

นิเวศน์: โมบายเลิร์นนิ่งแอปพลิเคชันเชิงโต้ตอบสำหรับโปรแกรมภาษาสวิตช์เบื้องต้น NEWBIESWIFT: INTERACTIVE MOBILE LEARNING APPLICATION FOR BASIC SWIFT PROGRAMING LANGUAGE

ผกาพรรณ ลิ้มปัดรัตน์^{1*}, อุทัยวรรณ จตุพร², อรุณ เรืองศิลป์กลการ³, เอกชัย กันยานุชรัตน์⁴

¹ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

¹ School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

² คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

² School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

³ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

³ School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

⁴ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

⁴ School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

*Corresponding author, E-mail: pakapan.l@bu.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย จึงมีกลุ่มบุคคลทั่วไปซึ่งยังไม่มี ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม ให้ความสนใจในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน และต้องการ เรียนรู้ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันมากขึ้นตามไปด้วย ผู้พัฒนาจึงทำมีแนวคิดในการพัฒนาโมบาย แอปพลิเคชันเชิงโต้ตอบชื่อ นิเวศน์ เพื่อสอนภาษาสวิตช์เบื้องต้น ภาษาสวิตช์เป็นภาษาที่ใช้ในการพัฒนา โมบายแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS แอปพลิเคชันนิเวศน์ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันหลัก คือ ฟังก์ชันให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษาสวิตช์ 3 เรื่อง ประกอบด้วย การใช้ตัวแปร คำสั่ง เงื่อนไข และคำสั่งทำซ้ำ โดยผู้พัฒนาใช้สื่อประสมทั้งตัวหนังสือ และภาพเคลื่อนไหวในการให้ความรู้พื้นฐาน โดยให้ผู้เรียนรู้ด้วยตัวเอง และฟังก์ชันเกมตัวต่อปริศนา โดยผู้พัฒนาออกแบบเป็นตัวต่อให้ผู้รู้สลับลำดับ เพื่อจัดลำดับโครงสร้างของโปรแกรมให้ถูกต้อง เกมตัวต่อปริศนานี้ออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้ได้ทดสอบความรู้ ที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง เกมตัวต่อปริศนาครอบคลุมทั้ง 3 เรื่องที่นำเสนอในฟังก์ชันแรก โดยแบ่งระดับ ความยากออกเป็น 6 ระดับตามความซับซ้อนของโครงสร้างโปรแกรม ในการทดสอบคุณภาพการออกแบบ และกิจกรรมการเรียนรู้ของแอปพลิเคชันนิเวศน์ ผู้พัฒนาเก็บข้อมูลจากผู้ใช้ทั้งสิ้น 5 ด้าน ซึ่งประกอบไปด้วย ด้านการเรียนรู้ ด้านประสิทธิภาพ ด้านประสิทธิผล ด้านความน่าเชื่อถือในการใช้งาน และด้านความพึงพอใจ ในการใช้งาน พบว่าแอปพลิเคชันนิเวศน์มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ถึงแม้ว่าการออกแบบแอปพลิเคชันนิเวศน์ ยังมีจุดที่ต้องพัฒนา แอปพลิเคชันนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบหนึ่งในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน เชิงโต้ตอบได้

คำสำคัญ: โมบายเลิร์นนิ่งเชิงโต้ตอบ โปรแกรมภาษาสวิตช์ โมบายแอปพลิเคชัน

ABSTRACT

Due to the popularity of smartphones nowadays, there are general people who do not have basic programming knowledge pay attention to mobile application development and desire to learn the language used to develop the mobile application accordingly. Therefore, developers had an idea to develop an interactive mobile application named NewbieSwift purposed to teach basic swift language. The swift language is the language used to develop mobile application on iOS operating system. The NewbieSwift application is composed of 2 main functions that are a knowledge providing function about structure of swift language 3 topics include the use of variable, conditional statement, and looping statement. In which the developers used multimedia includes text and animation to provide the basic knowledge and allow the users to perform self-learning and a puzzle game function, in which, the developers designed jigsaws for users to switch the order of the jigsaws to correct the order of the program structure. This puzzle game function is designed to allow the users to examine their knowledge gained from the self-learning. The puzzle game covers all the 3 topics presented in the first function, is divided into 6 levels of difficulty according to the complexity of the structure of the program. To evaluate design quality and learning activity of NewbieSwift application, the developers collected 5 categories of data from users include learnability, efficiency, effectiveness, reliability, and satisfactory, found that the NewbieSwift application had quality in a good level. Even though the design of NewbieSwift application had some point to be developed this application could be used as a prototype in interactive mobile application development.

Keywords: Interactive Mobile Learning, Swift Programming Language, Mobile Application

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันโทรศัพท์สมาร์ทโฟน (Smartphone) และแท็บเล็ต (Tablet) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทำให้โปรแกรมที่ได้รับการออกแบบมาใช้งานบนอุปกรณ์ประเภทนี้ หรือที่เรียกว่าแอปพลิเคชัน (Application) เป็นที่รู้จัก และได้รับความสนใจจากผู้ใช้งานมากขึ้นเช่นกัน ผู้พัฒนาจะพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการต่าง ๆ เช่น iOS และ Android เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ มีทั้งแบบให้ดาวน์โหลดใช้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย และแบบมีค่าใช้จ่าย สำหรับใช้งานด้านการศึกษา การทำงาน การสื่อสาร และเพื่อความบันเทิง เป็นต้น นอกจากนักพัฒนาโปรแกรมแล้วยังมีกลุ่มผู้ใช้ทั่วไปซึ่งไม่มีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมให้ความสนใจในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย ผู้พัฒนาจึงมีแนวคิดพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์

สมาร์ทโฟนเพื่อให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาษาสวิตช์ (Swift) ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS เนื่องจากภาษาสวิตช์เป็นภาษาที่ถูกคิดค้นขึ้นใหม่ (เปิดตัวสำหรับนักพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS และ iOS X เมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2557) ยังไม่เป็นที่รู้จักของคนทั่วไป ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย และยังมีตัวอย่างโปรแกรม และแหล่งความรู้จำนวนน้อย ประกอบกับเป็นภาษาที่ผู้ใช้ทั่วไปสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย เนื่องจากมีไวยากรณ์ที่ชัดเจน และมีตัวช่วยระบุความผิดพลาดในการพิมพ์โปรแกรม ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาสวิตช์เป็นเรื่องง่าย มีความยืดหยุ่น โอกาสน้อยที่จะเกิดความผิดพลาดเมื่อเทียบกับภาษาซี (C language) หรือ ภาษาอ็อบเจกทีฟ-ซี (Objective-C) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS รุ่นแรก ๆ ถึงแม้การเรียนรู้บนแอปพลิเคชันของโทรศัพท์สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต ซึ่งเรียกว่า โมบายเลิร์นนิง (Mobile learning) หรือ เอ็มเลิร์นนิง (M-learning) นั้นจะอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ให้เรียนรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา แม้ขณะกำลังเดินทาง อย่างไรก็ตามการเรียนรู้รูปแบบนี้มีข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ เนื่องจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนถูกออกแบบมาเพื่อประโยชน์ด้านการสื่อสารเป็นหลักจึงต้องมีขนาดเล็กเพื่อให้ผู้ใช้พกพาได้สะดวก ดังนั้น ขนาดหน้าจอ หน่วยความจำ และความสามารถในการแสดงผลจึงไม่เหมาะสำหรับใช้ในการศึกษาเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop computer) ดังนั้นการออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองจึงเป็นงานที่ท้าทาย อย่างหนึ่งโดยผู้พัฒนาเลือกใช้สื่อประสม (Multimedia) ทั้งในรูปแบบของตัวอักษร และภาพเคลื่อนไหวประกอบคำบรรยาย เพื่อดึงดูดให้ผู้ใช้สามารถใช้เวลากับการเรียนจากแอปพลิเคชันได้นาน รวมทั้งออกแบบเกมตัวต่อปริศนา (Puzzle game) ให้ผู้ใช้ได้ทดสอบความรู้ที่ได้เรียนมา พร้อมกับได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลินไปพร้อมกันด้วย สำหรับเนื้อหาที่น่าสนใจในแอปพลิเคชันนี้คือสวิตช์นั้น ผู้พัฒนาเลือกสอนความรู้พื้นฐานของโครงสร้างภาษาสวิตช์ 3 เรื่อง ซึ่งประกอบด้วย เรื่องตัวแปร (Variable) เรื่องการเขียนเงื่อนไข (Conditional statement) และเรื่องคำสั่งทำซ้ำ (Looping statement) สำหรับเกมตัวต่อปริศนานั้น ผู้พัฒนาออกแบบให้ครอบคลุมเนื้อหาที่น่าสนใจทั้ง 3 เรื่องข้างต้น แบ่งเป็น 6 ระดับความยาก ตามความซับซ้อนของโครงสร้างโปรแกรม ในการทดสอบคุณภาพของการออกแบบแอปพลิเคชันนี้ ผู้พัฒนาได้เชิญผู้ใช้งานจำนวน 30 คน มาทดลองใช้แอปพลิเคชัน และเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ โดยประเมินคุณภาพทั้งสิ้น 5 ด้าน ประกอบไปด้วย ด้านการเรียนรู้ ด้านประสิทธิภาพ ด้านประสิทธิผล ด้านความน่าเชื่อถือในการใช้งาน และด้านความพึงพอใจในการใช้งาน ผลการวิจัยด้านการออกแบบ และการเลือกกิจกรรมการเรียนรู้ ของ แอปพลิเคชันนี้สวิตช์สามารถใช้เป็นต้นแบบในการออกแบบโมบายเลิร์นนิงเชิงโต้ตอบได้

บททวนวรรณกรรม

โมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) คือโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต เพื่อตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ของผู้ใช้ เช่น การคำนวณ ความบันเทิง การศึกษา การติดต่อสื่อสาร และการตกแต่งภาพ เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมได้โดยไม่ต้องเข้าผ่านเว็บเบราว์เซอร์ บางแอปพลิเคชันจึงสามารถทำงานได้ถึงแม้อุปกรณ์ของผู้ใช้ไม่ได้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต การใช้

ประโยชน์ของโมบายแอปพลิเคชันแบบหนึ่ง คือ เพื่อการศึกษา หรือที่เรียกว่า โมบายเลิร์นนิง (Mobile learning) หรือ เอ็ม-เลิร์นนิง (M-learning) ถึงแม้ว่าการนำเอาอุปกรณ์ เช่น โทรศัพท์สมาร์ทโฟน ที่ออกแบบมาเพื่อประโยชน์ด้านการสื่อสารเป็นหลัก มาใช้ในการศึกษาจะทำให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา แต่การออกแบบโมบายแอปพลิเคชันนั้นถือเป็นความท้าทายของนักพัฒนา เนื่องจากขนาดของหน้าจอ ความละเอียดของการแสดงผล และหน่วยความจำที่มีขนาดเล็กกว่าคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Grant, 2019) ดังนั้น การนำเสนอเนื้อหาความรู้จึงควรอยู่ในรูปแบบสื่อประสม โดยมีภาพเคลื่อนไหวเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้ใช้ ให้อยู่กับการเรียนบนหน้าจอขนาดเล็ก และในขณะที่ไม่ได้อยู่ในสิ่งแวดล้อมของห้องเรียนปกติ (Georgiev, Georgieva, & Smrikarov, 2004)

ภาษาสวิตช์ (Swift language) เป็นภาษาซึ่งได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Apple เพื่อใช้ในการสร้างแอปพลิเคชันสำหรับระบบปฏิบัติการ iOS และ OS X ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของบริษัท Apple ทั้งคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (iMac) โทรศัพท์สมาร์ทโฟน (iPhone) แท็บเล็ต (iPad) และนาฬิกา (Apple watch) (Apple Developer, 2020) ก่อนที่จะมีภาษาสวิตช์การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของบริษัท Apple ใช้ภาษาออบเจกทีฟ ซี (Objective-C) แต่ด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ ภาษาออบเจกทีฟ ซี ที่ถูกใช้มายาวนานกว่า 30 ปี ไม่สามารถรองรับเทคโนโลยีรุ่นใหม่ได้ บริษัทจึงพัฒนาภาษาสวิตช์ขึ้นมาเพิ่ม ถึงแม้ภาษาทั้งสองจะมีรูปแบบของภาษา (Syntax) แตกต่างกัน แต่ทั้งสองภาษายังสามารถทำงานร่วมกันได้ (García et al., 2015) ภาษาสวิตช์เป็นโอเพนซอร์ส และได้รับความนิยมจากนักพัฒนาแอปพลิเคชัน เนื่องจากเป็นภาษาที่มีคุณภาพสูง และง่ายต่อการพัฒนา โดยได้รวบรวมข้อดีของภาษาคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ เช่น การไม่ต้องมีเครื่องหมายอัฒภาค (Semicolon) ในโปรแกรม การมี Type inference ทำให้ผู้พัฒนาไม่ต้องประกาศประเภทของตัวแปรทุกประเภท เป็นต้น ทำให้ลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดจากการพิมพ์โปรแกรมได้ (Goodwill & Matlock, 2015)

ในปัจจุบันมีแอปพลิเคชันจำนวนมากสอนภาษาคอมพิวเตอร์ และโครงสร้างของภาษาโดยใช้การเขียนโปรแกรมเชิงจินตภาพ หรือบล็อกคำสั่ง (Block programming) สำหรับฝึกเขียนโค้ดได้ด้วยวิธีการลากบล็อกมาวางต่อ ๆ กันจนเป็นโปรแกรม ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้การเขียนโปรแกรมในรูปแบบที่ง่ายขึ้น เนื่องจากผู้เรียนไม่ต้องสนใจกับไวยากรณ์ เช่น การพิมพ์คำสั่งให้ถูกต้องทุกตัวอักษร แต่โปรแกรมเชิงจินตภาพเน้นไปที่การพัฒนาตรรกะ และทักษะในการแก้ปัญหาของผู้เรียน (วีระพงษ์ & มานิตย์, 2020). ซึ่งเมื่อผู้เรียนเคยชินกับโครงสร้างของการเขียนโปรแกรม และเข้าใจวิธีการแก้ปัญหาด้วยการเขียนโปรแกรมเชิงจินตภาพแล้วจะทำให้สามารถต่อยอดไปเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์โดยตรง (Text-Based Programming) ด้วยตนเองได้ต่อไป นอกจากนี้ Weinrop & Wilensky (2017) พบว่าการสอนเขียนโปรแกรมเชิงจินตภาพช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนให้ความสนใจต่อการเขียนโปรแกรมมากกว่าการสอนเขียนโปรแกรมโดยตรงแบบ Text-Based Programming ด้วย

โปรแกรมที่ถือว่าเป็นผู้บุกเบิกด้านการเขียนโปรแกรมเชิงจินตภาพ คือ โปรแกรม Scratch ซึ่งเป็นโปรแกรมสร้างชิ้นงานอย่างง่ายด้วยการนำชุดคำสั่งรูปแบบบล็อกมาประกอบเข้าด้วยกันจนเกิดคำสั่งการทำงาน

ผู้ใช้อย่างสามารถสร้างภาพเคลื่อนไหว เกม วิดีโอ เพลง สื่อการเรียนรู้ หรือจำลองสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วย โดยภายในโปรแกรมจะมีตัวละครในการดำเนินเนื้อเรื่องให้ผู้เลือกใช้มากมาย (Maloney et al., 2010) ผู้คิดค้นโปรแกรม Scratch คือ Mitchel Resnick เคยกล่าวไว้ว่า Scratch ไม่ใช่เพียงการเรียนรู้วิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ผู้เรียนกำลังเรียนรู้ที่จะคิดสร้างสรรค์คิดเชิงเหตุผลอย่างเป็นระบบด้วย ในปัจจุบันนอกจากโปรแกรม Scratch แล้วยังมีโปรแกรมอื่น ๆ เช่น Swift Playground, Coder MiP และ Blockly ซึ่งผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเชิงจินตภาพได้

Swift Playground เป็นโมบายแอปพลิเคชันที่สอนโครงสร้างภาษา และการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Swift อย่างง่ายโดยจะใช้กราฟิกที่สวยงาม ออกแบบในรูปแบบเกมให้ผู้เล่นเกมเลือกตัวต่อ (Jigsaw) เพื่อบังคับตัวละครให้ทำตามคำสั่ง และในระดับสูงขึ้นจะเพิ่มการพิมพ์โค้ดด้วยคีย์บอร์ดเข้ามาเพื่อให้ผู้เล่นได้ฝึกฝนทักษะในการเขียนโปรแกรมด้วยตัวเอง สำหรับข้อดีของ Swift Playground คือมีระดับการเรียนรู้ให้เลือกตั้งแต่ระดับเริ่มต้น กลาง และมีอาชีพ มีเสียงประกอบ มีกราฟิกที่สวยงาม มีภาษาไทยให้เลือกใช้ (Apple Inc. Thailand, 2020) สำหรับ Coder MiP เป็น โมบายแอปพลิเคชัน ที่ใช้ฝึกเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งการเขียนโปรแกรมใช้วิธีลากและวาง ผู้ใช้สามารถนำตัวบล็อกมาวางเรียงต่อกันเพื่อเขียนโปรแกรมในการสั่งงานหุ่นยนต์ ผู้ใช้สามารถฝึกการเขียนโปรแกรมได้ทั้งบนแท็บเล็ต และโทรศัพท์สมาร์ทโฟน เนื่องจากผู้ใช้งานสามารถเห็นผลการเขียนโปรแกรมได้จากปฏิกิริยาของหุ่นยนต์ แอปพลิเคชันนี้จึงทำให้ผู้ใช้เกิดความเพลิดเพลิน และส่งเสริมให้ผู้ใช้ฝึกหัดเขียนโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง (Wowwee Group Limited, 2020) สำหรับ Blockly ไม่ได้เป็นโมบายแอปพลิเคชัน แต่เป็นเครื่องมือพัฒนาโปรแกรมเชิงจินตภาพโดยใช้ตัวต่อ (jigsaw) แทนการเขียนคำสั่งด้วยตัวเอง และนำตัวต่อนั้นมาเรียงต่อกันตามเงื่อนไขที่ต้องการ Blockly พัฒนาโดย Google for Education และเปิดให้ผู้ใช้ทดลองใช้โดยไม่คิดค่าบริการบนเว็บไซต์ของ Google หรือผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดไปติดตั้งบนเว็บไซต์ของตนเองได้ Blockly ช่วยให้ผู้ฝึกเขียนชุดคำสั่งมากมาย เช่น นิพจน์ สูตรทางคณิตศาสตร์ ตัวแปร ฟังก์ชัน และคำสั่งทำซ้ำ เป็นต้น (Google Developer, 2020)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันเชิงโต้ตอบที่ใช้สอนโครงสร้างภาษาสวิตช์เบื้องต้นให้กับผู้สนใจเรียนรู้บนสมาร์ตโฟน
2. เพื่อศึกษาว่าการออกแบบเนื้อหาการเรียนด้วยสื่อประสมทั้งตัวอักษร และภาพเคลื่อนไหวรวมถึงกิจกรรมการเรียนรู้เชิงโต้ตอบในรูปแบบของตัวต่อบนสมาร์ตโฟนมีคุณภาพในการให้ความรู้กับผู้ใช้ได้หรือไม่

วิธีดำเนินการวิจัย

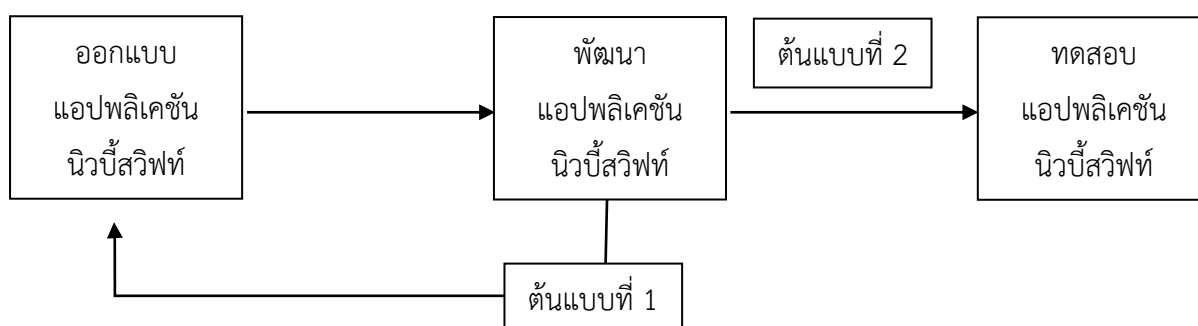
สำหรับกระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันนิตีส์สวิตช์ และการทดสอบคุณภาพของการออกแบบ และ

กิจกรรมการเรียนรู้ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ (ดังภาพที่ 1)

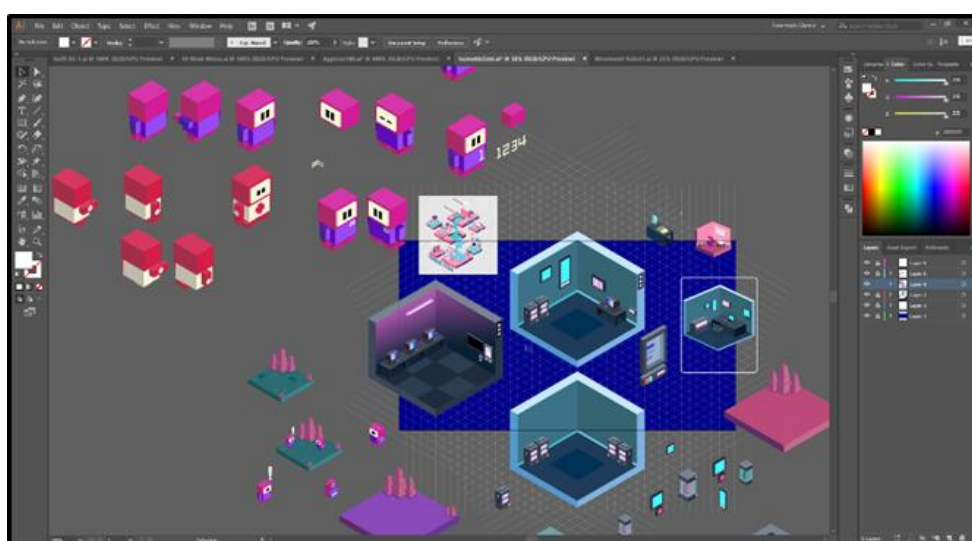
- ขั้นตอนการออกแบบแอปพลิเคชันนิวบีสวิฟท์: ทั้งส่วนขอเนื้อหาที่จะนำเสนอ รูปแบบของกิจกรรม เกมปริศนา โจทย์ของกิจกรรม ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User interface) องค์ประกอบกราฟิกต่าง ๆ เช่น ไอคอน ตัวละครหลัก ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว (ดังภาพที่ 2) โดยการออกแบบได้คำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนา โนบายแอปพลิเคชัน

- ขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันนิวบีสวิฟท์: โดยผู้พัฒนาเลือกพัฒนาด้วยโปรแกรม Xcode ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS และ OS X ตามความเชี่ยวชาญ ทำให้แอปพลิเคชันที่พัฒนาเป็นเนทีฟแอปพลิเคชัน (Native application) ซึ่งสามารถใช้งานในระบบปฏิบัติการ iOS ได้เท่านั้น ไม่สามารถทำการติดตั้งลงบนระบบปฏิบัติการอื่น ๆ เช่น Android ได้ การพัฒนานิวบีสวิฟท์ ดำเนินการทั้งสิ้น 2 รอบ ในรอบแรกเป็นการศึกษานำร่องซึ่งผู้พัฒนาได้นำต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการออกแบบ และในรอบที่สองผู้พัฒนาได้นำต้นแบบไปทดสอบคุณภาพกับผู้ใช้งานจริง

- ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพเชิงปริมาณของแอปพลิเคชันนิวบีสวิฟท์ และสรุปผลการศึกษา



ภาพที่ 1: กระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันนิวบีสวิฟท์



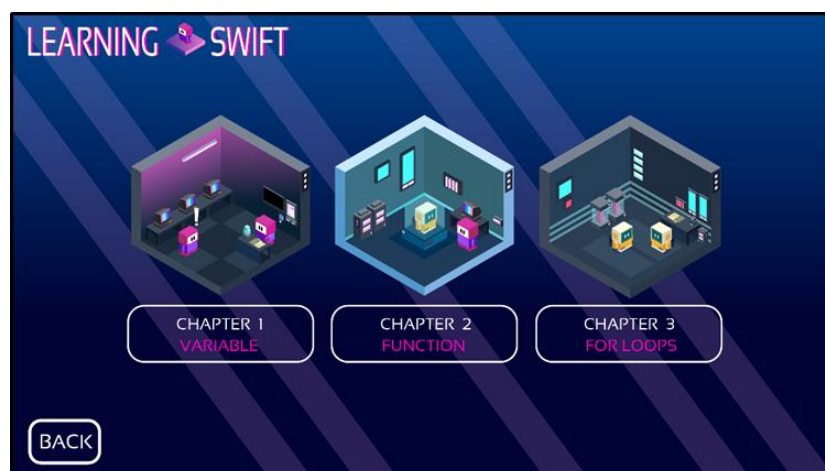
ภาพที่ 2: การออกแบบองค์ประกอบกราฟิกของแอปพลิเคชันนิวบีสวิฟท์

แอปพลิเคชันนิวิบีสวิฟท์นั้นประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันหลัก คือ ฟังก์ชันนำเสนอเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของภาษาสวิตช์เบื้องต้น 3 เรื่อง คือ เรื่องตัวแปร เรื่องคำสั่งเงื่อนไข และคำสั่งทำซ้ำ และฟังก์ชันเกมตัวต่อปริศนาซึ่งมี 6 ระดับความยากตามความซับซ้อนของโครงสร้างโปรแกรม ภาพที่ 3 แสดงฟังก์ชันหลักของแอปพลิเคชันนิวิบีสวิฟท์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันใดก่อนก็ได้ ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม LEARNING SWIFT เพื่อไปยังเรียนหน้าเรียนรู้ หรือกดปุ่ม NEWBIE SWIFT PUZZLES เพื่อไปยังหน้าเล่นเกมตัวต่อปริศนา



ภาพที่ 3: ฟังก์ชันหลักของแอปพลิเคชันนิวิบีสวิฟท์

เมื่อผู้ใช้เลือกฟังก์ชัน LEARNING SWIFT ผู้ใช้จะพบเนื้อหาที่สอนในแอปพลิเคชันนิวิบีสวิฟท์ทั้ง 3 เรื่อง (ดังภาพที่ 4) โดยผู้ใช้สามารถเลือกเรียนเรื่องใดก่อนก็ได้ และสามารถเลือกกลับมาที่เมนูหลักเพื่อเปลี่ยนไปทำงานฟังก์ชันเกมปริศนาได้เช่นกัน สำหรับเนื้อหาที่นำเสนอที่ผู้พัฒนาเลือกใช้สื่อประสม คือตัวอักษร และภาพเคลื่อนไหว (.gif) ประกอบกันเพื่อดึงดูดผู้ใช้ให้อยู่กับกิจกรรมการเรียนรู้ได้นาน (ดังภาพที่ 5)

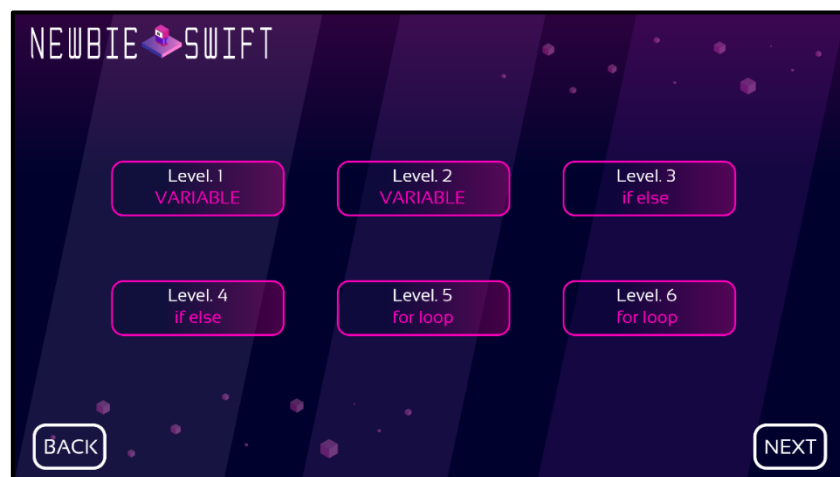


ภาพที่ 4: ฟังก์ชัน LEARNING SWIFT



ภาพที่ 5: ตัวอย่างเนื้อหาที่นำเสนอเรื่องคำสั่งทำซ้ำ

เมื่อผู้ใช้เลือกฟังก์ชัน NEWBIE SWIFT PUZZLE ผู้ใช้จะพบกับเกมตัวต่อปริศนา ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาที่ได้เรียนมาจากฟังก์ชัน LEARNING SWIFT แบ่งระดับความยากออกเป็น 6 ระดับ (ดังรูปที่ 6): ระดับที่ 1 – 2 เป็นเกมตัวต่อปริศนาเรื่องตัวแปร ระดับที่ 3 – 4 เป็นเกมตัวต่อปริศนาเรื่องคำสั่งเงื่อนไข และระดับที่ 5 – 6 เป็นเกมตัวต่อปริศนาเรื่องคำสั่งวนซ้ำ ผู้ใช้สามารถเลือกเล่นเกมใดก่อนก็ได้ และสามารถย้อนกลับไปฟังก์ชัน LEARNING SWIFT เพื่อทบทวนเนื้อหาที่นำเสนออีกครั้งได้เช่นกัน



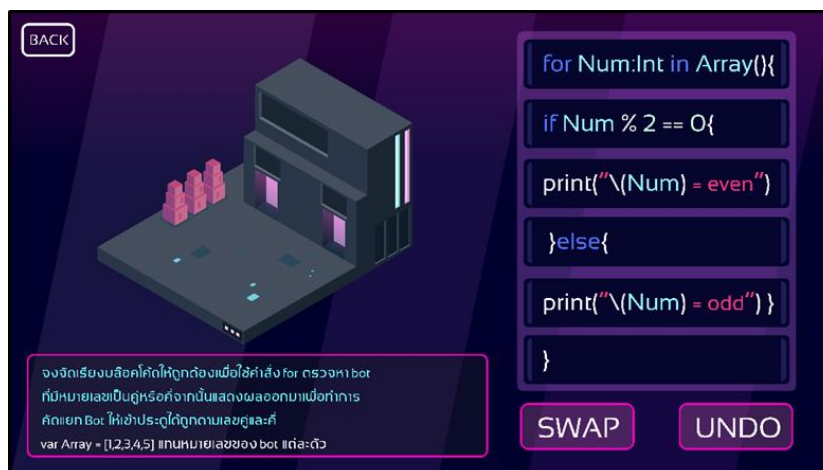
ภาพที่ 6: ตัวเลือก 6 ระดับของฟังก์ชัน NEWBIE SWIFT PUZZLES

ในแต่ละระดับของเกมตัวต่อปริศนาผู้ใช้จะได้รับโจทย์ เช่น ในเกมตัวต่อปริศนาระดับที่ 1 เรื่องตัวแปร ผู้ใช้ต้องจัดเรียงตัวต่อชิ้นส่วนโปรแกรมให้ถูกต้อง ซึ่งภายในโจทย์กำหนดไว้ว่าให้ผู้ใช้จัดเรียงตัวต่อให้ถูกต้อง

เพื่อทำการเรียกหุ่นยนต์หมายเลข 22 มาเติมพลัง ซึ่งหมายความว่าผู้เล่นจะต้องจัดเรียงตัวต่อให้แสดงหมายเลข 22 ออกทางหน้าจอ (ดังภาพที่ 7) และในเกมตัวต่อปริศนาระดับที่ 6 โจทย์กำหนดไว้ว่าให้จัดเรียงตัวต่อให้ถูกต้องเพื่อใช้คำสั่ง for loop และ if else ในการตรวจหา bot ที่มีหมายเลขคู่หรือคี่จากนั้นแสดงผลออกมาเพื่อทำการคัดแยก bot ให้เข้าประตูตามเลขคู่และเลขคี่ (ดังภาพที่ 8) เมื่อผู้เล่นจัดเรียงโครงสร้างของโปรแกรมได้ถูกต้องตามลำดับจะมีข้อความแจ้งเตือน (Up-up box) ขึ้นมาเพื่อแจ้งว่าผู้ใช้ขณะเกมตัวต่อปริศนาเรียบร้อยแล้ว และจะมีปุ่มเล่นภาพเคลื่อนไหวให้ผู้ใช้กดเพื่อดูการแสดงผลของโปรแกรม



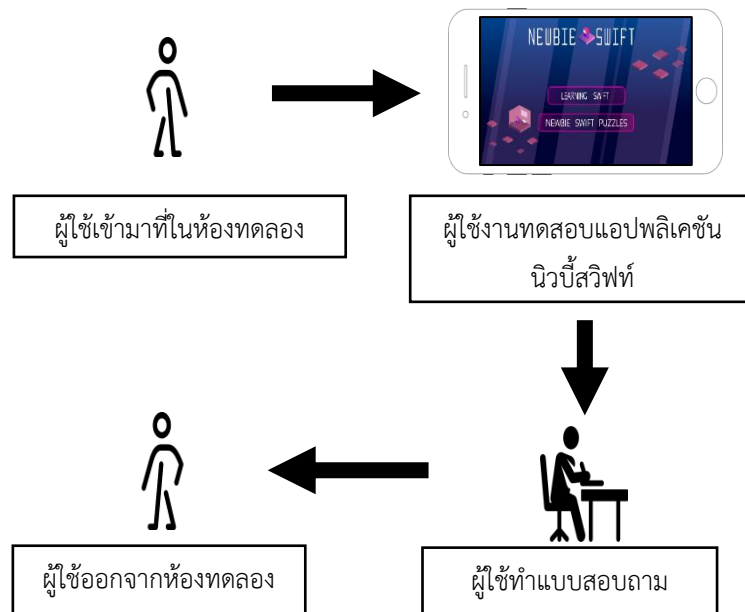
ภาพที่ 7: ตัวอย่างเกมตัวต่อปริศนาระดับที่ 1 เรื่องตัวแปร



ภาพที่ 8: ตัวอย่างเกมตัวต่อปริศนาระดับที่ 6 เรื่องคำสั่งทำซ้ำ และคำสั่งตัวเลือก

แอปพลิเคชันนิวิปัสวิฟท์ได้รับการตรวจสอบคุณภาพเชิงปริมาณจากผู้ใช้จำนวน 30 คน โดยผู้พัฒนาได้เชิญผู้ใช้มาที่ห้องทดลอง เพื่อทดลองใช้งานแอปพลิเคชันนิวิปัสวิฟท์ โดยให้ผู้ทดลองใช้สมาร์ทโฟนซึ่งได้ลงแอปพลิเคชันนิวิปัสวิฟท์ไว้เรียบร้อยแล้ว ผู้พัฒนาได้แจ้งถึงฟังก์ชันการทำงานให้ผู้ใช้ทราบล่วงหน้า หลังจากผู้ใช้ทดลองใช้แอปพลิเคชันนิวิปัสวิฟท์เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้จะตอบแบบสอบถาม หลังจากทำแบบสอบถามเสร็จ

เรียบร้อยแล้วจึงเดินออกจากห้องเพื่อให้ผู้ใช้งานอื่นเข้ามาทดลองแอปพลิเคชันนิวบีส์วิฟต์ต่อไป ภาพที่ 9 แสดงกระบวนการทดสอบคุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีส์วิฟต์



ภาพที่ 9: กระบวนการทดสอบคุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีส์วิฟต์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาทดสอบแอปพลิเคชันนิวบีส์วิฟต์ และให้ข้อมูลด้วยการตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 30 คน เป็นเพศชายจำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาเป็นเพศหญิงจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40 ผู้ใช้ส่วนมากมีอายุระหว่าง 21-25 ปี จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 83.3 รองลงมาเป็นอายุระหว่าง 15-20 ปี จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 16.7 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เรียนอยู่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม จำนวน 29 คน คิดเป็นร้อยละ 96.7

ผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้โมบายแอปพลิเคชันเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ในระดับปานกลาง จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมา คือ ใช้ในระดับมาก จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.7

จากข้อมูลข้างต้นผู้ใช้ที่เข้ามาในห้องทดลองเพื่อทดลองใช้แอปพลิเคชันนิวบีส์วิฟต์อยู่ในวัยกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี และศึกษาอยู่ในคณะที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยี จึงมีความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้จะมีทักษะเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เบื้องต้น และจากการสำรวจพบว่าผู้ใช้มีความคุ้นเคย และมีประสบการณ์ในการใช้โมบายเลิร์นนิ่ง

ส่วนที่ 2 ความสนใจ และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาษาสวิตช์

จากการสำรวจความสนใจในการเรียนรู้ภาษาสวิตช์พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่สนใจการเรียนรู้ภาษาสวิตช์

ในระดับปานกลาง จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาได้แก่ มีความสนใจการเรียนรู้ภาษาสวิตช์ในระดับมาก จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 36.7 มีความสนใจการเรียนรู้ภาษาสวิตช์มากที่สุด จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 มีความสนใจการเรียนรู้ภาษาสวิตช์ในระดับน้อย จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 มีความสนใจการเรียนรู้ภาษาสวิตช์ในระดับน้อยที่สุด จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.3

ผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับภาษาสวิตช์ในระดับปานกลาง จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาได้แก่ มีความรู้เกี่ยวกับภาษาสวิตช์ในระดับมาก จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 36.7 มีความรู้เกี่ยวกับภาษาสวิตช์ในระดับมากที่สุด จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 มีความรู้เกี่ยวกับภาษาสวิตช์ในระดับน้อย จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10 และมีความรู้เกี่ยวกับภาษาสวิตช์ในระดับน้อยที่สุด จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.3

จากข้อมูลข้างต้นผู้ใช้ที่เข้ามาในห้องทดลองเพื่อทดลองใช้แอปพลิเคชันนิวบีสวิตช์ส่วนมากมีความสนใจในการเรียนรู้ภาษาสวิตช์ และมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาษาสวิตช์อยู่ในระดับปานกลางถึงมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในส่วนที่ 1 ว่าผู้ใช้เป็นนักศึกษาที่มาจากคณะที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยี และน่าจะมีพื้นฐานความรู้ และทักษะด้านการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น

ส่วนที่ 3 คุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีสวิตช์เชิงปริมาณ

ใช้การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

การสำรวจคุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีสวิตช์ แบ่งออกเป็น 5 ด้าน ดังนี้

- ด้านที่ 1 ด้านการเรียนรู้ (Learnability)
- ด้านที่ 2 ประสิทธิภาพ (Efficiency)
- ด้านที่ 3 ด้านประสิทธิผล (Effectiveness)
- ด้านที่ 4 ด้านความน่าเชื่อถือในการใช้งาน (Reliability)
- ด้านที่ 5 ความพึงพอใจในการใช้งาน (Satisfaction)

เกณฑ์การแปลค่าเฉลี่ยความเห็นทั้ง 5 ระดับ กำหนดเกณฑ์ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดหรือเห็นด้วยอย่างยิ่ง
- ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากหรือเห็นด้วย
- ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลางหรือปกติ
- ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยหรือไม่เห็นด้วย
- ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุดหรือไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ตารางที่ 1: ค่าเฉลี่ยคุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์ทั้ง 5 ด้าน

ดัชนีวัดคุณภาพของแอปพลิเคชัน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	แปลผล
1. ด้านการเรียนรู้	3.50	0.60	ปานกลาง
2. ด้านประสิทธิภาพ	3.59	0.55	มาก
3. ด้านประสิทธิผล	4.02	0.58	มาก
4. ด้านความน่าเชื่อถือในการใช้งาน	3.93	0.59	มาก
5. ด้านความพึงพอใจในการใช้งาน	3.80	0.83	มาก
เฉลี่ย	3.77	0.63	มาก

จากข้อมูลในตารางที่ 1 คุณภาพของแอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์ด้านประสิทธิผล และด้านความน่าเชื่อถือในการใช้งาน เป็นด้านที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้สูงสุด ในขณะที่คุณภาพด้านการเรียนรู้เป็นคุณภาพด้านเดียวที่ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง และมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยที่สุดจากการวัดคุณภาพทุกด้าน เนื่องมาจากการที่ผู้ใช้มีความรู้พื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น ทำให้ผู้ใช้รู้สึกว่าไม่ได้รับความรู้ใหม่ ๆ เกี่ยวกับภาษาสวีฟท์ตามความคาดหวัง ดังนั้นเนื้อหาที่น่าสนใจในแอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์นี้อาจจะเหมาะสำหรับผู้ทั่วไปที่ไม่มีความรู้พื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรม และการเตรียมเนื้อหาเพื่อนำเสนอให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้สามารถยกระดับคุณภาพของแอปพลิเคชันได้

สรุป

แอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์ถูกพัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการ iOS เพื่อให้ความรู้กับผู้ใช้ทั่วไปที่ต้องการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของภาษาสวีฟท์ในระดับเบื้องต้น แอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์เป็นโมบายล์เรียนนิ่งมีฟังก์ชันให้ความรู้กับผู้ใช้ทั้งสิ้น 2 ฟังก์ชันหลัก คือ ฟังก์ชันนำเสนอเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างภาษาสวีฟท์เบื้องต้น ซึ่งสอนเรื่องตัวแปร คำสั่งเงื่อนไข และคำสั่งทำซ้ำ และฟังก์ชันเกมตัวต่อปริศนา ซึ่งผู้ใช้ต้องสลับลำดับของโปรแกรมเพื่อประกอบโครงสร้างของโปรแกรมให้ถูกต้อง ก่อนการพัฒนาแอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์ผู้พัฒนาได้ศึกษาโปรแกรม และแอปพลิเคชันที่มีฟังก์ชันใกล้เคียงเพื่อหาต้นแบบที่มีคุณภาพ ในขั้นตอนการพัฒนาแอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์นั้นผู้พัฒนาได้พัฒนาต้นแบบทั้งสิ้น 2 รอบ โดยต้นแบบที่ 1 ผู้พัฒนาได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ และทำการปรับปรุงคุณภาพด้านการออกแบบ ก่อนที่จะพัฒนาต้นแบบที่ 2 เพื่อนำไปให้ผู้ใช้งานทดลองใช้จริง จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณพบว่าผู้ใช้ประเมินคุณภาพให้แอปพลิเคชันนิวบีสวีฟท์เฉลี่ย 3.77 อยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะในด้านประสิทธิผลซึ่งเป็นด้านที่ผู้ใช้มีความพึงพอใจสูงสุด (ผู้ใช้มีความพึงพอใจ

4.02 อยู่ในระดับมาก) อย่างไรก็ตามผู้พัฒนาพบว่าผู้ที่มีความพึงพอใจด้านการเรียนรู้จากแอปพลิเคชันนิเวศวิทย์ อยู่ในระดับปานกลาง และเป็นด้านที่ได้รับคะแนนประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้น้อยที่สุด ด้านการเรียนรู้จึงเป็นด้านที่แอปพลิเคชันนิเวศวิทย์ต้องได้รับการพัฒนา โดยเฉพาะการเลือกเนื้อหาที่น่าสนใจในแอปพลิเคชันนั้น จะต้องเหมาะสมกับระดับความรู้ ทักษะ และความสนใจของผู้ใช้

เอกสารอ้างอิง

- วีระพงษ์ จันทรเสนา, & มานิตย์ อาชานอก. (2020). ผลการเรียนรู้แบบผสมผสานโดยใช้โปรแกรมเชิงจินตภาพ ที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความสามารถการเขียนโปรแกรมสำหรับ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. *Journal of Legal Entity Management and Local Innovation*, 6(2), 1-13.
- Apple Developer (2020). Swift the powerful programming language that is also easy to learn. Retrieved January 5, 2020, from <https://developer.apple.com/swift/>
- Apple Inc. Thailand. (2020). Swift Playgrounds เรียนเขียนโค้ดแบบจริงจัง ด้วยวิธีที่สนุกจริงจัง. Retrieved May 15, 2020, from <https://www.apple.com/th/swift/playgrounds/>
- García, C. G., Espada, J. P., Bustelo, B. C. P. G., & Lovelle, J. M. C. (2015). Swift vs. objective-c: A new programming language. *IJIMAI*, 3(3), 74-81.
- Georgiev, T., Georgieva, E., & Smrikarov, A. (2004). M-learning-a New Stage of E-Learning. In *International conference on computer systems and technologies-CompSysTech* (Vol. 4, No. 28, pp. 1-4).
- Goodwill, J., & Matlock, W. (2015). The swift programming language. In *Beginning Swift Games Development for iOS* (pp. 219-244). Apress, Berkeley, CA.
- Google Developer (2020). Blockly A JavaScript library for building visual programming editors. Retrieved May 1, 2020, from <https://developers.google.com/blockly/>
- Grant, M. M. (2019). Difficulties in defining mobile learning: analysis, design characteristics, and implications. *Educational Technology Research and Development*, (2)67, .388-361
- Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 10(4), 1-15.



Weintrop, D., & Wilensky, U. (2017). Comparing block-based and text-based programming in high school computer science classrooms. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 18(1), 1-25.

Wowwee Group Limited (2020). Coder MiP The new programmable version of the world's favorite balancing robot. Retrieved May 10, 2020, from <https://wowwee.com/coder-mip>

ระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชัน

ROBOTIC WAITER PERFORMANCE MONITORING SYSTEM ON WEB APPLICATION

สิรินธร จิยาศักดิ์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
*Corresponding author, E-mail: Sirinthorn.c@bu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถจัดการข้อมูลสมาชิก จัดการข้อมูลสาขาร้านอาหาร จัดการข้อมูลหุ่นยนต์ การดึงข้อมูลและแปลงข้อมูลจากหุ่นยนต์ร้านอาหารไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อการติดตามการทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารและการแสดงรายงานการทำงานของหุ่นยนต์ ผลการทดลองพบว่าระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชันนี้สามารถจัดการข้อมูลสมาชิก จัดการข้อมูลสาขา สามารถดึงและแปลงข้อมูลจากหุ่นยนต์เสิร์ฟตามสาขาผ่านเว็บแอปพลิเคชันมาเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์ รายการอาหารขายดี ในลักษณะของตาราง กราฟวงกลม และกราฟแท่ง แบบออนไลน์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ไม่ต้องเสียเวลาในการเดินทางเพื่อไปเก็บข้อมูลจากหุ่นยนต์ตามสาขา ทำให้ประหยัดงบประมาณในการเดินทางได้ถึงร้อยละ 80 และจากการนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานด้วยแบบประเมินความพึงพอใจจำนวน 30 คน พบว่าผลประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับดีมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58

คำสำคัญ: ระบบสังเกตการณ์, เว็บแอปพลิเคชัน, หุ่นยนต์เสิร์ฟอาหาร

ABSTRACT

This research has the purpose to develop robotic waiter performance monitoring system on web application which can manage member data, manage restaurant branch data, manage robot data, and retrieve data and transform data from restaurant robot to server in order to monitor the robot waiter performance and present the report of the robot performance. Research results found that this robotic waiter performance monitoring system on web application could manage member data, manage restaurant branch data, and could retrieve and transform data from robot waiter from each restaurant branch through web application to store on the server in order to take the data to analyze and present the working performance of the robot and the best seller food list inform of table, pie graph, and bar graph online through web application conveniently and promptly, did not need to travel to collect data from the robot at every branch. This save budget of travelling cost up to 80 percent and by taking evaluation results to analyze with basic statistics, based on 30 participant evaluations, found that satisfactory evaluation from the user was in very good level with an average score of 4.58.

Keywords: Monitoring System, Web Application, Robotic Waiter

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก หากธุรกิจ อุตสาหกรรม หรือองค์กรในแวดวงต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษา การทำธุรกรรมการเงิน การค้าขาย เป็นต้น มีการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ย่อมส่งผลให้การทำงานมีความสะดวก รวดเร็ว มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลยังเป็นส่วนหนึ่งในปัจจุบันนับได้ว่ามีความสำคัญเกี่ยวกับการทำธุรกิจสินค้าหรือบริการของลูกค้าเป็นอย่างมาก หากมีการนำข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจมาวิเคราะห์ กลั่นกรอง ทำให้สามารถนำเอาข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ทำให้การทำงาน ทำธุรกิจ หรืออื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่การนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ในองค์กร หรือธุรกิจ จะต้องคำนึงถึงบุคลากรที่ต้องมีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศจากงานวิจัยของศิริวัฒน์ (2558) พบว่าปัญหาและอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในองค์กรคือความรู้และทักษะด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศของบุคลากรไม่เพียงพอ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับธุรกิจร้านอาหารที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารสำหรับสั่งอาหารและหุ่นยนต์สำหรับเสิร์ฟอาหารที่มีการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานได้แก่ การจัดการสมาชิก การดึงข้อมูลและแปลงข้อมูลจากหุ่นยนต์ร้านอาหารไปยังเซิร์ฟเวอร์ การเรียกดูข้อมูลและแสดงรายงานการทำงานของหุ่นยนต์ร้านอาหาร การจัดการสาขาและเรียกดูข้อมูลหุ่นยนต์ของสาขา

บททวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลผลงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีเพื่อมาประยุกต์ใช้สำหรับการเรียนการสอนแบบออนไลน์เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์และศึกษาสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

การพัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานระบบเครือข่ายและอุณหภูมิห้องแม่ข่าย (ถนอม กองใจ, 2562)

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบสถานะของการทำงานของระบบเครือข่ายและอุณหภูมิภายในห้องแม่ข่าย เพื่อติดตามและสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดของเครื่องแม่ข่ายและอุปกรณ์เครือข่าย โดยใช้ภาษา PHP และการวัดอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์ DS18B20 โดยทดสอบกับระบบเครือข่ายที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจำนวน 12 เครื่อง อุปกรณ์เครือข่ายจำนวน 6 เครื่อง และอุปกรณ์กระจายสัญญาณแบบไร้สายจำนวน 8 เครื่อง พบว่าสามารถแสดงข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดดังกล่าว อีกทั้งสามารถตรวจสอบและแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ภายในเครือข่ายทั้งหมดได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ พร้อมทำการแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติไปยังผู้ดูแลระบบได้อย่างทันท่วงที ทำให้ช่วยลดงบประมาณ และการเก็บนำข้อมูลแสดงผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปวางแผนสำหรับแก้ปัญหา หรือสามารถนำข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หรือศึกษาพฤติกรรมการใช้งานข่ายระบบเครือข่าย

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามงานทุนวิจัยภายนอกของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ณัฐวรรณ ธรรมวัชรการ, 2560)

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบสำหรับติดตามผลการดำเนินงาน ติดตามงานของงานทุนวิจัยภายนอกแบบออนไลน์ด้วยภาษา PHP ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อทดแทนการทำงานเดิมที่ต้องใช้เวลาการติดตาม ค่าใช้จ่ายในการโทรศัพท์ และการส่งเอกสารที่มีความยุ่งยาก จากผลการวิจัยพบว่าระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามงานทุนวิจัยภายนอกแบบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง โดยผู้ใช้สามารถเข้าใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว ตรวจสอบความถูกต้อง ติดตามสถานะของทำงาน ติดตามผลการปฏิบัติงาน การแสดงรายงาน พร้อมสนับสนุนการติดตามงานทุนวิจัยได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

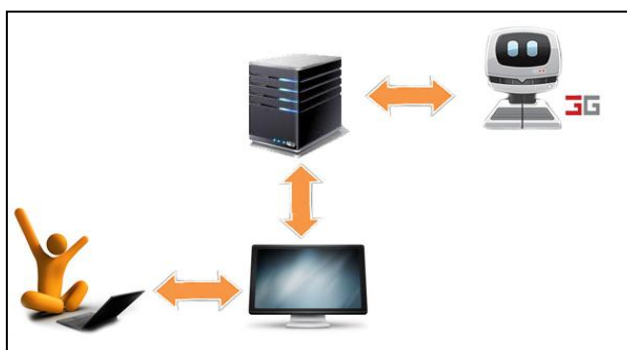
1. เพื่อพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับสังเกตการทำงานจากหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหาร
2. เพื่อศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลจากหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารมายังเซิร์ฟเวอร์
3. เพื่อเปรียบเทียบความประหยัดการเดินทาง และความพึงพอใจของผู้ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่ดึงจากหุ่นยนต์ร้านอาหารมายังเซิร์ฟเวอร์ และวิเคราะห์ข้อมูลจากหุ่นยนต์ร้านอาหารเพื่อนำเสนอในลักษณะของกราฟ ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยเพื่อนำผลที่ได้มาทำการศึกษาและสรุปผล 4 ฟังก์ชันงาน ได้แก่ 1) การจัดการสมาชิก 2) การดึงข้อมูลและแปลงข้อมูลจากหุ่นยนต์ร้านอาหารไปยังเซิร์ฟเวอร์ 3) การเรียกดูข้อมูลและแสดงรายงานการทำงานของหุ่นยนต์ร้านอาหาร และ 4) การจัดการสาขาและเรียกดูข้อมูลหุ่นยนต์ของสาขา ซึ่งมีขอบเขตการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการจากผู้จัดการร้านอาหาร และจากพนักงานร้านอาหารสาขาต่างๆ รวม 30 คน เพื่อให้ทราบถึงความต้องการการทำงานโดยรวมเพื่อนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในวิเคราะห์และออกแบบการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในขั้นตอนถัดไป รวมถึงศึกษาเครื่องมือสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันซึ่งการพัฒนาครั้งนี้ใช้ภาษา HTML5 และ PHP เป็นหลัก

2. การวิเคราะห์ระบบ จากข้อมูลระบบเดิมผู้วิจัยจะต้องเสียเวลาเดินทางไปเก็บรวบรวมข้อมูลจากหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารแต่ละสาขา ส่วนการเก็บข้อมูลของเว็บแอปพลิเคชันนี้จะสามารถดึงข้อมูลจากหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติได้ดังภาพ

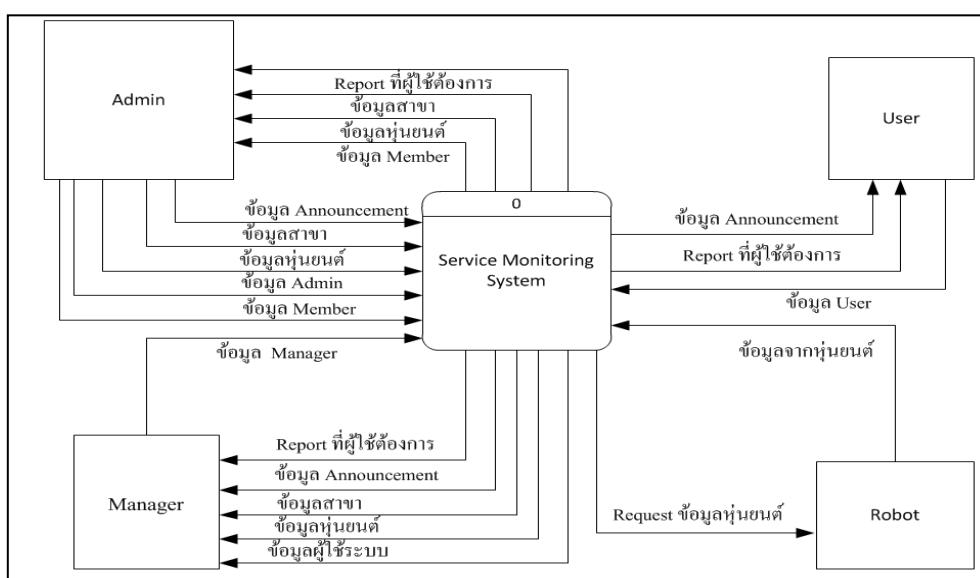


ภาพที่ 1: การดึงข้อมูลของหุ่นยนต์ไปยังเซิร์ฟเวอร์

จากภาพที่ 1 แสดงการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถดึงข้อมูลเพื่อนำข้อมูลจากหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารที่มีการติดตั้ง Air card 3G ที่ตัวหุ่นยนต์จะทำให้หุ่นยนต์แต่ละสาขาสามารถออนไลน์ได้และสามารถทำการเชื่อมต่อกับทางเซิร์ฟเวอร์ที่ทางผู้วิจัยได้จัดเตรียมไว้ เพื่อนำข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลของเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นก็นำข้อมูลจากในฐานข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันในรูปแบบของตารางหรือกราฟ

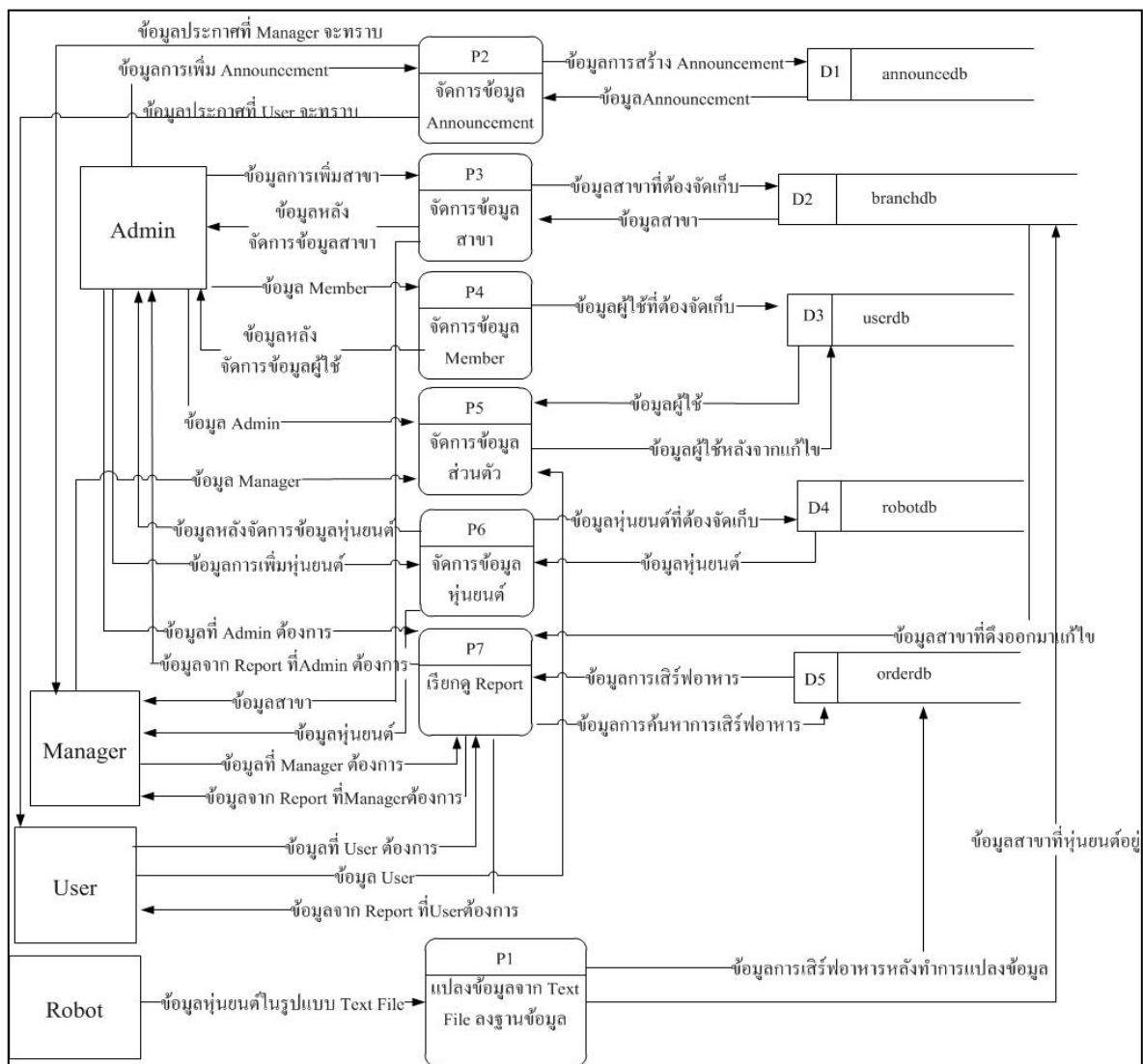
3. การออกแบบระบบ จากการรวบรวมข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์ถึงความต้องการของผู้ใช้ทำให้ผู้วิจัยได้ออกแบบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบแผนภาพการไหลของข้อมูล และการออกแบบหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้เป็นส่วนติดต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface)

3.1 การออกแบบแผนภาพการไหลของข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน โดยผู้วิจัยได้ศึกษาและออกแบบเพื่อให้เห็นถึงกระบวนการทำงานต่างๆ การนำเข้าข้อมูล การเรียกดูข้อมูล ของสมาชิกผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องในเว็บแอปพลิเคชันเป็น 2 ระดับ ดังภาพ



ภาพที่ 2: การออกแบบแผนภาพการไหลของข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน ระดับ 0

จากภาพที่ 2 แสดงการออกแบบแผนภาพการทำงานหลักและการไหลของข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน เริ่มจากผู้ดูแลระบบ (Admin) สามารถจัดการข้อมูลการจัดการหุ่นยนต์ การจัดการสาขา จัดการสมาชิก รายงานต่างๆ ส่วนผู้จัดการ (Manager) สามารถเรียกดูข้อมูลสมาชิก ข้อมูลหุ่นยนต์ทุกสาขา ข้อมูลของสาขาทั้งหมด รายงานการเสิร์ฟอาหารของหุ่นยนต์ ประกาศจาก Admin และแก้ไขข้อมูลส่วนตัว สำหรับผู้ใช้หรือพนักงานสามารถเรียกดูข้อมูลการเสิร์ฟอาหารของหุ่นยนต์ในสาขา สามารถดูประกาศจาก Admin และแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้



ภาพที่ 3: การออกแบบแผนภาพการไหลของข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน ระดับ 1

จากภาพที่ 3 แสดงกระบวนการทำงานและการไหลของข้อมูลภายในเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย 7 กระบวนการหลัก (Process) ได้แก่ 1) แปลงข้อมูลจาก Text File ลงฐานข้อมูล (P1) หุ่นยนต์ (Robot) จะทำการส่งข้อมูลการทำงานของหุ่นยนต์แต่ละสาขาเข้ามาเพื่อทำการแปลงข้อมูลลงไปเก็บในฐานข้อมูล 2) จัดการข้อมูลข่าวสาร (Announcement) (P2) ในส่วนของกระบวนการทำงานนี้ Admin จะสามารถ สร้าง แก้ไข และประกาศบทความไปยังผู้ใช้งานท่านอื่นๆ 3) จัดการข้อมูลสาขา (P3) ในส่วนของกระบวนการทำงานนี้ Admin จะสามารถเพิ่มข้อมูลสาขา แก้ไขข้อมูลสาขา และบันทึกเข้าระบบโดยจะเก็บไว้ในฐานข้อมูลที่กำหนด 4) จัดการข้อมูลสมาชิก (Member) (P4) ในส่วนของกระบวนการทำงานนี้ Admin จะสามารถเพิ่มสมาชิกผู้ใช้งานเข้าระบบได้โดยจะทำการเพิ่มและส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล พร้อมทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลสมาชิกจากฐานข้อมูลเพื่อทำการแก้ไข 5) จัดการข้อมูลส่วนตัว (P5) ในส่วนของกระบวนการทำงานนี้ สมาชิกที่เป็นผู้ใช้งานทุกระดับสามารถแก้ไขข้อมูลของตนเอง 6) จัดการข้อมูลหุ่นยนต์ (P6) ในส่วนของกระบวนการทำงานนี้ Admin จะสามารถเพิ่มหุ่นยนต์เข้าระบบได้โดยจะทำการเพิ่มข้อมูลไปเก็บไว้ใน

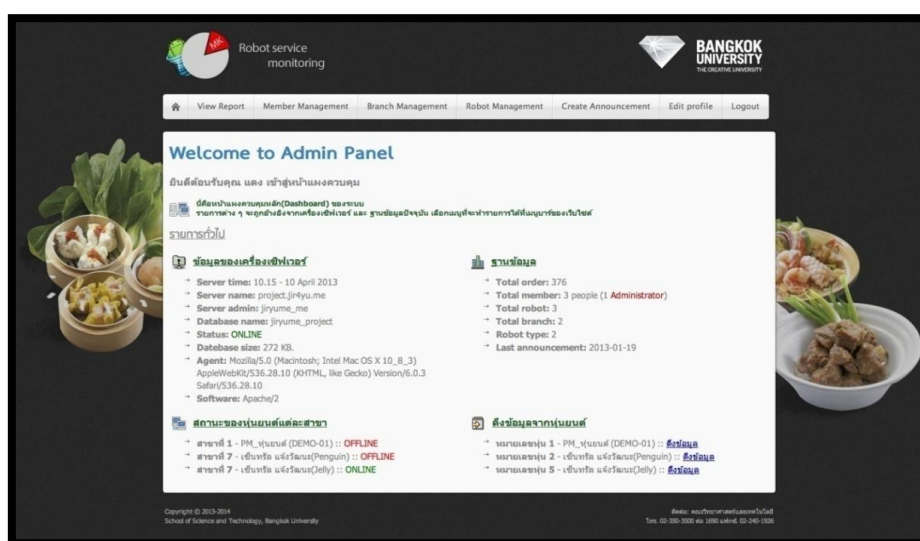
ฐานข้อมูล และ Admin สามารถเรียกดูข้อมูลหุ่นยนต์ทั้งหมดจากฐานข้อมูลหรือเพื่อแก้ไขข้อมูล 7) เรียกดูรายงาน (Report) (P7) ในกระบวนการทำงานนี้สมาชิกผู้ใช้งานทุกระดับสามารถเรียกดูข้อมูลการเสิร์ฟอาหารของหุ่นยนต์ของสาขาหรือทั้งหมดขึ้นมาแสดงผล

3.2 การออกแบบหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้เป็นส่วนติดต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้การใช้งานเว็บแอปพลิเคชันมีความสะดวกต่อการใช้งานและมีความสวยงามซึ่งมีการออกแบบสำหรับฟังก์ชันงานทั้งหมดดังนี้



ภาพที่ 4: หน้าแรกของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 4 หน้าแรกของเว็บแอปพลิเคชันจะต้องทำการล็อกอินเข้าระบบเพื่อใช้งานส่วนอื่นๆ ภายในซึ่งการอธิบายการจะใช้ในระดับผู้ดูแลระบบ (Admin) ซึ่งจะสามารถเข้าใช้งานได้ทั้งหมดของเว็บแอปพลิเคชันนี้ สำหรับการเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันจะต้องมี Username และ Password โดยระบบจะตั้ง Username และ Password เป็นค่ามาตรฐานกลางมาให้ก่อนจากนั้นสมาชิกผู้ใช้แต่ละคนสามารถแก้ไขข้อมูลตนเองภายหลังได้



ภาพที่ 5: หน้าหลักแผงควบคุมเมื่อเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันของผู้ดูแลระบบ (Admin)

จากภาพที่ 5 แสดงหน้าจอควบคุมของผู้ดูแลระบบ (Admin Panel) จะแสดงรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานทั่วไปที่เว็บแอปพลิเคชันนี้ใช้งานรวมถึงทรัพยากรที่มีอยู่ในฐานข้อมูล เช่น รายละเอียดของฐานข้อมูล รายละเอียดของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ นอกจากนี้ในหน้าจอควบคุมนี้ยังจะแสดงถึงสถานะของหุ่นยนต์ที่มีอยู่เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้ถึงช่วงเวลาการทำงานของหุ่นยนต์และสามารถเรียกดึงข้อมูลการเสิร์ฟจากหุ่นยนต์



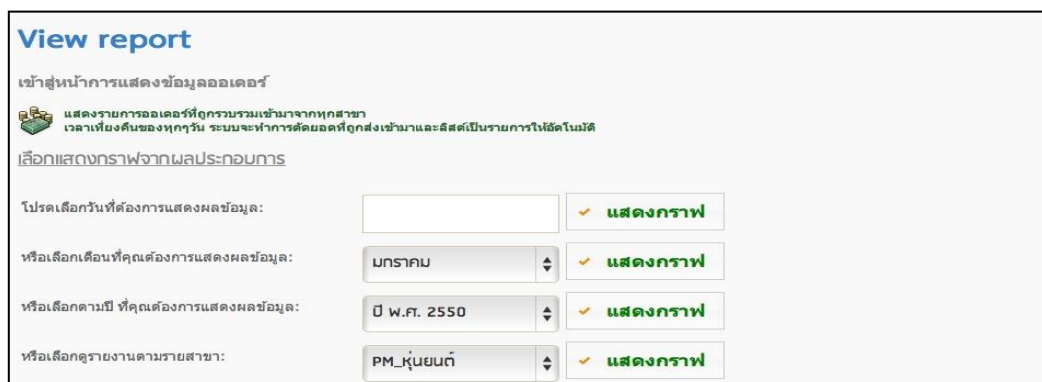
ภาพที่ 6: แสดงสถานะของหุ่นยนต์และการดึงข้อมูลจากหุ่นยนต์ในหน้าจอควบคุม

นอกจากหน้าจอควบคุมที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานของผู้ดูแลระบบที่สามารถใช้งานได้สะดวกรวดเร็วตามที่ผู้ใช้ได้ให้ข้อมูลมาแล้วนั้น ผู้ดูแลระบบยังสามารถจัดการข้อมูลทั้งหมดของร้านอาหารได้ผ่านการคลิกเลือกรายการเมนูดังภาพ



ภาพที่ 7: แสดงรายการเมนูทั้งหมดของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 7 เมื่อเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันจะพบเมนูการใช้งานต่างๆ ได้แก่ View Report เพื่อเรียกดูข้อมูลรายงานการเสิร์ฟอาหารของหุ่นยนต์ Member Management สำหรับจัดการข้อมูลสมาชิกผู้ใช้ Branch Management สำหรับการจัดการข้อมูลสาขา Robot Management สำหรับการจัดการข้อมูลหุ่นยนต์ Create Announcement สำหรับจัดการข้อมูลการประกาศต่างๆ Edit Profile สำหรับเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และ Logout สำหรับออกจากเว็บแอปพลิเคชัน



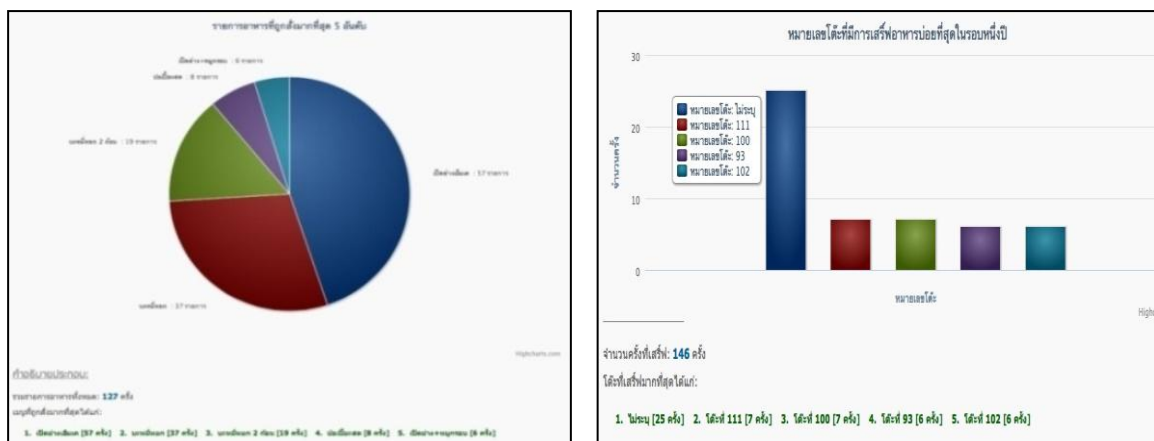
ภาพที่ 8: แสดงรายการเมนู View Report ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin) ของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 8 เมนู View Report การเรียกดูรายงานการทำงานของหุ่นยนต์ ผู้ใช้สามารถเลือกเมนูตามที่ต้องการในรูปแบบกราฟแสดงผลตามหัวข้อต่างๆ เช่น การเลือกดูรายงานเป็นรายวัน การเลือกดูรายงานเป็นรายเดือน การเลือกดูรายงานเป็นรายปี รวมทั้งสามารถเลือกดูรายงานผลประกอบการตามรายสาขา เป็นต้น

วันที่	เวลา	พนักงาน	รายการอาหาร	เลขโต๊ะ	เริ่มเสิร์ฟ	เสร็จเสิร์ฟ	ใช้เวลา
2011-05-14	10:19:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	10:22:00	10:23:00	2 นาที
2011-05-14	10:44:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	10:44:00	10:46:00	3 นาที
2011-05-14	10:48:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	10:49:00	10:50:00	2 นาที
2011-05-14	10:56:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	10:57:00	10:58:00	2 นาที
2011-05-14	11:15:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:16:00	11:17:00	2 นาที
2011-05-14	11:18:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:19:00	11:20:00	2 นาที
2011-05-14	11:21:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:22:00	11:24:00	3 นาที
2011-05-14	11:36:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:36:00	11:38:00	3 นาที
2011-05-14	11:39:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:39:00	11:41:00	3 นาที
2011-05-14	11:43:00	สปีดอร์ ชีววัฒน์	เบ็ดย่างเย็นแค	38	11:43:00	11:45:00	3 นาที

ค่าเฉลี่ยแสดง 1 ถึง 10 จาก 108 รายการ (จากทั้งหมด 376 รายการ)

ภาพที่ 9: แสดงรายการเมนู View Report ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin) ของเว็บแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 10: ตัวอย่างกราฟวงกลมและกราฟแท่งแสดงข้อมูลจากหุ่นยนต์ที่เก็บในฐานข้อมูล

จากภาพตัวอย่างการแสดงผลการรายงานข้อมูลข้างต้น สามารถแสดงรายงานได้ทั้งแบบตาราง กราฟวงกลม และกราฟแท่งเพื่อแสดงข้อมูลการทำงานของหุ่นยนต์ รายงานรายการที่ขายดี โดยการแสดงผลในรูปแบบกราฟทั้งหมดนี้ได้จากการดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูล และถ้าหากข้อมูลในฐานข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงหรืออัปเดตกราฟจะทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและข้อมูลให้แบบเรียลไทม์โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องเรียกปรับปรุงหรือแก้ไขแต่อย่างใด ส่วนการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันส่วนอื่นๆ แสดงดังภาพต่อไปนี้

Add new branch

เพิ่มสาขาร้านอาหารใหม่

การออกแบบฟอร์มจะเหมือนสาขาใหม่เข้าสู่ระบบ
คุณจะสามารถเพิ่มสาขาใหม่แล้วค่อยย้อนกลับไปที่ข้อมูลรวมไปถึงอัพโหลดเพิ่มรูปภาพของสาขาได้ทั้งหน้าและในสาขา

แบบฟอร์มเพิ่มข้อมูลของสาขา

ชื่อสาขา:

รายละเอียดของสาขา:

ภาพที่ 11: หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการเพิ่มสาขา

Member list

แสดงรายละเอียดของผู้ใช้



โปรดระวังในการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้แต่ละเรคคอร์ด
หากทำการลบเรคคอร์ดดังกล่าวออกจากฐานข้อมูลแล้วจะไม่สามารถย้อนกลับไปได้


 กลับไปหน้าเพิ่มผู้ใช้งาน

เลือกแสดง	10	รายการ	ค้นหา:			
หมายเลขผู้ใช้	ชื่อผู้ใช้งาน	อีเมล	ชื่อพนักงาน	ประจำสาขา	แก้ไขข้อมูลผู้ใช้	ลบผู้ใช้
1	admin	jir4yu@jir4yu.me	แดง ใจดี	PM_หุ่นยนต์		
10	captain_aod	m2captain@hotmail.com	ปฐมพร อุนเคราะห์	เช็นทรีด แจงวิลนะ		
11	user	u@u.com	ทีน้อย วงพรุ	เช็นทรีด แจงวิลนะ		

กำลังแสดง 1 ถึง 3 จาก 3 รายการ

หน้าแรก

ย้อนกลับ

1

ถัดไป

หน้าสุดท้าย

ภาพที่ 12: หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการสมาชิกผู้ใช้

รายการหุ่นยนต์ทั้งหมด

เลือกแสดง 10 รายการ

ค้นหา:

หมายเลข	ชื่อเรียกของหุ่น	ประเภทของหุ่น	สาขาที่หุ่นประจำการอยู่	แก้ไขหุ่นยนต์	ลบหุ่นยนต์
1	DEMO-01	ออเดอร์ 1	PM_หุ่นยนต์		
2	Penguin	เสิร์ฟ 1	เช็นทรีด แจงวิลนะ		
5	Jelly	ออเดอร์ 1	เช็นทรีด แจงวิลนะ		

กำลังแสดง 1 ถึง 3 จาก 3 รายการ

หน้าแรก

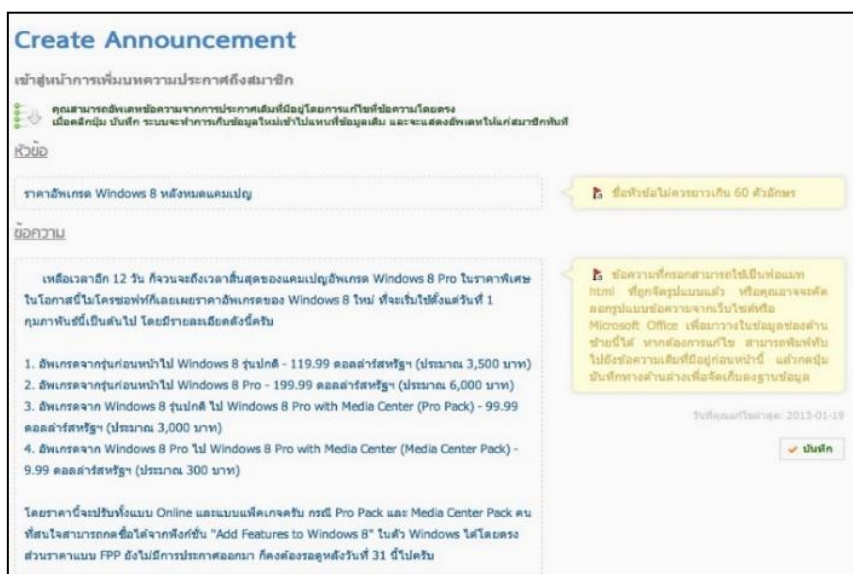
ย้อนกลับ 1

ถัดไป

หน้าสุดท้าย

เพิ่มหุ่นยนต์ใหม่

ภาพที่ 13: หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการข้อมูลหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหาร



ภาพที่ 14: หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการประกาศจะต้องการแจ้งไปยังสมาชิกผู้ใช้

จากภาพแสดงหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยเลือกใช้การออกแบบที่มีหน้าการจัดการคล้ายคลึงกัน เพื่อให้มีการใช้งานที่สอดคล้อง รวมถึงการนำรูปภาพที่สื่อความหมายแทนข้อความเพื่อเพิ่มความสวยงามและความสะดวกในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันนี้

4. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน จากการออกแบบการทำงานและการใช้งานส่วนของผู้ใช้ ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา HTML5 และ PHP สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนี้ให้มีความสวยงาม การใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีฟังก์ชันการทำงานที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

5. การทดสอบการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมานี้กับกลุ่มสมาชิกผู้ใช้งานระดับ เจ้าของร้าน ผู้จัดการสาขา และพนักงานที่เกี่ยวข้อง รวมจำนวน 30 คน โดยกลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งานและตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันนี้ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน ความพึงพอใจต่อการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน และข้อเสนอแนะ โดยหลักเกณฑ์ในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ตามมาตรเกณฑ์ประเมิน 5 ระดับ (Rating Scale) (บุญชม ศรีสะอาด, 2553) ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

จากนั้นได้นำข้อมูลจากผลการประเมินมาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเบื้องต้นด้วยค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อนำผลการวิเคราะห์ทางสถิติมาประเมินผลการวิจัยต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานด้วยแบบประเมินความพึงพอใจจำนวน 30 คน พบว่าผู้ตอบแบบประเมินเป็นเพศชายคิดเป็นร้อยละ .353 และเพศหญิงร้อยละ 64.7 จากผลการประเมินของผู้ใช้ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชันนี้รายด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ ด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน และด้านข้อมูล

ตารางที่ 1: การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชัน

หัวข้อรายการประเมิน	สถิติของผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
ด้านการออกแบบ			
การใช้สีเป็นในทิศทางเดียวกัน	4.52	0.63	มากที่สุด
ความสวยงามและเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.55	0.64	มากที่สุด
ปุ่มกดภายในสื่อความหมายได้อย่างชัดเจน	4.35	0.52	มาก
ออกแบบได้ตรงต่อการใช้งานของผู้ใช้	4.65	0.72	มากที่สุด
ด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน			
เว็บแอปพลิเคชันใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.65	0.77	มากที่สุด
ความรวดเร็วในการทำงาน	4.55	0.73	มากที่สุด
ความเร็วในการแสดงผล	4.68	0.70	มากที่สุด
ด้านข้อมูล			
สามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้	4.60	0.67	มากที่สุด
ข้อมูลรายงานเพียงพอต่อความต้องการ	4.65	0.71	มากที่สุด
การนำเสนอข้อมูลกราฟเข้าใจง่าย	4.59	0.68	มากที่สุด
ความพึงพอใจโดยรวมต่อเว็บแอปพลิเคชัน	4.58	0.68	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อเว็บแอปพลิเคชัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน โดยสามารถวิเคราะห์ผลการประเมินรายด้านคือ ด้านการออกแบบ เกี่ยวกับการใช้สีในทิศทางเดียวกัน ความสวยงามและเหมาะสมต่อการใช้งาน ปุ่มกดภายในสื่อความหมายได้ชัดเจน และออกแบบได้ตรงต่อการใช้งานของผู้ใช้ พบว่าผลการประเมินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.4 52.4 55. 35และ 4.65 ตามลำดับ จึงทำให้ผลการประเมินการออกแบบโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.52 สำหรับด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน เกี่ยวกับการใช้งานที่ง่ายไม่ซับซ้อน ความรวดเร็วในการทำงาน ความเร็วในการแสดงผล พบว่าผลการประเมินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.4 65. 55และ 4.68 ตามลำดับ จึงทำให้ผลการประเมินการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.63 และด้านข้อมูลที่น่าเสนอในมุมมองต่างๆ ในลักษณะของตาราง หรือกราฟ พบว่าผลการประเมินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.4 60. 65และ 4.59 ตามลำดับ จึงส่งผลให้ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อผู้ใช้เว็บแอปพลิเคชันนี้อยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.58 อีกทั้ง

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายของระบบเดิมที่ต้องใช้ยานพาหนะสำหรับเดินทางไปเก็บข้อมูลจากหุ่นยนต์ตามสาขาจึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายการเดินทางที่สูงเนื่องจากสภาพการจราจรที่ติดขัดในสังคมเมืองเปรียบเทียบกับระบบเว็บแอปพลิเคชันใหม่ที่สามารถดึงข้อมูลจากหุ่นยนต์ได้อย่างทันท่วงทีผ่านเว็บแอปพลิเคชันนี้มายังเซิร์ฟเวอร์ พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายการเดินทาง และการเสียเวลาในการเดินทางของผู้ที่จะนำข้อมูลจากหุ่นยนต์ตามสาขาเพื่อมาวิเคราะห์ผล

สรุป

ระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชัน เว็บแอปพลิเคชันสามารถจัดการข้อมูลหุ่นยนต์ จัดการข้อมูลสมาชิก จัดการข้อมูลสาขา จัดการข้อมูลการประกาศ รวมถึงสามารถดึงข้อมูลจากหุ่นยนต์เสิร์ฟตามสาขาได้แบบเรียลไทม์เพื่อนำข้อมูลมาเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์พร้อมสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์ รายการอาหารขายดี ในลักษณะของตาราง กราฟวงกลม และกราฟแท่ง ได้อย่างสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับฉันทรรณ ธรรมวัชรกร (2562) พบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามงานหุ่นวิจัยภายนอกแบบออนไลน์ โดยพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันทำให้มีความสะดวก ตรวจสอบข้อมูล สถานการณ์ทำงาน เรียกดูข้อมูลได้รวดเร็ว ทำให้สามารถสนับสนุนการทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และจากผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชันจากผู้ทำแบบสอบถามจำนวน 30 คน พบว่าผลประเมินความพึงพอใจโดยรวมที่มีต่อระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการประเมินรายด้านพบว่าค่าผลการประเมิน ด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 ด้านการข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.61 และด้านออกแบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ตามลำดับ อีกทั้งการใช้งานระบบสังเกตการณ์การทำงานของหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารบนเว็บแอปพลิเคชันที่ทำผ่านทางการออนไลน์ สามารถดึงข้อมูลจากหุ่นยนต์ได้แบบเรียลไทม์ จึงส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาที่ต้องสูญเสียไปกับการเดินทางเพื่อไปเก็บข้อมูลหุ่นยนต์เสิร์ฟอาหารแต่ละสาขา และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันของรถยนต์ที่ใช้เป็นพาหนะสำหรับการเดินทางไปในแต่ละสาขาได้กว่าร้อยละ 80

หากมีการเพิ่มเติมฟังก์ชันงานเกี่ยวกับหุ่นยนต์เสิร์ฟกรณีที่มีปัญหาพร้อมระบุขึ้นส่วนภายในที่ขัดข้อง จะช่วยให้สามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที รวมถึงการส่งงานหุ่นยนต์ผ่านการควบคุมระยะไกลจากเซิร์ฟเวอร์กลางได้จะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ฉันทรรณ ธรรมวัชรกร. (2562). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามงานหุ่นวิจัยภายนอกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ISSN 1686-8420. ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 หน้า 2651-2289 (ออนไลน์)
- ถนอม กองใจ. (2560). การพัฒนาระบบตรวจสอบสถานการณ์ทำงานระบบเครือข่ายและอุณหภูมิห้องแม่ข่าย. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 ฉบับเดือนตุลาคม – ธันวาคม หน้า : 149 – 159.

- บุญชม ศรีสะอาด. (2553). การวิจัยเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สุวีริยาสาส์น.
- วิมลสิริ ศรีสมุทร. การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อติดตามผลการตรวจสอบภายใน. วารสาร Mahidol R2R e-Journal ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2560 หน้า : 124 – 132.
- สมใจ ศิริปัญญาธ. (2557). ระบบสารสนเทศเพื่อรายงานการดำเนินงาน โครงการตามแผนปฏิบัติการประจำปี กรณีศึกษาวิทยาลัยนครราชสีมา วิทยาการกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- Mingkhwan A., Suvunnasan W., and Thongkumdeelo P. (2018). IoT Services Agent Platform: A Case Study in Network Monitoring. Information Technology Journal; Vol. 14, No. 1, January - June 2018 p. 32-37.
- S.A.E.L. Perera, W.R.A. Fonseka, I. (2012). Web Based Network Monitoring System. [Available] https://www.researchgate.net/publication/234166331_Web_Based_Network_Monitoring_System. [Access] October 2019.

อัตราส่วนของระยะเลื่อนต่อความยาวของรอยเลื่อนปกติที่เกิดในตะกอนถล่มใต้ทะเล DISPLACEMENT-LENGTH RATIO OF NORMAL FAULTS IN A SUBMARINE SLUMP

ศิริภัตสร พันธะสา

SIRAPASSORN PHANTHASA

สาขาการจัดการภัยพิบัติและบรรเทาสาธารณภัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Disaster Management and Public Hazard Mitigation Program

Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*Corresponding author, E-mail: sirapassorn@vru.ac.th

บทคัดย่อ

ขนาดของรอยเลื่อนปกติสามารถบอกได้ด้วยค่าระยะเลื่อนที่มากที่สุด (D_{max}) และความยาว (L) โดยอัตราส่วนของระยะเลื่อนที่มากที่สุดต่อความยาว (อัตราส่วน D_{max}/L) มีค่าคงที่เฉพาะสำหรับระบบรอยเลื่อนหนึ่ง ซึ่งหลายงานวิจัยได้ระบุค่าอัตราส่วน D_{max}/L สำหรับรอยเลื่อนปกติไว้ แต่เนื่องจากข้อมูลรอยเลื่อนส่วนใหญ่ในงานวิจัยเหล่านั้นมักได้มาจากรอยเลื่อนที่เกิดในตะกอนที่แข็งเป็นหินแล้ว มีงานวิจัยเพียงเล็กน้อยที่วัดขนาดรอยเลื่อนในตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักคือเพื่อระบุค่าอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติโดยใช้ข้อมูลรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นในตะกอนถล่มใต้ทะเล โดยขนาดของรอยเลื่อนปกติจำนวน 14 รอยเลื่อนถูกวัดจากชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสามมิติที่ถูกแปลความแล้วของตะกอนถล่มใต้ทะเลในแอ่งช่องแคบมาคาสซาร์ตอนใต้ ประเทศอินโดนีเซีย ผลจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ารอยเลื่อนในตะกอนถล่มใต้ทะเลนี้มีอัตราส่วน D_{max}/L สูงกว่าของรอยเลื่อนในหินแข็งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการคาดคะเนขนาดของรอยเลื่อนปกติที่เกิดในตะกอนหรือหินที่มีลักษณะใกล้เคียงกับตะกอนถล่มใต้ทะเลได้

คำสำคัญ: รอยเลื่อนปกติ ระยะเลื่อนของรอยเลื่อน ตะกอนถล่มใต้ทะเล

ABSTRACT

The size of normal fault can be defined by maximum displacement (D_{max}) and length (L). Displacement-length ratios (D_{max}/L ratios) are constant for each isolated normal system and many previous researches have been determined D_{max}/L ratios for each normal fault system. Since most fault data normally come from lithified sedimentary rock, there is very little data from faults in poorly lithified sediments. Hence, the main aim of this study is to

determine the D_{max}/L ratio of a normal fault system by using normal fault data in the submarine. The sizes of 14 normal faults are measured from an interpreted 3D seismic reflection data of the submarine slump in the South Makassar Strait Basin, Indonesia. The result of this research shows that normal faults in the submarine slump have a higher D_{max}/L ratio compared with those of normal faults of the published examples, which were developed in better-lithified rocks. The result of this study could be useful for future estimation of the size of normal faults that developed in the fault material which resemble the submarine slump.

Keywords: Normal Fault, Fault Displacement, Submarine Slump

บทนำ

ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม รอยเลื่อนปกติสามารถมีบทบาทได้ทั้งทำให้ศักยภาพการผลิตมีมากขึ้นหรือบางครั้งก็อาจจะทำให้ลดลงได้ โดยการศึกษาของ ฮาร์ดแมนและบูธ (Hardman & Booth, 1991: 4-11) ได้อธิบายไว้ว่ารอยเลื่อนปกติมีบทบาทสำคัญในระบบการเกิดปิโตรเลียม ตั้งแต่เป็นตัวแปรกำหนดการกระจายตัวของหินต้นกำเนิด, เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของปิโตรเลียม, เป็นตัวกำหนดโครงสร้างของหินกักเก็บ และมีบทบาทสำคัญในการเป็นทั้งโครงสร้างกักเก็บปิโตรเลียม (Hardman & Booth, 1991: 4-11) เพราะฉะนั้นในการวางแผนการสำรวจหรือวางแผนการผลิตจึงควรให้ความสำคัญกับการประเมินขนาดรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ แต่เนื่องจากเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสำรวจในบางครั้งทำให้มีการกำหนดขนาดรอยเลื่อนที่ผิดพลาด เช่น การที่ไม่สามารถตรวจจบบรูปร่างของรอยเลื่อนทั้งหมดได้ จึงได้มีการศึกษาค่าอัตราส่วนเฉพาะไว้ในตรวจสอบขนาดรอยเลื่อนที่แท้จริง

ในงานวิจัยเกี่ยวกับขนาดรอยเลื่อนที่ผ่านมาได้ตีพิมพ์ไว้ว่า ขนาดของรอยเลื่อนสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าระยะเลื่อนที่มากที่สุด (Maximum displacement, D_{max}) และความยาวของรอยเลื่อน (Length, L) และค่าอัตราส่วนระหว่างระยะเลื่อนที่มากที่สุดต่อความยาวของรอยเลื่อน (D_{max}/L) มีค่าคงที่เฉพาะสำหรับรอยเลื่อนหนึ่งระบบ (Cowie and Scholz, 1992b: 1149; Dawers et al., 1993: 1107; Dawers & Anders, 1995: 607; Watterson, 1986: 365-366) และหลายงานวิจัยได้สรุปว่า ตัวแปรหลักที่ควบคุมอัตราส่วน D_{max}/L ตัวแปรหนึ่งคือ ชนิดของวัสดุที่เกิดรอยเลื่อน หรือ ชนิดหินที่เกิดรอยเลื่อนนั่นเอง (เช่น Cowie and Scholz, 1992b: 1149-1150; Walsh and Watterson, 1988: 240-246)

โดยงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะเลื่อนของรอยเลื่อนปกติ หรือ อัตราส่วน D_{max}/L ส่วนใหญ่มักใช้ข้อมูลรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นกับหินตะกอนที่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์แล้ว เช่น การศึกษาระยะเลื่อนในหินปูนโดยพีค็อก และแซนเดอร์สัน (Peacock & Sanderson, 1991: 721-733), การศึกษาระยะเลื่อนในหินบะซอลต์และหินดินดานโดยชอลซ์ และโควี (Scholz & Cowie, 1990: 837-839) และการศึกษาระบบรอยเลื่อนในหิน

ทราวยของครานทซ์ (Krantz, 1988: 225-237) น้อยการศึกษาที่นักที่จะใช้ข้อมูลจากรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นในตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวกลายเป็นหิน

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการหาอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นในช่วงที่ตะกอนยังไม่แข็งตัวกลายเป็นหิน โดยเลือกศึกษารอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นในตะกอนถล่มบรรพกาลใต้ทะเล เนื่องจากเป็นชั้นของตะกอนคงสภาพและระนาบรอยเลื่อนยังคงสภาพเดิมอยู่ ทำให้สามารถวัดข้อมูลรอยเลื่อนทั้งระยะเลื่อนและความยาวของรอยเลื่อนได้อย่างแม่นยำ ซึ่งผลจากการวัดข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ศึกษาในชั้นหินแข็ง ระหว่างรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นในตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวจะมีอัตราส่วน D_{max}/L ที่แตกต่างจากรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นในหินแข็งหรือไม่ อย่างไร ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลที่จะช่วยในการคาดคะเนขนาดของรอยเลื่อนปกติซึ่งเกิดในชั้นตะกอนที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

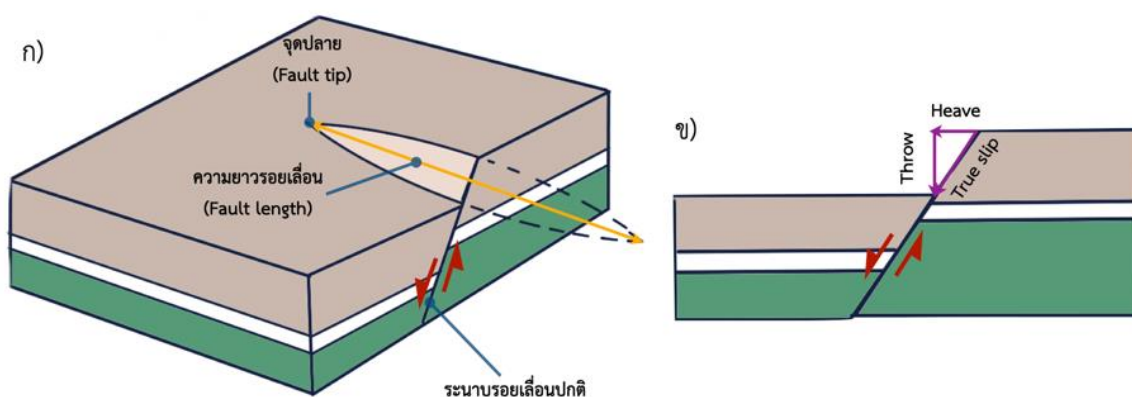
1. การทบทวนวรรณกรรม

1.1 คำจำกัดความของ รอยเลื่อนปกติ ระยะเลื่อน และความยาวของรอยเลื่อน

รอยเลื่อนปกติ (Normal fault) คือ รอยเลื่อนในหินซึ่งส่วนที่อยู่ข้างบนระนาบรอยเลื่อนเคลื่อนตัวลงระดับลงสัมผัสกับส่วนที่อยู่ข้างล่างเคลื่อนตัวขึ้น (ราชบัณฑิตยสถาน, 2544: 222) (ภาพที่ 1ก) โดยรอยเลื่อนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลาย ๆ ที่บนแผ่นเปลือกโลก ยกตัวอย่างเช่น ตามของแอ่งสะสมตะกอนขอบไหล่ทวีป รวมถึงการถล่มของตะกอน

ระยะเลื่อน (Fault displacement, D) ในรอยเลื่อนปกติ คือ ระยะการเคลื่อนที่ออกจากกันของจุดที่เคยอยู่ติดกันบนระนาบรอยเลื่อนปกติ โดยระยะนี้เป็นเวกเตอร์มีทั้งขนาดและทิศทาง สามารถแบ่งออกเป็น true slip, heave และ throw (ภาพที่ 1ข) โดย true slip คือระยะเลื่อนจริงที่วัดในทิศทางบนระนาบของรอยเลื่อน, heave คือระยะเลื่อนที่วัดในแนวระดับ และ throw คือระยะเลื่อนที่วัดในแนวตั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วทั้งสามตัวแปรจะมีค่าที่สอดคล้องกันเสมอ สามารถใช้ค่าใดค่าหนึ่งในการบอกขนาดรอยเลื่อนได้ เช่น ในทางธรณีวิทยามักจะแสดงโครงสร้างในรูปแบบของแผนที่ ระยะเลื่อนแบบ heave จึงถูกนำมาใช้ในการบอกระยะเลื่อนของรอยเลื่อนที่ปรากฏบนแผนที่ หรือถ้ามองในแนวภาพตัดขวางหรือภาพแปลจากชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนก็อาจจะบอกระยะเลื่อนในค่าของ throw ได้เช่นกัน (Kim & Sanderson, 2005: 321) ซึ่งเป็นระยะเลื่อนที่ใช้ในการหาอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติในงานวิจัยนี้

ความยาวของรอยเลื่อน (Fault length, L) ในรอยเลื่อนปกติ คือ ระยะของรอยเลื่อนในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเลื่อนที่มีค่ามากที่สุด โดยปกติแล้วจะอยู่ในแนวระดับหรือใกล้เคียงกับแนวระดับ และมีทิศทางขนานกับการวางตัวของระนาบรอยเลื่อน (Kim and Sanderson, 2005: 318-319) โดยสามารถวัดได้จาก จุดปลายหรือจุดหยุดเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนจากด้านหนึ่งไปยังจุดปลายอีกด้านหนึ่ง (ภาพที่ 1ก)



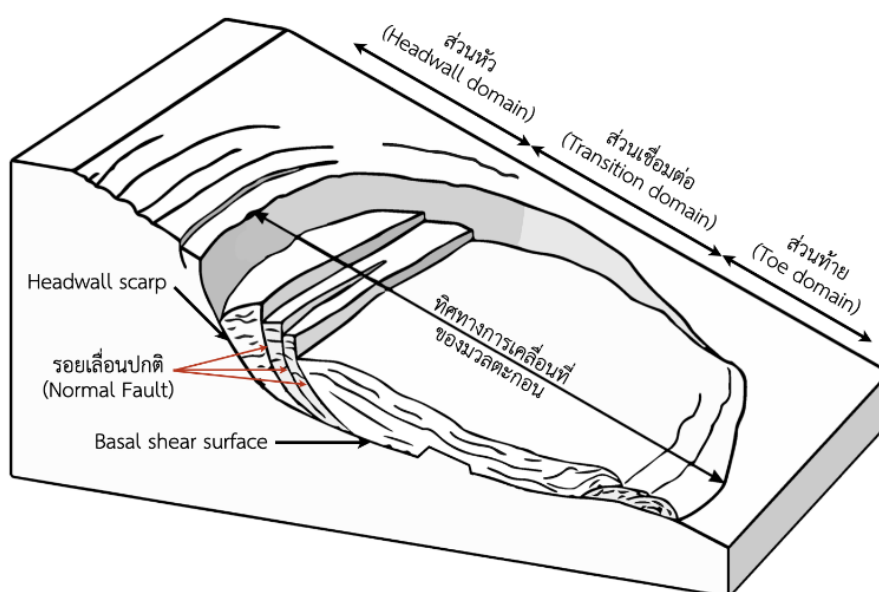
ภาพที่ 1: ก) แสดงส่วนประกอบของรอยเลื่อนปกติ, ข) ภาพตัดขวางระยะการเคลื่อนที่ปกติ
แสดงระยะเลื่อนในทิศทางต่าง ๆ

1.2 ตะกอนถล่มใต้ทะเล

ตะกอนถล่มใต้ทะเลมักจะเกิดขึ้นตามขอบของแผ่นทวีปทั่วโลก มีพื้นที่ขนาดเล็กไปจนถึงหลายร้อยตารางกิโลเมตร ซึ่งมีความสำคัญต่อลำดับชั้นหินใต้ทะเลลึกเป็นอย่างมาก หรือบางครั้งการถล่มของตะกอนใต้ทะเลนี้อาจจะทำให้เกิดภัยพิบัติสึนามิได้ การศึกษาตะกอนถล่มใต้ทะเลนี้ยังมีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่ซึ่งตะกอนถล่มนี้อาจจะไปทำลายโครงสร้างแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมได้ (Moscardelli and Wood, 2008: 73-74)

กลไกที่ทำให้เกิดการถล่มของตะกอนใต้ทะเลเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น การกัดกร่อนเนื่องจากที่ลาดมีความชันมากเกินไป, การเปลี่ยนแปลงสภาวะทางเคมี เหตุการณ์ทางเทคนิคส์ รวมไปถึงการกระทำจากกิจกรรมของมนุษย์ (Moscardelli, 2007: 55-62) โดยลำดับชั้นหินของตะกอนถล่มใต้ทะเลจะขึ้นอยู่กับวัสดุตั้งต้นของที่ลาดชันก่อนจะเกิดการถล่ม โดยปกติแล้วมักจะประกอบไปด้วยตะกอนขนาดละเอียด เช่น ตะกอนขนาดทรายแป้ง ตะกอนโคลน แต่ในบางครั้งอาจจะประกอบไปด้วยตะกอนขนาดทราย หรือแม้กระทั่งตะกอนคาร์บอเนตได้ด้วยเช่นกัน (Moscardelli et al, 2007: 74-76)

การศึกษาโครงสร้างธรณีวิทยาใต้ทะเลนิยมทำการสำรวจธรณีสัณฐานด้วยวิธีการสำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อน โดยรูปร่างของตะกอนถล่มใต้ทะเลจะแตกต่างกันไปตามอัตราความแรงของการถล่ม อาจจะแสดงชัดจนไปถึงไม่หลงเหลือความเป็นชั้นเลย (Bull et al., 2009: 1132) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอมุ่งเน้นไปที่ตะกอนถล่มที่มีโครงสร้างแสดงชัดเด่น ส่วนต่าง ๆ ของตะกอนถล่มใต้ทะเลแบ่งเป็นส่วนหัว (headwall domain), ส่วนเชื่อมต่อ (transition domain) และส่วนท้าย (toe domain) (Bull et al., 2009: 1135-1147) แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2: โครงสร้างของตะกอนถล่มได้ทะเล

ที่มา: (He et al., 2014)

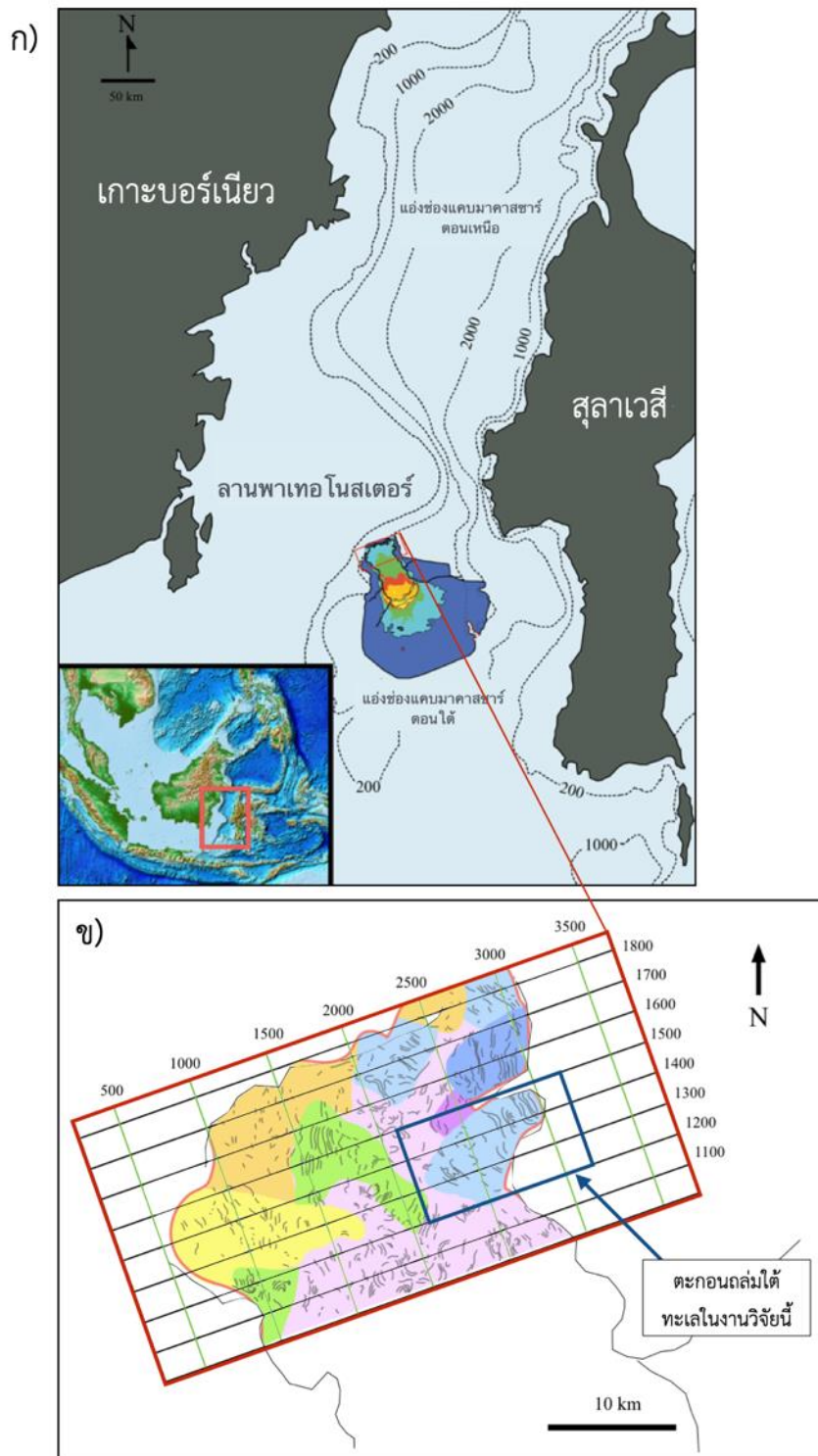
โดยส่วนหัวของตะกอนถล่มได้ทะเลเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการวิจัยนี้เนื่องจากเป็นบริเวณที่มักจะมีชุดของรอยเลื่อนปกติเกิดขึ้น บริเวณนี้คือส่วนที่เป็นจุดกำเนิดของการถล่มตะกอน โดยจะมีระนาบการเลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นตั้งแต่การเริ่มถล่มของตะกอนเรียกว่า headwall scarp (ภาพที่ 2) ระนาบนี้จะมีรูปร่างคล้ายซอ้น ทำให้การถล่มของตะกอนมีความโค้งที่จุดเริ่มต้นก่อนจะเคลื่อนที่ตามระนาบในแนวระดับที่เรียกว่า basal shear surface ต่อไป ซึ่งผลจากการเคลื่อนที่ของมวลตะกอนตามแนว headwall scarp และ basal shear surface นี้ จะทำให้ชั้นตะกอนที่อยู่ด้านบนเกิดความไม่เสถียร ทำให้เกิดรอยแตกและเลื่อนลงกลายเป็นชุดรอยเลื่อนปกติในที่สุด โดยรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นนี้จะมีทิศทางการวางตัวตั้งฉากกับทิศทางการถล่มของตะกอน ส่วนถัดไปจากส่วนหัวจะเป็นส่วนเชื่อมต่อและส่วนท้าย โดยบริเวณนี้มวลตะกอนจะเคลื่อนที่มากองรวมกันทำให้สูญเสียโครงสร้างภายใน (Bull et al., 2009: 1135-1147)

1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือตะกอนถล่มได้ทะเลที่แอ่งช่องแคบมาคาสซาร์ตอนใต้ ประเทศอินโดนีเซีย โดยอยู่บริเวณขอบของลานพาเทอร์โนสเตอร์ซึ่งเป็นขอบทางด้านทิศตะวันออกของกาลิมันตันส่วนหนึ่งของเกาะบอร์เนียว และตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของเกาะสุลาเวสี (ภาพที่ 3ก) โดยงานวิจัยของ อาแมนดิต้า และคณะ (Armandita et al., 2015: 390-395) ได้อธิบายว่า ตะกอนถล่มได้ทะเลนี้เกิดขึ้นในยุคไพลโอซีนตอนต้น ในช่วงที่แอ่งช่องแคบมาคาสซาร์ตอนใต้ทรุดตัวลงสัมพันธ์กับการยกตัวขึ้นแบบช้า ๆ ของลานพาเทอร์โนสเตอร์ ตะกอนที่เกิดการถล่มนี้อยู่ในชุดหิน Dahor ที่อยู่บนลานพาเทอร์โนสเตอร์ มีอายุในยุคไมโอซีนตอนปลาย-ไพลโอซีนตอนต้น ชุดหิน Dahor นี้ประกอบไปด้วยหินดินดานที่เกิดในทะเลลึกสลับชั้นกับชั้นทรายแป้งบาง ๆ จากตะกอนกระแสน้ำขุ่น (turbidites) และหินปูนตะกอนพัดพา (allodapic limestone) โดยตะกอนถล่มได้ทะเลนี้

ถือว่าเป็นตะกอนถล่มไต้ทะเลที่ใหญ่ที่สุดที่ยังคงรูปโครงสร้างลำดับชั้นหินภายในไว้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษารอยเลื่อนหรือโครงสร้างภายใน โดยมีปริมาตรถึง 2500 ลูกบาศก์กิโลเมตร และครอบคลุมพื้นที่ถึง 9,000 ตารางกิโลเมตร มีความยาวตามทิศทางการถล่ม 120 กิโลเมตร กว้างประมาณ 100 กิโลเมตร และมีความหนาถึง 1.7 กิโลเมตร (Armandita et al., 2015: 375-389)

ตะกอนถล่มไต้ทะเลแห่งนี้มี มีการวางตัวของโครงสร้างตามทิศทางการถล่มในแนว NW-SE (ภาพที่ 3ก) แต่เนื่องจากเป็นตะกอนถล่มไต้ทะเลขนาดใหญ่ ทำให้บริเวณส่วนหัวของตะกอนถล่มไต้ทะเลแห่งนี้มีโครงสร้างที่ซับซ้อน เนื่องมาจากการเกิดตะกอนถล่มขนาดเล็กหลายครั้งภายในโครงสร้าง ซึ่งการศึกษาของ อาแมนดิต้า และคณะ (Armandita et al., 2015: 384) ได้แปลความไว้ดังภาพที่ 3ข งานวิจัยนี้จึงได้เลือกตะกอนถล่มไต้ทะเลที่จะศึกษาไว้ดังภาพที่ 3ข (กรอบสีน้ำเงิน) โดยตะกอนถล่มไต้ทะเลแห่งนี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 75 ตารางกิโลเมตร มีความยาวประมาณ 10 กิโลเมตร และมีทิศทางการวางตัว NE-SW ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของการถล่ม (ภาพที่ 3ข)



ภาพที่ 3: ก) ตำแหน่งของตะกอนถล่มใต้ทะเลในแอ่งช่องแคบมาคาสซาร์ตอนใต้ ประเทศอินโดนีเซีย กรอบสีแดงแสดงตำแหน่งของชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแบบสามมิติ, ข) ภาพจากการแปลความหมายจากการศึกษาของ อาแมนดิด้า และคณะ (Armandita et al., 2015) แสดงโครงสร้างของตะกอนถล่มใต้ทะเลว่าประกอบด้วยตะกอนถล่มขนาดเล็กหลายครั้ง และกรอบสีน้ำเงินแสดงขอบเขตของพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

ที่มา: (Armandita et al., 2015: 376-384)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาลักษณะของรอยเลื่อนในงานวิจัยที่ผ่านมาหลายงานวิจัยได้ทำการสรุปว่า รอยเลื่อนปกติมีการขยายขนาดที่เป็นระบบโดยจะเพิ่มทั้งระยะเลื่อนและความยาวในอัตราส่วนที่คงที่ ซึ่งอัตราส่วนนี้จะ เป็นค่าเฉพาะในแต่ละระบบรอยเลื่อน (เช่น Cowie and Scholz, 1992b: 1149 และ Watterson, 1986: 365-366)

ดาเวอร์สและแอนเดอร์ส (Dawers & Anders, 1995: 607) ได้อธิบายการเติบโตของรอยเลื่อนว่า เกิดจากจุด ๆ หนึ่งจากนั้นระยะเลื่อนจะเพิ่มมากขึ้นจากจุดนี้พร้อม ๆ กับการขยายของความยาวในอัตราส่วน ที่สอดคล้องกัน ทำให้ท้ายที่สุดแล้วรอยเลื่อนจะมีระยะเลื่อนที่มากที่สุดอยู่จุดกึ่งกลางรอยเลื่อน

ความสัมพันธ์ของระยะเลื่อนกับความยาวของรอยเลื่อนสามารถอธิบายอย่างง่ายด้วยได้สมการ : $D_{max} = cL$

โดย D_{max} คือระยะเลื่อนที่มากที่สุด, L คือความยาวของรอยเลื่อน และ c คือค่าคงที่เฉพาะที่ เปลี่ยนแปลงไปตามระบบรอยเลื่อน กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือค่า อัตราส่วน D_{max}/L นั้นเอง งานวิจัยที่ผ่านมาได้ ทำการศึกษาระบบรอยเลื่อนหลายระบบเพื่อระบุเกี่ยวกับค่า c และได้เสนอตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่า c นี้ ซึ่ง ผลสรุปจากงานวิจัยส่วนมาก ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเลื่อนกับความยาวของรอยเลื่อนเอาไว้ว่า ตัว แปรหลักที่ควบคุมอัตราส่วน D_{max}/L คือ ชนิดของวัสดุที่เกิดรอยเลื่อน หรือชนิดหินที่เกิดรอยเลื่อน เช่น งานวิจัยของโควีและซอลซ์ (Cowie and Scholz, 1992b: 1149-1150) ได้แสดงความเห็นไว้ว่า คุณสมบัติ แรงต้านการเฉือนและมอดูลัสการเฉือนของหินที่เกิดรอยเลื่อนมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อน

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงทำขึ้นโดยมีสมมติฐานว่าชนิดของวัสดุรอยเลื่อนเป็น ตัวแปรต้นที่จะส่งผลให้ค่า c แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาอัตราส่วน D_{max}/L จากรอยเลื่อนที่มีวัสดุ แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลเพื่อพิสูจน์สมมติฐานของงานวิจัยนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติที่เกิดในตะกอนถล่มใต้ทะเลในแอ่งช่องแคบมาคาส ซาร์ตอนใต้ ประเทศอินโดนีเซีย
2. เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติที่เกิดในตะกอนถล่มใต้ทะเลกับอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติในงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีวัสดุรอยเลื่อนที่ต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

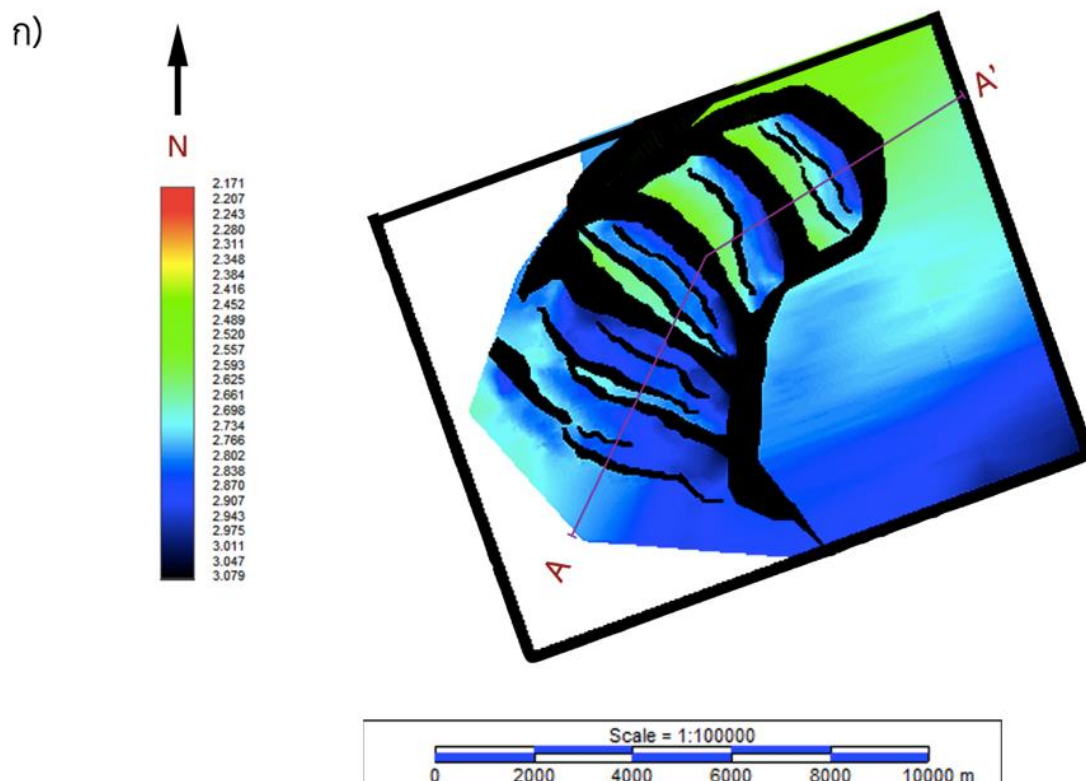
1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแบบสามมิติจากการสำรวจและประมวลผล ข้อมูลโดยบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนนี้ ครอบคลุมพื้นที่ 2185 ตารางกิโลเมตร มีตำแหน่งที่ตั้งและการครอบคลุมพื้นที่ดังภาพที่ 3 ข มีโซนของความถี่

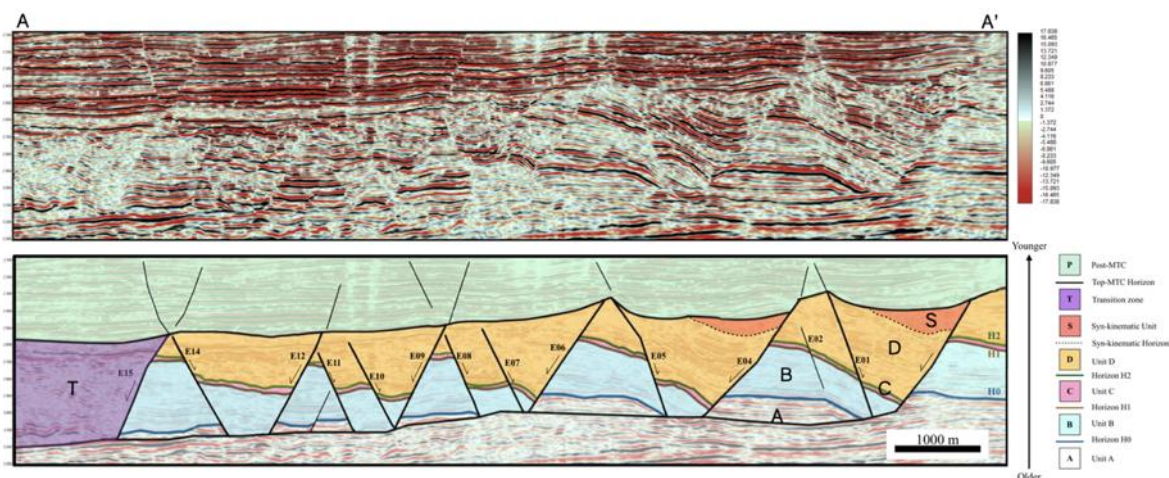
แสดงผลชัดเจนที่สุดในช่วง 30 เฮิร์ซ มีความแม่นยำแนวตั้ง (vertical resolution) 17 เมตร และมีค่าความเร็วของชั้นตะกอนดินถล่มประมาณ 2000 เมตรต่อวินาที (Armandita et al., 2015:378) โดยมีเส้นกริด inline วางตัวในทิศทาง NE-SW ในระยะกริด 25 เมตร และมีเส้นกริด crossline วางตัวในทิศทาง NW-SE ในระยะกริด 12.5 เมตร

โดยงานวิจัยนี้แปลความหมายชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม IHS Kingdom® ประกอบกับการแปลความจากการศึกษาของ อาแมนดิต้า และคณะ (Armandita et al., 2015:376-403) เพื่อทำให้เห็นรูปร่างพื้นผิวและโครงสร้างของตะกอนถล่มใต้ทะเลที่ชัดเจนขึ้น โดยการแปลชั้นตะกอนและรอยเลื่อนในโครงสร้างถูกแปลไปพร้อมกันในระยะกริดทุก ๆ 100 เมตร ทั้งในแนว inline และ crossline ซึ่งผลจากการแปลความหมายสามารถแสดงแผนที่ขอบเขตของระบบรอยเลื่อนในชั้นตะกอนและภาพตัดขวางของโครงสร้างตะกอนถล่มใต้ทะเล (ภาพที่ 4ก และ 4ข)

ขนาดของรอยเลื่อนจะถูกวัดออกมาเป็นค่าความยาวของรอยเลื่อนและระยะเลื่อนตามลำดับ โดยการความยาวของรอยเลื่อน (L) จะถูกวัดตามทิศทางการวางตัวของรอยเลื่อนตามภาพที่ 4ก และระยะเลื่อนเลือกใช้การวัดระยะแบบ throw (ระยะเลื่อนในแนวตั้ง) การคำนวณค่าอัตราส่วน D_{max}/L โดยวัดระยะเลื่อนจะวัดจากจุดที่ชั้นหินที่เป็น key horizon (H1) มีการเคลื่อนที่แยกจากกัน หลังจากนั้นหาค่าอัตราส่วน D_{max}/L และถูกนำมาพลอตในกราฟแบบ log/log เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วน D_{max}/L ในงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อวิเคราะห์ต่อไป



ข)



ภาพที่ 4: ก) แผนที่ระดับความลึกแสดงโครงสร้างพื้นผิวด้านบนของชั้น B (แสดงไว้ในภาพที่ 4ข (ล่าง)) โดยพื้นที่สีดำในแผนที่หมายถึงส่วนที่ชั้นตะกอนมีการเลื่อนแยกออกจากกัน ซึ่งแสดงถึงระยะเลื่อนในแนวระดับ (heave), ข) (บน) ภาพตัดขวางข้อมูลจากการสำรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนในแนว A-A' (แสดงตำแหน่งไว้ในภาพที่ 4ก) และ (ล่าง) ภาพตัดขวางผลการแปลความหมายโครงสร้างธรณีวิทยา โดยมีชั้นตะกอนดั้งเดิมก่อนจะเกิดรอยเลื่อน เรียงจากอายุแก่ไปอ่อน ดังนี้ ชั้น A, ชั้น B, ชั้น C และ ชั้น D ตามลำดับ ส่วนชั้น S คือชั้นตะกอนที่มาปิดทับขณะเกิดการเลื่อน ชั้น P คือชั้นตะกอนที่มาปิดทับชั้นหินทั้งหมดหลังจากการรอยเลื่อนแล้ว และ มวลตะกอน T ที่อยู่ในส่วนเชื่อมต่อของตะกอนถล่ม

ผลการวิจัย

ผลการวัดระยะเลื่อนและความยาวของรอยเลื่อนในตะกอนถล่มใต้ทะเลแสดงดังตารางที่ 1 รอยเลื่อนปกติในตะกอนถล่มใต้ทะเลที่ศึกษามีระยะเลื่อนในช่วงประมาณ 30-250 เมตร (ค่าเฉลี่ย 126.19 เมตร) มีความยาวรอยเลื่อนอยู่ในช่วง 600 เมตร ถึง 4 กิโลเมตร (ค่าเฉลี่ย 2588.89 เมตร) และมีค่าอัตราส่วน D_{max}/L 0.026-0.095 (ค่าเฉลี่ย 0.049)

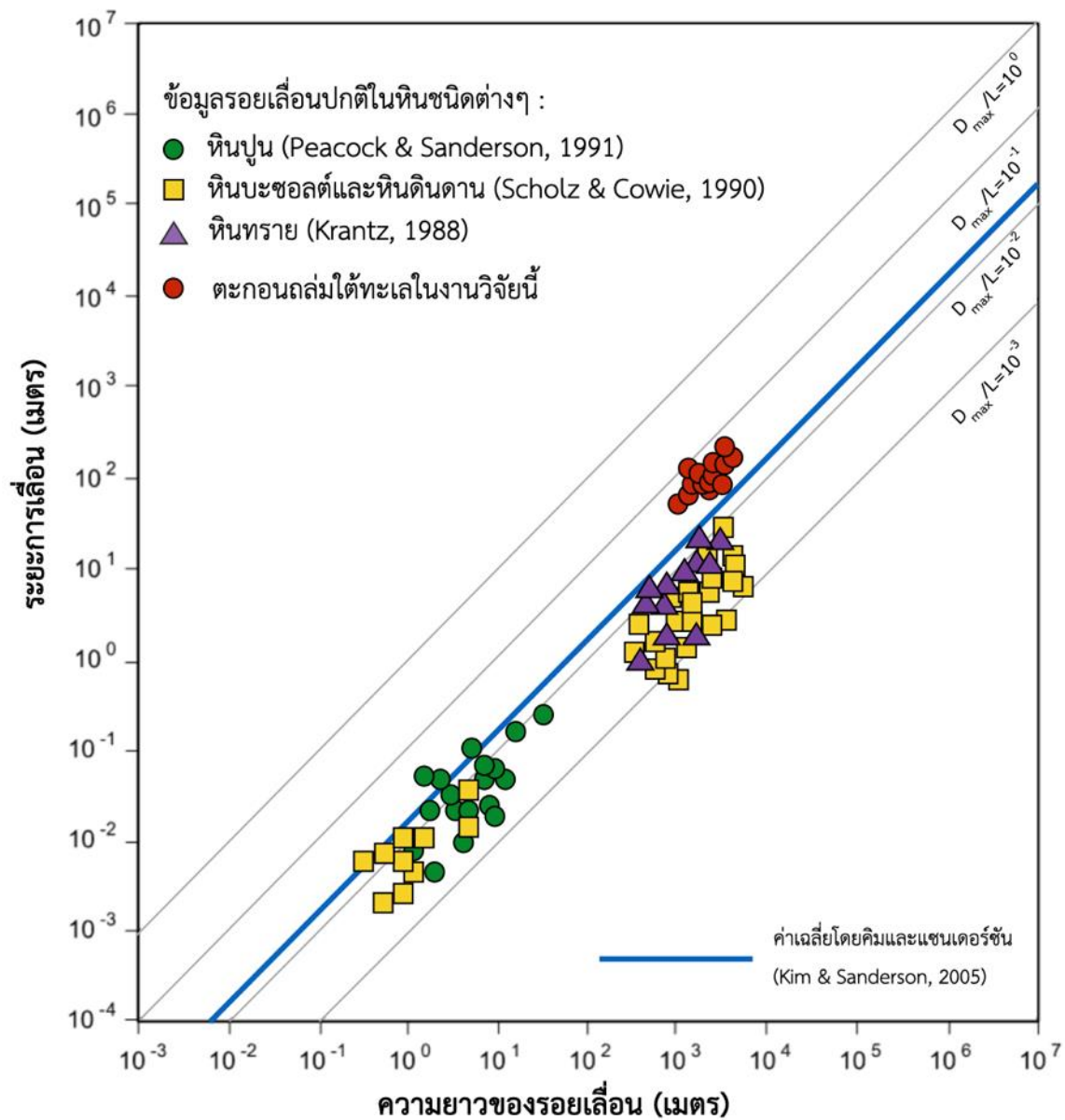
ตารางที่ 1: ข้อมูลการวัดความยาว, ระยะเลื่อน และ อัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติในพื้นที่ศึกษา

รอยเลื่อนที่	ระยะเลื่อน (เมตร)	ความยาว (เมตร)	อัตราส่วน D/L
1	58.34	1761.31	0.033
2	230.37	2422.58	0.095
3	217.81	3186.22	0.068

รอยเลื่อนที่	ระยะเลื่อน (เมตร)	ความยาว (เมตร)	อัตราส่วน D/L
4	204.87	2670.42	0.077
5	31.19	610.04	0.051
6	83.72	2453.29	0.034
7	123.21	2095.83	0.059
8	98.67	2128.96	0.046
9	166.35	3508.92	0.047
10	98.65	3751.19	0.026
11	123.73	3433.06	0.036
12	181.98	3947.03	0.046
13	53.03	1335.43	0.040
14	94.76	2940.16	0.032
ค่าเฉลี่ย	126.19	2588.89	0.049

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย อัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติจากการศึกษานี้ถูกเปรียบเทียบกับผลการศึกษางานวิจัยที่เคยตีพิมพ์ที่ผ่านมา โดยข้อมูลรอยเลื่อนจากการศึกษานี้ถูกแสดงในกราฟแบบ log/log ที่นิยมใช้ในการแสดงค่าอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อน เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลรอยเลื่อนปกติจากการศึกษาที่ผ่านมาในหินปูน (Peacock & Sanderson, 1991: 721-733), ในหินบะซอลต์และหินดินดาน (Scholz & Cowie, 1990: 837-839) ในหินทราย (Krantz, 1988: 225-237) และเปรียบเทียบกับเส้นค่าเฉลี่ยของระบบรอยเลื่อนปกติที่คำนวณและนำเสนอโดยคิม และแซนเดอร์สัน (Kim and Sanderson, 2005: 324)

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลรอยเลื่อนปกติในตะกอนถล่มได้ทะเลจากงานวิจัยนี้มีค่าอัตราส่วน D_{max}/L ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนที่เกิดในหินที่แข็งกว่าจากงานวิจัยที่ยกตัวอย่างมา และอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติจากการศึกษานี้ยังมีค่าสูงกว่าเส้นค่าเฉลี่ยอัตราส่วน D_{max}/L ของการศึกษารอยเลื่อนปกติในหินชนิดต่าง ๆ โดยคิม และแซนเดอร์สัน (Kim and Sanderson, 2005: 324)



ภาพที่ 5: กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติในพื้นที่ศึกษา (วงกลมสีแดง) เปรียบเทียบกับข้อมูลรอยเลื่อนจากงานวิจัยที่ผ่านมา; ในหินปูน (Peacock & Sanderson, 1991: 721-733) (วงกลมสีเขียว), ในหินบะซอลต์และหินดินดาน (Scholz & Cowie, 1990: 837-839) (สี่เหลี่ยมสีเหลือง) ในหินทราย (Krantz, 1988: 225-237) (สามเหลี่ยมสีม่วง) และเปรียบเทียบกับเส้นค่าเฉลี่ยของระบบรอยเลื่อนปกติ (Kim and Sanderson, 2005: 324) (เส้นสีน้ำเงิน)

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากสมมติฐานที่ว่าวัสดุของรอยเลื่อนมีอิทธิพลต่อระยะการเลื่อนและอัตราส่วน D_{max}/L ผลจากการวิจัยนี้สามารถอธิบายโดยอ้างอิงจากผลการศึกษาของ วอลซ์และวัตเตอร์สัน (Walsh and Watterson, 1988: 246) ที่กล่าวไว้ว่า คุณสมบัติของวัสดุรอยเลื่อน คือ มอดูลัสการเฉือน และแรงเสียดทานของระนาบรอยเลื่อน

มีผลต่อระยะการเลื่อนของรอยเลื่อน ประกอบกับผลการวิจัยที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลรอยเลื่อนปกติในตะกอน
ถล่มใต้ทะเลกับข้อมูลรอยเลื่อนปกติในหินที่แข็งตัวแล้ว สามารถอภิปรายได้ว่า รอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นใน
ตะกอนถล่มใต้ทะเลเกิดขึ้นกับตะกอนขนาดละเอียด (ตั้งแต่ขนาดทรายแป้งไปจนถึงโคลน) และอยู่ในสภาวะที่
อิ่มตัวไปด้วยน้ำ ตะกอนที่สะสมตัวเป็นชั้นจึงมีการจับตัวกันแบบหลวม ๆ เนื่องจากแรงดันน้ำภายในช่องว่าง
ตะกอน เป็นผลทำให้วัสดุมีค่ามอดูลัสการเฉือนน้อยและมีความต้านแรงเสียดทานต่ำ เมื่อมีแรงแม้จะพลังงาน
น้อยเข้ามากระทำ เช่น การสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก จึงทำให้เกิดการถล่มหรือการ
เคลื่อนที่ได้ง่ายกว่ามากเมื่อเทียบกับรอยเลื่อนที่เกิดในหินที่แข็งตัวแล้วที่มีตัวเชื่อมประสานระหว่างช่องว่าง
ภายในหิน

ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการคาดคะเนขนาดของรอยเลื่อน
ปกติที่เกิดขึ้นในตะกอนถล่มใต้ทะเลในพื้นที่อื่นในอนาคตได้ ยกตัวอย่างเช่น การนำใช้ประโยชน์เพื่อ
อุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยมีมอสคาร์เดลลี (Moscardelli, 2007:1-3) ได้อธิบายความสำคัญของตะกอนถล่ม
ใต้ทะเลต่อการสำรวจปิโตรเลียมคือ ตะกอนถล่มเหล่านี้มักประกอบไปด้วยตะกอนขนาดละเอียด ทำให้มี
คุณสมบัติค่าความซึมได้ต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การเป็นชั้นหินปิดทับ แต่ตะกอนถล่มเหล่านี้ก็
เกิดขึ้นพร้อมกับรอยเลื่อนเสมอ โดยอัตราส่วน D_{max}/L จากการศึกษาจะช่วยการคาดคะเนขนาดที่ถูกต้อง
ของรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นในตะกอนถล่มใต้ทะเลจะช่วยให้การคำนวณความเสี่ยงหรือปริมาณขนาดของแหล่ง
กักเก็บปิโตรเลียมที่มีชั้นหินปิดทับเป็นตะกอนถล่มใต้ทะเลให้มีความแม่นยำมากขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น ในการ
เจาะสำรวจแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมแห่งหนึ่งได้ตรวจพบรอยเลื่อนปกติ 1 รอยเลื่อนในชั้นหินปิดทับ ชั้นหินนี้
ประกอบไปด้วยตะกอนขนาดละเอียดและมีหลักฐานว่าเป็นตะกอนดินถล่มในอดีต รอยเลื่อนปกติที่ตรวจพบมี
ระยะเลื่อนในแนวตั้งที่มากที่สุด 100 เมตร แต่ไม่สามารถตรวจสอบความยาวทั้งหมดได้เนื่องจากอยู่นอกเขต
การสำรวจ หากอ้างอิงจากผลการวิจัยนี้ รอยเลื่อนปกตินี้จะมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วน D_{max}/L ประมาณ 0.049 จาก
การวิจัยนี้จะทำให้คาดคะเนความยาวของรอยเลื่อนปกติที่มีระยะเลื่อนในแนวตั้งที่มีค่า 100 เมตรว่าอาจจะมี
ความยาวประมาณ 2 กิโลเมตรได้

สรุป

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อหาขนาดและเปรียบเทียบอัตราส่วน D_{max}/L ของรอยเลื่อนปกติที่เกิดขึ้นใน
ชนิดหินที่ต่างกัน เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับขนาดรอยเลื่อนที่ผ่านมามักจะใช้ข้อมูลจากหินที่แข็งตัวแล้ว
งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะวัดขนาดรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นในตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวเป็นหิน โดยผู้วิจัยได้วัดขนาด
ของรอยเลื่อนปกติ 14 รอยเลื่อนจากภาพแปลข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสามมิติในตะกอนถล่มใต้ทะเลในแอ่ง
Makassar strait ประเทศอินโดนีเซีย โดยการวัดขนาดรอยเลื่อนถูกวัดออกมาเป็นค่าระยะเลื่อนที่มากที่สุด
(D_{max}) และความยาวของรอยเลื่อน (L) แสดงในกราฟ $\log/\log$ ที่มีแกน x เป็นค่าความยาวของรอยเลื่อน (L)
และแกน y เป็นค่าระยะเลื่อนที่มากที่สุด (D_{max}) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษากิจการงานวิจัยที่ผ่านมา
ผลการเปรียบเทียบพบว่ารอยเลื่อนในการศึกษานี้มีค่าอัตราส่วน D_{max}/L สูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมาที่วัดขนาด

รอยเลื่อนจากหินที่แข็งตัวแล้ว สามารถอธิบายได้ว่า ในตะกอนถล่มไถ่ทะเลในสภาวะอึมน้ำ ทำให้ช่องว่างระหว่างตะกอนมีแรงดันน้ำ ส่งผลให้มีความอคูสติกการเหือนต่ำและความต้านแรงเสียดทานน้อย เมื่อเกิดรอยเลื่อนจึงมีแนวโน้มที่จะมีระยะเลื่อนได้มากกว่าหินที่มีการแข็งตัวแล้ว ค่าคงที่ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประมาณขนาดของรอยเลื่อนปกติที่อาจเกิดขึ้นในตะกอนถล่มไถ่ทะเลในพื้นที่อื่นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุญาตให้ชุดข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนแบบสะท้อนแบบสามมิติจากการสำรวจและประมวลผลข้อมูลโดยบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษา ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- ราชบัณฑิตยสถาน. (2544). *พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.
- Armandita, C., Morley, C. K. & Rowell, P. (2015). Origin, structural geometry, and development of a giant coherent slide: The South Makassar Strait mass transport complex. *Geosphere*, 11, 376–403.
- Bull, S., Cartwright, J. & Huuse, M. (2009). A review of kinematic indicators from mass-transport complexes using 3D seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, v. 26, p. 1132–1151.
- Cowie, P. A. & Scholz, C. H. (1992b). Displacement-length scaling relationship for faults: data synthesis and discussion. *Journal of Structural Geology*, 14, 1149–1156.
- Dawers, N. H. & Anders, M. H. (1995). Displacement-length scaling and fault linkage. *Journal of Structural Geology*, 17, 607–614.
- Dawers, N. H., Anders, M. H. & Scholz, C. H. (1993). Growth of normal faults: displacement-length scaling. *Geology*, 21, 1107–1110.
- Hardman, R. F. P. & Booth, J. E. (1991). The significance of normal faults in the exploration and production of North Sea hydrocarbons. *The Geometry of Normal Faults. Geological Society Special Publication*, 56, 1–13.
- He, Y., Zhong, G., Wang, L. & Kuang, Z. (2014). Characteristics and occurrence of submarine canyon-associated landslides in the middle of the northern continental slope, South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 57, 546–560.



- Kim, Y.-S. & Sanderson, D. J. (2005). The relationship between displacement and length of faults: a review. *Journal of Earth-Science Reviews*, 68, 317-334.
- Krantz, R. W. (1988). Multiple fault sets and three-dimensional strain. *Journal of Structural Geology*, 10, 225-237.
- Moscardelli, L. & Wood, L. (2008). New classification system for mass-transport complexes in offshore Trinidad. *Basin Research*, 20, 73-98.
- Moscardelli, L. (2007). Mass-Transport Processes and Deposits in Offshore Trinidad and Venezuela, and their Role in Continental Margin Development. Ph.D. dissertation, The University of Texas at Austin .
- Peacock, D. C. P. & Sanderson, D. J. (1991). Displacement and segment linkage and relay ramps in normal fault zones. *Journal of Structural Geology* 13, 721-733.
- Scholz, C. H. & Cowie, P. A. (1990). Determination of geologic strain from fault slip data. *Nature* 346, 837-839.
- Walsh, J. J. & Watterson, J. (1988). Analysis of the relationship between the displacements and dimensions of faults. *Journal of Structural Geology*, 10, 239-247.
- Watterson, J. (1986). Fault dimensions, displacements and growth. *Pure and Applied Geophysics*, 124, 365-373.

อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สคลุม

EFFECT OF ELECTRICAL CURRENT ON WELDING HARDNESS OF CARBON STEEL GRADE SS400 BY GMAW PROCESS

ปติตตา นาควงษ์^{1*}

Patittar Nakwong

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

¹Faculty of Science and Technology, Department of Applied Science,
Phranakhon si Ayutthaya Rajabhat University

*Corresponding author, E-mail: patittar.n@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟฟ้าที่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (HAZ; Heat affected zone) ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ในการศึกษาจะทำการเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมที่ระดับ 90- 180 แอมแปร์ โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมที่ความเร็ว 30 เซนติเมตรต่ออนาที และความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่ 20 โวลต์ นำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบแรงกระแทก พบว่าที่กระแสไฟ 180 แอมแปร์ มีค่าแรงต้านการกระแทกที่ 4.7 จูล มีค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมน้อยที่สุด 185.3 HV และพบว่า พบบริเวณแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 90 แอมแปร์ มีค่าความแข็งสูงที่สุด 360.4 HV เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดขนาดของเม็ดเกรนใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง ที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ มีค่า 185.3 HV เมื่อตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และตรวจสอบการกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิคการกระจายตัวของธาตุ (EDS) ว่าการหลอมละลายของลวดเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่กระแสไฟฟ้า 180 แอมแปร์ มีสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) เข้าผสมกับเนื้อเชื่อมทำให้เนื้อเหล็กมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: หุ่นยนต์งานเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เนื้อเชื่อม โครงสร้างจุลภาค

ABSTRACT

The influence of current on welding hardness (HAZ; heat affected zone) of carbon steel SS400 was assessed. Welding current was varied between 90 and 180 A, with welding

speed of 30 cm/min at 20 Volts. A welding current of 180 A gave impact strength of 4.7 J with minimum hardness of 185.3 HV, while a welding current at 90 A gave high hardness of 360.4 HV. increase in welding current resulted in larger grain size and decreased hardness. The workpiece was examined using scanning electron microscopy (SEM) to check distribution of elements by the elemental dispersion technique (EDS). Welding wire used with SS400 grade carbon steel at 180 A contained zinc (Zn) and copper (Cu). This mixed with the welding material and increased the strength of the steel.

Keywords: Robot Welding, Carbon steel, Welded zone, Micro structure

บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการเชื่อมด้วยแขนกลเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในวงการอุตสาหกรรมการผลิต แทนแรงงานมนุษย์ในงานที่ต้องใช้เวลามาก เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการเชื่อมและเป็นการลดของเสียจากกระบวนการผลิต แขนกลงานเชื่อมจึงมีบทบาทในการทำงานมากขึ้น ข้อดีของการที่มีหุ่นยนต์ทำงานแทนคนนั้นนอกจากที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น, มีความแน่นอนแม่นยำ, สามารถทำงานผลิตได้โดยไม่ต้องหยุดพัก, จำนวนชิ้นงานที่ทำมากขึ้น ทำให้เกิดผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ในการนำเอาหุ่นยนต์มาใช้ในการอุตสาหกรรมมากขึ้นแต่ก็ยังคงมีข้อเสียคือ มีราคาสูง ต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมหุ่นยนต์ และไม่เหมาะในโรงงานที่กำลังผลิตน้อย

เหล็กกล้าคาร์บอน เป็นเหล็กที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเรือ อุตสาหกรรมโครงสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ง่าย ทนต่อแรงกระแทกสูงและมีราคาไม่แพงนักจึงเป็นวัสดุที่มีความนิยมในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง

ทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาวิจัยโดยใช้หุ่นยนต์งานเชื่อม และการนำเอาเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม มาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาภายหลังกระบวนการเชื่อมโลหะของเหล็กที่อาจมีความเสียหายหรือการกระจายตัวของธาตุต่าง ๆ กระบวนการเชื่อมที่ส่งผลต่อโครงสร้างระดับมหภาคหรือจุลภาคว่าภายหลังกระบวนการเชื่อมอาร์ค ในการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม เพื่อหาประสิทธิภาพและความเหมาะสมที่สุดในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 (ศักดิ์ชัย จันทศรี, สุรัตน์ ตรีวัฒนพงศ์, กิตติพงศ์ กิมะพงศ์ และสุวัฒน์ ภูเกา, 2555: สุวัฒน์ ภูเกา และกิตติพงศ์ กิมะพงศ์, 2554) โดยกำหนดปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และการเดินแนวการเชื่อมที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความร้อนบริเวณเนื้อเหล็ก (HAZ) ซึ่งก่อให้เกิด ความแข็งแรงในเนื้อเชื่อม ตลอดแนวเชื่อมที่มีความกว้าง ยาว สูง และการหลอมลึกที่ไม่สมบูรณ์

(ไพบุลย์ หาญมนต์, 2552) ส่งผลให้นำไปสู่การแตกหักทางโลหะวิทยา (ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ, ชัยวัฒน์ พันธุชาติ, โชคนิมิตร ชันธจันทร์ และวิทยา อึ้งดีดใช้, 2549) อีกทั้งภายหลังกระบวนการเชื่อมผลจากความร้อนก่อเกิดสารประกอบของธาตุที่ทำปฏิกิริยากับลวดเชื่อมและเนื้อเหล็กที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทั้งทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากความร้อนในการเชื่อม (Mathivanan, Senthilkumar, & Devakumaran, 2015)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของกระแสเชื่อมที่มีต่อความแข็งแรงของเนื้อเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400

วิธีดำเนินการวิจัย

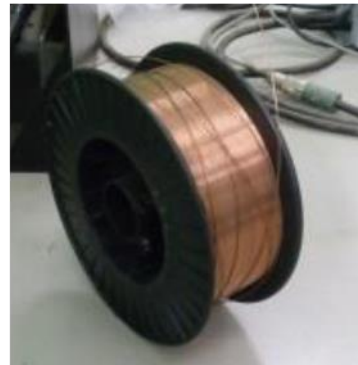
การดำเนินงานวิจัยโดยการใช้หุ่นยนต์แขนกลยี่ห้อ Kawasaki รุ่น RA010N โดยการใช้เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 เป็นชิ้นงานในการทดลองการเชื่อม โดยการกำหนดรอยเชื่อมเป็นการเชื่อมในแนวราบบนพื้นผิวเหล็ก ใช้อัตราเร็วหัวเชื่อม 30 เซนติเมตรต่อนาที ลวดที่ใช้คือลวดเชื่อมมิกซีโอทู โคเวท รุ่น AWS A5.18 ER 70S-6 การทำงานเป็นการทำงานระบบอัตโนมัติ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อม จากนั้นการทดสอบความแข็งแรงบริเวณกระพุ่มร้อนของแนวเชื่อม และเนื้อโลหะเดิม โดยพบว่ากระแสไฟฟ้ามีอิทธิพลโดยตรงกับสมบัติทางกล (ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ และคณะ, 2549)

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ

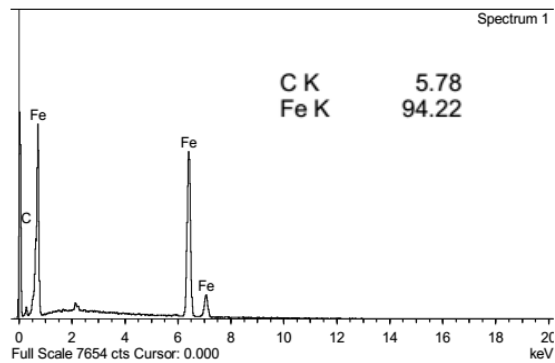
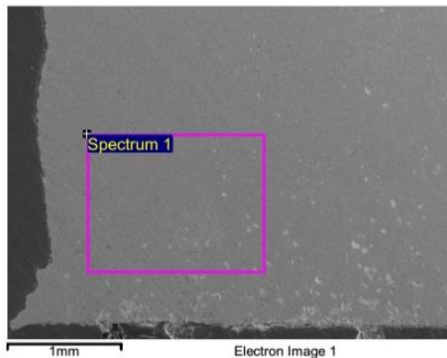
1. เครื่องมือในการเชื่อม เป็นหุ่นยนต์แขนกลเชื่อม Kawasaki รุ่น RA010N ดังภาพที่ 1
2. ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบ คือ ลวดเชื่อมมิกซีโอทูโคเวท เป็นลวดตันซึ่งออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่สะดวก เหมาะสำหรับแผ่นเหล็กบาง โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 2 โดยมีส่วนประกอบของลวดเชื่อมแสดงดังตารางที่ 1
3. เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 เหมาะสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป ใช้ในงานโครงสร้างยานยนต์งานต่อเรือ สะพานเหล็ก มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EDS ดังภาพที่ 3 จากนั้นตัดให้มีขนาด 10 x 15 เซนติเมตร และมีความหนา 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4 ทำการทดลองด้วยปัจจัยการทดลองดังตารางที่ 2 โดยมีลักษณะของผิวงานเชื่อมดังภาพที่ 5
4. นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมมาทดสอบแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกบริเวณรอยเชื่อม
5. ตรวจสอบลักษณะของโครงสร้างโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์ไมโครสโคป (OM) จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุบริเวณรอยเชื่อม ด้วยเทคนิคการกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสโคปี (EDS) จากนั้นทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อเชื่อมโดยแบ่งเป็น 3 บริเวณ คือ เนื้อเชื่อม (Welded Zone), บริเวณกระพุ่มร้อน (HAZ), บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Material)



ภาพที่ 1: หุ่นยนต์ที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 2: ลวดเชื่อมที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 3: ผลการทดสอบองค์ประกอบธาตุของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400



ภาพที่ 4: เหล็กกล้าคาร์บอน SS400



ภาพที่ 5: ผิวงานเชื่อมของเหล็ก

ตารางที่ 1: ส่วนประกอบของลวดเชื่อมมิกซีไอทู โคเวท รุ่น AWS A5.18 ER

	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu
Standard	0.06- 0.15	1.40- 1.85	0.80- 1.15	≤ 0.035	≤ 0.025	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.03	≤ 0.50
Typical	0.078	1.53	0.85	0.01	0.011	0.029	0.022	0.008	0.010	0.12

ตารางที่ 2: ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Work piece	Welding Current (A)	Wire speed (Cm/min)	Voltage (volt)	Gas
SS400	90 -180	30	20	CO ₂

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ภายหลังกะบวนการเชื่อม โดยเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า ตั้งแต่ 90-180 แอมแปร์ พบว่าพลังงานจากการเชื่อมที่กระแสไฟต่างกันส่งผลให้เกิดแนวเชื่อมที่แตกต่างกันตามระดับของกระแสไฟฟ้า กล่าวคือเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนในขณะที่มีการเชื่อมงานเกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดแนวเชื่อมที่มีขนาดใหญ่และบริเวณกระแทบร้อนที่เกิดกว้างขึ้น (สิทธิพงษ์ แสงอินทร์, 2560) การคำนวณค่าความร้อนในงานเชื่อมสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ และคณะ, 2549: Mathivanan et al., 2015)

$$\text{Energy Input} = (\text{Volt} \times I \times 60)/S$$

Volt = ความต่างศักย์ (โวลต์)

I = กระแสเชื่อม (แอมแปร์)

S= ความเร็วหัวเชื่อม (มม./นาที)

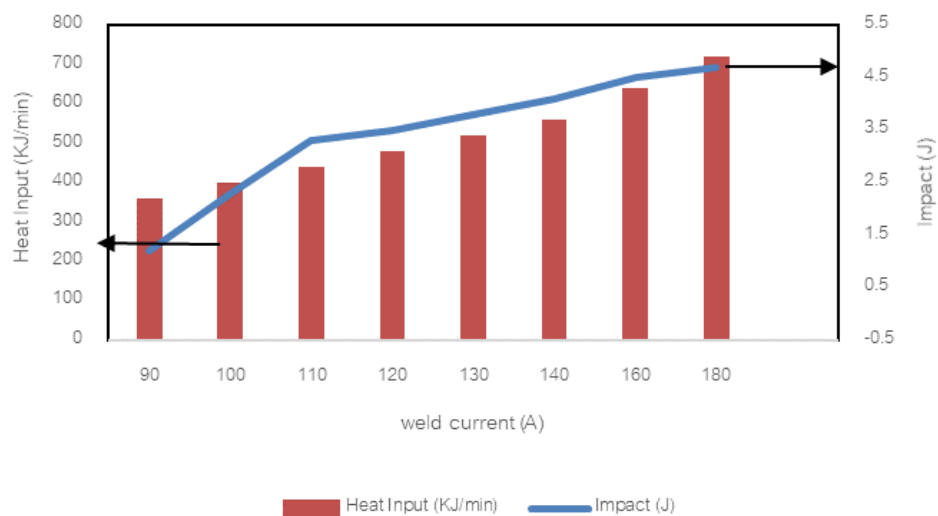
จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของกระแสไฟที่ส่งผลต่อแนวเชื่อม โดยพิจารณาจากปริมาณความร้อน (Heat Input) ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการการหลอมลึกของชิ้นงานกับลวดเชื่อม จากสมการการคำนวณข้างต้นสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ส่งผลต่อชิ้นงานภายใต้กระแสเชื่อมที่ 90-180 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์และความเร็วหัวเชื่อมที่ 30 เซนติเมตร/นาที ได้ระดับความร้อนดังตารางที่ 3

ในกระบวนการเชื่อมแก๊สกลุ่มนี้มักจะเกิดปัญหากระแสเชื่อมที่มากเกินไปส่งผลให้บริเวณที่ได้รับพลังงานความร้อนสูงเกิดบ่อหลอมละลาย หรือในบางครั้งอาจเกิดการกระจายตัวที่ไม่เท่ากันของปริมาณ ความร้อน

ตารางที่ 3: ผลของกระแสเชื่อมในการทดลอง

Pulsed current (A)	90	100	110	120	130	140	160	180
Heat Input (KJ/min)	360	400	440	480	520	560	640	720

จากความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นพบว่าค่าความแตกต่างของความร้อนมีต่อทางการหลอมละลายของเหล็กที่ส่งผลต่อความแข็งแรง โดยพิจารณาจากแรงต้านการกระแทก ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 6



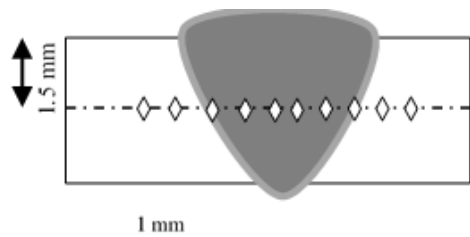
ภาพที่ 6: ภาพเปรียบเทียบค่าความร้อนกับพลังงานจากการกระแทก



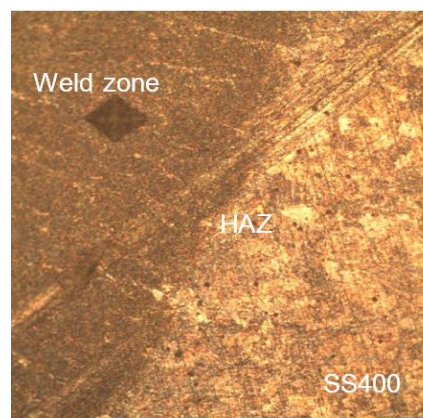
ภาพที่ 7: เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact tester)

จากความสัมพันธ์ดังภาพที่ 6 ซึ่งเป็นการทดสอบความต้านทานการแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ดังภาพที่ 7 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ มีความเหนียวของรอยเชื่อมมากที่สุด เนื่องจากมีค่าแรงกระแทกสูงถึง 4.7 จูล ภายหลังจากกระบวนการเชื่อมขึ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่กระแสเชื่อมที่เพิ่มสูงขึ้นความต้านทานแรงกระแทกจะเพิ่มมากขึ้น (Poonnayom, Chantasri, Kaewwichit, Roybang, & Kimapong, 2015) จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมภายหลังจากกระบวนการเชื่อม โดยทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจความแข็งของเนื้อเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ น้ำหนักการกดที่ 1 gf กดนาน 10 วินาที เป็นจำนวนทั้งสิ้น 10 จุด โดยแบ่งเป็น 3 ตำแหน่ง คือ บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld zone), บริเวณกระพือร้อน (HAZ) และ บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base material) ดังภาพที่ 8 และผลการกดดังภาพที่ 9 (Wibowo, 2019; Won Han, 2018) จากนั้นนำค่าความแข็งที่ทำการสร้างกราฟ ดังภาพที่ 10 ทำให้เห็นว่าผลจากการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดความแข็งแรง

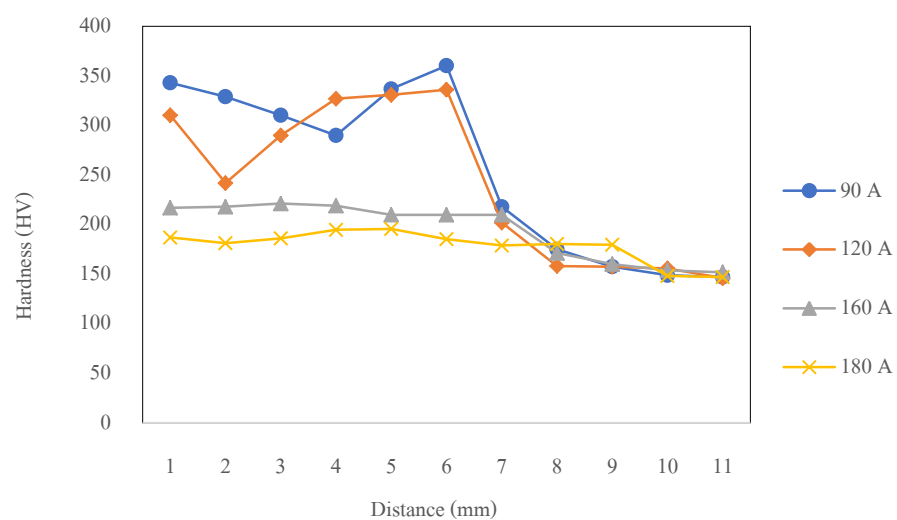
ทางโลหะวิทยาทดลอง



ภาพที่ 8: แนวการวัดค่าความแข็งของเนื้อเชื่อม



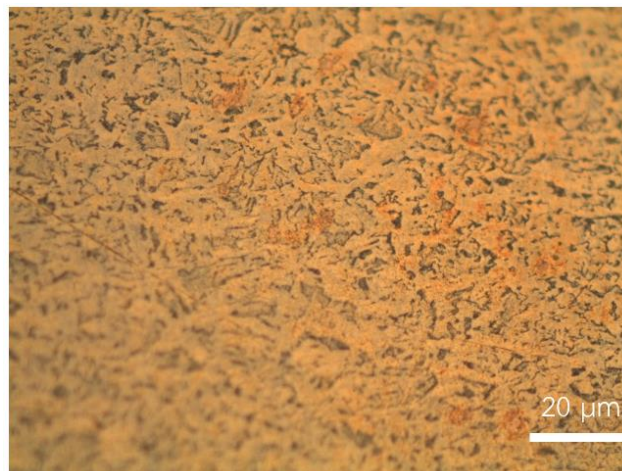
ภาพที่ 9: การวัดค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม



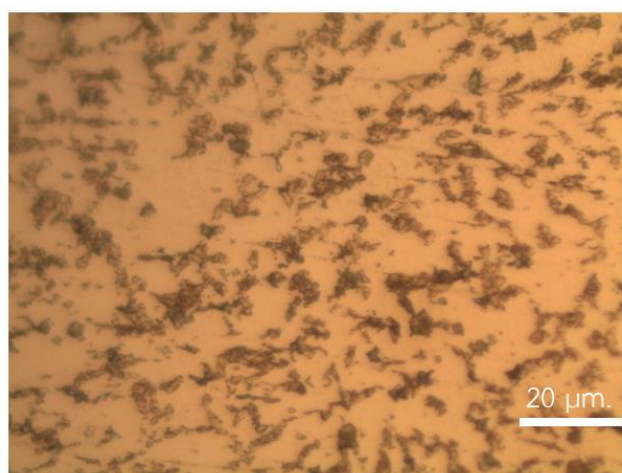
ภาพที่ 10: ค่าความแข็งของเนื้อเชื่อม

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อม

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมแล้วนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโครงสร้างของแนวเชื่อมเพิ่มเติม จากภาพที่ 11 และภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานเหล็กกล้าเกรด SS400 ภายหลังกระบวนการมีค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม (Welded Zone) มากกว่าบริเวณกระหนวร้อน (HAZ) และ บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base material) และมีค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้กระแสเชื่อมมากขึ้น ที่กระแสเชื่อม 90 แอมแปร์ มีค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมสูงสุดที่ 360.4 HV และ เมื่อใช้กระแสเชื่อมที่ 180 แอมแปร์ พบว่ามีค่าความแข็งอยู่ที่ 185.3 HV และขนาดของเกรนมีผลตรงข้ามกับค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, เจษฎา แก้ววิชิต, สุริยา ประสมทอง และสุริยา น้ำแก้ว, 2556)



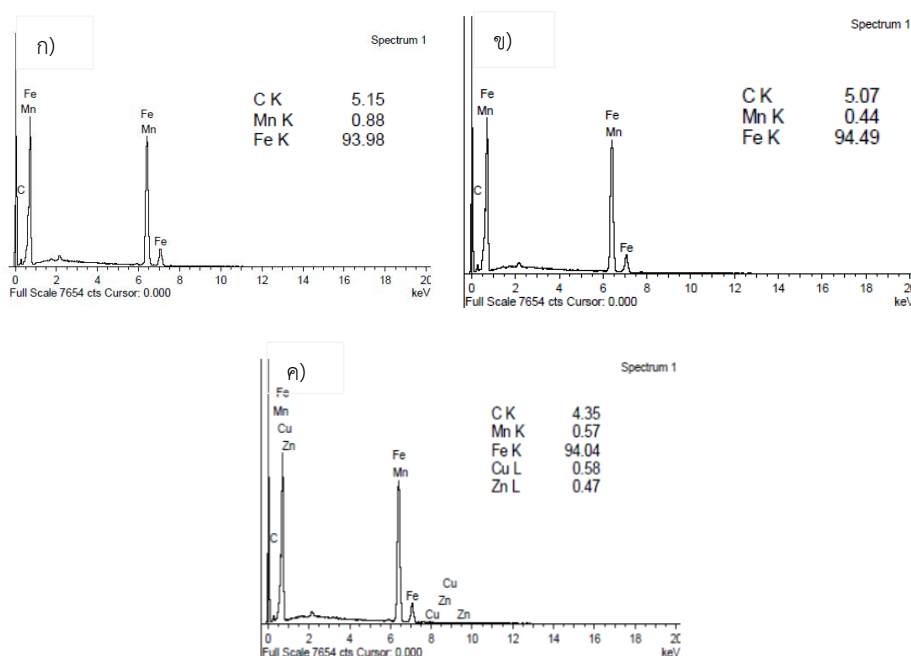
ภาพที่ 11: โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 90 แอมแปร์



ภาพที่ 12: โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์

ผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุบริเวณเนื้อเชื่อม

จากผลการทดสอบแรงกระแทกและผลจากการทดสอบความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมของการเชื่อมเหล็กเกรด SS400 ที่กระแสเชื่อมต่างระดับ พบว่าระดับกระแสเชื่อมต่ำส่งผลให้เกิดความเปราะของบริเวณรอยเชื่อมมากกว่าการเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าสูง จากผลการทดลองเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบผลของธาตุที่มีส่วนประกอบในเนื้อเชื่อมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (EDS) ดังภาพที่ 13 พบว่าที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์มีปริมาณของธาตุสังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) เพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้เกิดความเหนียวบริเวณเนื้อเชื่อมเพิ่มมากขึ้น (รัฐพล ผลพานิชย์และคณะ, 2556) เห็นได้จากค่าทดสอบแรงกระแทกของเนื้อเชื่อมของกระแสเชื่อมที่ 180 แอมแปร์มีค่า 4.7 จูล ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุด



ภาพที่ 13: ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุที่กระแสเชื่อม ก) 90 A ข) 160 A ค) 180 A

สรุป

จากการทดลองจะเห็นได้ว่ารอยเชื่อมโดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมที่ความเร็ว 30 เซนติเมตรต่อนาที และความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่ 20 โวลต์ ที่แผ่นเหล็กหนา 6 มิลลิเมตร พบว่ารอยเชื่อมเหล็กกล้าเกรด SS400 กระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 90-180 แอมแปร์ มีความสม่ำเสมอของแนวเชื่อม ขนาดของรอยเชื่อมการซึมลึกที่แตกต่างกัน (Mathivanan et al., 2015) การใช้กระแสเชื่อมต่ำจะมีขนาดเกรนเริ่มมีขนาดเล็กลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น (Sproesser, Pittner, & Rethmeier, 2016) ซึ่งลักษณะของโครงสร้างทางจุลภาค ส่งผลให้เกิดลักษณะเสียหายของโลหะวิทยา ทำให้บริเวณกระแทก (HAZ) มีค่าความแข็งของเนื้อเชื่อมมากเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ นอกจากนี้การทดสอบการกระจายตัวของธาตุเพื่อหาธาตุผสมที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้

ความร้อนในการเชื่อมจะเห็นว่าเมื่อใช้กระแสเชื่อมที่เพิ่มสูงขึ้นจะปรากฏธาตุที่มีองค์ประกอบร่วมจากลวดเชื่อมและธาตุจากเหล็กกล้าคาร์บอนออกมาส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยเครื่องมือสำหรับทำงานวิจัย จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมการจัดการและสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

เครื่องมือในการทดสอบความแข็ง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และคำแนะนำในการทดสอบของ ผศ.ดร.พิชัย จันทน์มณีและอาจารย์เจษฎา แก้ววิจิตร

เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, เจษฎา แก้ววิจิตร, สุริยา ประสมทองและ สุริยา น้ำแก้ว. (2556). อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกของรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้า SCW410. การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. พัทยา ชลบุรี.
- ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ, ชัยวัฒน์ พันธชาติ, โชคนิมิตร ชันธจันทร์และ วิทยา อังติ๊ดใช้. (2549). การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมที่มีผลต่ออัตราการหลอมลึกในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 26-32.
- ไพบูลย์ หาญมนต์. (2552). การศึกษาอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึก ความกว้าง ความสูงและบริเวณกระแทกร้อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยกระบวนการเชื่อมมิก. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมศาสตร์.
- รัฐพล ผลพานิชย์, เฉลิมพล จันทน์ไพจิตร, ญัฐวัตร รัตนอนุจร, วิษณุ มณีอรุณ, ธนพล หวานสนิท, กิตติชัย พักพันธ์ และ กฤตธี เอียดเหตุ. (2556). การออกแบบรอยต่อแนวเชื่อมต่อไทเทเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยวิธีการเชื่อมทิก. การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. พัทยา ชลบุรี.
- ศักดิ์ชัย จันทศรี, สุรัตน์ ตรีวัฒนพงศ์, กิตติพงศ์ กิมะพงศ์ และสุวัฒน์ ภูเกา. (2555). ประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อชนแผ่นเหล็กคาร์บอน SS400C และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมอุตสาหกรรม.
- สิทธิพงษ์ แสงอินทร์. (2560). ผลของการกระจายความร้อนต่อรูปร่างแนวเชื่อมในวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนาต่างกันด้วยดาร์เชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 16, 23-36.
- สุวัฒน์ ภูเกา และ กิตติพงศ์ กิมะพงศ์. (2554). อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430. การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554 (pp. 1338-1343). ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

- Mathivanan, A., Senthilkumar, A., & Devakumaran, K. (2015). Pulsed current and dual pulse gas metal arc welding of grade AISI: 310S austenitic stainless steel. *Defence Technology*, 11(3), 269-274. doi:10.1016/j.dt.2015.05.006.
- Poonnayom, P., Chantasri, S., Kaewwichit, J., Roybang, W., & Kimapong, K. (2015). Microstructure and Tensile Properties of SS400 Carbon Steel and SUS430 Stainless Steel Butt Joint by Gas Metal Arc Welding. *The International Journal of Advanced Culture Technology*, 3(1), 61-67. doi:10.17703/ijact.2015.3.1.61.
- Sproesser, G., Pittner, A., & Rethmeier, M. (2016). Increasing Performance and Energy Efficiency of Gas Metal Arc Welding by a High Power Tandem Process. *Procedia CIRP*, 40, 642-647. doi:10.1016/j.procir.2016.01.148.
- Wibowo, I. A. (2019). The Effect of Current Variation on Micro Structure and Hardness in Alloy steel SS400 Welding Process Using Smaw Method. *Journal of Mechanical Engineering and Vocational Education (JoMEVE)*, 2(1). doi:10.20961/jomeve.v2i1.27332
- Won Han, J. (2018). Investigation of the Weld Properties of Inconel 625 based on Nb Content. *International Journal of Electrochemical Science*, 2829-2841. doi:10.20964/2018.03.01.

อีซี่ แอด สเปค โมบายแอปพลิเคชัน สำหรับการเรียนรู้คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์

EASY @ SPEC MOBILE APPLICATION FOR COMPUTER HARDWARE LEARNING

ผกาพรรณ ลิ้มปรีรัตน์^{1*}, ปัทมาภรณ์ พิมพ์หานาม², เสาวณี แซ่ตั้ง³

¹คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

¹School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

²คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

²School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

³คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

³School of Information Technology and Innovation, Bangkok University

*Corresponding author, E-mail: pakapan.l@bu.ac.th

บทคัดย่อ

คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการใช้งานเพื่อการทำงาน การศึกษา และให้ความบันเทิง อย่างไรก็ตามมีผู้ใช้งานจำนวนมากที่ใช้คอมพิวเตอร์โดยไม่รู้จักส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์ หน้าที่ในการทำงาน และวิธีการประกอบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ผู้เขียนจึงพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันชื่อ อีซี่ แอด สเปค (Easy @ Spec) เพื่อให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์กับผู้ใช้กลุ่มนี้ โมบายแอปพลิเคชันพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ iOS โดยการสอนอยู่ในรูปแบบเชิงโต้ตอบ อีซี่ แอด สเปคมีฟังก์ชันหลัก 3 ฟังก์ชัน: 1. ให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แต่ละชิ้น เช่น ลักษณะ และการใช้งาน 2. บอกตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงในคอมพิวเตอร์ และ 3. เกมตอบคำถามที่จะวัดระดับความรู้ของผู้ใช้งานว่าสามารถนำความรู้ต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาตอบคำถามได้หรือไม่ การวัดความสำเร็จของอีซี่ แอด สเปค ใช้การมีส่วนร่วมของผู้ใช้ (User Engagement) และจากผลการทดลองพบว่า การมีส่วนร่วมของผู้ใช้ อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนว่า อีซี่ แอด สเปค มีศักยภาพที่จะใช้ในการให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ได้ แต่มีจุดที่ต้องพัฒนาเพื่อยกระดับคุณภาพของการเรียนรู้ต่อไป

คำสำคัญ: โมบายเลิร์นนิ่ง โมบายแอปพลิเคชันเชิงโต้ตอบ คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์

ABSTRACT

Desktop Computer is widely popular for working, education, and entertainment. However, there is a considerable amount of desktop computer users who do not know computer hardware components, their functions, and how to compose the hardware components together. Therefore author had developed a mobile application named Easy @

Spec purposed to offer basic knowledge of the hardware components to these users. The mobile application were developed on iOS operating system. The teaching was in interactive format. The Easy @ Spec has 3 main functions: 1. Provide basic knowledge of each hardware component (eg., its shape and function), 2. Inform the installation position of every component in the computer, and 3. The question and answer game used to measure the users' knowledge whether they could apply the knowledge to answer the questions. The successful of the Easy @ Spec was measured against User Engagement and based on an observation, the User Engagement was measured at mid-level. This informed that the Easy @ Spec had potential to be used as a tool to provide basic knowledge of computer hardware. Nevertheless, it had liability that must be improved in order to continuously increase learning quality.

Keywords: Mobile Learning, Interactive Mobile Learning, Computer Hardware

บทนำ

ในปัจจุบันความนิยมในการใช้งานคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop Computer) เพื่อการทำงาน การเรียน และให้ความบันเทิง อย่างไรก็ตามยังมีกลุ่มผู้ใช้งานจำนวนมากที่ยังไม่ทราบเป็นส่วนประกอบของ ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะว่ามีลักษณะ และวิธีการทำงานอย่างไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนา แอปพลิเคชันชื่อ อีซี แอด สเปค (Easy @ Spec) บนโทรศัพท์มือถือ (Mobile Application) เนื่องจากโมบาย แอปพลิเคชันนั้นเป็นโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน (Smartphone) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา วัตถุประสงค์ของการพัฒนาเพื่อให้ความรู้กับผู้ใช้งานกลุ่มนี้ เพื่อให้มีความรู้ พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และสามารถนำความรู้ไปใช้ในการเลือกซื้ออุปกรณ์ที่เหมาะสม หรือ ประกอบคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้ด้วยตนเอง โดยแอปพลิเคชันจะอยู่ในรูปแบบการเรียนรู้เชิงโต้ตอบ (Interactive Mobile Learning) คือมีการตอบโต้กันระหว่างผู้เรียน กับแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม การเรียนรู้ที่จัดให้ และสามารถใช้เวลาอยู่กับแอปพลิเคชันได้นานขึ้น

แอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ทั้งหมด 9 ชิ้น ได้แก่ ซีพียู (CPU) เมนบอร์ด (Mainboard) แรม (RAM) การ์ดจอ (Graphic Card) พาวเวอร์ซัพพลาย (Power Supply) ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) SSD (Solid State Drive) เคสคอมพิวเตอร์ (Computer Case) และพัดลม ระบายความร้อน (Sink) โดยใช้สื่อผสม ทั้งรูปภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว (.Gif) และคำบรรยาย รวมถึงให้ความรู้ ในเรื่องของการบอกตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง 9 ชิ้นลงในคอมพิวเตอร์เคสเพื่อให้ผู้เรียนทราบถึงตำแหน่ง ในการติดตั้งอุปกรณ์ และสามารถติดตั้งอุปกรณ์ด้วยตัวเองได้ โดยใช้ภาพเคลื่อนไหว (Animation) ซึ่งผู้เรียน สามารถควบคุมเองได้ นอกจากนั้นเพื่อเป็นการทดสอบความรู้ที่ได้เรียนจากแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค

ผู้เรียนสามารถทดสอบความรู้ของตนเอง (Self-Evaluation) ผ่าน Quiz game ซึ่งมีระดับความยากให้ผู้เลือกใช้เล่นได้ 3 ระดับ คือ ง่าย (Easy) ปานกลาง (Normal) และยาก (Hard) ในแต่ละระดับคำถามมีทั้งหมด 10 ข้อ และมีตัวเลือกให้ผู้เรียนเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

การประเมินความสำเร็จของการออกแบบแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ใช้การจัดจอกับกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้ใช้ (User Engagement) ซึ่งประเมินทั้งสิ้น 5 ด้านได้แก่ ผู้ใช้สนใจและจดจ่อในงานที่ทำ (Focus Attention) ผู้ใช้เห็นถึงความสวยงามน่าใช้ของการออกแบบโมบายแอปพลิเคชัน (Aesthetic) ผู้ใช้รู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เกี่ยวกับโมบายแอปพลิเคชัน (Involvement) แอปพลิเคชันมีฟังก์ชันที่ทำให้ผู้ใช้ประหลาดใจ ตื่นเต้น อยากที่จะใช้งาน (Novelty) ผู้ใช้อยากจะใช้งานโมบายแอปพลิเคชันอีกหลังจากทดลองใช้ไปแล้ว แนะนำให้คนอื่นใช้งานด้วย (Repeatability) และผู้ใช้รับรู้ถึงประโยชน์ของแอปพลิเคชัน (Perceived Usability) นอกจากนั้นการวิจัยยังเก็บข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อนำไปพัฒนาการออกแบบต่อไปด้วย

ทบทวนวรรณกรรม

โมบายเลิร์นนิง (Mobile Learning) หรือ เอ็ม เลิร์นนิง M-Learning คือ การเรียนรู้แบบเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์พกพาไร้สาย เช่น สมาร์ทโฟน หรือ แท็บเล็ต โดยผู้เรียนจะเป็นผู้ควบคุมการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านซอฟต์แวร์ที่นำเสนอเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนการสอน โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สาย และเทคโนโลยีเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Zhang & Cristol, 2019) ในปัจจุบันสำหรับการเรียนรู้ในระดับมหาวิทยาลัย M-Learning เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ช่วยสนับสนุนการเรียนการสอนในห้องเรียน เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างอิสระทุกที่ทุกเวลา M-Learning พัฒนามาจากนวัตกรรมการเรียนการสอนทางไกล (Distance Learning หรือ D-Learning) และการจัดการเรียนการสอนผ่านคอมพิวเตอร์ (Electronic Learning หรือ E-Learning) ถึงแม้ว่า M-Learning จะมีข้อดีในด้านความสะดวกสบายของผู้เรียน และช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ด้วยตนเอง รวมทั้งพัฒนาด้านความรับผิดชอบ M-Learning ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากอุปกรณ์พกพาที่ใช้นั้นจะต้องมีขนาดเล็กเพื่อให้ผู้เรียนสามารถพกพาไปได้ทุกที่ ทำให้การออกแบบรูปแบบการสอนจะต้องมีการออกแบบอย่างระมัดระวัง และผ่านกระบวนการทดลองใช้เพื่อสำรวจคุณภาพการออกแบบนำไปใช้งานจริง การพัฒนาแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ผ่านการทดลองใช้จากผู้ใช้งาน 2 รอบ เพื่อทดสอบ และพัฒนาคุณภาพของการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) เนื้อหาการเรียนรู้ และกิจกรรมการเรียนรู้

การเรียนรู้แบบโต้ตอบสองทาง (Interactive Learning) เป็นการสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอน และผู้เรียน หรือภายในกลุ่มผู้เรียนด้วยกันเอง ซึ่งจากการวิจัยพบว่า Interactive Learning ในรูปแบบของเกมถาม-ตอบ ทั้งบนกระดานในห้องเรียน และผ่านการเรียนอิเล็กทรอนิกส์ หรือ อีเลิร์นนิง (E-learning) นั้นสามารถทำให้ผู้เรียนจดจ่ออยู่กับกระบวนการเรียนรู้ พัฒนาทักษะ และกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้น (Zainuddin et al., 2020) การเรียนรู้แบบโต้ตอบรูปแบบหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ การเรียน

เชิงโต้ตอบผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน (Interactive Mobile Learning) เนื่องจากเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่หลายข้อจำกัดของสถานที่ และเวลาเรียน มีความยืดหยุ่นให้ผู้เรียนเรียนจากสถานที่ใด เวลาใดก็ได้ (Chung & Khor, 2015) การพัฒนาแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค มีการออกแบบ Interactive Learning โดยใช้เกมถาม-ตอบ และสื่อการเรียนรู้แบบผสม ทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว (.gif) และคำบรรยาย เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนจดจ่อกับกระบวนการเรียนรู้

ในปัจจุบันมีโมบายแอปพลิเคชันจำนวนมากที่มุ่งเน้นเรื่องการให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ และให้ผู้ได้ทดลองประกอบอุปกรณ์เหล่านั้นด้วยตนเอง เช่น แอปพลิเคชัน J.I.B Online (J.I.B. Computer Group, 2019) ซึ่งมีจุดเด่นด้านการให้ข้อมูลอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ นำเสนอข่าวสารเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ใหม่ ๆ ถ้าผู้ต้องการซื้ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ผู้ใช้สามารถค้นหาจากระบบค้นหา และสั่งซื้อสินค้าในแอปพลิเคชันได้ อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชัน J.I.B Online ไม่ได้มุ่งเน้นเรื่องการให้ความรู้ในรูปแบบ M-learning แต่มุ่งเน้นการขายสินค้า (Mobile Commerce) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังมีแอปพลิเคชันที่จำลองการประกอบคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์เพื่อให้ผู้ได้ทดลองประกอบด้วยตนเอง เช่น PC Building Simulator (Amin APPS., 2020) และ PC Architect Advanced (Games from Garage, 2016) ซึ่งมีทั้งรูปแบบ 3 มิติ และ 2 มิติ อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันที่เป็นระบบจำลองการประกอบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เหล่านี้ยังขาดการให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์แต่ละชิ้น ผู้ใช้ซึ่งไม่มีความรู้จึงไม่สามารถทดลองประกอบคอมพิวเตอร์ด้วยตัวเองได้ ผู้วิจัยจึงพัฒนาแอปพลิเคชันที่มีทั้งส่วนให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และส่วนให้ผู้มีส่วนร่วมร่วมกันการประกอบอุปกรณ์เหล่านั้นด้วยตัวเอง

พริยาภรณ์ (2015) ให้คำจำกัดความของ Student Engagement ว่า “ผู้เรียนสนุกกับการเรียน” และอธิบายถึง Student Engagement ว่าผู้เรียนมีใจจดจ่อกับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เพราะผู้เรียนมีความสนใจต่อสิ่งนั้น มีแรงบันดาลใจ และได้ทดลองปฏิบัติสิ่งนั้นด้วยตนเอง Student Engagement ถือเป็นลักษณะอย่างหนึ่งที่ใช้ในการวัดความสำเร็จของการเรียนในระดับมหาวิทยาลัย (Quaye, 2019) ซึ่งการวิจัยนี้ใช้ Student Engagement มาใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความสำเร็จของแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ด้วยสมมติฐานว่าถ้าผู้เรียนจดจ่อกับเนื้อหาการเรียนรู้ และกิจกรรมที่ออกแบบในแอปพลิเคชัน ผู้เรียนใช้เวลา และความพยายามในการทำความเข้าใจ เท่ากับผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาที่ออกแบบไว้ และถือว่าการออกแบบแอปพลิเคชันนั้นมีคุณภาพ โดยการวัด Student Engagement นั้น ใช้องค์ประกอบ 6 ด้านของ Student Engagement (O'Brian & Tom, 2013) ซึ่งประกอบด้วย: ผู้ใช้สนใจและจดจ่อกับงานที่ทำ (Focus Attention) ผู้ใช้เห็นถึงความสวยงามน่าใช้ของการออกแบบโมบายแอปพลิเคชัน (Aesthetic) ผู้ใช้รู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เกี่ยวกับโมบายแอปพลิเคชัน (Involvement) แอปพลิเคชันมีฟังก์ชันที่ทำให้ผู้ใช้ประหลาดใจ ตื่นเต้น อยากที่จะใช้งาน (Novelty) ผู้ใช้อยากจะใช้งานโมบายแอปพลิเคชันอีกหลังจากทดลองใช้ไปแล้วและแนะนำให้คนอื่นให้ใช้ด้วย (Repeatability) ผู้ใช้รู้สึกทำงานได้ได้รับความรู้และประโยชน์จากการใช้ (Perceived Usability)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันที่ให้ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Hardware Computer) สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้นำไปใช้เลือกซื้ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และประกอบคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้ด้วยตนเอง
2. เพื่อศึกษาว่าโมบายเลิร์นนิง (Mobile Learning) และ การเรียนรู้เชิงโต้ตอบ (Interactive Learning) ในรูปแบบเกมถาม-ตอบ (Quiz Game) สามารถให้ผู้ใช้ได้เรียนรู้ได้รับความรู้ และสนุกกับการเรียนหรือไม่

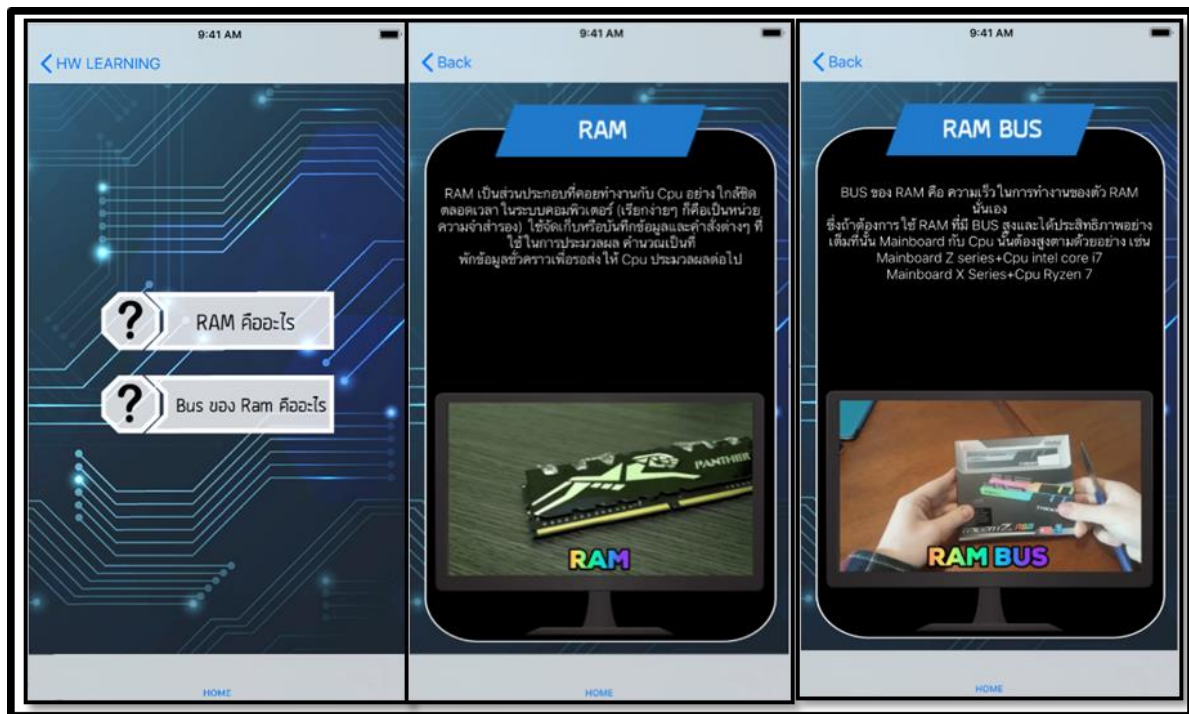
วิธีดำเนินการวิจัย

โมบายแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์จากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และนำมาเรียบเรียงเพื่อเป็นเนื้อหาที่สอนในแอปพลิเคชัน
 2. ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface Design) ของแอปพลิเคชัน ซึ่งเริ่มจากร่างแบบลงในสมุดแล้วจึงนำมาออกแบบต่อในโปรแกรม Illustrator และ Photoshop
 3. พัฒนาแอปพลิเคชันในส่วนเขียนโปรแกรม (Programming) โดยใช้โปรแกรม Xcode ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS
 4. ทดสอบแอปพลิเคชัน (Prototype Evaluation) โดยเชิญกลุ่มผู้ใช้งานจำนวน 40 คนมาทดลองใช้แอปพลิเคชัน และเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อวัดระดับ Student Engagement
- เพื่อให้ผู้เรียนได้รับความรู้ พร้อมกับความสนุกสนานในการเรียน ผู้วิจัยจึงออกแบบฟังก์ชันทั้งสิ้น 3 ฟังก์ชัน ประกอบด้วย

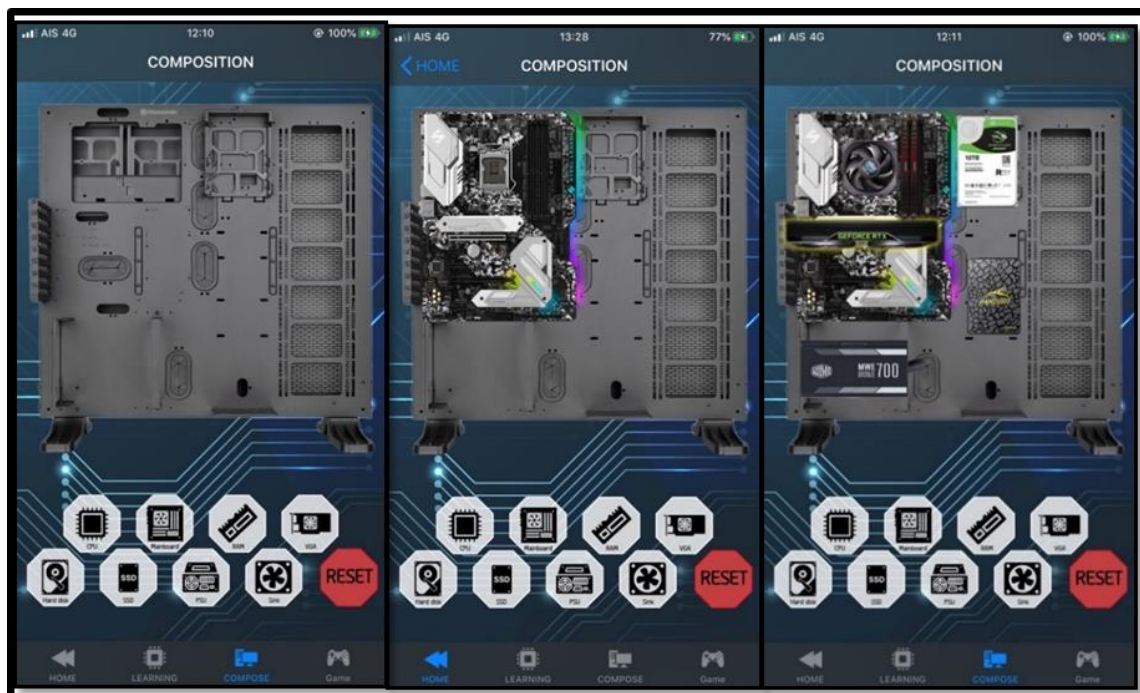
1. ฟังก์ชัน Learning PC Hardware เป็นฟังก์ชันเพื่อให้ความรู้ผ่านสื่อประสม (Multimedia) ทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว (.gif) และคำบรรยาย โดยความรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์บนคอมพิวเตอร์จำนวน 9 ชิ้นได้แก่ CPU, Mainboard, Ram, VGA, HDD, SSD, PSU, Case และ Sink มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเห็นภาพของอุปกรณ์ทุกชิ้น และบอกหน้าที่ รวมถึงรุ่น เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ในการเลือกซื้ออุปกรณ์ด้วยตัวเองได้ (ภาพที่ 1)
2. ฟังก์ชัน Building PC Hardware เป็นฟังก์ชันให้ความรู้ผ่านสื่อเชิงโต้ตอบ (Interactive Learning) โดยจะมีปุ่มอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถกดที่ปุ่มอุปกรณ์แต่ละชิ้น และอุปกรณ์ชิ้นนั้นจะลอยขึ้นไปติดบน Case มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชิ้นลงบน Case (ภาพที่ 2)
3. ฟังก์ชันเกมถาม-ตอบ (Quiz Game) เป็นฟังก์ชันให้ความรู้ผ่านสื่อเชิงโต้ตอบ (Interactive Learning) โดยเกมจะถามเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ผู้เรียนได้ศึกษามากจากฟังก์ชัน Learning PC Hardware และให้ผู้เรียนจะต้องเลือกคำตอบให้ถูกต้อง โดยเกมถาม-ตอบมีทั้งสิ้น 3 ระดับ คือ ระดับง่าย ปานกลาง และยาก

มุ่งเน้นให้ผู้เรียนทดสอบความรู้ของตนเอง (ภาพที่ 3)



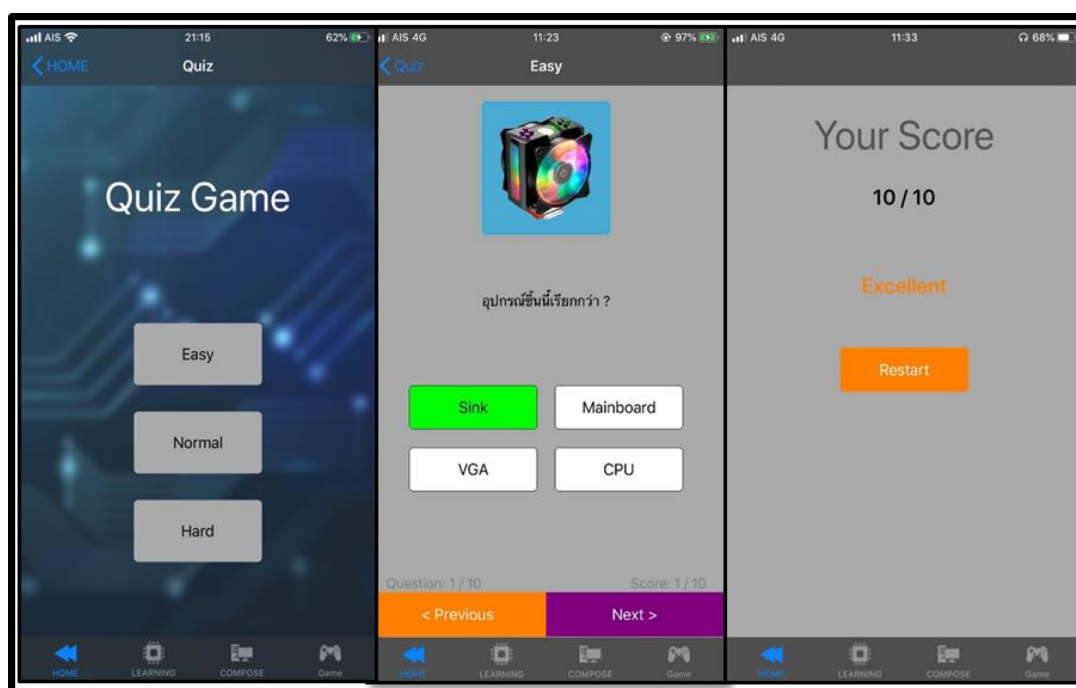
ภาพที่ 1: ตัวอย่างฟังก์ชันที่ 1 Learning PC Hardware

ตัวอย่างของฟังก์ชันที่ 1 Learning PC Hardware หน้าการเรียนรู้เรื่อง RAM เมื่อผู้เรียนกดเข้ามาในหน้าการเรียนรู้เรื่อง RAM จะมีความรู้เบื้องต้นแสดงเกี่ยวกับ RAM ได้แก่ RAM คืออะไร และ BUS ของ RAM คืออะไร ให้เรียนได้ศึกษาและมีรูปภาพเคลื่อนไหว (gif) เพื่อให้ผู้เรียนงานเห็นภาพของ RAM แบบ 360 องศาด้วย



ภาพที่ 2: ตัวอย่างฟังก์ชันที่ 2 Building PC Hardware

ผู้ใช้งานสามารถกดที่ปุ่มอุปกรณ์แต่ละชิ้น และอุปกรณ์ชิ้นนั้นจะเคลื่อนไปติดอยู่ที่ Case คอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้เรียนเรียนรู้การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่ออุปกรณ์ลอยไปติดจุดครบแล้วก็สามารถกดปุ่ม RESET เพื่อเริ่มเรียนรู้ในรอบต่อไปได้



ภาพที่ 3: ตัวอย่างฟังก์ชันที่ 3 Game

ฟังก์ชัน Game จะเป็นเกมตอบคำถาม คือ ผู้เรียนจะต้องเลือกอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ให้ถูกต้อง คำถามจะแบ่งเป็นระดับความยาก 3 ระดับตั้งแต่ระดับ ง่าย (Easy) ปานกลาง (Normal) และยาก (Hard) ตามความยาก-ง่ายของคำถาม แต่ละระดับมีคำถามทั้งสิ้น 10 ข้อ และแต่ละข้อจะมีอุปกรณ์ Hardware มาให้เลือกทั้งสิ้น 4 อุปกรณ์ (4 ตัวเลือกคำตอบ) คำถามเมื่อตอบเสร็จสิ้นจะแสดงคะแนนรวมที่ผู้เรียนทำได้

กระบวนการทดสอบใช้การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ ในการทำวิจัยครั้งนี้กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักศึกษาในมหาวิทยาลัยกรุงเทพวิทยาเขตรังสิต จำนวนทั้งสิ้น 40 คน โดยกลุ่มตัวอย่างทั้ง 40 คนต้องเข้ามาทดลองใช้แอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ในห้องทดลองที่จัดเตรียมไว้ (Laboratory Setting) ทีละคน เพื่อควบคุมความต่อเนื่องของการศึกษาของผู้เรียน โดยกำหนดให้กลุ่มทดลองทุกคนทดลองใช้ฟังก์ชันครบทั้ง 3 ฟังก์ชัน หลังจากผู้เรียนหนึ่งทดลองใช้แอปพลิเคชัน และทำแบบสอบถามเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนคนต่อไปจึงเข้ามาทดลองใช้แอปพลิเคชันจนครบทั้ง 40 คน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 40 คน เป็นเพศชายจำนวน 36 คน และเพศหญิงจำนวน 4 คน มีอายุระหว่าง 21-25 ปี จำนวน 37 คน และอายุระหว่าง 15-20 ปี จำนวน 3 คน เรียนอยู่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม จำนวน 38 คน ซึ่งแบ่งตามสาขาได้ดังนี้ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 31 คน สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 6 คน สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ จำนวน 1 คน และคณะการสร้างเจ้าของธุรกิจและการบริหารกิจการ สาขาการสร้างเจ้าของธุรกิจ จำนวน 2 คน

ส่วนที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และประสบการณ์การใช้โมบายแอปพลิเคชัน

จากการตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 40 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ (จำนวน 19 คน) มีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (ก่อนศึกษาจากแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค) ในระดับปานกลาง มีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระดับมาก จำนวน 8 คน มีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระดับน้อย จำนวน 6 คน มีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระดับมากที่สุด จำนวน 4 คน และมีความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระดับน้อยที่สุด จำนวน 3 คน

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการใช้งานโทรศัพท์มือถือในการเรียน (ประสบการณ์ต่อ Mobile Learning) อยู่ในระดับมาก (จำนวน 22 คน) รองลงมาได้แก่กลุ่มตัวอย่างที่มีประสบการณ์ในการใช้งานโทรศัพท์มือถือในการเรียนรู้ระดับปานกลาง (จำนวน 8 คน)

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้ ระบบปฏิบัติการของโทรศัพท์มือถือ Android (จำนวน 21) คน และ iOS จำนวน 19 คน

จากข้อมูลข้างต้นกลุ่มตัวอย่างที่เข้ามาทดสอบแอปพลิเคชันเป็นนักศึกษาซึ่งเรียนในสาขาทางด้านเทคโนโลยี ซึ่งมีความคุ้นเคยกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และมีประสบการณ์การใช้อุปกรณ์พกพาเพื่อการศึกษา กลุ่มตัวอย่างจึงมีแนวโน้มที่จะคุ้นเคยกับเนื้อหาซึ่งนำเสนอในแอปพลิเคชัน และมีความชำนาญในการใช้แอปพลิเคชัน

มากกว่าผู้ทั่วไป อย่างไรก็ตามผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ซึ่งแตกต่างจากระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างจึงมีแนวโน้มที่จะไม่คุ้นเคยกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้โทรศัพท์มือถือจำนวน 6-8 ชั่วโมงต่อวัน รองลงมาได้แก่ใช้โทรศัพท์มือถือจำนวน 4-6 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนั้นกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่คิดว่าโทรศัพท์มีความสำคัญต่อการสนับสนุนการเรียนรู้ระดับปานกลาง ถึง ระดับมาก

จากข้อมูลข้างต้นอุปกรณ์พกพาโดยเฉพาะสมาร์ทโฟน เป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนั้นกลุ่มตัวอย่างยังมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้สมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการเรียนรู้ดังนั้น M-learning มีศักยภาพที่จะเป็นตัวเลือกการศึกษาในอนาคตได้

ตอนที่ 3 Student Engagement

ในการศึกษา User Engagement ของโมบายแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 21 ข้อ เพื่อให้คะแนนแสดงระดับความพึงพอใจที่มีต่อแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 5 ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าคะแนนเฉลี่ยในการแปลความ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดหรือเห็นด้วยอย่างยิ่ง

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากหรือเห็นด้วย

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลางหรือปกติ

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยหรือไม่เห็นด้วย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุดหรือไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยแยกข้อมูลการวิเคราะห์ออกเป็น 6 ด้านตามองค์ประกอบของ Student Engagement

ตารางที่ 1: ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของ Student Engagement ทั้ง 6 ด้าน

Student Engagement	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	แปลผล
1. ผู้ใช้สนใจและจดจ่อในงานที่ทำ	2.96	0.57	ปานกลาง
2. ผู้ใช้เห็นถึงความสวยงามน่าใช้ของการ ออกแบบโมบายแอปพลิเคชัน	3.71	0.75	มาก
3. ผู้ใช้รู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เกี่ยวกับโมบาย แอปพลิเคชัน	3.40	0.70	ปานกลาง
4. แอปพลิเคชันมีฟังก์ชันที่ทำให้ผู้ใช้ประหลาดใจ ตื่นเต้น อยากที่จะใช้งาน	3.50	0.66	ปานกลาง

Student Engagement	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	แปลผล
5. ผู้ใช้อยากจะใช้งานโมบายแอปพลิเคชันอีก หลังจากทดลองใช้ไปแล้วและแนะนำให้คนอื่น ให้ใช้ด้วย	3.27	0.45	ปานกลาง
6. ผู้ใช้รู้สึกทำงานได้ ได้รับความรู้และประโยชน์ จากการใช้	3.25	0.54	ปานกลาง
เฉลี่ย	3.30	0.37	ปานกลาง

จากตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของ User Engagement รวมทั้ง 6 ด้านพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง (เฉลี่ย 3.30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.37) โดยความสวยงาม (Aesthetic) เป็น Student Engagement เพียงด้านเดียวที่กลุ่มผู้ใช้พึงพอใจในระดับมาก ในขณะที่ทั้ง 5 ด้านที่เหลือผู้ใช้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนั้นพบว่า ความสนใจ และการจดจ่อในงานที่ทำ (Focus Attention) เป็นด้านที่กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ Student Engagement ด้านอื่น ๆ อย่างไรก็ตามสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ Focus Attention ได้รับความพึงพอใจน้อยอาจจะมาจากกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาของคณะเทคโนโลยีซึ่งมีความคุ้นเคยกับเนื้อหาที่น่าสนใจในแอปพลิเคชัน เนื้อหาจึงไม่ดึงดูดผู้เรียนกลุ่มนี้

สรุป

ผู้วิจัยพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค (Easy @ Spec) บนระบบปฏิบัติการ iOS เพื่อให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถเลือกซื้ออุปกรณ์ และประกอบอุปกรณ์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะได้ อีซี แอด สเปค มีฟังก์ชันการให้ความรู้ 3 ฟังก์ชัน คือ Learning PC Hardware, Building PC Hardware, และ Quiz Game โดยใช้สื่อประสมแบบต่าง ๆ ทั้ง ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว คำบรรยาย โดยเน้นรูปแบบการเรียนรู้เชิงโต้ตอบ การประเมินคุณภาพของแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ใช้การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของ Student Engagement โดยผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณา User Engagement แต่ละด้านพบว่าด้านความสวยงาม (Aesthetic) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงที่สุด ในขณะที่ด้านความสนใจ และจดจ่อในงานที่ทำ (Focus Attention) เป็นด้านที่แอปพลิเคชัน อีซี แอด สเปค ต้องพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- พรสิริ ซาติปรีชา. (2016). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันแนะนำข้อมูลสถาบัน การจัดการปัญญาวิวัฒน์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. *Panyapiwat Journal*, 8(1), 237.
- พริยาภรณ์ เลขธรรกร. (2015). สนุก กับ การ เรียน ใน ศตวรรษ ที่ 21. *JOURNAL OF EDUCATION NARESUAN UNIVERSITY*, 17(3), 161-163.
- Amin APPS. (2020). PC Building Simulator (Computer Building). Retrieved 6 March, 2020, from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aminapps.pcbuilding19&hl=en>
- Chung, S. H., & Khor, E. T. (2015). Development of interactive mobile-learning application in distance education via learning objects approach. In *New Trends in Intelligent Information and Database Systems* (pp. 373-380). Springer, Cham.
- Games from Garage. (2016). PC Architect Advanced (PC building simulator). Retrieved 1 April, 2020, from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.GamesFromGarage.PCArchitectAdvanced&hl=en>
- J.I.B. Computer Group. (2019). J.I.B. Online Application. Retrieved 20 March, 2020, from <https://apps.apple.com/th/app/jib-online/id1253895571?l=th>
- O'Brien, H. L., & Toms, E. G. (2013). Measuring engagement in search systems using the User Engagement Scale (UES). *Information Processing and Management*, (5)49, .1107-1092
- Quaye, S. J., Harper, S. R., & Pendakur, S. L. (Eds.). (2019). *Student engagement in higher education: Theoretical perspectives and practical approaches for diverse populations*. Routledge.
- Zainuddin, Z., Shujahat, M., Haruna, H., & Chu, S. K. W. (2020). The role of gamified e-quizzes on student learning and engagement: An interactive gamification solution for a formative assessment system. *Computers & Education*, 145, 103729.
- Zhang, A., & Cristol, D. (Eds.). (2019). *Handbook of mobile teaching and learning*. Springer.

MODELING PRODUCTION OF AROMATIC FROM N-PARAFFINS WITH CHEMICAL EQUILIBRIA

Thidarat Detsut^{1*}, Deacha Chatsiriwech^{1,2}

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

²Department of Chemical Reaction Engineering, Faculty of Engineering, Imperial College University of London

*Corresponding author, E-mail: mallowstlck@hotmail.com

ABSTRACT

Aromatics production from n-hexane, n-heptane and n-octane hydrocarbons are an interesting way to increase economic values and usage alternatives. This study was to model aromatics production from hexane heptane and octane, enabling industrial work to be more developed and actualized by reducing laboratory cost and experimental time. The model was regarded as an equilibrium state in which the forward reaction rate and the reverse reaction rate are equivalent, and a catalyst would be Pt/KL and various Mo₂C-containing catalysts under 1 atm and 500 °C. The reactions in the models were from Aspen Plus V9 simulation. The reactions included main reactions and side reactions, which the catalyst performed to select and unselect certain reactions. Moreover, the reactions were grouped by splitting reactors, so the reactors connected in series to classify a procedure. It has been found that n-hexane, n-heptane and n-octane would be converted to ethylcyclohexane before ethylbenzene. Then, the aromatics were formed by hydrogenation, isomerization and thermal cracking.

Keywords: aromatization, reaction rate, hydrogenation, thermal cracking, aromatics production

Introduction

Natural gas is an energy source often used for heating, transportation, and electricity generation. The reservoir of natural gas increases rapidly higher than that of crude oil and expected to ahead of by the 21st century. The aromatization of n-alkanes is an important reaction with many industrial applications which could be carried out on both bifunctional (acid-metal) and monofunctional (only-metal) catalysts. Moreover, the direct conversion of alkanes into aromatics has been the subject of extensive research. The results obtained on various catalysts and the possible mechanisms of this complex process are well documented in several excellent reviews.

n-Hexane, n-Heptane and n-Octane are one of the components of natural gas liquids (NGL), and its reforming to olefins and aromatics is of practical importance which is use for a raw material in the petrochemical industry such as an ingredient and refined into gasoline, solvent industry is distilled and separated at various temperatures. Resulting in various types of solutions as follows white Spirit in the coating industry, dry cleaning, polishing process and the pesticide industry while mixtures of benzene, toluene and xylene are aromatic hydrocarbons and are also upstream petrochemicals which are used for further production processes.

At the present time, there are many researches demonstrating the experiments converting C₆, C₇, C₈ to aromatics including benzene, toluene and xylene with different conditions, e.g., catalyst, temperature, pressure and reactant components. It is obvious that aromatics production from n-hexane, n-heptane and n-octane are value enhancement because not only economic values of the

aromatics but also C₆, C₇, and C₈ which can be more usage alternatives.

Therefore, the objective of this research is to develop the model of benzene, toluene and xylene productions from n-hexane, n-heptane and n-octane with chemical equilibria over the catalyst. All of these studies were exclusively restricted to the reactions of C₆, C₇, C₈ compounds, because no catalyst combination could convert methane into aromatics.

This research is sincerely expected finding optimized models would explain and more clarify the several reactions. Furthermore, it would be beneficial to develop and actualize in commercial part and predict reaction results with other conditions to save laboratory cost and simplify the method predicting the process of aromatics production. Then In this study, it is curious to use chemical equilibrium concept for describing the fraction of components and the models would originate with the assistance of computer simulation, Aspen Plus simulation to fit with research results.

Objective

To develop the model of benzene, toluene and xylene productions or aromatics production from Normal Paraffin with chemical equilibria over different catalysts.

Literature Review

In this research, the researcher studied related documents and research as a knowledge base for use in the study, with the following research points:

1. Oil quality improvement process

Various parts of oil obtained from distillation can be used differently. Some have high demand and high value. Therefore, requires quality improvement processes to obtain the desired substance which can be done in many ways as follows: (Riazi, 2001).

1.1 Cracking process

Cracking process is the conversion of large molecules of hydrocarbon compounds which are less useful into smaller molecules of hydrocarbon compounds that are more useful or the conversion of circular hydrocarbons into aromatic substances by using high heat and a catalyst.

1.1.1 Thermal Cracking

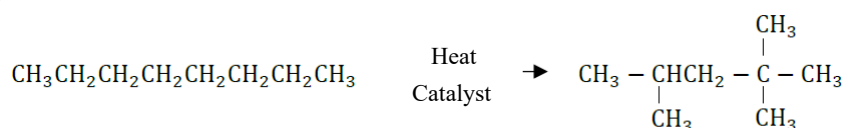
Thermal cracking is the process of breaking down diesel fuel or fuel oil by using high heat 400-500°C under high pressure. The product is gas, gasoline that is high in aromatic with an octane value of 65-70.

1.1.2 Catalytic Cracking

The process of breaking down diesel fuel by using catalysts such as Bentonite and Kaolin or synthetic clay that has high aluminum content or synthetic zeolite. The product obtained from this process is gasoline with a high-octane value greater than 90.

1.2 Reforming process

Reforming process is to convert a straight chain hydrocarbon compound into a branched chain such as iso-octane, which has good fuel efficiency in engines, gasoline. By using high heat and catalysts.



1.2.1 Thermal Reforming

Thermal reforming is heat treatment process that changes the structure of low-octane hydrocarbons to high levels at 560°C.

1.2.2 Catalytic Reforming

Catalytic reforming is the main process for the production of high-octane gasoline. The molecular weight of the catalytic reforming process does not change much, but there will be a rearrangement of the structure. Including the reaction Isomerization, Cyclization, Aromatization, Combination.

2. Equilibrium modeling

The model demonstrates the oxidative coupling of methane reaction (OCM) over three different catalysts which were Pt ion-exchanged Ga- and Zn-silicate catalyst, ns Al₂O₃/H-GaAlMFI and TiO₂Zr₂. There were three proposed models including uni-equilibrium reaction model, Duo-equilibrium reaction model and trio-equilibrium reaction model, operating isothermally between 400°C and 600 °C and feeding methane to oxygen ratio was around 3:10. From the research, all possible chemical reactions were proposed and based on containing catalytic reaction, non-catalytic reaction and both catalytic reactions. Then, all variables were calculated with Aspen Plus program, which was run with RK-Soave and Peng-Rob methods based on Aspen Plus component guideline and industrial guideline. As a result, the models were verified by using statistics of components in effluence and reactor performance. For the verification using components in effluence, Residue Sum Square (RSS) was utilized as a model validation. (Herink, 2003 and Zamostny, 1991)

$$RSS = \sum_{i=1}^N \left[\frac{M_{exp} - M_{model}}{M_{exp}} \right]^2$$

Where M_{exp} and M_{model} are effluent mole flow of the experiment and the chemical equilibrium model, respectively. For the verification using reactor performance, conversion, yield and selectivity as a variable for performance evaluation were represented in terms of average absolute relative deviation (AARD) which is statistical information:

$$AARD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{(P_{exp} - P_{model})}{P_{exp}} \right|$$

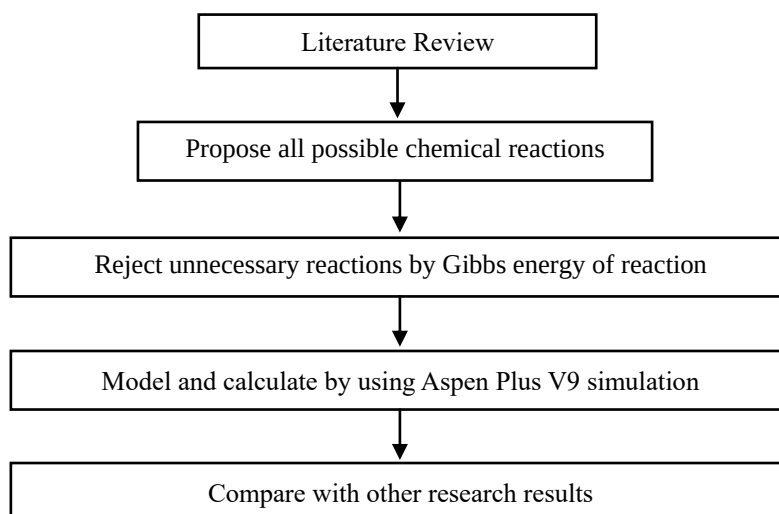
Where P_{exp} and P_{model} are the variable from the experiment and the equilibrium model, respectively.

Methods

Scopes of the research

1. To propose chemical reactions of Normal Paraffin to be aromatics (BTX) by using Aspen Plus V9 programs for calculation and other researches for comparison.
2. Interested variables which effected to the model were temperatures, pressures, and catalysts.
3. The reaction temperatures were varied between 400°C and 600°C to find the lowest temperature which the reaction can occur.
4. The reaction pressure was used to investigate the model were equal to the other researches and then vary between 1 atm and 10 atm to predict other conditions.
5. All existing compound in the main reactions (aromatization) and the sides reactions (thermal cracking) would be well-defined hydrocarbons, for example C₆, C₇, C₈.
6. The model would be an equilibrium model and kinetic energy is not considered.

Research methodology



1. Overview

Since $C_5 - C_8$ Normal Paraffin include plenty of components, there are several reactions occurring for aromatization, for example thermal cracking. Moreover, the different catalysts affected selectivity, enabling not only few unselective reactions to occur but also some selective reactions to disappear. Therefore, all possible reactions that would appear will be calculated in the model, and remarkable reactions will be selected for each catalyst by comparing with the researches.

The reactions were from Polymath calculation and Aspen Plus V9 simulation for more accuracy and approaching actual value as possible as. Solutions and necessary principles are demonstrated next.

2. Propose all possible chemical reactions

Interesting reactants contain components, including propane, n-hexadecane ($n - C_{16}H_{34}$), n-hexane, 1-hexene, n-heptane, n-octane, and 1-octene.

The reactions would be divided into main reactions and side reactions. The main reactions were reaction producing benzene toluene and xylene directly while the side reactions were unexpected reactions, particularly thermal cracking, dehydrogenation and hydrocracking. Since most reactions are an endothermic reaction, it was unavoidable for thermal cracking.

Main reactions: Aromatization, Dehydrocyclization, Hybrid Cracking-Reforming Catalyst.

Side reactions: Thermal cracking, Dehydrogenation, Hydrocracking.

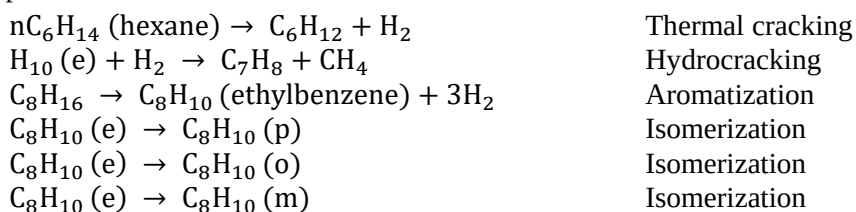
Therefore, all possible reactions that would appear will be calculated in the model, and remarkable reactions will be selected for Pt/KL and various Mo_2C -containing catalysts by comparing with the experiment in researches as shown in the table 1. Then, all possible chemical reactions were proposed.

Table 1: Effluent compositions of the experiment

Component	Experiment
$C_1 - C_5$	0.264
Hexenes	0.07
Benzene	0.277
Toluene	0.283
Heptenes	0.30

Component	Experiment
Octenes	0.19
Ethylbenzene	0.65
m-Xylene	0.12
p-Xylene	0.02
o-Xylene	0.30

A summation of all fractions is less than 1 since certain components could not be defined, then the experimental result was neutralized before calculation.



The proposed reactions were simulated in the Aspen plus V9, which Peng-Robinson method was preferred and equilibrium reactor was operated under 1 atm and 500 °C since the model was regarded as equilibrium state which the forward reaction rate and the reverse reaction rate are equivalent.

3. Calculation Gibbs energy

3.1 Gibbs energy of reaction

Gibbs energy of formation of individual components in a reaction is desired in order to calculation Gibbs energy of reaction as follows:

$$\Delta G_{\text{reaction}} = \sum (n\Delta G_f)_{\text{products}} - \sum (n\Delta G_f)_{\text{reactants}}$$

Gibbs energy of formation at any temperature obtained from the chemical properties' handbook. When Gibbs energy of reaction is negative value, the reaction is favorable outcome to reject unnecessary reactions.

3.2 Equilibrium constant

For a gas-phase reaction, $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$, the expression for K_p is

$$K_p = \frac{(P_c)^c (P_d)^d}{(P_a)^a (P_b)^b}$$

In fact, there are many reactions occurring in the reactor, hence K_p would be represented as $K_{p(n)}$ where n is a number of any reaction. To illustrate, there are reactions as follows:



Then, K_p of both reactions would be

$$K_{p1} = \frac{(P_S)^s (P_T)^t}{(P_R)^r} \text{ and } K_{p2} = \frac{(P_Y)^y (P_Z)^z}{(P_X)^x}$$

3.3 Relation of Gibbs energy of reactions and equilibrium constant

$$\Delta G^0 = -RT \ln K$$

Likewise, $K_{p(n)}$ is the expression for equilibrium constant of any reaction when there is more than one reaction, ΔG_n^0 is also represented as Gibbs energy of any reactions as shown below:

$$\begin{aligned} \Delta G_1^0 &= -RT \ln K_1 \\ \Delta G_2^0 &= -RT \ln K_2 \end{aligned}$$

3.4 Conversion

Conversion of each reaction that possibly occur in the reactor is important in the analysis of product quantity which was represented in term of partial pressure and it is a key variable for the model test and result prediction.

4. Aspen Plus V9 simulation

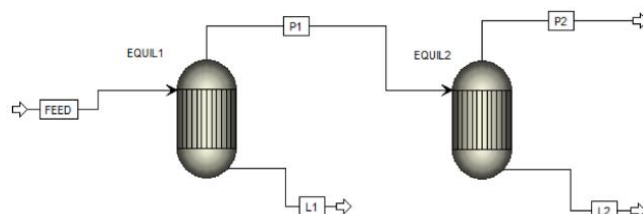


Figure 1: Example of connected reactors in series

The reactions were from Aspen Plus V9 simulation for more accuracy and approaching actual value as possible. The reactions would be divided into main reactions and side reactions. The main reactions were reaction producing benzene, toluene and xylene directly while the side reactions were unexpected reactions, particularly thermal cracking, dehydrogenation and hydrocracking. Then, all possible chemical reactions were proposed. However, the reactions in the model were grouped by splitting reactors, so there was more than one reactor connected in series to classify which reactions occurred before and after.

4.1 Base method

The components in the process are hydrocarbons, then Peng-Robinson method was preferred. However, the method would consider interaction between each component in the mixture, which it can be estimated from the Polymath with difficulty. Hence, ideal model was also performed for contrasting.

4.2 Equilibrium reactor

The model was regarded as equilibrium state which the forward reaction rate and the reverse reaction rate are equivalent, so equilibrium reactor was operated instead.

4.3 Effect of temperature on the reaction performance

From the formulas, temperature influences the reaction result, especially conversion. Although high temperature leads to higher conversion, coke formation probably occurs. Then, temperature varying was performed to estimate the lowest possible reaction temperature.

4.4 Effect of pressure on the reaction performance

Most experiments from the literature reviews are demonstrated at atmospheric pressure, then the model would be interested in higher operating pressure.

Results and Discussion

Model 1 and Model 2

The model 1 shows three groups of the reactions, including thermal cracking to aromatization, hydrogenation and isomerization. Since aromatics production from n-hexane, n-heptane and n-octane is an interesting model, there are dehydrogenation of n-hexane, n-heptane and n-octane in the reactor 1 in order to find equilibrium between them before converting to ethylcyclohexane and ethylbenzene, respectively. Then, aromatization of toluene and benzene were from hydrogenations and by-product of both reactions was methane because different by-product strongly influenced reaction equilibrium

shifting and aromatics production, especially toluene and benzene fractions.

Model 1

Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
$n - C_6H_{14}$ (hexane) $\rightarrow C_6H_{12} + H_2$	C_8H_{10} (e) $+ H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (p)
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (o)
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylcyclohexane)	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (m)
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	
$n - C_7H_{16}$ (heptane) $\rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylcyclohexane)	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	
$n - C_8H_{18}$ (octane) $\rightarrow C_8H_{16} + H_2$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$		

Model 2

Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
$n - C_6H_{14}$ (hexane) $\rightarrow C_6H_{12} + H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	C_8H_{10} (e) $+ H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylcyclohexane)	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	
$n - C_7H_{16}$ (heptane) $\rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylcyclohexane)	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$		
$n - C_8H_{18}$ (octane) $\rightarrow C_8H_{16} + H_2$		
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) $+ 3H_2$		

Table 2: Compositions of Model 1 and Model 2 by Aspen plus simulation

Model	Model1			Model2		
Component	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
n-hexane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-heptane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-octane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
hydrogen	0.05107	0.016502	0.016502	0.002466	9.06E-07	9.06E-07
methan	0	0.245539	0.245539	0.158708	0.178324	0.178324
ethan	0	0.010829	0.010829	0.012288	0.0122879	0.012288
propane	0	0.022938	0.022938	0.004362	0.0043624	0.004362
ethylene	0	0	0	0	0	0
propylene	0	0	0	0	0	0
butane	2.50E-05	3.36E-05	3.36E-05	0.000276	0.000276	0.000276
1-Pentene	0.002413	0.002413	0.002413	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05
benzene	0	0.491109	0.491109	0	0.2681	0.2681
toluene	0	0.158118	0.158118	0	0.306337	0.306337
o-xylene	0	0	3.18E-08	0	0	0.003111
m-xylene	0	0	6.46E-08	0	0	0.007326
p-xylene	0	0	2.62E-08	0	0	0.00897
ethylbenzene	0.537011	1.29E-07	1.25E-08	0.279407	0.153237	0.072417
ethylcyclohexane	1.09E-05	1.09E-05	1.09E-05	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09

Hydrogenations of n-hexane, n-heptane and n-octane or hydrocracking in the reactor 2 were moved to the reactor 1 in the model 2, and it has seen that aromatics fractions are more similar to the experimental result as shown in figure 2 since ethylbenzene production which would be converted to other aromatics halved approximately. The hydrogenations are competitive reaction, which Pt/KL and

various Mo₂C-containing catalyst could not wholly eliminate, the experimental products were lower.

Therefore, the desired product will be higher if another catalyst has functional elimination of the reactions from the reactor 1; however, the reactions are proper in the reactor 1 for the catalyst. Moreover, ethylcyclohexane from the both models were close to zero, it could be as an intermediate of the mechanism.

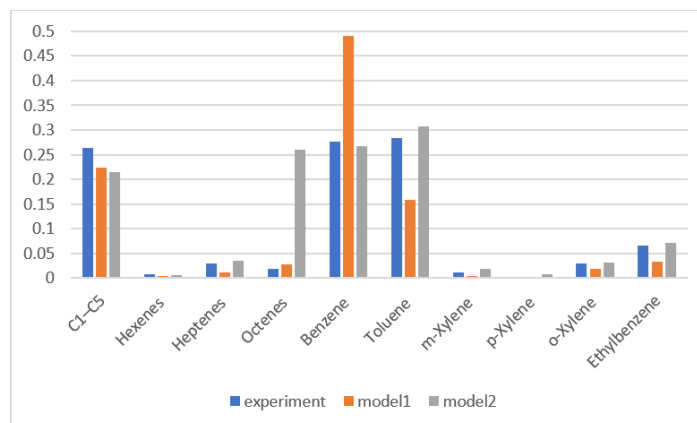


Figure 2: Effluent compositions of experiment, Model 1 and Model 2

Model 3 and Model 4

The reactor 4 represented thermal cracking, was added in the model 3 in order to adjust aromatic proportions to the experimental result. Besides, there was no hydrogen in the reactor 4 because it had been extremely depleted since reactor 2, then hydrogenation and dehydrogenation disappeared. The model 4 was designed to visualize how thermal cracking had occurred before isomerization happened. Benzene was risen dramatically by ethylbenzene, enabling toluene to be increased noticeably for reaching equilibrium state.

Model 3

Reactor 1		Reactor 3
$n - C_6H_{14} \text{ (hexane)} \rightarrow C_6H_{12} + H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (p)}$
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (o)}$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16} \text{ (ethylcyclohexane)}$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (m)}$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	
$n - C_7H_{16} \text{ (heptane)} \rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	Reactor 4
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (p)}$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16} \text{ (ethylcyclohexane)}$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (o)}$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	Reactor 2	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (m)}$
$n - C_8H_{18} \text{ (octane)} \rightarrow C_8H_{16} + H_2$	$C_8H_{10} \text{ (e)} + H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$	
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$	

Model 4

Reactor 1		Reactor 3
$n - C_6H_{14} \text{ (hexane)} \rightarrow C_6H_{12} + H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (e)} \rightarrow C_6H_6 + C_2H_4$
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	$2C_7H_8 \rightarrow 2C_6H_6 + C_2H_4$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16} \text{ (ethylcyclohexane)}$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	Reactor 4
$n - C_7H_{16} \text{ (heptane)} \rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	$C_8H_{10} \text{ (p)} \rightarrow C_6H_6 + C_2H_4$
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (o)} \rightarrow C_6H_6 + C_2H_4$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16} \text{ (ethylcyclohexane)}$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	$C_8H_{10} \text{ (m)} \rightarrow C_6H_6 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	Reactor 2	
$n - C_8H_{18} \text{ (octane)} \rightarrow C_8H_{16} + H_2$	$C_8H_{10} \text{ (e)} + H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$	$2C_7H_8 \rightarrow 2C_6H_6 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10} \text{ (ethylbenzene)} + 3H_2$	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$	

Table 3: Compositions of Model 3 and Model 4 by Aspen plus simulation

Model	Model3			Model4		
Component	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 4	Reactor 3	Reactor 4
n-hexane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-heptane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-octane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
hydrogen	0.002466	9.06E-07	9.06E-07	9.06E-07	9.06E-07	9.06E-07
methan	0.158708	0.178324	0.178324	0.178324	0.178324	0.178324
ethan	0.0012288	0.001229	0.002123	0.000123	0.0001229	0.000123
propane	0.0043624	0.004362	0.004362	0.004362	0.0043624	0.004362
ethylene	0	0	0	0.009685	0.022722	0.022722
propylene	0	0	0	0	0	0
butane	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05
1-Pentene	0.0002141	0.000114	0.000114	0.000114	0.000025	0.000025
benzene	0	0.2781	0.2781	0.2781	0.2932765	0.293277
toluene	0	0.286337	0.286337	0.286337	0.308985	0.308985
o-xylene	0	0	0.02769	0.036106	0	0.03168
m-xylene	0	0	0.056185	0.025733	0	0.019792
p-xylene	0	0	0.022779	0.008297	0	0.005592
ethylbenzene	0.279407	0.153237	0.078417	0.078417	0.0592885	0.059288
ethylcyclohexane	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09

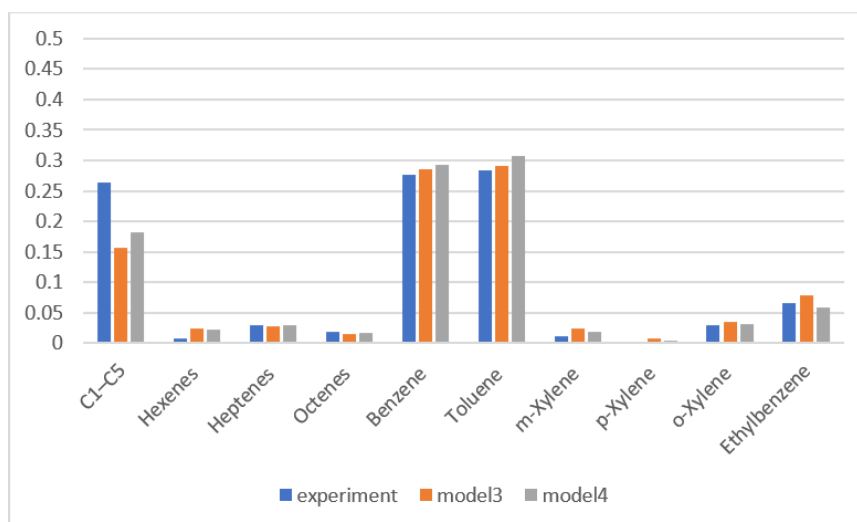


Figure 3: Effluent compositions of experiment, Model 3 and Model 4

Model 5 and Model 6

The model 5 explains how possible thermal cracking ways of the aromatics could be performed thoroughly in the reactor 4 since all effluent compositions of the model 5 are exactly equal to the model 3. Then, it illustrates that xylenes would be cracked by high heat to be toluene before it would be also cracked to be benzene. On the other hand, the reactors 3 and 4 or isomerization and thermal cracking grouped together in the model 6. Although the effluents are not quite different, and the almost models are closer to the experimental result than the model 1 as shown in the figures 3, so an exact model should be defined. Hence, Residua Sum Square (RSS) was applied to indicate the most suitable model as shown in the table 5. The number of reactions in model 5+6 are greater than that in the methodology section above

Model 5

Reactor 1		Reactor 3
$n - C_6H_{14}$ (hexane) $\rightarrow C_6H_{12} + H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (p)
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (o)
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylxyclohexane)	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (m)
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	
$n - C_7H_{16}$ (heptane) $\rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	Reactor 4
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	$2C_8H_{10}$ (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylxyclohexane)	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	$2C_8H_{10}$ (o) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$		$2C_8H_{10}$ (p) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$n - C_8H_{18}$ (octane) $\rightarrow C_8H_{16} + H_2$	Reactor 2	C_8H_{10} (p) + C_8H_{10} (o) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$	C_8H_{10} (e) + $H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$	C_8H_{10} (p) + C_8H_{10} (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$	C_8H_{10} (o) + C_8H_{10} (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
		$2C_7H_8 \rightarrow 2C_6H_6 + C_2H_4$

Model 6

Reactor 1		Reactor 3
$n - C_6H_{14}$ (hexane) $\rightarrow C_6H_{12} + H_2$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow C_4H_8 + 2CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (p)
$C_6H_{12} \rightarrow C_4H_8 + C_2H_4$	$C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2C_3H_8$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (o)
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylxyclohexane)	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_6H_{14} + CH_4$	C_8H_{10} (e) $\rightarrow C_8H_{10}$ (m)
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_5H_{10} + 2CH_4$	$2C_8H_{10}$ (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$n - C_7H_{16}$ (heptane) $\rightarrow C_7H_{14} + H_2$	$C_7H_{16} + H_2 \rightarrow C_3H_6 + 2C_2H_6$	$2C_8H_{10}$ (o) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$C_7H_{14} \rightarrow C_4H_8 + C_3H_6$	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_7H_{16} + CH_4$	$2C_8H_{10}$ (p) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$2C_4H_8 \rightarrow C_8H_{16}$ (ethylxyclohexane)	$C_8H_{18} + H_2 \rightarrow C_6H_{12} + 2CH_4$	C_8H_{10} (p) + C_8H_{10} (o) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$	Reactor 2	C_8H_{10} (p) + C_8H_{10} (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$n - C_8H_{18}$ (octane) $\rightarrow C_8H_{16} + H_2$	C_8H_{10} (e) + $H_2 \rightarrow C_7H_8 + CH_4$	C_8H_{10} (o) + C_8H_{10} (m) $\rightarrow 2C_7H_8 + C_2H_4$
$C_8H_{16} \rightarrow C_8H_{10}$ (ethylbenzene) + $3H_2$	$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$	$2C_7H_8 \rightarrow 2C_6H_6 + C_2H_4$

Table 4: Compositions of Model 5 and Model 6 by Aspen plus simulation

Model	Model5				Model6
Component	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 4	Reactor 3
n-hexane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-heptane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
n-octane	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276	0.000276
hydrogen	0.002466	9.06E-07	9.06E-07	9.06E-07	9.06E-07
methan	0.158708	0.158708	0.155708	0.155708	0.156708
ethan	0.00122879	0.00122879	0.002122879	0.000122879	0.000122879
propane	0.00436239	0.00436239	0.00436239	0.00436239	0.00436239
ethylene	0	0	0	0.009685	0.009685
propylene	0	0	0	0	0
butane	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05	2.50E-05
1-Pentene	0.00021413	0.00011413	0.00011413	0.000025	0.000025
benzene	0	0.2681	0.2681	0.292765	0.302811
toluene	0	0.298985	0.298985	0.298985	0.29251
o-xylene	0	0	0.036106	0.0349527	0.0359
m-xylene	0	0	0.056185	0.0256185	0.02915
p-xylene	0	0	0.029702	0.00829702	0.008715
ethylbenzene	0.279407	0.153237	0.07914	0.07914	0.07528
ethylcyclohexane	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09	1.58E-09

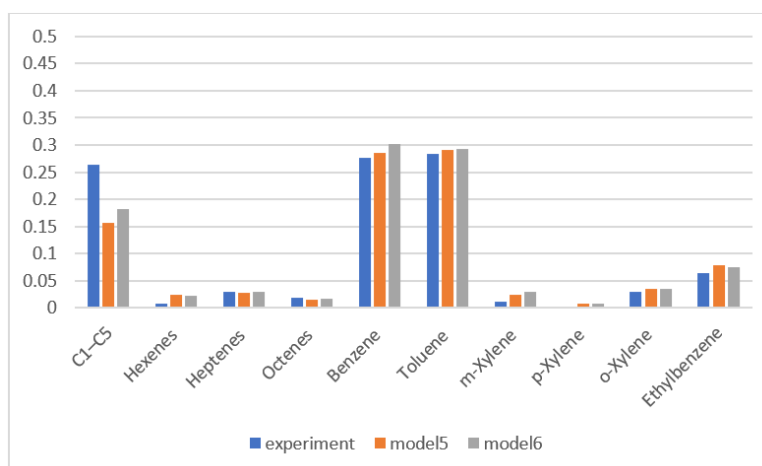


Figure 4: Effluent compositions of experiment, Model 5 and Model 6

Conclusions

The table 5 presents effluent differences where the negative sign represents greater model outlet than the experiment while the positive sign represents smaller model outlet. Furthermore, the smallest RSS value signified the appropriate model, which would be models 6. In addition, the majority product of a catalyst which has functional as in model 1 would be benzene, and hydrocracking will be prevented from appearing in the reactor 1, so aromatization remarkably increases. Moreover, advantage of equilibrium model compared to kinetic was its ease in utilization due to much lower number of parameters and equations in equilibrium model.

Table 5: Effluent differences and RSS

Component	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
n-hexane	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
n-heptane	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
n-octane	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
hydrogen	0.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
methan	-1.09	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52	-0.52
ethan	0.37	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
propane	0.48	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ethylene	1.00	1.00	-0.32	-2.1	-0.32	-0.34
propylene	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
benzene	-13.41	0.90	-0.20	-0.38	-0.20	-0.20
toluene	0.99	-0.15	-0.07	-0.86	-0.07	-0.08
xylene	1.00	-1.29	-0.76	0.57	-0.76	-0.79
ethylbenzene	1.00	-1.08	-1.08	0.61	-1.08	-0.62
RSS	187.18	8.01	5.23	9.32	5.23	4.52

References

- Abildskov, J., Kontogeorgis, G. M. & Gani, R. (2004). Computer Aided Property Estimation for Process and Product Design. *Educational and psychological measurement*. Elsevier, The Netherlands, pp. 59–74.
- Altgelt, K. H. & Boduszynski, M. H. (1994). Composition and Analysis of Heavy Petroleum Fractions. Marcel Dekker, New York, pp. 107–128.
- Belohlav, Z., Zamostny, P. & Herink, T. (2003). The kinetic model of thermal cracking for olefins production. *Journal of Teaching and Chem Eng Process*, 2(5), 461–473.

- Bokade, A. (2007). Documentation of the TLVs and BEIs with Other World Wide Occupational Exposure Values. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (p. 243-255). Cincinnati: Cincinnati state technical and community college, U.S.
- Broughton, D. B. (1997). *Process for separating normal and isoparaffins*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bunyakiat, et al. (2011). *Production during Catalytic Dehydration of Ethanol over Ru- and Pt-modified H-beta Zeolite Catalysts*. Ph.D. dissertation, Chulalongkorn University.
- catalyst prepared by vapor-phase impregnation. *Journal of Catalysis*, 11(1), 218-229. Smith, J. M., Van Ness, H. C. & Abbott, M. M. (2005). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. Boston: McGraw-Hill.
- Choudhary, V. R., Panjala, D. & Banerjee, S. (2002). Aromatization of propene and n-butene over H – galloaluminosilicate (ZSM-5 type) zeolite. *Applied Catalysis A: General*, 2002. 231(1), 243-251.
- Covavisaruch, S., et al. (2011). *What are petroleum chemicals?*, in *Petrochemical Encyclopedia*, K. Bunyakiat, Editor. 2011, WPS(Thailand).Co.,Ltd.: Bangkok. p. 14-67.
- Kumar, N., et al. (2002). Synthesis and characterization of Pd-MCM-22 and Pt-SAPO-11 catalysts for transformation of n-butane to aromatic hydrocarbons. *Applied Catalysis A: General*, 227(1), 97-103.
- Morrow, N. L. (1990). *The industrial production and use of 1,3-butadiene: A method sourcebook*. CA, US:Sage Publications.
- Ragil, K., Bailly, M., Jullian, S. & Clause, O. (2002). *Process for chromatographic separation of a C5–C8 feed or an intermediate feed into three effluents, respectively rich in straight chain, mono-branched and multi- branched paraffins*. United States patent US6353144 B1.
- Renon, H. & Prausnitz, J. M. (1968). Local compositions in thermodynamic excess functions for liquid mixtures. *A.I.Ch.E. Journal* 14, 135–144.
- Riazi, M. R. & Roomi, Y. A. (2001). Use of the refractive index in the estimation of thermophysical properties of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 40, 1975–1984.
- Riazi, M. R., Nasimi, N. & Roomi, Y. A. (1999). Estimation of sulfur content of petroleum Products and crude oils. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 38, 4507–4512.
- Róbert, B. & Frigyes, S. (2005). Aromatization of n-heptane on Mo₂C-containing catalysts. *Journal of Catalysis*, 8(1), 60-68.
- Siriporn, J., Paneeya, S., Thirasak, R., Somchai, O. & Daniel, R. (2003). n-Octane aromatization on a Pt/KL
- Song, C. et al. (2014). Influence of reaction conditions on the aromatization of cofeeding n-butane with methanol over the Zn loaded ZSM-5/ZSM-11 zeolite catalyst. *Fuel Processing Technology*, 126, 60-65.
- Wongwailikhit, K. (2013). *Modeling of Oxidative Coupling of Methane to Ethylene with Chemical Equilibria*, in *Chemical Engineering*, Chulalongkorn University.
- Yuan, S. et al. (2002). Preparation of Mo₂C/HZSM-5 and its catalytic performance for the conversion of n-butane into aromatics. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 184(1), 257-266.

SCIENCE MAPPING OF THE KNOWLEDGE BASE ON SUSTAINABLE MARKETING IN THE VIEW OF CUSTOMER BEHAVIOR AND CONSUMPTION.

Worakanya Siripidej*, Kansinee Nuchpanied, Korawan vanchum, and Nutthanit Vitetchon

Lecturers, School of Business Administration, Sripatum University
Corresponding author, E-mail: Worakanya.si@spu.ac.th

ABSTRACT

Sustainable marketing, green marketing, social marketing or sustainable consumption are the current topics among marketer nowadays. Numerous of marketing campaigns, models and strategies have emphasized on sustainable marketing. In this review, the science mapping is used to illustrate the growth and distribution of the literature in sustainable marketing in view of consumer behavior, attitude and consumption. Moreover, the aim of this research is to explore influential documents and journals and key scholars in the field. The database is extracted from Scopus from 2000-2019. The analysis explained by descriptive statistics and bibliometric review. The literature in sustainable marketing is rapidly grow in the last six years with one-third of documents published in those years. The predominant contributions are countries in developed societies mainly in three continents: America, Europe and Australia. Top five journals are identify based on numbers of documents and Scopus citation scores. Four out of 15 top cited authors are from India and the others are from America and Europe continent. Three schools of thought are pointed out: ‘environmental sustainability’, ‘consumer attitude, perception and behavior’ and ‘sustainable marketing and management strategy’. This review also provides the current topics in the field to suggest the researchers on their future study. It is the first review using science mapping analysis on sustainable marketing in view of consume behavior, attitude and consumption. This paper contributes to marketing scholars and marketing practitioners. It provides knowledge to scholars in term of key authors who dominant the topic areas along with influent paper and journals.

Keywords: sustainable marketing, green marketing, social marketing, corporate social responsibility, circular economy, sustainable consumption, bibliometric review, science mapping

Introduction

Over the last thirty years, sustainable marketing was introduced to the marketer and has widely used for few decades. There are numerous sustainable marketing campaigns across the globe lately with increasing degree of concerns toward environment and society. More importantly, major pressure which push the changing in marketing practices comes from consumer (Kotler, 2011). “LOHAS”, an abbreviation of “Lifestyle of health and sustain-ability” labeled some customers and the market of this segmentation is growing (Kotler, 2011).

The relationship between the willingness to purchase green products and attitudes is very strong (Laroche, Bergeron, & Barbaro-Forleo, 2001). Not only attitude but also customer values, norms and habits drive the purchase intention of green products (Peattie, 2010). With the significant relationship, this review is aimed to explore, examine and analyze the documents on sustainable marketing in the view of customer behavior, consumption and attitudes.

Although sustainable marketing is the tool which marketer have used for decades but only a few literature reviews. According to Scopus data base, only two bibliometric analysis on sustainable

marketing related topic which are “Sustainable tourism in the open innovation realm: A bibliometric analysis” (Della Corte, Del Gaudio, Sepe, & Sciarelli, 2019) and “Sustainable food consumption in the web of science abstracts” (Diaconeasa, Popescu, & Boboc, 2019) and not directly relevant to sustainable marketing.

The purpose of the review is to document the growth trajectory, the distribution of the documents according to the geography from 2000-2019 on sustainable marketing in the view of consumer behavior, consumption and attitude. The review aims to fine the intellectual structure and the influential topic among the scholars in order to forecast the tendency of the topic in the area. The following research questions guided the review:

RQ1: How is the sustainable marketing literature distribute over time and geographic sources?

RQ2: Which authors, journals and documents have the evident the greatest citation impact in the literature on sustainable marketing?

RQ3: What is the intellectual structure of the knowledge base on sustainable marketing?

RQ4: What are the most frequent topics in sustainable marketing which attract interest of the scholars’ overtime?

This study is the first bibliometric review on sustainable marketing based on Scopus data base documents which examined the data base consisting of 1219 documents which comprised of articles, conference papers, reviews, book chapters and books. The review explained in descriptive analysis, citation analysis, co-citation analysis and keyword co-occurrence used the Scopus analyze search result function, MS Excel and VOSviewer software as tools with PRISMA flow diagram to detail screening method.

This bibliometric review aims to provide the knowledge base on sustainable marketing to guide the researcher for future study in this filed.

Conceptual framework of the review

In the sustainable marketing conceptual framework, there are three concepts in marketing strategy in order to position the organization as sustainable. The model consists of green marketing, social marketing and critical marketing (Gordon, Carrigan, & Hastings, 2011).

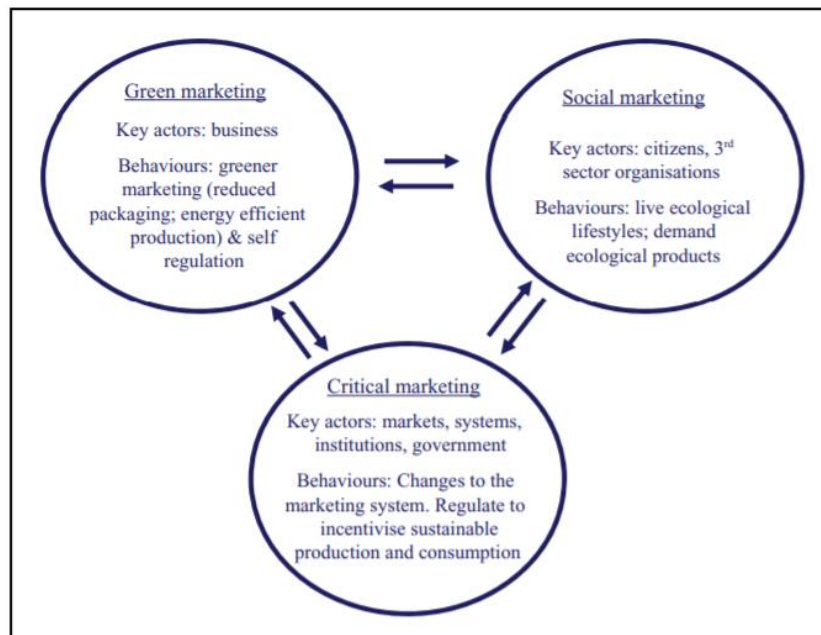


Figure 1: Sustainable Marketing Framework. (Gordon et al., 2011)

The concept of green marketing has been developed since 1970s. The early stage was Ecological marketing which reducing the resource use of the material to produce less waste. The second stage was Environmental Marketing, creating green product and green customer to build the competitive advantage. The last stage, sustainable marketing, aims to fully integrated social, environmental, and economic sustainability (Peattie, 2001). or triple bottom line, the three E's within this framework are Environmental, Economic, and Ethical (Goodland, 1995).

Social Marketing involves with social problems and social change (Andreasen, 2006). The focus of social marketing is to change people behaviors to improve well-being in the society (Peattie & Peattie, 2009).

Critical Marketing emerges from the rule and regulation which control the marketing activities in the society mainly dominant by institutes or the systems for example the government policies (Gordon et al., 2011).

Material and Methods

Identification of Sources and Search Criteria

Scopus data base is used in this study with frame of several criteria: time, document type, source type and language. The time frame of the study is from 2000-2019. The rationale of this is that to focus on the last two decades in order to observe the influential keyword or topic and spot the trend of sustainable marketing. In term of type of documents, key scholars in marketing have published many books launched in both of education and business sectors, consequently, it is decided to include articles, conference papers, reviews, books and book chapters. As a result, the source of the review is restricted to journals, conference proceedings, books and book chapters with no restriction on any specific journals. By executing those criteria, I could find the linkage between journals as performing co-citation sources analysis.

In term of the topical criteria, the subject area is left open-ended. It is intentionally not to specify because I would like to examine the sustainable marketing in all areas to explore the intellectual structure by using the VOSviewer software. Moreover, all extracted documents were in

English language.

The following keyword searched in this study is (TITLE-ABS-KEY (sustainable AND marketing) AND TITLE-ABS-KEY (“consumer behavior” OR “consumption” OR “attitude)). The keyword yielded the initial result of 1354 documents and the Scopus filter is used according to criteria above (e.g., time, language, document type). As a result, after the screening, 152 documents were excluded, and the remaining was 1202 documents for manually examination. The irrelevant and duplicate documents were screen out during the manual process. The final data base extracted to produce the final analysis is 1061 documents.

In this research, systematic review was conducted by using the guideline of PRISMA diagram. The selection screening process of data is shown in Figure2.

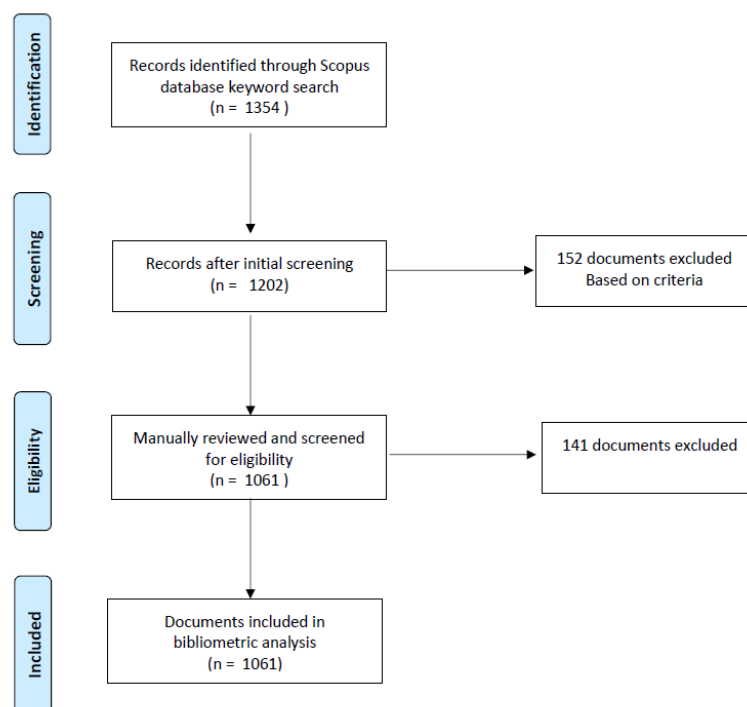


Figure 2: PRISMA flow chart describing the process of data selection, adapted from prisma-statement.org

Data Extraction and Data Analysis

The data of 1,061 documents Scopus base were downloaded after using the PRISMA table to extract related documents in form of Excel file. The file included meta-data is exported form Scopus consisting of author name(s), source, reference, keywords, abstracts, affiliation and other citation data. Since VOSviewer is used for data analysis, thesaurus file is prepared for filtering duplicate similar data in order to create comprehensible analysis by disambiguating the data. For example, the file might include ‘author keywords’ which have the same meaning but different forms, such as ‘perception’ and ‘consumer perception’ or ‘segmentation and ‘market segmentation’.

The data analysis in this review is based on both descriptive and bibliometric review. The descriptive review presented the character of the documents list such as growth trajectory, volume and geographic distribution which conducted by Scopus analytic tools and MS Excel.

Bibliometric analysis, VOSviewer software has been used. The software conducts the network analysis to visualize the similarity and connectivity of the documents. Citation and co-

citation both were used for the review. Citation was used for identifying the powerful journals, authors and documents to examine times of those were directed cited. Whereas co-citation analysis was used for exploring authors and documents. It can picture the intellectual structure by creating author co-citation map. Moreover, I did ‘document co-citation analysis’ to see the influential documents which might not be in the database or in the Scopus.

For the final research question, the words or topic that mentioned frequently overtime have been illuminated. I focused on ‘author keyword’ to deploy the analysis.

Result

Distribution by Type, Volume, Growth Trajectory and Geographic Distribution.

In this section, RQ1 is answered by using descriptive analysis. I used Scopus analytic tools to carry out the analysis of type, volume, growth and geographic distribution. The data set extracted form Scopus is 1061 articles published from 2000- 2019. The documents selected for the review comprised of journal article (69.1%), conference paper (16.6%), book and book chapter (7.8%) and review(6.6%).

The set of databases was examined by longitudinal analysis. From 2000-2019, sustainable marketing knowledge base in view of consumer behavior, attitude and consumption has evolved in three stages (see Figure 3). First, Emerging stage from 2000-2006, during this period, 68 documents (6.6%) were published. Second, Stable stage from 2007-2011, 199 documents (18.8%) were publish during this time. Third, Rapid Growth stage from 2012-2019, 794 documents (74.6%) were published during this period. The intense growth of the third period which is counted as one third of the article numbers in sustainable marketing in the last 20 years indicates that the topic is recent and attracting numerous scholars.

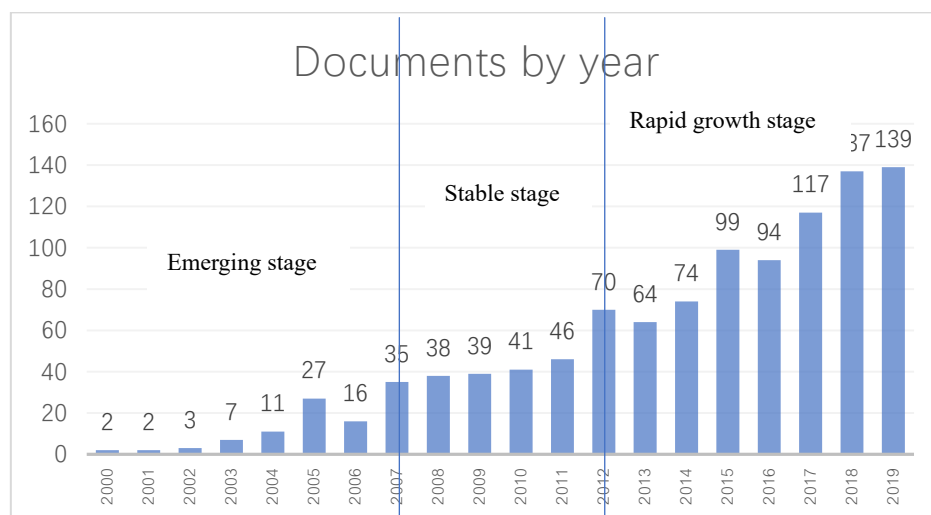


Figure 3: The Volume and Growth of Sustainable Marketing Literature in View of Consumer Behavior, Consumption and attitudes in Scopus Index, 2000-2019.

The geographic distribution of the literature (Figure4) has spread dominantly in America, Australia and Europe region. More specifically, the scholars from United States, United Kingdom and Australia produced 259 documents (24%), 142(13.4%) and 76(7.16%) correspondingly. Interestingly the scholars from Asia such as India, China, Malaysia, South Korea and Taiwan have actively contributed the literature to the society, most of literatures authored between 2014-2019. Of the 85%

of the sustainable marketing literature has authored in developing countries. Only China and India which counted for emerging economy countries are in the top 20 countries of sustainable marketing knowledge production. Thus, predominant contributions are countries in developed societies mainly in three continents: America, Europe and Australia. However, both of emerging country and developed countries in Asia have actively and recently produced sustainable marketing documents in the last 5 years.

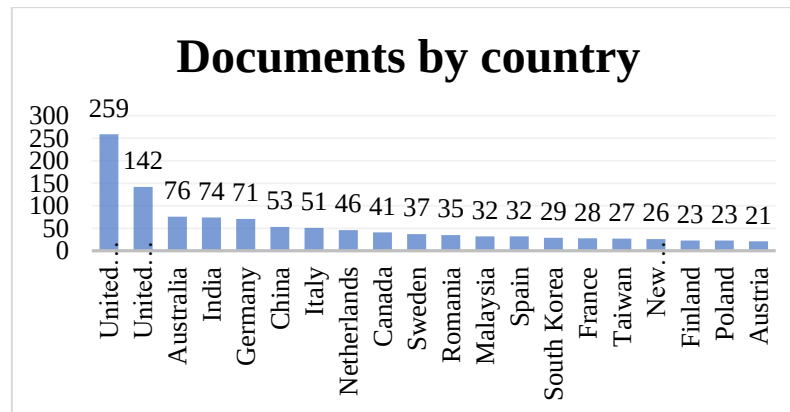


Figure 4: Geographic Distribution of Sustainable Marketing Literature in View of Consumer Behavior, Consumption and attitudes in Scopus Index, 2000-2019.

Influential Journals and Documents

This section analyses the most influential journal and documents in sustainable marketing. There are 40 journals published according to the extracted data base of 1061 documents. The range of the subjects of journals issued the articles is wide. It covers business, management, marketing, economics, environment, energy, agriculture, geography and development. The list of selected top 15 produced 229 articles (22%) of database (Table1). The journal scopus quartile indicate the quality of the sustainable marketing topic. All of the publications are ranked in Q1 and Q2 except one, *Acta Horticulturae*. The journal focuses on agriculture, vegetables, ornament tree and flowers, et cetera afflicted in Belgium which accepts the manuscripts in English, French and Spanish. In the conclusion, this information suggests that the quality of the top-cited journals is high standard and can be further used in research.

Together using dual criteria, number of production and Scopus citation, *Sustainability* (Switzerland), *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Public Policy and Marketing*, *Journal of Marketing Management and Business Strategy and the Environment* are identified as top five journals for sustainable marketing.

Table 1: The 15 most influential publications ranked by number of documents and citations.

Rank	Journal	Counts	Citations	Scopus Quartile	Subject
1	<i>Sustainability (switzerland)</i>	61	249	Q2	ENV, GEO
2	<i>Journal of Cleaner Production</i>	32	831	Q1	ENV, BUS, MAN
3	<i>British Food Journal</i>	14	120	Q2	AGR, BIO
4	<i>Journal of Public Policy and Marketing</i>	13	400	Q1	BUS, MAN, MAR
5	<i>Journal of Marketing Management</i>	13	337	Q1	BUS, MAN, MAR
6	<i>Business Strategy and the Environment</i>	12	395	Q1	ENV, GEO

Rank	Journal	Counts	Citations	Scopus Quartile	Subject
7	<i>Journal of Macromarketing</i>	12	343	Q2	BUS, MAN, MAR
8	<i>Acta Horticulturae</i>	12	26	Q4	AGR, BIO
9	<i>International Journal of Consumer Studies</i>	11	213	Q2	ECO, MED, PSY
10	<i>Journal of Consumer Marketing</i>	9	268	Q1	BUS, MAN, MAR
11	<i>Journal of Business Ethics</i>	8	167	Q1	BUS, MAN, LAW
12	<i>Journal of Sustainable Tourism</i>	8	326	Q1	BUS, MAN, GEO
13	<i>Sustainable Development</i>	8	146	Q1	DEV, EN
14	<i>Journal of Global Fashion Marketing</i>	8	43	Q2	CUL, BUS, MAN, MAR
15	<i>Journal of Food Products Marketing</i>	8	41	Q2	FOO, BUS, MAN

ENV = Environment; GEO = Geography; BUS = Business; MAN = Management; AGR = Agriculture; BIO = Biology; MAR = Marketing; ECO = Economics; MED = Medicine; PSY = Psychology; DEV = Development; EN = Energy CUL = Culture; FOO = Food

The research question (RQ3) inquired analysis of highly cited documents (Table2). *Food Consumption Trends and Drivers* (Kearney, 2010) is at the top of the list. The list covered the focus topics of consumer behavior, consumer attitude, consumer consumption, green marketing, social marketing and sustainable marketing. Again, the list in the Table2 is dominated by developed societies in Europe. Interestingly, one article ranked number2 is *Exploring consumer attitude and Behavior towards green practices in the lodging industry in India* (Manaktola & Jauhari, 2007).

Document co-citation analysis (DCA) can be conducted to examine the references articles which located in the other set of data. DCA can portray the list of highly cited articles not limited to Scopus base. The result list is in Table3. Most of the articles are from USA and some other European countries. Most highly co-cited documents, eight of 15 documents focused on green marketing and social marketing (sustainable marketing). It is assumed that American academic and scholars are the first pioneer that propose and published t “Marketing Theories” and The first era of sustainable marketing originally begun with environmentally concern marketing and developed to green marketing, so those topic articles are the top rank in DCA.

Table 2: The 15 most cited articles in sustainable marketing, 2000-2019.

Rank	Articles	Nation	Focus Area	Citations
1	Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers	Ireland	Consumer Attitude	629
2	Manaktola, K., Jauhari, V. (2007). Exploring consumer attitude and behavior towards green practices in the lodging industry in India	India	Consumer Attitude	374
3	Vermeir, I., & Verbeke, W. (2008). Sustainable food consumption among young adults in Belgium: Theory of planned behavior and the role of confidence and values	Belgium	Consumer Attitude	335
4	Peattie, K. et al. (2005). Green marketing: legend, myth, farce or prophesy?	UK	Green Marketing	270
5	Peattie, K. & Peattie, S. (2009). Social marketing: A pathway to consumption reduction?	UK	Social Marketing	262
6	Sanne, C. (2002). Willing consumers—or locked-in? Policies for a sustainable consumption	Sweden	Consumer Consumption	261
7	Prothero, A. et al. (2011). Sustainable Consumption: Opportunities for Consumer Research and Public Policy	Ireland	Consumer Consumption	253

Rank	Articles	Nation	Focus Area	Citations
8	Peattie, K. (2010). Green Consumption: Behavior and Norms	UK	Green Marketing	241
9	Tonglet, M. et al. (2004). Determining the drivers for householder pro-environmental behavior: waste minimisation compared to recycling	UK	Consumer Behavior	205
10	Eccles, S. A. et al. (2013). Critical research gaps and translational priorities for the successful prevention and treatment of breast cancer	UK	Medicine	203
11	Paul, J. et al. (2016). Predicting green product consumption using theory of planned behavior and reasoned action	USA	Consumer Behavior	183
12	Schaefer, A. & Crane, A. (2005). Addressing Sustainability and Consumption	UK	Consumer Consumption	142
13	Cornelissen, G. (2008). Positive cueing: Promoting sustainable consumer behavior by cueing common environmental behaviors as environmental	Spain	Consumer Behavior	128
14	Achrol, R. S., & Kotler, P. (2012). Frontiers of the marketing paradigm in the third millennium.	USA	Sustainable Marketing	127
15	De Bon, H. et al. (2010). Sustainable urban agriculture in developing countries. A review	France	Agriculture	127

Table 3: The 15 most highly co-cited articles in sustainable marketing, 2000-2019.

Rank	Articles	Nation	Focus Area	Co-Citations
1	Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior.	USA	Consumer Behavior	32
2	Fornell, C., & Larcker, D.F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error.	USA	Research	28
3	Peattie, K. & Peattie, S. (2009). Social marketing: A pathway to consumption reduction?	UK	Social Marketing	23
4	Laroche, M. et al. (2001). Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally friendly products.	Canada	Consumer Behavior	16
5	Roberts, J.A. (1996). Green consumers in the 1990s: profile and implications for advertising.	USA	Green Marketing	16
6	Griskevicius, V. et al. (2010). Going green to be seen: status, reputation, and conspicuous conservation.	USA	Green Marketing	15
7	Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?	UK	Consumer Behavior	12
8	Kotler, P. (2011). Reinventing marketing to manage the environmental imperative.	USA	Green Marketing	12
9	Schlegelmilch, B.B. et al. The link between green purchasing decisions and measures of environmental consciousness.	Austria	Green Marketing	12
10	Vermeir, I., & Verbeke, W. (2008). Sustainable food consumption among young adults in Belgium: Theory of planned behavior and the role of confidence and values	Belgium	Consumer Attitude	12

Rank	Articles	Nation	Focus Area	Co-Citations
11	Menon, A., & Menon, A. (1997). Enviropreneurial marketing strategy: the emergence of corporate environmentalism as market strategy.	USA	Green Marketing	11
12	Follows, S.B., & Jobber, D. (2000). Environmentally responsible purchase behavior: a test of a consumer model.	USA	Green Marketing	10
13	Grunert, H.G. et al. (2014). Sustainability labels on food products: consumer motivation, understanding and use.	Denmark	Consumer Behavior	10
14	Mcdonagh, P., & Prothero, A. (2014). Sustainability marketing research: past, present and future (2014) journal of marketing management.	UK	Sustainable Marketing	10
15	Pickett-Baker, J., & Ozaki, R. (2008). Pro-environmental products: marketing influence on consumer purchase decision.	UK	Consumer Behavior	10

Influential Authors and Intellectual Structure.

The bibliometric analysis is to seek the main authors in term of work production and number of citations. Table4 provides 10 most highly cited in Scopus-index publication. The most cited contributors are Peattie K., Jauhari V., Carrigan M. and Barr S. Four scholars of 15 are Indian and the other are from America and Europe region. The most outstanding author is Peattie K. whose focus subjects are green marketing, social marketing and marketing strategy. The scholar is the very first academic who has published documents emphasized on social marketing and green marketing since 1999 and continue on.

Table 4: Rank order of 15 most highly cited authors in sustainable marketing, 2000-2019

Rank	Author	Nation	Documents	Citations	Citations per Documents
1	Peattie K.	UK	5	837	167
2	Jauhari V.	India	3	382	127
3	Carrigan M.	UK	6	264	44
4	Barr S.	UK	4	263	66
5	Shaw G.	USA	3	179	60
6	Hall C.M.	Finland	6	174	29
7	Mcdonald S.	UK	3	173	58
8	Oates C.J.	UK	3	173	58
9	Kumar R.	India	3	43	14
10	Agrawal R.	USA	3	37	12
11	Gautam A.	India	3	37	12
12	Nath V.	India	3	37	12
13	Scarpato D.	Italy	3	37	12
14	Sharma V.	USA	4	37	9
15	Peterson M.	USA	4	26	7

Table 5: Rank order of 15 most highly co-cited authors in sustainable marketing, 2000-2019

Rank	Author	Nation	School of Thought	Citations	Total Link Strength
1	Ajzen, I.	USA	Consumer Behavior	275	1418
2	Peattie, K.	UK	Sustainable Marketing	267	1563
3	Kotler, P.	USA	Marketing Strategy	245	1026
4	Verbeke, W.	Belgium	Sustainable Consumption	214	1059
5	Thøgersen, J.	Denmark	Consumer Consumption	137	945
6	Prothero, A.	Ireland	Sustainable Consumption	172	1153
7	Carrigan, M.	UK	Sustainable Marketing	129	909
8	Fishbein, M.	USA	Consumer Behavior	129	847
9	Stern, P.C.	USA	Environmental Behavior	122	731
10	Steg, L.	Netherland	Environmental Behavior	121	605
11	Hall, C.M.	Finland	Consumer Behavior	120	260
12	Jackson, T.	USA	Environment	109	669
13	Hair, J.F.	USA	Market Research	107	472
14	Polonsky, M.J.	Australia	Green Marketing	102	673
15	Mcdonagh, P.	UK	Sustainable Marketing	99	698

According to the third research question, I used the VOSviewer to create co-citation map to cluster and illuminate the “School of Thoughts” in sustainable marketing. Co-citation map visualize the similarities and calculate author co-citation. The node represents each scholar and the size display the strength of author co-citation. The bigger size of the node, the more influential and impact of the authors. The link shows the frequency cited between the scholars who have been cited together. The software also groups the clusters into colors based on the frequency and similarities of the subject, topic and content. Each cluster interpret the “School of Thoughts” representing intellectual knowledge base of the data set.

In this review, the author co-citation map comprises of three cluster from 1061 Scopus base documents. The map shows one hundred and one authors followed the threshold of at least thirty-nine author co-citation. The most highly ‘co-citation authors’ are Ajzen I., Peattie K., Kotler P. and Verbeke W. correspondingly. The map displays three school of thoughts include ‘Environmental sustainability’ (blue cluster), ‘Consumer Attitude, Perception and Behavior’ (red cluster), and ‘Sustainable Marketing and Management Strategy’ (green cluster).

Blue cluster represents a school of thoughts focusing on environmental concern development. This covers alternative energy development, environmental tourism or green tourism, sustainable construction and sustainable product creation. The key scholars in this cluster are Hall C.M. and Barr S. The red cluster is the school of thought whose authors emphasize on consumer behavior, attitude and consumption. The influential authors in this intellectual cluster are Ajzen I., Verbeke W., Stern P.C., Steg L. and Fishbein, M. This cluster includes human psychology, value and the relationship between attitudes and behaviors. The green cluster consists the intellectual knowledge of sustainable marketing theories and strategies which extended over green marketing, social marketing, social enterprise. Green marketing includes green products, green consumer and market segmentation. The knowledge is also closely connected with marketing mix, marketing models and organizational management practice and theories. The main authors are Peattie K., Kotler P., Prothero A. and Carrigan M.

The review of the literature in three clusters aim to sought to create sustainability by creating

sustainable marketing strategies and models to implement in market. Moreover, understanding consumer attitudes and behavior and build the drives which push the sustainable behaviors and consumption.

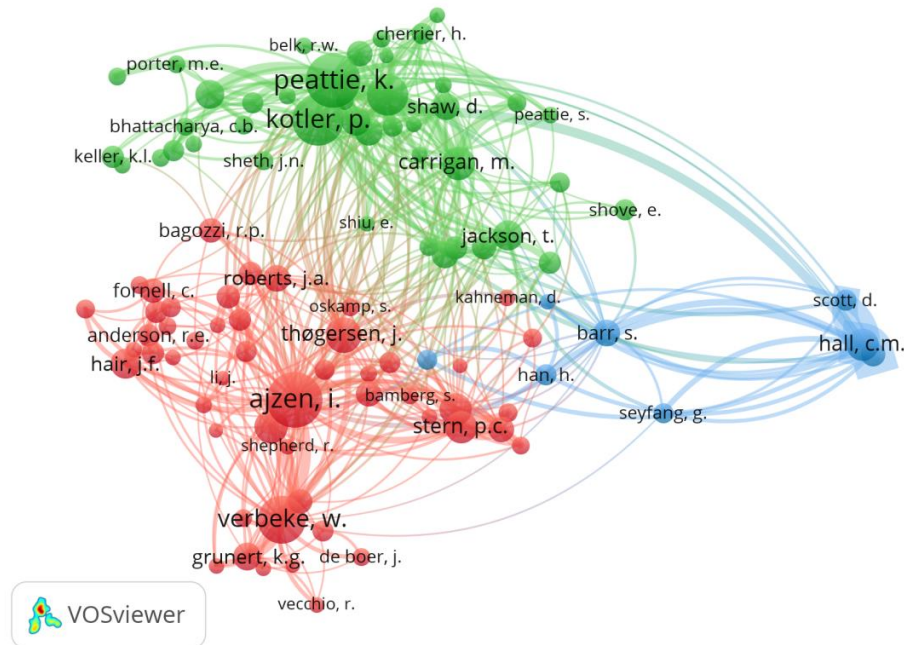


Figure 5: Author co-citation map of Sustainable Marketing Literature in View of Consumer Behavior, Consumption and attitudes in Scopus Index, 2000-2019.

Topical Analysis

For the final research question, we conducted the keyword co-occurrence analysis to illuminate the most frequent and current topic overtime. I used “author keyword” as the threshold with the exhibition of at least five cases co- occurring author keyword. The most occurring author keywords are sustainability (162), sustainable consumption (86), consumer behavior (78), marketing strategy (74) and green marketing (62). The unexpected keyword is social marketing which occurs 32 times.

Temporal co-word map created by VOSviewer is used to show the frequency and recency of keyword occurrences. The size of the node is appointed to the frequency the word used in the specific of time. In this analysis, the timeline is set from 2012(dark blue) to 2017(yellow). Yellow means most recent keyword used by authors. Four emerging keywords are ‘Sustainable Products’, ‘Environmental Concern’, ‘Social Marketing’ and ‘Circular Economy’. Interestingly, ‘social marketing’ which occurs 32 times is the recent topic as it shows in the yellow color in temporal keyword co-occurrence map.

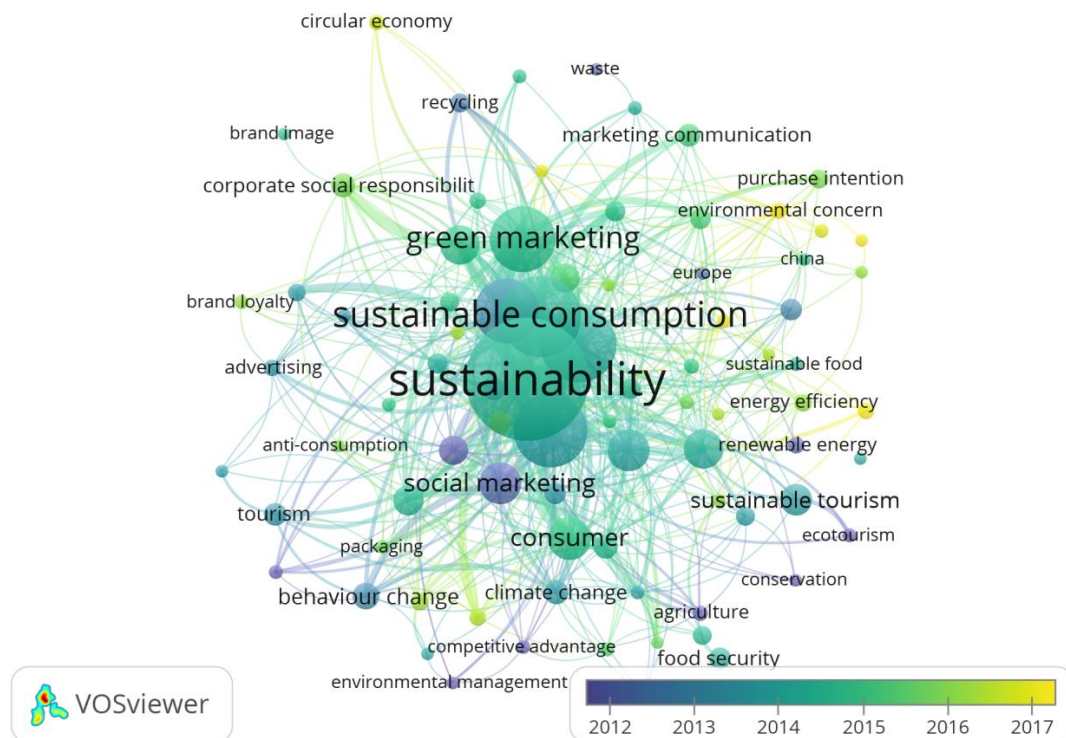


Figure 6: Temporal keyword co-occurrence map of Sustainable Marketing Literature in View of Consumer Behavior, Consumption and attitudes in Scopus Index, 2000-2019.

Discussion

This research review provides the result according to the research questions such as the growth and the contribution of the literature, the influential journals, documents and authors. Explore the school of thoughts based on knowledge base and identify the frequent and recent topic for the future research. The data base consists of 1061 documents on Scopus published between 2000-2019. This concluding section provides outstanding discussion interpretation and limitations of the result.

Interpretation and Implications

The distribution of the literature in sustainable marketing is very interesting. Most of the countries produced high number of documents are from developed societies from three continents: America, Europe and Australia. Only two countries from the emerging countries are China and India. The reason behind this result is China and India are facing the environment problems. In India, the temperature has elevated 4-5 Degree Celsius all over the country and 20% more rain for the whole year. The expectation of extreme temperature is increasing (Sathaye, Shukla, & Ravindranath, 2006). Because of the industrialization, China is the world biggest country consuming natural resources and create pollution (Fang, Cote, & Qin, 2007). Thus, the subject areas focus on environment sustainability, alternative energy and industrial sustainability.

The focus area of document co-citation analysis is broader and related with original marketing theories and green marketing theories. As green marketing is the first among the sustainable marketing since 1970s starting from Ecological marketing involved to sustainable marketing to develop life quality (Goodland, 1995; Peattie, 2001).

Author co-citation analysis portrays the conceptual map based on knowledge landscape of sustainable marketing in view of consumer behaviors, consumption and attitudes. There are three schools of thoughts: 'Environmentally sustainable development', 'Consumer Attitude, Perception and

Behavior' and 'Sustainable Marketing and Management Strategy'. The authors cite the marketing and management theory for the construction of their research and then develop to sustainable marketing or to related focus issues.

From the keyword co-occurrence analysis, it might be concluded that 'Social marketing' is most frequent topic in the past few years. Because of customer behavior change, all communication and activities are relied on mobile phone and social media. It assumes that social media can be used to create, or impact consumer behavior and it might use as sustainable marketing communication and campaign.

'Circular Economy' is the emerging issues among the scholars which used to connect with sustainability. *It is defined as the system which resources used efficiently and the value chain loop minimizes waste and energy including product design, maintenance, repair, reuse, recycle, and et cetera (Geissdoerfer et al., 2017). Circular economy is more focus on industrial system than the whole community. Whereas 'sustainability' emphasises on wellbeing corresponding with 'Triple Bottom Line', society, environment and economic(Kuhlman & Farrington, 2010).*

The emerging key words analysis directs researchers of hot issue trends in the field such as sustainable products, circular economy and social marketing. This report is also useful to marketing practitioners, it helps and guides marketer in term of application. Sustainable marketing in view of customer consumption is very closed and related to environmental sustainability for example; green marketing, environment friendly product or energy sufficiency and the coordination with efficient management strategies. Moreover, the result of temporal map reveals social marketing and ai-consumption as the new coming topic. Even though the fewer frequency compared to other keywords but it shows the concerns among society and anti-consumption topic in sustainable marketing field.

Limitation

The review is limited to Scopus data base only with the time frame of 2000-2019. It might not conclude all knowledge of sustainable marketing. Therefore, the review could be the first step of science mapping in the field and can guide the researcher to conduct further study in other data base. Another limitation is the review based on 'Keyword search' which might reflect the intellectual structure or 'school of thought'. The keywords used are 'Sustainable Marketing' and 'Consumer behavior' or 'Customer consumption' or 'Consumer Attitude'. However, the findings of intellectual structure can lead to the future study about 'Environmentally sustainable marketing' and 'Circular economy'.

References

- Achrol, R. S., & Kotler, P. (2012). Frontiers of the marketing paradigm in the third millennium. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40(1), 35-52.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- Andreasen, A. R. (Ed.). (2006). *Social marketing in the 21st century*. Sage.
- Chen, C. C. (2005). Incorporating green purchasing into the frame of ISO 14000. *Journal of Cleaner Production*, 13(9), 927-933.
- Cornelissen, G., Pandelaere, M., Warlop, L., & Dewitte, S. (2008). Positive cueing: Promoting sustainable consumer behavior by cueing common environmental behaviors as environmental. *International Journal of Research in Marketing*, 25(1), 46-55.
- De Bon, H., Parrot, L., & Moustier, P. (2010). Sustainable urban agriculture in developing countries. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30(1), 21-32.

- Della Corte, V., Del Gaudio, G., Sepe, F., & Sciarelli, F. (2019). Sustainable Tourism in the Open Innovation Realm: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 11(21), 6114.
- Dennis, C., Harris, L., Peattie, K., & Crane, A. (2005). Green marketing: legend, myth, farce or prophesy?. *Qualitative market research: an international journal*.
- Diaconeasa, M. C., Popescu, G., & Boboc, D. (2019). SUSTAINABLE FOOD CONSUMPTION IN THE WEB OF SCIENCE ABSTRACTS. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 53(1).
- Eccles, S. A., Aboagye, E. O., Ali, S., Anderson, A. S., Armes, J., Berditchovski, F., & Bundred, N. J. (2013). Critical research gaps and translational priorities for the successful prevention and treatment of breast cancer. *Breast Cancer Research*, 15(5), R92.
- Fang, Y., Cote, R. P., & Qin, R. (2007). Industrial sustainability in China: Practice and prospects for eco-industrial development. *Journal of environmental management*, 83(3), 315-328.
- Follows, S. B., & Jobber, D. (2000). Environmentally responsible purchase behavior: a test of a consumer model. *European journal of Marketing*, 34(5/6), 723-746.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.
- Gadema, Z., & Oglethorpe, D. (2011). The use and usefulness of carbon labelling food: A policy perspective from a survey of UK supermarket shoppers. *Food policy*, 36(6), 815-822.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
- Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual review of ecology and systematics*, 26(1), 1-24.
- Gordon, R., Carrigan, M., & Hastings, G. (2011). A framework for sustainable marketing. *Marketing theory*, 11(2), 143-163.
- Griskevicius, V., Tybur, J. M., & Van den Bergh, B. (2010). Going green to be seen: status, reputation, and conspicuous conservation. *Journal of personality and social psychology*, 98(3), 392.
- Grunert, K. G., Hieke, S., & Wills, J. (2014). Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. *Food Policy*, 44, 177-189.
- Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2793-2807.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?. *Environmental education research*, 8(3), 239-260.
- Kotler, P. (2011). Reinventing marketing to manage the environmental imperative. *Journal of Marketing*, 75(4), 132-135.
- Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is sustainability?. *Sustainability*, 2(11), 3436-3448.
- Laroche, M., Bergeron, J., & Barbaro-Forleo, G. (2001). Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally friendly products. *Journal of consumer marketing*, 18(6), 503-520.
- Lockshin, L., & Corsi, A. M. (2012). Consumer behavior for wine 2.0: A review since 2003 and future directions. *Wine Economics and Policy*, 1(1), 2-23.
- Manaktola, K., & Jauhari, V. (2007). Exploring consumer attitude and behavior towards green practices in the lodging industry in India. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 19(5), 364-377.
- McDonagh, P., & Prothero, A. (2014). Sustainability marketing research: Past, present and future. *Journal of Marketing Management*, 30(11-12), 1186-1219.
- Menon, A., & Menon, A. (1997). Enviropreneurial marketing strategy: the emergence of corporate environmentalism as market strategy. *Journal of marketing*, 61(1), 51-67.



- Michaud, C., & Llerena, D. (2011). Green consumer behavior: an experimental analysis of willingness to pay for remanufactured products. *Business Strategy and the Environment*, 20(6), 408-420.
- Paul, J., Modi, A., & Patel, J. (2016). Predicting green product consumption using theory of planned behavior and reasoned action. *Journal of retailing and consumer services*, 29, 123-134.
- Peattie, K. (2001). Towards sustainability: The third age of green marketing. *The Marketing Review*, 2(2), 129-146.
- Peattie, K. (2010). Green consumption: behavior and norms. *Annual review of environment and resources*, 35, 195-228.
- Peattie, K., & Peattie, S. (2009). Social marketing: A pathway to consumption reduction?. *Journal of Business Research*, 62(2), 260-268.
- Pickett-Baker, J., & Ozaki, R. (2008). Pro-environmental products: marketing influence on consumer purchase decision. *Journal of consumer marketing*, 25(5), 281-293.
- Prothero, A., Dobscha, S., Freund, J., Kilbourne, W. E., Luchs, M. G., Ozanne, L. K., & Thøgersen, J. (2011). Sustainable consumption: Opportunities for consumer research and public policy. *Journal of Public Policy & Marketing*, 30(1), 31-38.
- Roberts, J. A. (1996). Green consumers in the 1990s: profile and implications for advertising. *Journal of business research*, 36(3), 217-231.
- Sanne, C. (2002). Willing consumers—or locked-in? Policies for a sustainable consumption. *Ecological economics*, 42(1-2), 273-287.
- Sathaye, J., Shukla, P. R., & Ravindranath, N. H. (2006). Climate change, sustainable development and India: Global and national concerns. *CURRENT SCIENCE-BANGALORE*-, 90(3), 314.
- Schaefer, A., & Crane, A. (2005). Addressing sustainability and consumption. *Journal of macromarketing*, 25(1), 76-92.
- Schlegelmilch, B. B., Bohlen, G. M., & Diamantopoulos, A. (1996). The link between green purchasing decisions and measures of environmental consciousness. *European journal of marketing*, 30(5), 35-55.
- Selfa, T., & Qazi, J. (2005). Place, taste, or face-to-face? Understanding producer–consumer networks in “local” food systems in Washington State. *Agriculture and Human Values*, 22(4), 451.
- Tonglet, M., Phillips, P. S., & Bates, M. P. (2004). Determining the drivers for householder pro-environmental behavior: waste minimisation compared to recycling. *Resources, conservation and recycling*, 42(1), 27-48.
- Vermeir, I., & Verbeke, W. (2008). Sustainable food consumption among young adults in Belgium: Theory of planned behavior and the role of confidence and values. *Ecological economics*, 64(3), 542-553.

THE SUSCEPTIBILITY OF METABOLIC SYNDROME AND DIABETES IN CORRELATION TO THE ZINC TRANSPORTER GENE POLYMORPHISM (Rs13266634)

Lisandra Maria G. B. Sidabutar^{1*}, Tippawan Pongcharoen¹, Uthaiwan Suttisansanee¹,
Chaowanee Chupeerach¹

¹Institute of Nutrition, Mahidol University

*Corresponding author, E-mail: maria.bernadett28@gmail.com

ABSTRACT

Diabetes and metabolic syndrome nowadays have an increment number of cases annually in many countries. Initially, this non-communicable disease is known to charge older people, meanwhile, it starts to endanger the younger generation. Existing researches recognized the role of zinc and its transporter (ZNT8) gene's expression in increasing the risk of metabolic syndrome and in other familial connected diseases due to its role to promote the production of insulin and various regulatory functions, primarily in enzymatic reactions in the human body. Therefore, the investigation of whether the finding of zinc transporter polymorphism can be associated with the alteration of metabolic syndrome's risk factor in younger age is becoming increasingly urgent to be performed. Despite that, the correlation between the polymorphism and the inflammatory marker, as one of the related risk factors, is also an interesting subject to be examined. This recent study is conducted in the adolescent population by extracting the DNA genotype and obtaining the anthropometric, biochemical, and clinical parameters. The finding of this study showed that ZNT8 polymorphism (rs13266634) has a role in human body metabolism. The significant correlation was shown between the rs13266634 with blood pressure and insulin production (p-value 0.024 and 0.001 respectively) with the wild-type allele carrier subject has a significantly higher value of blood pressure (p-value 0.034) and also insulin level (p-value 0.008).

Keywords: Diabetes Mellitus, Metabolic Syndrome, Rs13266634, SLC39, Adolescent, Zinc Transporter, Gene Polymorphism

Introduction

Diabetes presents as a growing chronic disease and remains a tremendous threat to public health. It does not merely occur in a developed country but turns to the part of the multi-burden problem in developing nations, for adult and growing down to adolescence age. It is emerging and becomes a worldwide public health issue, including in Thailand with more than 8% prevalence in 2018 as reported by Global Nutrition Report (WHO, 2018). Based on "Association of early life exposures and long-term health and cognitive development outcomes in adolescents in the northeast, Thailand", a project that was held in 2013, there were more than 30% of adolescent samples in Khon Kaen are categorized as pre-diabetic status and around 11% of them were diabetes (referring to the HbA1c -Hemoglobin A1c- level). Not only that, but the increasing prevalence of obesity in pediatrics also evolves into a considerable concern and is the driving force behind the increment of Metabolic Syndrome in the adolescent, especially diabetes.

Recently, existing research recognizes the critical role occupied by zinc and its transporter gene expression mutations and single nucleotide polymorphisms (SNPs) of inherited diseases increase the risk of metabolic syndrome. The deficiency of zinc is known as a risk factor for obesity and diabetes, which are two crucial parts of metabolic syndrome (Fukunaka & Fujitani, 2018: 3-5). Zinc

promotes insulin-producing in β -cells and insulin signals transduction in cells targeted by insulin (Maret, 2017: 4-5) and also known contributes to insulin clearance regulation in the liver (Gu, 2016: 2). Another study has also indicated that serum zinc levels may be responsible for a decrease of the inflammatory process in acute inflammation (Jung, Kim, & Choi, 2015: 10) as another crucial factor in the development of metabolic syndrome in the obese population. Since zinc plays a role in metabolism through its effects on insulin performance and as an anti-inflammation property, providing another look over the zinc and its transporter might be beneficial.

Several recent studies have reported that ZnT8, one of zinc transport protein, and its polymorphisms are linked to the development of metabolic syndrome (Giacconi et al., 2018: 102-110; Hosseini-Esfahani et al., 2017: 1-12). On one hand, the increment of adipocytokine components were found as strong risks for metabolic impairment and potentially to be initial signs of metabolic syndrome in adults, both in children and adolescence (Bussler et al., 2017: 185-186). That makes this aspect crucial. This is additionally become an interesting variable to be assessed; whether all those factors linked with the risk of metabolic syndrome in adolescents and projected by the level of zinc blood serum is correlated to the ZNT8 polymorphism.

Objectives

The main purpose of this research is to investigate whether the finding of zinc transporter polymorphism can be associated with the alteration of metabolic syndrome's risk factor in Thai adolescents. Specifically, the objectives are divided into several specific objectives:

1. Determine the association of ZnT8 (rs13266634) polymorphism with the risk of metabolic syndrome (fasting blood sugar, HbA1c lipid profile, blood pressure, waist circumference, and BMI) and Zinc serum level in adolescents.

2. Examine the relationship of that gene polymorphism (ZnT8 rs13266634) with the inflammatory markers (CRP, IL-6, TNF- α) in adolescents.

Literature Review

1. Metabolic Syndrome in Adolescence

The imbalance intake of every single nutrient compound will affect the imbalance of body composition. It will not only be expressed in adult but can also be detected from younger age and provide double-burden nutrition problem (Jenkins et al., 2018: 79-80). Based on the Global Nutrition Report – Country Overview published in 2018, in 2016, Thailand reported had more than 8,2% under-five overweight prevalence. The number was increased up in the female adult which is >12% and around 7% in men. The prevalence of diabetes in the adult population in Thailand is more than 8% both in the male and female groups, and the prevalence of metabolic syndrome in children's population, based on cross-sectional research in 2014, is around 4% (Rerksuppaphol & Rerksuppaphol, 2014: 2-5).

Most of the conventional criteria of metabolic syndrome will repeatedly mention the alteration of glucose, lipid profile, blood pressure, and central obesity appearance. Knowing that obesity is associated to abnormal lipid profiles in both adults and adolescent (Sekokotla, Goswami, Sewani-Rusike, Iputo, & Nkeh-Chungag, 2017: 131-137) makes the usage of adipocytokine and the explanation of genetic modulator in metabolic predisposition important to be explored (Bussler et al., 2017: 181-193).

1.1 Criteria of Metabolic Syndrome in The Adolescence Age

Definite criteria for adolescent metabolic syndrome have yet been established due to numerous reasons, such as puberty impacting insulin production (Wittcopp & Conroy, 2016: 194-195).

While criteria for adults have been published by the World Health Organization (WHO), International Diabetes Foundation (IDF), National Cholesterol Education Program III (NCEP-III), National Heart, Lung and Blood Institute (NHLBI), and the American Heart Association (Alberti et al., 2009: 1640-1645; P. L. Huang, 2009: 231-237). Only IDF who already published their new consensus statement about a new definition of children and adolescents with metabolic syndrome (Zimmet et al., 2007: 299-306). Based on IDF, an adolescent (10-16 years old) can be categorized in metabolic syndrome when they meet the criteria:

Table 1: Criteria of Metabolic Syndrome.

Criteria of Metabolic Syndrome	Cut-off level
Waist circumference	≥90 th percentile
Triglycerides level	≥1.7 mmol/L (≥150mg/dL)
HDL-C	<1.03 mmol/L (<40mg/dL)
Blood pressure	systolic ≥130/ diastolic ≥85 mmHg
Fasting Blood Sugar (FBS)	≥5.6 mmol/L (≥100 mg/dL)

Fasting glucose may not represent the development of the metabolic syndrome accurately, therefore HbA1c may be the logical choice to be used as a chronic measure of hyperglycemia rather than an acute measure, such as glucose since it represents the condition of blood glucose in more than 100 days (per hemoglobin lifespan). Normal HbA1c is suggested to be 5.6% and it should be diagnosed as the pre-diabetic stage when it is around 5.8-6.1% (Nam et al., 2018: 5-6).

1.2 Adipocytokines as a biomarker of Metabolic Syndrome in Adolescence

Some studies also suggest adipocytokine component was found to be high risk for metabolic impairment and can potentially be used as early signs of cardiovascular diseases in children, adolescence, and adults (Bussler et al., 2017: 185-188). Pro-inflammatory state, due to secondary to the increment of inflammatory cytokines production visceral adipocyte, is associated with obesity. These inflammatory markers are included C-reactive protein (CRP), interleukin-6 (IL-6), and tumor necrosis factor-alpha (TNF- α). CRP is commonly found higher in younger obese population, found in numerous large-scale population-based studies. This might be associated with the resistance of insulin in that population even though the relation between CRP and metabolic syndrome remains unclear. Another previous study conducted among the elderly showed that hsCRP (human sensitive C-reaction protein) is non-specific and is affected by various factors such as smoking, high triglyceride level, obesity, hypertension, and event diet pattern. Meanwhile, this study indicated that increasing CRP levels are consistent with the inflammation (Milan-Mattos et al., 2019: 1-10).

IL-6 plays a role in natural inflammatory response as a pro-inflammatory cytokine. Similar to the TNF- α that secreted by visceral adipose tissue, both are often used to characterize the metabolic syndrome (Bălăşoiu et al., 2014: 32-33). It hypothesizes that an early assessment of the patient's inflammatory status including measurement of TNF- α and IL-6 may be useful in monitoring and early intervention of metabolic syndrome and its comorbidities.

2. Zinc Transport Protein

Two families of zinc transporters have been identified in humans and animals and commonly identified as solute protein carriers (SLC). It functions as a regulator of zinc homeostasis by controlling the influx and efflux, from and within the cells. It is physiologically and molecularly involved in signal transduction, morphogenesis, neurosensory, immune response, and endocrine function (Hara et al., 2017: 283-293). Based on its function, zinc transport protein is divided into two which are ZnT (SLC30A) and ZIP (SLC39A).

The SLC30A/ZnT family contains 10 members, while the SLC39A/ZIP family has 14 members. Members of each family share similar topological protein structures. ZNT proteins are identified having six transmembranes (TMs) domains and a histidine-rich loop between TM4 and TM5, except for ZNT5 which contains additional TM domains at the N-terminal end of the protein. Both N- and C-terminal ends of ZNT proteins are localized intracellularly, facing the cytosol. (Bin, Seo, & Kim, 2018: 3-5; L. Huang, 2014: 367)

2.1 Zinc and its transporter as the suggested factor for Metabolic Syndrome in insulin retention and inflammatory marker

Zinc is one of the important trace minerals (essential metal-ion) for human physiological function than can be found in most of the body parts, including fluid and secretions, tissue, and organ. It is essential for the development, differentiation, immune response, neurological functions, growth and plays a role in metabolism as the activator of more than 300 metalloenzymes and zinc-finger protein that are involved in the regulation of gene transcription (Hara et al., 2017: 283-293; L. Huang, 2014: 366). The zinc proteome estimates that zinc protein is encoded by around 10% of the human genome (Andreini, Bertini, & Cavallaro, 2011: 1), and more than half of it is enzymes and transcription factors. The estimation is based on intramolecular zinc-binding sites. An increase of zinc-binding motif is seen when zinc-binding sites such as the ones previously mentioned are considered. (Kambe, Hashimoto, & Fujimoto, 2014: 3282)

Normally, the body contains around 2 – 4 grams of zinc (Kambe et al., 2014: 3281-3282; Maywald, Wessels, & Rink, 2017: 2). Around 60 % of zinc is stored in skeletal muscle, about 30 % is in bones, and about 5 % is in the liver and skin, but it may differ due to certain condition which affects its homeostasis. The remainder is distributed to other and less than 1% is circulated in the serum with 80% of it is bound to albumin and the rest is tightly bound to α 2-macroglobulin (non-exchangeable) (Barnett et al., 2013: 5456-5457; Kambe et al., 2014: 3281-3282).

The gastrointestinal tract epithelial cells principally regulate the zinc homeostasis by way of absorption and secretion of exogenous zinc from food and endogenous zinc respectively (Faa et al., 2008: 1259-1263). When the availability of zinc is limited, zinc absorption will increase up to 90% in the small intestine, and its release from the pancreas and small intestine will decrease. The absorbed zinc, about 30 % of dietary zinc (L. Huang, 2014: 365) is bound to the albumin and delivered by peripheral tissues (Hara et al., 2017: 284; Kambe et al., 2014: 3281-3282; Krebs, 2013: 19-29) mainly in duodenal and jejunal into the bloodstream.

Since zinc cannot be stored, so it has to be taken up via food daily to guarantee sufficient supply (Maywald et al., 2017: 2-3, 14). It has been many decades ago since the discovery of zinc deficiency. Zinc deficiency affects many elements (Haase, Overbeck, & Rink, 2008: 394-408) of physiology and homeostasis for every stage of life (Krebs, 2013: 19-29; Mocchegiani et al., 2008: 433-444; Putics et al., 2008: 452-461). Based on WHO recommendation, daily intake of zinc should be around 9.4-10 mg for men and 6.5-7.1 mg for women (Maret & Sandstead, 2006: 4), but for adolescent, it is recommended to be 5.7 to 15.5 mg/day (boys) and 4.6 to 15.0 mg/day (girls) (Moran et al., 2012: 843). Based on IZiNCG Technical Brief (2012), the suggested lower cut-off for serum zinc concentration for the male and the female adolescent (≥ 10 years old) is 70 ug/dL and 74 ug/dL, respectively (Brown, 2012: 1-4; Wessells, Singh, & Brown, 2012: 1-13).

Several evidence suggest that zinc transporters contribute to physiology and pathogens by way of zinc ion mobilization across biological membranes (Hara et al., 2017: 289-290). A crucial function of zinc transporters in zinc enzymes' activation is mediated by the coordination of zinc at said enzymes active site. The level of zinc within the human body is meticulously regulated, disturbances have been associated with various diseases including metabolic syndrome (Jansen,

Karges, & Rink, 2009: 399-401; Maret, 2017: 6). Recently, deficiency of zinc is known as a risk factor for obesity and diabetes, which are two prominent components of metabolic syndrome (Fukunaka & Fujitani, 2018: 3-5). Zinc also plays an important role as an endogenous molecular switch because it regulates the pre-prandial to postprandial insulin clearance rate by the liver (Gu, 2016: 2-3) and the lower metabolic clearance rate of insulin can be an indicator of the metabolic syndrome (Lee et al., 2013: 903-905).

The release of zinc and insulin reduces insulin degradation in the liver and further optimize insulin delivery into peripheral target tissues. Zinc is secreted with insulin, while SLC30A8 acts as a zinc transporter. This protein facilitates the accumulation of zinc from the cytoplasm and into intracellular vesicles within the secretory pathway granules of insulin secretion (Gu, 2016: 2-3). Maret (Maret, 2017: 4) suggested that zinc promotes the insulin-producing in β -cells and insulin signal transduction in cells targeted by insulin. So, the alteration of ZnT8 expression potentially takes a role in insulin secretion (Du et al., 2018: 6-7). It explained the importance of the general relationship between zinc and redox metabolism for diabetes. A previous research about zinc supplementation has shown that zinc may become a potential adjunct therapy in the management of diabetes (Capdor, Foster, Petocz, & Samman, 2013: 141), yet the outcomes are still conflicting. Since zinc is implicated in glucose metabolism through its participation in insulin crystallization and signaling, another look on the zinc and its transporter may prove beneficial (Taylor, 2005: 306-308).

Another metabolic problem affected by zinc is inflammation. As the aging process promotes inflammation in the human body, zinc is found to be beneficial in decelerating this degeneration process. A previous study conducted in 2008 found that the decrement of plasma zinc increases plasma oxidative stress markers and increased the generation of inflammatory cytokines in the elderly subjects which can be corrected by zinc supplementation (Prasad, 2008: 370-371).

2.2 Single Nucleotide Polymorphism (SNP) in zinc transporter

Single nucleotide polymorphisms, also known as SNPs (pronounced as “snips”), are the most common type of genetic variation among people. Although the majority of SNPs show no impact on human health and development, some variations demonstrate essential modulation in the physiology of the human body. It may be a prognostic key point of specifics drug effect, the susceptibility of some certain diseases related to metabolisms such as CVD, diabetes mellitus, and cancer (Becker et al., 2011: 6-44; Tam et al., 2019).

Zinc transport proteins, whose mutations, and SNPs, are involved in inherited diseases or the increased risk of diseases. In this case, ZnT8 has been reported are linked to the rates of Metabolic Syndrome (Giacconi et al., 2018: 102-110; Hosseini-Esfahani et al., 2017: 1:12). Zinc efflux transporter, the ZnT8, facilitates zinc accumulation form cytoplasm into intracellular vesicles in beta cells of the pancreas and plays a key role in insulin secretion. Biological experimental studies with diabetic animal models show ZnT8 gene expression levels are decreased in pancreatic islets of diabetic animals. The downregulation causes the reduced secretion of glucose inducible insulin and overall insulin content in beta cells. (Gu, 2016: 1-2).

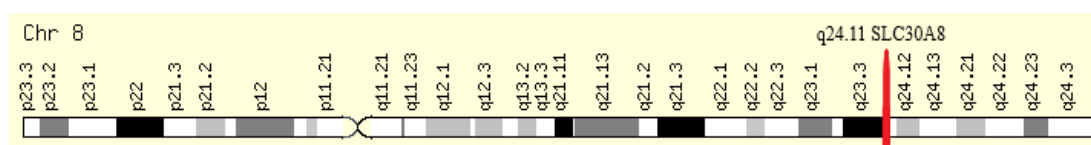


Figure 1: SLC30A8 Gene in a genomic location on chromosome 8q24.11

Source: the figure was modified from <https://www.genecards.org/> about SLC30A8 Protein Coding

ZNT8 polymorphism (rs13266634) is found in the exon region of chromosome 8. The GWAS (Genome-wide association studies) discovered that rs13266634 is a non-synonymous. It changes (in the change code 325) the Arginine (R/CGG) to Tryptophan (W/ TGG). The production of this variation, R and W of which the C allele (R variant) is associated with decreased insulin released and the susceptibility of type 2 diabetes (Norouzi, Adulcikas, Sohal, & Myers, 2017: 6; Wang et al., 2018: 1374-1390).

Methods

Subjects

This cross-sectional study consists of 42 subjects which were selected among the participant of the “*Association of early life exposures and long-term health and cognitive development outcomes in adolescents in northeast, Thailand*” project, a community-based study that was performed in the adolescence of Khon Kaen province at age around 14 to 16 years old.

Anthropometry and Clinical Measurement

Weight, height, and waist circumference data were obtained from previous anthropometry measurement. Weight was measured with a standardized digital scale (Seca digital scale model 813, Seca Corporation, Hamburg, Germany) and height was measured with measuring tape on the millimeter scale. The weight and height of each participant were calculated with the same method as adults. The waist circumference was measured with inelastic tape in millimeters. Each participant was asked to sit on the chair to measure blood pressure using an automatic blood pressure monitor.

Laboratory Analysis

FBS, serum TG, TC, HDL-c level were analyzed directly by enzymatic assay. Indirectly, the LDL-c levels were calculated using the Friedewald formula (Friedewald et al., 1972). HbA1C level was measured by the high-performance liquid chromatography (HPLC) technique. Inflammatory markers, IL-6 and TNF- α , were analyzed using Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) method based on the suggested method from another study (Tuntipopipat et al., 2011). For high sensitivity C-Reactive Protein (hs-CRP), it was analyzed using the Immunosorbent method according to laboratory procedures. The serum zinc level was analyzed using Flame Atomic Absorption Spectrometry Method or known as AAS-F Method. All the protocols were done based on standard protocols applied in each laboratory used.

Genotyping

Genomic DNA samples were extracted from thawed peripheral leukocytes in EDTA-treated blood using the FlexiGene DNA kit (Qiagen, Hilden, Germany). The ZNT8 gene contained SNP rs13266634 was studied using polymorphism chain reaction-restricted fragment length polymorphism (PCR-RFLP) with these determined primers:

Forward: 5' – GGA CAG AAA GAG TTC CCA TAG CG – 3'

Reverse: 5' – ATA GCA GCA TGT TTG AAG GTG GC – 3'

The amplification was conducted using KAPA2G Fast HotStart ReadyMix PCR Kit (KAPABiosystem) by initial denaturation at 95°C for 3 minutes, the following 32 cycles were done at 95°C for 15 seconds, 60°C for 15 seconds, 72°C for 10 seconds. The last final extension was accomplished at 72°C for 1 minute.

After finishing the amplification, then the PCR product was separated in 3% agarose and stained with SYBR Safe DNA Gel Stain. The successful process was indicated by the presence of the fragment at length 430bp. Hereinafter, the purification was done by using FavorPrep PCR Clean-Up Kit (Favorgen). The purified DNA sample then was sent to obtain the sequencing result to the commercial laboratory for further checks.

Statistical Analysis

All data were analyzed using SPSS software (SPSS ver.21.0 IBM). Fit to the expectation of Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE) was tested using X² test. For a continuous variable, the 1-sample Kolmogorov-Smirnov test was conducted to check the normality of data distribution. Since the data were not distributed normally, the non-parametric analysis was performed. Mann-Whitney test was performed to see the difference between alleles. The association between alleles and risk factors were analyzed using Spearman's Test. P-value was set as ≤ 0.05 for significant correlation and set based on a two-tailed test.

Results and Discussion

Data in table 2 are presented as mean – SD. The p-value in this table was calculated by Mann-Whitney test and it will be considered as significantly different between gender if the p-value is less than 0.05. In general, all subjects were at the same age, which were around 15 years old. Comparing to the female adolescent in this sample population, male tended to have a bigger posture. It showed a significantly higher, weightier, and wider waist circumference in male anthropometry measurements. The different height was considered normal due to the different period, duration, and starting age of growth spurt that at the end accounts to the 11-13 cm difference, taller in males (Soliman, De Sanctis, Elalaily, & Bedair, 2014: S53).

Table 2: General Characteristics of All Subjects.

Parameter (mean±SD)	Total n=42	Male n=24	Female n=18	<i>p-value</i>
Age (month)	178.7±4	178.3±4	177.0±4	0.334
Weight (kg)	57.8±15.9	63.1±16.7	50.9±11.9	0.010*
Height (cm)	161.5±6.2	164.7±5.3	157.3±4.7	0.000*
BMI (kg/cm ²)	22.0±5.2	23.1±5.5	20.5±4.6	0.109
Waist Cir. (cm)	74.2±13.4	77.4±14.3	69.9±11.2	0.047*
Systole (mmHg)	110±12	115±10	102±10	0.000*
Diastole (mmHg)	64±6	65±6	62±6	0.052
FBS (mg/dL)	97±12	100±12	93±11	0.034*
HDL-C (mg/dL)	31.8±12.8	30±12.6	34.4±13.1	0.309
Triglyceride (mg/dL)	159.5±85.1	164.7±108.8	152.5±37.4	0.760
Cholesterol (mg/dL)	144.3±29.2	138.8±24.9	151.6±22.5	0.208
LDL-C (mg/dL)	85.0±19.4	82.8±17.8	87.9±21.5	0.559
hs-CRP (mg/L)	0.89±2.02	1.29±2.60	0.37±0.35	0.039*
IL-6 (pg/mL)	267.2±169.2	279.5±151.7	250.8±189.3	0.594
TNF- α (pg/mL)	30.8±37.5	38.0±46.5	21.4±17.3	0.563
HbA1c (%)	5.8±0.73	6.0±0.78	5.6±0.65	0.041*
Zinc serum (ug/dL)	79.13±13.8	79.65±13.1	78.44±15.1	0.799
Hemoglobin	14.04±1.1	14.44±1.1	13.5±0.8	0.007*

*) Significantly different

The male subjects also had a significantly higher fasting blood sugar, hs-CRP, and HbA1c level. It was supported by a higher triglyceride level, even though it is not significantly different between gender groups. Hs-CRP has been known as one of the clinical markers that widely used in

pediatric patients with diabetes mellitus and other metabolic problems. The result of this study showed that the group who had a higher hs-CRP turn to have a higher level of FBS, blood pressure, BMI, and HbA1c. This is quite consistent with the previous study that uses hs-CRP in diabetes patients (Elizondo-Montemayor et al., 2019: 10).

The research found that adipose tissue secreted adipokine; it upholds the theory which excess adiposity participates in metabolic syndrome and insulin resistance, this has been associated with a pro-inflammatory state which is marked by elevated levels of inflammatory markers (González, Del Mar Bibiloni, Pons, Llompарт, & Tur, 2012: 1141; Wärnberg & Marcos, 2008: 12). This dysregulation is prone to release a higher level of pro-inflammatory adipokines, such as TNF- α and IL-6, especially in case of central obesity (Srikanthan, Feyh, Visweshwar, Shapiro, & Sodhi, 2016: 31). In some other studies, serum IL-6 is associated with body fat and the higher concentration of TNF- α , however its effects are not consistently pronounced; some studies have found increased concentrations but some shown no alteration (Al-Hamad & Raman, 2017: 400; Wärnberg & Marcos, 2008: 12). All of the parameters above shows a higher likelihood of male subjects to possess a higher susceptibility of diabetes or maybe at risk of metabolic syndrome disease cluster in their future (Levitt Katz et al., 2018: 208-216).

Frequencies of ZNT8 genotypes in this adolescent sample population did not deviate from HWE between the male and female groups. There was no significant difference in the genotype or allele frequency distribution among gender in the adolescent population involved in this study (χ^2 test p-value > 0.05) as shown in Table 3.

Table 3: Genotype and allele distribution of ZNT8 polymorphism (rs13266634) between subjects.

Genotype	Total	Male	Female
	n=42	n=24	n=18
CC (n/%)	16 (24)	8 (33.3)	8 (44.4)
CT (n/%)	14 (52,8)	9 (37.5)	5 (27.8)
TT (n/%)	12 (23,7)	7 (29.2)	5 (27.8)
C allele frequency	0.55	0.52	0.58
P value	0.034	0.223	0.069

Table 4 is showing the proportion of wild-type allele and variant-type allele in each metabolic syndrome criteria with the additional marker (HbA1c). In this table, there is no significant p-value. Nonetheless, the odds ratio and 95% CI shows some probability of high risk in the population who carry wild-type allele compare to the variant-type allele.

Most of the parameters showed the same trend between male and female group. Interestingly, the FBS' odd ratio showed anomaly. The male group who carries the wild-type allele tends to be 9 times (95% CI 0.888-91.26) more susceptible for having high FBS compare to them who carry variant-type allele. Furthermore, for women the possession of wild-type allele could be a protective factor (95% CI 0.065-3.845) for having a high FBS. The odds ratio for some parameters could not be measured due to the nil proportion in one of the variables to be calculated.

Table 4: The proportion of wild-type allele and variant-type allele in each Metabolic Syndrome Criteria and HbA1c.

Risk Factors	Wild-type Allele (n/%)	Variant-type Allele (n/%)	Odd ratio	(95% CI)	P-value
Male	8 (33.3)	16 (66.7)			
High Waist Cir.	5(62.5)	5(31.3)	3.667	0.619-21.73	0.204
High FBS	7(87.5)	7(43.8)	9.000	0.888-91.26	0.079
Low HDL-C	7(87.5)	15(93.8)	0.467	0.025-8.596	1.000
High Triglyceride	5(62.5)	8(50)	1.667	0.294-9.445	0.679
Hypertension	2(25)	0(0)	-	-	0.101
High HbA1c	8(100)	11(68.8)	-	-	0.130
Female	8 (44.4)	10 (55.6)			
High Waist Cir.	3(37.5)	2(20)	2.400	0.291-19.78	0.608
High FBS	2(25)	4(40)	0.500	0.065-3.845	0.638
Low HDL-C	7(87.5)	10(100)	-	-	0.444
High Triglyceride	7(87.5)	5(50)	7.000	0.613-79.87	0.152
Hypertension	0(0)	0(0)	-	-	-
High HbA1c	5(62.5)	6(60)	1.111	0.164-7.506	1.000

^{a)} The test cannot be performed on the empty group,

Comparing to the results from GWAS were consistent with the previous meta-analysis study, which indicated that SLC30A8 polymorphism rs13266634 confers risk of type 2 diabetes especially in Asian and European population (Cheng, Zhang, Zhou, Zhao, & Chen, 2015: 2187), the current study had a parallel outcome even though the result was not significant yet. In another study, the carrier of CC genotype (wild-type allele) had a lower risk of Metabolic Syndrome by reducing around half of FBG compared to CC and CT genotype (variant-type allele) (Hosseini-Esfahani et al., 2017: 8-11). The current study showed a coherence result in the female group; however, it is an inverse result for the male group.

Data in Table 5 are presented as mean – SD with p-value was considered to be statistically significant if it is less than 0.05. The p-value between genotype was calculated by the Mann-Whitney test and the p-value for interaction between the genotype and variable was calculated by Spearman's test.

In the male group, the blood pressure is commonly lower in the carrier of variant-type allele compared to the wild-type allele. However, this result was only significant in a group that has a normal zinc serum level. The insulin level also showed a significant result. For the female group who has a normal zinc serum, subjects with variant-type allele tended to have a lower level of insulin compared to another allele group. Nonetheless, the results were inversing for other gender and level of zinc serum. The rest of the parameters was not proven to be insignificant and each parameters trend differ from one another.

Table 5: Correlation between the genotype and the level of zinc serum with health marker related to diabetes and metabolic syndrome in the adolescent.

Parameter		Wild-type Allele	Variant-type Allele	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value corr.	Wild-type Allele	Variant-type Allele	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value corr.
Male						Female			
N*) O R M A L	Weight (kg)	77.3±3.3	60.4±18.5	0.346	0.373	61.9±14.8	46.7±7.5	0.144	0.153
	Waist circ. (cm)	89.8±7.4	76.5±16.6	0.346	0.373	80.6±14.5	65.8±6.7	0.068	0.063
	BMI (kg/m ²)	28.4±3.6	22.4±6.3	0.239	0.259	24.4±5.3	19.4±3.5	0.100	0.101
	Systole (mmHg)	130.8±2.5	109±6.8	0.034	0.024	110.1±10.6	100.5±9.7	0.234	0.254
	Diastole (mmHg)	77.0±4.9	62.72±4.4	0.034	0.024	66.9±7.6	60.3±4.5	0.120	0.124
	FBS (mg/dL)	108.4±10.7	91.7±8.4	0.059	0.053	87.4±8.2	98.7±12.8	0.067	0.062
	Triglyceride (mg/dL)	238.0±76.4	155.1±83.3	0.239	0.259	170.4±12.1	148.7±49.7	0.144	0.153
	HbA1c (%)	6.6±0.3	5.7±0.9	0.060	0.056	5.6±0.7	5.3±0.6	0.480	0.530
	hs-CRP (mg/L)	1.7±0.42	2.3±4.08	0.238	0.258	0.6±0.49	0.2±0.17	0.103	0.104
	Insulin (uIU/mL)	0.8±1.2	2.5±4.9	0.556	0.587	4.5±1.8	0.4±0.7	0.008	0.001
L*) O W	Zinc serum (ug/dL)	93.8±2.0	90.3±11.8	0.238	0.258	87.5±14.1	87.7±11.3	0.927	0.933
	Weight (kg)	67.2±11.7	59.0±19.7	0.116	0.119	45.9±1.5	47.2±11.5	1.000	1.000
	Waist circ. (cm)	77.9±10.8	74.6±15.8	0.391	0.415	66.5±0.8	65.2±9.3	0.480	0.530
	BMI (kg/m ²)	23.6±3.1	22.0±6.3	0.253	0.161	18.1±0.9	19.3±5.0	0.724	0.758
	Systole (mmHg)	121.3±9.6	113.8±8.3	0.133	0.139	100.2±5.5	96.1±9.8	463	0.514
	Diastole (mmHg)	63.6±6.0	68.21±5.5	0.196	0.209	59.2±3.8	60.9±3.9	0.480	0.530
	FBS (mg/dL)	105.2±8.5	106.6±15.0	0.668	0.687	93±14.5	89.3±8.5	0.724	0.758
	Triglyceride (mg/dL)	196.8±185.9	128.4±42.8	0.775	0.789	132.0±51.6	151.3±28.8	1.000	1.000
	HbA1c (%)	6.5±0.4	5.8±0.7	0.060	0.056	5.6±0.7	5.3±0.6	0.480	0.530
	hs-CRP (mg/L)	0.3±0.25	0.7±1.00	0.768	0.783	0.5±0.4	0.23±0.19	0.354	0.403
	Insulin (uIU/mL)	3.6±5.1	3.7±4.8	0.936	0.941	1.0±1.7	2.4±2.9	0.271	0.312
	Zinc serum (ug/dL)	69.1±4.0	70.9±4.5	0.221	0.237	64.5±5.2	63.6±1.7	0.593	0.638

*) zinc serum level

The effects of zinc deficiency on specific functions are often apparent before serum zinc decreases. So, it may be stated that they who are in the low zinc serum group are zinc deficient. Factors such as growth development, sexual maturity, cell regeneration (Maret & Sandstead, 2006: 5-6), and cognitive performance (Adlard et al., 2015: 196-202), the risk of developing metabolic syndrome (Jenkins et al., 2018: 79-85), immunocompetence (Maywald et al., 2017: 1-34) and many others even in cellular and genetic scale (Day, Adamski, Dordevic, & Murgia, 2017:1-16; Pfaender et al., 2017: 1-15) is affected by the imbalance of zinc. Even though this problem is still ignored as a global health problem compared to other deficiency, results from some low- and middle-income countries suggest that zinc deficiency is a public health concern and can be indicators for other problem such as stunting (Wessells et al., 2012: 113) and zinc intervention strategies should be considered (Hess, 2017: 3-17).

The outcome from table 5 shows the inline result with the GWAS study. Without considering the zinc serum, most of the subjects who have variant-type allele are prone to have a lower weight, waist circumference, systole, HbA1c, triglyceride (except in female group with low zinc serum level), hs-CRP (except in the female group with low zinc serum level), fasting blood sugar (except in the female group with normal zinc serum), and higher insulin level (except in the female group with normal zinc serum).

One other study conducted in a rural area in South Korea found that zinc serum levels and inflammatory markers such as IL-6, TNF- α , and CRP maintained an inverse relationship with CRP

and IL-6 only found in women and men respectively (Jung et al., 2015: 10-12). Results showed zinc serum levels to be partially responsible for the inflammatory process in acute inflammation as its function was suggested as antioxidant and anti-inflammation properties. Comparing to table 5 above, results previous study cannot be demonstrated in this study. The hs-CRP, also as reflecting the other pro-inflammatory marker in this study, presented the different result.

Some of the results of this current research were consistent with the previous study. This study implies that the polymorphism of ZNT8 was found to modulate the metabolism, especially related to insulin production, blood pressure, and potentially in blood sugar and pro-inflammatory marker. Even though some of the results tended to be contradictory, it is possible that this is due to the limited number of sample size. Since metabolic syndrome is still a worldwide problem and there are limited studies on adolescent, further studies on this topic is still necessary. The further studies, which take these parameters and variable into account, will need to be conducted with increased sample size.

Conclusions

Regarding the objective of this study, we can summarize that the finding of ZNT8 polymorphism (rs13266634) has some roles in metabolic alteration in adolescents. Some findings with significant result showed that the evidential correlations between the ZNT8 polymorphism (rs13266634) with blood pressure (p-value 0.024) and insulin production (p-value 0.001) with the wild-type allele carrier subject had a significantly higher value (p-value 0.034 and 0.008, respectively). However, although this transporter might be responsible for maintaining and regulating the zinc, remarkably the effect of the polymorphism in the zinc serum is not prominent yet.

References

- Adlard, P. A., Parncutt, J., Lal, V., James, S., Hare, D., Doble, P., ... Bush, A. I. (2015). Metal chaperones prevent zinc-mediated cognitive decline. *Neurobiology of Disease*, 81, 196–202.
- Alberti, K. G. M. M., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., ... Smith, S. C. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention; National heart, lung, and blood institute; American heart association; World heart federation; International . *Circulation*, 120, 1640–1645.
- Al-Hamad, D., & Raman, V. (2017). Metabolic syndrome in children and adolescents. *Translational Pediatrics*, 6, 397–407.
- Andreini, C., Bertini, I., & Cavallaro, G. (2011). Minimal functional sites allow a classification of zinc sites in proteins. *PLoS ONE*, 6, 1–13.
- Bălăsoiu, M., Bălăsoiu, A. T., Stepan, A. E., Dinescu, S. N., Avrănescu, C. S., Dumitrescu, D., ... Alexandru, D. (2014). Proatherogenic adipocytokines levels in metabolic syndrome. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 55, 29–33.
- Barnett, J. P., Blindauer, C. A., Kassar, O., Khazaipoul, S., Martin, E. M., Sadler, P. J., & Stewart, A. J. (2013). Allosteric modulation of zinc speciation by fatty acids. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1830, 5456–5464.
- Becker, F., Van El, C. G., Ibarreta, D., Zika, E., Hogarth, S., Borry, P., ... Cornel, M. C. (2011). Genetic testing and common disorders in a public health framework: How to assess relevance and possibilities. *European Journal of Human Genetics*, 19, 6–44.
- Bin, B. H., Seo, J., & Kim, S. T. (2018). Function, structure, and transport aspects of ZIP and ZnT Zinc transporters in immune cells. *Journal of Immunology Research*, 2018, 1–9.

- Brown, K. H. (2012). Assessing population zinc status with serum zinc concentration. *IZiNCG Technical Brief*, 02.
- Bussler, S., Penke, M., Flemming, G., Elhassan, Y. S., Kratzsch, J., Sergeyev, E., ... Kiess, W. (2017). Novel Insights in the Metabolic Syndrome in Childhood and Adolescence. *Hormone Research in Paediatrics*, 88, 181–193.
- Capdor, J., Foster, M., Petocz, P., & Samman, S. (2013). Zinc and glycemic control: A meta-analysis of randomised placebo controlled supplementation trials in humans. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27, 137–142.
- Cheng, L., Zhang, D., Zhou, L., Zhao, J., & Chen, B. (2015). Association between SLC30A8 rs13266634 polymorphism and type 2 diabetes risk: A meta-analysis. *Medical Science Monitor*, 21, 2178–2189.
- Day, K. J., Adamski, M. M., Dordevic, A. L., & Murgia, C. (2017, February 17). Genetic variations as modifying factors to dietary zinc requirements—a systematic review. *Nutrients*, Vol. 9, pp. 1–16. MDPI AG.
- Du, X. Ben, Zhu, K. H., Chen, X. J., Wu, J., Liu, D. D., Wen, Z. H., ... Jing, C. X. (2018). Association between SLC30A8 rs13266634 polymorphism and risk of T2DM and IGR in Chinese population: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 1–12.
- Elizondo-Montemayor, L., Gonzalez-Gil, A. M., Tamez-Rivera, O., Toledo-Salinas, C., Peschard-Franco, M., Rodríguez-Gutiérrez, N. A., ... Garcia-Rivas, G. (2019). Association between irisin, hs-CRP, and metabolic status in children and adolescents with type 2 diabetes mellitus. *Mediators of Inflammation*, 2019, 1–14.
- Faa, G., Nurchi, V. M., Ravarino, A., Fanni, D., Nemolato, S., Gerosa, C., ... Geboes, K. (2008). Zinc in gastrointestinal and liver disease. *Coordination Chemistry Reviews*, 252, 1257–1269.
- Fukunaka, A., & Fujitani, Y. (2018). Role of zinc homeostasis in the pathogenesis of diabetes and obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijms19020476>
- Giacconi, R., Malavolta, M., Chiodi, L., Boccoli, G., Costarelli, L., Bonfigli, A. R., ... Provinciali, M. (2018). ZnT8 Arg325Trp polymorphism influences zinc transporter expression and cytokine production in PBMCs from patients with diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 144, 102–110.
- González, M., Del Mar Bibiloni, M., Pons, A., Llompert, I., & Tur, J. A. (2012). Inflammatory markers and metabolic syndrome among adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66, 1141–1145.
- Gu, H. (2016). Genetic, Epigenetic and Biological Effects of Zinc Transporter (SLC30A8) in Type 1 and Type 2 Diabetes. *Current Diabetes Reviews*, 12. <https://doi.org/10.2174/1573399812666151123104540>
- Haase, H., Overbeck, S., & Rink, L. (2008). Zinc supplementation for the treatment or prevention of disease: Current status and future perspectives. *Experimental Gerontology*, 43, 394–408.
- Hara, T., Takeda, T. aki, Takagishi, T., Fukue, K., Kambe, T., & Fukada, T. (2017). Physiological roles of zinc transporters: molecular and genetic importance in zinc homeostasis. *Journal of Physiological Sciences*, 67, 283–301.
- Hess, S. Y. (2017). National Risk of Zinc Deficiency as Estimated by National Surveys. *Food and Nutrition Bulletin*, 38, 3–17.

- Hosseini-Esfahani, F., Mirmiran, P., Koochakpoor, G., Daneshpour, M. S., Guity, K., & Azizi, F. (2017). Some dietary factors can modulate the effect of the zinc transporters 8 polymorphism on the risk of metabolic syndrome /692/308/174 /692/4017 /45/77 article. *Scientific Reports*, 7, 1–12.
- Huang, L. (2014). Zinc and its transporters, pancreatic β -cells, and insulin metabolism. In *Vitamins and Hormones* (1st ed., Vol. 95). Elsevier Inc.
- Huang, P. L. (2009). A comprehensive definition for metabolic syndrome. *DMM Disease Models and Mechanisms*, 2, 231–237.
- Jansen, J., Karges, W., & Rink, L. (2009). Zinc and diabetes - clinical links and molecular mechanisms. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 20, 399–417.
- Jenkins, A., Lengyel, I., Rutter, G. A., Lowe, N., Shai, I., Tirosh, A., ... Moran, A. (2018). Obesity, diabetes and zinc: A workshop promoting knowledge and collaboration between the UK and Israel, november 28–30, 2016 – Israel. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 79–85.
- Jung, S., Kim, M. K., & Choi, B. Y. (2015). The relationship between zinc status and inflammatory marker levels in rural Korean adults aged 40 and older. *PLoS ONE*, 10, 1–15.
- Kambe, T., Hashimoto, A., & Fujimoto, S. (2014). Current understanding of ZIP and ZnT zinc transporters in human health and diseases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 71, 3281–3295.
- Krebs, N. F. (2013). Update on zinc deficiency and excess in clinical pediatric practice. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 62, 19–29.
- Lee, C. C., Haffner, S. M., Wagenknecht, L. E., Lorenzo, C., Norris, J. M., Bergman, R. N., ... Hanley, A. J. (2013). Insulin clearance and the incidence of type 2 diabetes in hispanics and African Americans: The IRAS family study. *Diabetes Care*, 36, 901–907.
- Levitt Katz, L. E., Bacha, F., Gidding, S. S., Weinstock, R. S., El ghormli, L., Libman, I., ... Silverstein, J. (2018). Lipid Profiles, Inflammatory Markers, and Insulin Therapy in Youth with Type 2 Diabetes. *Journal of Pediatrics*, 196, 208-216.e2.
- Maret, W. (2017). Zinc in pancreatic islet biology, insulin sensitivity, and diabetes. *Preventive Nutrition and Food Science*, 22, 1–8.
- Maret, W., & Sandstead, H. H. (2006). Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20, 3–18.
- Maywald, M., Wessels, I., & Rink, L. (2017). Zinc signals and immunity. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 1–34.
- Milan-Mattos, J. C., Anibal, F. F., Perseguini, N. M., Minatel, V., Rehder-Santos, P., Castro, C. A., ... Catai, A. M. (2019). Effects of natural aging and gender on pro-inflammatory markers. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 52, 1–10.
- Mocchegiani, E., Giacconi, R., Costarelli, L., Muti, E., Cipriano, C., Tesei, S., ... Malavolta, M. (2008). Zinc deficiency and IL-6 -174G/C polymorphism in old people from different European countries: Effect of zinc supplementation. ZINCAGE study. *Experimental Gerontology*, 43, 433–444.
- Moran, V. H., Stammers, A. L., Medina, M. W., Patel, S., Dykes, F., Souverein, O. W., ... Lowe, N. M. (2012). The relationship between zinc intake and serum/plasma zinc concentration in children: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Nutrients*, 4, 841–858.
- Nam, H. K., Cho, W. K., Kim, J. H., Rhie, Y. J., Chung, S., Lee, K. H., & Suh, B. K. (2018). HbA1c cutoff for prediabetes and diabetes based on oral glucose tolerance test in obese children and adolescents. *Journal of Korean Medical Science*, 33, 1–11.
- Norouzi, S., Adulcikas, J., Sohal, S. S., & Myers, S. (2017). Zinc transporters and insulin resistance: Therapeutic implications for type 2 diabetes and metabolic disease. *Journal of Biomedical Science*, 24, 0–10.

- Pfaender, S., Sauer, A. K., Hagmeyer, S., Mangus, K., Linta, L., Lie, S., ... Grabrucker, A. M. (2017). Zinc deficiency and low enterocyte zinc transporter expression in human patients with autism related mutations in SHANK3. *Scientific Reports*, 7, 1–15.
- Prasad, A. S. (2008). Clinical, immunological, anti-inflammatory and antioxidant roles of zinc. *Experimental Gerontology*, 43, 370–377.
- Putics, Á., Vödrös, D., Malavolta, M., Mocchegiani, E., Csermely, P., & Soti, C. (2008). Zinc supplementation boosts the stress response in the elderly: Hsp70 status is linked to zinc availability in peripheral lymphocytes. *Experimental Gerontology*, 43, 452–461.
- Rerksuppaphol, L., & Rerksuppaphol, S. (2014). Prevalence of metabolic syndrome in Thai children: A cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8, 2–5.
- Sekokotla, M. A., Goswami, N., Sewani-Rusike, C. R., Iputo, J. E., & Nkeh-Chungag, B. N. (2017). Prevalence of metabolic syndrome in adolescents living in Mthatha, South Africa. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 13, 131–137.
- Soliman, A. T., De Sanctis, V., Elalaily, R., & Bedair, S. (2014). Advances in pubertal growth and factors influencing it: Can we increase pubertal growth? *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 18, S53–S62.
- Srikanthan, K., Feyh, A., Visweshwar, H., Shapiro, J. I., & Sodhi, K. (2016). Systematic review of metabolic syndrome biomarkers: A panel for early detection, management, and risk stratification in the West Virginian population. *International Journal of Medical Sciences*, 13, 25–38.
- Tam, V., Patel, N., Turcotte, M., Bossé, Y., Paré, G., & Meyre, D. (2019). Benefits and limitations of genome-wide association studies. *Nature Reviews Genetics*, 20, 467–484.
- Taylor, C. G. (2005). Zinc, the pancreas, and diabetes: Insights from rodent studies and future directions. *BioMetals*, 18, 305–312.
- Wang, Y., Duan, L., Yu, S., Liu, X., Han, H., Wang, J., & Li, W. (2018). Association between “solute carrier family 30 member 8” (SLC30A8) gene polymorphism and susceptibility to type 2 diabetes mellitus in Chinese Han and minority populations: An updated meta-analysis. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 27, 1374–1390.
- Wärnberg, J., & Marcos, A. (2008). Low-grade inflammation and the metabolic syndrome in children and adolescents. *Current Opinion in Lipidology*, 19, 11–15.
- Wessells, K. R., Singh, G. M., & Brown, K. H. (2012). Estimating the Global Prevalence of Inadequate Zinc Intake from National Food Balance Sheets: Effects of Methodological Assumptions. *PLoS ONE*, 7, 1–13.
- WHO. (2018). *South-East Asia Regional Parliamentarians’ Meeting: A Renewed Commitment to Women’s, Children’s, and Adolescents’ Health*. 1–38.
- Wittcopp, C., & Conroy, R. (2016). Metabolic Syndrome in Children and Adolescents. *Pediatric in Review*, 37, 193–200.
- Zimmet, P., Alberti, G. K. M. M., Kaufman, F., Tajima, N., Silink, M., Arslanian, S., ... Caprio, S. (2007). The metabolic syndrome in children and adolescents - An IDF consensus report. *Pediatric Diabetes*, 8, 299–306.