# บทที่ 5

## ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบระบบควบคุมทั้งหมด รวมถึงตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแล้ว ขั้นตอนต่อไป จะเป็นการทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก รวมทั้งผลเชิงเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และผลการทดลองการเคลื่อนที่จริง

### 5.1 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก

ในการทดลองนี้ เราได้สร้างระบบการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ขึ้นมา เพื่อศึกษาการทำงานการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ โดยนำผลการทดลองที่ได้จากการจำลองระบบควบคุมมาใช้เป็นเกณฑ์ ซึ่งในการทดลองนั้น จะทำการวัดเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย (settling time) และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายแล้ว (steady state error) เป็นดัชนีวัดพฤติกรรมของระบบ ซึ่งในการวัดค่าเหล่านี้ จะใช้เครื่องมือวัดลอจิกอะนาไลเซอร์ (logic analyzer) เป็นตัววัด ซึ่งค่าตำแหน่งที่วัดจะอยู่ในหน่วยของสเตปและสามารถหาค่าความสัมพันธ์ในหน่วยของมิลลิเมตรได้ดังนี้

หน่วยของมิลลิเมตร = หน่วยของสเตป*0.025

การทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก ได้ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของมอเตอร์โดยพิจารณาในเรื่องของเวลาเข้าสู่เป้าหมายและค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม

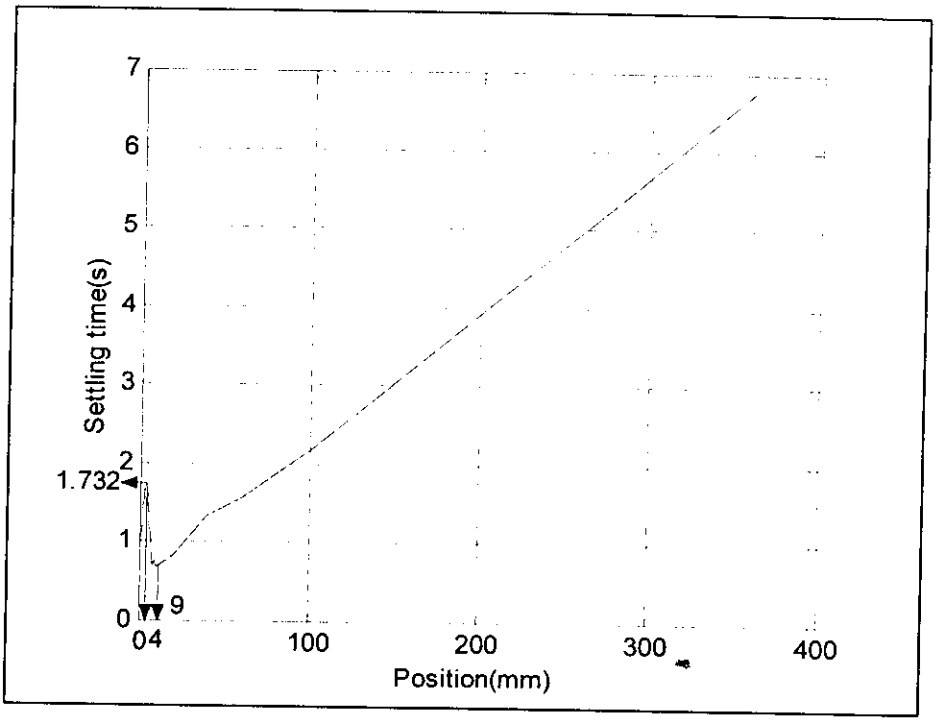
ทำการทดลอง โดยกำหนดตำแหน่งเป้าหมายที่ระยะต่างๆ กัน เพื่อบันทึกเวลาที่ใช้เข้าสู่เป้าหมายและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองได้ตามตาราง 5-1

ตาราง 5-1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุม

| ค่าตำแหน่งที่ป้อน (mm.) | เวลาที่ใช้ (วินาที)* | | | | ค่าตำแหน่งที่วัดได้ (mm.)* | ค่าความผิดพลาด (mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | | |
| 0.2 | 0.370 | 0.366 | 0.382 | 0.373 | 0.2 | 0 |
| 0.6 | 0.686 | 0.704 | 0.796 | 0.729 | 0.6 | 0 |
| 1.0 | 1.070 | 1.056 | 1.064 | 1.063 | 1.0 | 0 |
| 1.4 | 1.162 | 1.156 | 1.192 | 1.170 | 1.4 | 0 |
| 1.8 | 1.288 | 1.292 | 1.348 | 1.309 | 1.8 | 0 |
| 2.2 | 1.446 | 1.426 | 1.436 | 1.436 | 2.2 | 0 |
| 2.6 | 1.542 | 1.534 | 1.532 | 1.536 | 2.575 | 0.025 |
| 3.0 | 1.672 | 1.664 | 1.628 | 1.655 | 3.0 | 0 |
| 4.0 | 1.708 | 1.794 | 1.694 | 1.732 | 4.0 | 0 |
| 5.0 | 1.368 | 1.380 | 1.338 | 1.362 | 5.0 | 0 |
| 6.0 | 1.250 | 1.222 | 1.154 | 1.209 | 6.025 | -0.025 |
| 7.0 | 1.072 | 1.120 | 1.084 | 1.092 | 6.975 | 0.025 |
| 8.0 | 0.706 | 0.650 | 0.626 | 0.660 | 8.0 | 0 |
| 9.0 | 0.620 | 0.658 | 0.684 | 0.654 | 9.0 | 0 |
| 10.0 | 0.688 | 0.645 | 0.665 | 0.666 | 10.0 | 0 |
| 20.0 | 0.808 | 0.840 | 0.814 | 0.821 | 20.0 | 0 |
| 40.0 | 1.364 | 1.294 | 1.307 | 1.322 | 40.0 | 0 |
| 60.0 | 1.640 | 1.552 | 1.504 | 1.565 | 60.0 | 0 |
| 80.0 | 1.816 | 1.820 | 1.950 | 1.862 | 80.0 | 0 |
| 100.0 | 2.128 | 2.188 | 2.226 | 2.181 | 100.0 | 0 |
| 200.0 | 4.010 | 3.802 | 3.948 | 3.920 | 200.0 | 0 |
| 300.0 | 5.738 | 5.660 | 5.580 | 5.659 | 300.0 | 0 |
| 360.0 | 6.642 | 6.870 | 6.764 | 6.759 | 360.0 | 0 |

*เวลาที่ใช้และค่าตำแหน่งที่วัดได้ วัดโดยใช้เครื่องมือลอจิกอะนาไลเซอร์ โดยได้คำนวณในหน่วยของสเตปเป็นหน่วยของมิลลิเมตรแล้ว

จากผลการทดลองที่ได้ เราสามารถนำผลดังกล่าวมาทำการพล๊อตกราฟระหว่างตำแหน่งหรือระยะทางที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป ($s_m$) กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย ($t_s$) ได้ดังนี้




ภาพประกอบ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาที่ใช้เข้าสู่ตำแหน่ง

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 5-1 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

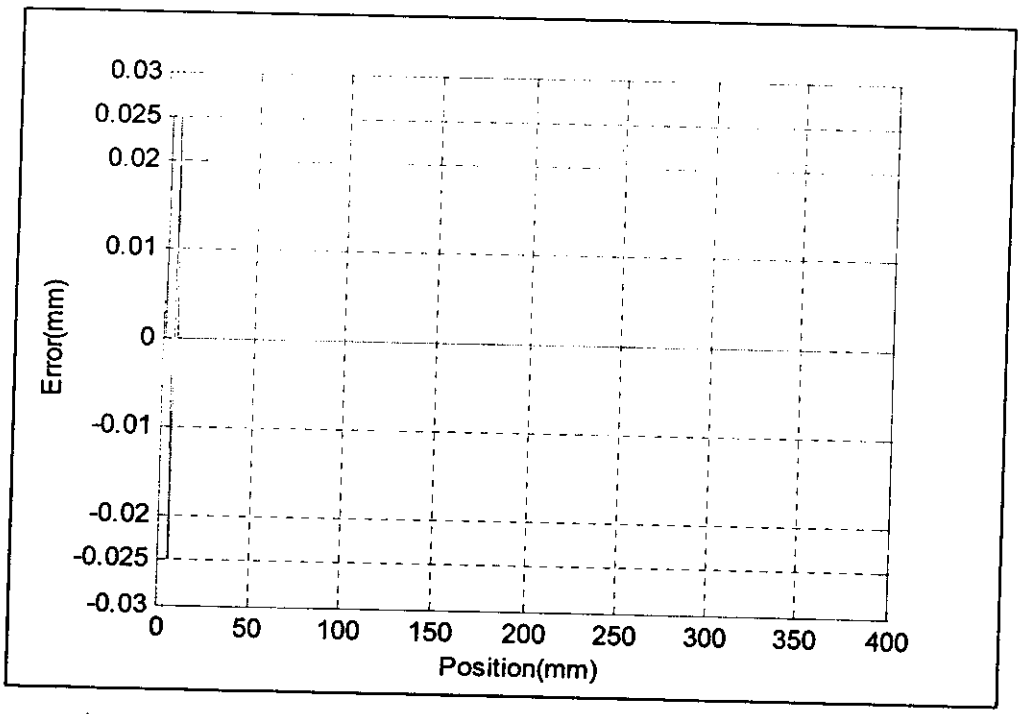
1. ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน มอเตอร์จะใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายต่างกัน
2. ทุก ๆ ตำแหน่งตลอดทั้งช่วงที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปนั้น (0-360 มิลลิเมตร) ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่ง ดังนี้
   2.1 ที่ตำแหน่ง 0-4 มิลลิเมตร ค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย จะมีค่ามากขึ้นตามตำแหน่ง ในลักษณะที่เป็นการแปรผันตรงเชิงเส้น (linear)
   2.2 ที่ตำแหน่ง 4 มิลลิเมตร ค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย จะมีค่ามากที่สุด ก่อนที่จะค่อย ๆ ลดค่าลง กล่าวคือ ที่ตำแหน่ง 4 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 1.732 วินาที
   2.3 ที่ตำแหน่ง 4-9 มิลลิเมตร ค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย จะมีค่าลดลง ขณะที่ตำแหน่งมีค่ามากขึ้น ในลักษณะที่เป็นการแปรผกผันเชิงเส้น โดยตำแหน่งที่ใช้เวลาเข้า

สู่เป้าหมายต่ำสุดก่อนที่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น คือ ที่ตำแหน่ง 9 มิลลิเมตร ซึ่งใช้เวลา 0.654 วินาที

2.4 ที่ตำแหน่ง 9-360 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมายกับตำแหน่ง จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่ง 0-4 มิลลิเมตร กล่าวคือ ค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย จะมีค่ามากขึ้นตามตำแหน่งในลักษณะที่เป็นการแปรผันตรงเชิงเส้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมายที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งนั้น เป็นผลมาจากตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจะมีการตัดสินใจในการสั่งงานมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้แบ่งเป็นช่วงๆ ไว้ ซึ่งผลการตัดสินใจ เกิดจากการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกนั่นเอง

จากผลการทดลองเดียวกันนี้ เราสามารถนำผลดังกล่าวมาทำการพล๊อตกราฟระหว่างตำแหน่งหรือระยะทางที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป ($s_m$) กับค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมาย (ess) ได้ดังนี้




ภาพประกอบ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 5-2 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. ที่ตำแหน่งที่ทำการทดลอง พบว่าจะให้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่สถานะอยู่ตัว (ess) แต่จะมีที่ตำแหน่ง 2.6, 6.0 และ 7.0 มิลลิเมตร ที่เกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งซึ่งมีค่า 0.025 มิลลิเมตร
2. จากผลการทดลองดังกล่าว ซึ่งเกิดค่าความผิดพลาดของบางตำแหน่งขึ้น ทำให้บ่งบอกว่าระบบควบคุมนี้มีโอกาสที่จะเกิดค่าความผิดพลาดได้ แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมา ได้ป้อนตำแหน่งเป้าหมายให้มีทศนิยมเพียงตำแหน่งเดียว แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นมีค่า 0.025 มิลลิเมตร ซึ่งมีทศนิยมสามตำแหน่ง จึงทำให้ต้องทำการทดลองในหัวข้อถัดไป

**5.1.2 การทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุมโดยเพิ่มความละเอียดของตำแหน่ง**

เนื่องจากในการทดลองเชิงเส้นในหัวข้อ 5.1.1 นั้นพบว่าที่บางตำแหน่งเกิดค่าความผิดพลาดขึ้น 0.025 มิลลิเมตร จึงทำให้ต้องทำการทดลองโดยกำหนดตำแหน่งต่างๆ กัน และตำแหน่งที่ป้อนจะกำหนดให้มีความละเอียดถึงทศนิยมสามตำแหน่ง ซึ่งเท่ากับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลองข้างต้น เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับค่าความผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบควบคุมนี้ และนำไปสู่การหาความละเอียดของระบบในการเคลื่อนที่ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามตาราง 5-2

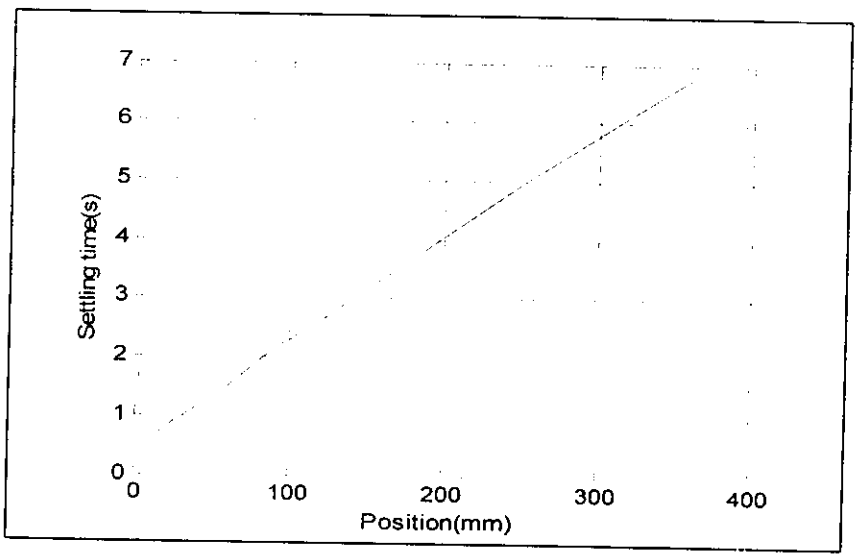
ตาราง 5-2 ผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของระบบควบคุมโดยเพิ่มความละเอียดของตำแหน่ง

| ค่าตำแหน่งที่ป้อน (mm.) | เวลาที่ใช้ (วินาที)* | | | | ค่าตำแหน่งที่วัดได้ (mm.)* | ค่าความผิดพลาด(mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | | |
| 0.025 | - | - | - | - | 0 | 0.025 |
| 0.075 | 0.168 | 0.168 | 0.180 | 0.172 | 0.075 | 0 |
| 0.15 | 0.174 | 0.194 | 0.250 | 0.206 | 0.15 | 0 |
| 0.225 | 0.284 | 0.280 | 0.304 | 0.289 | 0.225 | 0 |
| 0.325 | 0.408 | 0.394 | 0.368 | 0.390 | 0.3 | 0.025 |
| 0.375 | 0.526 | 0.556 | 0.500 | 0.527 | 0.375 | 0 |
| 0.45 | 0.698 | 0.672 | 0.670 | 0.680 | 0.45 | 0 |
| 0.475 | 0.728 | 0.708 | 0.708 | 0.715 | 0.475 | 0 |
| 0.55 | 0.804 | 0.784 | 0.792 | 0.793 | 0.55 | 0 |

| ค่าตำแหน่งที่ป้อน (mm.) | เวลาที่ใช้ (วินาที)* | | | | ค่าตำแหน่งที่วัดได้ (mm.)* | ค่าความผิดพลาด(mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | | |
| 0.625 | 0.844 | 0.896 | 0.858 | 0.866 | 0.625 | 0 |
| 0.725 | 0.832 | 0.890 | 0.916 | 0.879 | 0.725 | 0 |
| 0.775 | 0.850 | 0.872 | 0.902 | 0.875 | 0.75 | 0.025 |
| 0.825 | 0.954 | 0.920 | 0.998 | 0.957 | 0.825 | 0 |
| 1.475 | 1.212 | 1.204 | 1.180 | 1.199 | 1.475 | 0 |
| 1.525 | 1.190 | 1.198 | 1.246 | 1.211 | 1.525 | 0 |
| 3.05 | 1.710 | 1.728 | 1.688 | 1.709 | 3.05 | 0 |
| 5.15 | 1.218 | 1.214 | 1.218 | 1.216 | 5.15 | 0 |
| 10.075 | 0.580 | 0.592 | 0.594 | 0.588 | 10.075 | 0 |
| 27.475 | 0.982 | 0.906 | 0.932 | 0.940 | 27.45 | 0.025 |
| 54.575 | 1.360 | 1.360 | 1.344 | 1.355 | 54.575 | 0 |
| 89.95 | 2.068 | 2.174 | 2.216 | 2.153 | 89.925 | 0.025 |
| 119.425 | 2.522 | 2.736 | 2.530 | 2.596 | 119.425 | 0 |
| 159.975 | 3.366 | 3.322 | 3.236 | 3.308 | 159.95 | 0.025 |
| 260.25 | 5.192 | 4.970 | 5.150 | 5.104 | 260.25 | 0 |
| 359.875 | 6.932 | 6.698 | 6.638 | 6.756 | 359.875 | 0 |

*เวลาที่ใช้และค่าตำแหน่งที่วัดได้ วัดโดยใช้เครื่องมือลอจิกอะนาไลเซอร์ โดยได้คำนวณในหน่วยของสเตปเป็นหน่วยของมิลลิเมตรแล้ว

จากผลการทดลองที่ได้ เราสามารถนำผลดังกล่าวมาทำการพล็อตกราฟระหว่างตำแหน่งหรือระยะทางที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป ($s_m$) กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย ($t_s$) ได้ดังนี้

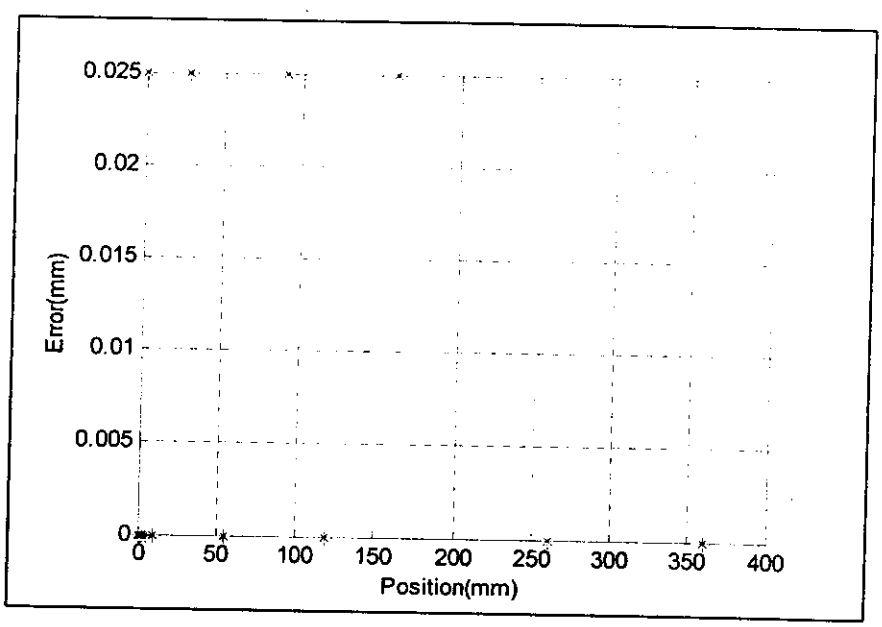



ภาพประกอบ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาที่ใช้เข้าสู่ตำแหน่ง

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 5-3 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมาย สอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อ 5.1.1

จากผลการทดลองเดียวกันนี้ เราสามารถนำผลดังกล่าวมาทำการพล็อตกราฟระหว่างตำแหน่งหรือระยะทางที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป ($s_m$) กับค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมาย (ess) ได้ดังนี้




**ภาพประกอบ 5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น**

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 5-4 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. เมื่อทำการทดลองที่ตำแหน่งที่มีความละเอียดมากขึ้น พบว่าจะเกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งขึ้น ณ บางตำแหน่งที่ทำการทดลอง ขณะที่บางตำแหน่งไม่เกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเลย
2. จากการทดลอง พบว่าค่าตำแหน่งที่วัดได้ในการทดลอง 3 ครั้ง สามารถเกิดค่าที่ไม่เท่ากันได้ โดยค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้น จะมีค่าไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร
3. จากผลการทดลอง ทำให้ทราบว่าการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์นั้น สามารถเกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งได้มากที่สุด คือ 0.025 มิลลิเมตร ดังนั้นความละเอียดของระบบการควบคุมตำแหน่งจริง จึงมีค่าเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร

## 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองการควบคุมและผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์

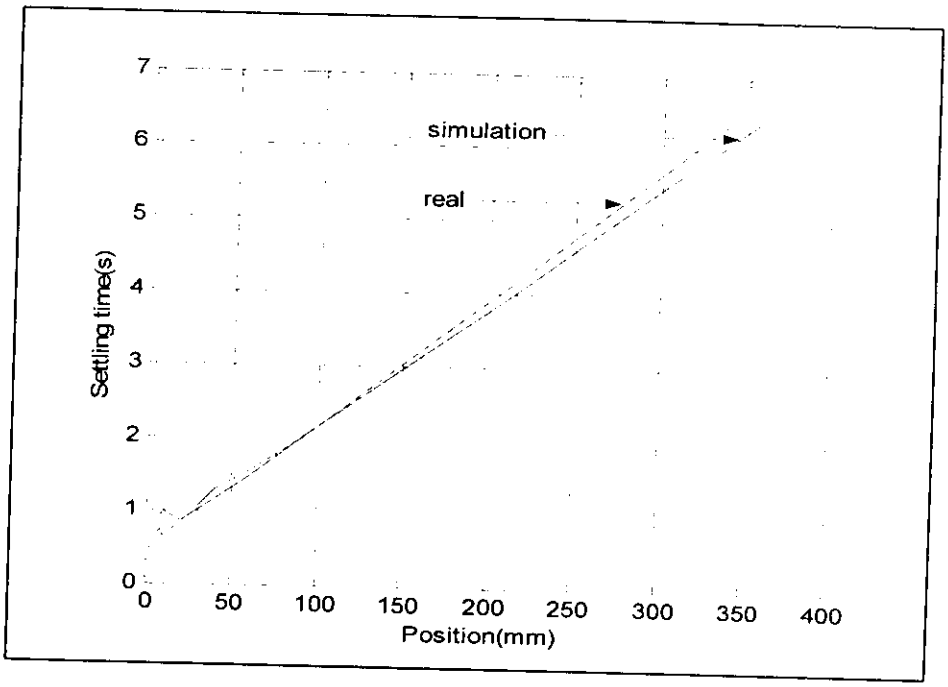
ในการทดลองนี้ เป็นผลจากหัวข้อ 5.1 และการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ แต่เราได้นำเสนอในเชิงเปรียบเทียบของผลการทดลองที่ได้ โดยผลการทดลองนี้ จะแสดงถึงการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์เปรียบเทียบกับการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามตาราง 5-3

ตาราง 5-3 ผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบของระบบจำลองและระบบจริง

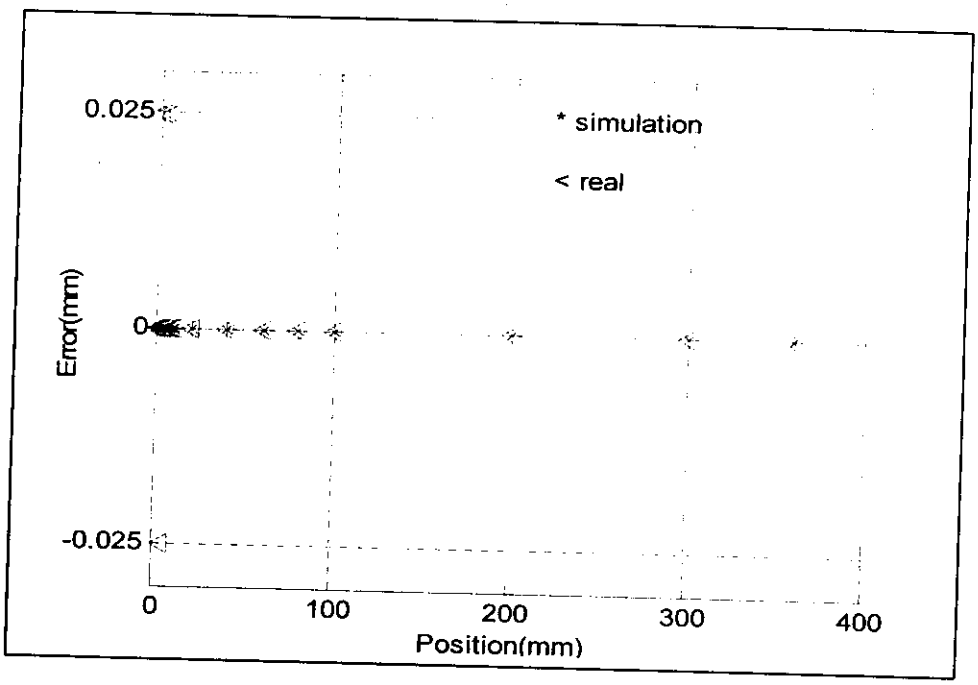
| ค่าตำแหน่งที่ป้อน (mm.) | เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที) | | ค่าความผิดพลาด(mm.) | |
|---|---|---|---|---|
| | ระบบจำลอง | ระบบจริง | ระบบจำลอง | ระบบจริง |
| 0.025 | 0.445 | - | 0 | 0.025 |
| 0.075 | 0.254 | 0.172 | 0 | 0 |
| 0.15 | 0.202 | 0.206 | 0 | 0 |
| 0.2 | 0.175 | 0.373 | 0 | 0 |
| 0.6 | 0.213 | 0.729 | 0 | 0 |
| 1.0 | 0.292 | 1.063 | 0 | 0 |
| 1.4 | 0.335 | 1.170 | 0 | 0 |
| 1.8 | 0.410 | 1.309 | 0 | 0 |
| 2.2 | 0.455 | 1.436 | 0 | 0 |
| 2.6 | 0.487 | 1.536 | 0 | 0.025 |

| ค่าตำแหน่งที่ป้อน (mm.) | เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที) | | ค่าความผิดพลาด(mm.) | |
|---|---|---|---|---|
| | ระบบจำลอง | ระบบจริง | ระบบจำลอง | ระบบจริง |
| 3.0 | 0.515 | 1.655 | 0 | 0 |
| 4.0 | 0.596 | 1.732 | 0 | 0 |
| 5.0 | 0.658 | 1.362 | 0 | 0 |
| 6.0 | 0.725 | 1.209 | 0 | -0.025 |
| 7.0 | 0.791 | 1.092 | 0 | 0.025 |
| 8.0 | 0.841 | 0.686 | 0 | 0 |
| 9.0 | 0.928 | 0.747 | 0 | 0 |
| 10.0 | 0.989 | 0.660 | 0 | 0 |
| 20.0 | 0.858 | 0.821 | 0 | 0 |
| 40.0 | 1.181 | 1.322 | 0 | 0 |
| 60.0 | 1.501 | 1.565 | 0 | 0 |
| 80.0 | 1.825 | 1.862 | 0 | 0 |
| 100.0 | 2.180 | 2.181 | 0 | 0 |
| 200.0 | 3.782 | 3.920 | 0 | 0 |
| 300.0 | 5.454 | 5.659 | 0 | 0 |
| 360.0 | 6.432 | 6.759 | 0 | 0 |

จากผลการทดลอง เราสามารถพล๊อตกราฟ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากทั้งสองระบบได้ดังนี้




ภาพประกอบ 5-5 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบจริงและระบบจำลอง
เมื่อพิจารณาตำแหน่งและเวลาเข้าสู่ตำแหน่ง




ภาพประกอบ 5-6 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบจริงและระบบจำลอง
เมื่อพิจารณาตำแหน่งและค่าความผิดพลาด

จากผลการทดลองตามภาพประกอบ 5-3 และ 5-4 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาเข้าสู่เป้าหมายของระบบจำลองการเคลื่อนที่และระบบการเคลื่อนที่จริง สามารถหาค่าความชันของกราฟได้เท่ากับ 0.0160 และ 0.0175 วินาทีต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ
2. ที่ตำแหน่งใด ๆ พบว่าค่าเวลาในการเข้าสู่เป้าหมายของระบบจำลองและระบบการเคลื่อนที่จริงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะสังเกตได้ว่าค่าเวลาในการเข้าสู่เป้าหมายของระบบจำลองจะมีค่าเร็วกว่าระบบการเคลื่อนที่จริงเล็กน้อย ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าความชันของทั้งสองระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับค่าของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก
3. ระบบจำลองการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไป กับค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เป้าหมายในลักษณะเดียวกันตลอดการเคลื่อนที่ ขณะที่ระบบการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ จะมีความสัมพันธ์แตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ในการทดลองการเคลื่อนที่จริง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกของระบบจำลองการเคลื่อนที่นั้น สร้างขึ้นจากทูลบอกซ์ฟัซซี่ลอจิกในโปรแกรม MATLAB ซึ่งมีวิธีการควบคุมที่ละเอียด และทำการคำนวณค่าที่ใช้ในการควบคุมแบบต่อเนื่อง (continuous value) ขณะที่ระบบการเคลื่อนที่จริงนั้น สร้างขึ้นโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดแบบเป็นช่วงๆ โดยการแบ่งเป็นระดับ ดังนั้นในแต่ละระดับหรือช่วงที่แบ่ง จึงมีผลกับความเร็วที่สั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสัมพันธ์ดังกล่าว
4. ระบบจำลองการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่าผลตอบสนองต่อตำแหน่งจะมีการแกว่งที่ตำแหน่งน้อย ๆ (1-1.25 มิลลิเมตร) ขณะที่ระบบการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์จะมีโอกาสเกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งขึ้น 0.025 มิลลิเมตร ณ บางตำแหน่งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกของระบบจำลองการเคลื่อนที่นั้น สร้างขึ้นจากทูลบอกซ์ฟัซซี่ลอจิกในโปรแกรม MATLAB ซึ่งมีวิธีการควบคุมที่ละเอียด และทำการคำนวณค่าที่ใช้ในการควบคุมแบบต่อเนื่อง (continuous value) ขณะที่ระบบการเคลื่อนที่จริงนั้น สร้างขึ้นโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดแบบเป็นช่วงๆ โดยการแบ่งเป็นระดับ ทำให้มีโอกาสเกิดค่าความผิดพลาดขึ้นตามช่วงหรือระดับที่แบ่งไว้ได้ อย่างไรก็ตามผลของการแกว่งที่เกิดขึ้นจากการจำลองการทำงานนั้น จะไม่ส่งผลกับการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ เนื่องจากความละเอียดของตัวเอนโคดเดอร์มีค่ามากกว่าค่าที่แกว่งของระบบจำลอง รวมถึงการเคลื่อนที่จริง จะมีค่าเวลาคงที่ทางกลมาก ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ทันเหมือนในระบบจำลอง