลังใจและสนับสนุนในทุกก้าวความฝันของชีวิต ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแก่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการศึกษาครั้งนี้ ทั้งหมดล้วนแล้วแต่เป็นผู้มีพระคุณอย่างยิ่ง หากงานวิจัยมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ยุธิดา ขายปรุ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 คำอธิบายศัพท์	4
2. ปรัชญารรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน	
วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบของสถาบันการบินพลเรือน	6
2.2 เนื้อหารายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices	
Theory for B1 ในหัวข้อการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	12
2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมการศึกษาของ Generation Z	32
2.4 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน	
(Blended Learning)	36
2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม Unity 3D	43
2.6 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเกมจำลอง	46
2.7 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน	53
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	54
2.10 กรอบแนวคิดการวิจัย	57
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	58
3.1 วิธีวิจัยและขั้นตอนในการวิจัย	58
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	66
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	66
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	66
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	67
3.6 สถิติที่ใช้ในการศึกษา	67
4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	72
4.1 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	72
4.2 ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกมจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	79
5. สรุปและอภิปรายผล	84
5.1 สรุปผลการวิจัย	85
5.2 อภิปรายผล	86
5.3 ข้อเสนอแนะ	88
5.4 ข้อจำกัดของการวิจัย	89
รายการอ้างอิง	90
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย	96
ภาคผนวก ข แบบประเมินความเหมาะสมของเกมจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	98
ภาคผนวก ค แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อเกมจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	102

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	105
ประวัติผู้เขียน	112



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายของค่าความยากง่าย (p) และหาค่าอำนาจ จำแนก (r)	60
4.1 ผลการสอบถามความคิดเห็นของเกมนจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ครั้งที่ 1	77
4.2 ผลการสอบถามความคิดเห็นของเกมนจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ครั้งที่ 2	78
4.3 ผลประเมินความเหมาะสมของเกมนจำลองการทดสอบ อากาศยานแบบไม่ทำลายโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี	78
4.4 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกม จำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	80
4.5 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมนจำลอง การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย	80



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เนื้อหาและการฝึกอบรมของหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน เป็นไปตามข้อกำหนด Part – 66	10
2.2 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 (1)	12
2.3 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 (2)	13
2.4 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 (3)	13
2.5 ความสามารถในการซึมของของเหลว ตามหลักการCapillary Action	16
2.6 ระยะเวลาในการแทรกซึมต่ำสุดตามมาตรฐาน ASME	18
2.7 อุปกรณ์ตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง	20
2.8 ผลกราฟแบบ A-Scan	20
2.9 ผลกราฟแบบ B-Scan	21
2.10 ผลกราฟแบบ A-Scan	21
2.11 หลักการตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน	22
2.12 แนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่อง	24
2.13 การร้าวไหลของเส้นแรงแม่เหล็กบริเวณรอยแตกร้าว (Crack)	25
2.14 การใช้ภูมิมือขวาของขดลวดหาทิศทางขั้วแม่เหล็ก	25
2.15 ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก	27
2.16 ชนิดของผงเหล็ก (Particle Types)	27
2.17 หลักการตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี	30
2.18 การแบ่งรุ่นเจเนอเรชั่น (ตามช่วงปีเกิดโดยประมาณ)	33
2.19 แผนภาพ Kolb's Experiential Learning Cycle	37
2.20 ภาพเครื่องมือแต่ละส่วนของโปรแกรม Unity 3D	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.21 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรม Unity 3D	45
2.22 เกม Eternity Story	47
2.23 กรอบแนวคิดการวิจัย	57
3.1 ระยะที่ 1 การศึกษารูปแบบของเกมจำลอง และเนื้อหาการทดสอบ อากาศยานแบบไม่ทำลาย	63
3.2 ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบ อากาศยานแบบไม่ทำลาย	64
3.3 ระยะที่ 3 การทดลองและศึกษาผลลัพธ์ของการใช้เกมจำลองการทดสอบ อากาศยานแบบไม่ทำลาย	65
4.1 กระบวนการทำงานของเกม	73
4.2 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่เกม	74
4.3 แสดงหน้าจอเลือกความต้องการเรียน	74
4.4 แสดงหน้าจออธิบายวิธีการเคลื่อนที่ของเกม	75
4.5 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเล่นเกมที่ Step 1 - Workshop (PT)	75
4.6 แสดงผลการตรวจหารอยร้าวของ Step 1 - Workshop (PT)	76
4.7 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเล่นเกมที่ Step 2 - Workshop (MT)	76
4.8 แสดงผลการตรวจหารอยร้าวของ Step 2 - Workshop (MT)	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AMEL	หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน (Aircraft Maintenance Engineer License Course; AMEL)
ASME	สมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineers; ASME)
ASTM	องค์กรมาตรฐานทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ใช้ตรวจสอบและรับรองคุณภาพวัสดุ (American Society for Testing and Materials; ASTM)
CAAT	สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (Civil Aviation Authority of Thailand; CAAT)
CATC	สถาบันการบินพลเรือน (Civil Aviation Training Center; CATC)
EASA	องค์การความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป (European Union Aviation Safety Agency; EASA)
EEC	เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor; EEC)
EN	มาตรฐานยุโรป (European Committee for Standardization; EN)
Gen Z	คนรุ่นที่เติบโตมากับเทคโนโลยีดิจิทัล (Generation Z; Gen Z)
ICAO	องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization; ICAO)
ISO	มาตรฐานสากล (International Organization for Standardization; ISO)
LMS	การเรียนรู้ผ่านระบบจัดการเรียนการสอน (Learning Management System; LMS)
MOU	บันทึกข้อตกลงความร่วมมือ หรือ บันทึกความเข้าใจ (Memorandum of Understanding; MOU)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

MRO	การบำรุงรักษา การซ่อมแซม และการยกเครื่อง (Maintenance Repair and Overhaul; MRO)
MT	การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing; MT)
NDT	การทดสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน (Non-Destructive Testing; NDT)
PT	การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing; PT)
UNSF	โครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (United Nations Special Fund; UNSF)
UV	รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet; UV)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมการบินมีบทบาทสำคัญในหลายมิติโดยเฉพาะด้านการส่งเสริมเศรษฐกิจและการจ้างงาน ปัจจุบันหลังจากได้ผ่านพ้นสถานการณ์แพร่ระบาดของโควิด-19 พบว่าอุตสาหกรรมการบินทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย ได้เริ่มมีการฟื้นตัวอีกครั้ง จากรายงานสถานะอุตสาหกรรมการบินของไทย ประจำปี 2567 ระบุว่าภาพรวมอุตสาหกรรมการบินของไทยมีการฟื้นตัวขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งพบว่ามีผู้โดยสารจำนวนมากถึง 140 ล้านคน มีการฟื้นตัวร้อยละ 85.14 เมื่อเทียบกับสภาวะปกติก่อนเกิดโควิด-19 ในช่วงปี 2562 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเที่ยวบินที่มีจำนวนมากถึง 8.8 แสนเที่ยวบิน อีกทั้งยังคาดการณ์ว่าแนวโน้มอุตสาหกรรมการบินในปี 2568 จะมีทิศทางในการฟื้นตัวและสามารถกลับมาเติบโตได้ในระดับเดียวกันกับปี 2562 (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567) เมื่อแนวโน้มการเติบโตของการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น ก็ส่งผลให้มีความต้องการใช้งานอากาศยานเพิ่มขึ้น ดังนั้นการบำรุงรักษาอากาศยานให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์และปลอดภัยต่อการใช้งานอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่ผู้ดำเนินการทางอากาศไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ภายใต้การรักษามาตรฐานความปลอดภัยด้านการบิน (Aviation Safety) โดยการซ่อมบำรุงอากาศยานในปัจจุบันได้นำเอาวิธีการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายเข้ามาใช้งานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถประเมินความเสียหายและความแข็งแรงของอากาศยาน โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย มีความสะดวกรวดเร็ว ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ และยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงอากาศยานได้

การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมการบิน ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลักดันสถานศึกษาที่เกี่ยวข้องให้มีบทบาทในการพัฒนาทักษะด้านการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT) เพื่อรองรับต่อความต้องการของตลาดแรงงาน ทางภาครัฐยังได้กำหนดนโยบาย Aviation Hub เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของอุตสาหกรรมการบิน จัดตั้งศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยาน (Maintenance Repair and Overhaul: MRO) และผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการบินของภูมิภาค สอดคล้องกับภาคเอกชนโดยความร่วมมือของบริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน) และ บริษัท การบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ได้ร่วมลงนามบันทึกความเข้าใจ (MOU) โครงการพัฒนาศูนย์ซ่อมบำรุงอากาศยาน (MRO) ในเขตพัฒนา

พิเศษภาคตะวันออก (EEC) ณ ท่าอากาศยานอู่ตะเภา เพื่อรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมการบิน ซึ่งจะช่วยให้ดึงดูดการลงทุน สร้างรายได้ รวมถึงเสริมสร้างศักยภาพบุคลากรการบินของไทย (กรุงเทพธุรกิจ, 2025) สอดคล้องกับการคาดการณ์ของบริษัทโบอิงว่าในช่วงปี ค.ศ. 2024 - 2043 ทั่วโลกจะมีปริมาณความต้องการบุคลากรช่างอากาศยานที่มีความเชี่ยวชาญอีกกว่า 716,000 คน (Boeing, 2024) สำหรับสถาบันการบินพลเรือน (สบพ.) ได้กำหนดการสอนเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายเข้าไว้ในหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน ซึ่งเน้นการเรียนการสอนภาคปฏิบัติเป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นหลักสูตรประกาศนียบัตรชั้นสูง (ปวส.) หรืออนุปริญญาที่มีนักศึกษาจัดอยู่ในกลุ่ม Generation Z (Gen Z) คือ กลุ่มคนที่มีช่วงอายุระหว่าง 12 - 27 ปี (Pew Research Center, 2020) ซึ่งเป็นกลุ่มคนที่เกิดและเติบโตมาในยุคดิจิทัล หรือนิยามว่า “Digital Natives” ทำให้มีความคุ้นเคยกับเทคโนโลยี และใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือหลักในการเรียนรู้ประจำวัน นักศึกษากลุ่ม Gen Z จึงมีพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีอย่างเป็นธรรมชาติ ชอบการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ที่เป็นนวัตกรรมการศึกษาที่ผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีกับวิธีการสอนแบบดั้งเดิมอย่างเหมาะสม ชอบสืบค้นหาข้อมูลด้วยตนเอง มีความต้องการเลือกเวลาและสถานที่เรียนเองโดยไม่จำกัดอยู่เพียงแคในห้องเรียนเสมอไป ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันในยุคชีวิตวิถีใหม่ (New Normal) ที่เทคโนโลยีได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ชีวิตประจำวัน และระบบการศึกษาที่ปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการเรียนการสอนอยู่ในรูปแบบออนไลน์ พฤติกรรมการศึกษาของคนกลุ่มนี้จึงนิยมตอบสนองต่อการเรียนรู้ผ่านเทคโนโลยีในรูปแบบเกมดิจิทัล ซึ่งมีสัดส่วนสูงถึง 81% เมื่อเทียบกับ Generation อื่น ๆ (Newzoo Generations Report, 2021) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาวิชาที่ต้องมีการสอนเชิงปฏิบัติ จะได้รับความสนใจในการพัฒนาเกมดิจิทัลประเภทของเกมจำลองมาเป็นเครื่องมือสำหรับนวัตกรรมทางการศึกษาเพิ่มมากยิ่งขึ้น

การประยุกต์ใช้เกมจำลอง (Simulation Gaming) มาบูรณาการในระบบการศึกษาเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับการเรียนการสอนที่ต้องมีการลงมือปฏิบัติ และยังมีประสิทธิภาพในการสร้างแรงจูงใจและพัฒนาทักษะการเรียนรู้สำหรับ Gen Z เนื่องจากผู้เรียนในช่วงวัยนี้เติบโตมาพร้อมกับสังคมแบบดิจิทัล ทำให้มีความคุ้นเคยในการใช้งานเทคโนโลยีและสื่อดิจิทัล (มนัสวี ศรีนนท์, 2561; Chicca & Shellenbarger, 2018) โดยปัจจุบันเกมจำลองได้เข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนการสอนที่ต้องมีการฝึกปฏิบัติ ซึ่งจุดเด่นของการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองจะช่วยให้นักศึกษามีโอกาสได้ทบทวนความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาผ่านการลงมือปฏิบัติในสถานการณ์จำลอง ช่วยเสริมความเข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับการเรียนรู้จากทฤษฎีเพียงอย่างเดียว (Zhaoying Cai, 2024) ช่วยทำให้ผู้เรียนรู้สึกสนุกสนานมากขึ้น กระตุ้นการเรียนรู้เชิงโต้ตอบ (Interactive Learning) ทำให้นักศึกษารู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียน อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการฝึกปฏิบัติงานจริงที่อาจเกิดอันตรายได้ ช่วยลดต้นทุนการเรียนรู้ และช่วยสร้างโอกาสในการ

ฝึกฝนจากการเรียนรู้ซ้ำ ๆ ได้ไม่จำกัดเวลาและสถานที่ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการเรียนการสอนในยุคปัจจุบันได้เป็นอย่างดี และจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าปัญหาการเรียนการสอนในเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายของหลักสูตรนายช่างภาคพื้นของสบพ. ยังไม่มีสื่อการสอนที่ทันสมัยในรูปแบบของเกมจำลองมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ตอบสนองต่อพฤติกรรมการศึกษาของกลุ่ม Gen Z

ดังนั้น จากข้อมูลดังกล่าวมา ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองประกอบเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายให้แก่นักศึกษาหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดินของสบพ. ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนเพื่อให้เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างเกมต้นแบบ และสร้างทางเลือกการเรียนรู้รูปแบบใหม่ผ่านนวัตกรรมทางวิชาการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น เพื่อใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายเป็นเครื่องมือรักษาสมดุลระหว่างความสนุกสนานและการเรียนรู้ ให้สามารถตอบสนองต่อพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักศึกษา Gen Z ช่วยดึงดูดความน่าสนใจและเสริมให้นักศึกษามีความเข้าใจเนื้อหาเพิ่มมากขึ้น และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ซึ่งการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อสบพ. และเป็นแนวทางในการพัฒนาเกมจำลองประกอบการสอนเนื้อหาอื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยชิ้นนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้ในการประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ข้อที่ 1 ตามรายละเอียดวัตถุประสงค์ในหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน รายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 โดยเลือกหัวข้อที่ทำการศึกษาวิจัย คือ การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพื่อนำมาพัฒนาโปรแกรมเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

1.3.2 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้กำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

- 1) กลุ่มประชากร ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สถาบันการบินพลเรือน ทุกชั้นปี ประจำปีการศึกษา 2566 จำนวน 112 คน
- 2) กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน

สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ สถาบันการบินพลเรือน ชั้นปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2566 ที่ลงทะเบียนรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างจำเป็นต้องลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดังกล่าว มีจำนวนทั้งสิ้น 38 คน

1.3.3 ขอบเขตด้านเวลา

การวิจัยครั้งนี้มีช่วงระยะเวลาเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566 จนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สถาบันการบินพลเรือนมีสื่อที่เป็นต้นแบบของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายให้กับนักศึกษาหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

2) สถาบันการศึกษาอื่น ๆ หรือหน่วยงานด้านการบินที่มีการฝึกปฏิบัติการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายสามารถนำเกมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับฝึกอบรม เพื่อเพิ่มองค์ความรู้หรือพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนหรือเจ้าหน้าที่ได้

1.5 คำอธิบายศัพท์

1) การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT) หมายถึง กระบวนการตรวจสอบและประเมินคุณภาพของวัสดุ ชิ้นส่วน หรือโครงสร้าง โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่ออากาศยาน กระบวนการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการบิน เนื่องจากช่วยให้สามารถประเมินสภาพความสมบูรณ์และความปลอดภัยของอากาศยานได้อย่างละเอียดโดยไม่กระทบต่อการใช้งานอากาศยาน

2) ช่างซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance Technician หรือ Aircraft Mechanic) หมายถึง ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญและมีทักษะในการดูแล ตรวจสอบ บำรุงรักษา ซ่อมแซม และปรับแต่งระบบต่าง ๆ ของอากาศยาน เพื่อให้มั่นใจว่าอากาศยานสามารถปฏิบัติการได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานขององค์กรการบินพลเรือนและบริษัทสายการบิน

3) Generation Z (Gen Z) หมายถึง กลุ่มประชากรที่เกิดในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2540 - 2555 (ค.ศ. 1997 - 2012) (ช่วงปีอาจแตกต่างกันเล็กน้อยตามการอ้างอิงแต่ละแหล่ง) เป็นคนรุ่นแรกที่เกิดมาพร้อมเทคโนโลยีดิจิทัล สมาร์ทโฟน และอินเทอร์เน็ต จึงมักถูกเรียกว่า “Digital Natives” เพราะมีความคุ้นเคยกับการใช้เทคโนโลยีตั้งแต่วัยเด็ก ทำให้มีทักษะด้านการใช้งานเทคโนโลยีอย่างคล่องแคล่ว

4) การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) หมายถึง รูปแบบการเรียนการสอนที่ผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบออนไลน์ (Online Learning) และการเรียนในห้องเรียนปกติ (Face-to-Face Learning) โดยจะต้องมีส่วนของเนื้อหาที่นำเสนอผ่านระบบออนไลน์ระหว่าง 30 -70 % เน้นการใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือช่วยสอน โดยผู้เรียนสามารถศึกษาเนื้อหาบางส่วนผ่านทางแพลตฟอร์มดิจิทัลและอีกบางส่วนผ่านการเรียนในห้องเรียนจริง และเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่ตอบโจทย์ความต้องการของผู้เรียนยุคใหม่โดยเฉพาะ Gen Z ที่ต้องการความยืดหยุ่นและการใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้

5) เกมจำลอง (Simulation Game) หมายถึง รูปแบบเกมที่ออกแบบมาเพื่อจำลองสถานการณ์หรือระบบในโลกความเป็นจริง มุ่งเน้นให้ผู้เล่นได้สัมผัสสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงผ่านการเล่นเกมจำลอง ช่วยให้เข้าใจแนวคิดหรือกระบวนการที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น มีโอกาสในการลองตัดสินใจหรือปฏิบัติเรียนรู้กระบวนการทำงาน เพื่อลดความเสี่ยงในการฝึกปฏิบัติงานจริง

6) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Learning Achievement) หมายถึง ผลลัพธ์หรือระดับความสำเร็จในการเรียนรู้ของผู้เรียน เป็นตัวชี้วัดความรู้ ความเข้าใจ และทักษะที่เกิดขึ้นจากการสอน การฝึกฝน การศึกษาด้วยตนเอง หรือประสบการณ์ที่ได้รับ สามารถวัดผลได้ด้วยเครื่องมือประเมินผล เช่น ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ การทดสอบก่อน-หลังเรียน หรือการประเมินผลงาน โดยจะสะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ได้มากน้อยเพียงใด



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย” ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวความคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาสาระทางวิชาการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ เพื่อเป็นแนวทางการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบน์ของสถาบันการบินพลเรือน

2.2 เนื้อหารายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 ในหัวข้อการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมการศึกษาของ Generation Z

2.4 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning)

2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม Unity 3D

2.6 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเกมจำลอง

2.7 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.8 ทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10 กรอบแนวคิดการวิจัย

2.1 หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบน์ของสถาบันการบินพลเรือน

สถาบันการบินพลเรือน (สบพ.) เป็นสถานศึกษาที่มีสถานภาพเป็นรัฐวิสาหกิจในสังกัดกระทรวงคมนาคม ก่อตั้งขึ้นจากโครงการความร่วมมือระหว่างกองทุนพิเศษแห่งสหประชาชาติ (United Nations Special Fund: UNSF) องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization: ICAO) และรัฐบาลไทย เมื่อวันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ. 2504 มีวิสัยทัศน์ “เป็นศูนย์กลางแห่งความเป็นเลิศในวิชาชีพด้านการบิน โดยมีคุณภาพและมาตรฐานระดับสากลเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการบินของชาติและภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก” และมีพันธกิจหลักในการผลิตและ

พัฒนาบุคลากรด้านอุตสาหกรรมการบินให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลอย่างพอเพียงต่อความต้องการภายในประเทศและสอดคล้องกับความต้องการของภูมิภาค

ปัจจุบันสถาบันการบินพลเรือนได้เปิดสอนระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบ (Aircraft Maintenance Engineer License Course: AMEL) (Aeroplane Mechanic – B1.1, B1.2)) ดำเนินการโดยแผนกวิชาช่างอากาศยาน กองวิชาช่างอากาศยาน เป็นหลักสูตรฐานสมรรถนะ (Competency-based Training and Assessment) ใช้ระยะเวลาฝึกอบรมรวม 2 ปี 4 เดือน (7 ภาคการศึกษา) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณสมบัติผู้ประจำหน้าที่นายช่างภาคพื้นดินประเภท B1.1 (Aeroplanes Turbine) และ B1.2 (Aeroplanes Piston) ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) และองค์การความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป (EASA) รวมทั้งเป็นหลักสูตรเทียบเท่าระดับอนุปริญญาจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สป.อว.) โดยศึกษาพื้นฐานช่างอากาศยาน (Maintenance Practices) ตลอดจนงานด้านการบำรุงรักษาและแก้ไขข้อบกพร่องพื้นฐานของโครงสร้างอากาศยาน (Aircraft Structures) ทั้งแบบโลหะแผ่น (Aircraft Sheet Metal) และวัสดุประกอบ (Aircraft Composite) ระบบอากาศยาน (Airframe Systems) รวมทั้งต้นกำลังอากาศยาน (Aircraft Powerplants) ซึ่งประกอบด้วย เครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบ (Gas Turbine Engines) เครื่องยนต์ลูกสูบ (Piston Engines) และใบพัดอากาศยาน (Aircraft Propellers) เน้นความสำคัญในการสร้างสมรรถนะที่จำเป็นของช่างอากาศยานทั้งภาคความรู้ (Knowledge) และทักษะ (Skills) ที่สามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง รวมทั้งปลูกฝังทัศนคติ (Attitudes) ในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงภายใต้ความปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานด้านการบิน มีรายละเอียดหลักสูตร ดังนี้

ชื่อหลักสูตร

ภาษาไทย: หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดินสาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบ

โบน

ภาษาอังกฤษ: Aircraft Maintenance Engineer License (AMEL) Course (Aeroplane Mechanic– B1.1, B1.2)

ดำเนินการโดย: แผนกวิชาช่างอากาศยาน กองวิชาช่างอากาศยาน สบพ.

วัตถุประสงค์:

- 1) เพื่อให้มีความรู้ ความสามารถและทักษะด้านช่างอากาศยาน และสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพช่างอากาศยานในระดับช่างฝีมือได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานสากล
- 2) เพื่อนำความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ไปใช้ในการสอบเพื่อขอรับใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดิน (Aircraft Maintenance Engineer License) จากกรมการบินพลเรือน

- 3) เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพช่างอากาศยาน มีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ มีความซื่อสัตย์สุจริต มีคุณธรรมและจริยธรรมในการดำรงชีวิต สามารถปฏิบัติหน้าที่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข
- 4) เพื่อให้สามารถนำความรู้ไปใช้ในการศึกษาค้นคว้า ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีด้านการซ่อมบำรุงอากาศยาน และพัฒนาองค์ความรู้ให้ทันสมัยอยู่เสมอ
- 5) เพื่อให้สามารถคงความต่อเนื่องของการรับรองเทียบเท่ามาตรฐานหลักสูตรระดับอนุปริญญา
- 6) เพื่อให้ผู้สำเร็จการศึกษาหลักสูตรอนุปริญญา สาขาวิชานายช่างบำรุงรักษาอากาศยานสามารถศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้นได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการศึกษาและพัฒนาสาระและกระบวนการเรียนรู้ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องตามที่ได้ระบุไว้ใน พรบ. การศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542

คุณสมบัติทั่วไปของผู้สมัครเรียน:

- 1) เป็นผู้สำเร็จการศึกษา หรือ กำลังศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกแผนการเรียน หรือเทียบเท่า หรือ ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ด้านช่างทุกสาขา ชั้นปีสุดท้าย หรือ เทียบเท่า
- 2) เป็นผู้มีร่างกายแข็งแรง ไม่เป็นผู้ทุพพลภาพ จิตพิ้นเพื่อนไม่สมประกอบไร้ความสามารถ ไม่เป็นตาบอดสี และไม่เป็นโรคติดต่อร้ายแรง เช่น โรคเรื้อน วัณโรคในระยะอันตราย โรคเท้าช้างในระยะปรากฏ โรคพิษสุราเรื้อรัง หรือติดยาเสพติดให้โทษอย่างร้ายแรง อันเป็นอุปสรรคต่อการศึกษา
- 3) เป็นผู้ที่อยู่ในประเทศไทยอย่างถูกต้องตามกฎหมาย
- 4) เป็นผู้ที่ไม่เคยต้องโทษตามคำพิพากษาของศาลถึงที่สุดให้จำคุก เว้นแต่ในกรณีความผิดอันได้โดยประมาท หรือความผิดอันเป็นลหุโทษ
- 5) เป็นผู้ที่มีความประพฤติเรียบร้อยและรับรองต่อสถาบันการbinพลเรือนว่า จะตั้งใจศึกษาเล่าเรียนเต็มความสามารถ และจะปฏิบัติตามระเบียบข้อบังคับของสถาบันการbinพลเรือนที่มีอยู่แล้วหรือที่จะมีในภายภาคหน้าต่อไปโดยเคร่งครัดทุกประการ
- 6) เป็นผู้ที่ไม่เคยถูกคัดชื่อออกจากสถานศึกษาใด ๆ เพราะมีความผิดทางวินัย

แผนการศึกษา:

หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบน์ ใช้ระยะเวลาฝึกอบรมรวม 2 ปี 4 เดือน (7 ภาคการศึกษา) ประกอบด้วย

- 1) การฝึกอบรมภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในสถาบันการbinพลเรือน เป็นระยะเวลา 2 ปี (ปีละ 3 ภาคการศึกษา) รวมเป็น 6 ภาคการศึกษา
- 2) การฝึกอบรมภาคปฏิบัติในสถานประกอบการจริง เป็นระยะเวลา 4 เดือน (1 ภาคการศึกษา)

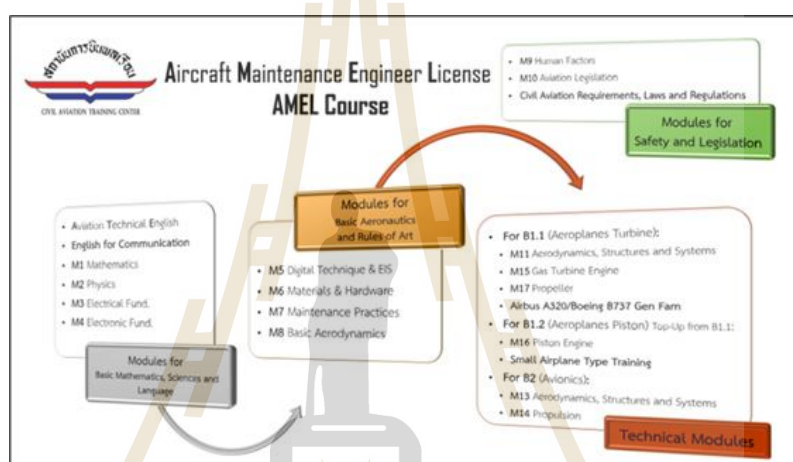
หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน มีจำนวนหน่วยกิตรวมตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 147 หน่วยกิต ประกอบด้วย

- ก. หมวดวิชาศึกษาทั่วไป ไม่น้อยกว่า 31 หน่วยกิต
 - (1) กลุ่มวิชาภาษาต่างประเทศ 16 หน่วยกิต
 - (2) กลุ่มวิชาศึกษาทั่วไปด้านวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ 8 หน่วยกิต
 - (3) กลุ่มวิชาศึกษาทั่วไปด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ 7 หน่วยกิต
- ข. หมวดวิชาเฉพาะ ไม่น้อยกว่า 113 หน่วยกิต
 - (1) กลุ่มวิชาพื้นฐานวิชาชีพ 53 หน่วยกิต
 - (2) กลุ่มวิชาชีพเฉพาะ 49 หน่วยกิต
 - (3) กลุ่มวิชาชีพเลือก ไม่น้อยกว่า 11 หน่วยกิต
- ค. หมวดวิชาเลือกเสรี ไม่น้อยกว่า 3 หน่วยกิต

การฝึกอบรมหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน เป็นไปตามข้อกำหนด Part - 66 ทั้งด้านเนื้อหาและระดับการฝึกอบรม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มวิชา ดังต่อไปนี้

- 1) กลุ่มวิชาพื้นฐาน (Modules for Basic Mathematics, Sciences and Language) ได้แก่ ทักษะภาษาอังกฤษ (English Language) พื้นฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (Mathematics and Physics) พื้นฐานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronic Fundamentals)
- 2) กลุ่มวิชาพื้นฐานวิชาชีพ (Modules for Basic Aeronautics and Rules of Art) ได้แก่ เทคนิคเชิงดิจิทัลและระบบเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ (Digital Techniques and Electronic Instrument Systems) วัสดุและอุปกรณ์อากาศยาน (Materials and Hardware) ระเบียบปฏิบัติในการบำรุงรักษาอากาศยาน (Maintenance Practices) และอากาศพลศาสตร์เบื้องต้น (Basic Aerodynamics)
- 3) กลุ่มวิชาชีพเฉพาะ (Technical Modules) สำหรับสาขาวิชาช่างเครื่องบิน
 - (1) อากาศพลศาสตร์ โครงสร้างและระบบอากาศยานสำหรับช่างเครื่องบิน (Aeroplane Aerodynamics, Structures and Systems) เช่น การฝึกปฏิบัติซ่อมบำรุงโครงสร้างทั้งแบบโลหะแผ่น (Sheet Metal Structure) และวัสดุประกอบ (Advanced Composite Structure) การฝึกปฏิบัติซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศ (Air - Conditioning System) ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel System) ระบบไฟฟ้า (Electrical System) ระบบน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic System) ระบบฐานล้ออากาศยาน (Landing Gear System) เป็นต้น

- (2) เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ (Gas Turbine Engines) ทั้ง 4 ชนิดย่อย ได้แก่ Turbojet Turbofan Turboprop และ Turboshaft
- (3) เครื่องยนต์ลูกสูบ (Piston Engines)
- (4) ใบพัดอากาศยาน (Aircraft Propellers)
- 4) กลุ่มวิชาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายและความปลอดภัย (Modules for safety and Legislation) ได้แก่ ปัจจัยมนุษย์ (Human Factors) และกฎหมายความปลอดภัยด้านการบินสำหรับช่างอากาศยาน (Aviation Legislation)



ภาพที่ 2.1 เนื้อหาและการฝึกอบรมของหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน เป็นไปตามข้อกำหนด Part – 66

ที่มา Aircraft Maintenance Department, Aircraft Maintenance Training Division, CATC.

การประกอบอาชีพหลังจบการศึกษา:

- 1) ช่างอากาศยาน (Aircraft Technician/Engineer/Mechanic) ในหน่วยงานที่ได้รับการรับรองเป็นหน่วยซ่อมบำรุงอากาศยาน (Approved Maintenance Organization : Part - 145) ทั้งภาครัฐและเอกชน
- 2) ช่างอากาศยาน แผนกซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องยนต์อากาศยาน (Shop/Engine Technician) ในหน่วยงานที่ได้รับการรับรองเป็นหน่วยซ่อมบำรุงอุปกรณ์อากาศยาน (Component Maintenance) ทั้งภาครัฐและเอกชน
- 3) เจ้าหน้าที่สนับสนุนการซ่อมบำรุงในหน่วยซ่อมบำรุงอากาศยาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ได้แก่ เจ้าหน้าที่วางแผนการซ่อมบำรุง (Maintenance Planner) เจ้าหน้าที่บริการทางเทคนิค (Technical Service Officer) เจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพ (Quality Assurance Officer) เจ้าหน้าที่

ด้านความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง (Safety Officer) เจ้าหน้าที่พัสดุและบริษัทอากาศยาน (Store Personnel) เป็นต้น

4) ช่างอากาศยานในหน่วยงานรัฐที่ใช้อากาศยานในการกิจต่าง ๆ ทั้งเครื่องบินและเฮลิคอปเตอร์ (State Aircrafts)

5) ช่างซ่อมบำรุงอากาศยานไร้คนขับ (Drone Maintenance Technician) ในหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน

6) ช่างซ่อมบำรุงในบริษัทขุดเจาะและผลิตน้ำมัน (Petroleum Technician or Operator)

7) ช่างซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรมระบบราง (Railway Technician)

8) ช่างซ่อมบำรุงในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

จุดเด่นของหลักสูตร/ สาขาวิชา:

1) หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน มุ่งเน้นผลิตช่างอากาศยานให้มีความรู้ ทักษะความสามารถและทัศนคติด้านการซ่อมบำรุงโครงสร้างอากาศยาน (Aircraft Structures) ระบบอากาศยาน (Airframe Systems) และต้นกำลังอากาศยาน (Aircraft Powerplants) ให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดเกี่ยวกับผู้ประจำหน้าที่นายช่างภาคพื้นดิน B1.1 (Aeroplanes Turbine) และ B1.2 (Aeroplanes Piston) ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) และองค์การความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป (EASA)

2) หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน เป็นหลักสูตรแรกที่ได้รับการรับรองจาก กพท. ภายใต้ใบรับรองสถาบันฝึกอบรมนายช่างภาคพื้นดิน (Part - 147 Approved Maintenance Training Organization) นักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตรนี้จะสามารถขอใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดินได้โดยใช้ประสบการณ์เพียง 1 ปีสำหรับการขอใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดินประเภท B1.2 และใช้ประสบการณ์เพียง 2 ปีสำหรับการขอใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดินประเภท B1.1

3) หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน มีอุปกรณ์ประกอบการฝึกอบรมครบครันและทันสมัย รวมทั้งมีอากาศยานและเครื่องยนต์จริงที่ใช้ในการฝึกอบรมตลอดหลักสูตร

4) หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน จัดการฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยเน้นการนำความรู้และทักษะไปปฏิบัติงานจริง รวมทั้งปลูกฝังทัศนคติ (Attitudes) ในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงภายใต้ความปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานด้านการบิน

5) หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน มีการฝึกอบรมภาคปฏิบัติในสถานประกอบการจริง (Practical Training in Actual Maintenance Working Environment) ภายใต้ข้อตกลงความร่วมมือกับเครือข่ายสถานประกอบการชั้นนำที่ได้รับการรับรองเป็นหน่วยซ่อมบำรุงอากาศยาน (Approved Maintenance Organization: Part - 145) เพื่อบูรณาการการเรียนรู้จาก

ประสบการณ์การปฏิบัติงานในสภาพจริงของอุตสาหกรรมการซ่อมบำรุงอากาศยาน ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด Part-147

6) ผู้สำเร็จการศึกษาสามารถศึกษาต่อยอดไปสู่ระดับปริญญาตรีได้ โดยสามารถศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีเทียบโอนเพิ่มเติมเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 ปีหลังจากสำเร็จการศึกษาหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน

เมื่อสำเร็จการศึกษาจะได้รับประกาศนียบัตรจากสถาบันการบินพลเรือนซึ่งรับรองโดยรัฐบาลไทยและองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ

2.2 เนื้อหารายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 ในหัวข้อการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

รายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 มีจำนวนชั่วโมงเรียนทั้งหมด 165 ชั่วโมง ประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ สำหรับหัวข้อการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ถูกกำหนดเนื้อหาการสอนไว้อยู่ใน Module 7 (M7) - Maintenance Practices โดยระบุไว้ใน Module 7.18 (C) Non-destructive inspection techniques มีจำนวนชั่วโมงเรียน 18 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 2.2 – 2.4

PART-66 MODULE TRAINING DETAILS

Topics/Details	Level	Theory (hrs)	P-66 MCO
7.7 Electrical Wiring Interconnection System (EWIS)	3	21	7
Continuity, insulation and bonding techniques and testing;			
Use of crimp tools: hand and hydraulic operated;			
Testing of crimp joints;			
Connector pin removal and insertion;			
Co-axial cables: testing and installation precautions;			
Identification of wire types, their inspection criteria and damage tolerance.			
Wiring protection techniques: Cable looming and loom support, cable clamps, protective sleeving techniques including heat shrink-wrapping, shielding.			
EWIS installations, inspection, repair, maintenance and cleanliness standards.			
7.8 Riveting	2	9	3
Riveted joints, rivet spacing and pitch;			
Tools used for riveting and dimpling;			
Inspection of riveted joints.			
7.9 Pipes and Hoses	2	6	3
Bending and bell/flaring aircraft pipes;			
Inspection and testing of aircraft pipes and hoses;			
Installation and clamping of pipes.			
7.10 Springs	2	1	1
Inspection and testing of springs.			
7.11 Bearings	2	1	3
Testing, cleaning and inspection of bearings;			
Lubrication requirements of bearings;			
Defects in bearings and their causes.			

ภาพที่ 2.2 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 (1)

ที่มา Aircraft Maintenance Department, Aircraft Maintenance Training Division, CATC.

Topics/Details	Level	Theory (hrs)	P-46 MCQ
7.12 Transmissions Inspection of gears, backlash; Inspection of belts and pulleys, chains and sprockets; Inspection of screw jacks, lever devices, push-pull rod systems.	2	1	3
7.13 Control Cables Swaging of end fittings; Inspection and testing of control cables; Bowden cables; aircraft flexible control systems.	2	6	3
7.14 Material handling 7.14.1 Sheet Metal Marking out and calculation of bend allowance; Sheet metal working, including bending and forming; Inspection of sheet metal work.	2	6	1
7.14.2 Composite and non-metallic Bonding practices; Environmental conditions; Inspection methods.	2	15	1
7.15 Welding, Brazing, Soldering and Bonding (a) Soldering methods; inspection of soldered joints. (b) Welding and brazing methods; Inspection of welded and brazed joints; Bonding methods and inspection of bonded joints.	2 2	3 15	1 1
7.16 Aircraft Weight and Balance (a) Centre of Gravity/Balance limits calculation: use of relevant documents; (b) Preparation of aircraft for weighing; Aircraft weighing.	2 2	6 3	1 1

ภาพที่ 2.3 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices
Theory for B1 (2)

ที่มา Aircraft Maintenance Department, Aircraft Maintenance Training Division, CATC.

Topics/Details	Level	Theory (hrs)	P-46 MCQ
7.17 Aircraft Handling and Storage Aircraft taxiing/towing and associated safety precautions; Aircraft jacking, chocking, securing and associated safety precautions; Aircraft storage methods; Refuelling/defuelling procedures; De-icing/anti-icing procedures; Electrical, hydraulic and pneumatic ground supplies. Effects of environmental conditions on aircraft handling and operation.	2	15	7
7.18 Disassembly, Inspection, Repair and Assembly Techniques (a) Types of defects and visual inspection techniques; Corrosion removal, assessment and re-protection; (b) General repair methods; Structural Repair Manual; Ageing, fatigue and corrosion control programmes; (c) Non-destructive inspection techniques including, penetrant, radiographic, eddy current, ultrasonic and boroscope methods; (d) Disassembly and re-assembly techniques; (e) Trouble shooting techniques.	3 2 2 2 2	9 9 18 1.5 1.5	2 2 1 1 1
7.19 Abnormal Events (a) Inspections following lightning strikes and HIRF penetration; (b) Inspections following abnormal events such as heavy landings and flight through turbulence.	2 2	3 3	1 1
7.20 Maintenance Procedures Maintenance planning; Modification procedures; Stores procedures; Certification/release procedures; Interface with aircraft operation; Maintenance Inspection/Quality Control/Quality Assurance; Additional maintenance procedures; Control of life limited components.	2	12	8
		165	53

ภาพที่ 2.4 หัวข้อการสอนในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices
Theory for B1 (3)

ที่มา Aircraft Maintenance Department, Aircraft Maintenance Training Division, CATC.

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non - Destructive Testing: NDT) คือ วิธีการตรวจสอบคุณภาพและประเมินคุณสมบัติของวัสดุ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานทางด้านวิศวกรรมที่จะต้องออกแบบวัสดุให้มีความแข็งแรงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ด้วยเหตุนี้ทำให้การทดสอบแบบไม่ทำลายเข้ามามีความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุก่อนนำไปใช้งาน ทำให้สามารถป้องกันความเสี่ยงและอุบัติเหตุ ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนชิ้นงานทั้งหมด เพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุในกระบวนการผลิต

การทดสอบแบบไม่ทำลายมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีเหมาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบโดยใช้สายตา (Visual Testing: VT) เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่สะดวกและประหยัดที่สุด ค่อย ๆ พัฒนามาจนถึงวิธีการที่นำเทคโนโลยีและใช้อุปกรณ์ร่วมด้วย เช่น การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing: RT), การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing: PT), การตรวจสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Testing: UT), การตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing: ECT), การตรวจสอบด้วยเสียง (Acoustic Emission Testing: AET), การทดสอบด้วยความร้อน (Thermographic Testing: TT) และ การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing: MT) เป็นต้น

การเรียนการสอนในหัวข้อการทดสอบอวกาศยานแบบไม่ทำลาย ประกอบด้วย 5 วิธี ดังนี้

2.2.1 การตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Flaw Detection: PFD)

การตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึม Penetrant Testing (PT) มีอีกชื่อเรียกว่า Dry Penetrant Inspection (DPI) หรืออีกชื่อว่า Liquid Penetrant Inspection (LPI) เป็นมาตรฐานการทดสอบแบบไม่ทำลายที่มักนิยมใช้ทดสอบกับงานเชื่อมที่เป็นโลหะและอโลหะ โดยต้องมีความหนาตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหารอยร้าวหรือรอยบกพร่องบนพื้นผิว (Surface Method) หากตรวจความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ผิวหรือเปิดสู่ผิวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในบริเวณที่อาจจะได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างและทำให้คุณสมบัติของวัสดุที่เชื่อมตรงบริเวณนั้น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ การตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมจะอาศัยหลักการอากัปภิกิริยาท่อเล็ก (Capillary action) คือ การทาหรือฉีดพ่นน้ำยาแทรกซึมที่ผิวชิ้นงานทดสอบแล้วปล่อยให้ น้ำยาแทรกซึม ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการซึมเข้าไปในรอยแตกหรือข้อบกพร่องค่อย ๆ ดูดซึมเข้าไปในรอยบกพร่องที่เป็นโพรงช่องว่างของเนื้อโลหะที่ทำการทดสอบ จากนั้นทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ที่เรียกว่า Dwell Time การตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมนี้มีจุดเด่น คือ สามารถทดสอบได้กับวัสดุเกือบทุกชนิด ยกเว้นเพียงวัสดุที่มีรูพรุนหรือมีลักษณะผิวหยาบ รูปร่างของวัสดุก็ไม่ได้เป็นข้อจำกัดในการทดสอบ มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน สามารถตรวจสอบได้

โดยง่าย ใช้อุปกรณ์น้อยชิ้น และมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ส่วนข้อจำกัดของการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึม คือ รอยความไม่ต่อเนื่องที่พบจะต้องเปิดผิวเท่านั้น ต้องทำความสะอาดผิวชิ้นงานก่อนที่จะทำการทดสอบเป็นอย่างดี ต้องใช้ระยะเวลาในการรอสารแทรกซึมทำปฏิกิริยา และชิ้นงานที่ทดสอบอาจมีกลิ่นไม่พึงประสงค์จากการกระจายตัวของสารแทรกซึม

ประวัติของการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึม เกิดขึ้นในช่วงต้นปีทศวรรษที่ 1900 มีการยอมรับการใช้หลักการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมเป็นครั้งแรก โดยมีการใช้น้ำมันและไวท์ดิง (Oil and Whiting) ตรวจสอบชิ้นงานวัสดุเหล็กและเหล็กกล้าในอุตสาหกรรมรถไฟ ถูกใช้ตรวจรอยร้าวของชิ้นส่วนหัวรถจักร เมื่อทำความสะอาดชิ้นส่วนโดยใช้ตัวทำละลายแล้ว จะทำการทาไวท์ดิงหรือขอล์กเคลือบลงบนผิวชิ้นงาน เพื่อต้องการให้เกิดการดูดซับน้ำมัน แบ่งชั้นสีขาวบนผิวชิ้นงานเมื่อแอลกอฮอล์ระเหยไป จะค่อย ๆ ปรากฏตำแหน่งของรอยแตกร้าว แล้วทำการสั่นชิ้นงานด้วยการตีด้วยค้อน ซึ่งจะทำให้น้ำมันที่ตกค้างอยู่ในรอยแตกร้าวค่อย ๆ ซึมออกมา ทำให้สารเคลือบสีขาวกลายเป็นคราบ มองเห็นตำแหน่งของรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ใช้มาจนถึงประมาณปีทศวรรษที่ 1940 ได้มีวิวัฒนาการใช้น้ำยาแทรกซึมแบบเรืองแสง (Fluorescent dye) และน้ำยาแทรกซึมแบบย้อมสีหรือสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible dye or Color contrast dye) มาใช้งานแทนวิธีการตรวจสอบรอยร้าวแบบเดิม

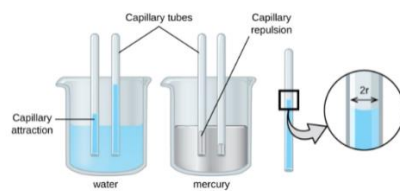
หลักการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมใช้หลักการปฏิกิริยาดูดซึมตามรูเล็กหรือเรียกให้เข้าใจโดยง่ายว่า ความสามารถในการแทรกซึม (Capillary Action) เป็นปฏิกิริยาที่ของเหลวดันตัวเองเพื่อทำการแทรกซึมเข้าไปในรูช่องแคบบนผิวของวัสดุ จัดเป็นปรากฏการณ์ของแรงธรรมชาติ จะอาศัยแรงดึงดูดและแรงยึดเกาะโมเลกุลของของเหลว ในการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมภายหลังขั้นตอนการเคลือบน้ำยาแทรกซึมลงบนผิวชิ้นงานแล้ว น้ำยาแทรกซึมจะค่อย ๆ ทำการดูดซึมลงในรอยแตกร้าวตามรูเล็ก ๆ ซึ่งจะต้องใช้ระยะเวลาในการซึมเข้าผิวชิ้นงานของน้ำยาแทรกซึมที่เรียกว่า Dwell Time ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ (Type of Material), กระบวนการผลิต (Form) และ ชนิดของความไม่ต่อเนื่อง (Type of Discontinuity)

คุณสมบัติการแทรกซึมของน้ำยาแทรกซึมที่ใช้ในการตรวจรอยร้าวจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 อย่าง ได้แก่

- 1) ขนาดของรอยความไม่ต่อเนื่อง (Size of Discontinuity)
- 2) ความตึงผิวของของเหลว (Liquid Surface tension)
- 3) ความสามารถในการเปียก (Wet Ability) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญมาก

โดยจะขึ้นอยู่กับมุมที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของชิ้นงาน (θ) หากเป็นมุมที่มีขนาดเล็ก (Small contact angle) ค่าความสามารถในการเปียกจะสูง แต่กรณีถ้าเป็นมุมที่มีขนาดใหญ่ (Large contact angle)

ค่าความสามารถในการเปียกจะต่ำ โดยค่าความสามารถในการเปียกสามารถคำนวณได้จากค่า ($\cos\theta$)



ภาพที่ 2.5 ความสามารถในการซึมของของเหลว ตามหลักการ Capillary Action

ที่มา สมาคมฟิสิกส์ไทย (2020)

ประเภทของน้ำยาตรวจสอบแทรกซึม (Type of Penetrant) จะต้องมีความสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E165 หรือ EN ISO 3452 - 2 โดยจะมีแรงตึงผิวต่ำ (Low Surface Energy) แทรกตัวได้สูงและมีความหนืด (Viscosity) ที่เหมาะสม และมีความสามารถทำให้ผิวเปียก (Wetting Ability) นอกจากนี้แล้วยังต้องมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง ไม่แห้งง่าย สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือเรืองแสง (Fluorescent) สามารถกำจัดออกได้ง่าย โดยประเภทของน้ำยาแทรกซึมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของการมองเห็นได้ด้วยตา ได้แก่

1) Type 1 - น้ำยาแทรกซึมชนิดเรืองแสง (Fluorescent dye) เป็นน้ำยาแทรกซึมชนิดเรืองแสงหรือเรืองแสง สามารถมองเห็นได้ภายใต้แสงแบล็กไลต์ (Black Light) เท่านั้น สีที่มองเห็นมักจะเป็นสีเขียวหรือสีเหลือง มีความยาวคลื่น 200 -400 นาโนเมตร ซึ่งความยาวคลื่นช่วงนี้เป็นอันตรายต่อผิวหนังและสายตาของมนุษย์ ดังนั้นควรต้องใช้ตัวกรองแสงช่วงความยาวคลื่นที่เป็น UV ออก ให้เหลือแค่ 320 – 400 นาโนเมตร สำหรับการใช้ทดสอบ หลังจากมีการเคลือบน้ำยาแทรกซึมลงบนผิวชิ้นงานแล้ว ขั้นตอนถัดมาจะใช้ Developer (น้ำยาสีสร้างภาพ) ซึ่งจะต้องใช้ความเข้มของแสงแบล็กไลต์ส่องไปที่ชิ้นงาน เพื่อดูรอยร้าว รอยบกพร่อง หรือรอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงาน โดยตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล ASME Section V: article 6 ได้กำหนดไว้ว่า ความเข้มของแสงแบล็กไลต์ต้องมีความสว่างไม่ต่ำกว่า 1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และไม่น้อยกว่า 12 วัตต์ต่อตารางเมตร บนผิวหน้าชิ้นงานตามมาตรฐาน มอก. 1324 โดยใส่ในหลอด Blacklight จะต้องถูกอุ่นก่อนอย่างน้อย 5 นาที และผู้ตรวจสอบควรต้องปรับสายตาโดยอยู่ในบริเวณที่มีดักก่อนไปทำการทดสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาทีด้วยเช่นกัน

2) Type 2 - น้ำยาแทรกซึมชนิดย้อมสีหรือมองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible dye or Color contrast dye) เป็นน้ำยาแทรกซึมชนิดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยปกติมักจะมีสีแดงเพื่อตัดกับสีของ Developer (น้ำยาสีสร้างภาพ) ซึ่งเป็นสีขาว ทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจน แต่จะมี

ความไวในการทดสอบ (Sensitivity) น้อยกว่าการใช้ยายาแทรกซึมชนิดวาวแสงอยู่เล็กน้อย ใช้ความเข้มของแสงแบล็กไลต์ต้องไม่ต่ำกว่า 1000 ลักซ์ ตามข้อกำหนด ASME Section V: article 6 แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วในงานสนามมักเลือกใช้ยายาแทรกซึมชนิดย้อมสีหรือมองเห็นด้วยตาเปล่า เพราะไม่ต้องทำการตรวจสอบในบริเวณที่มีมืด ทำให้สะดวกต่อการปฏิบัติงานจริง

ชนิดของยายาแทรกซึม แบ่งย่อยออกตามลักษณะการกำจัดยายาส่วนเกิน ได้ 3 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

1) การกำจัดยายาแทรกซึมโดยการล้างออกด้วยน้ำ (Water washable): กำจัดยายาส่วนเกินโดยการพ่นน้ำเป็นฝอยที่ความดันไม่เกิน 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่เกิน 43 °C ตามข้อกำหนดของ ASME Section V: article 6 และมีค่าความดันของน้ำต้องไม่เกิน 275 กิโลพาสคัล อีกทั้งยังต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 10 - 38 °C ปรับให้ หัวฉีดห่างจากชิ้นงานไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก. 1324

2) การกำจัดยายาแทรกซึมโดยการใช้อิมัลซิฟายเออร์ (Post emulsifier): ใช้เคลือบชิ้นงานหลังจากครบระยะเวลาแทรกซึมเวลาที่ใช้เคลือบอิมัลซิฟายเออร์ต้องควบคุมไม่ให้นานเกินไป ซึ่งมีโอกาสทำให้ล้างยายาแทรกซึมออกมากเกินไป ซึ่งเวลาที่เหมาะสมดูได้จากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ประกอบกับการทดลองหาเวลาที่เหมาะสม โดยอิมัลซิฟายเออร์มี 2 ชนิด คือ ชนิดน้ำมัน และชนิดน้ำอิมัลซิฟายเออร์ โดยชนิดน้ำมันจะทำหน้าที่ผสมเข้ากับยายาแทรกซึม ทำให้สารแทรกซึมนั้นมีสมบัติล้างออกได้ ส่วนอิมัลซิฟายเออร์ชนิดน้ำนั้นจะไม่ผสมเข้ากับสารแทรกซึมโดยตรง แต่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของสารแทรกซึม ทำให้สามารถล้างน้ำออกได้

3) การกำจัดยายาแทรกซึมโดยการเช็ดออกด้วยตัวทำละลาย (Solvent removable): ตัวทำละลายมีส่วนประกอบของเมทิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) และทินเนอร์ การเลือกใช้ต้องใช้ตามชนิดของยายาแทรกซึม การกำจัดด้วยตัวทำละลายต้องไม่ฉีดหรือพ่นตัวทำละลายลงบนชิ้นงานโดยตรง ต้องฉีดใส่ผ้าพอหมาด ๆ แล้วเช็ดออก การทดสอบว่าเช็ดออกหมดหรือไม่ให้ดูว่าไม่มีสีของสารแทรกซึมติดออกมากับผ้าที่เช็ดหรือไม่ ดังนั้นผ้าที่ใช้เช็ดควรมีสีขาวและไม่มีขน ถ้าเป็นสารแทรกซึมแบบเรืองแสงต้องมองดูภายใต้แสงแบล็กไลต์

ชนิดของยายาสรางภาพ (Developer) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติช่วยดึงยายาแทรกซึม มาแสดงภาพเป็นรอยบ่งชี้ของรอยความไม่ต่อเนื่องนั้น ๆ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- 1) แบบแห้ง (Dry developer)
- 2) แบบเปียก (Wet developer) สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชนิด คือ
 - (1) ชนิดแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Water suspension of powder) เวลาใช้ต้องกวนให้ผงที่แขวนลอยอยู่เข้ากันกับน้ำ ชนิดนี้มีความไวในการทดสอบต่ำ

(2) ชนิดละลายในน้ำ (Developer soluble in water) มีความไวในการทดสอบ

(3) ชนิดที่แขวนลอยอยู่ในตัวทำละลาย (Solvent suspension of powder) แบ่งเป็นชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (Aqueous) และชนิดที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (Non-aqueous) โดยสารสร้างภาพชนิดที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก และชนิดแขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมทั้งชนิดละลายในน้ำ สามารถใช้กับชิ้นงานที่ยังเปียกอยู่หลังจากผ่านการชำระล้างด้วยน้ำโดยที่ไม่ต้องรอให้แห้ง

สำหรับน้ำยาสร้างภาพชนิดที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ จะใช้ทดสอบกับชิ้นงานได้ก็ต่อเมื่อทำให้ผิวชิ้นงานนั้นแห้งสนิท ระยะเวลาแทรกซึมที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ กระบวนการผลิต และชนิดรอยความไม่ต่อเนื่อง โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของ ASME ดังภาพที่ 2.6

กรณีที่ระยะเวลาแทรกซึมเกิน 2 ชั่วโมง ควรทำความสะอาดชิ้นงานและเริ่มทำการทดสอบตามขั้นตอนใหม่ทั้งหมดอีกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแทรกซึมแห้งหรือเสื่อมสภาพ และในกรณีที่ทำการจุ่มชิ้นงานลงในสารแทรกซึม เวลาของการจุ่มต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของระยะเวลาแทรกซึม ตามมาตรฐาน มอก. 1324 ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมของสารสร้างภาพ คือ ประมาณครึ่งหนึ่งของระยะเวลาแทรกซึม แต่ไม่ต่ำกว่า 10 นาที และไม่เกิน 60 นาทีตามข้อกำหนดของ ASME Section V

วัสดุ	ลักษณะของงาน	ชนิดรอยความไม่ต่อเนื่อง	ระยะเวลาในการแทรกซึม (Dwell time)	เวลาในการรอการสร้างภาพ (Developer time)
อลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองเหลืองและ บรอนซ์ ไทเทเนียม และเหล็กพ่น อลูมิเนียมสูง	- กระบวนการหล่อ - การเชื่อม	โคลดริต รูพรุน การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ รอยร้าว (ทุกลักษณะของงาน)	5	10
อลูมิเนียมสูง	Wrought materials extrusions, Forgings, Plate	รอยแยก รอยร้าว (ทุกลักษณะของงาน)	10	10
มีดคาร์ไบด์		การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ รูพรุน รอยร้าว	5	10
พลาสติก	กระบวนการทุกชนิด	รอยร้าว	5	10
แก้ว	กระบวนการทุกชนิด	รอยร้าว	5	10
เซรามิก	กระบวนการทุกชนิด	รอยร้าว	5	10

หมายเหตุ สำหรับในช่วงอุณหภูมิ 50 -125 °F (10-52 °C) สำหรับอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 5-10 °C ระยะเวลาแทรกซึมที่ต่ำที่สุดจะต้องมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าที่กำหนดไว้ในตาราง

ภาพที่ 2.6 ระยะเวลาในการแทรกซึมต่ำสุดตามมาตรฐาน ASME

ที่มา ภาษา ประทีปเสน (2550)

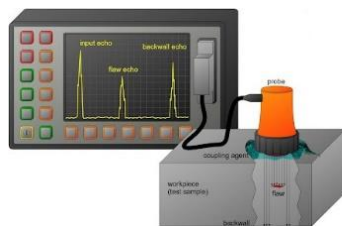
ขั้นตอนการตรวจรอยร้าวด้วยสารแทรกซึมก่อนทำการตรวจสอบชิ้นงานจะต้องแห้ง และมีอุณหภูมิของชิ้นงานควรอยู่ประมาณ 10 – 52 องศาเซลเซียส และควรมีแสงสว่าง

เพียงพอ (ประมาณ 1,000 ลักซ์) ในกรณีที่ใช้ น้ำยาแทรกซึมแบบมองเห็นด้วยตา ถ้าหากใช้ น้ำยาแทรกซึมแบบเรืองแสงจะต้องทดสอบในบริเวณที่มีความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เริ่มทำการทดสอบตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน (Pre - cleaning) โดยใช้ น้ำยาทำความสะอาด (Cleaner) เพื่อขจัดสิ่งสกปรกไม่ให้เหลือตกค้างอยู่ที่ผิว โดยลักษณะการฉีดพ่นควรมีระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับชิ้นงานประมาณ 2 นิ้ว จากนั้นทำให้ชิ้นงานแห้งสนิทก่อนทำขั้นตอนถัดไป
- 2) ฉีดพ่นสารแทรกซึม (Apply Penetrant) ลงบนผิวชิ้นงาน โดยลักษณะการฉีดพ่นควรมีระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับชิ้นงานประมาณ 3 นิ้ว จากนั้นรอให้สารแทรกซึมค่อย ๆ ซึมเข้าสู่ผิวชิ้นงาน (Dwell Time) ประมาณ 5 นาที ขึ้นไป และใช้ผ้าสะอาดเช็ดออก
- 3) กำจัดสารแทรกซึมส่วนเกินที่ยังติดเหลือค้างออกจากผิวชิ้นงาน (Excess Penetrant Removal) โดยเลือกใช้น้ำยากำจัดสารแทรกซึม ตามชนิดความเหมาะสม ขั้นตอนนี้มีข้อควรระวัง คือ ห้ามฉีดพ่น Remover ลงบนผิวชิ้นงานโดยตรงเด็ดขาด จากนั้นเช็ดชิ้นงานให้สะอาด
- 4) ฉีดพ่นสารสร้างภาพ (Developer) ลงบนผิวชิ้นงานให้ทำปฏิกิริยากับน้ำยาแทรกซึม (Apply Development) เพื่อให้สามารถมองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะการฉีดพ่นควรมีระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับชิ้นงานประมาณ 12 นิ้ว (1 ฟุต) หลังฉีดพ่น Developer ควรรอให้สารทำปฏิกิริยากัน (Dwell Time) ก่อนทำการวิเคราะห์ผล
- 5) ทำการตรวจสอบโดยใช้สายตา หรือนำส่องผ่านแสงแบล็กไลต์ที่มีความมืดตามมาตรฐานกำหนด โดยมีผู้เชี่ยวชาญควบคุมอยู่ด้วย จากนั้นบันทึกผล และวิเคราะห์ข้อมูล (Record and Inspection)
- 6) ทำความสะอาดผิวชิ้นงานหลังทำการตรวจสอบเสร็จ (Post - cleaning)

2.2.2 การตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic Flaw Detection: UFD)

การตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง Ultrasonic Testing (UT) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อตรวจหาข้อบกพร่องในวัสดุ เช่น รอยร้าว รูโพรง หรือสิ่งแปลกปลอมที่ฝังอยู่ภายใน มีหลักการทำงาน คือ ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (20 kHz - 10 MHz) ใช้หัวตรวจสอบ (Probe) ที่ส่งผ่านตัวส่งสัญญาณ (Transducer) ไปยังวัสดุและแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นพลังงานในรูปของคลื่นเสียง ซึ่งคลื่นเสียงจะสะท้อนกลับมาที่หัวตรวจสอบก็ต่อเมื่อเจอข้อบกพร่องของวัสดุ การสะท้อนกลับนี้จะถูกบันทึกและวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งและลักษณะของข้อบกพร่อง



ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์ตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

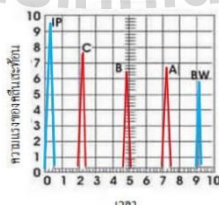
ที่มา อาษา ประทีปเสน (2550)

อุปกรณ์สำคัญของการตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง ประกอบด้วย :

- 1) Transducer (ตัวส่งสัญญาณ): อุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานคลื่นเสียง และในทางกลับกันก็ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานคลื่นเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้ากลับมา มีหลากหลายประเภท เช่น แบบตรง (Straight beam) ส่งคลื่นตรง 90 องศา และแบบมุม (Angle beam) ส่งคลื่นเอียง เหมาะสำหรับตรวจรอยต่อ
- 2) เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pulser/Receiver): ทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลื่นเสียงและรับสัญญาณสะท้อนกลับ
- 3) Couplant (ตัวกลาง): ทำหน้าที่เป็นเป็นสารช่วยส่งผ่านส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งสัญญาณเข้าสู่วัสดุ เช่น น้ำมัน น้ำ หรือเจล เพื่อลดการสะท้อนที่อาจเกิดขึ้นบนพื้นผิว
- 4) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Flaw Detector): อุปกรณ์รับสัญญาณสะท้อนกลับและแสดงผลในรูปแบบกราฟหรือภาพ (A-Scan, B-Scan, C-Scan)
- 5) วัสดุที่ทดสอบ (Test Material): วัสดุหรือชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ

รูปแบบการแสดงผล สามารถแสดงผลได้ 3 แบบ ดังนี้

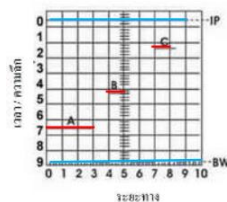
- 1) A-Scan: กราฟแสดงความเข้มของสัญญาณสะท้อนตามเวลา ใช้ระบุตำแหน่งและความลึกของข้อบกพร่อง



ภาพที่ 2.8 ผลกราฟแบบ A-Scan

ที่มา อาษา ประทีปเสน (2550)

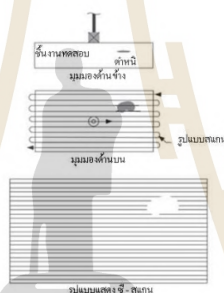
2) B-Scan: ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งและขนาดของข้อบกพร่องในสองมิติ



ภาพที่ 2.9 ผลกราฟแบบ B-Scan

ที่มา ภาษา ประทีปเสน (2550)

3) C-Scan: ภาพสามมิติแสดงตำแหน่งและขนาดของข้อบกพร่อง



ภาพที่ 2.10 ผลกราฟแบบ C-Scan

ที่มา ภาษา ประทีปเสน (2550)

ขั้นตอนการตรวจรอยร้าวด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง :

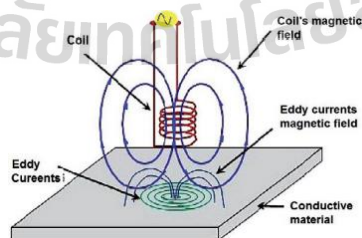
- 1) เตรียมพื้นผิว: ทำความสะอาดผิวชิ้นงาน และทาสารหล่อลื่น (Couplant) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านคลื่นเสียง
- 2) สอบเทียบเครื่อง (Calibration): ทำการปรับค่าความเร็วคลื่นในวัสดุ กำหนดช่วงการตรวจสอบ ใช้ชิ้นทดสอบมาตรฐาน
- 3) การส่งคลื่นเสียง: ตัวส่งสัญญาณปล่อยคลื่นเสียงเข้าสู่วัสดุ
- 4) การตรวจสอบ: เคลื่อนหัวตรวจจับไปตามพื้นผิว เมื่อคลื่นเสียงพบข้อบกพร่อง สัญญาณสะท้อนจะกลับไปที่ตัวรับ
- 5) การบันทึกและวิเคราะห์สัญญาณ: สัญญาณสะท้อนที่ได้รับจะถูกแสดงในรูปแบบกราฟหรือภาพ (A-Scan, B-Scan, C-Scan)
- 6) การตีความผลลัพธ์: ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบลักษณะและตำแหน่งของข้อบกพร่อง

2.2.3 การตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน (Eddy Current Flaw Detection: ECFD)

การตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing: ET) ได้เริ่มขึ้นจากการที่ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ผู้ค้นพบหลักพื้นฐานของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) หรือ “กฎของฟาราเดย์” ในปี ค.ศ.1831 ซึ่งมีใจความสำคัญว่า “เมื่อสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงจะมีการเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำนั้น” ในเวลาต่อมา นักวิทยาศาสตร์อีกคนหนึ่ง คือ Hughes ได้ทำการทดลองเพื่อบันทึกคุณสมบัติของขดลวดที่วางสัมผัสอยู่กับโลหะที่มีค่าความนำไฟฟ้า และค่าการซึมซาบแม่เหล็กที่ต่าง ๆ กัน แต่ก็ยังไม่มียุคเกิดขึ้น จนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ. 1950 ถึง 1960 เริ่มมีการนำเอาหลักการของกระแสไฟฟ้าไหลวนไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอากาศยาน และอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ ปัจจุบันในงานอุตสาหกรรมอากาศยานใช้วิธีการตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวนเพื่อวัดความหนาของลำตัวเครื่องบิน

การตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้กระแสไหลวน (Eddy Currents) เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องในวัสดุโลหะ โดยอาศัยหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism) ทำให้เกิดกระแสไหลวนบนชิ้นงานทดสอบ และสังเกตค่าอิมพีแดนซ์ของหัวทดสอบ (Probe) ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสไหลวนบนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติ รูปร่าง หรือรอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในวัสดุ โดยสามารถทดสอบวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้เท่านั้น

การทดสอบโดยวิธีนี้เป็นแบบไม่สัมผัสจึงสามารถทดสอบชิ้นงานที่มีรูปร่างต่าง ๆ ได้หลากหลาย สำหรับวัสดุที่มีความหนาจะทำการทดสอบได้เฉพาะบริเวณพื้นผิวและใต้ผิวลงไปเล็กน้อย นอกจากนั้นยังใช้ทดสอบลักษณะทางกล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก เช่น ใช้ทดสอบชนิดของวัสดุรวมไปถึงนำไปใช้วัดความหนาของวัสดุที่มีขนาดบาง ๆ และใช้หาความหนาของชั้นสีหรือผิวเคลือบของวัสดุได้ในระดับไมโครเมตรอีกด้วย วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทดสอบคุณภาพของวัสดุในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องได้



ภาพที่ 2.11 หลักการตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน

ที่มา Center for Nondestructive Evaluation (2025)

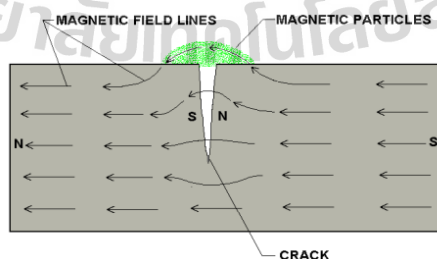
ขั้นตอนการตรวจรอยร้าวด้วยกระแสไหลวน :

- 1) การเตรียมพื้นที่และอุปกรณ์:
 - (1) ทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานโดยขจัดสิ่งสกปรกออกให้หมด
 - (2) ตรวจสอบความเรียบของพื้นผิว
 - (3) เตรียมเครื่องตรวจสอบกระแสไหลวน (Eddy Current Tester) และหัวตรวจจับ (Probe) ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์
 - (4) ตรวจสอบสายเชื่อมต่อ และระบบแสดงผล
- 2) การสอบเทียบเครื่อง (Calibration):
 - (1) เลือก Probe ให้เหมาะสมกับวัสดุและลักษณะข้อบกพร่องที่ต้องการตรวจสอบ
 - (2) ใช้ชิ้นงานมาตรฐาน (Reference Standard) ในการปรับตั้งค่า
 - (3) ทำการตั้งค่าความถี่และความไวของเครื่องให้เหมาะสม (โดยทั่วไปใช้ความถี่ 100 Hz ถึง 10 MHz)
 - (4) ตั้งค่าการแสดงผลให้เหมาะสม
- 3) การตรวจสอบ:
 - (1) วาง Probe บนพื้นผิวชิ้นงานและเคลื่อน Probe ไปยังบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ
 - (2) ควรเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และรักษาความสัมพันธ์ระหว่าง Probe กับชิ้นงาน
 - (3) สัญญาณที่ได้รับจะเปลี่ยนแปลงเมื่อ Probe เคลื่อนไปยังบริเวณที่มีข้อบกพร่อง
 - (4) สัญญาณจะแสดงบนจอในรูปแบบกราฟหรือสัญญาณดิจิทัล
 - (5) หากพบข้อบกพร่องให้ตรวจสอบซ้ำในบริเวณเดียวกันเพื่อยืนยันผล
- 4) การบันทึกผล:
 - (1) วิเคราะห์ผลที่แสดงบนจอ
 - (2) บันทึกตำแหน่งข้อบกพร่อง
 - (3) วัดขนาดและความลึกของรอยบกพร่อง
 - (4) ประเภทของ Probe ที่ใช้
 - (5) ค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งค่า
- 5) จัดทำรายงานผลการตรวจสอบ:
 - (1) จัดทำรายงานสรุปผลการตรวจสอบ โดยระบุ:

- (2) ลักษณะของข้อบกพร่องที่พบ
- (3) ความเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมของชิ้นงานในการใช้งานต่อไป
- (4) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เช่น การซ่อมแซมหรือการตรวจสอบเพิ่มเติม

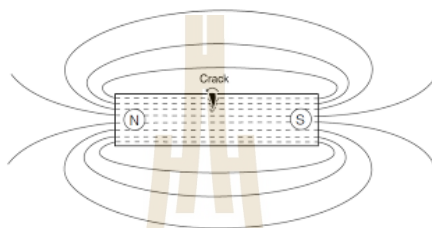
2.2.4 การตรวจรอยร้าวด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Flaw Detection : MPFD)

การตรวจรอยร้าวด้วยอนุภาคแม่เหล็กเป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายประเภทหนึ่งที่ใช้กับวัสดุที่เป็นแม่เหล็กดูดติด (Ferromagnetic) เท่านั้น เช่น เหล็กกล้า, นิกเกิล, โคบอลต์ผสม เป็นต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความไม่ต่อเนื่องที่เปิดผิวและอยู่ใต้ผิวเล็กน้อย (ใต้ผิวด้าน ๆ) มีจุดเด่นด้านวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว แต่มีความจำเป็นต้องคลายอำนาจแม่เหล็กหลังการทดสอบ และจำเป็นต้องมีการเหนี่ยวนำชิ้นงานให้เกิดสนามแม่เหล็กอย่างน้อย 2 ทิศทาง ซึ่งเมื่อเหนี่ยวนำชิ้นงานให้เกิดอำนาจแม่เหล็กจะพบว่าบริเวณที่มีรอยความไม่ต่อเนื่องจะเกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นทำให้เกิดเป็นขั้วแม่เหล็ก อาศัยหลักการเหนี่ยวนำจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) ตรงบริเวณผิวชิ้นงานที่จะทดสอบให้เป็นแม่เหล็ก และจะทำการโรยหรือพ่นผงเหล็กขนาดเล็กลงบนบริเวณผิวชิ้นงานที่ทดสอบ หากชิ้นงานมีรอยแตกร้าวบนผิวชิ้นงานจะเกิดสนามแม่เหล็กรั่วในบริเวณดังกล่าว และดึงดูดผงเหล็กให้มารวมตัวกันเป็นแนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องที่เห็นได้อย่างเด่นชัด ดังภาพที่ 2.12 ทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานได้ เมื่อพิจารณาแนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องพบว่ารอยความไม่ต่อเนื่องที่มีการวางตัวตัดขวางกับทิศของเส้นแรงแม่เหล็ก สามารถทำให้เกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กได้มากที่สุด และจะสามารถดึงดูดผงเหล็กไว้ได้มากที่สุดด้วย จึงเป็นกรณีที่มีความไวในการทดสอบสูงที่สุด แต่ถ้าหากการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่องขนานกับทิศของเส้นแรงแม่เหล็ก ย่อมทำให้เกิดการรั่วของเส้นแรงแม่เหล็กน้อย ทำให้ความไวในการทดสอบต่ำ โดยการทดสอบให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้น ทิศทางของความไม่ต่อเนื่องและรอยบกพร่องต้องวางตัวตั้งฉาก (90 องศา) กับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก



ภาพที่ 2.12 แนวการวางตัวของรอยความไม่ต่อเนื่อง

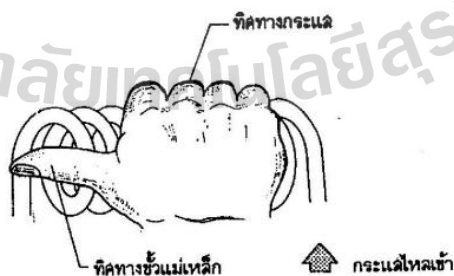
การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้อนุภาคแม่เหล็ก เป็นวิธีการทดสอบที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กกับการใช้ผงเหล็ก เพื่อตรวจหารอยความบกพร่องของชิ้นงาน โดยในการทดสอบจะต้องสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นในชิ้นงานที่จะทดสอบ ถ้าชิ้นงาน ที่นำมาทดสอบมีรอยความบกพร่องเกิดขึ้น จะทำให้เกิดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นบริเวณรอบ ๆ รอยความบกพร่องตามที่แสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กบริเวณรอยแตกร้าว (Crack)

ที่มา เอกสารแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า (2567)

เมื่อนำผงเหล็กขนาดเล็กมาโรยบนผิวชิ้นงานทดสอบ จะพบว่าผงเหล็กจะถูกดูดให้มารวมตัวกันบริเวณที่มีเส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไหลออกมา ทำให้สามารถที่จะตรวจพบรอยความบกพร่องที่เกิดขึ้นได้โดยง่ายด้วยตาเปล่า แต่ในบางกรณีที่รอยความบกพร่องของชิ้นงานวางตัวอยู่ทิศทางเดียวกันกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก อาจจะไม่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลขึ้นจึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบรอยความบกพร่องได้ ในการสร้างสนามแม่เหล็กรอบขดลวด สามารถหาทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้าและทิศทางของการเกิดของสนามแม่เหล็กโดยใช้ทฤษฎี “ กฎมือขวาของขดลวด ” (Righthand rule for coil) ซึ่งกล่าวว่าให้กำขดลวดด้วยมือขวา โดยให้นิ้วทั้งสี่นิ้วกำขดลวดชี้ทิศทางกระแสในขดลวดนิ้วหัวแม่มือ ซึ่งยื่นออกไปขนานกับแกนของขดลวดจะชี้ไปทางขั้วเหนือ (ทิศทางสนามแม่เหล็กภายในขดลวด) ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การใช้กฎมือขวาของขดลวดหาทิศทางขั้วแม่เหล็ก

ที่มา เอกสารแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า (2567)

เทคนิคในการสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบ สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีสร้างสนามแม่เหล็กโดยตรง (Direct Magnetization Method) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Current Flow Technique” เป็นวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้น โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นงาน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กมีทั้งไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเหมาะสำหรับใช้ตรวจหารอยความบกพร่องที่อยู่บนผิวชิ้นงาน และไฟฟ้ากระแสตรงที่เหมาะสมสำหรับการตรวจหารอยความบกพร่องที่อยู่ลึกลงไปใต้ผิวชิ้นงาน วิธีการสร้างสนามแม่เหล็กแบบนี้ มีข้อดี คือ สามารถสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูงได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ต้องใช้ความระวังในการทำงาน เพราะกระแสไฟฟ้าที่ใช้อาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน และทำให้ผิวชิ้นงานเกิดรอยไหม้ได้หากใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินไป

2) วิธีสร้างสนามแม่เหล็กโดยอ้อม (Indirect Magnetization Method) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Magnetic Flow Technique” ซึ่งทำได้โดยนำชิ้นงานมาสัมผัสระหว่างขั้วของแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแม่เหล็กถาวร เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กในชิ้นงาน วิธีนี้มีข้อดี คือ มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและไม่ทำให้เกิดรอยไหม้บนผิวชิ้นงาน แต่ความเข้มของ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะไม่สูงเหมือนกับวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กโดยตรง

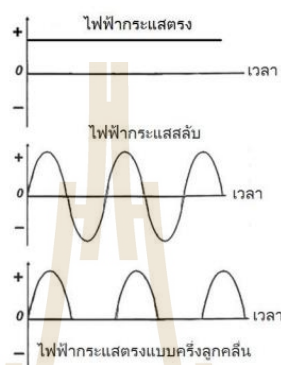
การสร้างสนามแม่เหล็ก โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในชิ้นงานซึ่งมีทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของการใช้กระแสไฟฟ้าแต่ละประเภทในการสร้างสนามแม่เหล็ก มีดังนี้

1) ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) เป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงด้วยแรงดันคงที่เข้าไปในชิ้นงาน โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถซึมลึกเข้าไปใน ภายใตผิวของชิ้นงานได้ดี จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ตรวจหารอยความบกพร่องที่เกิดอยู่ใต้ผิวชิ้นงาน แต่จะมีสนามแม่เหล็กตกค้างบนชิ้นงานสูงจึงจำเป็นต้องทำการคลายอำนาจสนามแม่เหล็ก (Demagnetization) หลังจากตรวจสอบเสร็จแล้ว

2) ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) เป็นการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีทั้งแรงดันด้านบวกและลบสลับกัน สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะ บริเวณใกล้ ๆ ผิวของชิ้นงานเท่านั้น เนื่องมาจากผลของ “Skin Effect” จึงเหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบรอยความบกพร่องที่ผิวของชิ้นงาน เพราะจะมีความไวในการตรวจจับสูงกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับยังทำให้เกิดสนามแม่เหล็กตกค้างในชิ้นงานน้อยกว่าการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมีการกลับขั้วของกระแสไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา

3) ไฟฟ้ากระแสตรงแบบครึ่งลูกคลื่น (Half Wave Direct Current) เป็นการนำไฟฟ้ากระแสสลับมาผ่านการแปลงให้เหลือเฉพาะกระแสไฟฟ้าด้านบวกหรือด้านลบเพียงด้านเดียว

ก่อนที่จะจ่ายเข้าไปในชิ้นงานทดสอบ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะซึมลึกเข้าไปในผิวชิ้นงาน เหมือนกับการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง แต่จะเหมาะสำหรับใช้ในการตรวจสอบร่วมกับผงเหล็กแบบ แห้ง (Dry Particle) เพราะจะช่วยให้ผงเหล็กเกิดการสั่นตัวและสามารถเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจบบรรยากาศความบกพร่องใต้ผิวชิ้นงานได้ดี

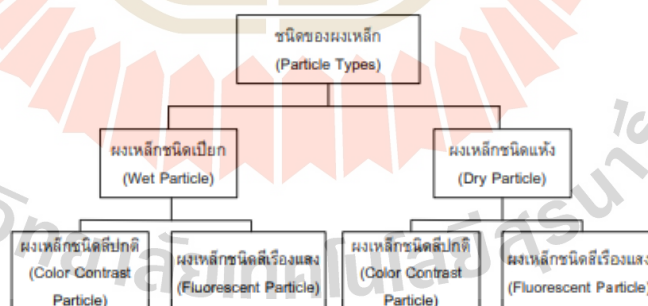


ภาพที่ 2.15 ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก

ที่มา เอกสารแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า (2567)

เทคนิคการเลือกใช้ชนิดผงเหล็ก

ผงเหล็กที่นำมาใช้ในการตรวจสอบหารอยความบกพร่องของชิ้นงานมีหลายชนิด โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ชนิดของผงเหล็ก (Particle Types)

ที่มา เอกสารแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า (2567)

เพื่อให้ผลการตรวจสอบชิ้นงานเป็นไปอย่างถูกต้อง ผู้ตรวจสอบต้องทำการเลือกชนิดของผงเหล็กที่จะใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นงานและสภาพแวดล้อมที่จะทำการตรวจสอบ โดยผงเหล็กแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1) ผงเหล็กชนิดแห้ง (Dry Particle) เป็นผงเหล็กขนาดเล็กซึ่งมีค่า permeability สูงมีน้ำหนักเบา จึงสามารถใช้ตรวจหารอยความบกพร่องที่อยู่ใต้ผิวชิ้นงานได้ดีกว่าผงเหล็กชนิดเปียก แต่ข้อเสียของผงเหล็กชนิดแห้ง คือ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ไม่ดีเท่ากับผงเหล็กชนิดเปียก แต่สามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของผงเหล็กชนิดแห้งให้ดีขึ้นด้วยการใช้ร่วมกับไฟฟ้า กระแสตรงแบบครึ่งลูกคลื่น ในการตรวจสอบโดยใช้ผงเหล็กแบบแห้งจำเป็นต้องทำความสะอาดผิวของชิ้นงานให้แห้ง และปราศจากคราบน้ำมัน กาว หรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่จะเกาะติดกับผงเหล็ก ออกให้หมดก่อน และผงเหล็กแบบแห้งจะเหมาะกับชิ้นงานที่มีอุณหภูมิสูง (ไม่เกิน 300 องศาเซลเซียส)

2) ผงเหล็กชนิดเปียก (Wet Particle) เป็นผงเหล็กขนาดเล็กที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยอยู่ในของเหลว (Wet Suspension) โดยผงเหล็กชนิดนี้จะมีค่า permeability ต่ำกว่าผงเหล็กชนิดแห้ง จึงไม่เหมาะที่จะใช้ตรวจหารอยความบกพร่องที่อยู่ใต้ผิวชิ้นงานที่มีความลึกมาก ๆ แต่ผงเหล็กชนิดเปียกสามารถเคลื่อนที่ไปตามผิวของชิ้นงาน และยึดเกาะกับผิวชิ้นงานได้ดี ทำให้เหมาะที่จะใช้ในการตรวจหารอยความบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน

3) ผงเหล็กชนิดสีปกติ (Color Contrast Particle) ผงเหล็กชนิดนี้จะใช้สีที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าย้อมผงเหล็กไว้ ซึ่งมีอยู่หลายสี เช่น สีดำ สีแดง สีเขียว สีน้ำตาล เป็นต้น ในการตรวจสอบควรเลือกใช้สีของผงเหล็กให้แตกต่างจากสีของผิวชิ้นงานอย่างชัดเจน เพื่อให้การสังเกตรอยความบกพร่องที่เกิดขึ้น

4) ผงเหล็กชนิดเรืองแสง (Fluorescent Particle) ผงเหล็กชนิดนี้จะใช้สารเรืองแสงย้อมผงเหล็กไว้ ซึ่งสารเรืองแสงนี้จะสามารถมองเห็นได้ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV Light) ซึ่งผงเหล็กชนิดนี้มีข้อดี คือ สามารถแยกความแตกต่างสีของผงเหล็กกับผิวของชิ้นงานได้ง่ายกว่าการใช้ผงเหล็กชนิดสีปกติ แต่มีข้อด้อย คือ จำเป็นต้องทำการตรวจสอบชิ้นงานในห้องมืดเท่านั้น

ขั้นตอนการตรวจรอยร้าวด้วยอนุภาคแม่เหล็ก

1) เตรียมผิวและทำความสะอาดบริเวณผิวชิ้นงาน (Pre - cleaning) โดยทั่วไปจะใช้แปรงขัดลวดขัดและใช้สารทำความสะอาด (Cleaner) รวมด้วย เพื่อขจัดสิ่งสกปรกตรงบริเวณผิวชิ้นงานที่ขรุขระ และตรงบริเวณที่มีเม็ดโลหะกระเด็น (Spatter)

2) ทำให้ผิวชิ้นงานกลายเป็นแม่เหล็ก หรือเรียกให้เข้าใจโดยง่าย คือ การสร้างสนามแม่เหล็กให้กับชิ้นงาน (Magnetization) จะใช้โยค (Yoke) เป็นอุปกรณ์ช่วยสร้างสนามแม่เหล็ก และต้องสร้างอำนาจแม่เหล็กอย่างน้อยที่สุด 2 แนวน ในทิศทางตั้งฉากกัน (90 องศา)

3) การพ่นอนุภาคแม่เหล็กลงบนผิวชิ้นงาน (Apply Magnetic Particle) โดยก่อนทำการฉีดพ่นต้องเขย่ากระป๋องสเปรย์ทุกครั้ง เพื่อให้อนุภาคแม่เหล็กสามารถกระจายตัวได้อย่าง

ดีในสารแขวนลอย และจะต้องฉีดพ่นหลังจากสร้างอำนาจแม่เหล็กอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 5 วินาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่ามีสนามแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทดสอบ

4) การทดสอบ (Detection) โดยให้ทำการสังเกตด้วยสายตา สังเกตการเกาะตัวของอนุภาคแม่เหล็กในทันทีหลังจากที่ฉีดพ่นอนุภาคแม่เหล็กลงไปบนผิวชิ้นงาน แล้วทำการวิเคราะห์ผล บันทึกผลต่อไป

5) การตรวจหารอยตำหนิของชิ้นงาน ในกรณีที่เลือกใช้อ่อนภาคแม่เหล็กแบบเรืองแสง ซึ่งมีการทดสอบในบริเวณที่มีดินนั้น จำเป็นต้องนำชิ้นงานไปตรวจสอบหารอยตำหนิโดยการส่องแสงแบล็กไลต์ เพื่อให้สามารถมองเห็นรอยตำหนิได้ชัดเจน

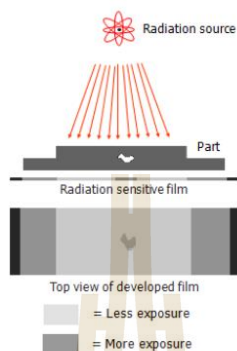
6) ทำการคลายอำนาจแม่เหล็ก และทำความสะอาดหลังทดสอบ (Demagnetization / Post - cleaning) หลังจากตรวจสอบแล้วเสร็จจะต้องทำการคลายอำนาจแม่เหล็กในกับชิ้นงานทดสอบไม่ให้เหลือค้างอยู่บนผิวชิ้นงาน เพราะหากมีอำนาจแม่เหล็กตกค้างจะส่งผลกระทบต่อการทำงานและความถูกต้องของเครื่องมือมีเตอร์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์การบิน เป็นต้น

2.2.5 การตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Flaw Detection: RFD)

จุดเริ่มต้นของการใช้งานรังสีเกิดจากนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Röntgen) หรือ “บิดาแห่งรังสีวินิจฉัย” ผู้ที่ค้นพบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นประมาณ 0.01-10 nm ที่ปัจจุบันเรียกว่า “รังสีเอกซ์ (X-ray)” ได้ในปี ค.ศ. 1895 และต่อมาเมื่อเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1898 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ชื่อ มารี กูรี (Marie Curie) สตรีผู้ค้นพบแร่ธาตุพอลอนีウム (Polonium) ซึ่งเรืองแสงได้แต่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเรเดียม (Radium) ที่มีสีเงิน เรืองแสงได้และสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในที่มืด จากสองจุดเริ่มต้นที่ยิ่งใหญ่นี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วทั้งโลกได้รู้จักกับมันตภาพรังสีมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันถูกนำไปใช้ในหลายแขนง เช่น วิทยาศาสตร์ การแพทย์ อุตสาหกรรม และดาราศาสตร์ เป็นต้น

การตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing: RT) เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้รังสีเอกซ์ (X-rays) หรือรังสีแกมมา (Gamma rays) เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องภายในวัสดุ โดยใช้หลักการกำเนิดรังสีจากคุณสมบัติเฉพาะของรังสีที่เป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอำนาจทะลุผ่านวัสดุที่มีความหนาและความหนาแน่นที่แตกต่างกันออกไป รังสีที่ผ่านวัสดุจะไปตกกระทบบนฟิล์มหรือเครื่องตรวจจับดิจิทัล (Digital Detector) เพื่อสร้างภาพ ภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยรังสีจะให้ภาพในลักษณะขาว-ดำ หรือที่เรียกว่า Monochrome Negative โดยในบริเวณที่มีความหนาน้อยกว่าบริเวณอื่น (รังสีทะลุผ่านได้มากกว่า) ภาพจะออกมาเป็นสีดำเข้ม ในทางกลับกันหากชิ้นงานอยู่ในสภาพปกติและมีความหนาเท่ากันตลอดทั้งชิ้นงาน (รังสีทะลุผ่านได้น้อยกว่า) ภาพจะออกเป็นสีขาวกว่าบริเวณอื่น ในการแปลผลของภาพการทดสอบด้วยรังสี จะต้องนำฟิล์มไปส่องกับตู้ไฟแสงสว่างที่ใช้สำหรับดูภาพถ่ายรังสีโดยเฉพาะที่มีค่าความสว่างของแสงไฟตาม

มาตรฐานกำหนด ภาพถ่ายรังสีจะแสดงภาพจุดบกพร่องภายในชิ้นงานอย่างชัดเจน ซึ่งจะสามารถบอกความกว้างหรือความโตของจุดบกพร่องได้แต่จะไม่สามารถระบุความลึกได้



ภาพที่ 2.17 หลักการตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี

ที่มา Center for Nondestructive Evaluation (2025)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี :

- 1) แหล่งกำเนิดรังสี (Radiation Source):
 - (1) รังสีเอกซ์ (X-rays): ใช้หลอดเอกซ์เรย์ (X-Ray Tube) สำหรับงานที่ต้องการทะลุผ่านวัสดุบาง ๆ
 - (2) เครื่องเอกซเรย์ (X-ray Machine)
 - (3) รังสีแกมมา (Gamma rays): ใช้ไอโซโทปรังสี เช่น Iridium-192 หรือ Cobalt-60 สำหรับวัสดุที่หนา
- 2) เครื่องตรวจจับรังสี (Radiation Detectors):
 - (1) फिल्मถ่ายภาพ (Radiographic Film)
 - (2) เครื่องตรวจจับแบบดิจิทัล (Digital Radiography Detectors)
 - (3) คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ภาพ
- 3) อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพรังสี
 - (1) วัสดุกรองรังสี (Filter): ใช้ปรับความเข้มและพลังงานของรังสี เพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่ตรวจสอบ
 - (2) อุปกรณ์ปรับมุมและโฟกัสรังสี (Collimators): ใช้ควบคุมทิศทางและมุมการกระจายของรังสี ลดการกระจายรังสีส่วนเกินที่ไม่จำเป็น
 - (3) ไดอะแฟรม (Diaphragm): จำกัดขอบเขตของรังสีให้อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ

4) อุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบ

- (1) ตัวเปรียบเทียบมาตรฐาน (Image Quality Indicators: IQIs): ใช้สำหรับวัดคุณภาพของภาพรังสีว่ามีความชัดเจนและละเอียดเพียงพอ
- (2) อุปกรณ์จับยึด (Fixtures or Holders): ใช้จับยึดชิ้นงานและอุปกรณ์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม
- (3) มาร์กเกอร์ระบุตำแหน่ง (Markers): ใช้แสดงตำแหน่งที่ตรวจสอบบนฟิล์ม เช่น หมายเลขหรือสัญลักษณ์

5) อุปกรณ์ป้องกันรังสี (Radiation Shielding):

- (1) ชุดป้องกันรังสี (Lead Apron): ทำจากตะกั่วหรือวัสดุที่ป้องกันรังสีได้ดี ใช้สำหรับป้องกันผู้ปฏิบัติงานจากการสัมผัสรังสีโดยตรง
- (2) ผนังป้องกันรังสี (Radiation Shielded Walls): ใช้ในห้องปฏิบัติการเอกซเรย์เพื่อลดการแพร่กระจายของรังสี
- (3) เครื่องตรวจจับรังสีส่วนบุคคล (Dosimeters): ใช้ติดตัวผู้ปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบระดับการสัมผัสรังสี เช่น ฟิล์มโดซิเมตรหรือป้ายตรวจวัดรังสี

6) อุปกรณ์สนับสนุนในกระบวนการทำงาน:

- (1) อุปกรณ์สำหรับล้างฟิล์ม (Film Processing Equipment): ถังล้างฟิล์ม (Film Tanks) และ เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ (Automatic Film Processor) ช่วยลดเวลาในการล้างฟิล์ม
- (2) ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพ (Image Analysis Software): ใช้สำหรับการวิเคราะห์ภาพรังสีดิจิทัล เพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ

7) อุปกรณ์สำหรับความปลอดภัย:

- (1) ป้ายเตือน (Warning Signs): ติดตั้งในบริเวณที่มีการใช้งานรังสี
- (2) เครื่องวัดปริมาณรังสี (Radiation Survey Meter): ใช้ตรวจสอบระดับรังสีในพื้นที่
- (3) ระบบปิดกั้นการเข้าถึง (Access Control): เช่น ประตูนิรภัยหรือระบบล็อก

ขั้นตอนการตรวจรอยร้าวด้วยภาพถ่ายรังสี :

1) การเตรียมชิ้นงาน:

- (1) ทำความสะอาดพื้นผิววัสดุเพื่อขจัดฝุ่น คราบน้ำมัน หรือสิ่งแปลกปลอม
- (2) จัดตำแหน่งชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ

- 2) การตั้งค่าอุปกรณ์:
 - (1) เลือกแหล่งกำเนิดรังสีและพลังงานให้เหมาะสมกับวัสดุและความหนาของชิ้นงาน
 - (2) คำนวณหาค่าความคมชัดของภาพถ่ายรังสี เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีและฟิล์ม (ค่า SFD)
 - (3) หาค่าความหนาทั่วไปของชิ้นงานเพื่อกำหนดหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการทดสอบจาก Exposure chart
 - (4) คำนวณระยะหวังผลของลำคลื่นรังสีและวางอุปกรณ์วัดคุณภาพรังสี (IQI) ไว้บนชิ้นงาน
- 3) การถ่ายภาพรังสี:
 - (1) ติดฟิล์มที่ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบ โดยให้แนบกับชิ้นงานมากที่สุด
 - (2) ปลอ่ยรังสีจากแหล่งกำเนิดให้ผ่านชิ้นงาน
 - (3) รังสีที่ผ่านจะตกกระทบบนฟิล์มหรือเครื่องตรวจจับ
- 4) การแสดงผลและวิเคราะห์ภาพ:
 - (1) ฟิล์มหรือภาพดิจิทัลที่ได้จะแสดงความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุ
 - (2) นำฟิล์มที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีไปเข้ากระบวนการล้างฟิล์มในห้องมืด
- 5) การบันทึกและจัดทำรายงาน:
 - (1) อ่านค่าและแปลผลการตรวจสอบโดยใช้ Film viewer
 - (2) บันทึกข้อมูล เช่น ตำแหน่ง ขนาด และลักษณะของข้อบกพร่อง
 - (3) จัดทำรายงานพร้อมสรุปผลการตรวจสอบ

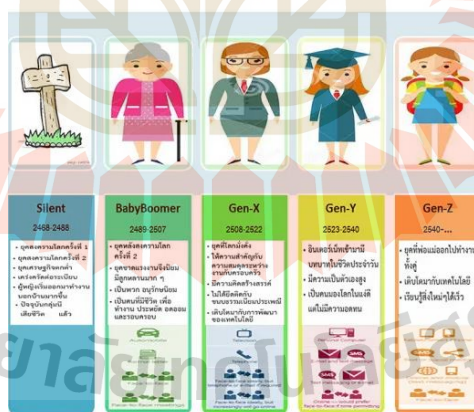
2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมการศึกษาของ Generation Z

แนวคิดเรื่องเจเนอเรชันเริ่มพัฒนาขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 20 จากการศึกษาของ Karl Mannheim นักสังคมศาสตร์ชาวฮังการี เป็นผู้วางรากฐานสำคัญของทฤษฎีเจเนอเรชันผ่านงานเขียนชื่อ “The Problem of Generations” ในปี ค.ศ. 1923 และอธิบายไว้ว่า คนที่เกิดในช่วงเวลาเดียวกันและเติบโตภายใต้บริบททางสังคม ประวัติศาสตร์ และเหตุการณ์ที่เหมือนกัน จะมีลักษณะร่วมกันในแง่ของมุมมอง ค่านิยม และพฤติกรรม โดยในงานเขียนได้ใช้คำว่า “Generational Units” เพื่อต้องการเน้นย้ำว่าแม้คนเรานั้นจะเกิดในช่วงเวลาเดียวกัน คนแต่ละกลุ่มอาจตอบสนองต่อเหตุการณ์ทางสังคมที่แตกต่างกันออกไป ต่อมาภายหลังแนวคิดเรื่องเจเนอเรชันได้กลายเป็นที่สนใจเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา (SHRM, 2004) ซึ่งหนึ่งในทฤษฎีที่มีอิทธิพลมากที่สุด

ในยุคปัจจุบันเกี่ยวกับเจนเนอเรชั่น คือ “Generational Theory” ของ William Strauss และ Neil Howe

Generational Theory เป็นแนวคิดที่ศึกษาความแตกต่างของแต่ละรุ่นอายุ (Generation) โดยศึกษาค่านิยม พฤติกรรม และลักษณะเฉพาะของคนแต่ละรุ่น ซึ่งถูกหล่อหลอมจากเหตุการณ์ทางสังคม เศรษฐกิจ และเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในช่วงที่พวกเขาเติบโต ทฤษฎีนี้ได้รับความนิยมจากนักสังคมศาสตร์ นักการตลาด และนักวิจัยพฤติกรรม โดยพวกเขาเสนอว่าแต่ละรุ่นมีวงจรที่เกิดซ้ำในทุกๆ 80-100 ปี และสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ (Turnings) ได้แก่:

- 1) The High – ยุครุ่งเรือง (ฟื้นฟูระเบียบ): ยุคหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นยุคที่เกิดหลังจากผ่านพ้นวิกฤตการณ์ครั้งใหญ่ เช่น สงครามที่ยาวนานหรือวิกฤตเศรษฐกิจ ส่งผลให้คนยุคนี้มีความสามัคคีกัน สังคมมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียว และมีความศรัทธาต่อสถาบันต่าง ๆ
- 2) The Awakening – ยุคตื่นรู้ (ท้าทายระบบ): เป็นยุคที่คนเริ่มสนใจเรื่องเสรีภาพ สิทธิจิตวิญญาณ และมีการจัดกิจกรรมเพื่อเรียกร้องความต้องการของตนเอง เช่น ขบวนการสิทธิสตรี
- 3) The Unraveling – ยุคคลายตัว (แยกตัวจากระบบ): เป็นยุคที่สถาบันเริ่มเสื่อมศรัทธา สังคมเกิดปัญหา และมีความขัดแย้งหลากหลาย
- 4) The Crisis – ยุควิกฤต (การล่มสลายและปฏิรูปใหม่): เป็นยุคที่สังคมต้องเผชิญกับวิกฤตครั้งใหญ่อีกครั้ง ส่งผลให้ต้องมีการปฏิรูป เปลี่ยนแปลง หรือสร้างระบบใหม่ขึ้นมา เช่น COVID-19, ความขัดแย้งทางการเมืองระดับโลก (2008-ปัจจุบัน) เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 การแบ่งรุ่นเจนเนอเรชั่น (ตามช่วงปีเกิดโดยประมาณ)

ที่มา HumanSoft (2025)

2.3.1 ความหมายของ Generation Z

ประชากรกลุ่มเจนเนอเรชั่นซี (Generation Z) คือ ประชากรที่เกิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997-ค.ศ. 2012 (Pew Research Center, 2024) เป็นช่วงอายุของนักเรียนหรือนักศึกษาซึ่งเป็น

ประชากรคนรุ่นใหม่ที่กำลังเติบโตและกำลังก้าวเข้าสู่วัยทำงาน เป็นเจนเนอเรชั่นที่มีจำนวนประชากรมากที่สุดคิดเป็น 30% ของจำนวนประชากรทั่วโลก (Mark McCrindle, 2015) เกิดมาพร้อมกับเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยมาคอยอำนวยความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวัน เป็นกลุ่มคนรุ่นแรกที่เกิดในยุคดิจิทัลอย่างแท้จริง (McKinsey & Company, 2020) ประชากรกลุ่มนี้จึงให้ความสำคัญกับสมาร์ทโฟนและสังคมออนไลน์เป็นอย่างมาก (จักรพล สงวนรัมย์, 2562) เป็นกลุ่มประชากรที่มีพฤติกรรมอยู่ได้ด้วยเทคโนโลยี (Tech Innate) คิดได้เอง (Self - Directed) จึงมีคุณลักษณะชอบเรียนรู้และคิดได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้เด็ก Gen Z ยังมีความสามารถในด้านการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตทำให้มีฉลาดรอบรู้ มีความคิด สร้างสรรค์ และกล้าแสดงออกออก (จิราภรณ์ อรุณากูร, 2557) และมีความเป็นเลิศในการใช้เทคโนโลยีอย่างแท้จริง (Tech Savvy) เติบโตมาพร้อมกับสื่อต่าง ๆ ที่ทันสมัย ทำให้ทักษะทางการสื่อสารและการใช้งานเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว (Will Palley, 2012) กลุ่มคนเหล่านี้มักถูกนิยามว่า i Generation, Facebook Generation, Digital Natives, Gen Tech และ Net Gen เนื่องจากถูกเลี้ยงดูด้วยอุปกรณ์เทคโนโลยีสมัยใหม่ (Pornphanh, 2016) อีกทั้งยังเป็นกลุ่มที่มีการศึกษาที่ดีที่สุดและเป็นชาวดิจิทัลมากขึ้นจากคนรุ่นก่อน ๆ (Pew Research Center, 2020)

2.3.2 ลักษณะเฉพาะตัวของ Generation Z

Marcie Merriman (2015) ได้ศึกษาและให้ข้อมูลลักษณะเฉพาะตัวของเจนเนอเรชั่น Z ดังนี้

- 1) ใฝ่รู้และพึ่งพาตนเอง (Born self-learners) มีความสนใจในการแสวงหาข้อมูลต่าง ๆ ในโลกดิจิทัลด้วยตนเองมากกว่าการถามคนอื่น มักค้นคว้าหาคำตอบที่ตนเองสงสัยโดยทันทีจากอินเทอร์เน็ต ส่งผลทำให้เด็ก Gen Z ส่วนใหญ่เป็นคนทันเหตุการณ์และรอบรู้ในหลาย ๆ เรื่อง
- 2) มีความผูกพันกับเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก เสมือนว่าเกิดและเติบโตมาพร้อมกับเทคโนโลยี
- 3) ชอบใช้เวลาว่างให้เกิดประโยชน์และสร้างสรรค์ มากกว่าการออกไปเที่ยวเล่นกับเพื่อน ๆ
- 4) มีความต้องการและมุ่งมั่นในการทำธุรกิจของตัวเอง โดยไม่กลัวการล้มเหลวแต่จะเรียนรู้จากประสบการณ์ความผิดพลาดที่ได้รับ และพร้อมพยายามแก้ไขใหม่ให้ดีกว่าเดิม
- 5) มีความเชื่อมั่นในตัวเองสูง (Self-reliant) มักชอบให้ผู้อื่นยอมรับและเคารพการตัดสินใจของตัวเอง

นอกจากนี้ ตามรายงานของ (Pew Research Center, 2020) ได้ให้ข้อมูลลักษณะของ Gen Z ต่อพฤติกรรมด้านดิจิทัลไว้ว่าเจนเนอเรชั่น Z ชอบการเรียนรู้ผ่านสื่อออนไลน์ ใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินชีวิต มีความสนใจสั้นเพียง 8-12 วินาที และต้องการความยืดหยุ่นใน

การเรียนรู้โดยชอบการเรียนการสอนแบบผสมผสาน (Hybrid Learning) สอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (2022) สํารวจพบว่า 75% ของ Gen Z ชอบการเรียนรู้แบบผสมผสานระหว่างออนไลน์กับออฟไลน์

McQueen (2024) ได้นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของ Gen Z ในแง่มุมการศึกษา ระบุว่า Gen Z มีลักษณะเด่นด้านการเชื่อมต่อกับเทคโนโลยี (Tech-Savvy) เนื่องจากเติบโตมาพร้อมกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้เรียนในเจนเนอเรชัน Z สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยแก้ไขปัญหา และสืบค้นหาความรู้เพื่อตอบข้อสงสัยให้กับตัวเองได้อย่างรวดเร็ว

2.3.3 แนวโน้มการศึกษาของ Generation Z

พฤติกรรมและแนวโน้มการศึกษาของ Generation Z (Gen Z) สามารถสรุปประเด็นสำคัญ ดังนี้

1) การใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้: Gen Z มีศักยภาพในการใช้เทคโนโลยีสูง ชอบค้นคว้าหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่สามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างรวดเร็ว และคาดหวังให้การศึกษาใช้เทคโนโลยีในการเรียนการสอนมากขึ้น เนื่องจาก Gen Z ให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี เช่น การเขียนโปรแกรม การวิเคราะห์ข้อมูล และทักษะด้านดิจิทัลอื่น ๆ (Oxford Economics, 2021)

2) การเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ: การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (Student Center Learning) เป็นวิธีการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับ Gen Z เนื่องจากเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้เกิดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการสอนที่หลากหลาย เช่น การอภิปรายกลุ่มย่อย การใช้กรณีศึกษา และการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Project-based Learning) ซึ่งช่วยให้ผู้เรียน Gen Z มีส่วนร่วม (Interaction) และพัฒนาทักษะที่สำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากปรัชญาของ John Dewey ได้กล่าวไว้ว่า การสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) เป็นการเรียนรู้จาก “การลงมือกระทำ” (Learning by Doing) (ทิตินา แคมมณี, 2561)

3) ความต้องการความยืดหยุ่นและความท้าทาย: Gen Z ชอบความท้าทาย ต้องการสิ่งใหม่ ๆ และมุ่งเน้นการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับความสนใจของตนเอง โดยรูปแบบการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับ Gen Z ควรเป็นรูปแบบการเรียนการสอนแบบผสมผสาน (Hybrid Learning Model) คำนึงถึงการใช้เทคโนโลยีและสื่อดิจิทัล เช่น การสอนปฏิบัติโดยใช้ Simulation และจากผลสำรวจของ Gen Z พบว่า 89% ชอบเรียนรู้ออนไลน์ (World Economic Forum, 2022)

4) การใช้สื่อสังคมออนไลน์: Gen Z ใช้สื่อสังคมออนไลน์เป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวัน ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการเรียนรู้และการเข้าถึงข้อมูล โดยผู้เรียนในเจนเนอเรชัน Z มี

ความสนใจเพียงระยะเวลาสั้น ๆ จึงชอบข้อมูลที่เข้าใจได้ง่าย เนื้อหากระชับได้ใจความ เช่น วิดีโอสั้น การสรุปเนื้อหา หรือ Infographic (Pew Research Center, 2020)

5) การปรับตัวในสภาพแวดล้อมการศึกษา: Gen Z มีการปรับตัวในด้านความผูกพันกับสถานศึกษาได้ดี แต่ยังคงมีความท้าทายในด้านอารมณ์ที่ต้องการการสนับสนุนเพิ่มเติม ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับตัว ได้แก่ การตระหนักรู้ความมั่นใจในตนเอง การมองโลกในแง่บวก และการประเมินตนเองตามความเป็นจริง (กรมสุขภาพจิต, 2564)

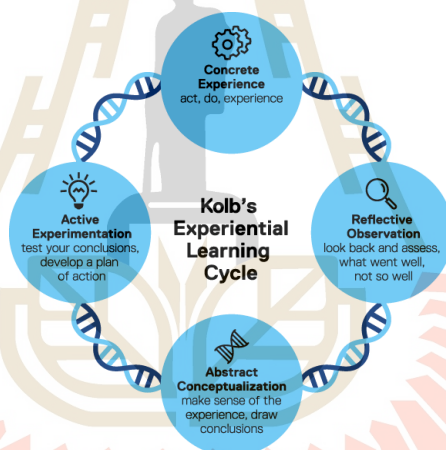
ผู้วิจัยสรุปได้ว่า Generation Z (Gen Z) คือ กลุ่มคนที่มีอายุระหว่างอายุ 13–28 ปี ซึ่งอยู่ในวัยเรียน และกำลังก้าวเข้าสู่วัยทำงาน โดยคิดเป็น 30% ของประชากรทั่วโลก เป็นกลุ่มคนที่เติบโตมาพร้อมกับอินเทอร์เน็ต และความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีลักษณะเด่นเฉพาะตัวด้านการใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างราบรื่น ชอบค้นหาข้อมูลด้วยตนเอง ชอบความรวดเร็ว มีความสนใจที่หลากหลาย อีกทั้งยังมีแนวโน้มการศึกษาที่เน้นการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีและดิจิทัลเป็นศูนย์กลาง นิยมใช้สื่อการสอนประเภทออนไลน์แบบสั้น ๆ เนื้อหากระชับ มาช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ ชอบเรียนด้วยตนเอง ชอบความยืดหยุ่นและความหลากหลาย เน้นการเรียนแบบผสมผสานในห้องเรียนและออนไลน์ (hybrid) ควบคู่กัน

2.4 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning)

แนวคิดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ผสมผสานระหว่างการเรียนการสอนแบบเผชิญหน้าในห้องเรียน (Face-to-Face) ร่วมกับการเรียนการสอนผ่านสื่อดิจิทัลหรือระบบออนไลน์ (Online Learning) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนให้เกิดความสมดุลกับบริบท ได้รับความเพลิดเพลิน และตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนแต่ละคนได้อย่างยั่งยืน สามารถแบ่งแนวคิดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ออกเป็น 4 แนวคิด ดังนี้ (ปณิตา วรณพิรุณ, 2554)

1) แนวคิดการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบดั้งเดิมและแบบออนไลน์ (Blending Traditional and Online Learning) การผสมผสานการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมที่มีการเผชิญหน้า (Face-to-Face) โดยตรงกับครูผู้สอนในชั้นเรียน กับการเรียนรู้ผ่านระบบออนไลน์ (Online Learning) โดยใช้เทคโนโลยีและสื่อดิจิทัล เช่น การเรียนผ่านระบบจัดการเรียนการสอน (Learning Management System: LMS) การใช้วิดีโอ บทเรียนมัลติมีเดีย เกมจำลอง หรือสื่อออนไลน์อื่น ๆ เพื่อสร้างโอกาสการเรียนรู้ภายนอกห้องเรียน และเพิ่มความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Graham (2006) ที่ให้นิยามของการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ไว้ว่าเป็นการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบดั้งเดิมและการเรียนรู้แบบออนไลน์ เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างปฏิสัมพันธ์ในชั้นเรียน และการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นผ่านเทคโนโลยี

2) แนวคิดการผสมผสานระหว่างวิธีการเรียนรู้ที่หลากหลาย (Blending Learning Methods) การใช้วิธีการเรียนรู้ที่หลากหลาย เช่น การเรียนรู้แบบมีครูผู้สอน (Instructor-Led Training) ผ่านประสบการณ์ การเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-Directed Learning) ผ่านการลงมือทำ และการเรียนรู้ร่วมกันแบบกลุ่ม (Collaborative Learning) เพื่อให้เกิดผลลัพธ์จากการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ (Experiential Learning Theory) ของ Kolb (1984) ที่อธิบายว่า การเรียนรู้เกิดขึ้นจากประสบการณ์ของผู้เรียน โดยเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง และการสะท้อนผลลัพธ์ของการกระทำเพื่อพัฒนาความเข้าใจและทักษะใหม่ ๆ มีกระบวนการเรียนรู้ที่เป็นวัฏจักร 4 ขั้นตอน (Four-Stage Learning Cycle) ที่ต่อเนื่องกัน ได้แก่ ประสบการณ์ตรง (Concrete Experience) การสังเกตและสะท้อนความคิด (Reflective Observation) การสร้างแนวคิดนามธรรม (Abstract Conceptualization) และ การทดลองปฏิบัติ (Active Experimentation) ดังแสดง ในภาพ 2.19



ภาพที่ 2.19 แผนภาพ Kolb's Experiential Learning Cycle

ที่มา Kolb, D. A. (1984)

3) แนวคิดการผสมผสานสื่อและเทคโนโลยี (Blending Media and Tools) จากรูปแบบการเรียนการสอนในชั้นเรียนแบบดั้งเดิมที่เป็นการเผชิญหน้าระหว่างผู้เรียนกับครูผู้สอน ปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือที่หลากหลาย เช่น เอกสารประกอบการสอน วิดีโอ สื่อมัลติมีเดีย เกมจำลอง และการสื่อสารออนไลน์ (Chat หรือ Forum) เพื่อเพิ่มความน่าสนใจของเนื้อหาที่มีความซับซ้อน และส่งเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนสามารถเลือกใช้สื่อและเครื่องมือที่เหมาะสมกับตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Uwes (2008) ที่กล่าวถึงแนวคิดการเรียนรู้แบบผสมผสานว่าเป็นการบูรณาการรูปแบบการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional Learning) กับการเรียนรู้ผ่าน

เทคโนโลยีและสื่อดิจิทัล (Online Learning) มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ และตอบสนองความต้องการของผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น (Flexible Learning)

4) แนวคิดการผสมผสานเนื้อหากับการทำงานจริง (Blending Content and Context) การเลือกเนื้อหาที่เหมาะสมกับเป้าหมายการเรียนรู้ในการต่อยอดไปใช้ในการทำงานจริง และความต้องการของผู้เรียน เช่น การฝึกอบรม การเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลอง (Simulations) หรือการนำเนื้อหาไปปรับใช้ในบริบทที่ใกล้เคียงกับชีวิตจริง เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้กับการนำไปใช้ในชีวิตจริงได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Bersin (2004) ได้นำเสนอแนวทางการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) โดยกล่าวว่า เป็นกลยุทธ์การรวมเอาข้อดีของรูปแบบการเรียนรู้แบบดั้งเดิมกับการเรียนออนไลน์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อสร้างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเหมาะสมกับการพัฒนาทักษะและความรู้ในบริบทที่หลากหลาย เช่น การศึกษาในองค์กร การฝึกอบรมในสถานที่ทำงาน (On-the-Job Training) และการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-Paced Learning)

2.4.1 ความหมายของการเรียนรู้แบบผสมผสาน

นักวิชาการการศึกษาของไทยและต่างประเทศได้ให้ความหมายของการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ดังนี้

มานพ ชัยยิ่งเจริญ (2561) นิยามว่า การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) คือ รูปแบบการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างการเรียนแบบเผชิญหน้ากับผู้สอน (Face-to-Face) และการเรียนรู้ผ่านสื่อเทคโนโลยีที่ทันสมัยเป็นเครื่องมือช่วยสอน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างยืดหยุ่นทั้งในชั้นเรียนและนอกชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ

สุภาวดี นาคเขียว (2562) นิยามว่า การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) คือ การใช้กลยุทธ์ของการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างการเรียนรู้ในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม และการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัลที่ทันสมัย โดยเน้นให้เกิดการมีส่วนร่วมและการเรียนรู้ที่ยั่งยืนด้วยตัวเองของผู้เรียน

วรารักษ์ เกียรติสมบัติ (2563) นิยามว่า การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) คือ แนวทางการเรียนรู้ที่ออกแบบมาเพื่อรวมเอาความยืดหยุ่นของการเรียนออนไลน์ และข้อดีของการมีปฏิสัมพันธ์จากการเรียนแบบเผชิญหน้าในชั้นเรียนเข้าไว้ด้วยกัน

ปรเมศวร์ ชุมสาย ณ อยุธยา (2564) นิยามว่า การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) คือ รูปแบบการสอนที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีเข้ามาเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในห้องเรียน โดยผู้สอนสามารถผสมผสานระหว่างกิจกรรมในชั้นเรียนแบบเผชิญหน้า และการใช้สื่อออนไลน์เพื่อเพิ่มการมีส่วนร่วมและประสิทธิภาพในการเรียนรู้

Graham (2006) กล่าวว่า Blended Learning หมายถึง รูปแบบการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมกับการเรียนด้วยเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดการบูรณาการจุดเด่นของการเรียนรู้ทั้งสองรูปแบบ และเน้นว่าการเรียนรู้แบบผสมผสานนั้นไม่ใช่เพียงการใช้

เทคโนโลยีภายในห้องเรียนเท่านั้น แต่ต้องมีการออกแบบสื่อการสอนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

Allen & Seaman (2005) กล่าวว่า การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) หมายถึง การผสมผสานระหว่างการเรียนในห้องเรียนที่มีครูผู้สอนเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้ (Instructor-Led Training) และการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยมีสัดส่วนของเนื้อหาออนไลน์อย่างน้อย 30-79%

Horn & Staker (2011) ให้คำนิยามของ Blended Learning ว่าเป็นการผสมผสานระหว่างการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในห้องเรียน (Face-to-Face) กับการเรียนการสอนผ่านระบบออนไลน์ (Online Learning) ที่ใช้เทคโนโลยี เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีส่วนร่วมและยืดหยุ่น ซึ่งจุดเด่นของรูปแบบการเรียนรู้ผสมผสาน คือ ความสามารถในการตอบโจทย์ความต้องการเฉพาะของผู้เรียน (Personalized Learning)

2.4.2 ความสำคัญของการเรียนรู้แบบผสมผสาน

Graham (2012) ได้อธิบายเหตุผลและความสำคัญที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ในเชิงคุณลักษณะที่พึงประสงค์ทางการเรียนรู้ใน 3 มิติสำคัญ ดังนี้

1) เกิดการปรับปรุงพัฒนาในเชิงวิชาการ (Improved Pedagogy) เป็นเหตุผลสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน เนื่องจากปัจจุบันการจัดการเรียนรู้รวมทั้งการฝึกอบรมให้ความรู้แก่ผู้สอน (Instructors) มักจะมุ่งเน้นเฉพาะยุทธศาสตร์ของการสอนหรือฝึกอบรม เพื่อให้เกิดความรู้ในลักษณะการถ่ายทอดเนื้อหาแบบส่งผ่าน (Transmission) มากกว่าการสร้างปฏิสัมพันธ์ทางการเรียนร่วมกัน (Interaction) ครูผู้สอนมักจะมุ่งเน้นการสอนแบบบรรยายมากกว่าการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ หลังจากมีการใช้งานระบบการเรียนรู้แบบทางไกลพร้อมกับการพัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศที่กำหนดอย่างรวดเร็ว ทำให้รูปแบบการเรียนรู้แบบ Blended Learning ได้ถูกนำมาใช้และเกิดประสิทธิภาพทางการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อยุทธศาสตร์ของการเรียนการสอนในหลากหลายรูปแบบทั้งการเรียนแบบร่วมมือ การเรียนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน และการเรียนโดยเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง

2) เพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลการเรียนรู้และมีความยืดหยุ่น (Increased Access and Flexibility) การเรียนในรูปแบบผสมผสาน (Blended Learning) จะช่วยสร้างประสิทธิภาพทางการเรียนรู้หรือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเข้าถึงเนื้อหาได้ทุกที่ทุกเวลา ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ทั้งนี้ยังช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ในการเรียน

3) ประสิทธิภาพในเชิงงบประมาณหรือการลงทุน (Cost Effectiveness) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานเป็นยุทธศาสตร์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการลงทุนในด้านการ

จัดการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับการเรียนรู้อุดมศึกษาหรือในมหาวิทยาลัย ซึ่งการเรียนรู้ในรูปแบบผสมผสานจะก่อให้เกิดการสร้างระบบการเรียนรู้ที่ลุ่มลึกและกว้างไกลในหลากหลายรูปแบบ และสนองต่อผู้เรียนได้ตามอัตภาพและตามสถานการณ์ เกิดความคุ้มค่าและคุ้มค่าในการใช้งบประมาณเพื่อการศึกษาของหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษา

2.4.3 การกำหนดอัตราส่วนการผสมผสานในการจัดการเรียนรู้

ปรัชญนันท์ นิลสุข และปณิตา วรรณพิรุณ (2556) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน มีวิธีการจัดการอยู่ 2 วิธี คือ การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานแนวตั้งกับการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานแนวนอน โดยมีเงื่อนไขอยู่ที่เวลาและเนื้อหาการสอน วิธีการจัดการดังกล่าวอาจเรียกว่าอัตราส่วนของการจัดการแบบผสมผสาน โดยมีวิธีการจัดการดังนี้

1) การผสมผสานแบบ 50:50 เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนการสอนแบบออนไลน์ร้อยละ 50 และการเรียนรู้ในชั้นเรียน (Face-to-Face Learning) ร้อยละ 50 แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

(1) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานแนวตั้ง (Vertical Blended Learning) หมายถึง การเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วยการเรียนรู้แบบดั้งเดิมในห้องเรียนกับการเรียนแบบออนไลน์ที่จัดในช่วงเวลาเดียวกัน แต่จัดการเรียนรู้ผสมกันทั้งสองแบบ เช่น วิชาเรียน 4 ชั่วโมง/สัปดาห์ ในการสอนครั้งแรกหนึ่ง ผู้สอนจะเจอหน้าผู้เรียนก่อนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบเผชิญหน้า 2 ชั่วโมง เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ บรรยาย ทำความเข้าใจในการเรียน หลังจากนั้นให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองผ่านเทคโนโลยีอีก 2 ชั่วโมง โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลด้วยตนเอง ทำแบบฝึกหัดส่งงาน และเรียนรู้เพิ่มเติมจากระบบออนไลน์ที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ให้

(2) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานแนวนอน (Horizontal Blended Learning) หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่ประกอบด้วยการเรียนรู้แบบดั้งเดิมในห้องเรียนกับการเรียนแบบออนไลน์ โดยการจัดช่วงเวลาในการเรียนรู้แตกต่างกัน เช่น การจัดการเรียนเรื่องใดเรื่องหนึ่ง 10 สัปดาห์ จัดให้มีการเรียนปกติ 5 สัปดาห์ จากนั้นจึงจัดให้มีการเรียนออนไลน์ 5 สัปดาห์ ถือว่าเป็นการเรียนแบบผสมผสานร้อยละ 50:50 โดยเนื้อหาการสอนแบบปกติกับการสอนออนไลน์จะเป็นเนื้อหาคนละส่วนกัน

2) การผสมผสานแบบ 70:30 เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนการสอนแบบออนไลน์ร้อยละ 70 และแบบดั้งเดิมในห้องเรียนร้อยละ 30 คือ การจัดการกิจกรรมในห้องเรียนแบบเผชิญหน้าก่อน เช่น การปฐมนิเทศ การฝึกใช้เครื่องมือทดลองประมาณร้อยละ 10 จากนั้นให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองผ่านเทคโนโลยีประมาณร้อยละ 40 เมื่อศึกษาครบระยะเวลาที่กำหนดจึงมีการสอบกลางภาคเพื่อทบทวนเนื้อหาบทเรียนที่ได้เรียนมาแล้วประมาณร้อยละ 10 และให้ผู้เรียนเรียนด้วยตนเองอีกครั้ง

ร้อยละ 30 หลังจากนั้นจึงให้ผู้เรียนมาสรุปผลผ่านการนำเสนอผลงาน หรือทำ แบบทดสอบหลังเรียน อีกประมาณร้อยละ 10

3) การผสมผสานแบบ 80:20 เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ระดับของการใช้สื่อออนไลน์ร้อยละ 80 และแบบดั้งเดิมในห้องเรียนร้อยละ 20 คือ การจัดกิจกรรมในห้องเรียนแบบเผชิญหน้าก่อน เช่น การปฐมนิเทศ การฝึกใช้เครื่องมือทดลองประมาณร้อยละ 10 จากนั้นให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองแบบออนไลน์ประมาณร้อยละ 80 เมื่อสิ้นสุดการเรียนจะให้ผู้เรียนมาสรุปผลผ่านการนำเสนอผลงาน หรือทำแบบทดสอบหลังเรียนอีกประมาณร้อยละ 10

2.4.4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน

แฟงกมล เพชรเกลี้ยง (2563) ได้พัฒนารูปแบบการเรียนรู้แบบผสมผสานในยุค New Normal เพื่อส่งเสริมสมรรถนะการออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงรุก จนได้รูปแบบการสอนมีชื่อว่า SKIPP Model ในบริบทของประเทศไทยเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการสอนแบบบรรยาย (Passive Learning) มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียน (Active Learning) ส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะของผู้เรียน ผ่านการบูรณาการเทคโนโลยีและการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) โดย SKIPP Model ประกอบด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: S - Stimulus learning (ขั้นเข้าสู่บทเรียน) เป็นขั้นที่ผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียน เกิดความอยากรู้อยากเห็นและสนใจที่จะเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 2: K - Knowledge Construction (ขั้นแลกเปลี่ยนสร้างองค์ความรู้) เป็นขั้น การศึกษาทำความเข้าใจความรู้ใหม่โดยการเชื่อมโยงความรู้เดิม และแลกเปลี่ยนร่วมกันเพื่อขยายความรู้ความเข้าใจของตนเอง เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่

ขั้นตอนที่ 3: I - Incheck understand (ขั้นตรวจสอบความเข้าใจ) เป็นขั้นการตรวจสอบ ความรู้ความเข้าใจ เพื่อแบ่งปันความรู้ความเข้าใจให้ผู้อื่นรับรู้โดยใช้เทคนิค Graphic Organizer และ ช่วยกันตรวจสอบ

ขั้นที่ 4: P - Product design (ขั้นสร้างชิ้นงานชิ้นใหม่) เป็นขั้นที่ให้ผู้เรียนนำความรู้ ความ เข้าใจไปใช้ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเชิงรุก

ขั้นตอนที่ 5: P - Process of reflect (ขั้นถ่วงใจความคิด) เป็นขั้นที่ผู้สอนและผู้เรียน ร่วมกันสะท้อนผลการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่ถูกจัดทำขึ้น เพื่อนำแนวทางไปปรับปรุง และ พัฒนาการออกแบบการจัดการเรียนรู้ เงื่อนไขการนำรูปแบบไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและ ประสิทธิผลนั้น มี 3 ประการ คือ

1) ผู้สอนเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนนำองค์ความรู้ไป ประยุกต์ใช้ได้

2) นักศึกษามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักศึกษา นักศึกษาและนักศึกษา กับครูผู้สอน รวมทั้งมีความมุ่งมั่น และตั้งใจในการนำองค์ความรู้มาใช้ออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเชิงรุกได้

3) สัญญาณอินเทอร์เน็ตต้องมีความเร็วและแรงตลอดการสอน

กุลธิดา ทุ่งคาโน (2564) ได้ศึกษาการเรียนรู้แบบผสมผสาน Blended Learning ในวิธี New Normal (Blended Learning in a New Normal) โดยเสนอตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ผสมผสาน โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ SKIPP Model ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1: S - Stimulus Learning (ขั้นเข้าสู่บทเรียน)
- ขั้นตอนที่ 2: K - Knowledge Construction (ขั้นแลกเปลี่ยนสร้างองค์ความรู้)
- ขั้นตอนที่ 3: I - Incheck understand (ขั้นตรวจสอบความเข้าใจ)
- ขั้นตอนที่ 4: P - Product design (ขั้นสร้างชิ้นงานชิ้นใหม่)
- ขั้นตอนที่ 5: P - Process of reflect (ขั้นแลกเปลี่ยนความคิด)

2.4.5 ประโยชน์ของการเรียนรู้แบบผสมผสาน

1) ส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การเรียนรู้แบบผสมผสานที่ผู้เรียนสามารถใช้สื่อและเทคโนโลยีช่วยทำความเข้าใจเนื้อหาบทเรียนที่มีความซับซ้อน จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจกับเนื้อหาได้ภายในช่วงเวลาอันสั้น และสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังส่งเสริมการเรียนรู้แบบลึก (Deep Learning) (อภิญา นวลทอง, 2563)

2) เสริมสร้างทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง การผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบปกติที่ถูกจำกัดเฉพาะในห้องเรียนและการเรียนรู้แบบออนไลน์ ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนรู้จักค้นคว้าและแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง สามารถพัฒนาทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเองได้ดีขึ้น ช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) (พัชรา จันทร์สว่าง, 2561)

3) เพิ่มความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ในเวลาที่สะดวกและสามารถกลับไปทบทวนเนื้อหาซ้ำได้ตลอดเวลา ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถจัดการแบ่งเวลาเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รัตนภรณ์ ศรีพรหม, 2562)

4) เสริมสร้างทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น การเรียนรู้แบบผสมผสานช่วยพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันระหว่างผู้เรียนในกลุ่ม ช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและครูผู้สอนได้ดีกว่าการเรียนรู้แบบปกติ (สุมาลี ชัยเจริญ, 2562)

5) ช่วยปรับปรุงการสอน ทำให้ผู้สอนสามารถปรับปรุงเนื้อหาและกิจกรรมได้ตลอดเวลา ซึ่งช่วยให้สามารถลดภาระการสอนซ้ำ ๆ ได้ ส่งผลให้ผู้สอนมีเวลาในการให้คำปรึกษาแก่ผู้เรียนเฉพาะรายบุคคลมากขึ้น (Singh & Reed, 2021)

6) เพิ่มประสิทธิภาพและผลของการลงทุน การส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมการสอน จัดอบรมพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยีของครู พัฒนาวิธีการสอนให้ทันสมัย เพิ่มปริมาณและวิธีการใช้เทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในชั้นเรียนจะช่วยให้เกิดความคุ้มค่ายิ่งขึ้น สามารถประหยัดทรัพยากรและงบประมาณในระยะยาวได้ (วิจารณ์ พานิช, 2564)

ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผสมผสานการเรียนในห้องเรียนที่เป็นแบบเผชิญหน้าระหว่างผู้เรียนและผู้สอน กับการเรียนนอกห้องเรียนโดยผ่านกิจกรรมและเว็บไซต์ต่างๆ ซึ่งมีอัตราส่วนการเรียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมควรอยู่ในระหว่าง 60 – 70 % และควรจัดการออกแบบให้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ขั้นนำเสนอบทเรียน ขั้นแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้ ขั้นนำเสนอผลงาน และ ขั้นประเมินผล โดยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานยังสามารถแบ่งได้ 4 แนวคิด ได้แก่

- 1) แนวคิดการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้แบบดั้งเดิมและแบบออนไลน์
- 2) แนวคิดการผสมผสานระหว่างวิธีการเรียนรู้ที่หลากหลาย
- 3) แนวคิดการผสมผสานสื่อและเทคโนโลยี
- 4) แนวคิดการผสมผสานเนื้อหากับการทำงานจริง โดยให้เน้นผู้เรียนลงมือปฏิบัติ

การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานช่วยให้ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เชิงลึก และสามารถเชื่อมโยงกับการทำงานในชีวิตจริงได้ ช่วยเพิ่มบรรยากาศให้การเรียนรู้มีความยืดหยุ่นและหลากหลาย อีกทั้งการเรียนรู้ที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางโดยใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือ ยังสามารถเพิ่มคุณภาพการศึกษาได้อย่างแท้จริง

2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม Unity 3D

2.5.1 ความหมายของโปรแกรม Unity 3D

โปรแกรม Unity 3D เป็น Game Engine คือ โปรแกรมสำหรับสร้างโดยเกมเฉพาะ ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Unity Technologies ที่สามารถจำลองสถานการณ์ สภาพแวดล้อมเสมือนจริงรองรับการพอร์ทลงบน iOS, Android, Flash Player และเกือบทุกแพลตฟอร์มในปัจจุบัน ซึ่งทำให้ Unity กลายเป็นที่นิยมใช้งานของกลุ่มนักพัฒนาเกม มีหลายช่องทางในการนำเสนอแพลตฟอร์มที่โปรแกรม Unity 3D รองรับอย่างเป็นทางการก็ได้แก่ Web, PC, Mac, iOS, Android, Windows Phone, Blackberry, Xbox, PlayStation 10 เป็นต้น และนอกจากความสะดวกในการใช้งาน ผู้พัฒนายังได้รับเกมที่มีคุณภาพอยู่ในระดับสูงอีกด้วย โปรแกรม Unity 3D สามารถสร้างเกมได้หลากหลาย ไม่ได้ยึดติดอยู่กับรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ทำให้ผู้สร้างเกมสามารถใช้ไอเดียในการสร้างสรรค์เกมได้หลากหลายแนว เช่น แนวเดินหน้ายิงมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (First Person Shooting: FPS) แนวควบคุมวางแผน (Strategy) แนวแก้ไขปริศนา (Puzzle) เป็นต้น พร้อมทั้งมี Asset Store

ที่เปรียบเสมือนร้านค้าที่ขายโมเดล ภาพประกอบเกม หรือโค้ดสำหรับขายหรือแจกฟรีเช่นกัน ซึ่งเป็นโอกาสให้กับผู้ที่สนใจสร้างเกมทุกคนได้ลองใช้งาน

2.5.2 การทำงานของ Unity 3D

โปรแกรม Unity จะมองทุกอย่างเป็นวัตถุ (Game Object) หมายถึง ของต่าง ๆ ที่อยู่ในเกม ไม่ว่าจะเป็นก้อนหินก้อนหนึ่ง หรือ แมลงตัวหนึ่ง โดย Game Object จะทำงานร่วมกันกับการกำหนดคุณลักษณะและพฤติกรรม (Component) ให้กับวัตถุทุกอย่างในเกม เป็นการเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์ให้กับวัตถุ เพื่อให้เกมสามารถเคลื่อนที่ได้หลากหลาย ซึ่ง Component ได้เข้ามาเพิ่มคุณสมบัติและพฤติกรรมให้กับวัตถุ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ หมุนได้ เปล่งเสียงได้ ขยับได้ เป็นต้น

2.5.3 เครื่องมือแต่ละส่วนของโปรแกรม Unity 3D



ภาพที่ 2.20 ภาพเครื่องมือแต่ละส่วนของโปรแกรม Unity 3D

ที่มา Phuwadech Santhanapirom (2560)

- 1) Scene Tap เปรียบเสมือนกล้อง เอาไว้เพื่อมองเห็นภาพโดยรวมของเกมทั้งหมดผ่านหน้าต่างนี้ บ่งบอกว่าในฉากที่กำลังทำงาน มี Object ใดบ้าง
- 2) Console เปรียบเสมือนหน้าต่างบอกข้อมูลเกม หากตัวเกมมี Bug หรือ Error อะไรเกิดขึ้น ก็จะแสดงผลโศรขึ้นในหน้าต่างนี้
- 3) Hierarchy ส่วนที่บอกลำดับชั้น (Layer) ของ Object ต่าง ๆ ที่อยู่ใน Scene นั้น ๆ สามารถทำการปรับแก้ไขได้
- 4) Game หน้าต่างนี้จะแสดงสิ่งที่ผู้เล่นมองเห็น โดยภาพที่แสดงบนหน้าจอจะมาจากสิ่งที่อยู่ใน World และถูกมองผ่าน Camera ของผู้เล่น

5) Project หน้าต่างนี้เปรียบเสมือน Folder ของโปรเจกต์ Resources ต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในหน้าต่างนี้ โดยเราสามารถหิยวัตถุต่าง ๆ ใส่เข้าไปใน Scene ที่กำลังเปิดอยู่ได้ผ่านหน้าต่างนี้

6) Inspector หน้าต่างนี้จะแสดงผลคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Game Object ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่ง, ขนาด, ทิศทาง รวมถึงข้อมูลและฟังก์ชันต่าง ๆ ที่เราเขียนโค้ดเพิ่มเข้าไปด้วย

คำสั่ง	ความหมาย
Input.GetAxis ()	เป็นการรับค่าในแนวนอนและแนวตั้ง
Input.GetKeyDown()	เป็นการรับปุ่ม โดยจะให้ค่าเป็น true ขณะกดลงเท่านั้น แค่อะยวันาที่
Input.GetKey()	เป็นการรับค่าปุ่ม โดยจะให้ค่าเป็น true ขณะกดจนกว่าจะปล่อย
Input.GetKeyUp()	เป็นการรับค่าปุ่ม โดยจะให้ค่าเป็น true ขณะปล่อยเท่านั้น แค่อะยวันาที่
Input.GetMouseButton()	เป็นการรับค่าการคลิกเมาส์ลงเท่านั้น และขณะลงจะเป็นค่า true แค่อะยวันาที่
Input.GetMouseButton()	เป็นการรับค่าการคลิกเมาส์ลงจนกว่าจะปล่อย ตลอดการคลิกจะเป็นค่า true
Input.GetMouseButtonUp()	เป็นการรับค่าการคลิกเมาส์ลง และขณะปล่อยจะเป็นค่า true แค่อะยวันาที่

ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งพื้นฐานของโปรแกรม Unity 3D

ที่มา นฤนาท รัตน (2557)

2.5.4 ข้อดี-ข้อเสีย ของโปรแกรม Unity 3D (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2557)

ข้อดี

1) Unity เป็นเกมที่มีแนวคิดสนับสนุนให้ทุกคนสามารถสร้างเกมได้ด้วยตัวเอง จึงทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นมีการซัพพอร์ตด้วยภาษาพื้นฐานอย่าง JavaScript หรือ C# ที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก

2) มีแบบฟรีเวอร์ชันให้ผู้เริ่มต้นได้ทดลองโหลดมาลองเล่นกัน

3) Unity สามารถ build ตัวโปรเจกต์ออกมาได้หลาย platform เช่น iOS, Android, PC & Mac, Web Player เป็นต้น

4) มี Asset Store ที่รวบรวมของที่ใช้ในการเติมเต็มเกมให้สมบูรณ์มากมาย เช่น เสียงดนตรี เสียงระเบิด, Action Effect ต่าง ๆ เป็นต้น

5) การ Debug ใน Unity สามารถดูเป็นขั้นตอนได้จากการสังเกตค่าในตัวแปรว่าเล่นไป ถึงจังหวะนี้ แต่ละค่าเป็นยังงั้ ตำแหน่งของวัตถุ แกน XYZ อยู่ที่ไหนเท่าไร ทำให้สามารถเห็นตำแหน่งที่ผิดพลาดได้ง่าย

ข้อเสีย

- 1) ตัวโปรแกรมมี Tools ให้เลือกใช้มากมาย ซึ่งอาจดูยากสำหรับคนที่เพิ่งฝึกใช้งาน
- 2) Script หรือ Tools บางตัวใน Asset Store ผู้ใช้ต้องเสียเงินในการซื้อ
- 3) ถึงแม้ Unity จะใช้ภาษาพื้นฐานในการเขียนอย่าง JavaScript และ C# แต่หากผู้ใช้งานไม่มีความรู้มาก่อนก็ยากที่จะสามารถเขียนเกมออกมาได้อย่างสมบูรณ์

2.6 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเกมจำลอง

2.6.1 การเรียนรู้ผ่านเกมจำลอง

การเรียนรู้ผ่านเกมจำลองเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามยุคสมัย ซึ่งในยุคปัจจุบันมีความนิยมเล่นเกมดิจิทัลหลากหลายประเภท ทำให้เกิดการพัฒนาเกมมาเป็นเครื่องมือในการพัฒนาทักษะ ความรู้ และเจตคติของผู้เรียน มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมผ่านการลงมือทำจริง (experiential learning) เพื่อให้สามารถฝึกทักษะและเรียนรู้ได้โดยไม่ต้องเสี่ยงภัยหรือเสียค่าใช้จ่ายสูง มีความสนุก ท้าทาย ส่งเสริมเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา พัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีม และมีแรงจูงใจในการเรียน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเรียนรู้อย่างลึกซึ้งและยั่งยืน (รศ.ดร.ถนอมพร เลาท จรัสแสง และ ณฐนันท์ กาญจนคูหา) โดยรูปแบบของการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองจะประกอบด้วยการนำเสนอเนื้อหาข้อมูล การแนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับทักษะ การฝึกปฏิบัติ เพื่อเพิ่มความชำนาญและคล่องแคล่ว ซึ่งส่วนใหญ่เกมประเภทนี้นิยมพัฒนาขึ้นมาใช้ในกิจกรรมด้านการฝึกสอนเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเรียนรู้ในสถานการณ์จริง อีกทั้งเกมที่นำมาใช้ประกอบการสอนนั้นต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายการเรียนรู้ ซึ่งผู้สอนควรมีทักษะในการออกแบบ และวิเคราะห์ผลการใช้เกมควบคู่กัน

Alessi and Trollip (1991, p. 159, อ้างถึงใน อรุมา “อึด” แก้ววงษา, ย่อหน้าที่

4) ได้กล่าวถึงการจำลองสถานการณ์ว่าเป็นวิธีการสอนที่สามารถนำไปใช้คอมพิวเตอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในการนำไปใช้การเรียนการสอน เป็นแนวความคิดที่คล้ายกับการเล่นเกมแบบทั่วไป เพียงแต่มีการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยสร้างสื่อในการเรียนรู้ การจำลองสถานการณ์จะเป็นลักษณะการเลียนแบบเหตุการณ์จริงหรือใกล้เคียง เพื่อพัฒนาทักษะของผู้เล่น เช่น การฝึกบินจำลอง การขับรถจำลอง ซึ่งการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองสามารถช่วยถ่วงโยงการเรียนรู้อย่างลึกซึ้ง มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และสามารถควบคุมเหมือนได้ประสบการณ์จริง

2.6.2 การนำสื่อเกมเรียนรู้ไปใช้ในการเรียน

การนำสื่อเกมเรียนรู้ไปใช้ในการเรียน คือ การประยุกต์ใช้เกมที่ถูกออกแบบให้มีการบรรจุเนื้อหาเพื่อการศึกษา (Educational Games) หรือ “เกมเพื่อการเรียนรู้” (Game-Based Learning Tools) ควบคู่กับกิจกรรมการสอนทั้งในรูปแบบออนไลน์ หรือแบบผสมผสาน โดยมี

เป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ ทั้งด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติของผู้เรียน ซึ่งเกมเหล่านี้จะมีกลไกของเกม (Game Mechanics) เช่น คะแนน (Points), การผ่านด่าน (Levels), ความท้าทาย (Challenges), การตอบสนองกลับ (Feedback) เพื่อกระตุ้นแรงจูงใจจากภายในของผู้เรียน จากแนวคิดของ รศ.ดร.ถนอมพร เลาหจรัสแสง ในบทความ 10 ปี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เป็นผู้พัฒนาระบบการเรียนจาก E-Learning สู่ U-Learning กล่าวว่า ควรมีการใช้นวัตกรรมด้านวิธีการสอน เช่น การเรียนผ่านเกม (Game Based Learning) ควบคู่ไปด้วยกันกับเทคโนโลยีและวิธีการสอนใหม่ รวมทั้งการใช้สื่อใหม่รูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้การพัฒนาการในด้าน E-Learning เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อการพัฒนาการเรียนการสอนที่มีคุณภาพ ทนสมัย และกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน โดยทางสำนักบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้พัฒนาเกมที่มีชื่อว่า “Eternal Story”

เกม Eternity Story เป็นการพัฒนาสื่อเกมการสอนให้มีความทันสมัย สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน โดยออกแบบการสอนภาษาอังกฤษในรูปแบบของสื่อเกม ตัวเนื้อหาเกมจะคล้ายคลึงกับเกมผจญภัยต่อสู้ โดยผู้เล่นจะสวมบทบาทเป็นผู้พิทักษ์โลก และต้องมีพื้นฐานทางด้านภาษาอังกฤษเพื่อเติมคำศัพท์ลงในเกมซึ่งเป็นเนื้อหาสำคัญ (Learning Point) ของสื่อเกมนี้ ซึ่งเกมดังกล่าวเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ของ Game-Based Learning และเป็นต้นแบบสำหรับการจัดการเรียนรู้ในระดับอุดมศึกษา อีกทั้งยังใช้ในการพัฒนาเกมในลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาอื่นที่เกี่ยวข้องกันได้



ภาพที่ 2.22 เกม Eternity Story

ที่มา สำนักบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2018)

2.6.3 เกมเพื่อการเรียนรู้ในปัจจุบัน

เกมเพื่อการเรียนรู้ในปัจจุบันได้กลายเป็นนวัตกรรมการศึกษาทำหน้าที่เชื่อมโยงความสนุกเข้าไว้กับการเรียนรู้อย่างมีเป้าหมาย เพื่อช่วยเพิ่มแรงจูงใจ เสริมสร้างทักษะ และส่งเสริมการเรียนรู้แบบยั่งยืน เหมาะสมกับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะกลุ่ม Gen Z และ Alpha ที่เติบโตมาพร้อมกับเทคโนโลยีอย่างแท้จริง โดยลักษณะสำคัญของเกมเพื่อการเรียนรู้ในปัจจุบันจะเน้น

การผสมผสานเทคโนโลยี ใช้เกมคอมพิวเตอร์ เกมออนไลน์ เกม AR/VR หรือเกมจำลองสถานการณ์ (Simulation-based learning) ประกอบการเรียนการสอน ซึ่งมีข้อได้เปรียบในการเข้าถึงการเรียนการสอนได้ทุกที่ ทุกเวลา เพิ่มความยืดหยุ่นและความเป็นส่วนตัวให้แก่ผู้เรียน สามารถฝึกปฏิบัติทักษะการทำงานจริง รวมถึงเกมที่น่าสนใจใช้ต้องสามารถวัดผลลัพธ์ได้จากการเก็บข้อมูลพฤติกรรมผู้เรียนแบบ real-time

(March Prensky, 2001; Clark Aldrich, 2005) ได้ทำการศึกษาเรื่องราวที่ใกล้เคียงกันเช่น การประมวลผลสมองของมนุษย์, การมีส่วนร่วมในห้องเรียน, E-Learning, และเกมเพื่อการเรียนรู้ โดยมีเนื้อหาโดยสังเขปใกล้เคียงกันซึ่งสามารถสรุปเนื้อหาในแง่ของเกมเพื่อการเรียนรู้ได้ดังนี้

1) ผู้เรียนพอใจกับการเรียนรู้แบบเกมเพื่อการเรียนรู้ เนื่องจากเป็นรูปแบบที่สามารถตอบโต้ภัยการเรียนรู้ของทุกวัยได้ มีการออกแบบสื่อในรูปแบบที่น่าสนใจ หรือสามารถจำลองสถานการณ์ได้เสมือนจริง (Simulator) ซึ่งสามารถนำความรู้หรือสิ่งที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

2) นอกจากนี้ยังมีประเด็นเกี่ยวกับเรื่องของความมีส่วนร่วม (Engagement) เข้ามาเกี่ยว เนื่องจากเกมเพื่อการเรียนรู้มุ่งเน้นไปเป้าหมายไปยัง 10 ส่วน คือ ความสนุก (Fun), ความมีส่วนร่วม (Engagement), มีเป้าหมาย (Goals), มีกฎในการเรียนรู้ (Rule), มีการเชื่อมต่อ (Interaction), มีผลลัพธ์ (Outcome), มีการคิดวิเคราะห์ย้อนกลับ (Feedback), มีการออกแบบความขัดแย้ง (Conflict), มีการแข่งขันเพิ่มเข้ามา (Competition), มีการจำลองบทบาท (Case) ซึ่งทุกอย่างถูกจำลองมาจากประสบการณ์และชีวิตในการทำงานจริง หากผู้เรียนรู้ได้สัมผัสการเรียนรู้จากสื่อเกมเรียนรู้ก็ไม่ต่างกับเผชิญหน้ากับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การเรียนรู้ผ่านเกมจำลองเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือทำ เพื่อให้สามารถฝึกทักษะและเรียนรู้ได้โดยไม่ต้องเสี่ยงภัยหรือเสียค่าใช้จ่ายสูง ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่ยั่งยืน รูปแบบการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองประกอบด้วยการนำเสนอเนื้อหาข้อมูล การแนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับทักษะ การฝึกปฏิบัติเพื่อเพิ่มความชำนาญ ส่วนใหญ่เกมประเภทนี้นิยมพัฒนาขึ้นมาใช้ในกิจกรรมการฝึกสอนเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเรียนรู้ในสถานการณ์จริง

2.7 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Bloom (1982: 45) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนมีชื่อเรียกว่า การเรียนเพื่อรอบรู้ (Mastery Learning) เป็นแนวคิดที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ และเชี่ยวชาญในเนื้อหาทั้งหมดก่อนที่จะเรียนเนื้อหาใหม่ โดยเน้นการเรียนรู้แบบเป็นขั้นตอน (Sequential Learning) และต้องมีการประเมินผลอย่างต่อเนื่อง หากพบว่าผู้เรียนไม่สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตามเป้าหมายที่ผู้สอนกำหนดไว้ ตามแนวคิดของ Bloom แนะนำให้ใช้กระบวนการเสริมเติมเต็ม (Corrective Instruction) ความเข้าใจให้ผู้เรียน ดังนี้

- 1) การสอนเสริม (Remedial Instruction) – จัดกิจกรรมเสริมความรู้เพิ่มเติม เช่น การทวนเสริม การเรียนซ้ำในจุดที่ยังไม่เข้าใจ
- 2) การใช้แบบฝึกหัดเพิ่มเติม (Practice & Drills) – ให้แบบฝึกหัดที่ช่วยให้เข้าใจแนวคิดมากขึ้น
- 3) การปรับเปลี่ยนวิธีสอน (Differentiated Instruction) – ใช้เทคนิคการสอนที่เหมาะสมกับนักเรียนแต่ละคน เช่น สื่อโสตทัศน หรือการเรียนแบบโครงงาน
- 4) การให้เวลามากขึ้น (Flexible Timeframe) – ให้นักเรียนมีเวลามากขึ้นในการทำความเข้าใจ ไม่เร่งรีบจนเกินไป
- 5) การประเมินและปรับปรุง (Formative Assessment) – ใช้การประเมินระหว่างเรียน (เช่น แบบทดสอบย่อย) เพื่อวิเคราะห์ว่านักเรียนยังมีจุดอ่อนที่ใด และปรับปรุงการเรียนการสอน

อีกทั้งตามแนวคิดของ Bloom ได้กล่าวถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Learning Achievement) โดยอธิบายว่า เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการเรียนรู้ที่แสดงออกมาในรูปของพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้เรียนที่ผ่านการสอน การฝึกฝน และประสบการณ์ในการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งพฤติกรรมการเรียนรู้ ออกเป็น 3 ด้าน เรียกว่า Taxonomy of Educational Objectives ดังนี้

- 1) พุทธิพิสัย (Cognitive Domain) เกี่ยวข้องกับความรู้ ความเข้าใจ และกระบวนการคิด เช่น การจดจำ การวิเคราะห์ และการประยุกต์ใช้
- 2) จิตพิสัย (Affective Domain) เกี่ยวข้องกับทัศนคติ ค่านิยม และความรู้สึก เช่น ความสนใจ แรงจูงใจ และเจตคติในการเรียน
- 3) ทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) เกี่ยวข้องกับทักษะทางร่างกาย การปฏิบัติ และการเคลื่อนไหว เช่น ทักษะในการทำงาน การใช้เครื่องมือ และการควบคุมร่างกาย

2.7.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

นักวิชาการด้านการศึกษาได้ให้ความหมายเกี่ยวกับ “ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน” ไว้ดังต่อไปนี้

Good (1973) ได้ให้ความหมายของผลสัมฤทธิ์ (Achievement) ว่า หมายถึง ความสำเร็จ (Accomplishment) ความคล่องแคล่ว (Proficiency) และความชำนาญ (Skill) ในการใช้ทักษะหรือการประยุกต์ใช้ความรู้ต่าง ๆ ส่วนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Academic Achievement) หมายถึง ความรู้หรือทักษะที่เกิดจากการเรียนรู้ในวิชาต่าง ๆ ที่ผู้เรียนได้เรียนผ่านมาแล้ว ซึ่งสามารถวัดผลได้จากผลการทดสอบ ผลงาน หรือการประเมินของครูผู้สอน หรือผู้รับผิดชอบในการสอนดังนั้น

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนควรประกอบด้วยสิ่งสำคัญอย่างน้อย 3 อย่าง คือ ความรู้ ทักษะ และ สมรรถภาพของด้านต่าง ๆ

ศิริพร มาวรณา (2546) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลของการ เรียนการสอนหรือความสามารถของบุคคล อันเกิดจากการได้รับการฝึกฝนสั่งสอนในด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติที่ได้พัฒนาขึ้นตามลำดับชั้นในวิชาต่าง ๆ

ปราณี กองจินดา (2549) ได้กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสามารถหรือผลสำเร็จที่ได้รับจากกิจกรรมการเรียนการสอน เป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และประสบการณ์เรียนรู้ทางด้านพุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย และยังได้จำแนกผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนไว้ตามลักษณะของวัตถุประสงค์ของการเรียนการสอนที่แตกต่างกัน

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ (2556) อธิบายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความรู้ความ เข้าใจ ความสามารถ หรือความสำเร็จของผู้เรียนที่ได้รับจากการเรียนการสอน ซึ่งสามารถวัดผล ความสำเร็จหรือระดับความรู้ความสามารถของผู้เรียน จากผลของคะแนนสอบในแต่ละวิชาและ ประเมินผลออกมาในรูปของเกรดเฉลี่ยสะสม

2.7.2 จุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530: 29-30) ได้กล่าวถึงจุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนว่า เป็นการตรวจสอบระดับความสามารถของสมรรถภาพทางสมองของผู้เรียน ที่ผ่าน การเรียนการสอนมาแล้ว ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) ซึ่งจะวัด 2 องค์ประกอบตามจุดมุ่งหมาย และลักษณะวิชาที่เรียน ดังนี้

1) การวัดด้านปฏิบัติ เป็นการประเมินความรู้ ความสามารถ หรือทักษะการ ปฏิบัติ โดยกำหนดให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติด้วยตัวเอง แสดงผลงานปรากฏออกมา (Skill Outcomes) ให้ผู้สอนหรือผู้ควบคุมสังเกต ซึ่งการวัดลักษณะนี้นิยมใช้ข้อสอบภาคปฏิบัติ (Performance Test) ซึ่ง ผลการประเมินจะพิจารณาจากวิธีปฏิบัติ (Procedure or Process) และผลการปฏิบัติ (Produce or Output)

2) การวัดด้านทฤษฎี เป็นการประเมินความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถเกี่ยวกับ อันเป็นผลมาจากการเรียนการสอน ซึ่งมีวิธีการสอบวัดได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

(1) การสอบปากเปล่า (Oral Test) เป็นการสอบรายบุคคล เพื่อต้องการดู ผลการประเมินเฉพาะอย่าง เช่น การสอบปริญญานิพนธ์ ที่ต้องการประเมินความรู้ ความเข้าใจใน เรื่องที่ทำวิจัย

(2) การสอบแบบเขียนตอบ (Paper – pencil Test or Written Test) เป็น การสอบที่ให้ผู้สอบเขียนเป็นตัวหนังสือ ซึ่งมีรูปแบบการ ตอบอยู่ 2 แบบ ดังนี้

(2.1) แบบไม่จำกัดคำตอบ (Free – response type) เป็นการสอบวัดที่ใช้ข้อสอบแบบอัตนัย หรือความเรียง (Essay Test)

(2.2) แบบจำกัดคำตอบ (Fixed – response type) เป็นการสอบที่มีคำถามและกำหนดขอบเขตของคำตอบ หรือกำหนดคำตอบมาให้เลือก แบ่งได้อีก 4 รูปแบบ ดังนี้

- (1) แบบเติมคำ (Completion)
- (2) แบบจับคู่ (Matching)
- (3) แบบเลือกตอบ (Multiple Choice)
- (4) แบบเลือกทางใดทางหนึ่ง (Alternative)

บุญชม ศรีสะอาด (2544) กล่าวว่า จุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อเป็นการประเมินระดับความสามารถทางปัญญาของผู้เรียน ว่าเมื่อการเรียนการสอนสิ้นสุดลงในแต่ละหน่วยหรือแต่ละวิชา ผู้เรียนมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงอย่างไร ทำให้ผู้สอนได้ทราบว่าผู้เรียนมีความสำเร็จในการเรียนไปแล้วมากน้อยเพียงใด สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการพัฒนาไปสู่เป้าหมายที่วางไว้ โดยอาศัยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล

กุหลาบ สีหาพงษ์ (2550: 39) กล่าวว่า จุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อเป็นการวัดผลการเรียนรู้ ความเข้าใจด้านเนื้อหาวิชา และทักษะการปฏิบัติของผู้เรียน เป็นการประเมินความสามารถของสมรรถภาพทางปัญญาของผู้เรียน ว่าเมื่อเรียนเสร็จสิ้นแล้วมีความรู้ความเข้าใจ หรือมีความสามารถมากน้อยเพียงใด เช่น ความเข้าใจ การนำไปใช้ การแก้ปัญหา เป็นต้น

มลาวัลย์ นกหงษ์ (2552: 78) กล่าวว่า จุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อใช้วัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในด้านเนื้อหาวิชาและทักษะต่าง ๆ เป็นการตรวจสอบความสามารถของสมรรถภาพทางปัญญาของผู้เรียน เมื่อเรียนรู้เสร็จสิ้นแล้วมีความเข้าใจสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ มีการวิเคราะห์ การสังเคราะห์อยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด

2.7.3 ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

นักวิชาการได้กล่าวถึงการแบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ ดังนี้

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2543) ได้กล่าวถึงการแบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ 3 ประเภท ดังนี้

1) แบบทดสอบปากเปล่า (Oral Test) เป็นการทดสอบที่อาศัยการซักถามเป็นรายบุคคล โดยผู้สอบจะต้องตอบคำถามด้วยการพูด นิยมใช้กับการประเมินความรู้หรือทักษะที่ต้องการให้มีการอธิบายหรือต้องการสื่อสารโดยตรง เหมาะสมกับการประเมินที่มีผู้เข้าสอบจำนวน

น้อย ๆ เพราะการทดสอบแบบปากเปล่าจำเป็นต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก เพื่อให้สามารถซักถามข้อมูลได้อย่างละเอียด และสามารถโต้ตอบกันได้

2) แบบทดสอบเขียนตอบ (Written Test) เป็นการทดสอบที่ผู้สอบจะต้องตอบคำถามเป็นลายลักษณ์อักษร เหมาะสมกับการประเมินที่มีผู้เข้าสอบจำนวนจำกัด สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ ดังนี้

(1) แบบทดสอบความเรียงหรืออัตนัย (Subjective Test) เป็นแบบทดสอบที่ผู้สอบสามารถเขียนตอบได้อย่างอิสระ แต่จะต้องมีการรวบรวมเรียบเรียงคำพูดของตนเองในการแสดงทัศนคติ ความรู้สึก และความคิดเห็นภายใต้หัวข้อที่กำหนดไว้ให้ เป็นข้อสอบที่สามารถวัดพฤติกรรมด้านการคิดวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี

(2) แบบทดสอบปรนัย (Objective Test) เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดคำตอบไว้ภายใต้เงื่อนไขอย่างจำกัด เช่น ข้อสอบแบบเลือกตอบ (Multiple Choice) แบบจับคู่ (Matching) แบบถูกผิด (True - False) และ แบบเติมคำ (Completion) เป็นต้น

3) แบบทดสอบปฏิบัติ (Performance Test) เป็นแบบทดสอบที่ผู้สอบได้แสดงความสามารถในการปฏิบัติหรือทักษะเฉพาะด้าน โดยผ่านการกระทำหรือลงมือปฏิบัติจริง เช่น การทดสอบปฏิบัติการวิศวกรรม การทดสอบทางด้านดนตรี การทดสอบทางด้านพลศึกษา เป็นต้น

ไพโรจน์ คะเชนทร์ (2556) ได้แบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) แบบทดสอบที่ผู้สอนสร้างขึ้นเอง (Teacher Made Test) เป็นแบบทดสอบที่ผู้สอนออกแบบขึ้นเอง สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม เพื่อใช้วัดผลการเรียนรู้ของนักเรียนในรายวิชาหรือเนื้อหาที่สอนได้โดยตรง

2) แบบทดสอบมาตรฐาน (Standardized Test) แบบทดสอบที่ถูกสร้างขึ้นภายใต้หลักวิชาการ โดยมีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานและต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางสถิติ เช่น ความเที่ยง (Reliability) และความตรง (Validity) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผู้สอบได้อย่างเป็นระบบ

แบบทดสอบทั้ง 2 ประเภท จะมีข้อคำถามเหมือนกัน คือ ถามสิ่งที่ผู้เรียนได้รับจากการเรียนการสอนที่ผ่านมาแล้ว โดยแบ่งกลุ่มพฤติกรรมได้ 6 ประเภท คือ ความรู้ ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมิน

บุญชม ศรีสะอาด (2560) ได้แบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) แบบทดสอบอิงเกณฑ์ (Criterion Referenced Test) หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนเป็นหลัก มักใช้ประเมินทักษะทางวิชาการหรือทักษะปฏิบัติ โดย

เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจุดมุ่งหมายของแบบทดสอบของเกณฑ์ คือ การพิจารณาว่าผู้สอบสามารถทำผลลัพธ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่

2) แบบทดสอบอิงกลุ่ม (Norm-Referenced Test) หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อวัดจุดประสงค้ให้ครอบคลุมทั้งหลักสูตร จึงสร้างตามตารางวิเคราะห์หลักสูตร ลักษณะสำคัญของแบบทดสอบประเภทนี้ คือ สามารถวัดความแตกต่างระหว่างผู้สอบในกลุ่มเดียวกัน เน้นการวัดความสามารถเชิงสัมพัทธ์มากกว่าการบรรลุเป้าหมาย เพื่อจัดอันดับหรือแบ่งระดับความสามารถของผู้สอบ

ผู้วิจัยสรุปได้ว่าการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง การตรวจสอบระดับความสามารถของสมรรถภาพทางสมองของผู้เรียน อันเป็นผลเนื่องมาจากการเรียนการสอนโดยใช้เครื่องมือวัดผล ซึ่งการวัดผลสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การทดสอบภาคทฤษฎี หรือการทดสอบภาคปฏิบัติ โดยประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบทดสอบมาตรฐาน และแบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นเอง ซึ่งแบบทดสอบจะถามสิ่งที่ผู้เรียนได้รับจากการเรียน การสอนซึ่งจัดกลุ่มพฤติกรรมได้ 6 ประเภท คือ ความรู้ ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมิน โดยแบบทดสอบมีทั้งแบบปรนัย และแบบอัตนัยขึ้นอยู่กับผู้สอนในการพิจารณานำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับเนื้อหาและระดับของผู้เรียนอย่างเหมาะสม

2.8 ทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน

ทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน (Malone's Theory of Intrinsically Motivating Instruction) ถูกพัฒนาโดย Thomas W. Malone (1981) เป็นหนึ่งในทฤษฎีสำคัญที่ได้รับความนิยมมาอย่างยาวนานเพื่อใช้อธิบายว่าสาเหตุใดผู้เรียนจึงมีแรงจูงใจในการเรียนรู้ โดยเฉพาะในบริบทของเกมที่พัฒนาเพื่อการเรียนรู้ หรือ สื่อการเรียนรู้แบบอินเทอร์แอคทีฟ

ในกระบวนการออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยใช้รูปแบบเกมคอมพิวเตอร์เป็นสื่อ นั้น มีลักษณะคล้ายกับการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แต่ผู้ออกแบบสื่อการเรียนรู้จะต้องให้พิจารณาเรื่องความเพลิดเพลินเป็นเบื้องต้น โดยนำทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน ซึ่งประกอบด้วยแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) ที่มาจากสื่อการเรียนรู้หรือกิจกรรมการสอน ประกอบด้วย ปัจจัย 4 ประการหลัก ได้แก่:

1) ความท้าทาย (Challenge): เป็นการที่ผู้เรียนได้เผชิญกับภารกิจที่ไม่ง่ายเกินไป หรือ ยากเกินไป โดยการพิชิตภารกิจที่ท้าทายนี้จะต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน ต้องมีความสมดุลระหว่างทักษะของผู้เรียนกับความยากของกิจกรรม

2) ความอยากรู้อยากเห็น (Curiosity): สื่อการเรียนรู้รูปแบบต่าง ๆ ควรปลุกความสงสัย และกระตุ้นความรู้สึกผู้เรียนผ่านการมองเห็นให้ค้นหาคำตอบ อาจจะใช้สิ่งเร้าที่แปลกใหม่หรือ เหตุการณ์ไม่คาดฝันที่ต้องการคำอธิบาย

3) การได้ควบคุมหรือมีอิสระ (Control): ผู้เรียนควรมีอิสระในการเลือกตัดสินใจ หรือ ควบคุมทิศทางของการเรียนรู้ การให้ผู้เรียนเลือกวิธีแก้ปัญหาด้วยตนเองจะช่วยเพิ่มความรู้สึกเป็นเจ้าของ

4) จินตนาการ (Fantasy): เป็นการที่ผู้เรียนสามารถสร้างจินตนาการหรือเรื่องราวสมมติที่น่าดึงดูด โดยใช้เทคนิคการสร้างและจินตนาการในการออกแบบเนื้อหาบทเรียน เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียน สร้างภาพด้วยตนเองในสถานการณ์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้ที่ได้ศึกษา

ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน ถูกพัฒนาโดย Thomas W. Malone (1981) เป็นทฤษฎีนิยมอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้อธิบายปัจจัยที่ทำให้ผู้เรียนมีแรงจูงใจในการเรียนรู้ ซึ่ง มาจากแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) ที่มาจากสื่อการเรียนรู้หรือกิจกรรมการสอน ประกอบด้วย ปัจจัย 4 ประการ ได้แก่ 1) ความท้าทาย (Challenge) คือ การทำภารกิจที่ท้าทายเพื่อ พิชิตเป้าหมายได้สำเร็จ 2) ความอยากรู้อยากเห็น (Curiosity) คือ สื่อที่สามารถกระตุ้นความรู้สึก ผู้เรียนผ่านการมองเห็นให้ค้นหาคำตอบ ทำภารกิจที่อยู่ในเกมได้จนสมบูรณ์ 3) การได้ควบคุมหรือมี อิสระ (Control) คือ ผู้เรียนสามารถควบคุมทิศทางของเกม ตัดสินใจและเลือกวิธีแก้ปัญหาได้ด้วย ตนเอง 4) จินตนาการ (Fantasy) คือ ผู้เรียนสามารถสร้างภาพด้วยตนเองในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ข้อมูลความรู้ที่ได้ศึกษามาแล้ว

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกพันธ์ นามสมบูรณ์ (2562) ได้พัฒนาเกม Fantasy World ให้ผู้เล่นได้แสดงบทบาทสมมติ ผ่านตัวละครในเกม เพื่อได้ฝึกทักษะการบริหารจัดการธุรกิจของตัวเอง โดยผู้วิจัยออกแบบเกมด้วย โปรแกรม RPG Maker MV ในการออกแบบตัวละคร แผนที่ เมือง ภูมิประเทศขึ้นมา จากการศึกษา พบว่า เกมนี้จะเหมาะสำหรับผู้เล่นเกมวัยรุ่นที่มีความสนใจทางด้านธุรกิจและชอบเล่นเกม โดยผู้เล่น จะได้รับความเพลิดเพลินพร้อมกับการฝึกทักษะการบริหารกิจการไปพร้อม ๆ กัน และทำให้ผู้เล่นได้ รู้จักการบริหารทรัพยากรในธุรกิจของตัวเองที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

อรุณ น้อยอุดม (2563) ได้พัฒนาเกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริง การฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock โดยใช้เป็นเครื่องมือประกอบการเรียนการสอนเพื่อช่วยฝึกฝนทักษะการฉีดยาให้แก่ นักศึกษาพยาบาล ให้สามารถทบทวนความรู้และทักษะการฉีดยาที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน ผู้วิจัยได้พัฒนารูปแบบเป็นเกมที่ใช้เล่นกับคอมพิวเตอร์ มีการออกแบบเป็นภาพการ์ตูนจำลองแขน ของผู้ป่วยที่ใส่อุปกรณ์ NSS Lock ไว้ ภายในเกมจะมีภาพอุปกรณ์เกี่ยวกับการฉีดยาที่จำเป็นทั้งหมด

มีคำสั่งการฉีดยาในแต่ละขั้นตอนประกอบเกม เหมือนกับกำลังปฏิบัติงานจริง และจากการศึกษาพบว่า ภายหลังจากที่นักศึกษาพยาบาลได้เรียนรู้โดยใช้เกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริง การฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock แล้ว มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการปฏิบัติการฉีดยาสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าเกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริง การฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock ที่พัฒนาขึ้นนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักศึกษาพยาบาลสามารถใช้ทบทวนความรู้ในการปฏิบัติงานได้จริง ก่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานจริงได้ ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการปฏิบัติงานจริง แต่มีข้อเสนอแนะให้มีการพัฒนาเกมให้สามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายแพลตฟอร์มเพื่อตอบสนองต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้ดียิ่งขึ้น

ชญาณี ขวัญชูช (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมจำลองสถานการณ์ (Simulation gaming): Tropical Paradise วิชาการบริหารและการจัดการท่องเที่ยว 1 โดยนำเกม Tropical Paradise มาบูรณาการประกอบการเรียนการสอนในช่วงที่สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อโรค COVID-19 ที่ส่งผลกระทบให้การศึกษาไม่สามารถดำเนินการสอนตามปกติได้ รูปแบบของเกม Tropical Paradise จะเป็นลักษณะเกมการสร้างเมืองท่องเที่ยวจำลอง เพื่อให้ผู้เรียนได้แสดงบทบาทสมมติประกอบสถานการณ์จำลองที่คล้ายคลึงกับความเป็นจริง มีกฎกติกาการเล่นที่สะท้อนความเป็นจริง ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับโอกาสที่จะเป็นนักวางแผนในการสร้างเมืองของตัวเอง การตัดสินใจในการแก้ไขปัญหา ซึ่งการเรียนการสอนโดยใช้เกม Tropical Paradise ประกอบรายวิชานั้นก็จัดเป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะการบริหารจัดการสถานที่ท่องเที่ยวของตัวเอง เกิดทักษะการวางแผนกลยุทธ์ เข้าใจเกี่ยวกับความเป็นจริงในสถานการณ์ที่จำลองขึ้นมา รวมถึงช่วยผ่อนคลายความเครียดในช่วงการเรียนออนไลน์ให้กับผู้เรียน

อภิสิทธิ์ ศรีวรรณ (2565) ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยานพื้นฐานสำหรับใช้ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพื่อการทดสอบสมรรถนะนักศึกษาผ่านโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน โดยแบ่งเป็นการจำลองพื้นฐาน 2 ประเภท คือ ตรวจสอบอากาศยาน (Aircraft inspection) และการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance) มีขั้นตอนการปฏิบัติผ่านโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุง ซึ่งจำลองมาจากการทำงานในภาคพื้นดินเป็นพื้นฐานสำหรับช่างอากาศยานโดยจะเริ่มตั้งแต่การประชุมงานที่ได้รับมอบหมาย วางแผนงาน การให้ข้อคิดเห็นในงานที่จะทำ เช่น การสั่งงานตรวจสอบและซ่อมบำรุงอากาศยาน เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า หลังจากเรียนรู้ผ่านโปรแกรมจำนวน 90 % ผ่านการทดสอบ อีก 10 % ไม่ผ่านการทดสอบ ซึ่งเกิดจากความซับซ้อนด้านเทคนิคของอุปกรณ์ที่ไม่คุ้นชิน ผลการวิจัยนี้ได้เป็นแนวทางการพัฒนาโปรแกรมการซ่อมบำรุงอากาศยาน ให้เกิดการใช้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพ โดยจะตั้งเป้าหมายพัฒนาในรูปแบบการซ่อมบำรุงเสมือนจริง หรือที่เรียกว่า Virtual Reality (VR) ให้ทันสมัยขึ้น

Zhaokun Yang (2018) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Development Method of Immersive Virtual Maintenance Training System เพื่อพัฒนาการฝึกอบรมการบำรุงรักษาแบบเสมือน (Virtual Maintenance Training) โดยใช้โปรแกรม Unity 3D บนแพลตฟอร์ม Meiteng พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นมีข้อดีอย่างชัดเจน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบการฝึกอบรมในแบบเดิม อาทิเช่น Virtual Maintenance Training สามารถทำการเลือกฝึกอบรมการบำรุงรักษาในรูปแบบที่หลากหลายกว่าเดิมโดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่ในฝึก สามารถทำการฝึกได้ทุกที่ตามความต้องการ ฝึกซ้ำได้อย่างอิสระและที่สำคัญ คือ มีความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงมากกว่าการฝึกในรูปแบบเดิมทำให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจเรื่องความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งงานวิจัยนี้ถือเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการฝึกอบรมการบำรุงรักษาในด้านอื่น ๆ

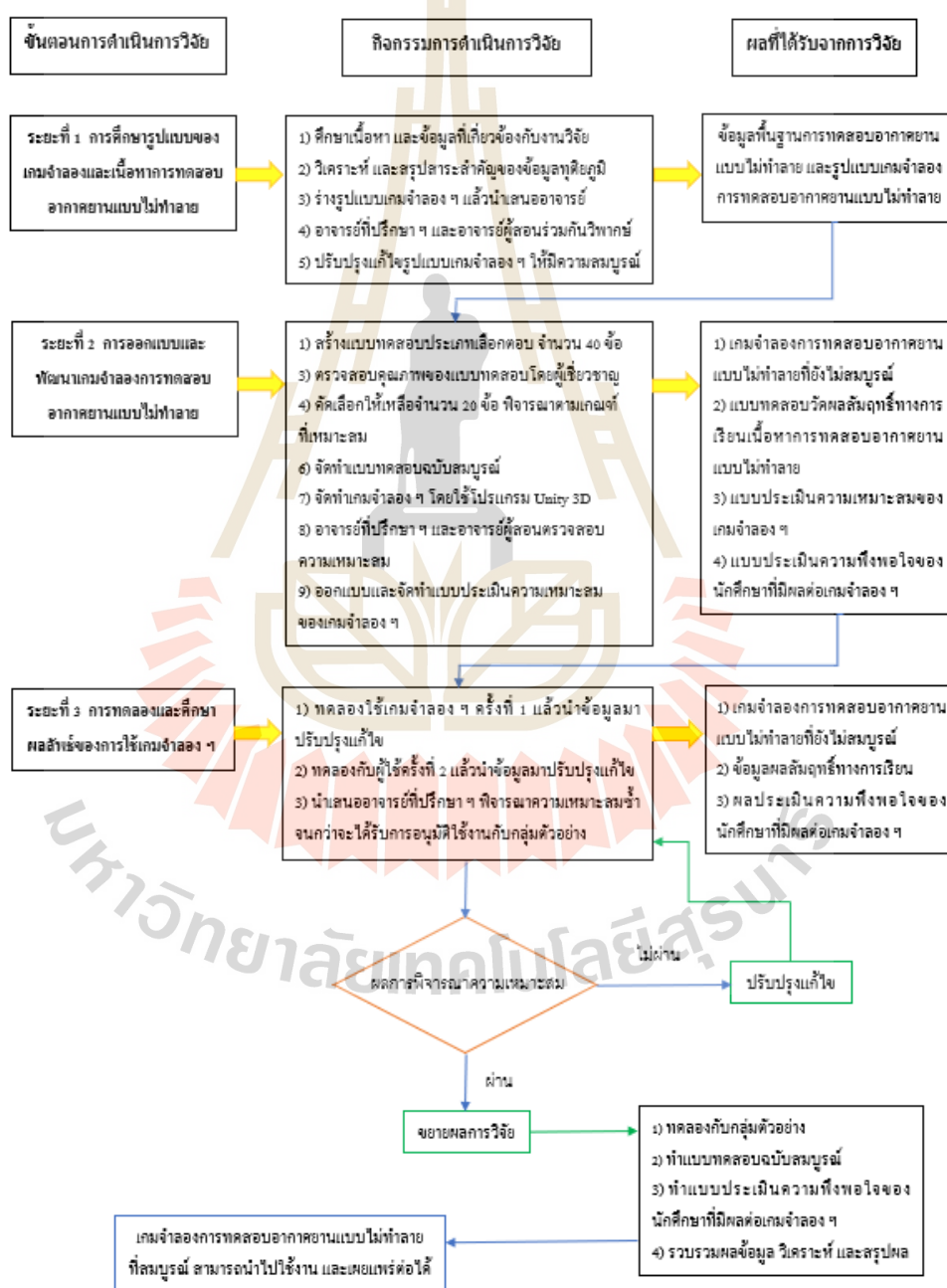
Anna Julia Birecka (2021) ได้พัฒนาเกมแพลตฟอร์มมือถือโดยใช้โปรแกรม Unity เป็นรูปแบบเกมปริศนาที่ต้องแก้ไขปัญหา ให้ผู้เล่นต้องสวมบทบาทสมมติ จำลองสภาพแวดล้อมเหมือนจริง เกมที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบมาสำหรับปฏิบัติการ Android 6.0 (Marshmallow) ขึ้นไป ได้รับแรงบันดาลใจในการออกแบบเกมจากนิทานพื้นบ้านสลาฟ (Slavic) ที่ช่วยกระตุ้นความสนใจเรื่องวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ กำหนดกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัย คือ เด็กอายุระหว่าง 8 – 12 ปี ซึ่งเป็นช่วงวัยที่มีความสำคัญในการพัฒนาทักษะและการเรียนรู้ จากการศึกษา พบว่า เกมที่พัฒนาขึ้นสามารถเล่นได้ตามปกติ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดด้านเวลาที่ทำให้ไม่สามารถพัฒนาปริศนา ให้มีความซับซ้อนได้ตามที่กำหนดไว้ครบถ้วน แต่ว่าคุณสมบัติหลักหลัก เช่น แอนิเมชัน เสียง ก็ได้รับการทดสอบว่ามีความสมบูรณ์เหมาะสม ในการพัฒนาครั้งต่อไปนั้นจะมุ่งเน้นไปที่การทำให้แพลตฟอร์มอื่น โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์ เพิ่มตัวละครใหม่ เรื่องราวที่น่าสนใจขึ้น รวมถึงเพิ่มระดับความยากในการแก้ไขปริศนา รวมถึงออกแบบให้เป็นเกมที่ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการเล่น (free to play) อย่างสมบูรณ์แบบในอนาคตอีกด้วย

Sudi Dul Aji (2023) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Unity Engine Based E – Module to increase learning result from online learning โดยพัฒนาสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Unity ในรูปแบบ E – Module ประกอบเนื้อหาในรายวิชาพลังงาน และการใช้ประโยชน์จากพลังงาน ให้กับนักศึกษาได้ศึกษาในช่วงสถานการณ์แพร่ระบาดโควิดที่ทำให้การเรียนการสอนถูกจำกัดสถานที่ สื่อที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถรองรับอุปกรณ์โทรศัพท์บนระบบ Android จากข้อมูลพบว่า ผลการประเมินคุณภาพสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญระบุว่าได้คะแนนร้อยละ 88 การประเมินของผู้เชี่ยวชาญสื่อได้คะแนนร้อยละ 75 การประเมินของนักภาษาศาสตร์ได้คะแนนร้อยละ 86 การประเมินของครูผู้สอนได้คะแนนร้อยละ 95 และหลังจากนักเรียนได้ศึกษาผ่านสื่อที่พัฒนาขึ้นด้วยตนเองแล้ว มีผลลัพธ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้สูงกว่าเดิม โดยมีคะแนนเฉลี่ยสูงถึง 82 คะแนน แสดงให้เห็นว่าสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Unity

ในรูปแบบ E – Module ประกอบเนื้อหาในรายวิชาพลังงาน และการใช้ประโยชน์จากพลังงาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

2.10 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ผู้วิจัยได้ศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยได้มีการกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 2.23 กรอบแนวคิดการวิจัย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง “ การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ” มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย และ 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ซึ่งมีรูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 3.1 วิธีวิจัยและขั้นตอนในการวิจัย
- 3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

3.1 วิธีวิจัยและขั้นตอนในการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ระยะ มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การวิจัยระยะที่ 1 การศึกษารูปแบบของเกมจำลองและเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพื่อใช้ประกอบเกมสำหรับนักศึกษาหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบองค์ประกอบและรายละเอียดของรูปแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) ศึกษารูปแบบเกมจำลองการฝึกปฏิบัติแบบต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายให้มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและผู้ใช้งาน

- 3) ศึกษาทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้
- 4) วิเคราะห์ และสรุปสาระสำคัญ (Content Analysis) ของข้อมูลทฤษฎีทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า เพื่อนำมาออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 5) ร่างรูปแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 6) นำเสนอร่างรูปแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายให้แก่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้สอนที่มีความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหาาร่วมกันวิพากษ์ โดยการสนทนาเชิงกลุ่ม (Focus Group) เพื่อสอบถามความคิดเห็นและขอรับคำแนะนำเพิ่มเติมการพัฒนาเกมจำลองต่อไป
- 7) ปรับปรุงแก้ไขรูปแบบเกมให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จนสามารถรับรองรูปแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายเพื่อนำไปสร้างเครื่องมือวิจัยในระยะถัดไป

3.1.2 การวิจัยระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เป็นการนำรูปแบบเกมที่ผ่านการวิพากษ์และการรับรองจากอาจารย์ผู้สอนและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์มาสร้างเครื่องมือวิจัย และประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยให้มีความสมบูรณ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) สร้างแบบทดสอบประเภทเลือกตอบ (Multiple Choice) ชนิด 4 ตัวเลือกที่มีคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว จำนวน 40 ข้อ เพื่อใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนประกอบการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้อาจารย์ผู้สอนและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข
- 3) ตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบ (IOC) ค่าความยากง่าย (Difficulty: p) ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination: r) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ดังนี้

3.1) นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินตรวจสอบหาความสอดคล้องของแบบทดสอบ เพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความชัดเจนของคำถามในแบบทดสอบ โดยใช้เทคนิคการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์การเรียนรู้กับแบบทดสอบ (Index of Item-objective Congruence: IOC) ให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาโดยมีเกณฑ์ในการประเมินเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) กำหนดเป็น 3 ระดับ ดังนี้

- +1 หมายถึง แน่ใจว่า แบบทดสอบวัดตรงตามวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา
- 0 หมายถึง ไม่แนใจว่า แบบทดสอบวัดตรงตามวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

-1 หมายถึง แน่ใจว่า แบบทดสอบไม่ได้วัดตรงตามวัตถุประสงค์หรือตรงตามเนื้อหา

3.2) คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป จากการประเมินพบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ

3.3) ทดลองใช้แบบทดสอบ (Try Out) ครั้งที่ 1 กับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และหาค่าอำนาจจำแนก (r) ใช้วิธีการหาค่าอำนาจจำแนกแบบตรรกะให้คะแนนเทคนิคร้อยละ 50 กลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

ตารางที่ 3.1 กำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายของค่าความยากง่าย (p) และหาค่าอำนาจจำแนก (r) (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2544:184) ไว้ดังนี้

ค่าความยากง่าย (p)	ความหมาย	ค่าอำนาจจำแนก (r)	ความหมาย
0.80 – 1.00	ง่ายมาก	0.60 – 1.00	ดีมาก
0.60 - 0.79	ค่อนข้างง่าย	0.40 – 0.59	ดี
0.40 - 0.59	ปานกลาง	0.20 – 0.39	พอใช้
0.20 - 0.39	ค่อนข้างยาก	0.10 – 0.19	ค่อนข้างต่ำ ควรปรับปรุง
0.00 - 0.19	ยากมาก	0.00 – 0.09	ต่ำมาก ต้องปรับปรุง

ค่าความยากง่าย (p) ของแบบทดสอบที่เหมาะสมสำหรับดำเนินงานวิจัยควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.80 และควรมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (พิชิต ฤทธิ์จรูญ, 2556, หน้า 141)

3.4) ผู้วิจัยคัดเลือกแบบทดสอบจาก 40 ข้อ ให้เหลือจำนวน 20 ข้อ พิจารณาตามเกณฑ์ที่เหมาะสม พบว่า มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.63 – 0.75 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.25 – 0.63

3.5) นำแบบทดสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 20 ข้อ มาทดลองใช้ (Try Out) ครั้งที่ 2 กับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาความเชื่อมั่น (Reliability) ทั้งฉบับโดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder - Richardson กำหนดให้ค่าความเชื่อมั่นควรมีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป (Suwannarat, 2009) พบว่า ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ เท่ากับ 0.88

3.6) จัดทำแบบทดสอบฉบับสมบูรณ์เพื่อเตรียมนำไปใช้เก็บข้อมูลในระยะถัดไป

4) จัดทำเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายโดยผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Unity 3D เวอร์ชันฟรี แล้วนำให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้สอนตรวจสอบความ

เหมาะสมอีกครั้ง เพื่อรับฟังข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการนำข้อมูลไปปรับปรุงแก้ไขจนกระทั่งได้รับความเห็นชอบก่อนนำไปใช้จริง

5) ออกแบบและจัดทำแบบประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยร่างแบบประเมินความเหมาะสมของเกม ฯ แล้วจึงนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อพิจารณาความเหมาะสม

6) นำแบบประเมินความเหมาะสมของเกม ฯ ให้แก่ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Method) โดยขอความอนุเคราะห์ให้ทำการประเมินเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

7) วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลจากการประเมินความเหมาะสมของเกม ฯ โดยนำข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งสรุปข้อเสนอแนะ เพื่อนำไปปรับปรุงเกมให้มีคุณภาพและสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

8) ออกแบบและจัดทำแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยนำเสนอร่างแบบแบบวัดความพึงพอใจของเกม ฯ แล้วจึงนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อีกครั้งเพื่อขอรับความเห็นชอบก่อนนำไปใช้งานจริง จะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

- ส่วนที่ 1: รายการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเล่นเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

- ส่วนที่ 2: ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

กำหนดเกณฑ์ประเมินค่าความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มี 5 ระดับ (Likert) โดยถือเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจเป็นคะแนน ดังนี้

คะแนน	5	มีค่าเท่ากับ	ความพึงพอใจมากที่สุด
คะแนน	4	มีค่าเท่ากับ	ความพึงพอใจมาก
คะแนน	3	มีค่าเท่ากับ	ความพึงพอใจปานกลาง
คะแนน	2	มีค่าเท่ากับ	ความพึงพอใจน้อย
คะแนน	1	มีค่าเท่ากับ	ความพึงพอใจน้อยที่สุด

กำหนดเกณฑ์การประเมินค่าความพึงพอใจเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มี 5 ระดับ ใช้เกณฑ์ของ บุญชม ศรีสะอาด (2560) ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง	4.51 – 5.00	หมายถึง	พึงพอใจมากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง	3.51 – 4.50	หมายถึง	พึงพอใจมาก

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง	2.51 – 3.50	หมายถึง	พึงพอใจปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง	1.51 – 2.50	หมายถึง	พึงพอใจน้อย
คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง	1.00 – 1.50	หมายถึง	พึงพอใจน้อยที่สุด

3.1.3 การวิจัยระยะที่ 3 การทดลองและศึกษาผลลัพธ์ของการใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย มีรายละเอียดดังนี้

1) นำเกมที่พัฒนาขึ้นทดลองกับผู้ใช้ครั้งที่ 1 เพื่อสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับเกม ฯ ในลักษณะทดลองใช้งานเบื้องต้น (Try Out) กับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน และเก็บข้อมูลจากการสังเกตและสอบถาม เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขเกมจำลอง ครั้งที่ 1 แล้วนำให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบอีกครั้ง

2) ทดลองกับผู้ใช้ครั้งที่ 2 (User Evaluation) เพื่อสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับเกม ฯ ทำการทดลองกับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน ที่ไม่ใช่ นักศึกษาคนเดิมจากการทดลองครั้งที่ 1 และเก็บข้อมูลจากการสังเกต และสอบถาม เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไข ครั้งที่ 2 แล้วนำให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบอีกครั้ง กระทั่งได้รับความเห็นชอบให้สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยได้

3) ทดลองกับผู้ใช้ครั้งที่ 3 โดยทำการทดลองกับนักศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ได้กำหนดไว้จำนวนทั้งสิ้น 38 คน ใช้ระยะเวลา 4 สัปดาห์ ดำเนินการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยคำนวณค่าประสิทธิภาพของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ตามเกณฑ์การหาประสิทธิภาพ $E1/E2 = 80/80$ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2520) โดยที่

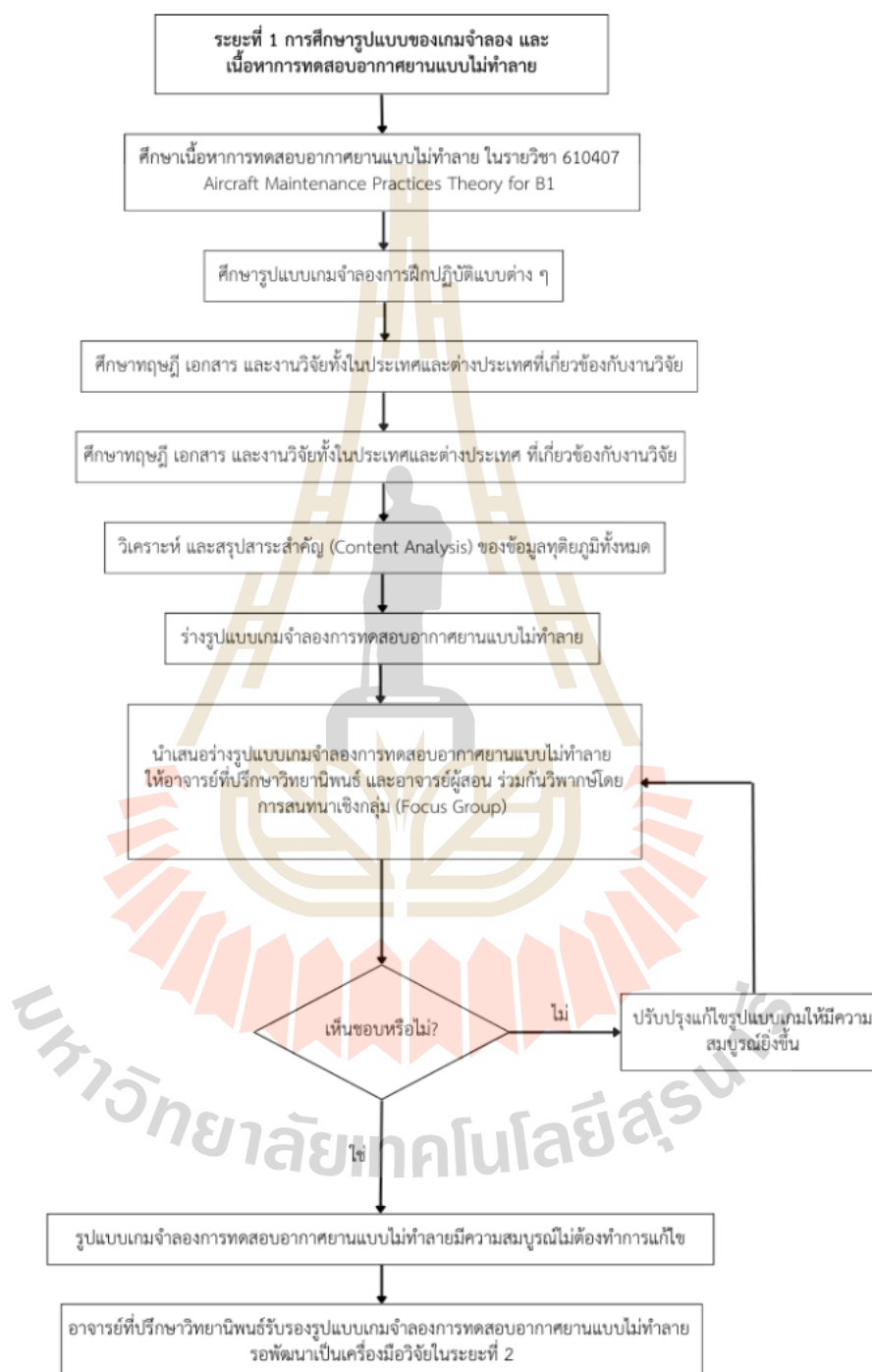
E1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการที่เกิดจากการฝึกปฏิบัติระหว่างเรียนด้วยเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

E2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินหลังเรียนเสร็จ ได้แก่ คะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียน

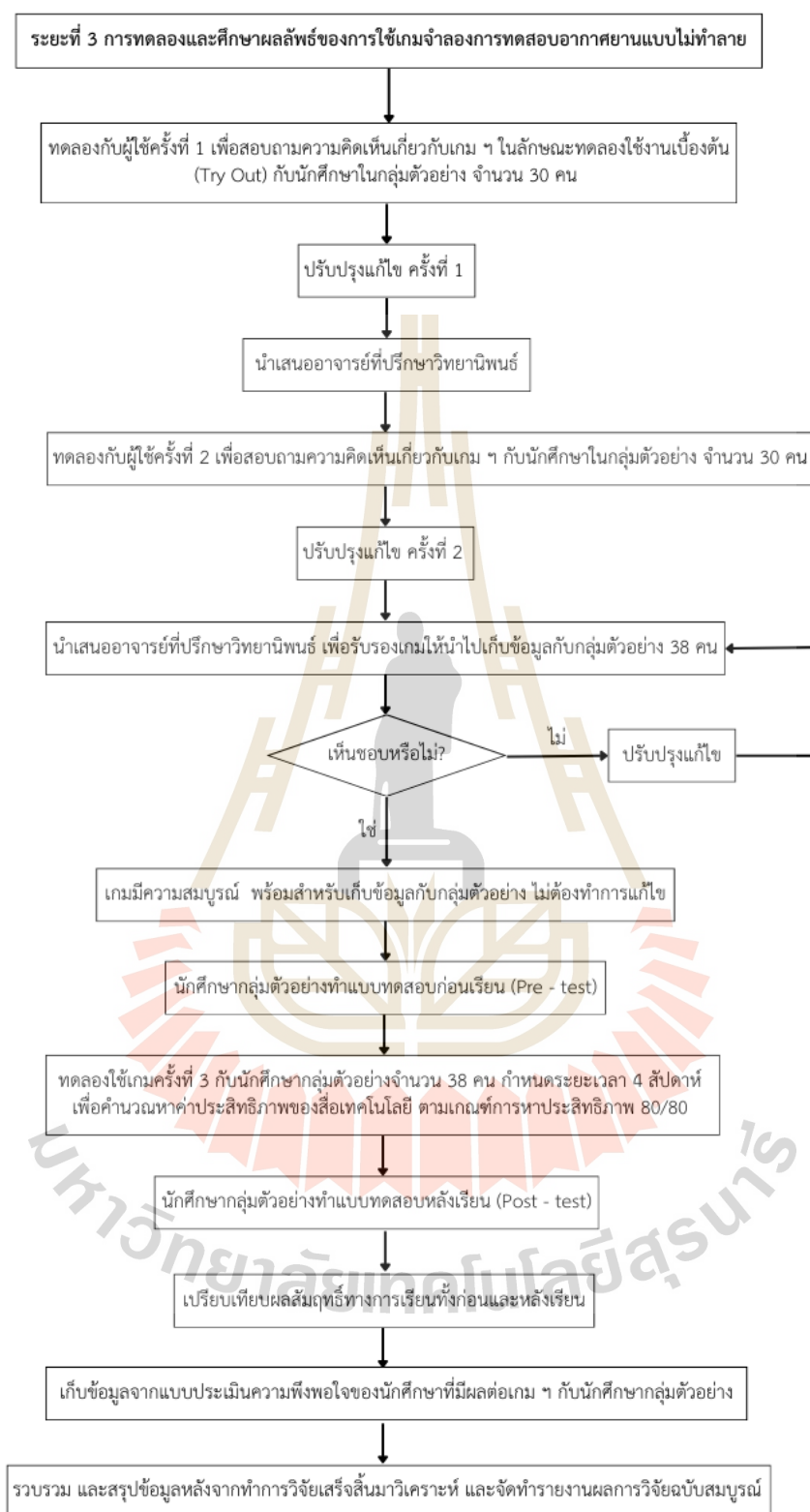
4) นำแบบทดสอบฉบับสมบูรณ์เก็บข้อมูลกับนักศึกษากลุ่มอย่างจำนวน 38 คน หลังจากการใช้เกมจำลอง ฯ ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งก่อนและหลังเรียนมาวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์

5) ทำการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกม ฯ กับนักศึกษากลุ่มทดลองทั้ง 38 คน เพื่อนำมาวิเคราะห์ และสรุปข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกม ฯ มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งสรุปข้อเสนอแนะ

จากวิธีวิจัยที่แบ่งออกเป็น 3 ระยะข้างต้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.1 ภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 ระยะที่ 1 การศึกษารูปแบบของเกมจำลอง และเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย



ภาพที่ 3.3 ระยะที่ 3 การทดลองและศึกษาผลลัพธ์ของการใช้เกมจำลอง
การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สถาบันการบินพลเรือน ทุกชั้นปี ประจำปีการศึกษา 2566 จำนวน 112 คน

3.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลองในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบน์ สถาบันการบินพลเรือน ชั้นปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2566 ที่ลงทะเบียนรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างจำเป็นต้องลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดังกล่าว มีจำนวนทั้งสิ้น 38 คน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 3) แบบประเมินความเหมาะสมของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 4) แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ผู้วิจัยชี้แจงการจัดการสอนโดยใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย พร้อมทั้งอธิบายกระบวนการดำเนินงานวิจัย และวัตถุประสงค์ให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทราบ จากนั้นดำเนินการวิจัยตามแผนงานที่กำหนดไว้
- 2) กำหนดให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 38 คน ทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre - test) ด้วยเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านระบบเครือข่าย จำนวน 20 ข้อ เป็นเวลา 30 นาที แล้วบันทึกผลคะแนนก่อนเรียน
- 3) ให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างศึกษาผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายด้วยตนเอง ทั้งในและนอกชั่วโมงเรียนตามความสะดวก เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์
- 4) เมื่อศึกษาครบตามระยะเวลาที่กำหนด ให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post - test) เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านระบบเครือข่าย โดยใช้ข้อคำถามชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน แต่มีการสลับข้อคำถามและคำตอบ เป็นเวลา 30 นาที แล้วบันทึกผลคะแนนหลังเรียน

- 5) ผู้วิจัยรวบรวมผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบทั้งก่อนและหลังเรียน แล้ววิเคราะห์หาค่าทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน
- 6) ให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ผ่านระบบออนไลน์แล้วบันทึกผล
- 7) ผู้วิจัยรวบรวมผลข้อมูลจากแบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกม ฯ มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ
- 8) ผู้วิจัยดำเนินการสรุปผลข้อมูลทั้งหมด และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ ผู้ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- 1) วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย (Mean) ร้อยละ (Percentage) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
- 2) วิเคราะห์หาค่าคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item-objective Congruence) (Difficulty: p) ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination: r) และ ค่าความเชื่อมั่น (Reliability)
- 3) วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ t-test แบบ Paired Samples
- 4) วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.6 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยได้กำหนดสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - 1.1) ค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC (Index of Item-objective Congruence) ระหว่างวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากสูตร (Riviovelli and Hambleton, 1997)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ	IOC	หมายถึง	ค่าดัชนีความสอดคล้อง
	ΣR	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ
	N	หมายถึง	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

1.2) ค่าความยากง่ายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน(กระทรวงศึกษาธิการ, 2550:242) ใช้สูตรดังนี้

$$P = \frac{R}{N}$$

เมื่อ	P	หมายถึง	ค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ
	R	หมายถึง	จำนวนนักศึกษาที่ตอบข้อคำถามในข้อนั้นถูก
	N	หมายถึง	จำนวนนักศึกษาทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบ

1.3) ค่าอำนาจจำแนกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ล้วน สายยศ, 2543) ใช้สูตรดังนี้

$$r = \frac{R_u - R_L}{N/2}$$

เมื่อ	r	หมายถึง	ค่าอำนาจจำแนก
	R_u	หมายถึง	จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ตอบถูกในกลุ่มเก่ง
	R_L	หมายถึง	จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ตอบถูกในกลุ่มอ่อน
	N	หมายถึง	จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

1.4) ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร KR-20ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) ใช้สูตรดังนี้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540:123)

$$R_{KR-20} = \frac{k}{k-1} \left\{ 1 - \frac{\Sigma qp}{S^2} \right\}$$

เมื่อ	R_{KR-20}	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ
	k	หมายถึง	จำนวนข้อคำถามของแบบทดสอบ
	p	หมายถึง	สัดส่วนของนักศึกษาที่ตอบถูกในแต่ละข้อ
	q	หมายถึง	สัดส่วนของนักศึกษาที่ตอบผิดในแต่ละข้อ $(1 - p)$
	S^2	หมายถึง	ความแปรปรวนของคะแนนรวมแบบทดสอบทั้งฉบับ

2) สถิติในการหาประสิทธิภาพและค่าดัชนีประสิทธิผลของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

2.1) ค่าประสิทธิภาพของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (E_1/E_2) โดยใช้สูตรดังนี้ (เสาวนีย์ สิกขบัณฑิต, 2528: 291-292)

$$E_1 = \frac{(\sum X/N)}{A} \times 100$$

$$E_2 = \frac{(\sum F/N)}{B} \times 100$$

เมื่อ	E_1	หมายถึง	ประสิทธิภาพของกระบวนการที่เกิดจากการฝึกปฏิบัติระหว่างเรียนด้วยเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
	E_2	หมายถึง	ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินหลังเรียนเสร็จ ได้แก่ แบบทดสอบหลังเรียน
	$\sum X$	หมายถึง	คะแนนรวมของนักศึกษาจากการทำกิจกรรมระหว่างเรียนด้วยเกม ฯ
	$\sum F$	หมายถึง	คะแนนรวมของนักศึกษาจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน เมื่อเรียนจบ
	N	หมายถึง	จำนวนนักศึกษาทั้งหมด
	A	หมายถึง	คะแนนเต็มของการทำกิจกรรมระหว่างเรียนด้วยเกม ฯ
	B	หมายถึง	คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

3) สถิติที่ใช้ในการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของคะแนนการทดสอบก่อนและหลังเรียน โดยใช้สถิติพื้นฐาน ดังนี้

3.1) ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตรดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2535: 99-102)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ	$\bar{X}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ย
	X	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
	n	หมายถึง	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

- 3.2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สูตรดังนี้
(บุญธรรม กิจปรีดา บริสุทธิ์, 2537: 121)

$$S. D. = \frac{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}{n - 1}$$

เมื่อ	$S. D.$	หมายถึง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X_i	หมายถึง	ข้อมูลแต่ละจำนวน
	$\bar{X}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
	n	หมายถึง	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

- 3.3) ความแปรปรวน (Variance) ใช้สูตรดังนี้ (สุมาลี จันทรชลอ, 2542 : 135-142)

$$S^2 = \frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N - 1)}$$

เมื่อ	S^2	หมายถึง	ความแปรปรวนของข้อสอบทั้งฉบับ
	x	หมายถึง	คะแนนจากการทำแบบทดสอบ
	N	หมายถึง	จำนวนของนักศึกษาที่ทำแบบทดสอบทั้งหมด

- 3.4) ค่าร้อยละ (Percent) ใช้สูตรดังนี้ (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2537: 65)

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ	P	หมายถึง	ร้อยละ
	f	หมายถึง	ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ
	N	หมายถึง	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.5) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของคะแนนก่อนและหลังเรียน ด้วย t-test แบบ Paired Samples ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

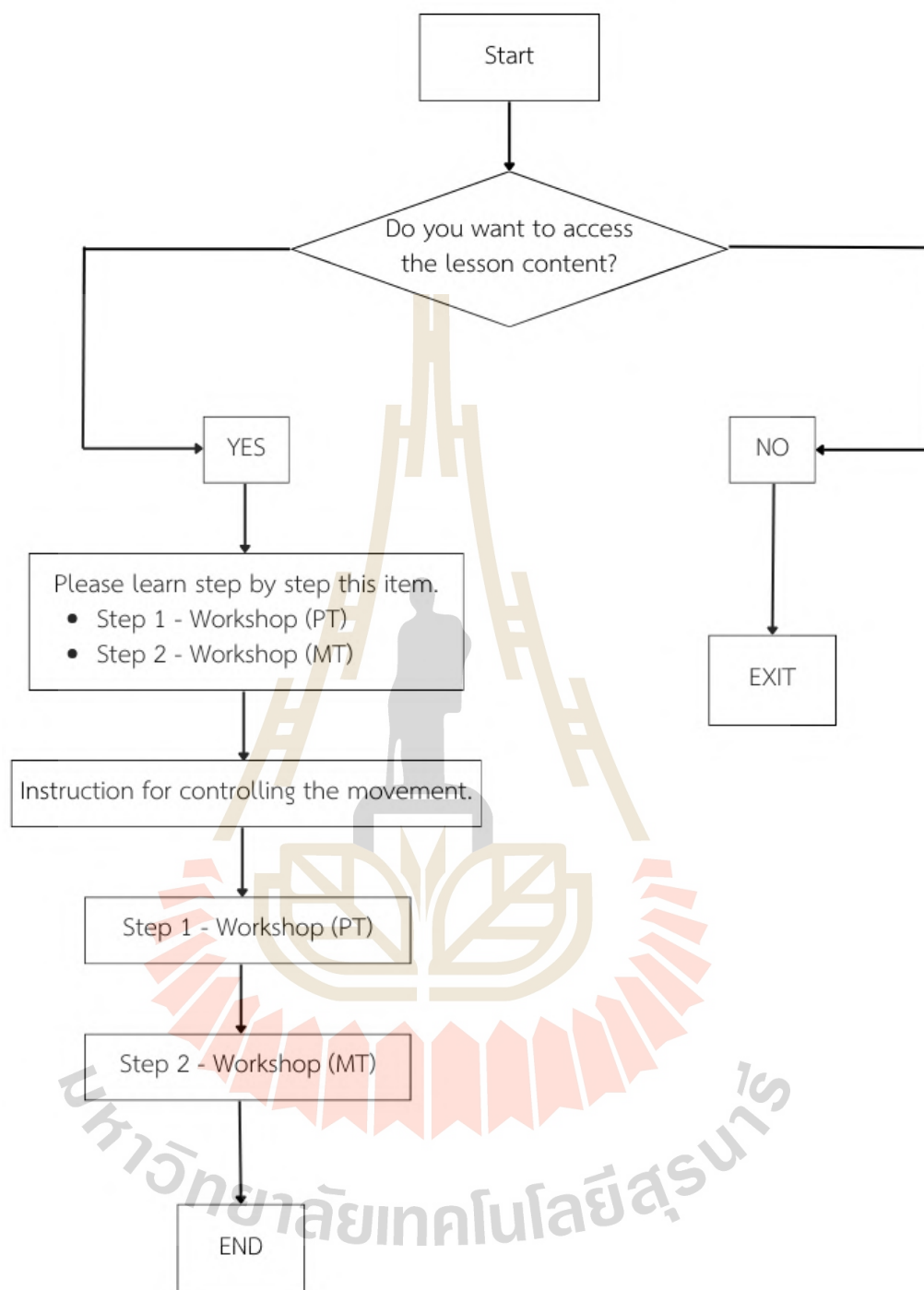
ผลการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย” ซึ่งเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

4.1 รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

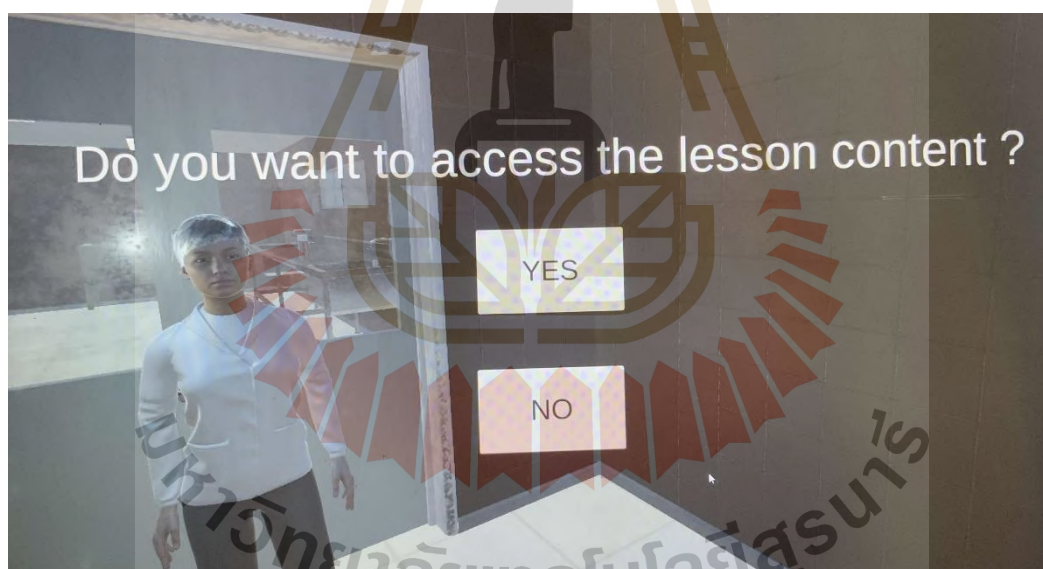
จากการศึกษาค้นคว้าหลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปสาระสำคัญและทำการวิเคราะห์ เพื่อร่างเป็นรูปแบบของเกม แล้วนำเสนออาจารย์ผู้สอนที่มีความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหาโดยตรง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีทำการวิพากษ์ด้วยวิธีสนทนากลุ่ม (Focus group) จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะจากการวิพากษ์มาปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของเกม เพื่อให้เกมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำรูปแบบของเกมผ่านการแก้ไขให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง จนกระทั่งได้รับความเห็นชอบรูปแบบเกมที่ใช้สร้างเป็นเครื่องมือวิจัย ดังภาพประกอบต่อไป



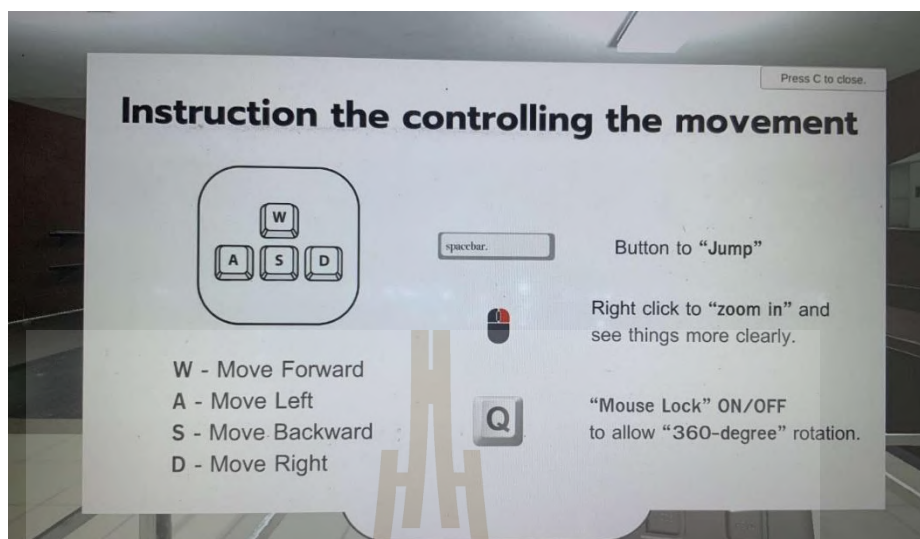
รูปที่ 4.1 กระบวนการทำงานของเกม



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าสู่เกม



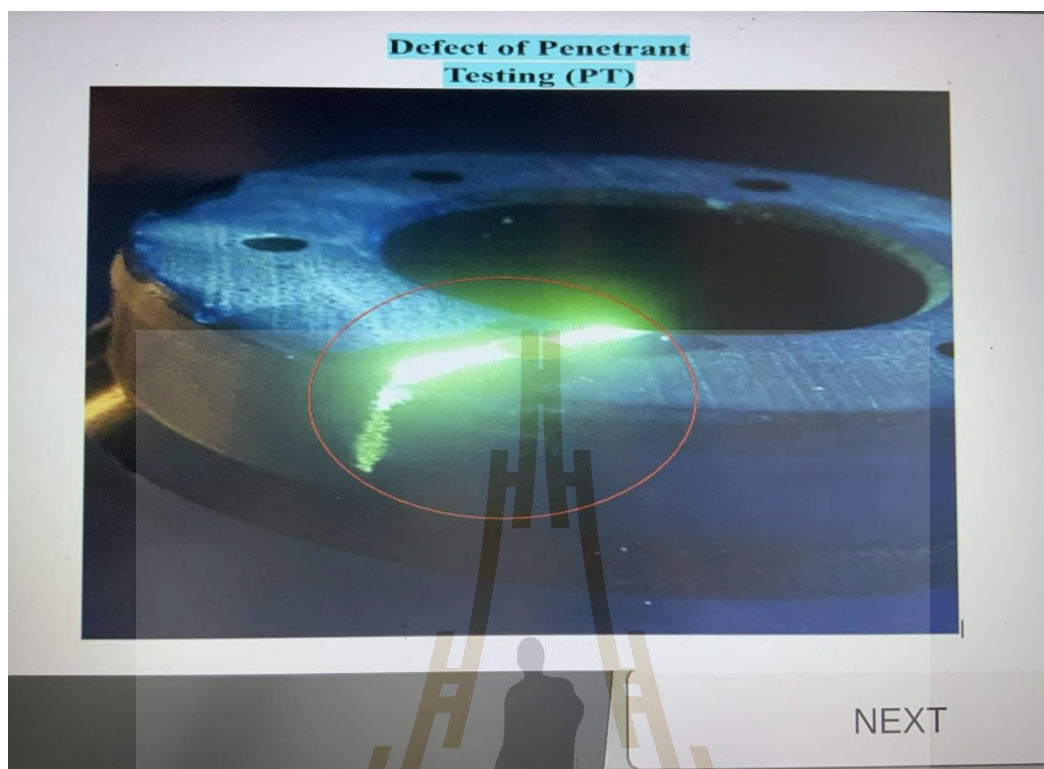
รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอเลือกความต้องการเรียน



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจออธิบายวิธีการเคลื่อนที่ของเกม



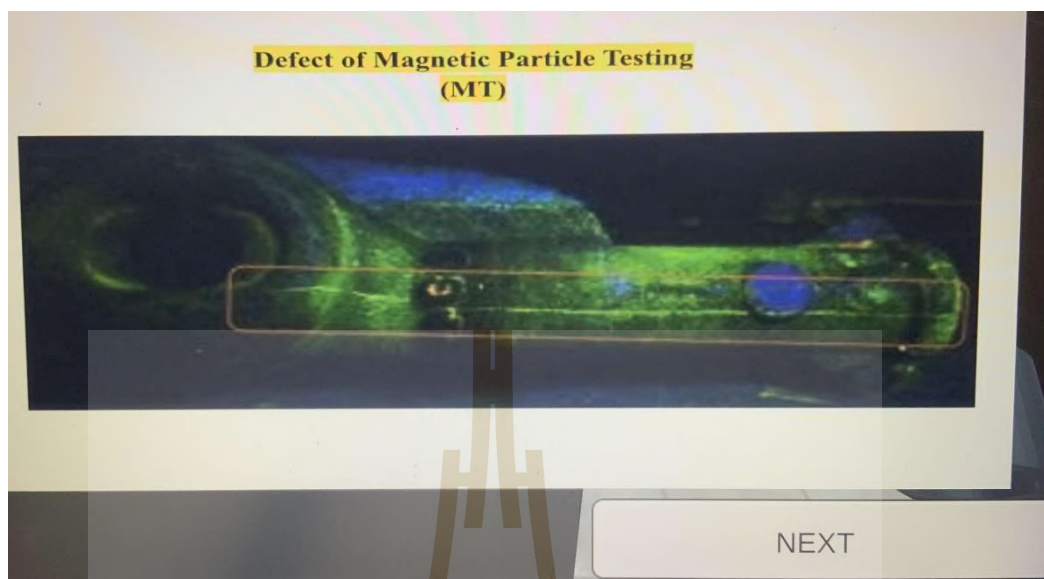
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเล่นเกมที่ Step 1 - Workshop (PT)



รูปที่ 4.6 แสดงผลการตรวจหารอยร้าวของ Step 1 - Workshop (PT)



รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการเล่นเกมของ Step 2 - Workshop (MT)



รูปที่ 4.8 แสดงผลการตรวจหารอยร้าวของ Step 2 - Workshop (MT)

จากการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพและประสิทธิภาพของเกมก่อนนำไปเก็บข้อมูลวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลจากสอบถามความคิดเห็นจากการทดลองใช้กับนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ผลการประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายจากผู้เชี่ยวชาญ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการสอบถามความคิดเห็นของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ครั้งที่ 1

ข้อบกพร่อง	การแก้ไขของผู้วิจัย
1. ไม่มีการอธิบายวิธีการควบคุมเกม	1. เพิ่มการอธิบายวิธีการควบคุมเกม
2. สีเส้นตัวอักษรประกอบเกมดูฉูดฉาดเกินไป	2. เปลี่ยนสีตัวอักษรประกอบเกมให้มีความเหมาะสม สบายตา
3. ภาพผลการทดลองประกอบเกมมีขนาดเล็กเกินไป	3. ปรับขนาดภาพผลการทดลองประกอบเกมให้ใหญ่ขึ้นจากเดิม
4. หน้าจอเกม เคลื่อนไหวได้จำกัดทิศทาง	4. ปรับหน้าจอเกมให้สามารถเคลื่อนไหวได้มุม 360 องศา

จากตารางที่ 4.1 ผลการสอบถามความคิดเห็นของนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ของเกมที่พัฒนาขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 แล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบอีกครั้ง

ตารางที่ 4.2 ผลการสอบถามความคิดเห็นของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ครั้งที่ 2

ข้อบกพร่อง	การแก้ไขของผู้วิจัย
1. ขั้นตอนการทดลองยังไม่เป็นระเบียบ	1. ปรับแก้ขั้นตอนการทดลองให้มีระเบียบเหมาะสม
2. ไม่มีตัวช่วย (ไฟกะพริบ) ชี้นำอุปกรณ์ทดลองภายในการเล่นเกม	2. เพิ่มตัวช่วย (ไฟกะพริบ) ชี้นำอุปกรณ์ทดลองภายในการเล่นเกม
3. การเลื่อนที่ของเกมยังไม่เสถียร	3. แก้ไขให้เกมสามารถเคลื่อนที่ได้เสถียรราบรื่นมากขึ้น

จากตารางที่ 4.2 ผลการสอบถามความคิดเห็นของนักศึกษาที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน ใหม่ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ของเกมที่พัฒนาขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 แล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบอีกครั้ง จนกระทั่งสามารถรับรองเกมนี้นำไปใช้เก็บข้อมูลการวิจัยต่อไป

ตารางที่ 4.3 ผลประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ระดับความเหมาะสม
	($\bar{x}$)	S.D.	
1. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงข้อมูลภายในเกม	4.67	0.47	มากที่สุด
2. ความถูกต้องของการจัดลำดับข้อมูลภายในเกม	4.67	0.47	มากที่สุด
3. การอธิบายข้อความบรรยายเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน	4.67	0.47	มากที่สุด
4. ความสอดคล้องของการอธิบายขั้นตอนและการฝึกปฏิบัติภายในเกม	4.67	0.47	มากที่สุด
5. ตัวอักษรมีความชัดเจน เข้าใจง่าย	4.33	0.47	มาก

ตารางที่ 4.3 ผลประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ระดับความเหมาะสม
	($\bar{x}$)	S.D.	
6. ความเหมาะสมในการควบคุมการเล่นเกม	4.67	0.47	มากที่สุด
7. ความเหมาะสมของระยะเวลาในการเล่นเกม	4.33	0.47	มาก
8. ความเหมาะสมของขนาดภาพที่ใช้ประกอบเกม	5.00	0.00	มากที่สุด
9. สัญลักษณ์ภายในเกมสื่อความหมายเข้าใจง่าย และมีสีสันที่เหมาะสม	4.67	0.47	มากที่สุด
10. ความเหมาะสมของสีสันโดยรวม	4.67	0.47	มากที่สุด
ผลรวม	4.63	0.42	มากที่สุด

จากตารางที่ 4.3 ผลประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับความเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.63 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42 เมื่อประเมินผลในแต่ละข้อพบว่า ในเรื่องความเหมาะสมของขนาดภาพที่ใช้ประกอบเกม มีผลการประเมินอยู่ในระดับความเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด อยู่ที่ 5.00 ส่วนรองลงมานั้นเป็นความเหมาะสมของการเชื่อมโยงข้อมูลภายในเกม การจัดลำดับภายในเกม ลักษณะข้อความการอธิบายขั้นตอน สัญลักษณ์ภายในเกม และสีสันของเกม ซึ่งมีผลการประเมินอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุดเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.67 และลำดับสุดท้ายเป็นความเหมาะสมของตัวอักษรรวมถึงระยะเวลาในการเล่นเกม ซึ่งมีผลการประเมินอยู่ในระดับเหมาะสมมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.33 ตามลำดับ

4.2 รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

จากการดำเนินการพัฒนาโปรแกรมเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย รวมถึงการนำไปทดลองกับกลุ่มทดลองในการปรับปรุงเพื่อให้คุณภาพและประสิทธิภาพของโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมห้ทดลองไปใช้กับกลุ่มทดลองจริง จำนวน 38 คน โดยมีผลการทดลองการใช้โปรแกรม รวมถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจของเกมจำลองฯ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

คะแนน ผลทดสอบ	N	คะแนน เต็ม	$(\bar{x})$	S.D.	การทดสอบค่า t (t-test)	df	P
ก่อนเรียน	38	20	8.11	3.17	*31.74	37	.000
หลังเรียน	38	20	16.63	1.96			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักศึกษาที่เรียนด้วยเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 8.11 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.17 และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 16.63 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.96 ค่า t จากตาราง (เมื่อ $df = 37$, $\alpha = .05$) เท่ากับ 0.026 ค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ 31.74 มีค่ามากกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่า นักศึกษามีความก้าวหน้าของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สอนด้วยเกม หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 4.5 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

หัวข้อ	ผลการประเมิน		
	$(\bar{x})$	S.D.	ระดับความ พึงพอใจ
การออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย			
1. รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีมีความเหมาะสม	4.18	0.88	มาก
2. สัญลักษณ์แสดงวัตถุประกอบเกมมีความเหมาะสม และสื่อความหมายเข้าใจง่าย	4.32	0.69	มาก
3. ข้อมูลประกอบเกมมีความเหมาะสม ครบถ้วน และเข้าใจง่าย	4.24	0.87	มาก

ตารางที่ 4.5 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (ต่อ)

หัวข้อ	ผลการประเมิน		
	($\bar{x}$)	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
การออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย			
4. ภาพแสดงผลลัพท์การฝึกปฏิบัติประกอบเกมมีขนาดเหมาะสม และสอดคล้องกับกิจกรรม	4.34	0.77	มาก
5. ภาพรวมของการออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายมีความเหมาะสม	4.21	0.80	มาก
ผลรวม	4.26	0.80	มาก
การประมวลผลและการแสดงผล			
1. การประมวลผลการฝึกปฏิบัติตามแต่ละขั้นตอนมีความเหมาะสม	4.16	0.90	มาก
2. การแสดงผลจากการฝึกปฏิบัติตามแต่ละขั้นตอนสามารถเข้าใจได้ง่าย	4.21	0.86	มาก
3. การแสดงผลลัพท์จากการฝึกปฏิบัติมีความเหมาะสม	4.29	0.79	มาก
4. รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีในการแสดงผลข้อความบรรยายมีความเหมาะสม	4.26	0.75	มาก
ผลรวม	4.23	0.83	มาก
ภาพรวมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย			
1. การดำเนินขั้นตอนภายในเกมสามารถทำได้อย่างเป็นระบบ	4.18	0.88	มาก
2. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายมีความสะดวกในการเรียนรู้ และใช้งานง่าย	4.21	0.77	มาก
3. เนื้อหาที่นำมาสร้างเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายถูกต้องและเข้าใจง่าย	4.16	0.84	มาก

ตารางที่ 4.5 ผลประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย (ต่อ)

หัวข้อ	ผลการประเมิน		
	($\bar{x}$)	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ภาพรวมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย			
4. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายช่วยให้ผู้เล่นมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงานจริงได้รวดเร็วขึ้น	4.29	0.72	มาก
5. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายช่วยอำนวยความสะดวกในการฝึกปฏิบัติการทดลองได้ก่อนการลงมือจริง	4.37	0.67	มาก
ผลรวม	4.24	0.78	มาก

จากตารางที่ 4.5 สรุปได้ว่า ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย พบว่า ด้านการออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.26 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.80 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก โดยหัวข้อเกี่ยวกับขนาดและความเหมาะสมของภาพแสดงผลการทำงานของเกม มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุดอยู่ที่ 4.34 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.77 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก รองลงมาจะเป็นหัวข้อเกี่ยวกับความเหมาะสมและเข้าใจง่ายของสัญลักษณ์แสดงวัตถุประกอบเกม มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.32 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.69

ด้านการประมวลผลและการแสดงผล มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.23 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.83 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีหัวข้อเกี่ยวกับการแสดงผลภาพจากการทำงานของเกม มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุดอยู่ที่ 4.29 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก รองลงมาจะเป็นหัวข้อเกี่ยวกับรูปแบบของตัวอักษร ขนาดและสีในการแสดงผลข้อความบรรยาย มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.26 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.75

ด้านภาพรวมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.24 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.78 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก ซึ่งหัวข้อ

เกี่ยวกับเกม ฯ ช่วยอำนวยความสะดวกในการฝึกปฏิบัติการทดลองได้ก่อนการลงมือจริง มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุดอยู่ที่ 4.37 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.67 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก รองลงมาจะเป็นหัวข้อเกี่ยวกับเกม ฯ ช่วยให้ผู้เล่นมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงานจริงได้รวดเร็วขึ้น มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.29 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.72

ดังนั้น นักศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ได้ทดลองใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายประกอบการสอน ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 38 คน มีความพึงพอใจในเกมที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีค่าความพึงพอใจโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 4.24 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.80



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย” มีรูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยไว้ 2 ประการ คือ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย และ 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย กำหนดกระบวนการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ประกอบด้วย ระยะที่ 1 การศึกษารูปแบบของเกมจำลองและเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพื่อใช้ประกอบเกมสำหรับนักศึกษาหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยมีกลุ่มตัวอย่างในระยะที่ 2 คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี ซึ่งผู้วิจัยทำการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 3 ท่าน และ ระยะที่ 3 การทดลองและศึกษาผลลัพธ์ของการใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาเนื้อหาในรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 ของหลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน โดยมีหัวข้อที่ทำการศึกษาคือ การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สถาบันการบินพลเรือน ทุกชั้นปี ประจำปีการศึกษา 2566 จำนวน 112 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาระดับอนุปริญญา หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบน์ สถาบันการบินพลเรือน ชั้นปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2566 ที่ลงทะเบียนรายวิชา 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างจำเป็นต้องลงทะเบียนเรียนในรายวิชาดังกล่าว มีจำนวนทั้งสิ้น 38 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- 1) เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ
- 3) แบบประเมินความเหมาะสมของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย
- 4) แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

การเก็บรวบรวมข้อมูลได้กำหนดให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้น 38 คน ทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre - test) เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านระบบเครือข่าย แล้วบันทึกผลคะแนนก่อนเรียน และจัดการเรียนการสอนโดยใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ใช้ระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยนักศึกษาสามารถเรียนรู้ด้วยตนเองทั้งในและนอกชั่วโมงเรียนตามความสะดวก เมื่อศึกษาครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post - test) โดยใช้ข้อคำถามชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน แต่มีการสลับข้อคำถามและคำตอบแล้วบันทึกผลคะแนนหลังเรียน และเมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนการสอนได้กำหนดให้ทำแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย โดยใช้เกณฑ์การเมินค่าความพึงพอใจเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มี 5 ระดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความเหมาะสมของเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย และแบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย วิเคราะห์ผลโดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ส่วนข้อมูลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ใช้วิธีการทดสอบด้วย t-test แบบ Paired Samples ที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากโปรแกรมสำเร็จรูป

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) ผลประเมินความเหมาะสมของเกมโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี จำนวนทั้งสิ้น 3 ท่าน พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 4.63 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42

2) ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อน และหลังจากการเรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย พบว่านักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 8.11 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 16.63 คะแนน แสดงว่านักศึกษามีความก้าวหน้าของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สอนด้วยเกมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย พบว่าภาพรวมนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 38 คน มีความพึงพอใจในเกมที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.24 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.80

5.2 อภิปรายผล

ผลที่ได้จากการพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ผู้วิจัยได้ค้นพบของ เกมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกับความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาการทดสอบอากาศยานแบบไม่ ทำลาย เช่น อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน คู่มือ และกระบวนการทดสอบอากาศยานแบบไม่ ทำลาย โดยเกมมีการออกแบบให้สอดคล้องกับทฤษฎีสร้างแรงจูงใจของมาโลน (Malone's Theory of Intrinsically Motivating Instruction) ซึ่งประกอบด้วยแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) ที่มาจากสื่อการเรียนรู้ ประกอบด้วย ปัจจัย 4 ประการหลัก ได้แก่ 1) ความท้าทาย (Challenge) หมายถึง การที่ผู้เรียนได้เผชิญกับภารกิจที่ไม่ยากเกินไปหรือยากเกินไป สามารถใช้ความพยายามใน การพิชิตภารกิจที่ท้าทายเพื่อเป้าหมายได้สำเร็จ 2) ความอยากรู้อยากเห็น (Curiosity) หมายถึง สื่อ สามารถกระตุ้นความรู้สึกรักของผู้เรียนผ่านการมองเห็นให้ค้นหาคำตอบ หรือเมื่อผู้เรียนทำภารกิจสำเร็จ ไปได้ในแต่ละขั้นตอน และมีความต้องการที่จะเล่นขั้นตอนถัดไปอีก 3) การได้ควบคุมหรือมีอิสระ (Control) หมายถึง ผู้เรียนสามารถควบคุมทิศทางการบังคับเกมได้เองโดยใช้เมาส์เป็นอุปกรณ์ควบคุม และเห็นผลที่เกิดขึ้นจากการป้อนคำสั่งผ่านการคลิกจากหน้าจอได้โดยทันที 4) จินตนาการ (Fantasy) หมายถึง ผู้เรียนสามารถสร้างจินตนาการจำลองว่าตนเองกำลังปฏิบัติกรทดสอบอากาศยานแบบไม่ ทำลาย มีชิ้นส่วนของอากาศยานที่จำลองมาให้ผู้เรียนเลือกใช้ทดสอบ พร้อมกับอุปกรณ์เครื่องมือ ภายในห้องจำลองปฏิบัติการที่มีสีสันใกล้เคียงกับความเป็นจริง

หลังจากที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายด้วยตนเอง แล้วนั้น ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า นักศึกษามี ความก้าวหน้าของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สอนด้วยเกมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้แบบผสมผสานเนื้อหากับการทำงานจริง (Blending Content and Context) ของ Bersin (2004) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้ผ่านสถานการณ์ จำลอง (Simulations) หรือการนำเนื้อหาไปปรับใช้ในบริบทที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริง สามารถสร้างผลลัพธ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังสอดคล้องกับ อภิญา นวล ทอง (2563), พัทธา จันทร์สว่าง (2561) และ (รัตนภรณ์ ศรีพรหม, 2562) ที่กล่าวถึงประโยชน์ของ การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) ว่ามีส่วนช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดย การใช้สื่อและเทคโนโลยีช่วยให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาที่มีความซับซ้อนได้ภายใน ช่วงเวลาอันสั้นและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ สามารถเรียนรู้ได้ในเวลาที่สะดวกและสามารถ ทบทวนเนื้อหาซ้ำได้ตลอดเวลา และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุ น้อยอุดม (2563) ได้พัฒนาเกม จำลองสถานการณ์เสมือนจริงการฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock โดยใช้เป็นเครื่องมือ ประกอบการเรียนการสอนเพื่อช่วยฝึกฝนทักษะการฉีดยาให้แก่นักศึกษาพยาบาล ให้สามารถทบทวน ความรู้และทักษะการฉีดยาที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน พบว่าภายหลังจากที่นักศึกษาพยาบาลได้เรียน

โดยใช้เกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริงการฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock แล้วมีคะแนนเฉลี่ยทักษะการปฏิบัติการฉีดยาสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าเกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริงการฉีดยาเข้าทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock ที่พัฒนาขึ้นนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักศึกษาพยาบาลสามารถใช้ทบทวนความรู้ในการปฏิบัติงานได้จริง ประกอบกับงานวิจัยของ อภิสิทธิ์ ศรีวรรณ (2565) ที่ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยานพื้นฐานสำหรับใช้ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพื่อการทดสอบสมรรถนะนักศึกษาผ่านโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน โดยแบ่งเป็นการจำลองพื้นฐาน 2 ประเภท คือ ตรวจสอบอากาศยาน (Aircraft inspection) และการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance) มีขั้นตอนการปฏิบัติผ่านโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุง ซึ่งจำลองมาจากการทำงานในภาคพื้นดิน ผลการวิจัยพบว่าหลังจากเรียนรู้ผ่านโปรแกรมจำนวน 90 % ผ่านการทดสอบ อีก 10 % ไม่ผ่านการทดสอบ ซึ่งเกิดจากความซับซ้อนด้านเทคนิคของอุปกรณ์ที่ไม่คุ้นชิน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudi Dul Aji (2023) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Unity Engine Based E – Module to increase learning result from online learning โดยพัฒนาสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Unity ในรูปแบบ E – Module ประกอบเนื้อหาในรายวิชาพลังงาน พบว่า หลังจากนักเรียนได้ศึกษาผ่านสื่อที่พัฒนาขึ้นด้วยตนเองแล้ว มีผลลัพธ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้สูงกว่าเดิม โดยมีคะแนนเฉลี่ยสูงถึง 82 คะแนน แสดงให้เห็นว่าสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Unity ในรูปแบบ E – Module ประกอบเนื้อหาในรายวิชาพลังงานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อีกทั้งผลจากการพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ยังพบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย จากนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 38 คน มีความพึงพอใจในเกมที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.24 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.80 หมายความว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ผ่านเกมที่พัฒนาขึ้น สอดคล้องกับ March Prensky (2001); Clark Aidrich (2005) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลสมองของมนุษย์และการมีส่วนร่วมในห้องเรียน โดยสรุปไว้ว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจกับการเรียนรู้ผ่านเกมเพื่อการเรียนรู้ เนื่องจากเป็นรูปแบบที่สามารถตอบโต้ภัยการเรียนรู้ของคนทุกวัยได้ รวมถึงมีการออกแบบสื่อให้มีความน่าสนใจสามารถจำลองสถานการณ์ได้เสมือนจริง (Simulator) ทำให้ผู้เรียนสามารถทำภารกิจต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริง นำเอาข้อมูลที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเล่นเกม และมีจุดเด่นในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากการปฏิบัติงานจริง สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1) ด้านนโยบาย

หน่วยงานด้านการซ่อมบำรุงอากาศยานซึ่งเป็นหน่วยงานที่ปฏิบัติหน้าที่ซ่อมบำรุงอากาศยานซึ่งรวมถึงการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ควรมีการฝึกอบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ และมีการประเมินผลและรับรองสมรรถนะ โดยใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายเป็นเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้และทักษะการตัดสินใจของผู้เรียน จัดทำเกณฑ์การประเมินสมรรถนะที่เชื่อมโยงกับมาตรฐานสากล เช่น EASA, FAA หรือ ICAO เป็นต้น

2) ด้านวิชาการ

สถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องด้านการซ่อมบำรุงอากาศยานซึ่งรวมถึงการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ควรมีการบูรณาการใช้นวัตกรรมการศึกษาเป็นเครื่องมือเสริมการสอนเชิงทฤษฎี เพื่อช่วยให้นักศึกษาเข้าใจหลักการก่อนลงมือปฏิบัติจริง และยังช่วยให้สามารถเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนได้ง่ายมากขึ้น ส่งเสริมทักษะความรู้และความเพียรพยายาม และสนับสนุนการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-directed Learning) ให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงเกมผ่านระบบออนไลน์ ส่งเสริมให้นักศึกษาฝึกทักษะการปฏิบัติได้ด้วยตนเองนอกเวลาเรียน เพื่อเพิ่มโอกาสการเรียนรู้แบบต่อเนื่องและยืดหยุ่น รวมถึงส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมองค์ความรู้ใหม่ ๆ นวัตกรรมรวมทั้งเทคโนโลยีซึ่งถูกพัฒนาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้บุคคลเหล่านี้มีความรู้ที่ทันสมัยสอดคล้องกับกระบวนการปฏิบัติงานที่ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง

3) ด้านการปฏิบัติการ

ผู้บริหารหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการซ่อมบำรุงอากาศยาน การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ควรให้ความสำคัญกับการจัดฝึกอบรมบุคลากรเพื่อเพิ่มพูนความรู้ โดยประยุกต์ใช้เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายในการอบรมพนักงานใหม่ เพื่อสร้างความเข้าใจพื้นฐานในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ก่อนเข้าสู่การฝึกปฏิบัติจริง อีกทั้งยังใช้เป็นสื่อทบทวนความรู้ (refresher training) สำหรับบุคลากรที่ปฏิบัติงานแล้ว เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความมั่นใจในการปฏิบัติงาน

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ในการวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะให้มีการพัฒนาเกมจากโปรแกรมอื่น ๆ เนื่องจากเทคโนโลยีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตอบสนองต่อการเรียนการสอนในสภาวะปัจจุบันขณะนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม และควรมีการพัฒนาเกมให้สามารถรองรับการ

เล่นในทุกอุปกรณ์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานผ่านทาง Application ทั้งใน Tablet และ Smart phone เป็นต้น เนื่องจากผู้ใช้งานบางท่านส่วนใหญ่มีการใช้ Tablet หรือ Smart phone ในชีวิตประจำวัน มากกว่าการพกพาเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัว

5.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1) เนื่องจากข้อมูลในการทำวิจัยเป็นข้อมูลที่เกิดจากการผนวกกันระหว่างรายละเอียดของเกมซึ่งมาจากการฝึกปฏิบัติจนเกิดการตกผลึกเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบสร้างสรรค์เกม และเนื้อหาภาคทฤษฎีที่เป็นตำราภาษาอังกฤษทั้งหมด ประกอบกับระยะเวลาการทำวิจัยเชิงทดลองที่มีอย่างจำกัด ทำให้มีความจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะเนื้อหาบางข้อมูลที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับเกมไปใช้งาน ซึ่งทำให้ไม่สามารถใส่ข้อมูลได้ทั้งหมดตามที่ต้องการได้
- 2) เนื้อหาที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะเนื้อหาเกี่ยวกับการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย เพียง 2 หัวข้อ คือ การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายด้วยสารแทรกซึมและการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายด้วยอนุภาคแม่เหล็ก เท่านั้น
- 3) การเข้าใช้งานเกมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นต้องทำผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จึงควรระวังเรื่องการเชื่อมต่อสัญญาณเน็ตหรือระบบอินเทอร์เน็ตขัดข้อง ซึ่งส่งผลต่อการใช้งานเล่นเกมของผู้เรียนได้ไม่เสถียร ควรเตรียมความพร้อมเพื่อหาเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานได้รวดเร็วและรองรับการเข้าใช้งานของผู้เรียนจำนวนมาก ๆ ได้พร้อมกัน

รายการอ้างอิง

- กรมสุขภาพจิต กรมสาธารณสุข. (2564). รายงานงานประจำปีกรมสุขภาพจิต ปีงบประมาณ 2564. สืบค้นจาก https://dmh.go.th/report/dmh/rpt_year/dl.asp?id=462
- กุหลาบ สีหาพงศ์. (2550). การเปรียบเทียบความรู้สึกเชิงจำนวน ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง การบวกและการลบ จำนวนนับที่มีผลลัพธ์และตัวตั้งไม่เกิน 100 ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เทคนิค STAD กับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามปกติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาการวิจัยการศึกษา หลักสูตรและการเรียนการสอน). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ชญานิษฐ์ ขวัญชูช. (2564). การจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมจำลองสถานการณ์ (Simulation gaming): Tropical Paradise วิชาการบริหารและการจัดการท่องเที่ยว 1. DeSec-Journal Articles, 105-109. สืบค้นจาก <https://ir.swu.ac.th/jspui/handle/123456789/27931>
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2520). ระบบสื่อการสอน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทิตนา แคมมณี. (2566). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 26). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุรชัย ศิริมหาสาคร. (2545). แผนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง. กรุงเทพฯ: บุ๊คพอยท์.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: บริษัท สุวีริยาสาส์น จำกัด.
- ปรัชญนันท์ นิลสุข, และปณิตา วรรณพิรุณ. (2556). การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน: สัดส่วนการผสมผสาน. วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา, 25(85), 31-36. สืบค้นจาก <https://www.academia.edu/4370946>
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2530). การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.
- พิชิต ฤทธิ์จรูญ. (2556). หลักการวัดและประเมินผลทางการศึกษา. (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: บริษัท เอ้าส์ ออฟ เคอร์มิสท์ จำกัด.
- ไพโรจน์ คะเชนทร์. (2556). การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน. สืบค้นจาก <http://www.wattoongpel.com>
- ภูวเดช สันธนาภิรมย์. (2560). อยากสร้างเกมเป็น ทำยังไงดี? (พื้นฐาน Unity3D ฉบับมือใหม่ #2). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2566, จาก <https://medium.com/blogs-unity3d>
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2567). ข้อดี - ข้อเสีย ของ Unity 3D. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม, 2566, จาก <https://www.psu.ac.th/>

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- มลาวัลย์ นกหงส์. (2552). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง โจทย์ปัญหาทศนิยม กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและการจัดการเรียนรู้ตามคู่มือครู สสวท. (วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, เลย.
- วิจารณ์ พานิช. (2555). วิธีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท ตาटा พับลิเคชั่น จำกัด.
- ล้วน สายยศ, และอังคณา สายยศ. (2543). เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สุวีริยา สาสน์.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2544). ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริวรรณ เียระยงค์. (2547). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาภาษาไทย เรื่องการเขียนสะกดคำยากของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการสอนโดยใช้เกมและการสอนตามคู่มือครู. (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการนิเทศ). สืบค้นจาก doi:10.14457/SU.the.2004.200
- สกุล สุขศิริ. (2550). ผลสัมฤทธิ์ของสื่อการเรียนรู้แบบ Game Based Learning. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพัฒนาศาสตร์มนุษยศาสตร์ สาขาการพัฒนาศาสตร์มนุษยศาสตร์และองค์การ). สืบค้นจาก <http://library1.nida.ac.th/termpaper5/hrd/2550/19311.pdf>
- สถาบันการบินพลเรือน กองวิชาช่างอากาศยาน. หลักสูตรนายช่างภาคพื้นดิน สาขาวิชาช่างเครื่องบิน วิชาเอกเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ (AMEL (Aeroplane Mechanic – B1.1,B1.2)). สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม, 2566, จาก <https://www.catc.or.th/th/curriculum/amel-b1/>
- สมาคมฟิสิกส์ไทย. (2020). น้ำกับความสมดุลของแรงแคปิลารี. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม, 2566, จาก <http://www.thaiphysoc.org/article/252/>
- สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย. (2568). รายงานสภาวะอุตสาหกรรมการบินของไทยประจำปี 2567. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม, 2566, จาก <https://www.caator.th/th/archives/97700>
- สุคนธ์ สินธพานนท์ และคณะ. (2545). การจัดกระบวนการเรียนรู้ : เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.
- สุวิทย์ มูลคำ, และอรรถัย มูลคำ. (2552). 19 วิธีจัดการเรียนรู้ : เพื่อพัฒนาความรู้และทักษะ. (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

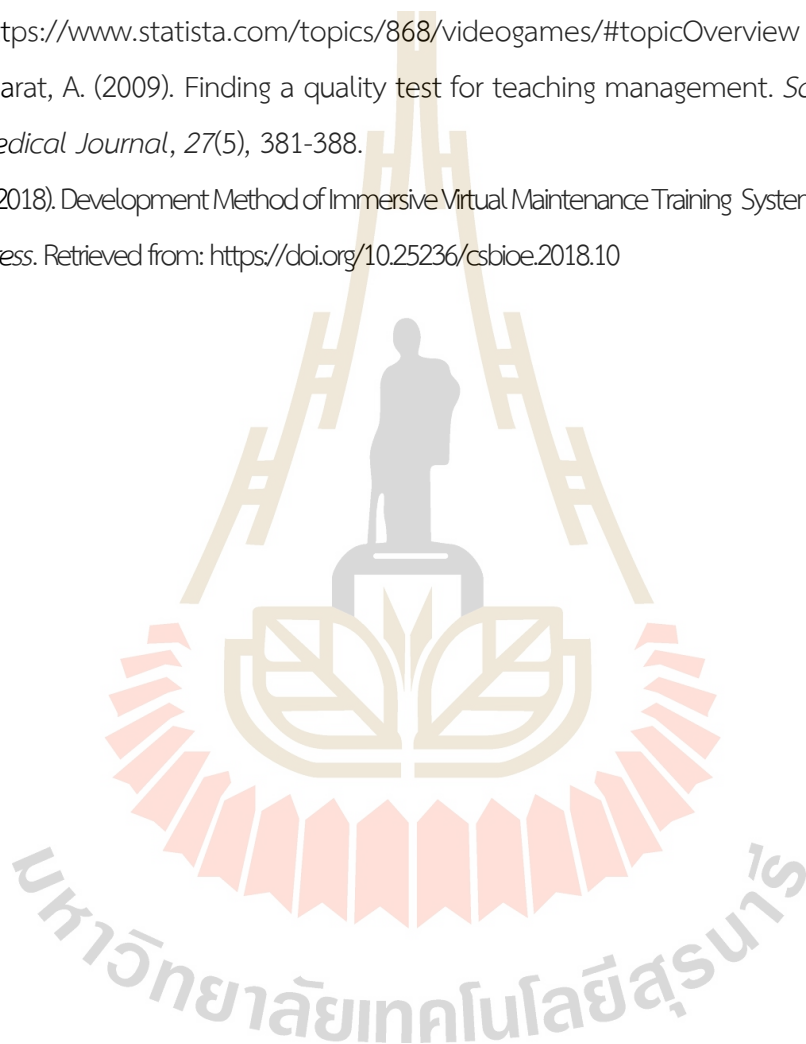
- อึ้งน น้อยอุดม, และปิยาณี ณ นคร. (2563). ผลของเกมจำลองสถานการณ์เสมือนจริงต่อทักษะการปฏิบัติหัตถการของนักศึกษาพยาบาล เรื่องการฉีดยาทางหลอดเลือดดำผ่าน NSS Lock. วารสารพยาบาลทหารบก, 21(1). สืบค้นจาก <https://he01.tcithaijo.org/index.php/JRTAN/article/download/241604/164316/>
- อภิสิทธิ์ ศรีวรรณ, พนิดา เศรษฐนันท์, และรัชพงศ์ ทองโอฟาร. (2565). การทดสอบสมรรถนะนักศึกษาผ่านโปรแกรมจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน (รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการด้านการบินระดับชาติ ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สถาบันการบินพลเรือน.
- อาษา ประทีปเสน. (2554). การทดสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อมและงานวิจัย *Non-Destructive Testing in Welds and Researches* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกพันธ์ นามสมบูรณ์, และพิทักษ์ ตีกสุอินทร์. (2562). เกม *FantasyWorld* (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์). สืบค้นจาก https://ms.udru.ac.th/bc/assets/project_uploads/20201230103719.pdf
- Aji, S. D. (2023). Unity-engine-based e-module to increase learning results from online learning. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 15(4), 5886–5892. Retrieved from: <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i4.4590>
- Allen, I. E., & Seaman, J. (2005). *Growing by Degrees: Online education in the United States*. Retrieved from: <https://www.bayviewanalytics.com/reports/growing-by-degrees-southern.pdf>
- Allen, I. E., & Seaman, J. (2019). *Learning on demand: Online education in the United States*. Retrieved from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED529931.pdf>
- American Society for Nondestructive Testing, Inc. (ASNT). (2012). *Nondestructive Testing Handbook, Vol. 10: Overview* (3rd ed.). American Society for Nondestructive Testing, Inc. (ASNT).
- Birecka, A. J. (2021). *Mobile platform game created with Unity*. (Bachelor's thesis, Faculty of Computer Science). Retrieved from: https://www.iipwr.edu.pl/~kopel/inz/2021.01_inz_Birecka.pdf
- Bloom, B. S. (1982). *Human characteristics and school learning*. Retrieved from: <https://dokumen.pub/qdownload/human-characteristics-and-school-learning-0070061173-007006122x.html>
- Boeing. (2024). *Pilot and Technician Outlook 2024-2043* Retrieved from: <https://www.boeing.com/commercial/market/pilot-technician-outlook>
- Carman, J. M. (2006). *Blended learning design: Five key ingredients*. Retrieved from: <http://www.agilantlearning.com/pdf/Blended%20Learning%20Design.pdf>

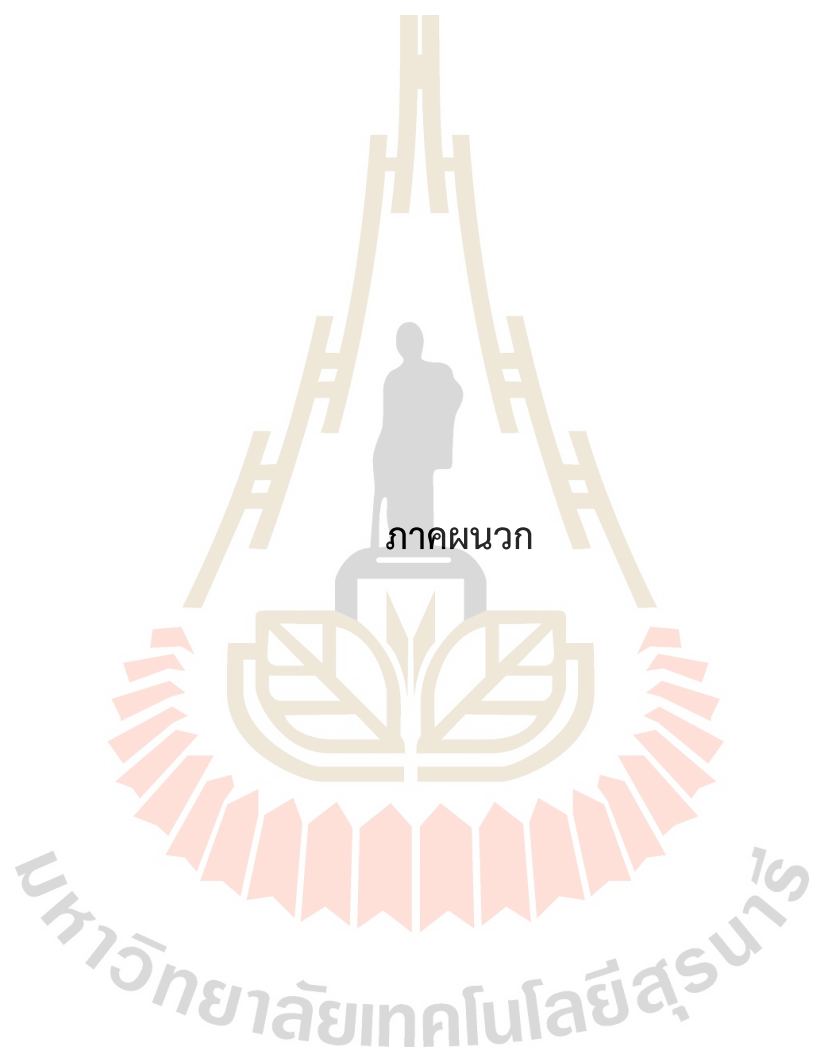
รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Cruz, E. C. C., & Ruiz, J. G. (2015). Designing and implementing a video game to assist teaching-learning process of numerical expressions. *Education Journal*, 4(5), 201-206. Retrieved from: <https://doi.org/10.11648/j.edu.20150405.13>
- Good, C. V. (1973). *Dictionary of Education* (3rd ed). New York: McGraw-Hill Book Inc.
- Graham, C. R. (2006). Blended learning systems: Definition, current trends, and Future directions. In C. J. Bonk & C. R. Graham (Eds.), *Handbook of blended learning: Global perspectives, local designs* (pp. 3-21). Zurich, Switzerland: Pfeiffer Publishing.
- Hom, B. M., & Staker, H. (2011). *The Rise of K-12 Blended Learning*. *Social Innovations Journal*, (6). Retrieved from: <https://socialinnovationsjournal.com/index.php/sij/article/view/7985>
- Hung, C.-M., Huang, I., & Hwang, G.-J. (2014). Effects of digital game-based learning on students' self-efficacy, motivation, anxiety, and achievements in learning mathematics. *Journal of Computers in Education*, 1(2-3), 151-166. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40692-014-0008-8>
- Kolb, D.A. (1984). *Experiential Learning Experience as the Source of Learning And Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Retrieved from: <http://academicregisdu.edu/ed205/Kolb.pdf>
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 5-55. Retrieved from: https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf
- Malone, T. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 4, 333-369. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/S03640213\(81\)80017-1](https://doi.org/10.1016/S03640213(81)80017-1)
- Mix, P. E. (2005). *Introduction to nondestructive testing: A training guide* (2nd ed). Canada: John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-584692-6f05449135.pdf>
- Moore, H. D. (1981). *Materials and Processes for NDT Technology* (2nd ed). Retrieved from: https://19945903.s21i.faiusr.com/61/ABUIABA9GAAgw_DZtwYo0uK08QI.pdf
- Prenkys, M. (2001). Digital natives, digital immigrants: Part 2. Do they really think differently? *On the Horizon*, 9(6), 1-6. Retrieved from: <https://doi.org/10.1108/10748120110424843>

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Singh, H., & Reed, C. (2001). *A Write Paper: Achieving Success with Blended Learning*. Los Angeles: Centra Software. Retrieved from: <https://www.docin.com/p-1815130868.html>
- Statista. (2024). *Video game industry*. Retrieved Nov 12, 2024, from <https://www.statista.com/topics/868/videogames/#topicOverview>
- Suwannarat, A. (2009). Finding a quality test for teaching management. *Songklanagarind Medical Journal*, 27(5), 381-388.
- Yang, Z. (2018). Development Method of Immersive Virtual Maintenance Training System. *Francis Academic Press*. Retrieved from: <https://doi.org/10.25236/csbioe.2018.10>





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย”

1. **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตย์ตันย์ ธาจารย์ตันสุวรรณ**
ตำแหน่ง ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
2. **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกรรณ์ ปะพาน**
ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายบริหารและแผนฯ คณะศึกษาศาสตร์
ภาควิชาสาขาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
3. **ดร.อภิภู สิทธิภูมิมงคล**
ตำแหน่ง รองผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีการศึกษาและพันธกิจพิเศษ
มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



**แบบประเมินความเหมาะสมของเกมจำลอง
การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย**

ผู้วิจัย : นางสาวยุธิดา ชายปรี

นักศึกษานิเทศศาสตร์ สาขาวิชา การจัดการการบิน หลักสูตร การจัดการมหัศจรรย์

สถาบันการบินพลเรือน

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร. คงศักดิ์ ชมชุม

ดร. วราภรณ์ เต็มแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คำชี้แจง

แบบประเมินนี้ใช้สำหรับประเมินความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยาน
แบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แบบประเมินความเหมาะสมของเกมจำลอง

การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

(ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยี)

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความเหมาะสมที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน
ตามระดับความเหมาะสม ดังนี้

- | | | |
|---|------------------|------------|
| 5 | ระดับความเหมาะสม | มากที่สุด |
| 4 | ระดับความเหมาะสม | มาก |
| 3 | ระดับความเหมาะสม | ปานกลาง |
| 2 | ระดับความเหมาะสม | น้อย |
| 1 | ระดับความเหมาะสม | น้อยที่สุด |

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	1	2	3	4	5
1. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงข้อมูลภายในเกม					
2. ความถูกต้องของการจัดลำดับข้อมูลภายในเกม					
3. การอธิบายข้อความบรรยายเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน					
4. ความสอดคล้องของการอธิบายขั้นตอนและการฝึกปฏิบัติภายในเกม					
5. ตัวอักษรมีความชัดเจน เข้าใจง่าย					
6. ความเหมาะสมในการควบคุมการเล่นเกม					
7. ความเหมาะสมของระยะเวลาในการเล่นเกม					
8. ความเหมาะสมของขนาดภาพที่ใช้ประกอบเกม					
9. สัญลักษณ์ภายในเกมสื่อความหมายเข้าใจง่าย และมีสีสันทันที่เหมาะสม					
10. ความเหมาะสมของสีสันโดยรวม					

ส่วนที่ 2 : ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเหมาะสมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบ
ไม่ทำลาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของท่านผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สละเวลาแสดง
ความคิดเห็นและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่...../...../.....

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



**แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลอง
การทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย**

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความพึงพอใจซึ่งตรงกับความคิดเห็นของท่าน ดังนี้

- | | | |
|---|------------------|------------|
| 5 | ระดับความพึงพอใจ | มากที่สุด |
| 4 | ระดับความพึงพอใจ | มาก |
| 3 | ระดับความพึงพอใจ | ปานกลาง |
| 2 | ระดับความพึงพอใจ | น้อย |
| 1 | ระดับความพึงพอใจ | น้อยที่สุด |

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	1	2	3	4	5
การออกแบบเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย					
1. รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีมีความเหมาะสม					
2. สัญลักษณ์แสดงวัตถุประกอบเกมมีความเหมาะสม และสื่อความหมายเข้าใจง่าย					
3. ข้อมูลประกอบเกมมีความเหมาะสม ครบถ้วน และเข้าใจง่าย					
4. ภาพแสดงผลการฝึกปฏิบัติประกอบเกมมีขนาดเหมาะสม และสอดคล้องกับกิจกรรม					
5. ภาพรวมของการออกแบบเกมการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ด้วยสารแทรกซึม และอนุภาคแม่เหล็ก ฯ มีความเหมาะสม					
การประมวลผลและการแสดงผล					
1. การประมวลผลการฝึกปฏิบัติตามแต่ละขั้นตอนมีความเหมาะสม					
2. การแสดงผลจากการฝึกปฏิบัติตามแต่ละขั้นตอนสามารถเข้าใจได้ง่าย					
3. การแสดงผลภาพผลลัพธ์จากการฝึกปฏิบัติมีความเหมาะสม					

4. รูปแบบของตัวอักษร ขนาด และสีในการแสดงผลข้อความบรรยายมีความเหมาะสม					
ภาพรวมของเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย					
1. การดำเนินขั้นตอนภายในเกมสามารถทำได้อย่างเป็นระบบ					
2. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย มีความสะดวกในการเรียนรู้ และใช้งานง่าย					
3. เนื้อหาที่นำมาสร้างเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย ถูกต้องและเข้าใจง่าย					
4. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายช่วยให้ผู้เล่นมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงานจริงได้รวดเร็วขึ้น					
5. เกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลายช่วยอำนวยความสะดวกในการฝึกปฏิบัติการทดลองได้ก่อนการลงมือจริง					

ส่วนที่ 2 : ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีผลต่อเกมจำลองการทดสอบอากาศยานแบบไม่ทำลาย

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของท่านผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เวลาแสดงความคิดเห็นและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่...../...../.....



SUBJECT : 610407 Aircraft Maintenance Practices Theory for B1 (PT & MT)

TIME : 30 Minute

EVALUATION : The score must have 80%

Instruction : There are 20 questions (multiple choices). The students answer optional questions and answers in order to determine their level of understanding. Students must pretest before to learning by game and after learning by game completely you must posttest. The testing presents randomised questions from a pool of possible questions. To pass, the student must score 80% or better. At the end of the test, the student and his or her manager may review the exam at the question level to make the exam correctable to 100%

1. Liquid penetrant testing is based on the principle of:

- (a) Polarized sound waves in a liquid
- (b) Magnetic domains
- (c) Absorption of X-rays
- (d) Capillary action

2. A penetrant that is self-emulsifying is called:

- (a) Solvent removable
- (b) Water washable
- (c) Post-emulsified
- (d) Dual sensitivity method

3. Which of the following discontinuity types could typically be found with a liquid penetrant test?

- (a) Internal slag in a weld
- (b) Internal slag in a casting
- (c) Sensitization in austenitic stainless steel
- (d) Fatigue cracks

4. Which of the following penetrants contains an emulsifying agent?

- (a) Solvent removable
- (b) Water washable
- (c) Post emulsifiable
- (d) Fluorescent

5. Acceptable methods of penetrant application are:

- (a) Spraying
- (b) Dipping
- (c) Brushing
- (d) All of the above

6. The time period during which penetrant remains on the surface of the test piece is called:

- (a) Dwell time
- (b) Soaking time
- (c) Fixing time
- (d) Development time

7. A developer aids penetrant bleed out because of:

- (a) Adequate removal of the excess penetrant
- (b) Providing a contrasting background for visible dye indications
- (c) Capillary action
- (d) Proper emulsifier action

8. The colour of fluorescent penetrant under the presence of a UV light is:

- (a) Yellow-green
- (b) Red
- (c) Blue
- (d) Green

9. The temperature of water rinse used in the water washable penetrant process should be:

- (a) 60 to 110 °C
- (b) 40 to 100 °C
- (c) 16 to 43 °C
- (d) 70 to 140 °C

10. Application of penetrant to a test piece may be by:

- (a) Dipping, brushing or spraying
- (b) Spraying only
- (c) Brushing or spraying only
- (d) Dipping or spraying only

11. Which of the following is not an advantage of magnetic particle testing?
- (a) Fast and simple to perform
 - (b) Can detect discontinuities filled with foreign material
 - (c) Most reliable for finding surface cracks in all types of material
 - (d) Works well through a thin coat of paint
12. Which of the following does not represent a limitation of magnetic particle testing?
- (a) The type of materials which may be effectively tested
 - (b) The directionality of the magnetic field
 - (c) The need for demagnetization
 - (d) The ability to detect discontinuities filled with foreign material
13. Which of the following are ferromagnetic materials?
- (a) Aluminium, iron, copper
 - (b) Iron, copper, nickel
 - (c) Copper, aluminium, silver
 - (d) Iron, cobalt, nickel
14. A leakage field is strongest when a discontinuity interrupts the magnetic flux lines at an angle of:
- (a) Zero degrees
 - (b) 45 degrees
 - (c) 90 degrees
 - (d) 180 degrees

15. The important difference between AC and DC current for magnetic particle testing purposes is:

- (a) The skin effect caused by DC adds mobility to the magnetic particles
- (b) The resulting AC magnetic fields are more difficult to demagnetize
- (c) The DC magnetic fields are more penetrating
- (d) The AC magnetic fields are stronger

16. Which of the following particles would be most sensitive?

- (a) Wet
- (b) Dry
- (c) Depends on the test piece permeability
- (d) None of the above

17. Dyes which receive light at one wavelength and re-emit light of another wavelength are called:

- (a) L.E.Ds
- (b) Phosphorescent
- (c) Luminescent
- (d) Fluorescent

18. The type of discontinuity which magnetic particle testing most effectively locates is:

- (a) Slag inclusions
- (b) Magnetic writing
- (c) Porosity
- (d) Surface cracks

19. The type of current that is best suited to detect surface discontinuities is:

- (a) DC
- (b) AC
- (c) Pulsating DC
- (d) Half wave

20. Fluorescent magnetic particle indications should be inspected under

- (a) Fluorescent light
- (b) Any light
- (c) Black light
- (d) Neon light

ประวัติผู้จัดทำวิทยานิพนธ์

นักศึกษา	นางสาวยุธิดา ชายปรุ รหัสนักศึกษา 6513200140
สาขาวิชา	การจัดการการบิน
วัน-เดือน-ปีเกิด	19 พฤษภาคม 2542
จังหวัดที่เกิด	นครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

