

แบบจำลองประเมินความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบนชิ้นงาน ที่ถูกจับยึดด้วยตัวจับชิ้นงานก่อนกระบวนการตัด

A Model to Evaluate Deviation of Cutting Positions on a Fixtured Workpiece Prior to Machining

กุลภัทร์ ทองแก้ว^{1*} สุภาพรณ ไชยประพัทธ์² และ เจริญยุทธ เดชวายุกุล³

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตที่ต้องอาศัยความเที่ยงตรงสูง (High Precision Machining) เช่น ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ แม่พิมพ์ และคอมพิวเตอรื ผลจากความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยอาจก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่าสูง ก่อนเริ่มกระบวนการผลิต ชิ้นงานถูกจับยึดบนเครื่องจักรด้วยฟิกซ์เจอร์ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน หากตำแหน่งชิ้นงานเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็นตำแหน่งการตัดก็จะผิดพลาดไปด้วย งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์คือ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบนชิ้นงานก่อนเริ่มต้นกระบวนการตัด โดยแบ่งการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดเป็นสองขั้นตอนด้วยกันคือ 1. การประเมินในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน ซึ่งผู้วิจัยได้นำหลักการการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) มาทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจจับตำแหน่ง (Position) และลักษณะการจัดวาง (Orientation) ของชิ้นงานที่เบี่ยงเบนไปในขณะที่วางอยู่ในฟิกซ์เจอร์ และ 2. การประเมินในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน ผู้วิจัยได้นำระเบียบวิธีการ

ทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงานที่มีสาเหตุมาจากแรงในการจับยึด และส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากงานวิจัยแสดงถึงลักษณะความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดพื้นผิวด้านบนของชิ้นงานที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตัดชิ้นงานตามเส้นทางการเดินใบมีดที่ออกแบบไว้ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ประเมินได้นี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบตำแหน่งและทิศทางการตัดของใบมีดให้สอดคล้องกับความคลาดเคลื่อนนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำและเป็นแนวทางในการกำหนดระยะพิคัดเพื่อที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตต่อไป

คำสำคัญ: ฟิกซ์เจอร์ ตัวกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน ตัวจับยึดชิ้นงาน ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด

Abstract

Errors even of very small fraction in a precision manufacturing process could cause significant losses. Fixturing workpiece is an

¹ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

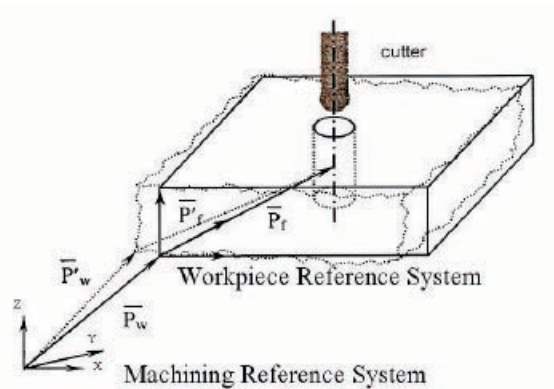
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6698-6969 E-mail: kullapatt@hotmail.com

important procedure as it plays a crucial role in workpiece quality control. Whenever the actual workpiece position is displaced from its nominal position, machining errors are expected. This research aims to develop a mathematical approach to assess cutting deviation of a fixtured workpiece prior to machining. Geometric transformation was employed to capture rigid workpiece movements as results of locating errors. Local deformation exerted by clamping forces was subsequently analyzed by a finite element method. Displacement of surface coordinates on the workpiece as influenced by both locating and clamping errors is clearly shown. Without correction measures, quality of machined features would be impaired. Results from this research can be used to redesign cutting tool paths to accommodate such displacement and hence, increase feature accuracy. In addition, a more effective tolerancing system can also be established.

Keywords: Fixture, Locator, Clamp, Cutting Deviation

1. บทนำ

ก่อนเริ่มขั้นตอนการผลิต ชิ้นงานถูกจับยึดบนตัวรองรับชิ้นงาน (Workholder) หรืออีกชื่อหนึ่งคือฟิกซ์เจอร์ ประกอบด้วยตัวกำหนดตำแหน่ง (Locator) และตัวจับยึด (Clamp) เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและถูกจับยึดมั่นคงเพียงพอที่จะไม่สั่นไถลในระหว่างการผลิต จากนั้นเครื่องจักรหรือใบมีดจะถูกควบคุมให้ตัดชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ การประเมินความถูกต้องของตำแหน่งการตัดนั้นอ้างอิงกับระบบพิกัดของชิ้นงาน (Workpiece Reference System) แต่การควบคุมใบมีดให้เคลื่อนที่อ้างอิงกับระบบพิกัดของเครื่องจักร (Machine Reference System) ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่ชิ้นงานถูกจับยึดเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็น



รูปที่ 1 การเบี่ยงเบนของตำแหน่งชิ้นงานส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด

ทำให้ตำแหน่งของชิ้นงานที่อ้างอิงกับระบบพิกัดของเครื่องจักร จาก $\bar{P}_w$ กลายเป็น $\bar{P}'_w$ ($\bar{P}_w$ และ $\bar{P}'_w$ คือ เวกเตอร์แสดงตำแหน่งของชิ้นงานที่ควรจะเป็นและผิดพลาด ตามลำดับ) ส่งผลให้ตำแหน่งการตัดผิดพลาดไปจาก $\bar{P}_f$ กลายเป็น $\bar{P}'_f$ ($\bar{P}_f$ และ $\bar{P}'_f$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งการตัดชิ้นงานที่ควรจะเป็นและผิดพลาดตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 1 การเบี่ยงเบนของตำแหน่งชิ้นงานนี้ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตัด

จากการสำรวจพบว่า มีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้ตำแหน่งชิ้นงานเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็นในขั้นตอนก่อนกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งตามสาเหตุได้คือ

1. ความไม่แน่นอนของพื้นผิวชิ้นงานที่เป็นผลมาจากกระบวนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น Wang และคณะ [1] ศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการตัดมีความผันแปร โดยสาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่สมมาตรทำให้จับยึดชิ้นงานยากและจับยึดชิ้นงานไม่แน่น เมื่อขณะทำการผลิตชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานมีการหมุนเปลี่ยนตำแหน่งได้ นอกจากนี้ Chaiprapat และ Rujikietgumjorn [2] ได้พัฒนากระบวนการที่ใช้ในการคำนวณหาความไม่แน่นอนของตำแหน่งชิ้นงานที่ถูกจับยึด ภายใต้สมมติฐานว่าชิ้นงานมีความผิดพลาด ณ จุดสัมผัส ซึ่งผลจากแบบ

จำลองทำให้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดระยะพิกัดเมื่อเป็นต้น

2. ความผิดพลาดของตัวกำหนดตำแหน่งชิ้นงานที่เกิดจากความบกพร่องของตัวกำหนดตำแหน่งที่เสื่อมสภาพและถูกวางในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น Cai และคณะ [3],[4] ใช้หลักการ N-2-1 ของตัวกำหนดตำแหน่ง ซึ่งเป็นวิธีสำหรับออกแบบฟิกซ์เจอร์ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการไม่เชิงเส้น (Non-linear) หา N ดีที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปน้อยสุดและได้เปรียบเทียบกับหลักการ 3-2-1 ที่ถูกยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับชิ้นงานวัสดุแข็ง (Rigid) และได้พัฒนาโปรแกรมซึ่งเรียกว่า RFix Design ใช้สำหรับออกแบบลักษณะการจับยึดของฟิกซ์เจอร์เพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด นอกจากนี้ Chaiprapat และ Rujikietgumjorn [5] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตซึ่งมีสาเหตุมาจากตัวกำหนดตำแหน่ง โดยจำลองชิ้นงานที่วางบนตัวกำหนดตำแหน่งแสดงเป็นแบบสองมิติในขั้นต้น และนำความสัมพันธ์ไปอธิบายได้จนถึงในกรณีสามมิติ ผลจากแบบจำลองนี้สรุปได้ว่าความเบี่ยงเบนของตำแหน่งชิ้นงานส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของผิวชิ้นงานที่ผ่านการตัดเป็นฟังก์ชันพาราโบลาอยด์เป็นต้น

3. ความผิดพลาดของการจับยึดชิ้นงาน สาเหตุนี้ส่วนใหญ่ที่พบคือ ความไม่เหมาะสมของแรงและตำแหน่งในการจับยึด ยกตัวอย่างเช่น DeMeter [6]-[8] แสดงแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับทำนายผลกระทบจากตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดชิ้นงานที่ส่งผลให้ชิ้นงานเคลื่อนตำแหน่งในขณะที่ทำการผลิตชิ้นงาน ต่อมา DeMeter ได้มีการนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดชิ้นงานสรุปได้ว่าแรงตัวจับยึดที่กระทำกับชิ้นงานขณะทำการผลิตส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหมุนขึ้น และหลังจากนั้น DeMeter ได้ทำการแสดงแบบจำลองเชิงเส้นของแรงในการจับยึดชิ้นงาน (LCPL) เพื่อใช้ในการคำนวณหาแรง

ที่จำเป็นน้อยที่สุดในการจับยึดที่ไม่ทำให้เกิดการเสียตสีณ จุดสัมผัสกับตัวจับยึดขณะทำการผลิตชิ้นงาน Yeh และ Liou [9] ได้สร้างแบบจำลองวิเคราะห์การจับยึดชิ้นงานที่จุดสัมผัสในขณะที่ทำการผลิตโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ของสปริงเอลิเมนต์และวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์บนพื้นฐานทฤษฎี Hertz's Contact เพื่อการออกแบบระบบฟิกซ์เจอร์ Li และ Melkote [10] เสนอวิธีใหม่สำหรับการหาแรงในการจับยึดชิ้นงานที่เหมาะสม กรณีมีตัวจับยึดหลายตัวและเป็นระบบฟิกซ์เจอร์แบบ 3-2-1 พิจารณาในช่วงเวลาที่แรงของเครื่องจักรกระทำคงที่บริเวณจุดสัมผัสเป็นแบบยึดหยุ่น และใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างจุดสัมผัสชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์เพื่อออกแบบหาแรงที่เหมาะสมของตัวจับยึดชิ้นงาน Satyanarayana และ Melkote [11] ได้วิเคราะห์จุดสัมผัสระหว่างฟิกซ์เจอร์กับชิ้นงานโดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ พิจารณาหนึ่งตำแหน่งจุดสัมผัส กรณีบริเวณจุดสัมผัสระหว่างฟิกซ์เจอร์กับชิ้นงานเป็นแบบยึดหยุ่น เป็นต้น

จากการสำรวจงานวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่ามีหลายสาเหตุที่ทำให้ตำแหน่งชิ้นงานเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็นในขั้นตอนก่อนกระบวนการผลิต เช่น ความไม่แน่นอนของพื้นผิวชิ้นงาน ฟิกซ์เจอร์ที่เสื่อมคุณภาพ ลักษณะและแรงในการจับยึดชิ้นงาน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในรายละเอียดจะพบว่าโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากตัวกำหนดตำแหน่งนั้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับอีกสองสาเหตุ เนื่องจากในกระบวนการผลิตอุปกรณ์จับยึดจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพที่เข้มงวด ผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อปรับคุณสมบัติของวัสดุให้มีความทนทานต่อการใช้งาน อีกทั้งยังมีการกำหนดระยะพิกัดเผื่อที่ค่อนข้างแคบกว่ากระบวนการผลิตชิ้นงาน ดังนั้นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อการเบี่ยงเบนของตำแหน่งชิ้นงานจึงมาจากความไม่แน่นอนของพื้นผิวชิ้นงานและการเสียรูปของชิ้นงาน เนื่องมาจากการจับยึดของฟิกซ์เจอร์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบน

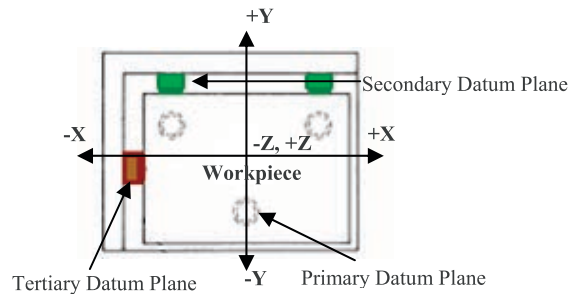
ชิ้นงานก่อนกระบวนการตัดอันเป็นผลมาจากสาเหตุข้างต้น โดยแบ่งการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดเป็นสองขั้นตอนด้วยกันคือ 1. การประเมินในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน และ 2. การประเมินในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน ผลการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดนั้นสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการตัดให้แม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ข้อมูลเบื้องต้น

2.1 หลักการทำงานของฟิกซ์เจอร์

ฟิกซ์เจอร์คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดชิ้นงานซึ่งหน้าที่ในการจับยึดชิ้นงานให้ติดแน่นอยู่กับลำตัวฟิกซ์เจอร์เพื่อให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการสั่นไถลระหว่างกระบวนการผลิต โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ออกเป็นสองส่วนดังนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งคือ การกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานที่จะทำให้ทราบแน่นอนว่าตำแหน่งการตัดอยู่ตรงตำแหน่งไหน งานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นกรณีศึกษา และเลือกการกำหนดตำแหน่งแบบ 3-2-1 ซึ่งมีตัวกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 6 ตัว สามารถจำกัดระดับความเป็นอิสระได้ 9 ทิศทาง ซึ่งในการกำหนดตำแหน่งด้วยฟิกซ์เจอร์นั้น เริ่มต้นด้วยการวางชิ้นงานบน Primary Datum Plane ซึ่งมีตัวกำหนดอยู่ 3 ตำแหน่ง สามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานได้ 5 ทิศทาง ต่อจากนั้นจะต้องทำการดันชิ้นงานให้ไปสัมผัสกับ Secondary Datum Plane ซึ่งเป็นระนาบขนานกับระนาบอ้างอิง Y-Z มีตัวกำหนดอยู่ 2 ตำแหน่ง สามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานได้ 3 ทิศทาง และสุดท้ายเลื่อนชิ้นงานไปสัมผัสกับ Tertiary Datum Plane ซึ่งเป็นระนาบขนานกับระนาบอ้างอิง X-Z มีตัวกำหนดอยู่ 1 ตำแหน่งสามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานได้ 1 ทิศทาง ดังรูปที่ 2

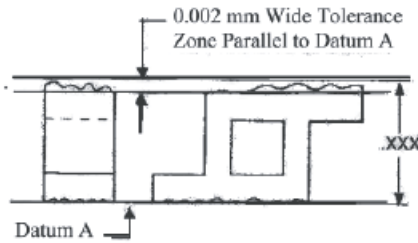


รูปที่ 2 ลักษณะการกำหนดตำแหน่งแบบ 3-2-1

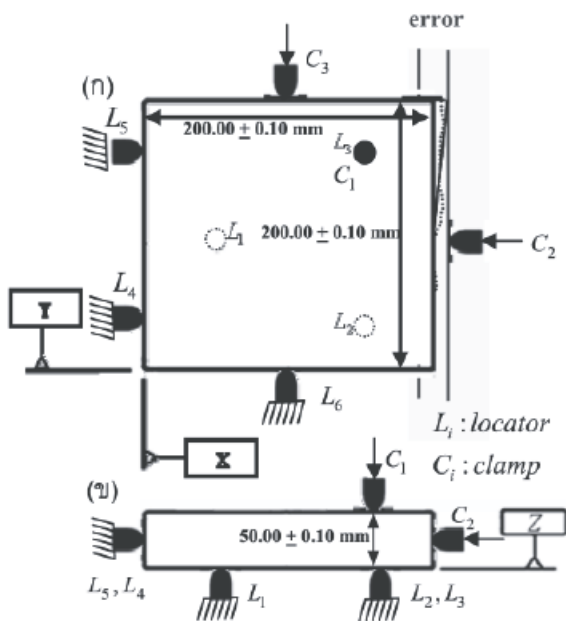
2) ขั้นตอนการยึดจับคือ การยึดชิ้นงานไว้ไม่ให้สั่นคลอนหรือเคลื่อนตำแหน่งไปจากจุดที่กำหนดไว้ในขณะทำการตัดชิ้นงาน ฉะนั้นตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงที่เกิดจากการตัด แต่จะต้องไม่มากพอที่จะทำให้แรงในการยึดจับนั้นส่งผลเสียต่อชิ้นงานได้ โดยตำแหน่งของตัวจับยึดจะต้องสัมผัสกับชิ้นงานตรงจุดที่ชิ้นงานมีความแข็งแรง

2.2 การพิจารณาความคลาดเคลื่อนจากการผลิตชิ้นงาน

เนื่องจากความไม่แน่นอนในการผลิตชิ้นงานเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ฉะนั้นเพื่อเป็นการควบคุมความไม่แน่นอนดังกล่าว จึงต้องมีการกำหนดระยะพิสัย (Tolerancing) ของรูปร่างและขนาดชิ้นงาน ซึ่งมาตรฐานที่ใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิต คือ ANSI Y14.5M Geometric Dimensioning and Tolerancing (GD&T) ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของทิศทาง (Orientation Deviation) แบบการขนานกันของพื้นผิว (Parallelism Deviation) ซึ่งเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับระยะห่างของความขนานของพื้นผิว ศูนย์กลางของระนาบเทียบกับระนาบอ้างอิง เช่น การกำหนดค่าระยะพิสัยเพื่อการขนานกันในช่วง 0.002 mm จะเป็นพิจารณาช่วงระยะห่างกัน 0.002 mm ระหว่างระนาบขนานกันสองระนาบที่ขนานกับระนาบอ้างอิง ซึ่งระนาบของชิ้นงานจริงต้องตั้งอยู่ระหว่างระนาบขนานกันสองระนาบนั้นด้วย ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการพิจารณาความคลาดเคลื่อนการขนานกันของพื้นผิว (Parallelism Tolerance) [12]



รูปที่ 4 ขนาดและตำแหน่งการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์สำหรับงานวิจัย

3. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 สมมติฐานและเงื่อนไข

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความผิดพลาดของการกำหนดตำแหน่งและการจับยึดชิ้นงานที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดในขั้นตอนก่อนกระบวนการตัด ซึ่งมีสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) ความผิดพลาด ณ จุดสัมผัส (Error) วัดจาก

ระยะตั้งฉากเทียบจากระนาบอ้างอิง ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับตัวกำหนดตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 4

- 2) ชิ้นงานมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3) การกำหนดตำแหน่งของฟิกซ์เจอร์เป็นแบบ 3-2-1 มีการสัมผัสแบบจุดตามตำแหน่งต่างๆ จำนวน 6 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4

4) การจับยึดชิ้นงานมีการสัมผัสแบบจุดตามตำแหน่งต่างๆ จำนวน 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4

5) แรงในการจับยึดชิ้นงานอยู่ในรูปของแรงดันคงที่ (Constant Pressure)

6) การจับยึดระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ในแต่ละจุดสัมผัส มีการสัมผัสแบบแตะกันอยู่ (Touching)

ในรูปที่ 4 ได้แสดงลักษณะขนาดและตำแหน่งการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ ซึ่งรูป 4 (ก) แสดงในมุมมองด้านบน และรูป 4 (ข) แสดงในมุมมองด้านหน้า โดย $L_1, \dots, L_6$ คือตำแหน่งตัวกำหนดตำแหน่งและ $C_1, \dots, C_3$ คือตำแหน่งตัวจับยึด

3.2 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความผิดพลาดของการกำหนดตำแหน่งและการจับยึดชิ้นงานที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดในขั้นตอนก่อนกระบวนการตัด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกันคือ

1) การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง

การคำนวณในส่วนนี้ เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด ที่เกิดจากความผิดพลาด ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับตัวกำหนดตำแหน่ง ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่แน่นอนของชิ้นงานและความผิดพลาดของตัวกำหนดตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Chaiprapat และ Rujikietgumjorn [2] ซึ่งได้นำสมการ

ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในรูปแบบทั่วไป โดยสมการนี้เป็นสมการที่คิดมาจากหลักการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงแบบหมุน (Rotation Transformation) และการเปลี่ยนแปลงแบบเลื่อน (Translation Transformation) ซึ่งผลจากวิเคราะห์ทำให้ทราบค่า $\gamma, \beta, \alpha, dx, dy, dz$ ดังแสดงในรูปที่ 5 และสามารถสรุปสมการได้ คือ

$$\bar{L}' = R(\gamma, \beta, \alpha, dx, dy, dz)\bar{L} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{L}$ คือตำแหน่งที่สนใจบนชิ้นงาน

$\bar{L}'$ คือตำแหน่งดังกล่าวหลังจากการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

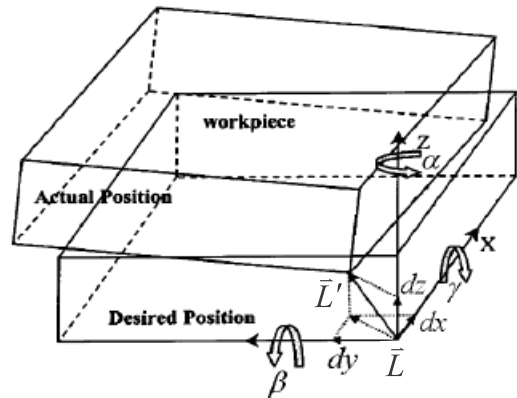
$R(\gamma, \beta, \alpha, dx, dy, dz)$ คือเมตริกซ์หลักการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

γ, β, α คือมุมของการเปลี่ยนแปลงทางแบบหมุนรอบแกน X, Y, Z ตามลำดับ

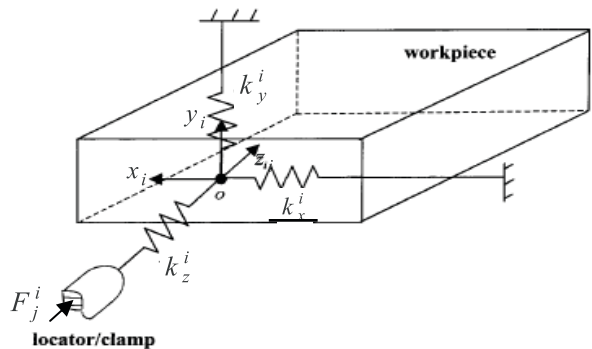
dx, dy, dz คือตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตแบบเลื่อนตามแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ

2) การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดที่เกิดจากการจับยึดชิ้นงาน

การคำนวณในส่วนนี้ เป็นการหาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด ที่เกิดจากแรงและตำแหน่งในการจับยึดชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์หรือการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต ด้วยการแบ่งชิ้นส่วนที่ต้องการศึกษาออกเป็นส่วยย่อยๆ อย่างต่อเนื่องตามรูปลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน โดยเรียกแต่ละส่วยย่อยว่าเอลิเมนต์ (Element) หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ แต่ละเอลิเมนต์ ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อ (Node) ของแต่ละเอลิเมนต์นำมารวมเข้าด้วยกันเป็นผลเฉลยของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วนคือ



รูปที่ 5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตของชิ้นงานจากขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง



รูปที่ 6 แบบจำลองลักษณะการจับยึดชิ้นงาน ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ [10]

2.1) การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแรงของตัวจับยึดที่กระทำกับชิ้นงาน (F_j^i) และค่าคงที่ความยืดหยุ่น ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ (k_j^i) ดังนั้นทำให้สามารถหาความคลาดเคลื่อนของตัวจับยึดและส่งผลให้ทราบแรงและความคลาดเคลื่อน ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ (d_j^i) ได้ดังรูปที่ 6 และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังสมการที่ (2) โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Li และ Melkote [10]

$$\begin{Bmatrix} F_X^i \\ F_Y^i \\ F_Z^i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_X^i & 0 & 0 \\ 0 & k_Y^i & 0 \\ 0 & 0 & k_Z^i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_X^i \\ d_Y^i \\ d_Z^i \end{Bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ F_j^i คือแรงที่ฟิกซ์เจอร์กระทำกับชิ้นงาน ณ จุดสัมผัสต่างๆ

k_j^i คือค่าคงที่ความยืดหยุ่น ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ (Workpiece – fixture Contact Stiffness)

d_j^i คือความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์

i คือตำแหน่งอ้างอิง ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์

j คือแกนอ้างอิง X Y และ Z ตามลำดับ

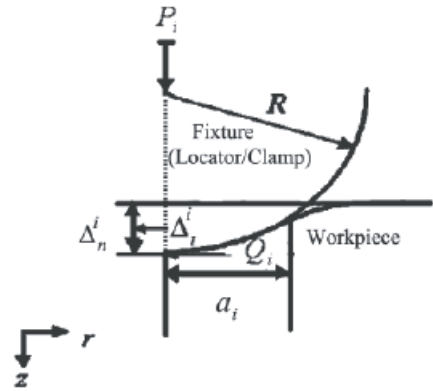
Li และ Melkote [10] ได้นำหลักทฤษฎี Hertz's Contact [13] ซึ่งเป็นทฤษฎีใช้สำหรับพิจารณาการสัมผัสกันของวัตถุสองชิ้น (การจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์) มาประยุกต์ใช้หาค่า ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการนำสมการการเสียรูป ณ จุดสัมผัสระหว่างวัตถุสองชิ้นทั้งในแนวตั้งฉาก (Normal Deformation) และแนวเส้นสัมผัส (Tangential Deformation) ดังสมการที่ (3) และ (4)

สมการระยะเสียรูป ณ จุดสัมผัสระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดกับชิ้นงานในแนวตั้งฉาก (Δ_n^i)

$$\Delta_n^i = \left(\frac{9(P^i)^2}{16R(E^*)^2} \right)^{1/3} \quad (3)$$

โดย
$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_w^2}{E_w} + \frac{1-\nu_f^2}{E_f}$$

สมการระยะเสียรูป ณ จุดสัมผัสระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดกับชิ้นงานในแนวเส้นสัมผัส (Δ_t^i)



รูปที่ 7 ลักษณะการสัมผัสกันของวัตถุสองชิ้นตามหลักทฤษฎี Hertz's Contact

$$\Delta_t^i = \frac{Q^i}{8a_i} \left(\frac{2-\nu_f}{G_f} + \frac{2-\nu_w}{G_w} \right) \quad (4)$$

โดย
$$a_i = \left(\frac{3P^i R}{4} \left(\frac{1-\nu_f}{E_f} + \frac{1-\nu_w}{E_w} \right) \right)^{1/3}$$

เมื่อ P^i คือแรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงาน ณ ตำแหน่งใดๆ
 Q^i คือแรงกระทำแนวเส้นสัมผัสกับชิ้นงาน ณ ตำแหน่งต่างๆ

R คือรัศมีตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึด

a_i คือระยะสัมผัสระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดกับชิ้นงานตามแนวแกน r เทียบกับจุดสัมผัสเริ่มต้น ณ ตำแหน่งต่างๆ

Δ_n^i, Δ_t^i คือระยะเสียรูป ณ จุดศูนย์กลางการสัมผัสกันระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดกับชิ้นงานตามแนวแกน z และ r เทียบจุดสัมผัสที่ยังไม่เสียรูป

E^* คือค่ามอดุลัสรวมของการสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์

E_f, E_w คือค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นของฟิกซ์เจอร์และชิ้นงาน ตามลำดับ

G_f, G_w คือค่ามอดุลัสเฉือนของฟิกซ์เจอร์และชิ้นงาน ตามลำดับ

ν_f, ν_w คือค่าอัตราส่วนปัวซองของฟิกซ์เจอร์และชิ้นงาน ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ $k = \frac{F}{d}$ (k คือค่าคงที่ความยืดหยุ่น F คือแรงที่กระทำ และ d คือระยะการเสียรูป) สามารถเปลี่ยนสมการที่ (3) และ (4) ให้อยู่ในรูปสมการค่าคงที่ความยืดหยุ่น (Contact Stiffness) ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$k_z^i = 8.82 \left(\frac{16R(E^*)^2}{9} \right)^{1/3} \quad (5)$$

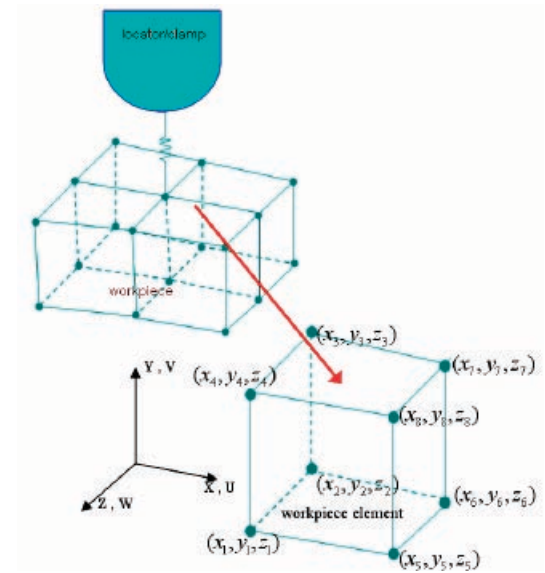
$$k_x^i = k_y^i = \frac{4}{E^*} \left(\frac{2-\nu_f}{G_f} + \frac{2-\nu_w}{G_w} \right)^{-1} k_z^i \quad (6)$$

โดยค่า 8.82 เป็นค่าคงที่จากการใช้วิธีการจตุรพจน์เป็นสมการเส้นตรง (Least-squares Fit) โดยมีแรง P^i กระทำอยู่ในช่วง 0 ถึง 1,000 N

2.2) การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของตัวชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 2.1) ทำให้ทราบถึงลักษณะการเบี่ยงเบนของชิ้นงาน ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ และสามารถนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์หาความเบี่ยงเบนของชิ้นงานในตำแหน่งอื่นๆ ด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์และได้ทำการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ทรงหกหน้า (Hexahedral Element) ดังแสดงในรูปที่ 8

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MSC Marc ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองลักษณะชิ้นงานและทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยยกตัวอย่างการจำลองลักษณะการจับยึดชิ้นงานบนฟิกซ์เจอร์ ตามหัวข้อ 3.1 โดยกำหนดคุณสมบัติของชิ้นงานและฟิกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 และกำหนดเงื่อนไขการจับยึดชิ้นงานบนฟิกซ์เจอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 โดยมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ (μ) เท่ากับ 0.39 [14]



รูปที่ 8 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของการจับยึดชิ้นงาน ณ จุดสัมผัสและลักษณะเอลิเมนต์ชิ้นงาน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของชิ้นงานและฟิกซ์เจอร์

Property	Workpiece	Fixture
Material	Aluminium 6061-T6	Steel AISI 1144
Elastic modulus	70 GPa	201 GPa
Poisson ratio	0.334	0.292
Mass density	2700 kg / m ³	7900 kg / m ³
Geometry	prismatic block size = 200x200x50 mm	spherical tip radius = 6 mm

ตารางที่ 2 ตำแหน่งความผิดพลาด ณ จุดสัมผัสระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งกับชิ้นงาน

Plane	Locators	Position at the Contact Points of Fixture-workpiec (mm)		
		X	Y	Z
Primary	1	30.00	100.00	0.03
	2	170.00	30.00	0.05
	3	170.00	170.00	0.09
Secondary	4	0.00	30.10	25.00
	5	0.00	170.04	25.00
Tertiary	6	100.07	0.00	25.00

ตารางที่ 3 ตำแหน่งและแรงในการจับยึด

Clamp	Force (N)	Position at the Contact Points of Fixture-workpie (mm)		
		X	Y	Z
1	800	170.00	170.00	50.00
2	450	200.00	100.00	25.00
3	300	100.00	200.00	25.00

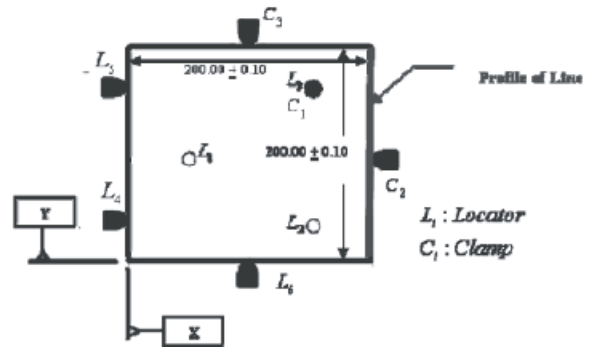
โดยในการกำหนดค่าความผิดพลาด ณ จุดสัมผัสระหว่างตัวกำหนดตำแหน่งกับชิ้นงานได้นำข้อมูลความไม่แน่นอนของพื้นผิวชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิตชิ้นงานให้เป็นรูปร่าง (Shape Mill) [15] และตำแหน่งของตัวกำหนดตำแหน่งได้กำหนดให้อยู่ห่างจากกันให้มากที่สุดเพื่อลดความผิดพลาดในการกำหนดตำแหน่งให้น้อยลง [16] นอกจากนี้ในการตำแหน่งของตัวจับยึดได้กำหนดให้วางในตำแหน่งที่ไม่กีดขวางเส้นทางเดินใบมีดและสามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน โดยแรงที่ใช้การจับยึดจะต้องเป็นแรงที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการบิดหรือลื่นไถลขณะทำการผลิต ซึ่งในการกำหนดแรงนั้นจะต้องนำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์และแรงการตัดชิ้นงานมาพิจารณาด้วย [17]

4. ผลการวิเคราะห์

จากการจำลองลักษณะการจับยึดชิ้นงานบนฟิกซ์เจอร์อันเป็นผลมาจากการกำหนดตำแหน่งที่ผิดพลาดและการจับยึดของฟิกซ์เจอร์ ทำให้สามารถทำนายลักษณะความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบนชิ้นงานในขั้นตอนก่อนกระบวนการตัด ซึ่งสามารถอธิบายผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้คือ

4.1 วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งการตัด

ในส่วนนี้ได้พิจารณาผลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดที่ได้จากการทำนายโดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ควรจะเป็นในแกน X Y และ Z ในรูปของค่าเฉลี่ย (Average) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ดังตารางที่ 4 ตามเส้นทาง (Profile of Line) ในส่วนพื้นผิวด้านบนของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 9

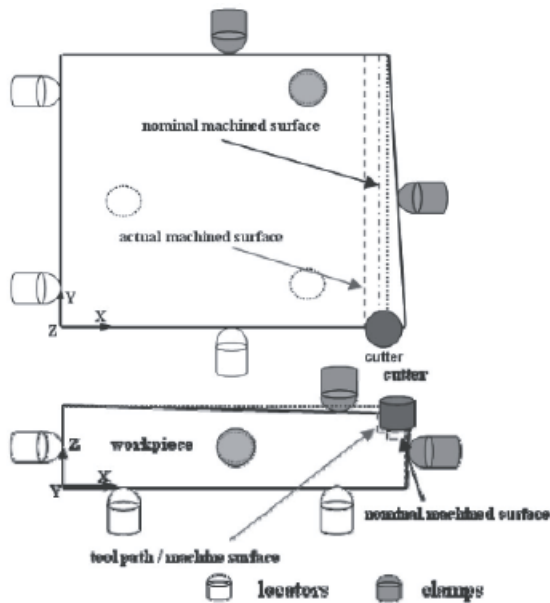


รูปที่ 9 เส้นทางที่ใช้ในการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนตำแหน่งการตัดในแต่ละแนวแกน

Axis	Cutting Positions Displacement (mm)			
	Locating		Clamping	
	Average	SE	Average	SE
X	0.0233	0.0017	0.0015	0.0014
Y	0.1923	0.0000	-0.0005	0.0002
Z	0.1479	0.0005	-0.0045	0.0003
Absolute	0.2437	-	-0.0048	-

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากสาเหตุการกำหนดตำแหน่งมากกว่าการจับยึดชิ้นงานถึง 98% และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดในระนาบ X-Y พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดที่เกิดจากการจับยึดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระนาบ Y-Z เนื่องจากแรงในการจับยึดของตัวจับยึดที่ 1 จะกระทำกับชิ้นงานตามแนวแกน Z ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าแกน X และ Y ทำให้ชิ้นงานมีการเสียรูปในค่า Z มากกว่าค่า X และ Y ดังงานวิจัยของ Satyanarayana และ Melkote [11] ได้วิเคราะห์ผลของแรงจับยึด ณ จุดสัมผัสระหว่างฟิกซ์เจอร์กับชิ้นงานโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการพิจารณาถึงปัจจัยความหนาของชิ้นงานที่ส่งผลต่อการเสียรูปของ

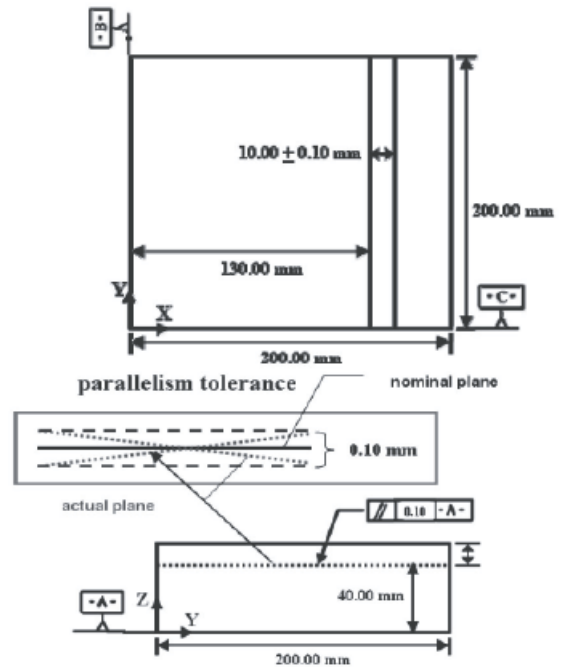


รูปที่ 10 ลักษณะความผิดพลาดของการตัดชิ้นงาน

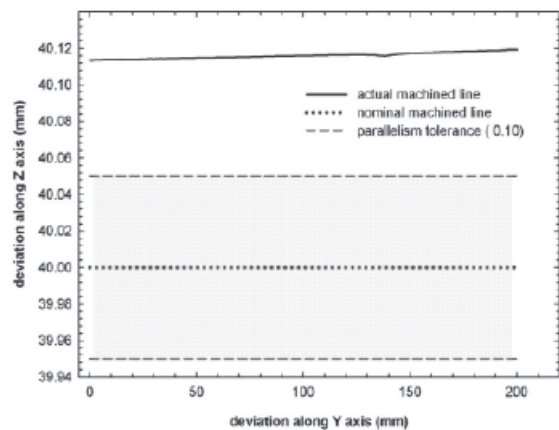
ชิ้นงาน พบว่าเมื่อชิ้นงานมีความหนาจะมีการเสียรูป ๓ จุดสัมผัสน้อยกว่าชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า ฉะนั้นหากนำลักษณะการจับยึดชิ้นงานนี้ไปใช้ใน กระบวนการผลิตที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยไม่มีการชดเชยความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด จะทำให้เกิดความผิดพลาดของการตัดชิ้นงานขึ้นได้ เนื่องจากพื้นผิวที่ต้องการให้ถูกตัด (Nominal Machined Surface) ไม่เป็นพื้นผิวเดียวกับพื้นผิวที่ถูกตัดจริง (Actual Machined Surface) ดังแสดงในรูปที่ 10

4.2 วิเคราะห์ความเบี่ยงเบนของพื้นผิวที่ถูกตัด

ผู้วิจัยได้พิจารณาความเบี่ยงเบนของพื้นผิวที่ถูกตัดตามรายละเอียดในรูปที่ 11 ซึ่งในกระบวนการกัดผิว ได้กำหนดให้พื้นผิวดังกล่าวถูกควบคุมโดยมีความคลาดเคลื่อนแบบการขนานกันของพื้นผิว (Parallelism Deviation) เปรียบเทียบกับระนาบอ้างอิง A (ระนาบ X-Y) อยู่ในช่วงขอบเขต 0.10 mm พบว่าเมื่อมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดตามหัวข้อ 4.1 ไข่มืดไม่สามารถตัดชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องการได้



รูปที่ 11 การออกแบบตำแหน่งการตัดชิ้นงาน



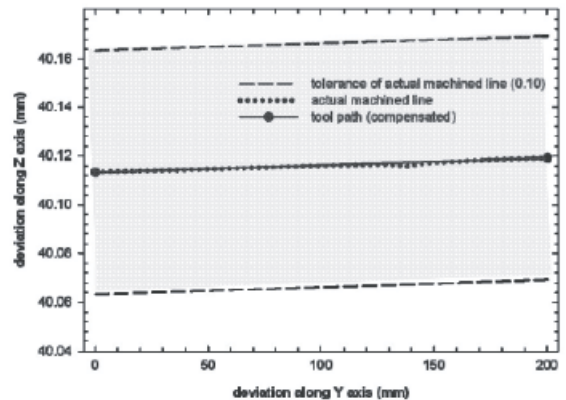
รูปที่ 12 การเบี่ยงเบนของพื้นผิวที่ถูกตัดเทียบกับระนาบอ้างอิง A

ส่งผลให้พื้นผิวที่ถูกควบคุมมีลักษณะเบี่ยงเบนออกไปจากพื้นผิวที่ต้องการให้ถูกตัดดังแสดงในรูปที่ 12

จากรูปที่ 12 เมื่อพิจารณาการเบี่ยงเบนของพื้นผิวที่ถูกตัดกับช่วงขอบเขตความคลาดเคลื่อนการขนานกันของระนาบอ้างอิง A (Deviation Along Z Axis) พบว่า

ความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวที่ถูกตัดเมื่อเทียบกับเส้นทางที่ควรจะเป็น (Nominal Machined Line) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1161 mm และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0016 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวที่ถูกตัดไม่อยู่ในช่วงค่าระยะพิสัยของช่วงความคลาดเคลื่อนการขนานกันเกือบทั้งหมด ผู้ปฏิบัติงานควรควบคุมความไม่แน่นอนของชิ้นงานให้มีค่าน้อยกว่าความต้องการของพื้นผิวชิ้นงานที่ถูกตัด จึงจะทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นอกจากนี้หากต้องการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นก่อนกระบวนการผลิตโดยไม่สามารถแก้ไขความผิดพลาดของการกำหนดตำแหน่งและการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ ผู้ปฏิบัติงานควรชดเชยเส้นทางเดินใบมีดเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการผลิตชิ้นงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการชดเชยเส้นทางเดินใบมีดในระนาบ Z-Y โดยใช้ข้อมูลของการทำนายในการกำหนดเส้นทางเดินใบที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายเท่านั้น โดยมีการชดเชยในส่วนเริ่มต้นของการเดินใบมีด จากพิกัด $X = 135.00$ $Y = 0.00$ และ $Z = 40.00$ mm ให้เปลี่ยนเป็นตำแหน่ง $X = 135.05$ $Y = 0.17$ และ $Z = 40.11$ mm และในส่วนสุดท้ายของการเดินใบมีดจากพิกัด $X = 135.00$ $Y = 200.00$ และ $Z = 40.00$ mm ให้เปลี่ยนเป็นตำแหน่ง $X = 134.97$ $Y = 200.17$ และ $Z = 40.12$ mm ตามลำดับดังรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 พบว่าการกำหนดเส้นทางเดินใบมีดเพียงแค่สองตำแหน่ง ก็มีความใกล้เคียงกับเส้นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดและอยู่ในช่วงของค่าระยะพิสัยเพื่อที่ต้องการเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดจากลักษณะการจับยึดนี้ ส่วนใหญ่เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง ซึ่งทำให้ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดเป็นรูปแบบเชิงเส้น แต่ถ้ามีการกำหนดค่าช่วงระยะพิสัยเพื่อที่แคบหรือทำการจับยึดชิ้นงานบาง ผลของการตัดชิ้นงานจะมีความถูกต้องมากเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการกำหนดชดเชยเส้นทางเดินใบมีดว่ากำหนดช่วงระยะห่างต่างๆ ของตำแหน่งการเดินใบมีด



รูปที่ 13 การชดเชยเส้นทางเดินใบมีดช่วงระนาบ Y-Z

มากนักน้อยเพียงใด เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบริเวณตัวจับยึดมีความคลาดเคลื่อนแบบไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นหากกำหนดช่วงระยะห่างของตำแหน่งที่แคบก็จะเพิ่มความถูกต้องในการตัดมากยิ่งขึ้น (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดที่จะทำการชดเชยเส้นทางเดินใบมีด)

จากการประเมินความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบนชิ้นงานที่ถูกจับยึดด้วยตัวจับชิ้นงาน ก่อนกระบวนการตัดสรุปได้ว่า หากมีการผลิตชิ้นงานโดยไม่ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งชิ้นงานที่เกิดจากการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ลักษณะนี้ และยังทำการกำหนดลักษณะการผลิตแบบเดิม ส่งผลให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีความเสียหายและไม่สามารถนำไปใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ ฉะนั้นหากต้องการให้การผลิตชิ้นงานอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ผู้ปฏิบัติงานควรให้ความสำคัญกับความผิดพลาดของการกำหนดตำแหน่งการจับยึดชิ้นงานและลักษณะการจัดวางของชิ้นงานบนเครื่องจักร ซึ่งในการออกแบบฟิกซ์เจอร์นั้น ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงค่าความผิดพลาดของชิ้นงานที่ยอมรับได้ด้วย โดยตามกฎทั่วๆ ไปค่าความผิดพลาดของฟิกซ์เจอร์จะต้องมีค่าระหว่าง 20-50% ของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของชิ้นงานที่ถูกผลิต [18] และความถูกต้องแม่นยำของการตัด

ชิ้นงานจะต้องสูงกว่า 20-35% ของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของชิ้นงานที่ถูกผลิต [19]

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดบนชิ้นงานก่อนเริ่มต้นกระบวนการตัดอันเป็นผลมาจากการกำหนดตำแหน่งที่ผิดพลาดจากความไม่แน่นอนของพื้นผิวชิ้นงานที่และการเสียรูปของชิ้นงานเนื่องจากลักษณะการจับยึดของฟิกซ์เจอร์ ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์โดยแบ่งการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดเป็นสองขั้นตอนด้วยกันคือ 1. การประเมินในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งอาศัยพื้นฐานของหลักการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตสำหรับทำนายโดยใช้โปรแกรม Matlab ผลจากการทำนายพบว่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดจะมีลักษณะการเคลื่อนตำแหน่งไปทุกส่วนในทิศทางเดียวกันโดยแบ่งเป็นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดแบบเลื่อนซึ่งถูกแสดงด้วยเวกเตอร์ และความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดแบบหมุนซึ่งถูกแสดงด้วยเวกเตอร์ และ 2. การประเมินในขั้นตอนการจับยึดชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากแรงและตำแหน่งในการจับยึดของตัวจับยึดชิ้นงาน ในการทำนายความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ MSC Marc ผลจากการทำนายส่งผลให้ชิ้นงานมีการเสียรูปบริเวณ ณ จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับฟิกซ์เจอร์ และทำให้ตำแหน่งการตัดมีความคลาดเคลื่อนในรูปแบบเลื่อนและหมุนเช่นเดียวกับสาเหตุแรกแต่มีปริมาณน้อยกว่า จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทำนายลักษณะความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดพื้นผิวด้านบนของชิ้นงานจากทั้งสองขั้นตอนสามารถหาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดรวมทั้งหมดในขั้นตอนก่อนกระบวนการตัดได้ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดส่วนใหญ่จะเกิดจากสาเหตุการกำหนดตำแหน่งมากกว่าการจับยึด

ชิ้นงานสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความไม่แน่นอนของชิ้นงานและแรงในการจับยึดของฟิกซ์เจอร์) นอกจากนี้ผลความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัด สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการชดเชยเส้นทางการเดินใบมีดหรือนำข้อมูลไปปรับปรุงแก้ไขร่วมกับผลการทำนายความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการตัดในขณะทำการตัด การกำหนดลักษณะการจัดวางของชิ้นงานบนเครื่องจักร การออกแบบฟิกซ์เจอร์ และการกำหนดค่าระยะพิคคเพื่อที่เหมาะสมของชิ้นงานที่นำมาผลิตเพื่อช่วยลดความผิดพลาดของตำแหน่งชิ้นงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสำหรับงานวิจัยในอนาคตจะเป็นการเปรียบเทียบผลจากการทดลองวัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงกับผลความคลาดเคลื่อนที่วิเคราะห์ได้จากการสร้างแบบจำลองการจับยึดชิ้นงานด้วยฟิกซ์เจอร์ที่ได้นำเสนอไปแล้วข้างต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG530153S ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Wang, X. Chen, and N. Gindy, "Surface error decomposition for fixture development," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 31 pp. 948-956, 2006.
- [2] S. Chaiprapat and S. Rujikietgumjorn, "Resultant geometric variation of a fixtured workpiece part I: a simulation," *Songklanakarin Journal Science Technology*, vol. 28 pp. 181-190, 2006.
- [3] W. Cai, S.J. Hu, and J.X. Yuan, "Deformable sheet metal fixturing: principles, algorithms, and simulations," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 118, no. 3, pp. 318-324, 1996.



- [4] W. Cai, S.J. Hu, and J.X. Yuan, "A variation method of robust fixture configuration design for 3-D workpieces," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 119 pp. 593-602, 1997.
- [5] S. Chaiprapat and S. Rujikietgumjorn, "Modeling of positional variability of a fixtured workpiece due to locating errors," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 36 pp. 724-731, 2008.
- [6] E.C. DeMeter, "Max-min load criteria as a measure of machining fixture performance," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 116 p. 500-507, 1994.
- [7] E.C. DeMeter, "Min-max load model for optimizing machining fixture performance," *Journal of Engineering for Industry*, vol. 117, no. 2, pp. 186-193, 1995.
- [8] E.C. DeMeter, "A model to predict minimum required clamp pre-loads in light of fixture-workpiece compliance," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 41, pp. 1031-1054, 2001.
- [9] J.H. Yeh and F.W. Liou, "Contact condition modelling for machining fixture setup processes," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 39, pp. 787-803, 1999.
- [10] B. Li, and S.N. Melkote, "Fixture clamping force optimisation and its Impact on workpiece location accuracy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 17, pp. 104-113, 2001.
- [11] S. Satyanarayana and S.N. Melkote, "Finite element modeling of fixture-workpiece contacts: single contact modeling and experimental-verification," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 44, pp. 903-913, 2004.
- [12] L.W. Foster, *GEO-METRICS III*, Massachusetts: Addison-Wesley, 1994, pp. 71-75.
- [13] A.C. Fischer-Cripps, *Introduction to Contact Mechanics*, Second ed., Springer, 2nd Edition, USA, 2007, pp. 77-106,
- [14] W. Xie, E.C. De Meter, and M.W. Trethewey, "An experimental evaluation of coefficients of static friction of common workpiece-fixture element pairs," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 40, pp. 467-488, 2000.
- [15] S. Kalpakjian, *Manufacturing process for engineering materials*, Addison-Wesley. 2nd Edition, pp. 205, 1992,
- [16] S. Chaiprapat and S. Rujikietgumjorn, "Modeling of positional variability of a fixtured workpiece due to locating errors," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 36, pp. 724-731, 2008.
- [17] E.C. DeMeter, W. Xie, and S.Choudhuri, "A model to predict minimum required clamp pre-load in light of fixture-workpiece compliance," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 41, pp. 1031-1054, 2001.
- [18] W. Wattanutchariya. (2008, Dec. 20) *Workholding device* [online]. Available: [http://www.ie.cmu.edu/wattnutchariya/tool engineering/workholding-device.pps](http://www.ie.cmu.edu/wattnutchariya/tool%20engineering/workholding-device.pps)
- [19] Y. Kang, Y. Rong, and J.C. Yang, "Computer-aided fixture design verification part 2. tolerance analysis," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21, pp. 836-841, 2003.