

การศึกษาและออกแบบสำหรับกระบวนการผลิตของกระถางต้นไม้ของเล่นโดยใช้เทคนิค ทางด้าน CAD/CAM/CAE

The study and Design for Manufacturing Process of toy plant pot using CAD/CAM/CAE Technique

วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล^{1,*} และวรกรฤช คอนคำเพ็ง²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาพิษณุโลก บ้านกร่าง
เมือง พิษณุโลก 65000

² สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิษณุโลก บ้านกร่าง เมือง พิษณุโลก 65000

Werayoot Lahamornchaiyakul^{1,*} and Worakrit Doncomephang²

¹ Department of Mechanical of Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Phitsanulok, Ban krang, Mueang, Phitsanulok, 65000, Thailand

² Department of Agricultural Machinery Faculty of Agricultural Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Lanna, Ban krang, Mueang, Phitsanulok, 65000, Thailand

*Corresponding Author E-mail: werayootrmutl@gmail.com

Received: Oct 30, 2021; Revised: Dec 12, 2021; Accepted: Feb 04, 2022

บทคัดย่อ

กระถางต้นไม้ของเล่นถูกนำมาใช้สำหรับจัดห้องเรียนและสวนสนุก ทุกวันนี้ชิ้นส่วนกระถางต้นไม้ของเล่นส่วนใหญ่ทำจากวัสดุพลาสติกโดยผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกส่วนใหญ่ผลิตโดยกระบวนการของ CAM โปรแกรม InventorCAM คือคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing; CAM) ที่พัฒนาและใช้งานในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ โปรแกรม InventorCAM ได้รับการเชื่อมโยงเพื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม Inventor โดยโปรแกรม InventorCAM จะมีใช้สำหรับการผลิตเท่านั้น ในงานนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบโมเดลพลาสติกของกระถางต้นไม้ของเล่นและฐานแม่พิมพ์ ซึ่งประกอบด้วย sprue runner sub runner และ gate หลังจากนั้นจะใช้ชิ้นงานพลาสติกจำลองเพื่อจำลองการฉีดและการวางตำแหน่งการฉีดขึ้นรูป นอกจากนี้ยังออกแบบชิ้นส่วนมาตรฐานแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ด้วยโมดูลการออกแบบแม่พิมพ์ในโปรแกรม Inventor เวอร์ชัน 2014 ดังนั้นการศึกษานี้จึงสามารถศึกษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกร่วมกับการใช้โปรแกรม InventorCAM อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองและการปรับปรุงประสิทธิภาพการฉีดพลาสติกที่สูงขึ้นจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาการผลิตกระถางต้นไม้ของเล่นที่ดีขึ้นสำหรับธุรกิจ SME

คำสำคัญ: แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก, แบบจำลองเชิงตัวเลข, คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

Abstract

Toy plant pots are used to organize children's classrooms and theme park. Today, most of the toy plant pot parts are made of plastic material by injection molded. Most of the plastic injection molded parts are produced by CAM.

InventorCAM is Computer Aided Manufacturing (CAM), developed and used in manufacturing and design processes in the automotive industry. InventorCAM has been supporting and plugins for Inventor Professional Program. InventorCAM is available only in the manufacturing collection. In this work, researcher is designed plastic model of toy plant pot and injection mold base, consisting of sprue, runner, sub runner and gate. After that, plastic parts are used to simulate the injection molding process to simulate the positioning of gate injection. In addition, researcher also design of standard part for plastic injection molded and the both in the core and cavity of mold plastic injection using module mold design of Inventor Professional version 2014. Therefore, this study can be used to study plastic injection mold together with the use of InventorCAM program appropriately. Nevertheless, the results obtained from simulations and the improvement of higher performance for plastic injection would be optimum for development of better toy plant pot production for SME business.

Keywords: Plastic Injection Mold, Numerical Simulation, Computer Aided Manufacturing

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ตลาดในกลุ่มอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในประเทศไทย เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใหญ่มาก เนื่องจากการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก จะถูกนำไปใช้เกือบทุกกลุ่มของอุตสาหกรรม เช่น กลุ่มอุตสาหกรรม ยานยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า และชิ้นส่วนของเล่น ตลอดจนกระถางต้นไม้ เป็นต้น ด้วยขีดความสามารถทางการแข่งขันในเชิงธุรกิจ การนำเข้าเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ถือเป็นข้อได้เปรียบของยุคปัจจุบันในกลุ่มบริษัทต่าง ๆ และกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในการนำโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์เข้ามาช่วยในการออกแบบและผลิต โมดูลการออกแบบแม่พิมพ์ใน Autodesk Inventor Professional 2014 เป็นอีกหนึ่งในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในปัจจุบัน โมดูลของการออกแบบแม่พิมพ์มีฟังก์ชันที่หลากหลาย เช่น Mold Fill Analysis, Core/Cavity Cold Well Cooling Channel และ Mold Process Setting เป็นต้น โมดูลการออกแบบแม่พิมพ์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในประเทศไทย ในการบวนการออกแบบเมื่อได้แบบจำลอง Core และ Cavity สำหรับการขึ้นรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำ InventorCAM ไปใช้ในการกระบวนการผลิตเพื่อทำการจำลองเส้นทางการเดินของใบมีดกัด (ทูล) โดยปัจจุบันเทคโนโลยี InventorCAM ได้ถูกนำไปใช้กับระบบงาน 2 มิติและ 3 มิติ ซึ่ง

โมดูลฟังก์ชันการทำงานที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ใน InventorCAM ได้แก่ งาน Machining 2D และ 3D, งาน Pocket Recognition งาน HM Roughing และงานแบบ Sim ของการกัดแบบ 5 แกน เป็นต้น InventorCAM ได้รับการพัฒนาและใช้งานภายใต้หลักการคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) [1],[2] หลักการของแคม (CAM) สามารถกำหนดได้ว่าเป็นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์หรือซอฟต์แวร์เพื่อการวางแผนหรือจัดการ ตลอดจนสามารถช่วยควบคุมการทำงานของการผลิต [1] ในปัจจุบันแคมเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี หรือเรียกว่าคอมพิวเตอร์ช่วยในการควบคุมเชิงตัวเลข (Computer Numerical Control; CNC) ซึ่งเป็นระบบเครื่องจักรสำหรับการผลิตที่มีความแม่นยำในการผลิตที่สูงมาก และเครื่องจักรซีเอ็นซีสามารถนำมาใช้ได้มากกว่าการทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก [3] ในเครื่องจักรซีเอ็นซี ตัวเลขและสัญลักษณ์จะถูกโปรแกรมสร้างขึ้นตามคำสั่งที่ออกแบบมาสำหรับงานเฉพาะ เช่น งานจำพวก 2.5D งานแบบ 3 แกน งานแบบ 4 แกน และงานแบบ 5 แกน เป็นต้น ตัวอย่างทูลและเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกนที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2 เป็นเครื่องมือผลิตที่ใช้กันทั่วไปในการศึกษาและวิจัยงานแม่พิมพ์ ในสถานศึกษาและอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จัดเตรียมโปรแกรมและได้ลงมือปฏิบัติ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบแม่พิมพ์ การฉีดขึ้นรูปงานพลาสติก ตลอดจนการสร้างเส้นทางการเดินของใบมีดกัด รวมไปถึงการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาด้านการออกแบบที่น่าสนใจต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในปัจจุบัน



รูปที่ 1 เครื่องจักรซีเอ็นซีแบบ 3 แกนในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2 ตัวอย่างทูลของเครื่องจักรซีเอ็นซีแบบ 3 แกน

เครื่องจักรซีเอ็นซีจะทำงานภายใต้ชุดของคำสั่งจีโค้ด (G-code) ซึ่งรูปแบบการเขียนคำสั่งจีโค้ดนั้นค่อนข้างที่จะยากมากเพราะต้องใช้ความรู้ด้านเครื่องจักรและเวลาในการเรียนรู้อย่างลึกซึ้ง [1],[3] ดังนั้นทุกวันนี้ จึงนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์สำหรับสร้างจีโค้ดในการควบคุมเส้นทางการเดินของชุดเครื่องไปมีดกัดขึ้นรูป เพื่อให้ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมามีความแม่นยำและลดความผิดพลาด จากการเชื่อมโยงทางเทคนิคของระบบการออกแบบระหว่างการออกแบบแม่พิมพ์และการจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป InventorCAM ในปัจจุบันโปรแกรม InventorCAM อยู่ในตำแหน่งผู้นำในงานด้านนี้ การวิจัยนี้เป็นรูปแบบงานศึกษาใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกกระถางต้นไม้ของเล่นสำหรับธุรกิจ SME และการใช้โปรแกรม InventorCAM ตลอดจนการกำหนดขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกควบคู่ไปกับการกัดขึ้นรูปชิ้นส่วนแม่พิมพ์และตัวอย่างการสร้างรหัสจีโค้ดในการผลิต

ชิ้นงานของงาน Core และ Cavity ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกกระถางต้นไม้ของเล่น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม SolidCAM iMachining และขั้นตอนโดยละเอียดของกระบวนการตัดเฉือนของเฟืองเกียร์จากวัสดุในสต็อก (เนื้อเหล็กจำลอง) โดยมีการอธิบายทีละขั้นตอนโดยใช้เทคโนโลยีโปรแกรม SolidCAM 2014 แบบงาน 2D iMachining [1] และได้มีการศึกษาและการจำลองเกี่ยวกับการประเมินกลยุทธ์การกัดขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์ โดยโมดูลเทคโนโลยีที่มีอยู่ในระบบแคม และถูกนำไปใช้เมื่อผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น การกัดขึ้นรูปชิ้นส่วนงานแม่พิมพ์ Core และ Cavity [4] ตลอดจนได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลและความสามารถในการกัดขึ้นรูปงานแบบต่าง ๆ ที่มีต่อความแม่นยำของชิ้นงาน Circle pocket ปัจจัยที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการกัดขึ้นรูปซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพพื้นผิวงานคือรูปแบบการกัด การออกแบบตัวอย่างถูกสร้างขึ้นในระบบแคดของโปรแกรม SOLIDWORKS เส้นทางการเดินไปมีดกัด (Toolpath) ถูกสร้างขึ้นในระบบแคมของโปรแกรม SolidCAM และผลที่ได้จากการจำลองจะถูกเปรียบเทียบและประเมินผลสำหรับตรวจสอบการผลิตระหว่างโปรแกรมและการทดสอบจริง [5] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยพวกเขาจะทำการศึกษาและสำรวจวิธีการเขียนโปรแกรมต่าง ๆ ในเครื่องจักรซีเอ็นซี และทำการสร้างความแตกต่างของโปรแกรมและทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของจีโค้ด [6]

นอกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิธีการเดินของชุดไปมีดกัดแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ผู้วิจัยยังพบรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองกระบวนการกัดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก โดยเขาได้ทำการศึกษารูปแบบการฉีดด้วยการออกแบบตัว Runner และตำแหน่งในการวาง gate [7]

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับกระถางต้นไม้ของเล่น

2.2 เพื่อจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.3 เพื่อจำลองเส้นทางการเดินใบมีดในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการแบ่งรูปแบบการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกจะนำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคการสร้าง Core และ Cavity ที่เหมาะสมด้วยแคด (Computer Aided Design; CAD) ส่วนที่สองจะทำการวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกเพื่อจำลองการไหลของเนื้อพลาสติกด้วย ซีเออี (Computer Aided Engineering; CAE) และส่วนที่สามจะทำการศึกษารูปแบบของการกัดขึ้นรูปชิ้นงานของ Core และ Cavity เพื่อจำลอง Tool path และทิศทางการเดินของใบมีดด้วยแคม (Computer Aided Manufacturing; CAM) ซึ่งรูปแบบของการศึกษาและทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การแบ่งประเภทของพลาสติก

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่มีบทบาทและหน้าที่สำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ วัสดุพลาสติกคือสารสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่มาก โดยปกติโครงสร้างของพลาสติกจะประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน คลอรีน เป็นต้น และพลาสติกยังมีชื่อเรียกทางเคมีว่า “โพลีเมอร์” [8],[9] ปัจจุบันการแบ่งประเภทของงานพลาสติกสำหรับการฉีดขึ้นรูป สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- 1.) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)
- 2.) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)
- 3.) อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

3.1.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์

- 1.) ทฤษฎีความเครียด (Strain)

เมื่อทำการพิจารณาชิ้นงานที่มีการรับแรงจากภายนอกกระทำ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางที่แรงมากระทำ เช่น เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึง

ก็จะยืดออก (Elongation) และเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัดก็จะหดเข้า (Contraction) [8],[9]

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (1)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียด

L_0 คือ ความยาวเดิม หรือความยาวพักตัวของวัสดุ

L คือ ความยาวใหม่ ภายหลังจากที่ได้รับแรงภายนอกมากระทำ

2.) ทฤษฎีความเค้น (Stress)

การพิจารณาแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีผลต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับแรง แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดค่าทางทฤษฎี จึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับแรง ด้วยแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน [8] การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa) หรือ N/m^2

P = แรงภายนอกมากระทำ มีหน่วยเป็น (N)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ (m^2)

3.) รูปแบบของค่าความเค้น

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของพื้นที่ภาคตัดขวาง [8]

3.1.3 ทฤษฎีสำหรับงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก

1.) ประเภทและรูปแบบการฉีด

กระบวนการวิเคราะห์งานฉีดขึ้นรูปพลาสติกประกอบไปด้วยรูปแบบการแสดงผลแบบต่าง ๆ ดังนี้

การแสดงผลแบบ Fill Time

รูปแบบการวิเคราะห์ผลแบบ Fill Time คือการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mold Analysis ทำให้ทราบถึงเวลาและทิศทางการไหลของพลาสติกของแต่ละช่วงเวลา ที่เข้าไปในชิ้นงานซึ่งดูจากสัดส่วนการไหล โดยแสดงเป็นสีที่ไหลเข้าไปใน Cavity

การแสดงผลแบบ Shink Marks

รูปแบบการวิเคราะห์ผลลัพท์แบบ Shink Marks คือ การวิเคราะห์รอยยุบตัวของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

การแสดงผลลัพท์แบบ Cooling Time เป็นการแสดงผลลัพท์ของการวิเคราะห์การระบายความร้อนของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

การแสดงผลลัพท์แบบ Weld Line

เป็นการแสดงผลลัพท์ของการวิเคราะห์การเกิดรอยประสานของเนื้อพลาสติกในกระบวนการฉีดขึ้นรูป

การแสดงผลลัพท์แบบ Air Trap

เป็นการแสดงผลลัพท์ของอากาศหรือแก๊สที่ไม่สามารถระบายหรือระบายออกจากโพรงแม่พิมพ์ได้ทันเวลา

2.) รูปแบบของรู Gate

รูปแบบของรูเข้าของเนื้อพลาสติกเหลว หรือที่เรียกว่า Gate จะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น Sprue Pin และแบบ Pin point แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอรูปแบบรูเข้าเป็นแบบเข็ม Pin point ซึ่งเป็นรูปแบบที่ใช้ในการออกแบบ โดยรูเข้าแบบเข็ม Pin point นี้จะมีทฤษฎีสำหรับการคำนวณดังนี้ [8],[9]

$$\gamma = \frac{4Q}{\pi r^3} \quad (3)$$

$$r^3 = \frac{4Q}{\pi \gamma} \quad (4)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4Q}{\pi \gamma}} \quad (5)$$

โดยที่ r คือรัศมีของทางเข้า และ Q คือปริมาตรของชิ้นงานที่ต้องการ

3.1.4 ทฤษฎีพื้นฐานทางไฟฟ้าในต์เอลิเมนต์สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

ระเบียบวิธีการจำลองผลเชิงตัวเลขในกระบวนการฉีดขึ้นรูปขึ้นรูปพลาสติก ได้ถูกจำลองและแก้ปัญหาด้วยระบบของสมการอนุพันธ์มวล สมการอนุพันธ์โมเมนตัมเชิงเส้น และสมการอนุพันธ์พลังงาน ซึ่งแสดงได้จากสมการที่ (6)–(8) [10]

$$\frac{d}{dt} \rho + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (6)$$

$$\rho \frac{d}{dt} v = \rho g - \nabla P + \eta \nabla^2 \quad (7)$$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial}{\partial t} T + v \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial}{\partial t} P + \vec{v} \cdot \nabla P \right) + \nabla \cdot (k \nabla T) + \eta \gamma^2 \quad (8)$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหลในการวิเคราะห์, t คือ เวลา, v คือ ค่าความเร็วของเวกเตอร์, g คือ ค่าคงที่ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, P คือ ค่าความดันในระบบการวิเคราะห์, η คือ ค่าความหนืดของของไหลที่ทำการวิเคราะห์, C_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อน, T คือ ค่าอุณหภูมิ, β ค่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน, k คือ การนำความร้อน, γ คือ อัตราแรงเฉือน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเราได้ทำการอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับเงื่อนไขการไหลตัวของพอลิเมอร์ที่ถูกเพิ่มเข้าไปในระบบการวิเคราะห์ pvT ซึ่งรวมถึงความสัมพันธ์ที่เป็นส่วนประกอบของพอลิเมอร์ซึ่งมักจะอธิบายด้วยสมการ Tait และความหนืดที่ขึ้นกับความเร็วแบบจำลองมักอธิบายด้วย Cross-WLF [10],[11]

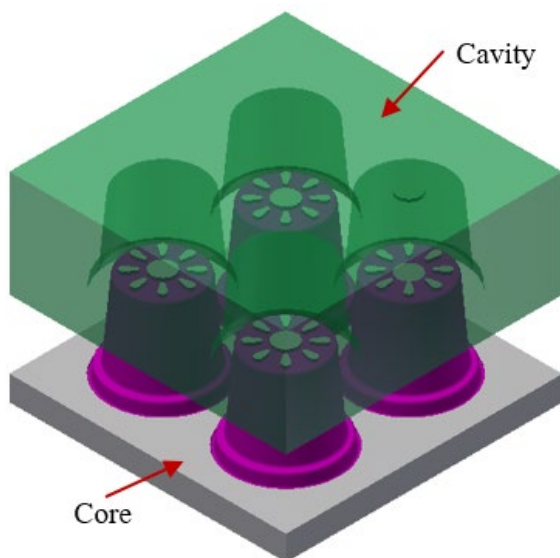
3.2 เทคนิคการสร้าง Core และ Cavity ที่เหมาะสม

ในการออกแบบรูปแบบของ Mold ในส่วนของ Core และ Cavity ใน โมดูลออกแบบแม่พิมพ์ Mold design ของโปรแกรม Autodesk Inventor Professional 2014 เราสามารถออกแบบและสร้างได้ 2 รูปแบบคือ แบบแรกเราสามารถที่จะทำการสร้างชิ้นงานพลาสติกจำนวน 4 ชิ้นงานพร้อมกัน ก่อนที่จะนำเข้าสู่โหมคของโมดูลออกแบบแม่พิมพ์ดังรูปที่ 3



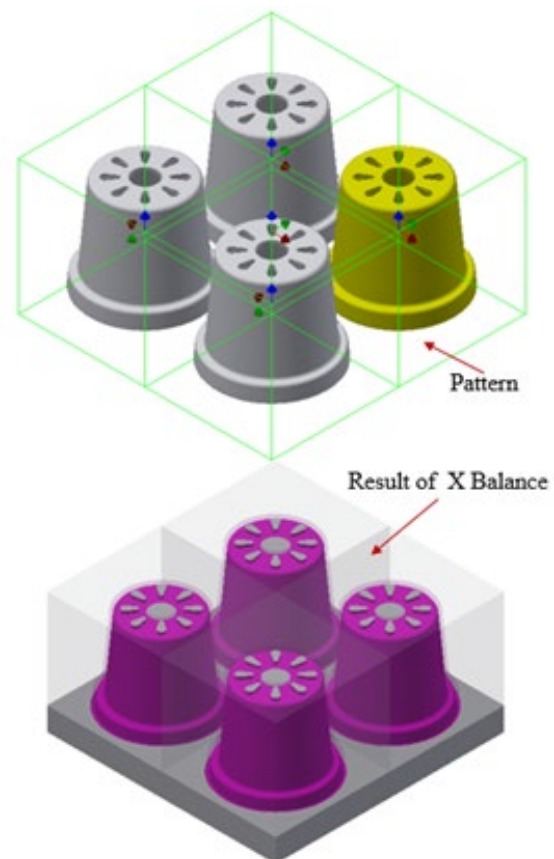
รูปที่ 3 ชิ้นงานพลาสติกจำนวน 4 ชิ้นงานจากการออกแบบ

เมื่อได้ชิ้นงานพลาสติกที่ต้องการดังรูปที่ 3 หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานพลาสติกเข้าสู่โหมดโมดูลออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อทำการสร้าง Core และ Cavity ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการกำหนด Create patching surface เพื่อทำการปิดรูต่าง ๆ บนชิ้นงานพลาสติกด้วยคำสั่งอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการกำหนด Work piece เพื่อกำหนดก้อนเหล็กจำลองก่อนทำการแบ่ง Core และ Cavity เมื่อได้ Work piece ตามที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแบ่ง Core และ Cavity ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการแบ่งชิ้นงานที่จะชิ้นงาน และกำหนดขอบเขตจนครบทั้งหมด 4 ชิ้นงาน และได้ผลลัพธ์การสร้าง Core และ Cavity ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การสร้าง Core และ Cavity สำหรับรูปแบบที่หนึ่ง

ส่วนแบบที่สอง ผู้วิจัยทำการสร้างชิ้นงานพลาสติกจำนวน 1 ชิ้นงาน และนำเข้าสู่โหมดของโมดูล Mold design เพื่อทำการสร้าง Core และ Cavity เช่นเดียวกับแบบวิธีที่หนึ่ง แต่เปลี่ยนมาใช้เทคนิคในการสร้าง Pattern ให้ชิ้นงานพลาสติก โดยทำการกำหนด Pattern type เป็นแบบ X Balance และกำหนดค่า X Direction เท่ากับ 2 โดยมีค่า Distance เท่ากับ 79.814 มิลลิเมตร และ Y Direction เท่ากับ 2 โดยมีค่า Distance เท่ากับ 79.814 มิลลิเมตร และได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การสร้าง Core และ Cavity สำหรับรูปแบบที่สอง

ข้อสรุปจากการศึกษาการสร้าง Core และ Cavity ทั้งสองรูปแบบพบว่า มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ในส่วนของรูปแบบแรก เป็นเทคนิคเฉพาะและให้ความสะดวกในเรื่องการของการสร้าง Core และ Cavity แต่มีข้อเสียในส่วนของการกำหนดจุดการฉีด (Gate location) ที่ไม่สามารถใช้งานแบบอัตโนมัติไม่ได้ เนื่องจากการวางตำแหน่งของการฉีดจะมีทิศทางกลับกันคนละด้านในกรณีที่ใช้คำสั่งอัตโนมัติ ส่วนแบบที่สอง เป็นเทคนิคมาตรฐาน

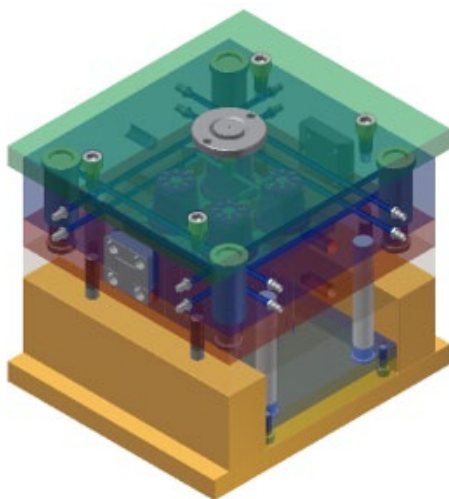
ที่นิยมใช้งานกันทั่วไป ส่วนของการกำหนดจุดการฉีด (Gate location) สามารถใช้งานแบบอัตโนมัติได้

3.3 ขั้นตอนก่อนการวิเคราะห์การฉีดขึ้นรูปพลาสติก

หลังจากได้ชิ้นงานของชุด Core และ Cavity แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือขั้นตอนที่ผู้วิจัยจะทำการเตรียมข้อมูล เริ่มต้นสำหรับใช้ทำการจำลองรูปแบบการฉีดขึ้นรูปในส่วนของการ Mold Fill Analysis ดังนั้นในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการสร้างองค์ประกอบการฉีด เช่น เส้นทางวิ่งของเนื้อพลาสติก (Runner), ตำแหน่งการฉีด (Gate) และ Cool well เป็นต้น ซึ่งแสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 6(a) หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการสร้าง Mold base ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้างของแม่พิมพ์พลาสติก ชุด Sprue bushing, Location ring และ Ejector และจะได้ผลลัพธ์ขององค์ประกอบแม่พิมพ์ดังรูปที่ 6(b)



(a)



(b)

รูปที่ 6 ตัวอย่างการสร้างองค์ประกอบของ Mold base

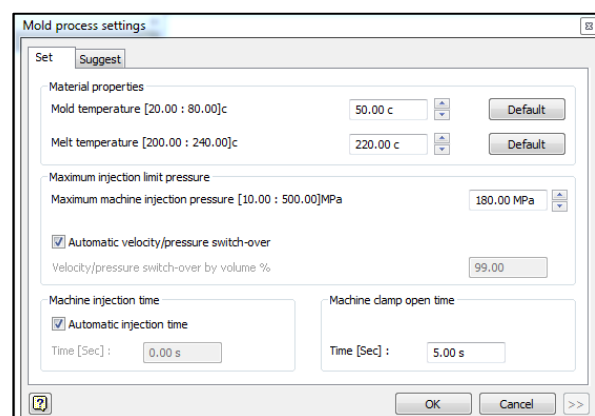
หลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบระบบการทำงานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจนได้องค์ประกอบการฉีดครบตามต้องการในงานวิจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยได้ดำเนินการทำการจำลองกระบวนการฉีดด้วยโมดูลโปรแกรม Mold Fill Analysis โดยจะทำการศึกษารูปแบบของตำแหน่งการวาง Gate จำนวน 3 รูปแบบ คือรูปแบบ Pin Pin point และ Sprue โดยทำการกำหนดรูปแบบคุณสมบัติเชิงกลของการฉีดที่เหมือนกันดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการตั้งค่า Mold process

การจัดเตรียมข้อมูลเริ่มต้นของกระบวนการฉีดผู้วิจัยจะทำการอ้างอิงข้อมูลจากเครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่สำคัญดังนี้คือ

- 1.) ตั้งค่า Mold temperature = 50°C
- 2.) ตั้งค่า Melt temperature = 220°C
- 3.) ตั้งค่า Mex machine injection pressure = 180 MPa
- 4.) ตั้งค่า Machine clamp open time = 5s หน้าตาการ

แสดงผลการตั้งค่าการฉีดแสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าก่อนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

3.3.2 วัสดุที่ใช้ทั่วไป (Commonly used material)

- 1.) Manufacturer = A Schulan
- 2.) Trade name = Aqualoy 125B

3.3.3 ข้อมูลคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties)

- 1.) ค่าตัวแปร Elastic modulus 1st principal, direction
(E1) = 2,988 Mpa
- 2.) ค่าตัวแปร Elastic modulus 2nd principal, direction
(E2) = 2,891 Mpa

3.) ค่าตัวแปร Poisson's ratio (V12) = 0.409

4.) ค่าตัวแปร Poisson's ratio (V23) = 0.409

5.) ค่าตัวแปร Shear modulus (G12) = 852 MPa

3.3.4 ตั้งค่าคุณสมบัติของ Transversely Isotropic

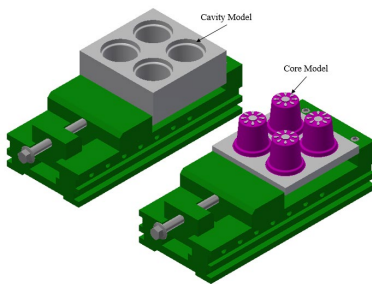
1.) ค่าตัวแปร Coefficient of thermal expansion (CTE) data

2.) ค่าตัวแปร Alpha1 = 6.31e-005 1/c

3.) ค่าตัวแปร Alpha1 = 7.39e-005 1/c

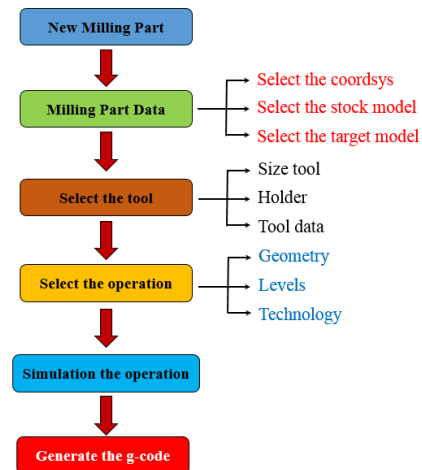
3.4 ขั้นตอนก่อนการกัดขึ้นรูปชิ้นงานของ Core และ Cavity

ขั้นตอนต่อไปเป็นเตรียมการในส่วนของการกระบวนการกัดขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์ ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะนำชิ้นงานของ Core และ Cavity จากหัวข้อ 3.1 ดังรูปที่ 5 มาทำการประกอบกับชุดจับชิ้นงานแม่พิมพ์ (Work holding) จนได้ตามรูปแบบดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงชิ้นงาน Core และ Cavity สำหรับงานแคม

ก่อนทำการกัดขึ้นรูปชิ้นงานแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกของชิ้นงานกระถางต้นไม้ของเล่น เพื่อจำลองเส้นทางการเดินของชุดไบมิดกัดขึ้นรูป (Toolpath) ที่ความเร็วรอบของชุดไบมิดกัดต่าง ๆ คือ 5000, 6000 และ 7000 รอบต่อนาทีตามลำดับ เพื่อจำลองระยะเวลาในการกัดขึ้นรูปของแต่ละ Operation เช่น การกัดแบบหยาบ (Roughing) การกัดแบบเก็บผิว (Finish) เป็นต้น ในงานวิจัย ผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอนเพื่อทำการจำลองรูปแบบการเดินไบมิดกัดในงานวิจัยนี้สามารถทำการแบ่งการกัดงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำการกัดขึ้นรูปของ Core ด้วยฟังก์ชันการทำงาน 3D Milling และส่วนที่ทำการ Pocket 2.5D ให้กับชิ้นงาน Cavity ขั้นตอนในการทำ CAM operation ด้วยโปรแกรม InventorCAM 2014 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงขั้นตอนการทำงานของแคมแบบ 3D Milling

4. ผลลัพธ์ของงานวิจัย

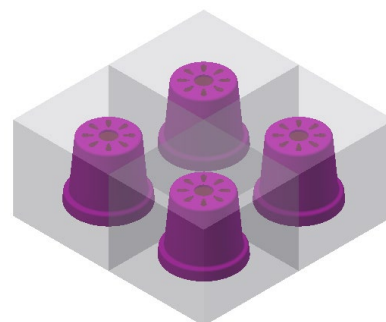
4.1 ผลลัพธ์การออกแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีด

พลาสติกสำหรับกระถางต้นไม้ของเล่น

ผลลัพธ์ของการออกแบบชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับกระถางต้นไม้ของเล่น ประกอบไปด้วยขั้นตอนการออกแบบที่สำคัญ คือ การออกแบบชิ้นงานพลาสติกที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อใช้ในการสร้าง Core และ Cavity โดยชิ้นงานพลาสติกที่สร้างจะเลือกสร้างเพียง 1 ชิ้นดังรูปที่ 10 หลังจากนั้นผู้วิจัยสามารถเลือกใช้วิธีการคัดลอกชิ้นงาน (Pattern) จะได้ผลลัพธ์ Cavity ที่ต้องการดังรูปที่ 11

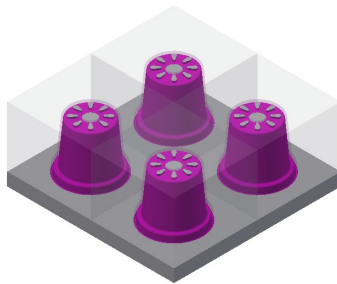


รูปที่ 10 ชิ้นงานพลาสติกของกระถางต้นไม้ของเล่น



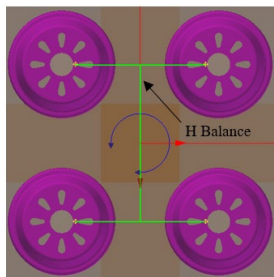
รูปที่ 11 ผลลัพธ์การคัดลอกชิ้นงานเพื่อกำหนด Cavity

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการ Generate Core และ Cavity แล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 12



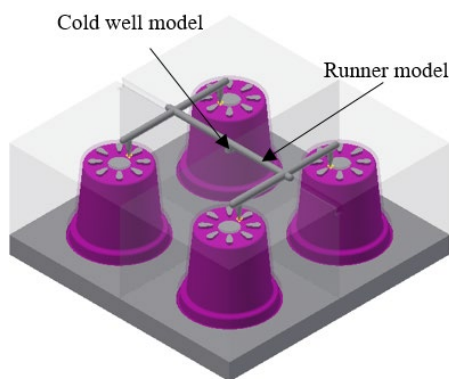
รูปที่ 12 ผลลัพธ์การ Generate Core และ Cavity

หลังจากนั้นผู้วิจัยจะทำการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งเข็มฉีด (Gate) พร้อมทั้งทำการกำหนด Runner Sketch โดยกำหนดรูปแบบเป็นแบบ H Balance ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดง Runner Sketch แบบ H Balance

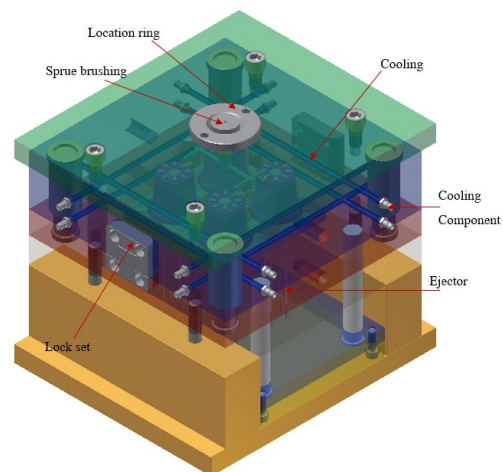
หลังจากนั้นจึงทำการสร้างรูปแบบของ Runner และทำการสร้าง Cold well จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงผลลัพธ์การสร้าง Runner

หลังจากนั้นให้ทำการสร้าง Mold base เพื่อนำชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกออกมาประกอบกับชิ้นงาน Core และ Cavity ของชุดแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออก

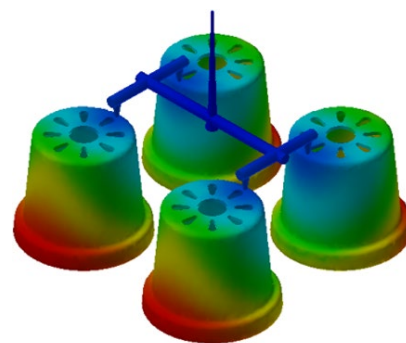
ไว้ในข้างต้น โดยทำการเลือกชนิดของแม่พิมพ์เป็นยี่ห้อ FUTABA ชนิด SA-S ของบริษัท FUTABA Corporation (Chiba-ken, Japan) ที่มีให้ใช้งานในโปรแกรม Inventor 2014 พร้อมกำหนด Sprue brushing, Location ring, Ejector, Cooling Component และในส่วนของ Lock set หลังจากนั้นจะได้ผลลัพธ์การสร้างองค์ประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานกระถางต้นไม้ของเล่นดังรูปที่ 15



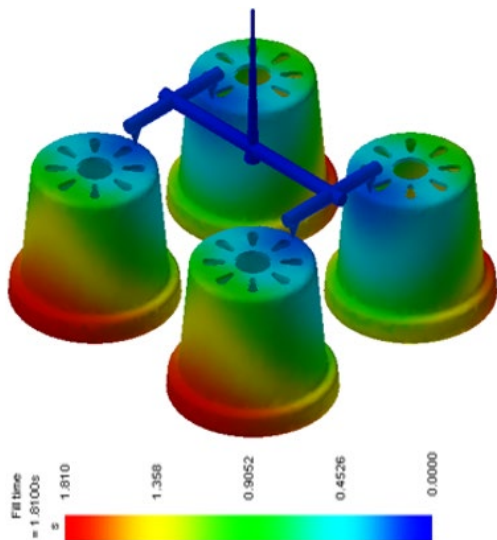
รูปที่ 15 แสดงผลลัพธ์การสร้าง Mold base

4.2 ผลลัพธ์ของกระบวนการฉีดพลาสติก

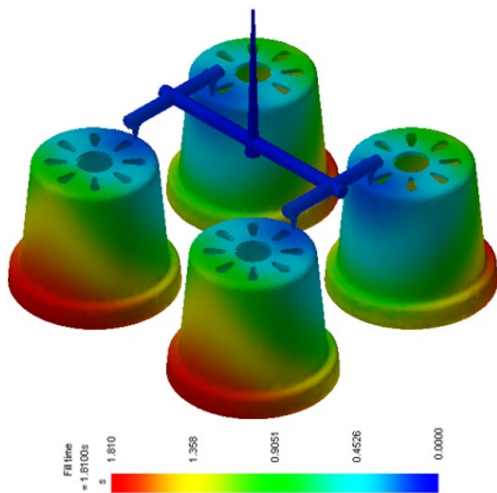
จากขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรในส่วนของเงื่อนไขการฉีดขึ้นรูปในหัวข้อที่ 3.2 จะได้ผลลัพธ์ที่สามารถอธิบายพฤติกรรมและการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปตามแบบจำลองของ Gate จำนวน 3 รูปแบบ คือ Pin, Pin point และ Sprue ดังรูปที่ 16-18



รูปที่ 16 ผลลัพธ์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วย Pin



รูปที่ 17 แสดงผลลัพธ์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วย Pin point



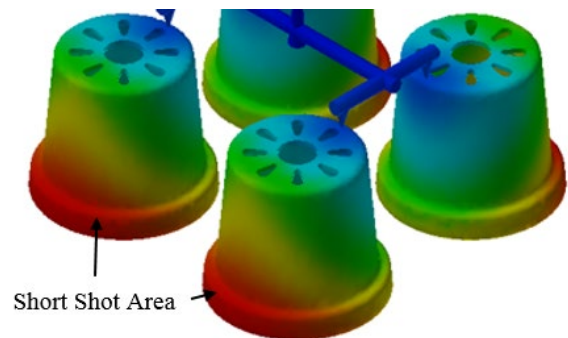
รูปที่ 18 ผลลัพธ์การฉีดขึ้นรูปพลาสติกด้วย Sprue

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกจาก gate แบบ Pin, Pin point และ Sprue พบว่าค่าการฉีดขึ้นรูป (Fill time) ของการฉีดขึ้นรูปของ Pin point และ Sprue จะได้ผลลัพธ์ที่มีค่าเท่ากันที่ 1.810 วินาที ที่ 46.309 และ 45.591 MPa ส่วน gate แบบ Pin นั้นให้ผลลัพธ์ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่ 1.923 วินาที ที่ 42.450 MPa ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การฉีดพลาสติกด้วย Gate แบบต่าง ๆ

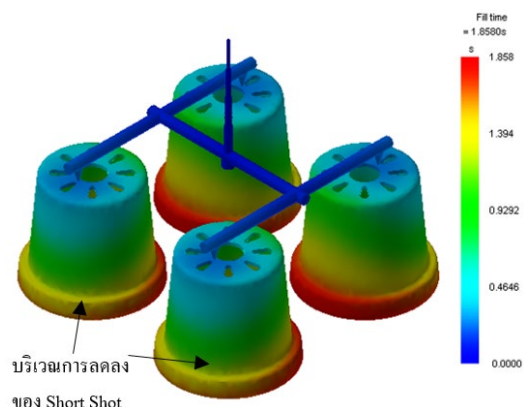
Gate types	Fill time	Injection pressure
Pin	1.923 (s)	42.450 MPa
Pin point	1.810 (s)	46.309 MPa
Sprue	1.810 (s)	45.591 MPa

จากการจำลองการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกของ กระดาษต้นไม้ของเล่น สามารถสรุปได้ว่า อาจเลือกใช้ ชนิดของ gate เป็นแบบ Pin point หรือแบบ Sprue ก็ได้ เนื่องจากช่วยลดเวลาในการฉีดได้ดีกว่าแบบ Pin และยัง ได้ค่าแรงดันในการฉีดที่สูงกว่าแบบ Pin ผลลัพธ์จากการ จำลองเชิงตัวเลขยังสามารถอธิบายได้ว่า ควรมีการปรับ รูปแบบในส่วนของการฉีดเพิ่มเติม เนื่องจากใน บางชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปมีบางส่วนอาจจะมีการ ฉีดได้ไม่เต็มชิ้นงาน (Short shot) ดังรูปที่ 19



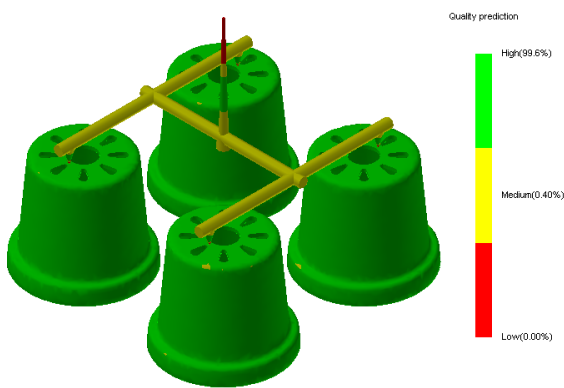
รูปที่ 19 แสดงผลลัพธ์การฉีดไม่เต็ม Short shot

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาและการจำลองเชิงตัวเลข ของการฉีดพบว่า รูปแบบของ Gate ที่สามารถสร้างอัตรา การฉีดขึ้นรูปที่ดี คือรูปแบบ Pin point และแบบ Sprue ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบ Pin point ในการปรับตำแหน่ง ของการฉีดขึ้นรูปใหม่ ผลจากการปรับตำแหน่งการขึ้นรูป ชิ้นงานใหม่พบว่า สามารถช่วยลดสัดส่วนของการไหลที่ ไม่เต็ม (Short shot) ได้ดีขึ้นดังรูปที่ 20

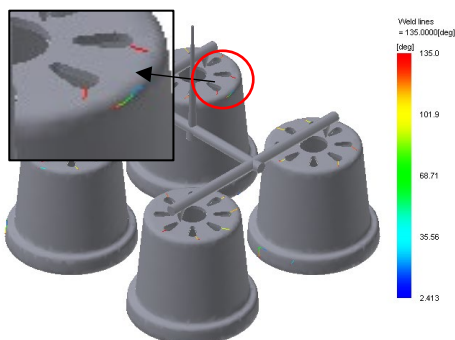


รูปที่ 20 แสดงผลลัพธ์ Fill time หลังการปรับตำแหน่ง การฉีดขึ้นรูปเพื่อลดสัดส่วนการฉีดขึ้นรูปไม่เต็ม

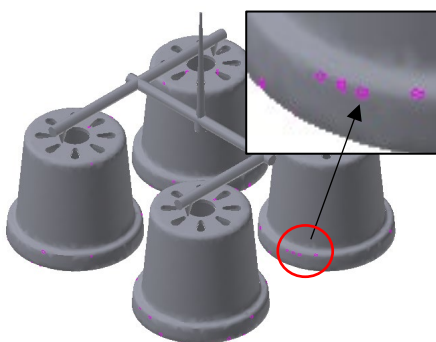
จากผลลัพธ์การจำลองผลเชิงตัวเลขในส่วนของการจำลองคุณภาพในการขึ้นรูปของเนื้อพลาสติก พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 99.6 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถอธิบายด้วยแถบสีดังแสดงในรูปที่ 21 ส่วนรูปที่ 22 จะแสดงผลถึงการผสานตัวของเนื้อพลาสติก กล่าวคือ ตำแหน่งที่เกิดเส้นสีคือตำแหน่งที่เนื้อพลาสติกไหลมาบรรจบกัน รอยสีที่เกิดขึ้นนั้นแสดงให้เห็นถึงช่วงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวต่ำเกินไป และรูปที่ 23 จะอธิบายถึงการอันของอากาศภายใน Core และ Cavity ของกระบวนการฉีดขึ้นรูป ที่ไม่สามารถระบายออกจากโพรงของแม่พิมพ์ได้ทันเวลา



รูปที่ 21 การทำนายคุณภาพการฉีดพลาสติก



รูปที่ 22 แสดงผลลัพธ์และลักษณะของ Weld line



รูปที่ 23 แสดงผลลัพธ์และลักษณะของ Air traps

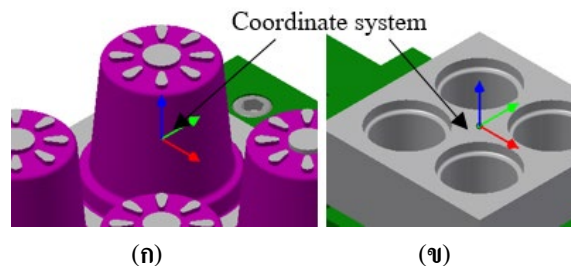
4.3 ผลลัพธ์การสร้างเส้นทางการเดินใบมีดกัด (Toolpath)

การจำลองเส้นทางการเดินของชุดใบมีดกัดขึ้นรูป (Toolpath) ที่ความเร็วรอบของชุดใบมีดกัดต่าง ๆ จะประกอบไปด้วยผลลัพธ์ของวิธีการสร้าง Operation 2 แบบ คือ การสร้าง 3D Milling และงาน Pocket โดยจะมีขั้นตอนและผลลัพธ์การสร้างดังนี้

4.3.1 การสร้าง 3D Milling และงาน Pocket

1.) CAM-Part

ผลลัพธ์การสร้าง Coordinate system ในกระบวนการของแคมของโปรแกรม InventorCAM เวอร์ชัน 2014 เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ซึ่งการสร้าง Coordinate system นั้นจะเริ่มต้นจากส่วนของ Core และ Cavity ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในงานวิจัย โดย Coordinate system ที่สร้างขึ้นจะเป็นกระบวนการ Operation ที่ใช้กำหนดจุดอ้างอิงให้เครื่องจักรซีเอ็นซีได้รู้จักระบบพิกัดต่าง ๆ บนชิ้นงานที่ต้องการทำแคม ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 24

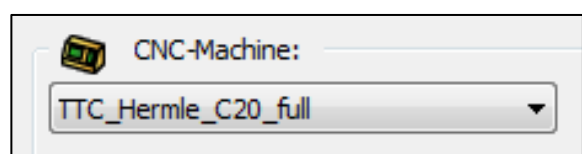


รูปที่ 24 แสดงผลลัพธ์การสร้าง Coordinate system

(ก) Core (ข) Cavity

2.) ผลลัพธ์การสร้าง CNC Machine

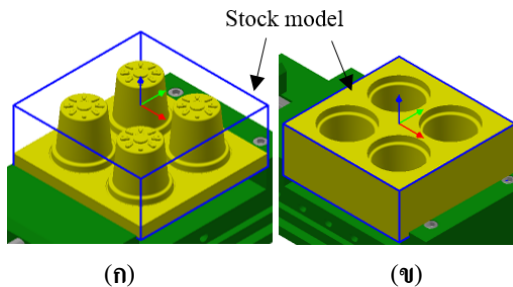
เป็นขั้นตอนการสร้าง CNC Machine ของ Core และ Cavity ซึ่งเป็นขั้นตอนการกำหนดคอนโทรลเลอร์ให้ตรงตามเครื่องจักรที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้จะเลือกเป็นแบบ TTC_Hermle_C20_full ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 แสดงผลลัพธ์การสร้าง TTC_Hermle_C20_full

3.) ผลลัพธ์การสร้าง Stock model

เป็นขั้นตอนการกำหนดรูปแบบ Stock model ในงานวิจัยนี้จะเลือกเป็นแบบชนิด Both และกำหนดรูปแบบเป็น Box โดยจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 26

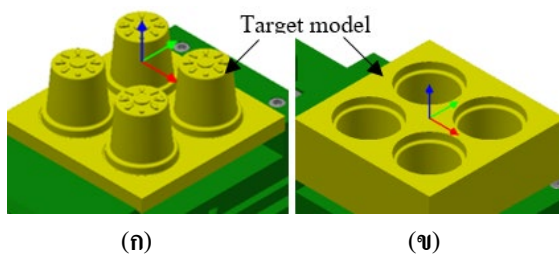


รูปที่ 26 แสดงผลลัพธ์การสร้าง Stock model

(ก) Core (ข) Cavity

4.) ผลลัพธ์การสร้าง Target model

ขั้นตอนการกำหนดรูปแบบ Target model ในงานวิจัยนี้จะเลือกเป็นแบบชนิด Both โดยจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 27

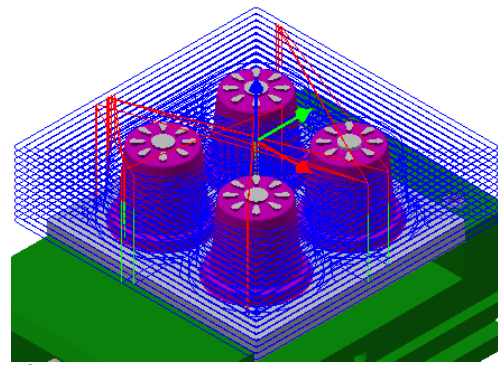


รูปที่ 27 แสดงผลลัพธ์การสร้าง Target model

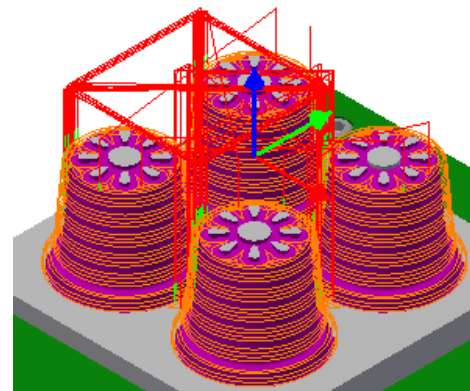
(ก) Core (ข) Cavity

4.3.2 การสร้าง Operation ของ Milling

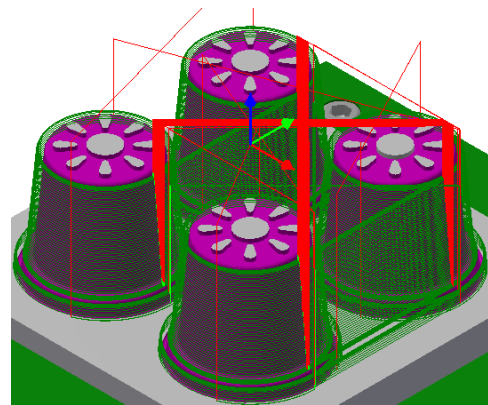
ในการสร้าง Operation ของงาน 3D Milling สำหรับการกัดขึ้นรูปชิ้นงาน Core จะประกอบไปด้วยงานทั้งหมด 4 Operation คือ การกัดหยาบ Roughing ด้วยใบมีด 16 มิลลิเมตร การกัดหยาบ Roughing ด้วยใบมีด 6 มิลลิเมตร การกัดละเอียด Finish ด้วยใบมีด 6 มิลลิเมตร และการกัดละเอียด Finish ด้วยใบมีด 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะได้ผลลัพธ์การสร้างดังรูปที่ 28–32 และได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2



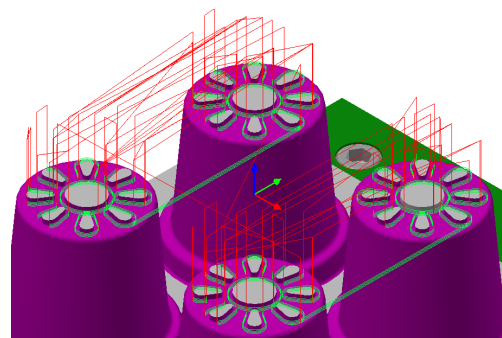
รูปที่ 28 Toolpath การกัดหยาบด้วยใบมีด 16 มิลลิเมตร



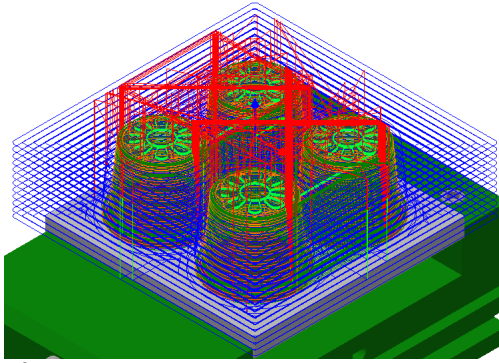
รูปที่ 29 Toolpath การกัดหยาบด้วยใบมีด 6 มิลลิเมตร



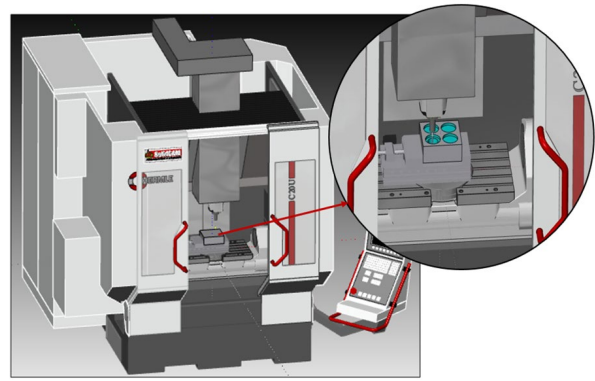
รูปที่ 30 Toolpath การกัดละเอียดด้วยใบมีด 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 31 Toolpath การกัดละเอียดด้วยใบมีด 3 มิลลิเมตร



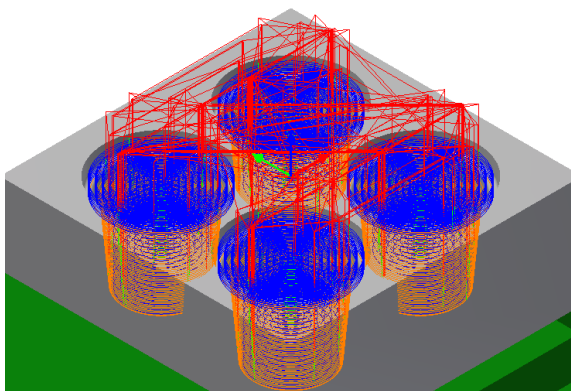
รูปที่ 32 Toolpath ในแต่ละ Operation ของงานกัด Core



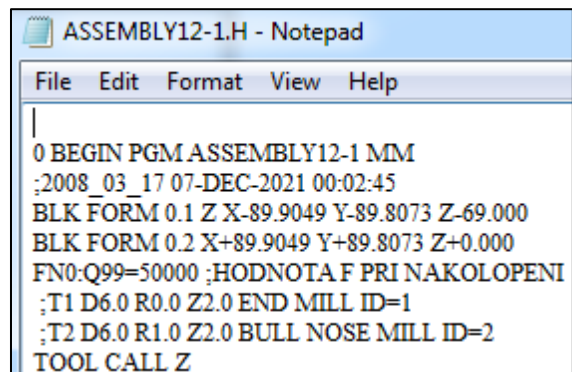
รูปที่ 34 การจำลอง Machine Simulation

4.3.3 การสร้าง Operation ของงาน Pocket

ในการสร้าง Operation ของงาน Pocket สำหรับการกัด ขึ้นรูปชิ้นงาน Cavity จะประกอบไปด้วยงานทั้งหมด 3 Operation คือ การกัดหยาบ Roughing ด้วยใบมีด End mill ขนาด 6 โดยกำหนดค่า Pocket depth เท่ากับ -9 มิลลิเมตร พร้อมทั้งกำหนด Mex Step down ในการกัดหยาบเท่ากับ 3 หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการกัดหยาบ Operation ที่ 2 ด้วย ใบมีด End mill ขนาด 6 โดยกำหนดค่า Pocket depth เท่ากับ -50 มิลลิเมตร พร้อมทั้งกำหนด Mex Step down ในการกัดหยาบเท่ากับ 5 หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการกัดขึ้นรูป ในส่วนงาน Operation ที่ 3 ด้วยดอกกัดแบบ Bull Nose Mill ขนาด 6 มิลลิเมตร ทำการกำหนดขอบเขตการกัดเก็บงานละเอียด จะได้ผลลัพธ์การสร้าง Toolpath ดังรูปที่ 33 และสามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 3 และยังสามารถ จำลอง Machine Simulation ของการผลิตได้ดังรูปที่ 34 พร้อมทั้งสามารถทำการสร้างรูปแบบไฟล์จีโค้ดที่สามารถ นำไปใช้ในการควบคุมเครื่องจักรได้ดังรูปที่ 35



รูปที่ 33 Toolpath ในแต่ละ Operation ของงานกัด



รูปที่ 35 ตัวอย่างรูปแบบจีโค้ดในงานวิจัยนี้

จากตารางที่ 2 และ 3 และการจำลองกระบวนการกัด ขึ้นรูปชิ้นงาน Core และ Cavity ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก กระดาษต้นไม้ของเล่น ผู้วิจัยได้กำหนดค่า Chip load เท่ากับ 0.01 โดยค่า Chip load เป็นค่าตัวแปรแสดงปริมาณ วัสดุที่ถูกตัดออกจากขอบตัดแต่ละชิ้นระหว่างการตัด ซีเอ็นซี โดยผู้วิจัยจะนำค่าตัวแปรมาทำการคำนวณหา ค่าอัตราการป้อน (Feed rate) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการป้อน ค่าให้กับโปรแกรม InventorCAM ซึ่งรูปแบบการคำนวณ อัตราการป้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (9)

$$\text{Feed rate} = \frac{(\text{RPM} \times N \times \text{Cutting dia} \times CT)}{39.374} \quad (9)$$

โดยที่ N = จำนวนฟันกัด

CT = Chip load

$$\text{Feed rate} = (5000 \times 2 \times 0.63 \times 0.01) / 39.374$$

$$= 1.6 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$= 1600 \text{ มิลลิเมตรต่อวินาที}$$

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของงานกัดขึ้นรูปชิ้นงาน Milling

RPM	Tool Size		Operation Milling	Chip load	Feed rate	Time
	mm	inch				
5,000	16	0.63	3D Roughing	0.01	1,600	1:21:35
	6	0.24	3D Roughing	0.01	610	1:45:35
	6	0.24	3D Finish	0.01	610	4:46:16
	3	0.118	3D Finish	0.01	300	0:35:58
6,000	16	0.63	3D Roughing	0.01	1,920	1:10:45
	6	0.24	3D Roughing	0.01	732	1:38:06
	6	0.24	3D Finish	0.01	732	2:31:26
	3	0.118	3D Finish	0.01	360	0:32:29
7,000	16	0.63	3D Roughing	0.01	2,240	1:03:01
	6	0.24	3D Roughing	0.01	854	1:32:57
	6	0.24	3D Finish	0.01	854	2:16:05
	3	0.118	3D Finish	0.01	420	0:29:58

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของงานกัดขึ้นรูปชิ้นงาน Pocket

RPM	Tool Size		Operation Pocket	Chip load	Feed rate	Time
	mm	inch				
5,000	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	0:26:39
	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	2:22:01
	6	0.24	HSS Surface	0.01	610	2:04:35
6,000	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	0:22:31
	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	2:15:13
	6	0.24	HSS Surface	0.01	610	1:55:11
7,000	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	0:19:34
	6	0.24	Pocket Roughing	0.01	610	2:10:23
	6	0.24	HSS Surface	0.01	610	1:48:30

5. สรุปผลของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งรูปแบบการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการออกแบบขึ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ส่วนการจำลองกระบวนการกัดขึ้นรูปพลาสติก และส่วนของการจำลองกระบวนการกัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี จากผลลัพธ์ของการศึกษาทั้งสามส่วนพบว่า การเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมในการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจะช่วย

ลดความซับซ้อนและช่วงเวลาในการออกแบบได้มากขึ้น ส่วนการจำลองกระบวนการกัดด้วยหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า การวางตำแหน่งของเข็มฉีดเนื้อพลาสติกที่เหมาะสม (Gate) จะสามารถช่วยให้กระบวนการกัดมีประสิทธิภาพและลดอัตราการเกิด Short shot (ฉีดไม่เต็ม) ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ในส่วน of ผลลัพธ์ของ Operation Milling และ Pocket ในการกัดขึ้นรูปชิ้นงาน Core และ Cavity ของขึ้นส่วนงานกระถาง

ต้นไม้ของเล่นในตารางที่ 2 และ 3 พบว่า ความเร็วรอบของเครื่องจักรและอัตราการป้อน (Feed rate) จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพงาน และประสิทธิภาพของเครื่องจักรซีเอ็นซี เนื่องด้วยความเร็วรอบและอัตราการป้อนจะสัมพันธ์ไปกับระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละ Operation ถ้าใช้ค่าอัตราการป้อนที่ไม่เหมาะสม สิ่งที่มาในการทำแคมอาจส่งผลต่อชุดไบมีดหรืออายุการใช้งานของไบมีดกัด ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราใช้รอบการหมุนในการทำงานแต่ละ Operation ที่ไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลเสียในเรื่องของพลังงานที่อาจสูญเสียไปในกระบวนการผลิต เป็นต้น ผลงานวิจัยทั้งสามส่วนสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบ และศึกษาในเรื่องการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในแบบต่าง ๆ ได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการนี้ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ทำงานวิจัยและการใช้เครื่องมือต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Nazma, Md. Raihan Quader, Md. Jakaria and Md. H. Rahmn, "SolidCAM iMachining (2D): A Simulation Study of a Spur Gear Machining and G-code Generation for CNC Machine," *International Journal of Mechanical Engineering and Automation*, vol. 3, no. 1, p. 1–9, 2016.
- [2] M. P. Groover and E. W. Zimmers, "Conventional Numerical Control," in: *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc, 1984, pp. 113
- [3] F. David and H. Ron, "CNC Machining Plastic Injection Mold Plates in the Classroom," in *37th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Milwaukee, WI, USA, Oct. 10–13, 2007, pp. 12–17, doi: 10.1109/FIE.2007.4417886.
- [4] P. Izol, M. Tomas and J. Beno, "Milling strategies evaluation when simulating the forming dies functional surfaces production," *De Gruyter Open Eng*, vol. 6, pp. 98–105, 2016, doi: 10.1515/eng-2016-0013.
- [5] J. Varga and E. Spisak, "Influence of the milling strategies on roundness of machined surfaces," *Acta Mechanica Slovaca*, vol. 24, no. 3, pp. 20–27, 2020, doi: 10.21496/ams.2020.001.
- [6] M. Ficko, J. balic, I. Pahole, J. Senveter, S. Brezovnik and S. Klancnik, "Expectations of automatic programming of CNC machine tool," *Advances in Production Engineering and Management*, vol. 5, no. 3, pp. 193–199, 2000.
- [7] Z. Rutkauskas and A. Bargelis, "Knowledge – based method for gate and cold runner definition in injection mold design," *Mechanika open access*, vol. 4, no. 66, p. 49–54, 2007.
- [8] L. Werayoot, "The design of Plastic Injection Mold using Finite Element Analysis," *Narasuan University Engineering Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 101–109, 2016.
- [9] O. Thanit and T. Prawit, "Analysis of the Flow front on the Cup of Injection Mold." Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand, Research. Rep. 1–97, 2014.
- [10] L. Dalio, R. Francesco, B. Federico, C. Matteo, Q. Danilo, Z. Yang and T. Guido, "Experimental Validation of Injection Molding Simulations of 3D Micro parts and Micro Structured Components Using Virtual Design of Experiments and Multi-Scale Modeling," *Micromachines*, vol. 11, no. 6, pp. 614, 2020, doi: 10.3390/mi11060614.
- [11] H. H. Chang, C. A. Hieber and K. K. Wang, "A unified Simulation of the Filling and Post-Filling Stages in Injection Molding. Part I Formulation," *Polymer Engineering & Science*, vol. 31, no. 2, pp. 116–124, 1991, doi: 10.1002/pen.760310210.