

การพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีผสมผสานความจริงโลกเสมือนเพื่อการศึกษาลายสือไทย

ฟาริดา วิรุฬผล*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันเทคโนโลยีผสมผสานความจริงโลกเสมือน (Augmented Reality) เพื่อศึกษาอักษรลายสือไทยให้เข้าถึงได้ง่ายขึ้น การประเมินคุณภาพของสื่อนั้นใช้แบบสอบถามและคะแนนการทดสอบความถูกต้องในการจับคู่ตัวอักษรลายสือไทยกับตัวอักษรไทย ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยนั้นเริ่มจากการพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบด้วยโปรแกรม Unity และ Vuforia แล้วจึงออกแบบสอบถามซึ่งได้ให้ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 คนตรวจสอบดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ได้ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 0.67-1.00 แล้วจึงทำการสุ่มประชากรตัวอย่างแบบง่าย ได้กลุ่มผู้ร่วมวิจัยจำนวน 20 คน อายุระหว่าง 18-25 ปี แบ่งกลุ่มแรกใช้วิธีการฝึกคัดลายมือแบบปกติในการเรียน ส่วนกลุ่มที่ 2 ใช้การคัดลายมือและแอปพลิเคชันเสริมการเรียนรู้ ผลการวิจัยพบว่าแบบสอบถามมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก โดยด้านระบบการนำทางที่ดีอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.01, S.D. = 0.42$) ด้านการสื่อสารที่ดีอยู่ในเกณฑ์มาก ($\bar{x} = 4.13, S.D. = 0.39$) ด้านความคล่องตัวและควบคุมง่ายอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ($\bar{x} = 4.36, S.D. = 0.37$) ด้านมีเสถียรภาพและมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์มาก ($\bar{x} = 4.17, S.D. = 0.40$) ด้านความสามารถจดจำรูปแบบได้ง่ายอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ($\bar{x} = 4.31, S.D. = 0.38$) ด้านความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด ($\bar{x} = 4.22, S.D. = 0.42$) และด้านความสวยงามอยู่ในเกณฑ์มาก ($\bar{x} = 4.05, S.D. = 0.47$) ส่วนการเปรียบเทียบคะแนนการจับคู่ตัวอักษรนั้นซึ่งใช้การวิเคราะห์แบบ Independent – Sample t – test พบว่าระดับนัยสำคัญของคะแนนสองกลุ่มมีความสำคัญ ($t = -2.506, p < 0.05$) ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์คือนำแอปพลิเคชัน ที่ได้ไปใช้ในการเรียนการสอนลายสือไทยต่อไป

คำสำคัญ : ลายสือไทย, เทคโนโลยีผสมผสานความจริงโลกเสมือน, แอปพลิเคชัน

* อาจารย์ประจำ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Corresponding author, email: farida.vi@ssru.ac.th, Tel. 02-160-1366 ext.201

Received : June 1, 2019; Revised : August 16, 2019; Accepted : September 10, 2019

The Development of Augmented Reality Application for Studying Lai Sue Thai

Farida Virunhaphol*

Abstract

This research aimed to develop an augmented reality application to promote Lai Sue Thai letters learning. The evaluations of the application were a questionnaire and a matching test of Lai Sue Thai letters and Thai characters. The research procedure began with the development of the prototype application using Unity and Vuforia programs. Next, the questionnaire was examined by 3 experts using the content validity index. The average value was between 0.67-1.00. Then 20 participants were recruited by using the simple random sampling method. The age ranged between 18-25 years. The subjects were divided into two groups. The first group learned Lai Sui Thai by practicing writing while the second group, learned the letters through Lai Sue Thai application were. The results showed that the average values from the questionnaire were in high to very high levels. The Navigation system was rate at a high level ($\bar{x} = 4.01, S.D. = 0.42$). Communication part was high ($\bar{x} = 4.13, S.D. = 0.39$). Control past was very high ($\bar{x} = 4.36, S.D. = 0.37$). Stability past was high ($\bar{x} = 4.17, S.D. = 0.40$). Recognition part was very high ($\bar{x} = 4.31, S.D. = 0.38$). Flexibility and efficiency part was very high ($\bar{x} = 4.22, S.D. = 0.42$). Beauty part was high ($\bar{x} = 4.05, S.D. = 0.47$). The character matching test score, which uses the independent-sample t-test for comparison, indicated that the significance level of the two groups was significant ($t = -2.506, p < 0.05$). For further suggestion, the application could be used for learning Lai Sue Thai.

Keywords : Lai Sue Thai, Augmented Reality Technology, Application

* Instructor, Faculty of Fine and Applied Arts, Suan Sunandha Rajabhat University
Corresponding author, email: farida.vi@ssru.ac.th, Tel. 1366-160-02ext.201

Received : June 1, 2019; **Revised :** August 16, 2019; **Accepted :** September 10, 2019

ความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ได้เน้นความสำคัญของการเพิ่มขีดความสามารถของประชาชนให้ก้าวทันโลกในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะยุทธศาสตร์ที่ 3 เรื่องการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์นั้นมีนโยบายการส่งเสริมคนในภาคให้เรียนรู้คุณค่าความเป็นไทย โดยมีนโยบายในเป้าประสงค์ที่ 3.1.6 สนับสนุนให้ใช้สื่อและสื่อสารมวลชนในการปลูกฝังค่านิยมและวัฒนธรรมของคนในสังคม ดังนั้นการยกระดับภูมิปัญญาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนถือเป็นภารกิจสำคัญอย่างหนึ่งของการวิจัยระดับชาติ (สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ, 2561)

ศิลาจารึกซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยอักษรลายสือไทยถือเป็นหลักฐานทางประวัติศาสตร์สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งซึ่งสะท้อนถึงคุณค่าและวิถีความเป็นไทย เป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาติที่บอกความเป็นมาของการรวมชนเผ่าไทยเป็นปึกแผ่นเป็นครั้งแรก อีกทั้งให้ความรู้ทางการเมืองการปกครองและนับเป็นรัฐธรรมนูญฉบับแรกของไทยซึ่งถูกจารึกไว้ องค์การยูเนสโกได้ยกให้ศิลาจารึกพ่อขุนรามคำแหงเป็นมรดกความทรงจำโลกใน พ.ศ.2546 (ประจักษ์ วัฒนานุสสิทธ์, 2554) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าศิลาจารึกไม่เพียงเป็นมรดกของชาติเท่านั้นแต่เป็นมรดกทางวัฒนธรรมของโลกอีกด้วย แต่กระนั้นการพัฒนาเผยแพร่สื่อเกี่ยวกับศิลาจารึกในปัจจุบันจะมีเพียงการถ่ายทอดการอ่านเขียนลายสือไทยทางภาษาศาสตร์ แต่ยังคงขาดสื่อที่ส่งเสริมความเข้าใจในรูปแบบอื่นที่มีความทันสมัยซึ่งสามารถบอกเล่าเรื่องราวประวัติความเป็นมาของชาติได้อย่างเหมาะสมในยุคศตวรรษที่ 21 ทำให้การศึกษาลายสือไทยจำกัดอยู่ในวงแคบและไม่ได้รับความสนใจจากคนรุ่นใหม่เท่าที่ควร

สื่อเทคโนโลยีผสมความจริงโลกเสมือน (Augmented Reality) หรือ AR เป็นสื่อใหม่ที่สามารถผสมผสานโลกในความจริงกับแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อแสดงผลในรูปแบบสองและสามมิติ ในปัจจุบันสื่อ AR มีโอกาสที่จะเติบโตขึ้นเรื่อยๆและมีแนวโน้มมูลค่าทางเศรษฐกิจระดับโลกสูงขึ้นชี้ให้เห็นว่าสื่อนี้ได้รับความสนใจจากภาคเศรษฐกิจและมีศักยภาพเพิ่มมากขึ้นซึ่งสามารถต่อยอดนำมาใช้เพื่อพัฒนาองค์ความรู้เดิมให้มีรูปแบบที่น่าสนใจและก้าวทันโลกได้ นอกจากนี้ได้มีงานวิจัยสนับสนุนว่าการใช้สื่อประเภทนี้สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้สูงขึ้นได้อีกด้วย (Tsai & Yen, 2014) การบูรณาการศาสตร์ระหว่างเทคโนโลยีสมัยใหม่กับความรู้ทางประวัติศาสตร์เป็นการเชื่อมโยงอดีตและปัจจุบันเข้าด้วยกันเพื่อพัฒนาคนไทย โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการเรียนรู้อย่างพลิกโฉมสำหรับเยาวชนและคนไทยในยุค 4.0 นั้นจึงสามารถนำมาใช้เพื่อต่อยอดความรู้ได้ในหลายสาขา ด้วยเหตุนี้โครงการวิจัยนี้จึงได้มีการจัดทำสื่อเทคโนโลยีใหม่ขึ้นเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ลายสือไทยเพื่อส่งเสริมคุณค่าความเป็นไทยในรูปแบบใหม่ซึ่งเหมาะกับยุคสมัยในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างสื่อทางการออกแบบซึ่งเผยแพร่ความรู้เรื่องการอ่านเขียนลายสือไทย
2. เพื่อต่อยอดความรู้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นสู่สื่อดิจิทัลที่มีความทันสมัยเหมาะกับการเรียนรู้ในปัจจุบัน

สมมุติฐานการวิจัย

H_0 = รูปแบบการเรียนรู้ไม่มีความแตกต่างต่อความถูกต้องในการระบุตัวอักษรลายสือไทย

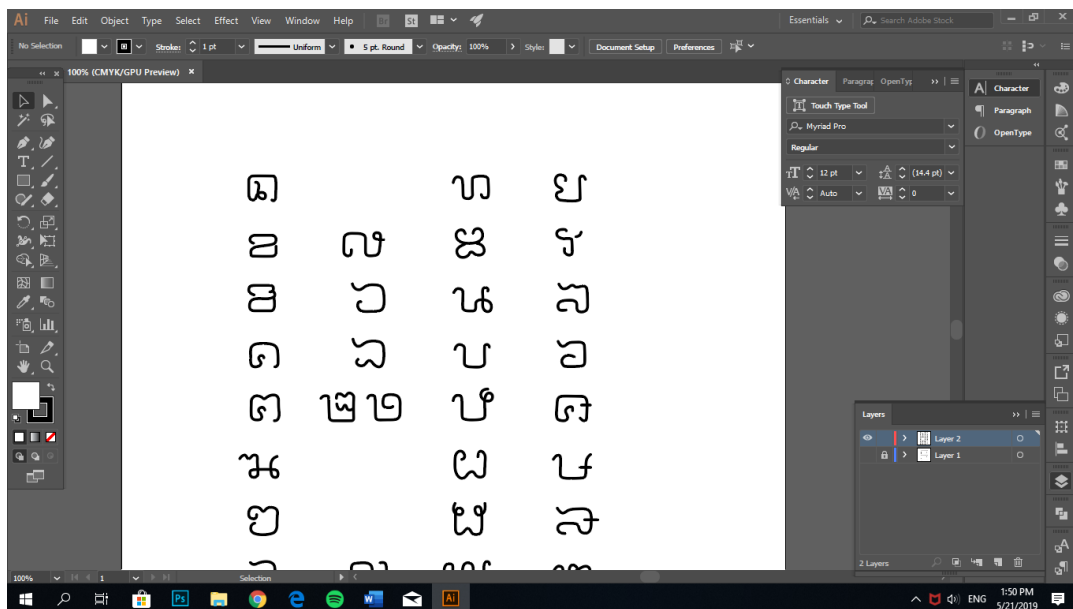
กรอบแนวคิดการวิจัย

Hierarchy หรือการจัดลำดับชั้น (Lidwell et al., 2010) ถือเป็นหนึ่งในทฤษฎีทางการออกแบบที่สำคัญในการนำเสนอข้อมูล โดยแบ่งการนำเสนอใหญ่ๆได้เป็นสามประเภทได้แก่ แบบต้นไม้ (Tree) แบบรัง (Nest) และแบบขั้นบันได (Stair) ซึ่งการจัดลำดับการมองเห็นจะช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กรอบความคิดของการจัดลำดับชั้นทางการออกแบบลักษณะขั้นบันไดเข้ามาประสมประสานในการสร้างเครื่องมือวิจัย โดยจัดให้ภาพตัวอักษรลายสือเป็นองค์ประกอบหลักและตัวอักษรไทยเป็นองค์ประกอบรองในการจัดวางเพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบตัวอักษรที่แตกต่างเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มการจดจำ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การสร้างแอปพลิเคชันเออาร์

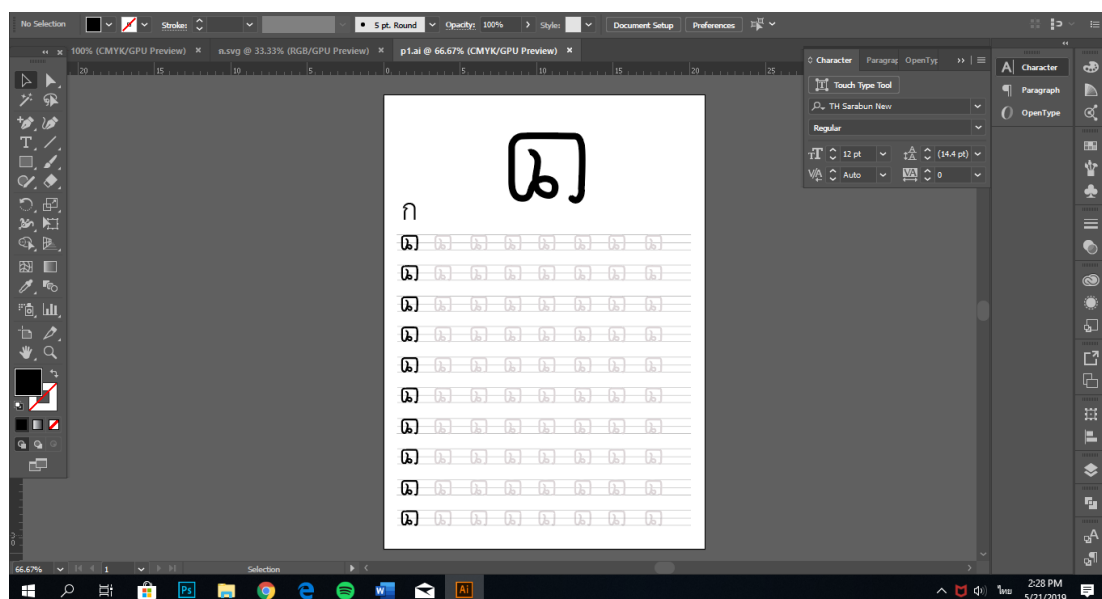
1. การสร้างแบบอักษรลายสือไทย การดำเนินการวิจัยนั้นเริ่มจากการสร้างแบบตัวอักษรลายสือไทยในโปรแกรม Adobe Illustrator CC 2017 ดังภาพที่ 1 โดยมีกระบวนการดังนี้



ภาพที่ 1 แบบตัวอักษรลายสือไทยออกแบบโดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator CC 2017

1.1 การสร้างตัวอักษร ใช้เครื่องมือ Pen tool ลากสายเส้นตัวอักษรด้วยความหนาของเส้น 1 pt ตั้งค่า Round cap ให้เส้นมีปลายกลมเลื้อยเส้นทั้งหมดแล้วเลือกคำสั่ง Object ตามด้วย Expand เพื่อให้ลายเส้นกลายเป็นภาพกราฟิกที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงเรื่องขนาดเส้น

1.2 การจัดทำแบบฝึกคัดลายมือ นำตัวอักษรที่ออกแบบมาจัดทำเป็นแบบฝึกคัดลายมือโดยการ Import ไฟล์ตัวอักษรเป็น eps ไปจัดวางในโปรแกรม Adobe Indesign CC2017 และทำการ export เป็นไฟล์ pdf ตั้งค่าเป็น High quality print เพื่อไว้ใช้สำหรับการพิมพ์แบบคัดลายมือที่ไว้ใช้ประกอบแอปพลิเคชัน โดยลักษณะของแบบคัดลายมือเป็นดังภาพตัวอย่างที่ 2

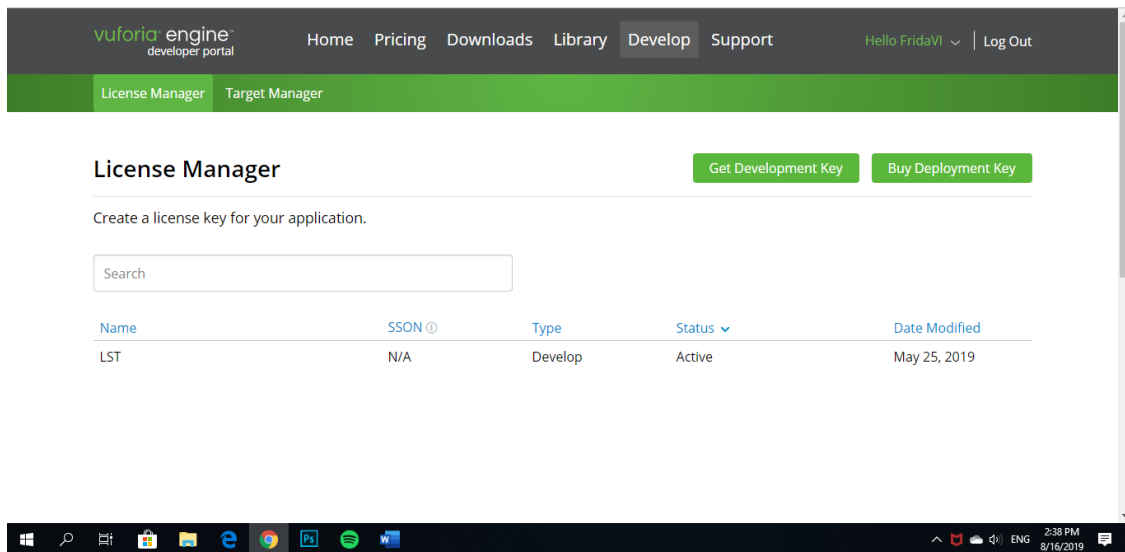


ภาพที่ 2 ตัวอย่างลายสือไทยในแบบคัดลายมือซึ่งใช้ประกอบกับแอปพลิเคชัน

2. การสร้างฐานข้อมูล Vuforia

2.1 การสร้างภาพเพื่อใช้ในการสแกน ทำการ export รูปตัวอักษรต่างๆเป็นไฟล์ jpg จากโปรแกรม Adobe Illustrator CC2017 เพื่อทำการนำไปใช้ประกอบโปรแกรม Vuforia เพื่อใช้ประกอบการสแกนภาพของตัวอักษร โปรแกรม Vuforia นั้นคือเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาสื่อ AR ซึ่งนิยมในปัจจุบัน ซึ่งภาพตัวอักษรที่นำไปใช้ในโปรแกรมได้ถูกปรับโหมดสีเป็น Grayscale 8 bit เพื่อให้ไฟล์ภาพไม่ใหญ่เกินไปและใช้งานได้อย่างไม่มีปัญหา (Linowes & Babilinski 2017) เงื่อนไขของการสแกนรูปใน Vuforia นั้นถ้าต้องการให้รูปสามารถอ่านได้ชัดเจนควรเป็นรูปที่มีเอกลักษณ์ ไม่มีลักษณะซ้ำซ้อนมากเกินไป มีการปรับค่าความแตกต่างระหว่างตัวจุดสนใจและพื้นหลังให้มีความชัดเจนจึงจะทำให้ Vuforia อ่านภาพนั้นได้ดี การแสดงผลประเมินคุณภาพของรูปนั้นจะเป็นการให้ดาวกับรูปที่ได้ทำการอัปโหลดขึ้นไป หาดาวหมายถึงรูปสามารถอ่านได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือสี่ดาว โดยทั่วไปนั้นควรให้รูปที่ใช้งานมีคุณภาพระหว่างสี่และห้าดาว กระนั้น Vuforia ก็สามารถอ่านรูปที่มีความชัดเจนต่ำได้เช่นกันแม้อยู่ในระดับหนึ่งดาวแต่อาจจะไม่ดีเท่ากับรูปคุณภาพสูง (Vuforia, 2018) อีกเงื่อนไขที่ทำให้ Vuforia อ่านรูปได้ยากคือการที่รูปมีความเรียบเกินไปเช่นรูปทรงเรขาคณิตซึ่งไม่มีตำแหน่งให้จดจำมาก โดยเฉพาะรูปทรงกลมซึ่งไม่มีมุมให้ Vuforia จับตำแหน่ง (Berglund, 2017) ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงรูปในลักษณะนี้

2.2 การสร้างบัญชี Vuforia เพื่อสร้างฐานข้อมูล เข้าเว็บไซต์ <https://developer.vuforia.com/> เข้าสู่ระบบ Vuforia engine developer portal ดังภาพที่ 5 เพื่อทำการสร้าง License manager key และ Target Manager ซึ่งจะใช้เป็นฐานข้อมูลในการจดจำภาพตัวอักษรลายสือไทยของแอปพลิเคชัน โดยเลือก Add a free Development License Key ก่อนแล้วตั้งชื่อ ในที่นี้ใช้ชื่อว่า LST หลังจากนั้นทำการ Copy the license key เพื่อนำไปใช้ร่วมกับ Unity แล้วจึงไปที่ Target Manager แล้วคลิกคำสั่ง Add Target เลือกภาพตัวอักษรที่ต้องการในรูปแบบ Single image ซึ่งคือภาพเดียวกับอักษรเดี่ยวที่แอปพลิเคชันจะทำการสแกนและสร้างภาพสามมิติขึ้นมาอัปโหลดรูปที่ต้องการทั้งหมดเมื่อเสร็จสิ้นแล้วเลือก Download database (All)

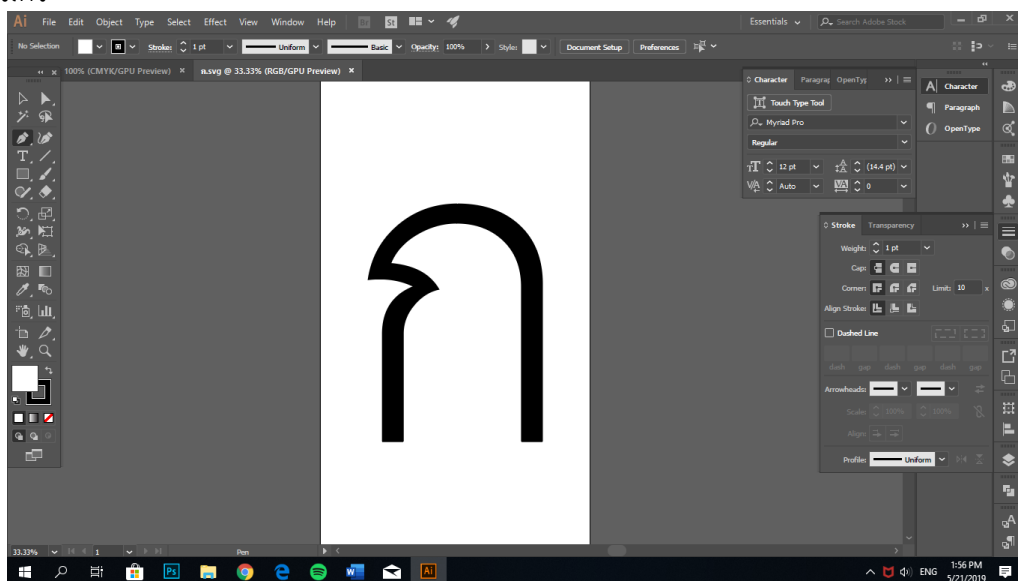


ภาพที่ 5 ฐานข้อมูล License Manager ในโปรแกรม Vuforia

3. การสร้างภาพสามมิติตัวอักษรไทย

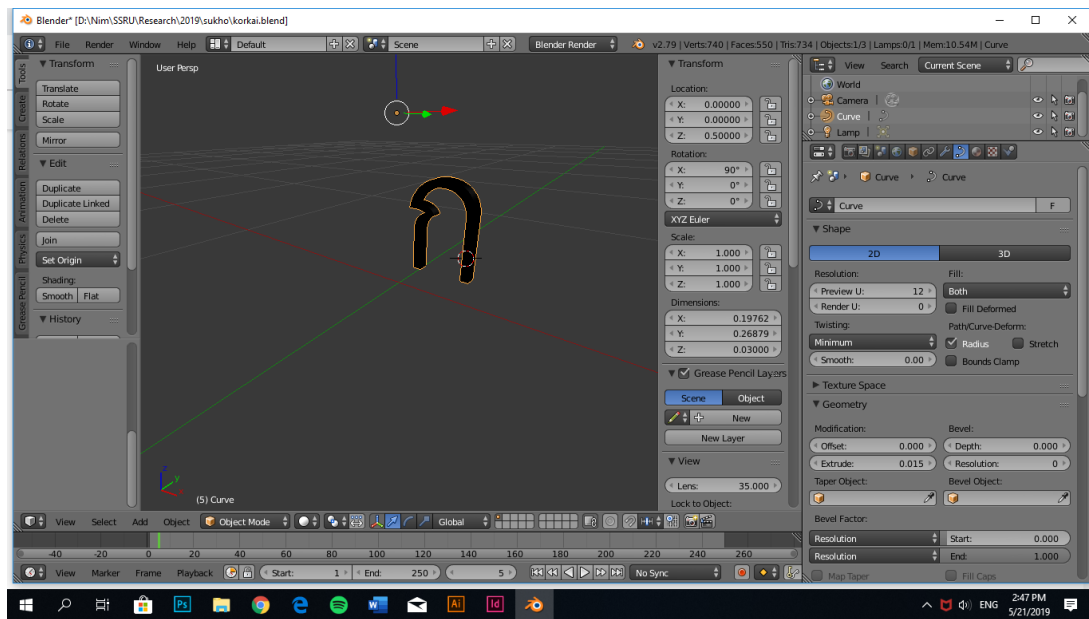
3.1 การสร้างภาพลายเส้น สร้างพยานะตัวอักษรไทยโดยสร้างไฟล์ใหม่ใน Adobe Illustrator CC2017 ตั้งขนาดพื้นที่ในการทำงานที่ 1080x1920 px จัดวางตัวอักษร ก ถึง ฮ ตรงกลางพื้นที่ โดยแยกตัวอักษรหนึ่งตัวต่อหนึ่งไฟล์เหมือนตัวอย่างในภาพที่ 3 แล้วบันทึกเป็นไฟล์ svg เพื่อให้ทำงานร่วมกับโปรแกรม Blender ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ทางด้านการสร้างกราฟิกสามมิติซึ่งเป็นโอเพนซอร์ส สามารถนำมาใช้ได้ฟรี (Blender, 2019) ในการสร้างตัวอักษรนี้เลือกใช้สีดำเพื่อเป็นต้นแบบคัดลายมือเพราะมีความชัดเจนเห็นได้ง่าย โดยในลำดับต่อมาได้สร้างแบบเป็นแนวทางในการคัดลายมือด้วยตัวอักษรสีเทาบางๆ เพื่อกำกับให้การคัดลายมือสะดวกมากขึ้นและได้ระยะที่สวยงาม ทั้งนี้กำหนดให้ในหนึ่งหน้าของแบบคัดลายมือขนาด A4 มีแบบตัวอักษร 1 ตัว แบบตัวอักษรลายสือไทยตัวใหญ่กลางหน้ากระดาษด้านบนนั้นใช้สำหรับ

สแกนด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นชื่อว่า Lst เพื่อแสดงผลตัวอักษรไทย 3 มิติขึ้นทับซ้อน ตัวอักษรลายสือไทยตัวนี้มีความสูง 5 เซนติเมตร ส่วนตัวอักษรที่ใช้คัดลายมือมีความสูง 1 เซนติเมตร



ภาพที่ 3 ตัวอย่างภาพตัวอักษร ก ในรูปแบบไฟล์ svg ซึ่งสร้างจาก Adobe Illustrator CC 2017

3.2 สร้างอักษรสามมิติด้วย Blender เมื่อได้ลายเส้นตัวอักษรไทยแล้วจึงทำการเปิดโปรแกรม Blender แล้ว Import ไฟล์ตัวอักษรไทยซึ่งจะนำไปสร้างเป็นภาพสามมิติที่ได้ทำไว้ในรูปแบบ svg ในคำสั่ง Transform ตั้งค่า Z =0.50 Rotation X=90 ที่คำสั่ง Curve ตั้งค่า Modification และทำการ Extrude ที่ 0.015 ดังตัวอย่างภาพที่ 4 หลังจากนั้นทำการเซฟไฟล์เพื่อนำเข้าโปรแกรม Unity ในที่นี้เลือกให้ตัวอักษร 3 มิติมีสีดำสนิท (R=0, G=0, B=0) ซึ่งเหตุผลคือเป็นสีที่ไม่มี Blue light ซึ่งทำลายสายตา (Zhao et al., 2018)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างตัวอักษรสามมิติซึ่งสร้างด้วยโปรแกรม Blender

4. การสร้างแอปพลิเคชัน ด้วยโปรแกรม Unity

4.1 การสร้างไฟล์เบื้องต้น เปิดโปรแกรม Unity ในการทำวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม Unity 2017.2.0f3 64 bit ซึ่งเป็นโปรแกรมสำคัญในการสร้างเกมในหลายรูปแบบในปัจจุบัน อาทิ เกมโทรศัพท์เคลื่อนที่และเกมคอนโซล Unity สามารถสร้างโปรแกรมต่างๆได้ทั้งในระบบปฏิบัติการของ Mac และ PC (Goldstone, 2009) เมื่อเข้าโปรแกรมก็ทำการเลือกคำสั่ง New Project ตั้งชื่อไฟล์และที่เก็บไฟล์ต่างๆ แล้วใช้คำสั่ง New scene เพื่อสร้างพื้นที่การทำงานใหม่ให้กับแอปพลิเคชัน Lst ปรับหน้าต่างการทำงานให้เหมาะสมกับความต้องการโดยเลือกที่คำสั่ง Window และ Layout ซึ่งปกติจะอยู่ที่ Default

4.2 การเลือกระบบปฏิบัติการ ใช้คำสั่ง File และ Build setting เพื่อเลือกว่าต้องการจะสร้างแอปพลิเคชัน สำหรับอุปกรณ์สื่อสารใดและบนระบบปฏิบัติการใด สำหรับในการทำวิจัยนี้ใช้ระบบ Android เป็นหลัก ต่อจากนั้นกดเลือก Switch platform และ Add open scenes และ Android

4.3 การตั้งค่า Vuforia setting ให้ทำงานเข้ากับ Unity นำไฟล์ database ซึ่งได้สร้างจาก Vuforia import เข้าไว้ในโปรแกรม Unity เพื่อนำข้อมูลรูปภาพที่ต้องการสแกนภาพเข้าสู่โปรแกรม นำรูปที่อัปโหลดขึ้นระบบของ Vuforia ที่ได้ทำการ Save database มาแล้วทำการ Import เข้าในหน้าต่างของ Asset ด้วยการคลิกขวาแล้วเลือกคำสั่ง Import Package เพื่อให้ภาพทั้งหมดได้เข้ามาเก็บไว้ใน Asset ที่คำสั่ง AR Camera เลือกคำสั่ง Vuforia configuration จึงไปที่ App license key ซึ่งได้ทำการ Copy มาจาก Vuforia แล้วทำการ paste หลังจากนั้นได้คำสั่ง Datasets เลือกคำสั่ง Load ชื่อ Database ของ Vuforia เข้ามา และ Activate ภายใต้คำสั่ง Datasets ซึ่งเป็นการตั้งค่าว่าจะใช้ข้อมูล Database ให้เลือก

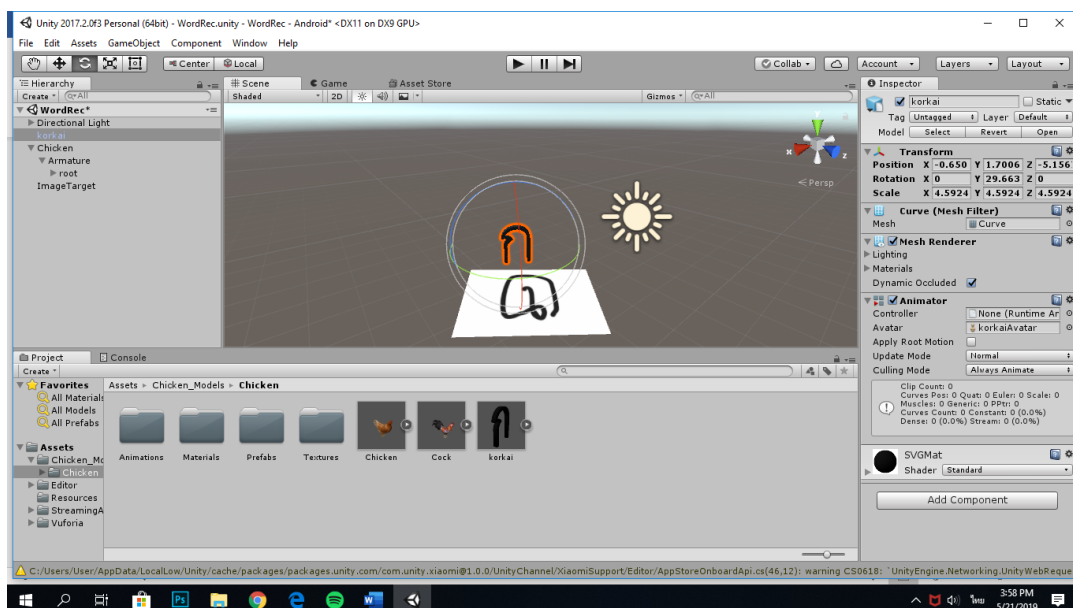
Database ที่สร้างไว้ใน Vuforia ในที่นี้คือ LST 1 database และให้ทำการคัดเลือก Database อื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องเพื่อป้องกันความสับสน

4.4 การตั้งค่า Player setting เพื่อสร้างกล้อง AR ที่สามารถทำงานร่วมกับ Vuforia ได้นั้นต้องตั้งค่า Inspector โดยกำหนดชื่อ Company Name และ Product Name ก่อนต่อมา Other setting โดยตั้งค่า Package name ให้ตรงกับ Company Name และ Product Name ที่ตั้งไว้ก่อนหน้านี้ใน Inspector เช่น com.Ssru.Lst โดยให้ชื่อบริษัทและชื่อสินค้าขึ้นต้นด้วยตัวใหญ่ทั้งคู่ หลังจากนั้นเลือกคำสั่ง XR setting เลือกเครื่องหมายถูกหน้าคำสั่ง Vuforia Augmented Reality คลิกขวาที่ Hierarchy แล้วเลือก Vuforia และ AR Camera เพื่อสร้างกล้องการแสดงผลของ AR ทั้งนี้สามารถลบ Main Camera ออกได้เพื่อป้องกันความสับสนในการแสดงผลของภาพ

4.5 การตั้งค่าเวอร์ชันที่แอปพลิเคชันแสดงผล Minimum API Level คือคำสั่งเพื่อตั้งค่าให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงผลได้ในระบบปฏิบัติการขั้นต่ำที่เวอร์ชันใด ส่วน Target API Level คือการตั้งค่าเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการที่ต้องการให้แอปพลิเคชันสามารถแสดงผลได้ ในกรณีของ Android ให้ตรวจสอบว่าได้ทำการติดตั้ง Plugin ของระบบปฏิบัติการรุ่นที่ต้องการหรือไม่ ถ้ายังต้องทำการดาวน์โหลดโปรแกรม Android Studio มาแล้วเลือกคำสั่ง File ตามด้วย Appearance และ System setting แล้วเลือก Adroid SDK เลือกเวอร์ชันที่ต้องการจึงกดคำสั่ง Apply ในกรณีที่ไม่มีทราबरุ่นของ Android สามารถใช้โปรแกรมชื่อ HiSuite ซึ่งใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์ได้เพื่อตรวจสอบรุ่นแต่โดยมากจะตั้งค่า Target API Level ที่ค่า Automatic

4.6 การจัดวางภาพลายสือไทยในโปรแกรม Unity เลือก GameObject เลือก Vuforia อีกครั้งเพื่อสร้างรูปที่จะใช้เป้าหมายด้วยคำสั่ง Image จะมี Target Image ขึ้นมาใน Hierarchy รูปนี้คืออักษรลายสือไทยซึ่งภายหลังได้นำไปพิมพ์อยู่ในแบบคัดลายมือ นำรูปที่ต้องการมาที่หน้าต่าง Hierarchy

4.7 การนำไฟล์สามมิติเข้าโปรแกรม Unity import ไฟล์ Blender ที่ได้สร้างไว้เข้าใน Asset ของ Unity โดยนำตัวอักษรไทยสามมิติที่เป็นตัวอ่านของลายสือไทยนำเข้าใน Hierarchy ได้ Target Image ลายสือไทยเพื่อให้ตัวอักษรไทยเป็น Child ของลายสือไทยดังตัวอย่างภาพที่ 6 ทำการจัดวางรูปตัวอักษรและวัตถุ 3 มิติให้สวยงามพร้อมปรับมุมกล้องของ AR แล้วจึงทำการ Preview ดูการแสดงผลด้วยการกดปุ่ม Play



ภาพที่ 6 การสร้างแอปพลิเคชันบนโปรแกรม Unity

4.8 การตั้งค่าจำนวนการอ่านภาพ ในหนึ่ง scene นั้น Unity สามารถอ่านภาพได้หลายภาพพร้อมๆ กันแต่จะต้องมีการกำหนดว่าแอปพลิเคชัน สามารถสแกนจำนวนภาพได้เท่าไร วิธีการที่จะตั้งค่าคือ ใน Vuforia Configuration หน้าต่าง Inspector จะแสดงรายละเอียดต่างๆ ของการปรับแต่งการแสดงผลของ Vuforia ใน คำสั่ง Max Simultaneous Tracked Image จะหมายถึงจำนวนรูปที่ต้องการทำการระบุตำแหน่งของแอปพลิเคชัน ในแต่ละ Scene ซึ่งในที่นี้มีอักขรลายสือไทยที่ต้องการนำเสนอ 67 ตัวจึงตั้งค่าที่ 67

4.9 การสร้างภาพไอคอนของแอปพลิเคชัน ที่คำสั่ง Build setting และ Player Setting นำ ภาพ ที่ต้องการให้แสดงผลไอคอนเมื่อติดตั้งแอปพลิเคชัน ในช่อง Default Icon

4.10 การ Export ไฟล์แอปพลิเคชัน ใน XR setting เลือกคำสั่ง Vuforia Augmented Reality Support แล้วจึงไปที่คำสั่ง Build เพื่อสร้างไฟล์ apk ของแอปพลิเคชัน

4.11 การติดตั้งแอปพลิเคชันต้นแบบ การติดตั้งนั้นสามารถทำได้หลายวิธีในระบบปฏิบัติการ เช่นใช้โปรแกรม HiSuite เพื่อถ่ายโอนข้อมูลหรืออาจใช้วิธีเชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือโดยตรงกับคอมพิวเตอร์ แล้วเลือกคำสั่ง Build And Run ใน Unity ได้เช่นกัน อีกทางเลือกคือนำไฟล์ apk เข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยตรง ทั้งนี้ไปที่ My files แล้วเลือก Installation files เพื่อติดตั้งแอปพลิเคชันที่สมบูรณ์

การสร้างแบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ใช้ในการศึกษานี้ได้นำแนวคิดของฮิวริสติก (Heuristic) เป็นแนวทางในการประเมิน ของงานวิจัย User experience หรือ UX ซึ่งเหมาะต่อการทดสอบประสิทธิภาพของประสบการณ์ในการใช้ งานแอปพลิเคชัน โดยได้จำแนกหัวข้อที่เหมาะสมต่อการประเมินในเจ็ดทางได้แก่ ด้านมีระบบการนำทางที่ ดี ด้านการสื่อสารที่ดี ด้านความคล่องตัวและควบคุมง่าย ด้านมีเสถียรภาพและมาตรฐาน ด้านความสามารถ จัดจรรูปแบบได้ง่าย ด้านความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน และด้านความสวยงาม (Cooper & Reimann, 2007) โดยมีระดับความคิดเห็น 5 ระดับ ได้นำแบบสอบถามไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 คนตรวจสอบ ดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 0.67-1.00 บ่งชี้ว่าแบบสอบถามสามารถนำไปใช้ งานได้ ต่อจากนั้นจึงทำการสุ่มตัวอย่างจากนักศึกษา มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งจำนวน 58 คน โดยใช้การสุ่ม อย่างง่ายเลือกกลุ่มตัวอย่างที่สมัครใจเข้าร่วมจำนวน 20 คน ได้ให้นักศึกษาตอบแบบสอบถามและหลัง จากนั้นได้แบ่งกลุ่มเพื่อทดสอบวิธีการทางการเรียนรู้ โดยกลุ่มแรกจะทำการคัดลายมือช้าๆ และ กลุ่มที่สองมี การคัดลายมือเช่นกันแต่จะมีการใช้แอปพลิเคชันในการเสริมการเรียนรู้ด้วย โดยทั้งสองกลุ่มได้รับการฝึกฝน ในการเรียนตัวอักษรลายสือไทยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 8 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมงซึ่งเท่ากับเวลา หลักสูตรสำหรับบุคคลทั่วไปในการเรียนอักษรขอมไทยของคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

การสร้างแบบวัดการเรียนรู้

แบบวัดการเรียนรู้เป็นข้อสอบการจับคู่ตัวอักษรโดยฝั่งซ้ายเป็นตัวอักษรลายสือไทยส่วนด้านขวา เป็นอักษรไทย ผู้ร่วมวิจัยต้องลากเส้นจับคู่ตัวอักษรให้ถูกต้อง โดยลำดับในการนำเสนอตัวอักษรนั้นได้ทำ การสุ่มลำดับทั้งตัวอักษรลายสือไทยและอักษรไทยเพื่อลดการจดจำลำดับ (Order effect)

การพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ได้ ทำการพิจารณาและออกเลขที่รับรอง COE.2-013-2019 ให้กับงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยมีขั้นตอนในการ ปกป้องและพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัยโดยการไม่เปิดเผยข้อมูลอันได้แก่ชื่อ ที่อยู่ต่อสาธารณชน มีการเข้า ร่วมงานวิจัยโดยสมัครใจไม่มีการบังคับและสามารถออกจากงานวิจัยได้ทุกเมื่อถ้ามีความประสงค์ มีแบบชี้แจงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยให้อ่านประกอบก่อนการตัดสินใจเข้าร่วม ไม่มีการเร่งรัดหรือบีบบังคับให้ ตอบคำถามในงานวิจัย

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

แบบสอบถามนั้นใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลใน 7 ด้านซึ่งมีระดับความเห็นให้เลือก 5 ระดับ โดยมีความกว้างของชั้นคะแนนอยู่ที่ 0.8 ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 อยู่ในชั้นคะแนนน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในเกณฑ์น้อยคือระหว่าง 1.81-2.60 ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61-3.40 อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ลำดับต่อมาค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 อยู่ในระดับมาก และ ระดับค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 อยู่ในระดับมากที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์คะแนนความถูกต้องของการจับคู่ตัวอักษรลายสือไทยและอักษรไทยนั้นใช้การวิเคราะห์แบบ Independent – Sample t – test เพื่อดูระดับนัยสำคัญของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม

สรุปผลการวิจัย

แบบสอบถาม

ตาราง 1 ผลสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเจ็ดมิติของแอปพลิเคชันเออาร์ลายสือไทย (n=20)

คำถาม	$\bar{x}$	S.D.	ชั้นของคะแนน
1. ระบบการนำทางที่ดี	4.01	0.42	มาก
2. การสื่อสารที่ดี	4.13	0.39	มาก
3. ความคล่องตัวและควบคุมง่าย	4.36	0.37	มากที่สุด
4. เสถียรภาพและมาตรฐาน	4.17	0.40	มาก
5. ความสามารถจดจำรูปแบบได้ง่าย	4.31	0.38	มากที่สุด
6. ความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน	4.22	0.42	มากที่สุด
7. ความสวยงาม	4.05	0.47	มาก

จากผลสรุปของแบบสอบถามพบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์มากถึงมากที่สุด ในทั้ง 7 ด้าน โดยด้านระบบการนำทางที่ดี ($\bar{x} = 4.01, S.D. = 0.42$) ด้านการสื่อสารที่ดี ($\bar{x} = 4.13, S.D. = 0.39$) ด้านเสถียรภาพและมาตรฐาน ($\bar{x} = 4.17, S.D. = 0.40$) และด้านความสวยงาม ($\bar{x} = 4.05, S.D. = 0.47$) อยู่ในระดับมาก ในขณะที่ด้านความคล่องตัวและควบคุมง่าย ($\bar{x} = 4.36, S.D. = 0.37$) ด้านความสามารถจดจำรูปแบบได้ง่าย ($\bar{x} = 4.31, S.D. = 0.38$) และด้านความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ($\bar{x} = 4.22, S.D. = 0.42$) อยู่ในระดับมากที่สุด ในภาพรวมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกข้ออยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่า 1 บ่งชี้ว่าการกระจายของค่าคะแนนในแต่ละข้อค่อนข้างเกาะกลุ่มอยู่ใกล้กับค่าเฉลี่ย

แบบทดสอบจับคู่อักษร

ตาราง 2 ผลทดสอบการจับคู่ตัวอักษร 67 คู่ระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม

กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2	
ค่าคะแนน (x_1)	ค่ายกกำลังของคะแนน (x_1^2)	ค่าคะแนน (x_2)	ค่ายกกำลังของคะแนน x_2^2
48	2,304	58	3,364
51	2,601	46	2,116
50	2,500	64	4,096
53	2,809	65	4,225
42	1,764	63	3,969

กลุ่มทดลองที่ 1		กลุ่มทดลองที่ 2	
ค่าคะแนน (x_1)	ค่ายกกำลังของ คะแนน (x_1^2)	ค่าคะแนน (x_2)	ค่ายกกำลังของ คะแนน x_2^2
61	3,721	51	2,601
43	1,849	49	2,401
56	3,136	62	3,844
55	3,025	58	3,364
47	2,209	61	3,721
$\sum x_1 = 506$	$\sum x_1^2 =$ 25,918	$\sum x_2 = 577$	$\sum x_2^2 =$ 33,701
ค่าเฉลี่ย	M_1 50.6	M_2 57.7	

การคำนวณค่า t ระหว่างกลุ่มทดลองที่ 1 และ 2

ผลรวมของกลุ่มทดลองที่ 1 ยกกำลังสองมีค่าดังนี้ $(\sum x_1)^2 = 506 \times 506 = 256,036$

ผลรวมของกลุ่มทดลองที่ 2 ยกกำลังสองมีค่าดังนี้ $(\sum x_2)^2 = 577 \times 577 = 332,929$

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 = 50.6 ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 2 = 57.7

ค่าผลรวมยกกำลังของคะแนนในกลุ่มทดลองที่ 1 = 25,918 ค่าผลรวมยกกำลังของคะแนนในกลุ่มทดลองที่ 2 = 33,701

จำนวนประชากรในกลุ่มทดลองที่ 1 $n_1 = 10$ จำนวนประชากรในกลุ่มทดลองที่ 2 $n_2 = 10$

การคำนวณองศาอิสระ (Degree of freedom)

$$n_1 - 1 = 9$$

$$n_2 - 1 = 9$$

$$df = 9 + 9 = 18$$

สูตรในการคำนวณค่า t มีดังนี้

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{(\sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1}) + (\sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2})}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \\
 &= \frac{50.6 - 57.7}{\sqrt{\frac{(25,918 - \frac{256,036}{10}) + (33,701 - \frac{332,929}{10})}{(10 - 1) + (10 - 1)} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)}} \\
 &= \frac{-7.1}{\sqrt{\frac{(25,918 - 25,603.6) + (33,701 - 33,292.9)}{(9) + (9)} \left(\frac{1}{5} \right)}} \\
 &= \frac{-7.1}{\sqrt{\frac{(314.4) + (408.1)}{18} \left(\frac{1}{5} \right)}} = -2.506
 \end{aligned}$$

จากการเปิดตารางค่าวิกฤตของ t ที่ระดับความน่าจะเป็นต่างๆ (Critical values of t at various levels of probability) แม้ว่าค่าที่ได้จะเป็นลบแต่ในสูตรการคำนวณนั้นจะนับเพียงค่าบวกเท่านั้นจึงใช้ค่า 2.506 ในการเปิดตาราง (Greene & D'Oliveira, 2005) พบว่าในระดับ $df = 18$ และ $p < 0.05$ ค่า 2.506 สูงกว่า 1.734 จากตาราง ดังนั้นระดับนัยสำคัญของคะแนนสองกลุ่มมีความสำคัญซึ่งทำให้สามารถปฏิเสธสมมติฐานที่ว่ารูปแบบการเรียนรู้ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความถูกต้องในการระบุตัวอักษรลายสือไทย บ่งชี้ว่ากลุ่มที่ใช้แอปพลิเคชันมีค่าคะแนนสูงกว่าซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ารูปแบบการศึกษาด้วยแอปพลิเคชันมีส่วนช่วยให้ค่าคะแนนการจับคู่ตัวอักษรลายสือไทยกับอักษรไทยสูงขึ้น

การอภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการสร้างสื่อทางการออกแบบซึ่งเผยแพร่ความรู้เรื่องการอ่านเขียนลายสือไทยที่มีความทันสมัยเหมาะกับการเรียนรู้ในปัจจุบันนำไปสู่สมมติฐานว่ารูปแบบการเรียนรู้จะมีผลแตกต่างต่อความถูกต้องในการระบุตัวอักษรลายสือไทยหรือไม่ จากผลที่ได้จากการวิจัยได้การอภิปรายดังนี้

1. จากเครื่องมือแบบสอบถามซึ่งได้ทำการศึกษาการใช้งานในรูปแบบการประเมินฮิวริสติก (Lidwell et al., 2010) ใน 7 ด้านตามรูปแบบการวิจัยเชิงประสบการณ์ผู้ใช้งาน (User experience research) ซึ่งใช้แบบความคิดเห็นที่นิยมในการทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชัน จากผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถามทางด้านความคล่องตัวและควบคุมง่าย ด้านความสามารถจดจำรูปแบบได้ง่าย ด้านความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นอยู่ในระดับคะแนนมากที่สุดซึ่งบ่งชี้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเห็นว่าแอปพลิเคชันมีความสะดวกในการใช้งาน ด้านระบบการนำทางที่ดี ด้านการสื่อสารที่ดี ด้านความเสถียรภาพและมาตรฐาน และ ด้านความสวยงามนั้นอยู่ในระดับคะแนนมากที่สุดซึ่งหมายถึงผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจต่อแอปพลิเคชันอย่างมาก บ่งชี้ว่าแอปพลิเคชันต้นแบบมีประสิทธิภาพในการใช้งานหลังได้รับการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งจะสังเกตเห็นได้ว่าด้านความคล่องตัวและควบคุมง่าย ($\bar{x} = 4.36, S.D = 0.37$) ด้านความสามารถจดจำรูปแบบได้ง่าย ($\bar{x} = 4.31, S.D = 0.38$) และ ด้านความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ($\bar{x} = 4.22, S.D = 0.42$) อยู่ในระดับคะแนนมากที่สุดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้งานถ้าขาดปัจจัยทั้งสามนี้แอปพลิเคชันจะไม่สามารถแสดงผลลัพธ์ที่ตรงต่อวัตถุประสงค์ในการสร้างสื่อที่สามารถนำเสนอการเรียนรู้อักษรลายสือไทยในรูปแบบใหม่ได้ ดังนั้นจากการประเมินด้วยแบบสอบถามบ่งชี้ว่าเครื่องมือทางการวิจัยแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพ

2. ในส่วนที่สอง หลังจากได้ทำการเปรียบเทียบคะแนนจากการจับคู่ตัวอักษรของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มด้วยสถิติแบบ Independent - Sample t - test เพื่อดูระดับนัยสำคัญของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มโดยค่า $p < 0.05$ ค่า $t = -2.506$ ซึ่งบ่งชี้ว่าความแตกต่างของค่าคะแนนระหว่างสองกลุ่มมีระดับนัยสำคัญซึ่งหมายความว่ารูปแบบการใช้แอปพลิเคชันเสริมมีผลทำให้ค่าคะแนนของสองกลุ่มต่างกัน ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานเบื้องต้นที่ว่า การนำแอปพลิเคชันมาเสริมในการเรียนรู้ อาจไม่มีความแตกต่างกันในระดับคะแนนกับกลุ่มผู้ร่วมวิจัยที่ใช้การคัดลายมืออย่างเดียว จากผลการวิจัยนี้เสนอความเป็นไปได้ว่าการพัฒนาสื่อแอปพลิเคชัน ความจริงเสริมอาจช่วยในการเรียนรู้อักษรโบราณได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

การนำผลการวิจัยไปใช้นั้นสามารถนำแอปพลิเคชันไปประกอบการเรียนการสอนอักษรลายสือไทย นอกจากการคัดลายมือเพียงอย่างเดียวเพื่อพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนให้น่าสนใจมากขึ้นอีกทั้ง

สามารถนำไปใช้ในองค์กรซึ่งมีการให้ความรู้อักษรลายสือไทย เช่น หอสมุดแห่งชาติเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้ในวงกว้างสำหรับผู้ที่ต้องการค้นคว้า

ข้อเสนอแนะการทําวิจัยในครั้งต่อไป

ในอนาคตควรมีการนำผลการวิจัยและเครื่องที่ได้ไปขยายผล ในการทําวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันระบบอื่นๆ ด้วยเช่นกัน เพื่อขยายการรองรับและเผยแพร่ชิ้นงานให้ทั่วถึงมากขึ้น เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) เพื่อรองรับผู้ใช้งานในแพลตฟอร์ม (Platform) อื่น นอกจากนั้นสามารถขยายผลนำไปพัฒนาระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Window) และแมคโอเอส (macOS) เพื่อให้สามารถใช้ได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) และเครื่องแมคอินทอช (Macintosh) ได้

เอกสารอ้างอิง

- ประจักษ์ วัฒนานสุธิ์. (2554). แผนงานมรดกความทรงจำแห่งโลกของยูเนสโกกับประเทศไทย. *วารสารห้องสมุด*, 55(1), 17-27.
- สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. (2561). *ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 (ฉบับย่อ)*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- Berglund, E. (2017). *The Vuforia SDK and Unity3D Game Engine*. Linköping University, Linköping, Sweden.
- Blender. (2019). *Blender 2.8 Reference Manual*. Amsterdam, the Netherlands: Blender.
- Cooper, A., & Reimann, R. (2007). *About Face 3.0: The Essentials of Interaction Design*. IN, US: John Publishing.
- Goldstone, W. (2009). *Unity Game Development Essentials*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.
- Greene, J., & D'Oliveira, M. (2005). *Learning to Use Statistical Tests in Psychology: A Student's Guide*: Open University Press.
- Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal Principles of Design*. MA, USA: Rockport Publishers.
- Linowes, J., & Babilinski, K. (2017). *Augmented Reality for Developers*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.
- Tsai, C.-H., & Yen, J.-C. (2014). The Augmented Reality Application of Multimedia Technology in Aquatic Organisms Instruction. *Journal of Software Engineering and Applications*, 7, 745-755.
- Vuforia. (2018). *Optimizing Target Detection and Tracking Stability*. Retrieved from <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html>
- Zhao, Z. C., Zhou, Y., Tan, G., & Li, J. (2018). Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. *International journal of ophthalmology*, 11(12), 1999–2003.

