บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์การทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมของค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานให้เกิดค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเซอร์โวมอเตอร์ ในการปรับค่าปัจจัยของเซอร์โวมอเตอร์ในแนวแกน X และในแนวแกน Y ที่มีผลกระทบต่อการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน แล้วทำการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดของเซอร์โวมอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด การวิจัยนี้ทำการทดลองกับเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบสามแกน โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่มีคาดว่าจะมีผลต่อการเคลื่อนที่แบบเป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน นั่นก็คือการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y เท่านั้น ซึ่งมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน ซึ่งสามารถแบ่งหัวข้อต่างๆ ออกเป็นหัวข้อดังนี้

3.1 **ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของโต๊ะ** มีดังนี้

- ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน ได้แก่ แบริ่ง (Baring) บอลสกรู (Ball screw) มอเตอร์ (Motor) และโต๊ะวางชิ้นงาน
- แรงที่เกิดขึ้นเมื่อโต๊ะวางชิ้นงานมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม
- อัตราการป้อนตัด (Feed Rate)
- การสั่นสะเทือน
- แรงเสียดทาน
- ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (Feed Forward Coefficient)
- รัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน
- ความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน
- ค่าความเร่งแบคแลช (Backlash Acceleration)
- ค่าการป้อนความเร็วล่วงหน้า (Velocity Feed Forward)

เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมทั้งการพิจารณาถึงขอบเขตของงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยดังกล่าวมีเพียงบางปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์ในการตัดปัจจัยบางตัวออกเป็นดังนี้

3.1.1 ปัจจัยที่ไม่มีผลต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน

3.1.1.1 ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน ได้แก่ แบริ่ง (Baring) บอลสกรู (Ball Screw) มอเตอร์ (Motor) และโต๊ะวางชิ้นงาน

เนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษากับเครื่องที่เป็นเครื่องจักรใหม่ และอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าเครื่องที่จำหน่ายต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว ดังนั้นชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้จึงยังไม่ถูกใช้งานมาก่อนทำให้ยังไม่มีการสึกหรอเกิดขึ้น [9] ส่วนการสึกหรอของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน มีปัจจัยขึ้นอยู่กับอายุการใช้งาน และชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งจะทำให้มีการสึกหรอที่แตกต่างกัน

3.1.1.2 แรงกระทำที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

แรงกระทำที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม จะมีแรงเกิดขึ้นเมื่อมีการตัดชิ้นงาน เนื่องจากขอบเขตของการวิจัยกำหนดการศึกษาความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน ขณะที่ยังไม่มีการตัดชิ้นงานจริง ดังนั้น จึงยังไม่ได้นำแรงกระทำดังกล่าวมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ [9]

3.1.1.3 อัตราการป้อน (Feed Rate)

อัตราการป้อน (Feed Rate) คือ อัตราการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานในแนวแกน X และในแนวแกน Y ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานทั้งสองแกน ซึ่งอัตราการป้อนตัดนั้นมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที ถ้ามีการตัดชิ้นงานจริง อัตราการป้อนจะมีผลกระทบต่อผิวของชิ้นงานโดยตรง แต่ในที่นี้ไม่มีการตัดชิ้นงานเกิดขึ้น ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 1.3 คือ การวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาขณะกัดชิ้นงานจริง ขอบเขตของงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้อัตราการป้อนมีค่าเท่ากันตลอดการทดลอง โดยงานวิจันนี้ใช้อัตราการป้อน (Feed Rate) ที่เป็นค่ากลางที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่เท่ากับ 2000 มิลลิเมตรต่อนาที ตลอดการทดลอง [4][9]

3.1.1.4 การสั่นสะเทือน

3.1.1.5 แรงเสียดทาน

จากการศึกษาพบว่า การสั่นสะเทือนและแรงเสียดทานมีผลต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานน้อยมาก เนื่องจากไม่มีการการตัดชิ้นงานจริง เป็นเพียงการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานเท่านั้น จึงไม่นำการสั่นสะเทือนและแรงเสียดทานมาวิเคราะห์ [14]

3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน

3.1.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (Feed Forward Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (Feed Forward Coefficient) เป็นค่าสัญญาณการควบคุมความถูกต้องและแม่นยำในการสั่งการให้มอเตอร์ของแต่ละแกนเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ต้องการ จากงานวิจัยของ Xi และคณะ [14] พบว่า ความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมขึ้นกับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y ซึ่งถ้าการเคลื่อนที่และค่าความผิดพลาดของมุมในการเคลื่อนที่ในแนวแกนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะของวงรีแทนที่จะเป็นการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ค่าความผิดพลาดนี้สามารถชดเชยได้ด้วยการชดเชยค่าล่วงหน้าซึ่งได้แก่ค่า Feed Forward gain และค่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (Feed Forward หรือ Feed Forward Coefficient) โดย Xi และคณะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า เป็นฟังก์ชันของค่าความเร็วเชิงมุม

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า นั้นจะถูกควบคุมและสั่งการจากหน่วยควบคุม โดยที่หน่วยควบคุมจะส่งสัญญาณค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า ออกมาซึ่งความเร็วของสัญญาณค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า สามารถแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าความเร็วของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 100% และ 50% หมายถึงมีความเร็วเท่ากับ 7000 และ 3500 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที ตามลำดับ

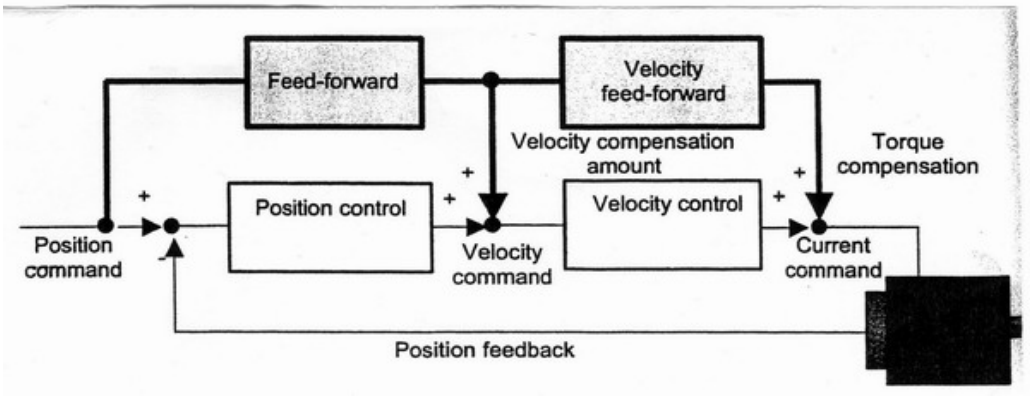
3.1.2.2 ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า (Velocity Feed Forward)

ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า (Velocity Feed Forward) เป็นสัญญาณที่สั่งในเรื่องของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน โดยทำงานร่วมกับการชดเชยที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า เพื่อปรับการเคลื่อนที่ของโต๊ะให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่น้อยที่สุด จากการทำการทดสอบแล้ว พบว่า ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้าทำงานร่วมกับค่าสัมประสิทธ์การป้อนล่วงหน้า ในการควบคุมให้เกิดค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน

จากภาพที่ 3.1 แสดงคำสั่งที่ถูกส่งมาจากหน่วยควบคุม ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ โดยที่เซอร์โวมอเตอร์ส่งสัญญาณค่าตำแหน่งที่ต้องการที่จะหมุนไป จากนั้นสัญญาณค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้าจะถูกส่งออกมาเป็นการตรวจสอบค่าที่ต้องการของเซอร์โวมอเตอร์ที่จะหมุนไป ถ้าค่าที่ต้องการหมุนไปของเซอร์โวมอเตอร์นั้น

ไม่ได้ค่าตามที่ต้องการ ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และ ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า จะทำหน้าที่ชดเชยให้ได้ค่าตามที่ต้องการอย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังแสดงในภาพที่ 3.1

การทดสอบและการวัดค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า จะทำงานในลักษณะเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า เนื่องจากเป็นเซอร์โวมอเตอร์รุ่นเดียวกันในการควบคุมการเกิดค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน จะแสดงความเร็วของสัญญาณในภาพของเปอร์เซ็นต์ นั่น คือ เมื่อความเร็วของสัญญาณ 100%, 50% หมายถึง ค่า200 และ100 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 3.1

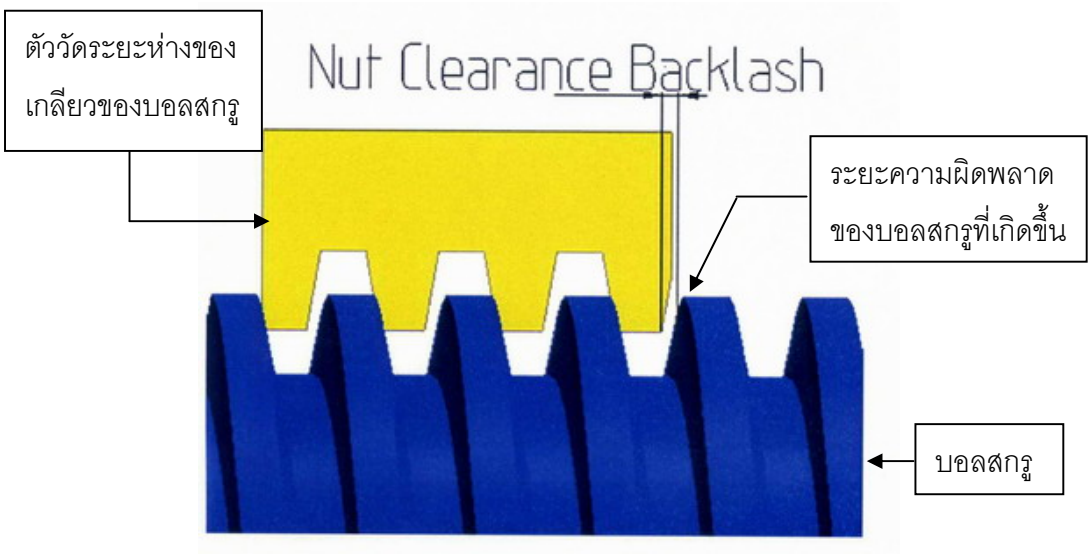
คำสั่งจากการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ [4]

3.1.2.3 ค่าความเร่งแบคแลช (Backlash Acceleration)

ค่าความเร่งแบคแลช (Backlash Acceleration) หมายถึงค่าความเร่งในการชดเชยค่าที่ต้องการตามที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนไป เพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องตามที่ต้องการ ดังนั้นค่าความเร่งแบคแลช จะเป็นการชดเชยค่าที่ขาดไปหรือเกินไปในการต่ออุปกรณ์เข้ากับเซอร์โวมอเตอร์ เช่นต่อบอลสกรูเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อค่าที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนบอลสกรูไป แต่ตำแหน่งที่ได้นั้นไม่ถูกต้องตามที่ต้องการ ค่าความเร่งแบคแลช (Backlash Acceleration) ก็จะเป็นค่าที่ทำการชดเชยค่าให้ได้ถูกต้องตามที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จะสังเกตพบว่าบอลสกรูมีลักษณะเป็นเกลียวมีระยะระหว่างเกลียวของบอลสกรู เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนบอลสกรูให้เคลื่อนที่ไป ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ทำให้เกลียวเกิดการหมุน พบว่า บางครั้งบอลสกรูไม่สามารถหมุนไปยังระยะต้องการได้อย่างถูกต้อง จึงทำให้เกิดค่าความ

ผิดพลาดเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.2 เกิดเป็น Nut Clearance Backlash ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีค่าความเร่งแบคแลช เป็นค่าที่ชดเชยและตรวจสอบค่าความผิดพลาดนี้

การวัดค่าความเร่งแบคแลช นั้นจะถูกควบคุมและสั่งการจากเซอร์โวมอเตอร์ โดยที่เซอร์โวมอเตอร์จะส่งสัญญาณค่าความเร่งแบคแลชออกมา ซึ่งสามารถเทียบสัญญาณค่าความเร่งแบคแลช Backlash Acceleration ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าความเร่งของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 100% และ 50% หมายถึง มีความเร่งเท่ากับ 600 และ 300 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที^{2} ตามลำดับ



ภาพที่ 3.2
ระยะช่องว่างในการเคลื่อนที่ของบอลสกรูซึ่งอาจมีผลของการผิดพลาดในการหมุนของบอลสกรูได้ [4]

3.1.2.4 รัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

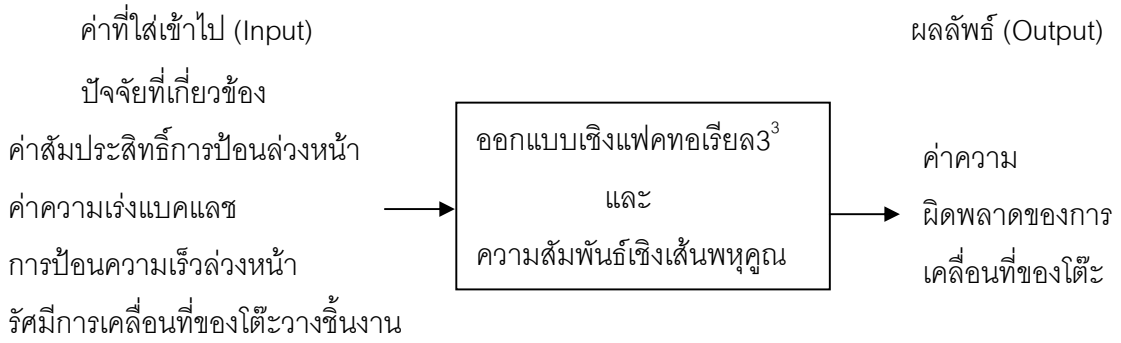
ดังคำอธิบายที่กล่าวแล้วในข้อ 3.1.2.1 พบว่า ค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และรัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม [14] การวัดค่ารัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมนั้นสามารถวัดได้จากการใส่ค่าว่าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกนเคลื่อนที่เป็นค่ารัศมีเท่าไหร่ โดยใส่ค่าในโปรแกรมซีเอ็นซี แล้วสั่งให้เครื่องจักรทำงาน เซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละแกนก็จะเคลื่อนที่เป็นวงกลมตามรัศมีที่สั่งให้เคลื่อนที่ไป รัศมีของวงกลมมีผลต่อการส่งสัญญาณค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าและค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า โดยที่เมื่อรัศมีวงกลมมีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และ ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า ทำการ

ตรวจสอบค่าของตำแหน่งที่ถูกสั่งให้เคลื่อนที่จากเซอร์โวมอเตอร์ได้ไวกว่าและทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่สั่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์ กับตำแหน่งที่โต๊ะชิ้นงานเคลื่อนที่ได้จริงได้เร็วกว่ารัศมีวงใหญ่

3.1.2.5 ความเร็วเชิงมุม

ดังที่อธิบายแล้วในข้อ 3.1.2.1 ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า เป็นฟังก์ชันของความเร็วเชิงมุมซึ่งพบว่าค่าความเร็วเชิงมุมแปรตามค่าสัมประสิทธ์การป้อนล่วงหน้า ดังนั้นงานวิจัยจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าในการพิจารณา [14]

3.2 การออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 3.3

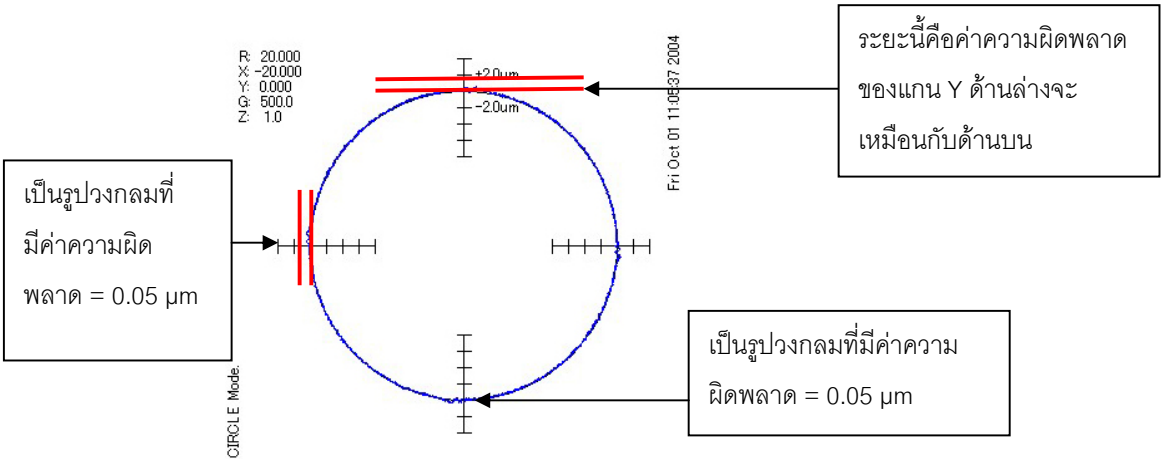
การวิเคราะห์ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ค่าความเร่งแบคแลช**,**

การป้อนความเร็วล่วงหน้าและรัศมีการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน

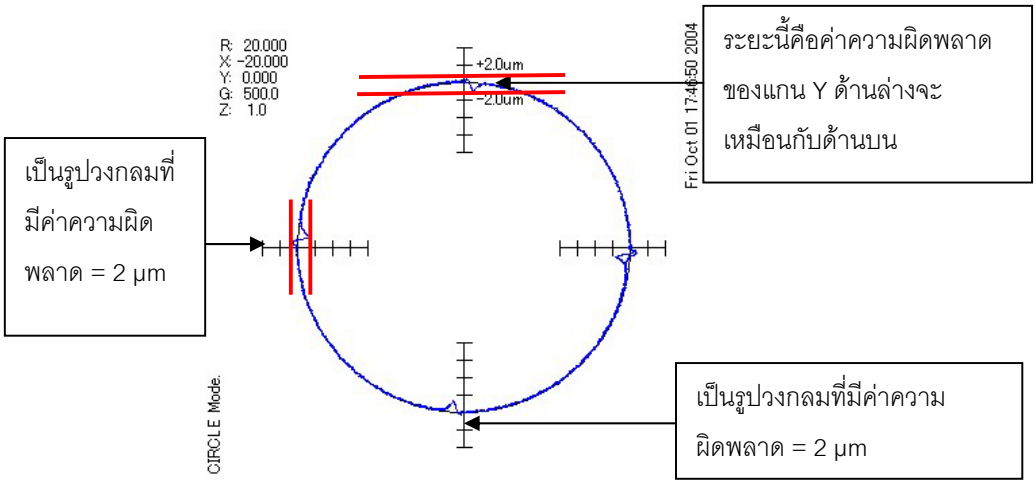
จากภาพที่ 3.3 ค่าที่ใส่เข้าไป (Input) หรือปัจจัยที่ต้องการทดสอบ จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะ พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 ปัจจัย แต่ในปัจจัยทั้ง 4 พบว่า มีบางปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ ในขั้นตอนแรกจึงทำการทดสอบค่าปัจจัย Feed Forward และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้าว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ จึงทำการพิสูจน์ปัจจัย 3 ปัจจัยเบื้องต้นก่อนคือ ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า,ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า แล้วทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ถ้าปัจจัยใดมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน และสัมพันธ์กัน ก็จะทำการปรับลดปัจจัยนั้น แต่จะตรวจสอบดูภายหลังจากทดสอบว่าจะตัดปัจจัยใด

ผลลัพธ์ (Output) คือ ค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะแสดงในหน่วยไมโครเมตร โดยขณะที่โต๊ะวางชิ้นงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีเคลื่อนที่เป็นวงกลม สัญญาณจากโปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ (Fanuc Servo Guide) จะส่งสัญญาณมาตรวจสอบสัญญาณว่าตำแหน่งในแนวแกน X และแกนY เคลื่อนที่ไป ณ ตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่เซอร์โวมอเตอร์กำหนด โดยที่โปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์จะทำหน้าที่ตรวจสอบว่าตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกต้องหรือไม่ โดยเปรียบเทียบตำแหน่งของโต๊ะที่เคลื่อนที่ไปกับตำแหน่งที่กำหนด โดยผลต่างที่เกิดขึ้นของค่าทั้งสองคือค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน

โดยที่กราฟจากการทดสอบความผิดพลาดของเซอร์โวมอเตอร์ พบว่าภาพที่ 3.4 จะพบว่าแกนระยะในแนวแกนX และในแนวแกน Y นั้น ที่เส้นรอบวงมีหยักเกิดขึ้นรอบวงกลม เส้นหยักที่เกิดขึ้นนี้แสดงถึงค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น ค่าความผิดพลาดนี้วัดจากเส้นหยักสูงสุดและต่ำสุดแล้ววิเคราะห์ค่าความผิดพลาด ดังตัวอย่างจากภาพที่ 3.4 (ก) แสดงให้เห็นการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีความผิดพลาดเท่ากับ 0.05 ไมโครเมตร ส่วนภาพที่3.4 (ข) แสดงให้เห็นการเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบบ Undercut ที่มีความผิดพลาดเท่ากับ 2 ไมโครเมตร จากภาพที่ 3.4 (ข) เป็นการเคลื่อนที่แบบ Undercut นั่นหมายถึงมีการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สั่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์นั้น มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดทำให้เกิดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่นั่นคือ เมื่อมีการตัดชิ้นงานจริงจะมีเนื้อชิ้นงานส่วนที่ไม่ได้ตัดอยู่ เรียกการตัดชิ้นงานแบบนี้ว่าการตัดแบบ Undercut เมื่อการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สั่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์นั้น มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดทำให้เกิดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่นั่นคือ เมื่อมีการตัดชิ้นงานจริงเนื้อชิ้นงานส่วนที่ต้องการจะถูกตัดออกไปทำให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ เรียกการตัดแบบนี้ว่าการตัดแบบ Overcut จากภาพที่ 3.4 (ข) เส้นหยักที่เกิดขึ้นจะอยู่ภายในวงกลม (Undercut) สำหรับกรณีการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สั่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์มีค่ามากกว่าตำแหน่งที่กำหนดไว้ทำให้เกิดความผิดพลาด เมื่อมีการตัดชิ้นงานจริง จะมีการตัดชิ้นงานมากกว่าที่กำหนด เมื่อแสดงในภาพกราฟจะอยู่ภายนอกวงกลม (Overcut)



(ก) การเคลื่อนที่เป็นวงกลมเมื่อมีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.05 ไมโครเมตร [9]



(ข) การเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบบ Undercut ที่มีความผิดพลาดเท่ากับ 2 ไมโครเมตร [9]

ภาพที่ 3.4
การเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีความผิดพลาดแบบต่างๆ

จากภาพจะเห็นได้ชัดว่ากราฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในมุม 0, 90,180,270 องศา ตามแนวแกน X และแกน Yเพราะสัญญาณจะถูกส่งไปและตอบสนองกลับอย่างชัดเจนที่แนวแกนทั้ง2 ทำให้เห็นความผิดพลาดของเซอร์โวมอเตอร์ของแกนต่างๆ ตามแนวแกนนั้นๆ อย่างชัดเจนกว่าที่

ตำแหน่งอื่นๆ ของกราฟวงกลม [14] นอกจากนี้ภาพที่ 3.4 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องคือค่า R นั้นคือค่ารัศมีของวงกลมที่กำหนดให้, ค่า X และY แสดงตำแหน่งศูนย์กลางของวงกลม ณ ตำแหน่งนั้น ค่า G และค่า Z แสดงการปรับพิกัดตำแหน่งของกราฟอย่างละเอียด (Zoom) เพื่อที่จะได้กราฟที่เห็นค่าความผิดพลาดที่ชัดเจน โดยค่าG และค่า Z จะแปรผันตามกันอัตโนมัติตามโปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ต่างๆ ตามแนวแกนนั้นๆ อย่างชัด

จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองออกเป็นสองขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือ การวิเคราะห์ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า ก่อนเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้าที่มีผลต่อความผิดพลาดต่อการเคลื่อนที่ของโต๊ะ ถ้าปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าสัมพันธ์กับปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า ก็จะทำการลดปัจจัยลง แต่ถ้าไม่มีความสัมพันธ์กันอาจจะต้องคงปัจจัยไว้ทั้งคู่

ขั้นตอนที่ 2 คือ การวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากขั้นตอนแรก และเพิ่มค่าปัจจัยรัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมการที่นำปัจจัยในขั้นตอนแรกทั้ง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า เพื่อต้องการจะทดสอบก่อนว่าปัจจัยทั้ง 3 ซึ่งเป็นปัจจัยของสัญญาณพื้นฐานที่ถูกส่งออกมาจากเซอร์โวมอเตอร์ว่านี้มีปัจจัยพื้นฐานใดบ้างที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดหรือมีความสัมพันธ์กัน เพื่อที่จะเพิ่มหรือลดปัจจัยภายนอกอื่นเช่นปัจจัยค่ารัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานในการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป โดยปัจจัยที่กล่าวมาแล้วในสองขั้นจะแบ่งปัจจัย 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะแบ่งเป็น3ระดับ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ การปรับค่าเซอร์โวมอเตอร์	ระดับของปัจจัย (k)		
	สูง	กลาง	ต่ำ
ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (%)	100	50	0
ค่าความเร่งแบคแลช ($\mu m./ms^2$)	600	300	0
ค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า (%)	100	50	0
รัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม(มิลลิเมตร)	100	50	10

จากปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าพบว่าเมื่อต่อเซอร์โวมอเตอร์เข้ากับเครื่องจักรซีเอ็นซี จะพบว่า ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า ของเซอร์โวมอเตอร์นั้นเท่ากับ7000 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที จะส่งสัญญาณออกมามากที่สุดเท่ากับ 7000 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที ถือว่าส่งสัญญาณออกมาเต็มที่คือ 100% (รุ่นของเซอร์โวมอเตอร์รุ่นนี้มีค่าส่งสัญญาณสูงสุดที่ 7000 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที จึงทำการวิเคราะห์ค่าสัญญาณที่สูงสุดของรุ่นเซอร์โวมอเตอร์นี้มาทำการวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็น 3 ระดับของการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ส่งสัญญาณสูงสุดที่ 7000 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที โดยถือว่าเป็นการส่งสัญญาณค่าสัมประสิทธ์การป้อนล่วงหน้ามากที่สุดซึ่งเทียบได้กับว่าส่งสัญญาณ 100% เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ส่งสัญญาณระดับกลางออกมาที่ 3500 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที [4] โดยถือว่าเป็นการส่งสัญญาณค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าที่ระดับกลางซึ่งเทียบได้กับว่าส่งสัญญาณ 50% และเมื่อเมื่อเซอร์โวมอเตอร์ไม่ส่งสัญญาณออกมาเลยนั่นก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้ามีค่าเท่ากับศูนย์ไมโครเมตรต่อนาที ซึ่งหมายถึงส่งสัญญาณ 0% จึงทำการวิเคราะห์แบ่งออกมาเป็น 3 ระดับเพื่อที่จะทดลองสังเกตว่าระดับใดจะมีอิทธิพลต่อการควบคุมค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมมากที่สุด [4][9]

ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช พบว่าเมื่อต่อเซอร์โวมอเตอร์เข้ากับเครื่องจักรซีเอ็นซี พบว่าจากการทดสอบวิเคราะห์ออกเป็น 100% หมายถึง ค่าเท่ากับ 600 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที^{2}, 50% หมายถึงค่าเท่ากับ 300 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที^{2} และ 0% นั่นความความถึงไม่มีสัญญาณที่ส่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์ในค่าความเร่งแบคแลช การทดสอบและการวัดค่าความเร่งแบคแลช ซึ่งจะทำงานในลักษณะเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า เนื่องจากเป็นเซอร์โวมอเตอร์รุ่นเดียวกันในการทดสอบ

ปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า พบว่า การทดสอบและการวัดค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า ซึ่งจะทำงานในลักษณะเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้าเนื่องจากเป็นเซอร์โวมอเตอร์รุ่นเดียวกันในการควบคุมให้เกิดค่าผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน คือ แบ่งเป็น 100% หมายถึง ค่า 200 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที, 50% หมายถึงค่า 100 ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที และ 0% นั่นหมายถึงไม่มีสัญญาณที่ส่งมาจากเซอร์โวมอเตอร์ในการตรวจสอบค่าความผิดพลาด

ปัจจัยค่ารัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบ่งออกเป็นรัศมีวงกลมมีค่า 100 มิลลิเมตร, 50 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากค่ารัศมีดังกล่าวเป็นค่ารัศมีเฉลี่ยในการวิเคราะห์สัญญาณจากเซอร์โวมอเตอร์ที่ส่งออกไป [4]

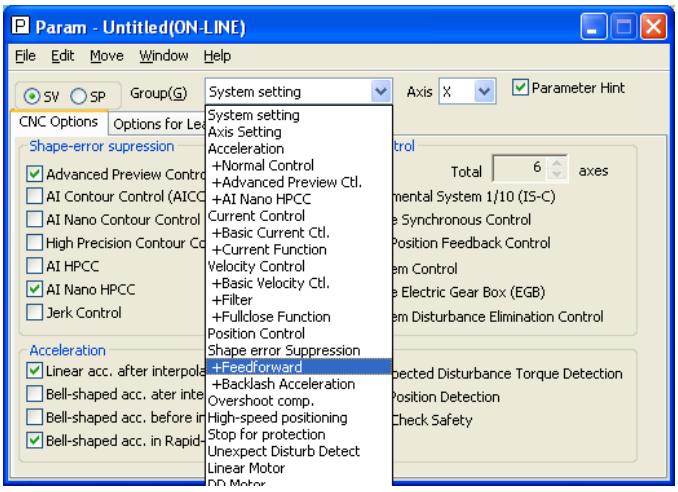
จากปัจจัยที่กำหนดไว้แล้ว จะทำการออกแบบการทดลองทางสถิติ คือ การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 3^k และการวิเคราะห์สมการเชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งรายละเอียดการทดลองจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.3 การทดลอง

การทดลองนี้จะใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีโมริ เซอิกิ (Mori Seiki) 3 แกนรุ่น NV4000 ที่ใช้เซอร์โวมอเตอร์ในแกน X และแกน Y ขนาด18.5 kW (24.66HP) Feed Motor แกน X และแกน Y มีค่าเท่ากับ 1.6kW (2.13HP), โปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ (Fanuc Servo Guide) และโปรแกรมมินิแทป ในการวิเคราะห์ โดยทำการติดตั้งโปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์และโปรแกรมมินิแทปในเครื่องคอมพิวเตอร์

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

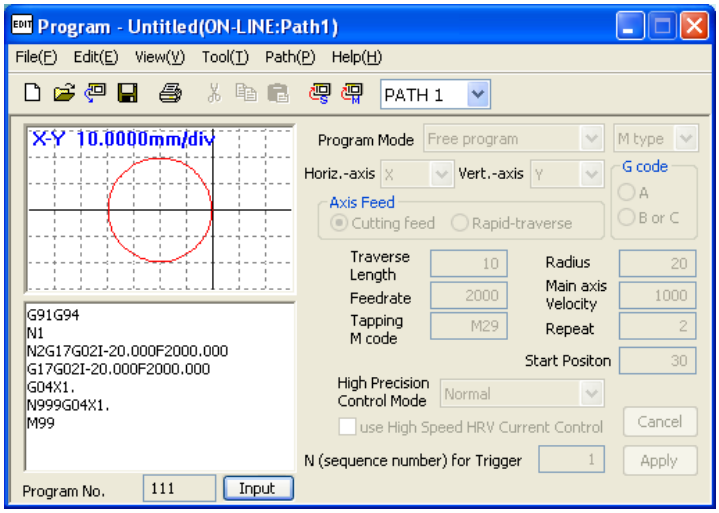
1. เปิดเครื่องจักรซีเอ็นซี แล้วทำการต่อเข้ากับโปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ (Fanuc Servo Guide) เพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณจากเซอร์โวมอเตอร์



ภาพที่ 3.5

โปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ [4]

2. เขียนโปรแกรมสั่งให้เครื่องจักรซีเอ็นซีเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราการป้อน (Feed Rate) เท่ากันตลอดการทดลองคือมีค่าเท่ากับ 2000 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในภาพที่ 3.6 โปรแกรมในการสั่งการเครื่องกัดซีเอ็นซีจะแสดงโปรแกรมการเคลื่อนที่ออกมาในโปรแกรมฟานัคเซอร์โวไกด์ ซึ่งสามารถแก้ไขรัศมีในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานได้ตามค่ารัศมีที่ต้องการทำการทดลอง



ภาพที่ 3.6

โปรแกรมการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน [4]

โปรแกรมการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานสามารถเขียนได้ ดังนี้

O0001;

G91G94

N1;

N2 G17G02I-100.0F2000.0;

G17G02I-100.0F2000.0;

G04X1.0;

N999G04X1.0;

M99;

ค่ารัศมี(I) ตามโปรแกรมซีเอ็นซี สามารถแก้ไขได้ตามค่ารัศมีที่ต้องการทำการทดลอง

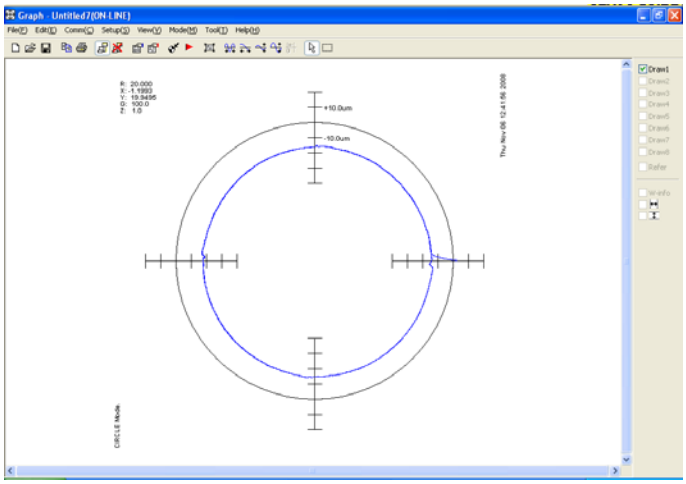
ในขั้นตอนที่หนึ่งค่ารัศมีมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตร, ในขั้นตอนที่ 2 ค่ารัศมีมีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ส่วนขั้นตอนสุดท้ายค่ารัศมีมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3. ทำการทดลองโดยกำหนดค่าปัจจัยตามที่ได้ออกแบบไว้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 ปัจจัยที่จะทำการทดลองจะประกอบด้วยสามปัจจัยคือปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า โดยจะกำหนดปัจจัยแบบ3^3 เชิงแฟคทอเรียล ซึ่งตารางการออกแบบการทดลองนี้จะแสดงในภาคผนวก

ขั้นตอนที่ 2 จะมีการเพิ่มปัจจัยค่ารัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงานเข้าไปด้วย ซึ่งตารางการออกแบบการทดลองนี้จะแสดงในภาคผนวก

4. เริ่มให้เครื่องจักรซีเอ็นซีเคลื่อนที่เป็นวงกลมตามโปรแกรมที่เขียนไว้ แล้วทำการวัดค่าสัญญาณที่ส่งไปจากเซอร์โวมอเตอร์จากโปรแกรม เมื่อแต่ละแกนของเคลื่อนจักรเคลื่อนที่จนจบโปรแกรมแล้ว ผลลัพธ์ของการส่งสัญญาณจะแสดงออกมาที่คอมพิวเตอร์ ก็จะทราบค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่มีปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้าที่กำหนดให้ ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7
กราฟค่าความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม [4]

5. ทำการทดลองแต่ละระดับปัจจัยที่ต่างกันจนครบ 27 ครั้ง แล้วทำการเก็บข้อมูลค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป ซึ่งในแต่ละระกับของปัจจัยที่ทำการทดลองนั้น จะทำการทดลองซ้ำ 2 แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

6. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อหาปัจจัยใดที่เกี่ยวข้องกับค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

7. หาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย, แต่ละคู่ของปัจจัย และปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัย โดยทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปัจจัย

8. หาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยในภาพแบบความสัมพันธ์เชิงพหูคูณ เพื่อที่จะทราบสมการความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย เพื่อที่จะสามารถทำนายค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากการใส่ค่าแต่ละปัจจัยลงไปในสมการที่หามาได้

9. สรุปและวิเคราะห์ปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความผิดพลาด, ปัจจัยร่วมใดที่มีผลต่อค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

3.4 **ผลการทดลอง**

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 จะแสดงออกมาเป็นตารางที่แสดงค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัย และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของปัจจัย ดังตัวอย่างที่แสดงดังตารางที่ 3.2 ผลการทดลองทั้งหมดจะแสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.2
ค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัยและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของปัจจัยในขั้นตอนที่ 1

ปัจจัย ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที)	ปัจจัย ค่าความเร่งแบคแลช (ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที^{2})	ปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้า (ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที)	ค่าความผิดพลาดจากการทดลอง (ไมโครเมตร)
0	0	0	32
0	300	50	18
50	600	100	7
50	0	0	25
100	300	50	6
100	600	100	2

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2 จะแสดงออกมาเป็นตารางที่แสดงค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัย และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของปัจจัย ดังตัวอย่างที่แสดงดังตารางที่ 3.3 ผลการทดลองทั้งหมดจะแสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.3
ค่าของปัจจัยและระดับของปัจจัยและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของปัจจัยในขั้นตอนที่ 2

ปัจจัย ค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า (ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที)	ปัจจัย ค่าความเร่งแบคแลช (ไมโครเมตรต่อมิลลิวินาที^{2})	ปัจจัยค่ารัศมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม (มิลลิเมตร)	ค่าความผิดพลาดจากการทดลอง (ไมโครเมตร)
0	0	10	32
0	300	50	22
50	600	100	4
50	0	10	25
100	300	50	7
100	600	100	2

พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบคแลช และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้านั้น ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า และปัจจัยค่าสัญญาณการป้อนความเร็วล่วงหน้ามีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถลดปัจจัยในการวิเคราะห์เหลือเพียงปัจจัยค่าสัมประสิทธ์การป้อนล่วงหน้า แล้วนำปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า ไปทำการวิเคราะห์ปัจจัยในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป ผลการทดลองอยู่ในภาคผนวก

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2 สามารถแสดงในตาราง แต่รายละเอียดทั้งหมดจะแสดงในภาคผนวก จากการทดลองทั้งหมดนี้จะกล่าวในบทที่ 4