



การออกแบบโปรแกรมกำหนดเส้นทางการกัดชิ้นงานโดย CNC แบบหลายหัวกัดในแนวแกน Z  
The design of tool part generating program for multiple Z-axis CNC machine.

ชาครินทร์ พรหมเดช<sup>1</sup>, เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์<sup>1</sup> และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

\*ติดต่อ: E-mail: char131030@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 083-0745271

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบโปรแกรมกำหนดเส้นทางการกัดชิ้นงานสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบทำงานหลายหัวอิสระต่อกัน ซึ่งเครื่องกัดดังกล่าวถูกออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับการกัดแผ่นยางรองเท้าเพื่อผู้ป่วยเบาหวานอันเนื่องมาจากแผลกดทับ โดยการเพิ่มหัวกัดจะทำให้สามารถลดเวลาการกัดแผ่นรองเท้าที่ต้องออกแบบเฉพาะสำหรับผู้ป่วยแต่ละคนได้มาก โปรแกรมดังกล่าวสามารถสร้างจีโค้ดมาตรฐานสำหรับเครื่องซีเอ็นซีทั่วไปแต่ดัดแปลงให้มีแกน Z เพิ่มขึ้นซึ่งลดเวลาการกัดชิ้นงานได้เป็นจำนวนเท่าตัวของจำนวนหัวกัด ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กับเครื่องซีเอ็นซีที่มีหัวกัดแกน Z เคลื่อนที่อิสระสามหัว โดยโปรแกรมยังสามารถวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนในทิศทาง X และ Y เพื่อตัดสินใจในการสร้างเส้นทางเดินของหัวกัด ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการกัดลงได้อีก ด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวทั้งในทิศทาง X และ Y หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมดังกล่าวโดยเฉลี่ยทั้งพื้นผิวในแต่ละเส้นทาง หลังจากนั้นโปรแกรมจะสร้างเส้นทางของดอกกัดโดยของทั้งสามหัวกัดให้เคลื่อนที่เป็นแนวยาวขนานไปกับแนวที่มีการกระเพื่อมเฉลี่ยน้อยที่สุดนั้น จากการทดสอบในกรณีพื้นผิวมีความแตกต่างของอัตราการกระเพื่อมระหว่างแนวแกน X และ Y อย่างต่อเนื่องเช่นรูปลอนกระเบื้อง จะทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่และขนาดความยาวของโค๊ดแตกต่างกันมากกว่าสองเท่า

**คำหลัก:** ซีเอ็นซี, จีโค้ด, หลายหัวกัด

**Abstract**

This research was a development of a tool path programming which determines the tool path for multiple spindle CNC milling machine. The independent multiple spindle CNC milling machine was developed in order to manufacture foot insole especially made for foot ulcer treatment in diabetic patients. By increasing the number of spindles, the production time can be greatly reduced. The program can generate standard G-Code for typical CNC machines by adding the multiple Z-axes which can reduce working time in proportion to the number of axes. In this research three independent Z-axes were used as the test system. In addition to the G-Code generation along X-Y axes, the program can be used to analyze the fluctuation of tool path in Z direction. Because the X-Y direction was fixed for all spindles, the amount of movement in Z direction cause more total working time especially when a short travel Z axis has to wait for longer travel of another Z-axis. This technique was made by comparing fluctuation of surface in both X and Y directions. After making an average of all tool paths, the program chooses the minimum oscillation of the spindle travels. A set of experiments was

established and shown the result of this programming development. On a sample model with high different surface fluctuation such as the roof tile figure, the tool path and code made by this program can be more than twice shorter.

**Keywords:** CNC, G-code, multiple spindles

## 1. บทนำ

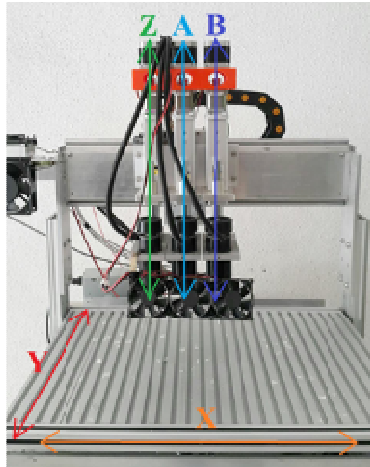
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้หันมาใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรแทนการใช้แรงงานคน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่ต่อเนื่องและสามารถควบคุมตรวจสอบความผิดปกติได้ง่าย ทำให้ชิ้นงานมีความถูกต้องเที่ยงตรงมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับชิ้นงานได้อีกด้วย โดยอาศัยเทคโนโลยี CAD/CAM และ CNC มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต เครื่องจักร CNC (Computer Numerically Controlled) มีบทบาทในการผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา และกลายเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีการผลิตและพัฒนาออกมาใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านต่างๆ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกศึกษาเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) แบบ 3 แกน ในการนำมาทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานแผ่นรองเท้าเฉพาะสำหรับผู้ป่วยแต่ละคน ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการรักษาน้อยลง ถึงอย่างไรก็ดีขั้นตอนการผลิตแผ่นรองเท้าในปัจจุบันต้องใช้เวลานาน โดยคู่หนึ่งๆจะใช้ระยะเวลาในการผลิตประมาณ 7 วันและมีราคาค่อนข้างสูง มีการผลิตที่ซับซ้อน เป็นอันมาก และถึงแม้จะนำเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในเรื่องของการสแกนเก็บข้อมูลฝ่าเท้าเพื่อนำไปออกแบบและผลิตเป็นแผ่นพื้นรองเท้า ถึงแม้จะใช้เวลาลดลงมาเหลือเพียง 2-3 ชั่วโมงในกระบวนการผลิต แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ป่วยที่มีเป็นจำนวนมากได้ [1], [2]

เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) แบบ 3 แกน ในแบบมาตรฐานนั้น ประกอบไปด้วย แกนเคลื่อนที่ X,Y,Z และมีหัวกัด 1 หัว แต่เนื่องจากปัญหาที่พบในเรื่องของเวลาการผลิตทำให้มีการคิดออกแบบ

เครื่องจักรซีเอ็นซีที่สามารถทำการก๊อปปี้ชิ้นงานได้ ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนชิ้นงานได้มากขึ้นต่อการกัดชิ้นงาน 1 ครั้ง โดยเป็นการเพิ่มจำนวนหัวกัดที่ติดตั้งในแกน Z ซึ่งเป็นการออกแบบให้เหมาะสมกับการผลิตรูปแบบชิ้นงานที่เหมือนเดิมซ้ำๆ ดังรูป 1 [3],[4],[5] อาทิเช่น การผลิตเหยื่อปลอมสำหรับตกปลา แต่เนื่องจากการผลิตแผ่นพื้นรองเท้าทำไม่ได้เป็นการแบกก๊อปปี้ชิ้นงานจึงทำให้ทางทีมงานวิจัยได้ทำการปรับปรุงเครื่องกัดซีเอ็นซีใหม่โดยทำการเพิ่มจำนวนหัวกัดขึ้นในที่นี้ได้ออกแบบให้มี 3 หัวกัดติดตั้งในแกน Z ที่สามารถเคลื่อนที่อิสระต่อกันได้ ดังรูป 2 ทำให้ต้องมีการออกแบบโปรแกรมกำหนดเส้นทางการกัดชิ้นงานโดย ซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดในแนวแกน Z ซึ่งพบว่าการทำหนดทิศทางของเครื่องตัดของดอกกัน และการสร้างเส้นทางการกัดชิ้นงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพในการกัดมากที่สุดเป็นเงื่อนไขในการออกแบบ



รูปที่ 1 ซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดเคลื่อนที่พร้อมกันในแกน Z



รูปที่ 2 ซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดเคลื่อนที่อิสระกันในแกน Z

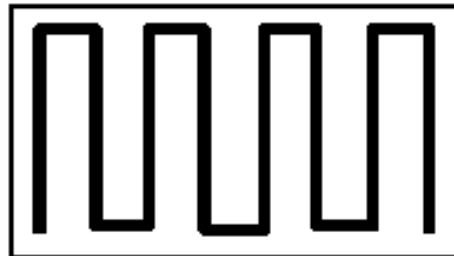
ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการสนับสนุนการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระต่อกัน โดยโปรแกรมสามารถวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่เข้าซ้อนในพิกัด X และ Y เพื่อตัดสินใจในการสร้างเส้นทางการเดินของหัวกัด เพื่อลดเวลาในการกัดลง ด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวทั้งในทิศทาง X และ Y หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมดังกล่าวโดยเฉลี่ยทั้งพื้นผิวในแต่ละเส้นทางการแล้วจึงนำไปทำการสร้างชุดคำสั่งรหัสจี (G-Code) แต่ดัดแปลงให้มีแกน A , B เพิ่มเข้ามาสำหรับควบคุมการทำงานของดอกกัดอิสระ

**2. กระบวนการดำเนินงานวิจัย**

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบโปรแกรมกำหนดเส้นทางการกัดชิ้นงานสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบทำงานหลายหัวอิสระต่อกัน จากไฟล์ \*.STL เพื่อสร้างจีโค้ดมาตรฐานสำหรับเครื่องซีเอ็นซีทั่วไปแต่ดัดแปลงให้มีแกน Z เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถลดเวลาการกัดชิ้นงานได้เป็นจำนวนเท่าตัวของจำนวนหัวกัด

โดยในการออกแบบเส้นทางการกัดชิ้นงานทางผู้วิจัยได้เลือกการกัดแบบสลับฟันปลาแบบไม่ย้อนกลับเป็นเงื่อนไขในการสร้างรหัสจี (G-Code) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่เข้าซ้อนในพิกัด X และ Y ในการตัดสินใจสร้างเส้นทางการเดินของหัวกัด โดยใช้เทคนิค

การเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิว เพื่อหาความสัมพันธ์ในการนำไปพัฒนาเป็นฟังก์ชันการกำหนดทิศทาง การเรียงตัวของดอกกัด และรูปแบบของเส้นทางการกัดที่เหมาะสม และใช้เวลาที่น้อยที่สุด



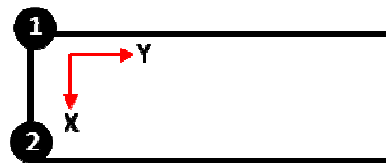
รูปที่ 3 การกัดแบบสลับฟันปลาแบบไม่ย้อนกลับ

**2.1 โปรแกรมกำหนดเส้นทางการกัดชิ้นงานสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระต่อกันในแกน Z**

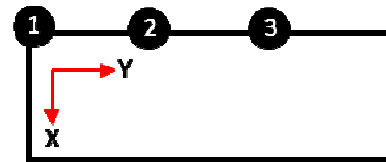
เนื่องจากจำนวนดอกกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีฟังก์ชันในการกำหนดเงื่อนไขก่อนทำการสร้างเส้นทางการกัดชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย โดยจุดที่มีการเพิ่มการทำงานมีดังต่อไปนี้

**2.1.1 การเรียงตัวของดอกกัด**

ในการที่มีหัวกัดอิสระในแกน Z ถึง 3 หัว ทำให้มีเงื่อนไขในการเรียงตัวของดอกกัดเพิ่มขึ้น โดยจะมีการเรียงตัวในแกนพิกัด X และ Y



รูปที่ 4 ดอกกัดเรียงตัวในแกนพิกัด X

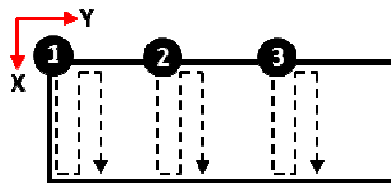


รูปที่ 5 ดอกกัดเรียงตัวในแกนพิกัด Y.

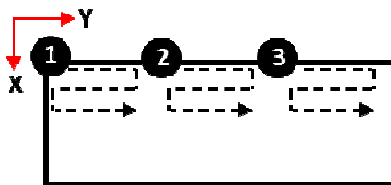
ในการกำหนดการเรียงตัวของดอกกัดให้ถูกต้องมีผลทำให้เครื่องซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดสามารถที่จะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อดอกกัดสามารถทำงานกัดชิ้นงานได้พร้อมๆกันจึงจะทำให้สามารถลด Cycle time ในการผลิตชิ้นงานลงได้

### 2.1.2 การสร้างเส้นทางการกัดแบบสลับฟันปลาแบบไม่ย้อนกลับของ 3 หัวกัด

จากจำนวนดอกกัดที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาทำการสร้างรูปแบบเส้นทางการกัดขึ้นสามารถสร้างได้ด้วยกัน 2 แบบ โดยแบบออกเป็น 1.) เส้นทางการกัดตามแนวตั้งฉากกับดอกกัดที่เรียงตัว 2.) เส้นทางการกัดตามแนวขนานกับดอกกัดที่เรียงตัว



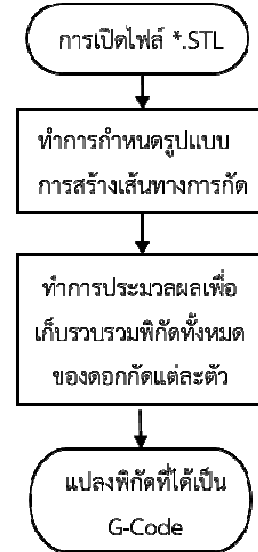
รูปที่ 6 เส้นทางการกัดตามแนวตั้งฉากกับดอกกัด



รูปที่ 7 เส้นทางการกัดตามแนวขนานกับดอกกัด

จากการทดลองการทำงานของ Mach3 พบว่าการเคลื่อนที่ในของแกน Z ที่มีความอิสระต่อกัน เครื่องจะมีการรอคอยเกิดขึ้นเพื่อให้ตำแหน่งในแกน Z เข้าที่ก่อนถึง จะทำการเคลื่อนที่ต่อไป ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้การกัดชิ้นงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระต่อในแกน Z ใช้เวลาดลลงได้ไม่เท่าที่ควรจะเป็นหาที่มีการเลือกเส้นทางการกัดที่มีความแตกต่างของดอกกัดแต่ละดอกสูง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่ต้องการหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของดอกกัดที่เหมาะสมด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความผันผวนของแกน Z เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการกัดชิ้นงานจริง

### 2.2 แผนผัง Flow Chart การสร้าง G-Code



รูปที่ 7 ขั้นตอนการสร้างจีโค้ดของเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ

ทำงานหลายหัวอิสระต่อกันในแกน Z

เนื่องจากการจำนวนดอกกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลพิกัดของแต่ละดอกกัดมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของพื้นที่การกัดในแต่ละครั้งของการทำงานของดอกกัด ทำให้จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนการเก็บข้อมูลพิกัดชิ้นงานแบบเป็นลูการทำงานโดยอาศัยสมการดังนี้

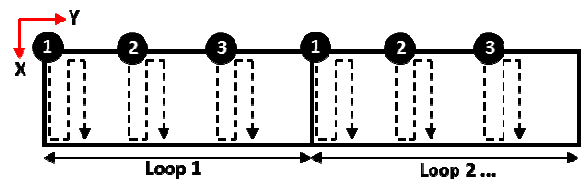
$$Lp = BAxis / (Pitch \times N) \quad (1)$$

Lp = จำนวนลูในการเก็บข้อมูลพิกัด

BAxis = ขอบเขตของโมเดลที่สนใจในทิศทางเดียวกันกับการเรียงตัวของดอกกัด

Pitch = ระยะห่างระหว่างดอกกัด

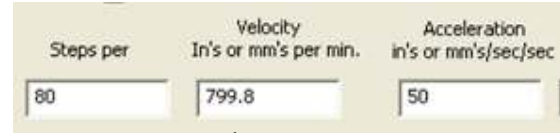
N = จำนวนของดอกกัด



รูปที่ 8 ลูปในการสร้างเส้นทางการกัด

จากนั้นเป็นกาสร้างเส้นทางการกัดของดอกกัดอิสระสามหัวทำการเก็บค่าไว้ในคำสั่งที่สร้างไว้ โดยเมื่อจบการสร้างจะต้องมีการตรวจสอบว่ายังมีค่าในการวนซ้ำอยู่

หรือไม่ถ้ามีก็จะทำการสร้างเส้นทางการกัดอีกครั้งโดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นในการกัด ถัดไปเป็นการประมวลผลเพื่อทำการรวมตำแหน่งของดอกกัดทั้งสามหัวแล้วสร้างเป็น G-Code ที่มีแกน X , Y , Z , A , B.



รูปที่ 11 การตั้งค่ามอเตอร์ในแต่ละแกน

```
G-Code :
N00063 G01 Y-69.000 A-2.0756 B-2.0756
N00064 G01 Y-70.000 A-2.6408 B-2.6408
N00065 G01 Y-71.000 A-3.2477 B-3.2477
N00066 G01 X1.000 Y-71.000 Z-3.2477 A-3.2477 B-3.2477
N00067 G01 Y-70.000 Z-2.6408 A-2.6408 B-2.6408
N00068 G01 Y-69.000 Z-2.0756 A-2.0756 B-2.0756
N00069 G01 Y-68.000 Z-1.5623 A-1.5623 B-1.5623
```

รูปที่ 9 G-Code ที่ได้จากโปรแกรม

2.3 การตั้งค่าโปรแกรม Mach3 สำหรับทดสอบ

การตั้งค่าเพื่อรองรับ G-Code ที่มีการแกน X,Y,Z, A ,B ของโปรแกรม Mach3 CNC Controller นั้นจะต้องมีการเปิดใช้งานแกน A และ B เพิ่มขึ้นเพื่อให้โปรแกรมสามารถที่จะรัน G-Code ที่สร้างขึ้นมาได้ และทำการตั้งค่าการทำงานของมอเตอร์ในแกนต่างๆ สำหรับทำการทดสอบการทำงาน

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#
X Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	2	6
Y Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	3	7
Z Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	4	8
A Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	5	9
B Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	10	11

รูปที่ 10 การเปิดพอร์ตสำหรับแกน A และ B

ตารางที่ 1 ตั้งค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

Setup	X Axis	Y Axis	Z Axis	A Axis	B Axis
Steps per	80	80	80	80	80
Velocity	1200	1200	800	800	800
Acceleration	100	100	50	50	50

2.4 การทดลองเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมในการกัด

จากปัญหาที่พบเกี่ยวกับการกำหนดทิศทางการเรียงตัวของดอกกัดและการกำหนดรูปแบบเส้นทางการกัด ชี้แจงงานให้สามารถลดเวลาในการผลิตชิ้นงานได้น้อยที่สุด จึงเป็นสิ่งที่ทางผู้วิจัยได้เลือกดำเนินการศึกษาด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวทั้งในทิศทาง X และ Y เพื่อหาเส้นทางที่ใช้ในการสร้างเส้นทางการกัดชิ้นงานที่ใช้เวลาในการกัดน้อยที่สุด โดยดูจากการสุ่มค่าก่อนการสร้าง G-Code สำหรับควบคุม CNC

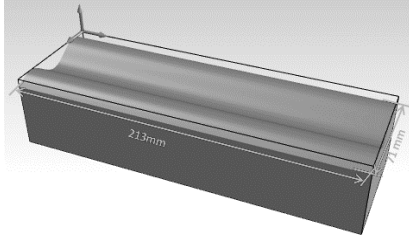
$$Fluc = \sum_{i=1}^n (|Pz_{i+1} - Pz_i|) \quad (2)$$

Fluc = ผลรวมค่าความผันผวนในพิกัดแกน Z

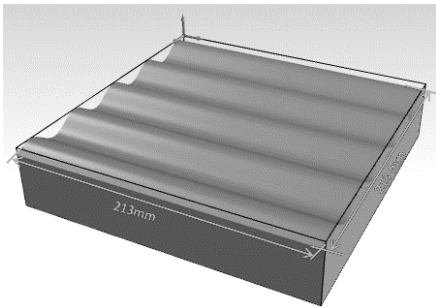
Pz = พิกัดแกน Z

ซึ่งได้ทำการสร้างโมเดลที่ใช้ในการทดลองขึ้นมาด้วยกัน 2 โมเดลดังรูป เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้จากการสุ่มจุดต่างๆบนพื้นผิวของโมเดลสามมิติ โดยเก็บไว้ในตัวแปรอาเรย์ที่ละแถว ซึ่งทำให้การเก็บข้อมูลจากโมเดลสามมิติมีอยู่ด้วยกัน 4 กรณีคือ

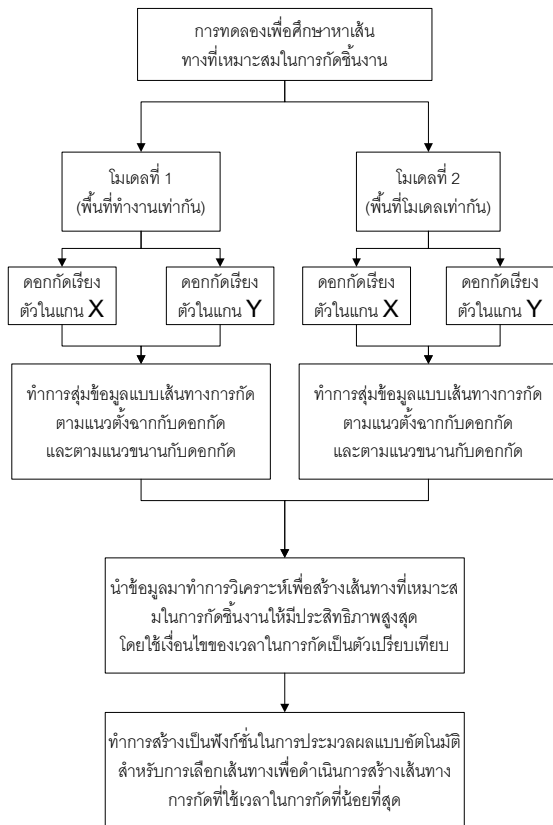
1. ดอกกัดเรียงตัวในแกน X เก็บข้อมูลตามเส้นทางการกัดแบบที่ 1
2. ดอกกัดเรียงตัวในแกน X เก็บข้อมูลตามเส้นทางการกัดแบบที่ 2
3. ดอกกัดเรียงตัวในแกน Y เก็บข้อมูลตามเส้นทางการกัดแบบที่ 1
4. ดอกกัดเรียงตัวในแกน Y เก็บข้อมูลตามเส้นทางการกัดแบบที่ 2



รูปที่ 12 โมเดลที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบการกีดบนพื้นที่ที่เท่ากันในแต่ละดอกกีด



รูปที่ 13 โมเดลที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบการกีดบนพื้นที่ที่ขึ้นงานที่เท่ากัน



รูปที่ 14 แผนผังการทดลองเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการสร้างเส้นทางการกีดชิ้นงาน

2.4 ผลการทดลอง

2.4.1 การเปรียบเทียบทิศทางการเรียงตัวของดอกกีดและค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวของโมเดลที่ 1

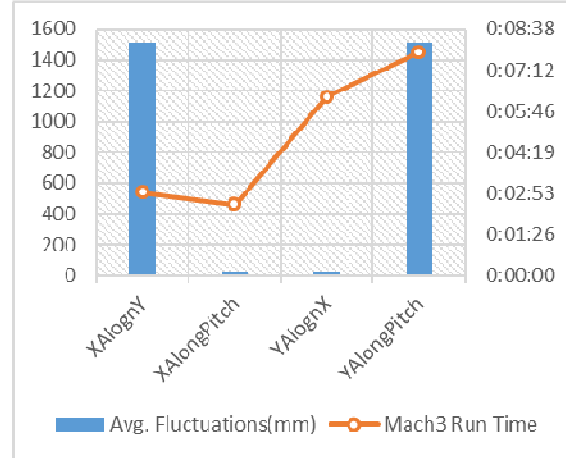
จากการสุ่มจุดต่างๆบนพื้นผิวสามมิติของโมเดลที่ 1 ในตารางที่ 2 พบว่าการเรียงตัวของดอกกีดในแกน X นั้น ดอกกีดสามารถที่จะทำงานพร้อมกันได้สามดอกกีด ส่งผลให้การกีดชิ้นงานใช้เวลาลดลงเมื่อเทียบกับตารางที่ 3 การเรียงตัวของดอกกีดในแกน Y ซึ่งพบว่ามียอดดอกกีดเพียงดอกเดียวที่กีดชิ้นงาน เมื่อดูจากระยะทางที่คำนวณจากจุดที่ทำการสุ่มที่มีความละเอียด 20 จุดต่อเส้นโดยมีด้วยกัน 20 เส้นนั้น ระยะทางที่ได้มีความแตกต่างกันสูงมาก ระหว่างการเรียงตัวของดอกกีดในแกน X และ Y ซึ่งเมื่อดูในส่วนของการกระเพื่อมของพื้นผิวในแกน Z พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบของโมเดลที่ 1 โดยดอกกีดเรียงตัวในแกน X

Tool No.	Detail	ScanX AlongY	ScanX AlongPitch
1	Avg. Height	41.05	41.05
	Distance	7242.44	6889.28
	Avg. Fluctuations	1516.80	29.21
	%Hit	100.00	100.00
2	Avg. Height	41.05	41.05
	Distance	7242.44	6889.28
	Avg. Fluctuations	1516.80	29.21
	%Hit	100.00	100.00
3	Avg. Height	41.05	41.05
	Distance	7242.44	6889.28
	Avg. Fluctuations	1516.80	29.21
	%Hit	100.00	100.00
Mach3 Run Time		00:02:54	00:02:29

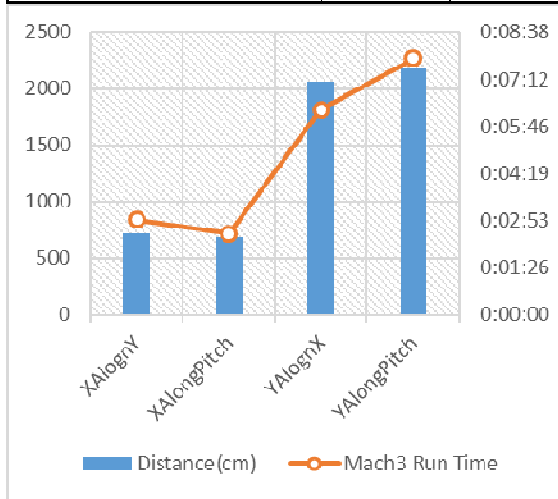
ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบของโมเดลที่ 1 โดยดอ กัด เรียงตัวในแกน Y

Tool No.	Detail	ScanY AlognX	ScanY AlongPitch
1	Avg. Height	41.05	41.05
	Distance	20665.55	21744.35
	Avg. Fluctuations	29.21	1516.80
	%Hit	100.00	100.00
2	Avg. Height	-	-
	Distance	-	-
	Avg. Fluctuations	-	-
	%Hit	-	-
3	Avg. Height	-	-
	Distance	-	-
	Avg. Fluctuations	-	-
	%Hit	-	-
Mach3 Run Time		00:06:16	00:07:50



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมในแกน Z ต่อ เวลา ของโมเดลที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าการ เรียงตัวของดอ กัดในแกน X สามารถที่จะกัดชิ้นงาน พร้อมๆกันทั้งสามดอ กัดได้ ซึ่งต่างจากการเรียงตัวใน แกน Y ที่มีดอ กัดที่สามารถกัดชิ้นงานได้เพียงดอ กเดียว ทำให้ใช้เวลาในการกัดมากกว่า เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติม ในส่วนของตารางที่ 2 เป็นการเรียงตัวของดอ กัดในแกน X พบว่าการกัดชิ้นงานตามแนวขนานกับทิศทางของดอ ก กั้นนั้นใช้เวลาในการกัดที่น้อยที่สุด และเมื่อดูค่าการ กระเพื่อมของผิวในแกน Z พบว่าเป็นด้านที่มีค่าน้อย จาก ข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถที่จะเลือกทิศทางการเรียงตัว ของดอ กัดในแกน X และ รูปแบบการกัดเป็นแบบซิก แซกขนานไปกับการเรียงตัวของดอ กัด เพื่อนำมาสร้าง เส้นทาง การกัดให้กับเครื่องซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระ ต่อ กันในแกน Z แล้วสามารถที่จะทำให้สามารถกัด ชิ้นงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม 2.5 เท่าของหนึ่งดอ กัด



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบระยะทางต่อเวลา

#### 2.4.2 การเปรียบเทียบทิศทางการเรียงตัวของดอ กัด และค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวของโมเดลที่ 2

จากการสุ่มจุดต่างๆบนพื้นผิวของโมเดลสามมิติของ โมเดลที่ 2 ในตารางที่ 4 และ 5 พบว่าเมื่อดอ กัดทั้งสาม กัดชิ้นงานเหมือนกันทั้งในการเรียงตัวในแกน X และ Y ซึ่งเมื่อดูจากระยะทางที่คำนวณจากจุดที่ทำการสุ่มที่มี

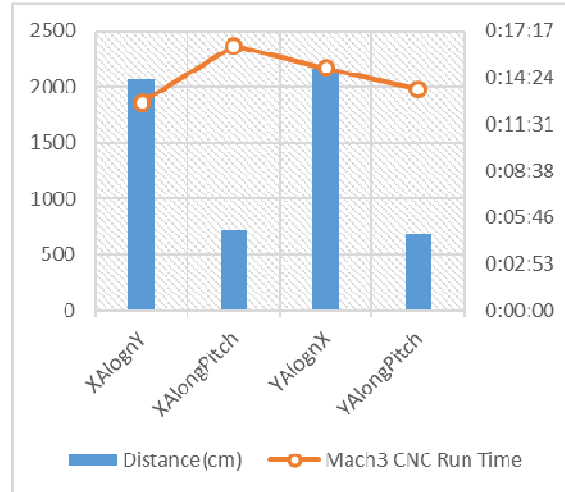
ความละเอียด 20 จุดต่อเส้นโดยมีด้วยกัน 20 เส้นนั้น ระยะทางที่ได้มีความแตกต่างกันไม่มากเมื่อดอกกัดเรียงตัวในแกน X และ Y ดังรูปกราฟที่ 17 ซึ่งเมื่อดูในส่วนของการกระเพื่อมของพื้นผิวในแกน Z พบว่าค่าที่ได้แตกต่างกันสูง

ตารางที่ 4 ข้อมูลเปรียบเทียบของโมเดลที่ 2 โดยดอกกัดเรียงตัวในแกน X

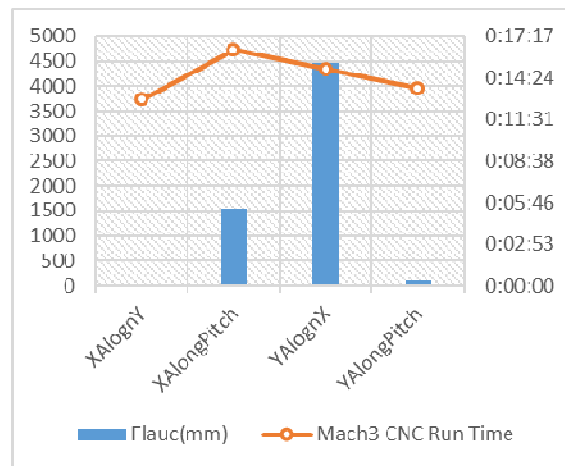
Tool No.	Detail	ScanX AlongY	ScanX AlongPitch
1	Avg. Height	41.16	41.16
	Distance	20665.55	7247.75
	Avg. Fluctuations	29.22	1506.18
	%Hit	100.00	100.00
2	Avg. Height	39.27	39.27
	Distance	20665.55	7249.14
	Avg. Fluctuations	29.28	1549.20
	%Hit	100.00	100.00
3	Avg. Height	41.56	41.56
	Distance	20665.55	7248.70
	Avg. Fluctuations	29.25	1548.29
	%Hit	100.00	100.00
Mach3 Run Time		00:12:53	00:16:21

ตารางที่ 5 ข้อมูลเปรียบเทียบของโมเดลที่ 2 โดยดอกกัดเรียงตัวในแกน Y

Tool No.	Detail	ScanY AlongX	ScanY AlongPitch
1	Avg. Height	40.66	40.66
	Distance	21703.84	6896.17
	Avg. Fluctuations	4471.76	86.79
	%Hit	100.00	100.00
2	Avg. Height	40.66	40.66
	Distance	21703.85	6896.17
	Avg. Fluctuations	4471.77	86.79
	%Hit	100.00	100.00
3	Avg. Height	40.66	40.66
	Distance	21703.84	6896.17
	Avg. Fluctuations	4471.76	86.79
	%Hit	100.00	100.00
Mach3 Run Time		00:14:59	00:13:41



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบระยะทางต่อเวลาต่อเวลาของโมเดลที่ 2



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่าการกระเพื่อมในแกนZ ต่อเวลาของโมเดลที่ 2

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 ซึ่งดอกกัดสามารถทำงานได้พร้อมกันทั้งสามดอกกัด พบว่าเมื่อดอกกัดเรียงตัวในแกน X และกัดตามแนวตั้งฉากกับการเรียงตัวของดอกกัดซึ่งเป็นทิศทางที่กัดไปตามสันของลอนทำให้ได้ระยะทางในการกัดมากกว่าการกัดตามแนวขนานกับการเรียงตัวของดอกกัดซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับลอน เมื่อดูจากกราฟที่ 18 จะเห็นว่าค่าการกระเพื่อมของผิวในแกน Z ของการกัดตามแนวตั้งฉากกับการเรียงตัวของดอกกัดมีค่าที่น้อยกว่าทิศทางที่ขนานกับดอกกัด และจากผลการทดลองในตารางที่ 5 ดอกกัดเรียงตัวในแกน Y ซึ่งขนาน





กับลอน พบว่าเมื่อกัดตามแนวตั้งฉากกับการเรียงตัวของดอกกัดซึ่งเป็นการกัดไปตามทิศทางเดียวกับลอนทำให้ได้ระยะทางในการกัดมากกว่าการกัดตามขนานกับการเรียงตัวของดอกกัด และเมื่อดูจากกราฟที่ 18 จะเห็นว่าค่าการกระเพื่อมของผิวในแกน Z ของการกัดตามแนวขนานกับการเรียงตัวของดอกกัดมีค่าที่น้อยกว่าทิศทางที่ตั้งฉากกับดอกกัด เมื่อนำข้อมูลของการเรียงตัวของดอกกัดในทิศทาง X และ Y มาพิจารณาแล้วพบว่าเส้นทางการกัดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ใช้เวลาในการกัดชิ้นงานลดลงได้มากที่สุดเป็นเส้นทางการกัดที่กัดไปตามสันของลอนซึ่งมีการกระเพื่อมของผิวในแกน Z น้อยที่สุด และดอกกัดเรียงตัวในแกน X ซึ่งเรียงตัวตามแนวลอน

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้ทำการทดลองพบว่าทางเลือกเส้นทางการกัดที่เหมาะสมจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบการทำงานพร้อมกันของดอกกัด ซึ่งมีการเรียงตัวในแต่ละแกนก่อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานคู่ขนานกันมากที่สุด แล้วจึงต้องทำการหาค่าการกระเพื่อมของผิวในแกน Z ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยให้เป็นการสร้างเส้นทางการกัดชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระในแกน Z สามารถกัดชิ้นงานออกมาด้วยเวลาที่น้อยที่สุด 2 – 3 เท่า

### 3. สรุปผลการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการออกแบบฟังก์ชันในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการสร้างเส้นทางการกัดชิ้นงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีแบบทำงานหลายหัวอิสระต่อกัน พบว่าค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวมีผลกระทบกับการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีแบบหลายหัวกัดอิสระเพราะจะทำให้เกิดการรอคอยซึ่งกันและกัน ทำให้ใช้เวลาในการกัดชิ้นงานนานขึ้นหากค่าการกระเพื่อมของระนาบพื้นผิวมีค่าสูง และทำให้ขนาดความยาวของโค็ดแตกต่างกันมากกว่าสองเท่า

### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณนายพงศ์พันธ์ วาหะสุนทรพงศ์ ที่ให้ใช้เครื่องซีเอ็นซีแบบสามหัวกัดอิสระ ในการทดสอบ G-Code

### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Monsak Pimsarn, Pongpun W.: Novel method of foot sole surface generation for insole manufacturing, ME-NETT 25th, 2011
- [2] Monsak Pimsarn, Pongpun W.: Effectiveness of milled-insole in plantar pressure reduction, TSME-ICOME 5th, 2014
- [3] Hong-Tzong Yau , Lee-Sen Tsou.: Effeciet NC Simulation for Multi-Axis Solid Machining With a Universal APT Cutter. Journal of Computing and Information Science in Engineering by ASME Jun 2009 , Vol. 9/021001-1
- [4] Hao TONG , Jing CUL , Yong LI , Yang WANG.: CAD/CAM Intergration System of 3D Micro EDM. MicroNanoChina07 Jan 2007 , MNC2007-21271.
- [5] Zhenyu Cheng , Wei Li, Robert Cheatham , Jianguo Wang.: A Direct Machining System for Commercial CAD/CAM Packages. 2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Nov. 13-20,2004 , IMECE2004-59992.