# บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ของโต๊ะเคลื่อนที่ xyz ไปตามทางเดินที่กำหนดในรูปแบบต่าง ๆ และการทดลองเพื่อติดตามคอนทัวร์ของชิ้นงานทดสอบในรูปแบบทางเดินของแนวแกน x และ y ที่กำหนด และรักษาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์กับผิวของชิ้นงาน เพื่อเก็บข้อมูลขนาดของชิ้นงาน ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การทดสอบรูปแบบพื้นฐานของโต๊ะเคลื่อนที่ในแนวแกนและรูปแบบต่าง ๆ พบว่ามีค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วเกิดขึ้นขณะเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งด้วยความเร็วที่กำหนด ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1.1 การเคลื่อนที่แบบเส้นตรงความเร็วคงที่ จากรูปที่ 5.1 ถึง 5.12 เมื่อเคลื่อนที่ในแกน x และ y ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที และเคลื่อนที่ในแนวแกน z ด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ในแกน x และ y จะเกิดค่าผิดพลาดสูงและเกิดการแกว่งในช่วงแรกของการเคลื่อนที่ จากนั้นจะเริ่มคงที่ที่ 0.55 มิลลิเมตร และ 0.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าผิดพลาดของแนวแกน z จะอยู่ที่ประมาณ 0.3 มิลลิเมตร โดยไม่เกิดการแกว่งในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่เหมือนกับแกน x และ y สำหรับความเร็วในการเคลื่อนที่ แกน x จะมีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วง $\pm$ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที แกน y อยู่ในช่วง $\pm$ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนแกน z จะเกิดค่าผิดพลาดของความเร็วค่อนข้างมากในบางช่วง แต่ค่าส่วนมากจะอยู่ในช่วง $\pm$ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที จากตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 เป็นผลจากการทดสอบโดยเพิ่มความเร็วจาก 3 มิลลิเมตรต่อวินาที จนถึง 12 มิลลิเมตรต่อวินาทีในแกน x , 40 มิลลิเมตรต่อวินาทีในแนวแกน y และ 15 มิลลิเมตรต่อวินาทีในแนวแกน z โดยไม่เกิดการสั่น พบว่าค่าผิดพลาดโดยเฉลี่ยของตำแหน่งและความเร็ว และค่าผิดพลาดสูงสุดของตำแหน่งและความเร็ว มีค่าเพิ่มขึ้น

1.2 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงแบบสไปลน์ จากรูปที่ 5.13 - 5.24 จะพบว่า ค่าผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่จะน้อยกว่าค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ประมาณ 20 - 50% และตารางที่ 5.4 - 5.6 เป็นผลจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ พบว่า ค่าผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วโดยเฉลี่ย ค่าผิดพลาดสูงสุดของตำแหน่งและค่าผิดพลาดสูงสุดของความเร็ว มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าผิดพลาดต่าง ๆ

ของการเคลื่อนที่แบบสไปลน์กับค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่เส้นตรงแบบความเร็วคงที่ ดังตารางที่ 5.1 - 5.3 กับตารางที่ 5.4 - 5.6 พบว่าค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่เส้นตรงแบบสไปลน์จะมีค่าน้อยกว่า การเริ่มต้นการเคลื่อนที่จะราบรื่นกว่า และเกิดการแกว่งน้อยกว่า

1.3 การเคลื่อนที่แบบหักมุมแกน x, y จากการทดสอบพบว่า เกิดการสั่นและมีค่าผิดพลาดทั้งตำแหน่งและความเร็วในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากทางเดินเป็นแบบความเร็วคงที่ จนถึงตำแหน่งที่มีการหักมุมหรือการเคลื่อนที่กลับทิศทางทันทีในแต่ละแกน พบว่ามีค่าผิดพลาดสูง เนื่องจากค่าแบคแลชของชุดเฟืองทดในแนวแกน x และ y ซึ่งไม่สามารถจำลองแบบการเคลื่อนที่ได้ ส่วนค่าผิดพลาดขณะเคลื่อนที่จะใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงความเร็วคงที่และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบด้วยความเร็วสูงขึ้น

1.4 การเคลื่อนที่แบบวงกลมแนวแกน x, y จากผลการทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าผิดพลาดของตำแหน่งมีค่าสูงที่ช่วงเริ่มต้น เนื่องจากทางเดินที่สร้างเป็นแบบความเร็วคงที่ และที่ช่วงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ค่าผิดพลาดจะอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.5 มิลลิเมตร ส่วนค่าผิดพลาดของความเร็วจะอยู่ในช่วง $\pm$ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ ได้ผลดังตารางที่ 5.8 จะเห็นว่าค่าผิดพลาดโดยเฉลี่ยของตำแหน่งและความเร็วของทั้ง 2 แกน มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าผิดพลาดในขณะเคลื่อนที่กลับทิศทางที่เกิดขึ้น เกิดจากค่าแบคแลชของชุดเฟืองทด

1.5 การเคลื่อนที่ตามแนวแกน z แบบรูปคลื่นซายน์ จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าผิดพลาดของตำแหน่งจะมีค่าประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ในขณะที่ ค่าผิดพลาดของความเร็วมีค่าประมาณ 30 ถึง 80% ซึ่งเกิดจาก แรงเสียดทานของระบบซึ่งมีค่าไม่เท่ากันตลอดระยะเคลื่อนที่ ส่วนหนึ่งของค่าผิดพลาดเกิดจาก มวลของชุดเคลื่อนที่เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และการขัดตัวของแกนจากการประกอบที่ไม่ได้ศูนย์หรือผิดระยะไปเล็กน้อย

2. การทดสอบการติดตามคอนทัวร์ โดยใช้ชิ้นงานทดสอบที่สร้างขึ้นและเคลื่อนที่ตามรูปแบบที่กำหนด เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบ กับตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลได้ จึงใช้การวิเคราะห์ที่รูปร่างของชิ้นงานและค่าผิดพลาดในแนวแกน z จากอุปกรณ์วัดเลเซอร์ พบว่าการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ มีผลทำให้ค่าผิดพลาดน้อยลง เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความสูงของผิวชิ้นงานที่ความเร็วต่ำมีค่าน้อยกว่าที่ความเร็วในการเคลื่อนที่สูง จึงทำให้ตัวควบคุมสามารถควบคุมระยะห่างได้ดีกว่า และที่ความเร็วในการเคลื่อนที่สูงพบว่า อุปกรณ์มีการสั่นมากขึ้น จากการทดสอบการติดตามคอนทัวร์ ในรูปแบบทิศทางเดียว แบบไปกลับ และแบบวงกลม พบว่าสามารถควบคุมค่าผิดพลาดเฉลี่ยจากเลเซอร์ได้ไม่เกิน 0.6 มิลลิเมตร

**ข้อเสนอแนะ**

จากผลการทดลองการทำงานของเครื่องติดตามคอนทัวร์แบบ 3 มิติ โดยใช้การควบคุมแบบดิจิตอล ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดต่าง ๆ และข้อควรปรับปรุง ดังนี้

1. ควรใช้ชุดเฟืองทดในชุดเคลื่อนที่แกน x และ y เป็นแบบที่ไม่มีค่า แบคแลช เช่น ฮาร์โมนิคไดรว์ (Harmonic drive) ซึ่งค่าแบคแลชทำให้เกิดการสั่นในขณะเปลี่ยนทิศทาง เป็นผลให้ตำแหน่งและความเร็วเกิดการผิดพลาด

2. ใช้อุปกรณ์ในการติดตามคอนทัวร์ของชิ้นงานที่มีความสามารถในการวัดที่ดีกว่าอุปกรณ์แบบเลเซอร์ที่ใช้ เนื่องจากในการทดลองพบว่าอุปกรณ์แบบเลเซอร์ที่ใช้ มีข้อจำกัดต่าง ๆ อยู่หลายประการ เช่น ไม่สามารถวัดชิ้นงานที่มีสีดำและชิ้นงานที่มีผิวมันวาวแบบโลหะหรือกระจก และเหมาะกับพื้นผิวที่ค่อนข้างราบเรียบมากกว่าพื้นผิวเอียง เพราะพื้นผิวเอียงจะทำให้การสะท้อนของลำแสงไม่คงที่

3. ควรปรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน z ให้ดีขึ้น ค่าผิดพลาดส่วนหนึ่งเกิดจากแรงเสียดทานที่มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งของระยะเคลื่อนที่ และอาจมีการขัดตัวในบางตำแหน่ง การขับเคลื่อนที่เป็นอยู่ จะเป็นมอเตอร์กระแสตรงขับแกนของสกรูโดยตรง ซึ่งต้องใช้แรงบิดเริ่มต้นสูงเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานและแรงต้านอื่น ๆ ของระบบ ควรใช้ชุดเฟืองทดที่ไม่มีค่าแบคแลช เพื่อเพิ่มแรงบิดของมอเตอร์ จะทำให้การเคลื่อนที่ดีขึ้น

4. เนื่องจาก อุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์มีความละเอียดในการวัดสูงถึง 0.5 ไมโครเมตร ในขณะที่ เอนโคดเดอร์ที่ใช้วัดระยะทางในแกนเดียวกัน มีความละเอียด 10 ไมโครเมตร จึงไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์มีความผิดพลาดในการวัดมากน้อยเพียงใด ควรทำการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันด้วยอุปกรณ์วัดอื่นที่มีความสามารถในการวัดใกล้เคียงกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าในการวัด และปรับปรุงความถูกต้อง

5. ควรมีการจัดการข้อมูลที่ได้จากการติดตามคอนทัวร์ ซึ่งได้แก่ การปรับผิวโค้งของข้อมูลให้เรียบต่อเนื่องกัน (Smooth curve) แล้วนำข้อมูลที่ปรับเรียบร้อยแล้ว มาสร้างพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดแบบ CNC ต่อไป การทำงานลักษณะนี้ต้องอาศัยโปรแกรมทางด้านการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD)