



การจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้การสัมผัสบนพื้นผิว Surface-based Simulation for Flexible Manufacturing

สยาม เจริญเสียง (Siam Charoenseang)¹

ยุทธนา บุญอ้อม (Yuthana Boonim)²

¹รองศาสตราจารย์ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Tel : 02-470-9715 E-mail: siam@fibo.kmutt.ac.th

²สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Tel : 02-470-9339 E-mail: sawswi@hotmail.com

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแสดงผลภาพแบบสัมผัสได้หลายจุดพร้อมกัน เพื่อศึกษาและออกแบบการจัดตารางงานและจำลองการทำงานของการผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนประกอบที่สำคัญด้านฮาร์ดแวร์ของงานวิจัยนี้คือ โต๊ะสำหรับแสดงผลภาพแบบสัมผัสได้หลายจุดพร้อมกัน กล้องและวิดีโอโปรเจกเตอร์ ด้านซอฟต์แวร์ประกอบด้วยส่วนการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นและส่วนการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนิ้วที่สัมผัสบนโต๊ะแสดงผลภาพ ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าตารางการผลิต ตำแหน่งและเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสถานีการผลิตและยังสามารถกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์เคลื่อนที่สำหรับเคลื่อนย้ายชิ้นงาน จากนั้นระบบจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและแสดงผลด้วยภาพคอมพิวเตอร์กราฟิกโดยใช้วิดีโอโปรเจกต์เตอร์ฉายภาพลงบนโต๊ะแสดงผลภาพแบบสัมผัส นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะใช้อัลกอริทึมในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดและใช้ฟังก์ชันช่วยในการกำหนดการจัดตารางงาน งานวิจัยนี้ช่วยให้ผู้ใช้เห็นภาพจำลองการทำงานของการผลิตแบบยืดหยุ่น ทำให้สามารถวิเคราะห์และกำหนดค่าการผลิตที่เหมาะสมได้ ช่วยลดค่าใช้จ่าย และเวลาในการทำงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยทำให้ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ABSTRACT : This research applies technology of multi-touch display for studying and designing production schedules and simulation of flexible manufacturing. Key hardware components of this research are a multi-touch display table, camera, and video projector. Software parts consist of flexible manufacturing simulation module and image processing for detecting position of finger touching on the multi-touch display table. Users can set parameters of production schedules, location and production time of each production station. Also, paths of simulated mobile robots can be set for moving work pieces in simulation. Then, the system will analyze all input data and display all output data with computer graphics on the multi-touch display table by using a video projector. The simulation of mobile robot will utilize the best path search algorithm and the linked list to manage the production schedule. This system helps users to visualize the simulation of flexible manufacturing in order to analyze and obtain the suitable parameters of production. This reduces costs and processing time which increase the performance of production system for industrial.

KEYWORDS : Production Simulation, Surface-based Display, Flexible Manufacturing

1. บทนำ

ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมมีการแข่งขันทางธุรกิจมากขึ้น การวางแผนและการควบคุมการผลิตจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขัน เทคนิคการวางแผนและควบคุมการผลิต เป็นเครื่องมือที่สำคัญของฝ่ายบริหารที่จะทำให้การผลิตสินค้าหรือบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพทั้งในด้านปริมาณ คุณภาพ และต้นทุนที่ประหยัด ดังนั้น โครงการงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาระบบการเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์ และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interface, HCI) โดยการใช้การสัมผัสบนพื้นผิว (Surface-based Interaction) เข้ามาช่วยในการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing) เพื่อให้ผู้วางแผนการผลิตได้ทำการทดสอบการทำงานของตารางการผลิต (Production Schedule) ก่อนการทำงานจริง

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางใหม่ของระบบติดต่อผู้ใช้งานที่เน้นการสัมผัสพื้นผิว โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้ ตามตารางการผลิตก่อนนำไปใช้งานจริง ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยทำให้ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Takakuwa (1997) [1] ทำการวิจัยออกแบบการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยจำลองรถเอจิวี เครื่องจักรซีเอ็นซี เครื่องกลึง เครื่องจักรต่างๆ โดยเมื่อทำการจำลองการผลิตแล้วจะได้ค่าพื้นฐานของการทำงานแล้วนำค่าที่ได้นี้รวมกับมูลค่าของเครื่องจักร อายุการใช้งานแล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าทางบัญชีเพื่อดูความคุ้มค่าในการลงทุนก่อนการสั่งซื้อเครื่องมาทำงานจริง

C. J. Huang (2003) [2] และคณะ ได้ประยุกต์ใช้ระบบสัมผัสเข้ามาช่วยในงานออกแบบผังเมืองโดยการใช้ผู้ใช้วางวัตถุลงบนโต๊ะ ตรวจสอบตำแหน่งวัตถุด้วยกล้อง แล้วใช้คอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของรถในการวิ่งผ่านเส้นทางต่างๆในเมืองโดยใช้การฉายภาพจากด้านล่างเพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของรถ

K. Kobayashi (2003) [3] และคณะ ได้ประยุกต์ใช้ระบบสัมผัสเข้ามาช่วยในการออกแบบและจำลองการทำงานของระบบ

เน็ตเวิร์คโดยผู้ใช้สามารถกำหนดแผนผังกึ่งก้านของเน็ตเวิร์คระหว่างผู้รับบริการกับผู้ให้บริการ โดยในการจำลองทำงานจะมีการหมุนวัตถุช่วยในการปรับค่าความเร็วของเน็ตเวิร์คเพื่อใช้ในการทดสอบการส่งข้อมูล

K. Kobayashi (2006) [4] และคณะ ได้ประยุกต์ใช้ระบบสัมผัสเข้ามาช่วยในการวางแผน ประเมินและการป้องกันการเกิดภัยพิบัติ โดยใช้การตรวจสอบวัตถุบนพื้นผิวสัมผัสเพื่อช่วยในการทำงาน เช่น การขยาย การหมุนภาพ และการแสดงระบบต่างๆ เข้ามาช่วยในการจำลองการทำงาน

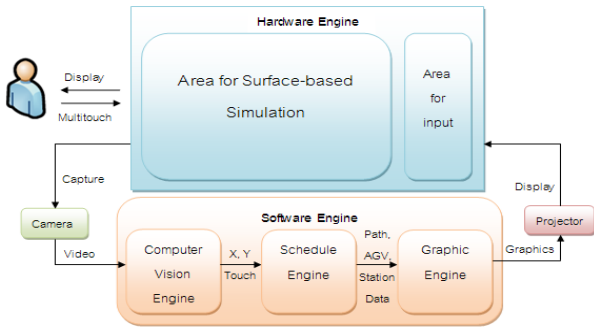
I. Mahdavi (2009) [5] และคณะ ได้นำทฤษฎีของพีชชี่ลอจิกเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเส้นทางของรถเอจิวีโดยนำเวลาไหลตกงาน เวลาทำงาน เวลาเดินทางมาสร้างกฎของพีชชี่ในการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดเพื่อควบคุมการทำงานของรถเอจิวีให้วิ่งไปตามเส้นทางที่กำหนดโดยไม่มีรถชนกันเกิดขึ้น โดยนำไปใช้กับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีหลายสถานีการผลิต

ระบบการจำลองการผลิตในปัจจุบันพบว่าเป็นระบบ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพและสัญลักษณ์ทางกราฟิก (Graphic User Interface, GUI) โดยควบคุมการทำงานผ่านทางเมาส์หรือคีย์บอร์ดซึ่งการใช้งานยังมีข้อจำกัด จากการสำรวจพบว่าการจำลองการผลิตยังไม่มีรถนำเทคโนโลยีการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ที่เน้นการสัมผัส (Tangible User Interface, TUI) เข้ามาช่วยในการเชื่อมต่อ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบการเชื่อมต่อกับผู้ใช้โดยการใช้การสัมผัสบนพื้นผิวเข้ามาช่วยในการทำงานเพื่อให้ผู้ใช้ ใช้งานได้ง่าย สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยใช้การสัมผัสบนพื้นผิวเข้ามาช่วยกำหนดค่าตารางการผลิต ตำแหน่งและเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสถานีการผลิตและกำหนดเส้นทาง การเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์เคลื่อนที่รวมถึงได้นำปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการเลือกเส้นทางการผลิตที่ใกล้ที่สุดจากเส้นทางที่ได้กำหนดไว้และได้นำระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกเข้ามาช่วยในการแสดงผลการเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์เพื่อให้ผู้ใช้ได้เข้าใจและเห็นภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น

3. ภาพรวมของระบบ

งานวิจัยนี้จะเป็นการจำลองการทำงานของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าตารางการผลิต ตำแหน่งและเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสถานีการผลิตและยังสามารถกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้

หรือรอดเอจิวีสำหรับเคลื่อนย้ายชิ้นงาน จากนั้นระบบจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและแสดงข้อมูลด้วยภาพคอมพิวเตอร์กราฟิกโดยใช้วิดีโอโปรเจกต์เตอร์ฉายภาพลงบนโต๊ะแสดงผลภาพโดยโครงสร้างการทำงานของระบบแสดงได้ในภาพที่ 1

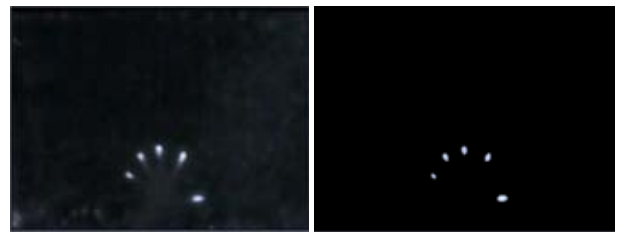


ภาพที่ 1 การทำงานของระบบโดยรวม

ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้ ส่วนการหาเส้นทางตามตารางการผลิต และส่วนสร้างภาพด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิกรายละเอียดแต่ละส่วนมีดังนี้

- การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพจะเป็นการหาตำแหน่งของนิวที่สัมผัสบนโต๊ะพื้นผิวสัมผัสที่ใช้หลักการของ FTIR โดยจะได้ภาพจากกล้องถ่ายภาพคลื่นแสงอินฟราเรด แล้วนำภาพที่ได้ไปทำการประมวลผลภาพในที่นี้จะใช้ซอฟต์แวร์ไลบรารี AForge.NET Framework โดยในขั้นต้นทำภาพให้อยู่ในภาพแบบ Grayscale ก่อน จากนั้นจะทำการกรองขั้นต่ำ (Threshold) ดังภาพที่ 3 แล้วนำภาพที่ได้ไปทำ Blob Analysis เพื่อหาตำแหน่งของนิวที่สัมผัสบนโต๊ะพื้นผิวสัมผัส ดังภาพที่ 4



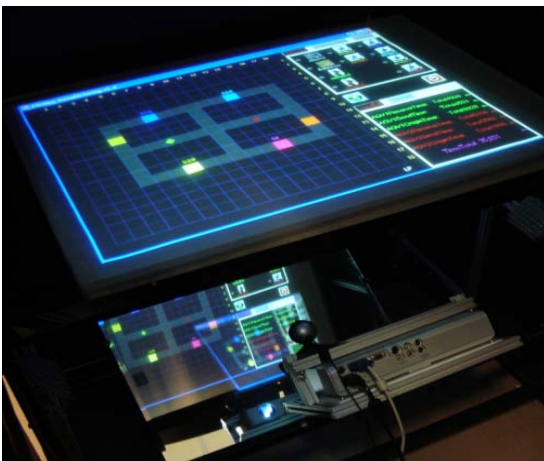
ภาพที่ 3 ภาพก่อนและหลังการทำการกรองขั้นต่ำ



ภาพที่ 4 ภาพที่ได้หลังจากการทำ Blob Analysis

3.1 ด้านฮาร์ดแวร์

ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่สำคัญคือ โต๊ะพื้นผิวสัมผัสแบบหลายจุดที่พัฒนาขึ้นที่สถาบันวิทยากรหุ่นยนต์ภาคสนาม โดยโครงสร้างทำมาจากเหล็ก และมีกระจกสะท้อนใช้ในการสะท้อนภาพจากวิดีโอโปรเจกเตอร์ไปที่โต๊ะผิวสัมผัส และใช้กล้องทำหน้าที่รับตำแหน่งของนิวที่สัมผัสลงบนโต๊ะพื้นผิวสัมผัสแบบหลายจุด โปรเจกเตอร์จะทำหน้าที่รับภาพจากคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการประมวลผลแล้วนำไปฉายลงบนโต๊ะพื้นผิวสัมผัสแสดงดังภาพที่ 2

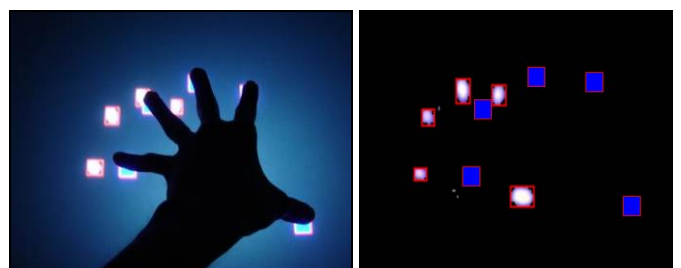


ภาพที่ 2 ฮาร์ดแวร์ของระบบ

3.2 ด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับผู้ใช้โดยการสัมผัสบนพื้นผิว พัฒนาด้วยภาษาซีชาร์ปบนโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 ในการพัฒนาในส่วนซอฟต์แวร์จะประกอบด้วยโมดูลหลัก 4 ส่วนได้แก่ ส่วนการประมวลผลภาพ

เมื่อได้ตำแหน่งของพิกัดกล้องจากการทำ Blob Analysis แล้วจะต้องนำตำแหน่งที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบตำแหน่งเพื่อให้ได้ตำแหน่งของพิกัดฉายภาพเพื่อให้ตำแหน่งที่ได้ตรงกันในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการ Projective Mapping for Image Warping [6] ผลของการเปรียบเทียบตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขณะสัมผัสบนโต๊ะพื้นผิวสัมผัสและภาพการประมวลผลภาพ

- ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้

ส่วนรับข้อมูลทำหน้าที่รับข้อมูลตำแหน่งของเส้นทาง การเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ กำหนดค่าตาราง การผลิต ตำแหน่งเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละสถานี และ ความเร็วของของแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่



ภาพที่ 6 แสดงรูปภาพเมื่อเริ่มต้นการทำงาน

โดยเมื่อเริ่มต้นการทำงานการแสดงผลจะเป็นดังภาพที่ 6 ในการกำหนดเส้นทางทำได้โดยการสัมผัสบน โต๊ะพื้นผิวสัมผัสที่ ตัวเลือกการกำหนดเส้นทางในส่วนรับข้อมูลที่อยู่ทางด้านขวาบน แล้วทำการกำหนดเส้นทางและตำแหน่งของแต่ละสถานีงานในพื้นที่การแสดงผลแบบกราฟิกที่อยู่ตรงกลาง ในส่วนของการรับข้อมูลลำดับเส้นทางการผลิตดังภาพที่ 7 โดยเลือกในส่วนของ ตารางการผลิต ระบบจะสร้างหน้าต่างสำหรับการใส่ตารางการผลิตที่จะเป็นเส้นทางเคลื่อนที่ของงานซึ่งจะเป็นสถานีงานที่ จะต้องการทำต่อเนื่องตามลำดับโดยในภาพที่ 7 ทางด้านซ้าย จะ รับงานแล้วไปส่งที่สถานีที่ 1 แล้วไปยังสถานีที่ 2 สถานีที่ 3 และ สถานีที่ 4 แล้วไปส่งที่โหลดงานออก หลังจากนั้นทำการ กำหนดเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสถานีการผลิตดังภาพที่ 7 ทางด้านขวา

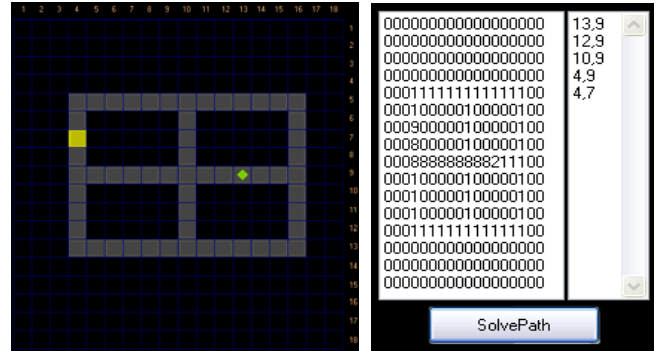


ภาพที่ 7 หน้าต่างสำหรับใส่ค่าลำดับเส้นทางและเวลาการผลิต

- ส่วนการหาเส้นทางตามตารางการผลิต

ตารางการผลิตเป็นการกำหนดลำดับของงานว่าจะทำงานที่ สถานีงานไหน เวลานานเท่าไร ในการผลิตแบบยืดหยุ่นตาราง

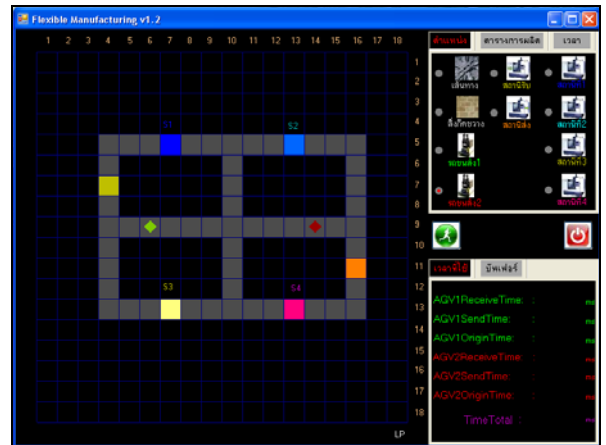
การผลิตจะไม่แน่นอน ทำให้เส้นทางเคลื่อนที่ของการส่งงาน เปลี่ยนแปลงด้วย งานวิจัยนี้จะใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกแทนการ เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้หรือรถเอจวี ซึ่งในการ ทำงานจำเป็นต้องหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดในการส่งงาน ไปแต่ละ สถานีงานตามตารางการผลิต



ภาพที่ 8 ส่วนการคำนวณหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุด

จากภาพที่ 8 จะจำลองเส้นทางขึ้นมาตามบล็อกแล้วกำหนด จุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุดในที่นี้คือสี่เหลี่ยมและสี่เหลี่ยมตามลำดับ เมื่อ สร้างเสร็จแล้วจะทำการเปลี่ยนภาพให้อยู่ในรูปแบบการเข้ารหัส โดย 0 คือจุดที่ว่าง ส่วน 1 คือเส้นทาง 2 คือจุดเริ่มต้น 9 คือ จุดสิ้นสุดหลังจากนั้นระบบจะทำการแก้ปัญหาเพื่อเลือกเส้นทาง ที่สั้นที่สุดสำหรับการส่งชิ้นงาน

- ส่วนสร้างภาพด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิก

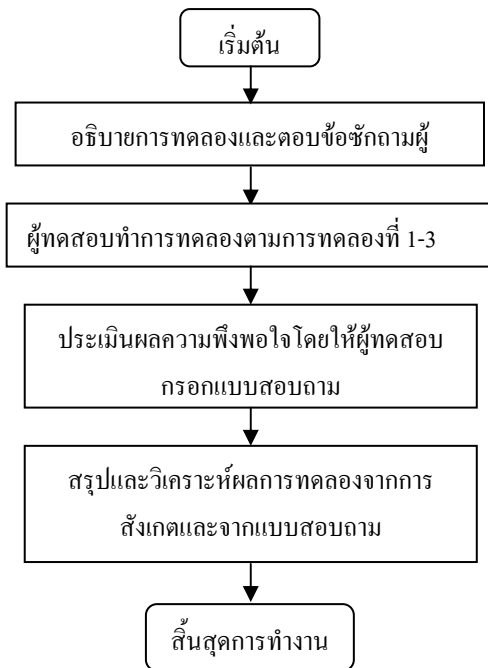


ภาพที่ 9 การแสดงผลด้านกราฟิก

จากภาพที่ 9 เป็นการแสดงผลทางด้านกราฟิกโดยจะแบ่ง ออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนตรงกลางจะเป็นส่วนแสดงตำแหน่งและ การเคลื่อนที่ของแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้ สถานีงาน เส้นทางของการขนส่ง ทางขวาบนจะเป็นส่วนรับข้อมูล ขวาล่าง จะเป็นส่วนแสดงผลเวลาการทำงานของแต่ละสถานีและของ ระบบทั้งหมดโดยได้ใช้ซอฟต์แวร์ไลบรารี Tao Framework ในการแสดงผล

4. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาได้กำหนดขั้นตอนการวิจัยดังภาพที่ 10 โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการอธิบายการทำงานและวิธีใช้งานระบบการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยการสัมภาษณ์พื้นผิว เมื่อผู้ทดลองเข้าใจการทำงานและวิธีใช้แล้วจะเริ่มทำการทดลอง โดยในการทดลองแบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 จะเป็นการทดสอบการสร้างเส้นทางการผลิต การทดลองที่ 2 จะเป็นการกำหนดตำแหน่งของสถานีงานและแบบจำลองหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ การทดลองที่ 3 จะเป็นการกำหนดลำดับการผลิตและเวลาในการทำงานของแต่ละสถานีการผลิตเมื่อทำการทดลองทั้ง 3 การทดลองแล้วหลังจากนั้นจะเป็นการทดสอบการจำลองการผลิต ในขั้นตอนต่อมาจะให้ผู้ทดลองกรอกแบบสอบถามเพื่อประเมินผลความพึงพอใจการทำงานของระบบ ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำผลที่ได้จากแบบสอบถามและการสังเกตผู้ทดลองขณะทำการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผลการทำงานกลุ่มตัวอย่างของผู้ทดลอง ได้แก่ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาระดับปริญญาโทสาขาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ คัดเลือกโดยการสุ่มอย่างง่าย จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ โปรแกรมจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยการสัมภาษณ์พื้นผิวสัมผัส แบบบันทึกประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (System Performance) แบบสอบถามความพึงพอใจด้านความสามารถ ใช้งาน (Usability) และคุณค่าต่องานเฉพาะทาง (Values for Specific Task)

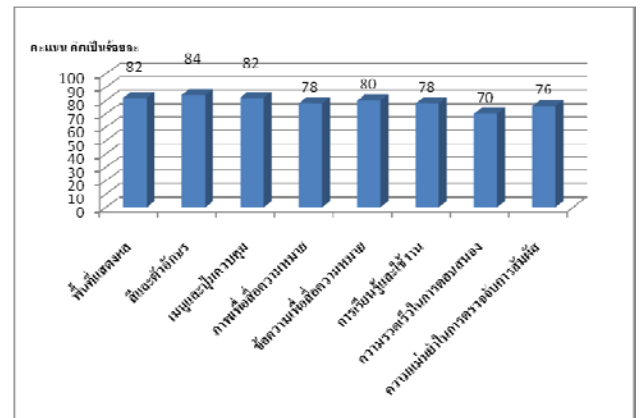


ภาพที่ 10 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

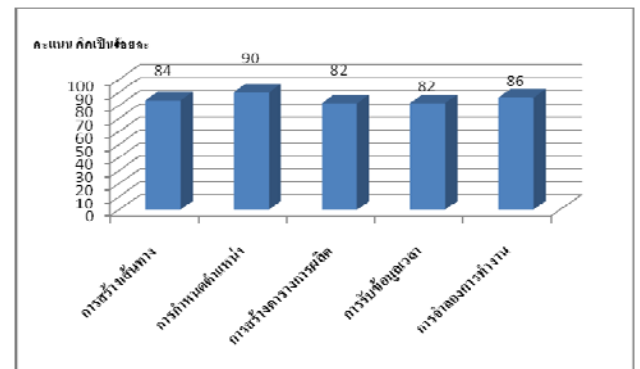
5. ผลการวิจัย

จากบันทึกผลการทำงานของระบบพบว่าระบบสามารถตรวจจับการป้อนข้อมูลจากพื้นผิวแล้วแสดงผลทางคอมพิวเตอร์กราฟิกได้ประมาณ 15 เฟรมต่อวินาที นอกจากนี้เวลาเฉลี่ยที่กลุ่มตัวอย่างใช้สำหรับการทดลองที่ 1 ถึง 3 คือ 2 นาที 1.06 นาที และ 1.46 นาที ตามลำดับ

ส่วนผลคะแนนจากการตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างที่ได้หลังการทดสอบการทำงานของโปรแกรมจำลองการผลิตในด้านความสามารถใช้งาน (Usability) และคุณค่าต่องานเฉพาะทาง (Values for Specific Task) แสดงได้ดังภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจด้านความสามารถใช้งาน (Usability)



ภาพที่ 12 ผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจในด้านคุณค่าต่องานเฉพาะทาง (Values for Specific Task)

6. การอภิปรายผล

จากบันทึกผลการทำงานของระบบทำให้ทราบว่าระบบมีการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับการป้อนข้อมูลจากพื้นผิวที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ดี และผลของเวลาที่ใช้ในการทดสอบตามการทดลองที่ 1 ถึง 3 ทำให้ทราบว่ากำหนดตำแหน่งใช้เวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 1.06 นาทีเนื่องจากมีความซับซ้อนในการใช้

น้อยและจำนวนครั้งในการสัมผัสเพื่อเลือกตำแหน่งมีจำนวนครั้งน้อยที่สุด ในส่วนของการกำหนดเส้นทางมีการสัมผัสมากที่สุด ทำให้ใช้เวลาเฉลี่ยมากที่สุดคือ 2 นาที และจากผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจด้านความสามารถการใช้งาน (Usability) ดังภาพที่ 1 พบว่าจะแนบความพึงพอใจอันดับหนึ่งคือ สีและตัวอักษรคิดเป็นร้อยละ 84 อันดับสุดท้ายคือ ความรวดเร็วในการตอบสนองซึ่งสามารถแก้ไขให้เร็วได้มากยิ่งขึ้น โดยในส่วนของภาพรวมผลภาพต้องทำการกรองส่วนที่ไม่ต้องการหรือนอยส์ออกให้ดีกว่าเดิมซึ่งจะทำให้การหาตำแหน่งของการสัมผัสบนพื้นผิวได้เร็วยิ่งขึ้นและภาพที่ 2 แสดงผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจในด้านคุณค่าต่องานเฉพาะทาง (Values for Specific Task) ซึ่งงานในที่นี้หมายถึงการออกแบบและการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยการสัมผัสบนพื้นผิว พบว่าจะแนบความพึงพอใจอันดับหนึ่งคือด้านการกำหนดตำแหน่งคิดเป็นร้อยละ 90 เนื่องจากโปรแกรมได้ออกแบบให้สามารถทำการกำหนดตำแหน่งได้อย่างง่ายไม่ซับซ้อน อันดับสุดท้ายคือด้านการสร้างตารางการผลิตและการรับข้อมูลเวลาคิดเป็นร้อยละ 82 ซึ่งเป็นผลมาจากการรับข้อมูลทางด้านเวลาจะมีปริมาณการรับข้อมูลมากกว่าด้านอื่นๆ

7. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคโนโลยีการสัมผัสบนพื้นผิวแสดงผลภาพเข้ามาช่วยในการติดต่อกับผู้ใช้ในการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆของการผลิตได้สะดวกมากยิ่งขึ้น จากการทดสอบกับผู้ใช้ผลปรากฏว่าระบบสามารถตอบสนองการใช้งานการออกแบบและการจำลองการผลิตแบบยืดหยุ่นได้อย่างดี รวมถึงทำให้ผู้ใช้งานได้เห็นภาพการจำลองการทำงานก่อนการผลิตจริงซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงาน อันเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยทำให้ระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

8. บรรณานุกรม

- [1] S. Takakuwa, 1997. The Use of Simulation in Activity-Based Costing for Flexible Manufacturing Systems. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 793 – 800.
- [2] Chen-Je Huang, Ellen Yi-Luen Do, Mark D. Gross, 2003. Mousehaus Table, a Physical Interface for Urban Design. UIST 2003

- [3] K. Kobayashi, M. Hirano, A. Narita, H. Ishii, 2003. A Tangible Interface for IP Network Simulation. CHI 2003
- [4] K. Kobayashi, A. Narita, M. Hirano, I. Kase, S. Tsuchida, T. Omi, T. Kakizaki, T. Hosokawa, 2006. Collaborative Simulation Interface for Planning Disaster Measures. CHI 2006
- [5] I. Mahdavi, 2009. Applying Fuzzy Rule Based To Flexible Routing Problem In A Flexible Manufacturing System. Industrial Engineering and Engineering Management, 2358 – 2364.
- [6] Paul Heckbert, 1989. Projectivemappings for Imagewarping, In Fundamentals of Texture Mapping and Imagewarping, 17-21.