

บทที่ 5

ข้อมูล

การทดลองหาข้อมูลนี้มีเป้าหมายเพื่อที่จะหาคู่สมมติของเครื่องมือว่าสามารถทำงานได้ในช่วงใดบ้าง และให้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเท่าไร เมื่อค่าโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการเปลี่ยนแปลงค้อน้ำหนัก

5.1 การทดลองครั้งแรก เมื่อใช้ค้อน้ำหนัก  $M_4$  เป็นตัวทำให้เปลี่ยนค่าโมเมนต์ของแรงคู่ควบ ด้วยวิธีการปรับจำนวนเกลียว กำหนดเงื่อนไขดังนี้

5.1.1 กรณีที่ 1 ค้อน้ำหนัก  $M_4$  อยู่ตำแหน่ง  $n = 0$

ความดันอากาศ = 1 ปอนด์/ตารางนิ้ว  
+ ความดันบรรยากาศ

กระแสไหลของเครื่องส่ง = 30 มิลลิแอมป์

5.1.2 กรณีที่ 2 เงื่อนไขเหมือนกรณีแรก แต่เปลี่ยน  $n = 32$  เกลียว

ตารางที่ 5.1.1 แสดงผลการทดลอง

| $f_1$<br>อัตราการหมุนของ<br>ตัวหมุน รอบ/วินาที | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ | $\theta$<br>มุมของการหมุน<br>ควง | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------|
| 42.93  | 128.8  | 1                                | 13.16                           |
| 42.72  | 128.0  | 1                                | 13.17                           |
| 42.68  | 129.0  | 1                                | 13.06                           |
| 42.77  | 127.3  | 1                                | 13.26                           |
| 43.05  | 129.4  | 1                                | 13.13                           |
| 43.45  | 134.3  | 1                                | 12.77                           |
| 43.80  | 134.0  | 1                                | 12.90                           |
| 44.06  | 131.2  | 1                                | 13.26                           |
| 44.10  | 128.0  | 1                                | 13.60                           |
| 45.02  | 128.8  | 1                                | 13.80                           |
| เฉลี่ย<br>43.46                                | 129.88                                       | 1                                | 13.21                           |

$f_1$  = อัตราการหมุนของโรเตอร์ รอบ/วินาที

$f_2^{-1}$  = คาบของการหมุนควง วินาที/รอบ

$\theta$  = มุมของการหมุนควง องศา

ตารางที่ 5.1.2 แสดงผลการทดลอง

| $f_1$<br>อัตราความถี่ของ<br>ตัวหมุน รอบ/วินาที | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ | $\theta$<br>มุมของการ<br>หมุนควง | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------|
| 43.96  | 118.0  | 1                                | 14.71                           |
| 42.56  | 113.0  | 1                                | 14.87                           |
| 44.11  | 117.8  | 2                                | 14.78                           |
| 40.61  | 109.0  | 3                                | 14.71                           |
| 40.02  | 108.2  | 3                                | 14.60                           |
| 39.19  | 104.8  | 3                                | 14.76                           |
| 38.90  | 103.2  | 3                                | 14.88                           |
| 38.65  | 102.3  | 3                                | 14.91                           |
| 38.82  | 102.7  | 3                                | 14.92                           |
| 41.82  | 110.0  | 3                                | 15.01                           |
| เฉลี่ย<br>40.86                                | 108.9  | 2.5                              | 14.81                           |

จากกรณี 1 และ 2 สามารถนำไปหาค่า  $h$  และ  $Mgh$  นำมาเปรียบเทียบได้  
ดังนี้

ตารางที่ 5.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณ

| ตัวหมุนอยู่ที่ตำแหน่ง | กรณี 1    |                  | กรณี 2    |                  |
|-----------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
|                       | $h$ (ซม.) | $Mgh$ (ไคน์-ซม.) | $h$ (ซม.) | $Mgh$ (ไคน์-ซม.) |
| จากการ { B            | 0.020     | 6,494.837        | 0.029     | 9,469.332        |
| คำนวณ { A             | 0.050     | 15,922.452       | 0.059     | 18,896.852       |
| จากการทดลอง           |           | 12,118.021       |           | 13,584.696       |

ผลจากการทดลอง ค่า  $h$  เปลี่ยนไปจาก 0.020 เป็น 0.050 ในกรณีแรก ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของค่า  $Mgh$  ถึง 84 %

และในกรณี 2 เกิดการเบี่ยงเบนถึง 66% ตำแหน่ง B หมายถึงการที่จุดศูนย์กลางของตัวหมุนอยู่ห่างจากจุดหมุน 4.061 ซม. เป็นตำแหน่งปรกติ และตำแหน่ง A หมายถึง การที่ตัวหมุนเลื่อนเข้ามา 0.1 ซม. ทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งระบบเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้ว่าช่วงการเลื่อนไปมาของตัวหมุนเพียง 0.1 ซม. มีผลกระทบกระเทือนอย่างมากต่อค่าแรงคู่ควบ  $Mgh$  ดังนั้นเพื่อกำจัดให้การเบี่ยงเบนเหล่านี้ลดลง จึงต้องเพิ่มค่า  $h$  เพื่อไม่ให้อยู่ในช่วง 0.1 ซม. การหาค่า  $h$  ใช้ความสัมพันธ์จากสมการ (3.5.4)

$$h_{A,B,C} = \frac{T_{A,B,C} - M_i \left[ 18.164 - x_{c.g.} - 0.08 n \right]}{(M_i + 314.221)}$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนำมากำหนดค่า  $h$  ตามต้องการ แล้วคำนวณย้อนหาขนาดของตุ้มน้ำหนัก และหาจำนวนเกลียว ( $n$ ) ที่ต้องการ เพื่อให้ได้  $h$  นั้น ๆ และเมื่อได้จำนวนเกลียวที่ปัดเป็นจำนวนเต็มแล้ว ก็คำนวณย้อนกลับมาหาค่า  $h_A$ ,  $h_B$ ,  $h_C$  ที่แท้จริงอีกครั้งหนึ่ง. ค่า  $T_{A,B,C}$  แสดงไว้ในหัวข้อ 3.5

ตารางที่ 5.1.4 เงื่อนไขในการใช้ตุ้มน้ำหนัก กรณีหมุนควงทวนเข็มนาฬิกา

|   | $h_B$ ที่ดำ-<br>หนด ซม. | ตุ้มน้ำหนัก<br>กรัม | $x_{c.g.}$<br>ซม. | น้ำหนักรวม<br>กรัม | จำนวน<br>เกสียว | $h_B$ จากการ<br>คำนวณ ซม. |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | +0.540                  | ไม่ใช้              | -                 | 314.221            | -               | +0.54                     |
| 2 | +0.400                  | $M_{11} = 3.068$    | 0.268             | 317.289            | 48              | +0.400                    |
| 3 | +0.300                  | $M_{10} = 4.609$    | 0.330             | 318.830            | 21              | +0.300                    |
| 4 | +0.200                  | $M_5 = 6.610$       | 0.574             | 320.831            | 20              | +0.200                    |
| 5 | +0.100                  | $M_4 = 10.142$      | 0.748             | 324.363            | 48              | +0.100                    |
| 6 | +0.080                  | $M_4 = 10.142$      | 0.748             | 324.363            | 40              | +0.080                    |
| 7 | +0.060                  | $M_4 = 10.142$      | 0.748             | 324.363            | 32              | +0.060                    |
| 8 | +0.040                  | $M_4 = 10.142$      | 0.748             | 324.363            | 24              | +0.040                    |
| 9 | +0.029                  | $M_4 = 10.142$      | 0.748             | 324.363            | 19              | +0.030                    |

ตารางที่ 5.1.5 เงื่อนไขในการใช้คูน้ำหนักกรณีหมุนควงตาม เข็มนาฬิกา

|    | $h_B$ ที่กำหนด<br>ชม. | คูน้ำหนัก<br>กรัม  | $X_{c.g.}$<br>ชม. | น้ำหนักรวม<br>กรัม | จำนวน<br>เกลียว | $h_B$ จากการ<br>คำนวณ  |
|----|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------------|
| 1  | -0.500                | $M_2 = 20.646$     | 1.280             | 334.867            | 6               | -0.504                 |
| 2  | -0.400                | $M_2 = 20.646$     | 1.280             | 334.867            | 27              | -0.400                 |
| 3  | -0.300                | $M_2 = 20.646$     | 1.280             | 334.867            | 47              | -0.302                 |
| 4  | -0.200                | $M_{5,8} = 18.256$ | 1.165             | 332.477            | 49.7            | -0.198                 |
| 5  | -0.100                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 1               | -0.100                 |
| 6  | -0.080                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 8               | -0.080                 |
| 7  | -0.060                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 15              | -0.060                 |
| 8  | -0.040                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 22              | -0.040                 |
| 9  | -0.020                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 29              | -0.020                 |
| 10 | +0.0005               | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 36              | $-1.02 \times 10^{-5}$ |
| 11 | +0.006                | $M_8 = 11.646$     | 0.703             | 325.867            | 38              | +0.006                 |

จากตารางทั้ง 2 ดังกล่าวนี้ ได้นำไปทำการทดลองเพื่อหากราฟของคุณสมบัติ (characteristic curve) ของใจโรสโคป โดยแบ่งลักษณะของการทดลองเป็น 3 ช่วง ตามอัตราการผลิตของตัวหมุนคือ

ข้อมูล a ความถี่ 39 - 43 เฮิรท์ซ์

ข้อมูล b ความถี่ 21 - 30 เฮิรท์ซ์

ข้อมูล c ความถี่ 14 - 30 เฮิรท์ซ์

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.1<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |     |      | $\theta$<br>มุม<br>การหมุนควง |   |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|---|-------|-------|--|-----|------|-------------------------------|---|-----|---------------------------|--------|--------|
|        | a   | b     | c     | a  | b   | c    | a                             | b | c   | a                         | b      | c      |
| 1      | 40.78   | 28.2  | 28.94 | 9.0  | 6.0 | 5.6  | 5                             | 4 | 7   | 178.88                    | 185.55 | 204.02 |
| 2      | 41.18   | 27.42 | 29.55 | 9.0  | 5.8 | 6.0  | 5                             | 4 | 7   | 180.64                    | 186.64 | 194.43 |
| 3      | 38.78   | 27.92 | 28.94 | 8.4  | 6.0 | 5.7  | 5                             | 4 | 7   | 182.26                    | 183.71 | 200.44 |
| 4      | 35.52   | 28.61 | 27.58 | 8.0  | 6.1 | 5.5  | 5                             | 4 | 8   | 175.28                    | 185.16 | 197.97 |
| 5      | 41.08   | 29.44 | 27.58 | 9.0  | 6.2 | 5.5  | 5                             | 4 | 8   | 180.19                    | 187.46 | 197.97 |
| 6      | 42.50   | 29.72 | 29.86 | 9.4  | 6.1 | 6.1  | 5                             | 4 | 8   | 178.49                    | 192.34 | 193.25 |
| 7      | 41.37   | 28.89 | 29.09 | 9.0  | 6.1 | 5.7  | 5                             | 4 | 7   | 181.47                    | 186.97 | 201.48 |
| 8      | 40.94   | 29.87 | 28.47 | 8.9  | 6.3 | 5.8  | 5                             | 4 | 8   | 181.60                    | 187.18 | 193.78 |
| 9      | 39.80   | 29.03 | 28.75 | 8.6  | 6.3 | 6.0  | 5                             | 4 | 7   | 182.70                    | 181.91 | 189.17 |
| 10     | 41.98   | 28.89 | 28.47 | 8.9  | 6.1 | 6.0  | 5                             | 4 | 7   | 186.21                    | 186.97 | 187.33 |
| เฉลี่ย | 40.39   | 28.80 | 28.72 | 8.82   | 6.1 | 5.79 | 5                             | 4 | 7.4 | 180.77                    | 186.39 | 195.98 |



## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.2  
a,b,c

|        | $f_1$<br>อัตราความถี่ของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนคง<br>วินาที/รอบ |      |     | $\theta$<br>มุมของการ<br>หมุนคง |     |   | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|---|-------|-------|---|------|-----|---------------------------------|-----|---|---------------------------|--------|--------|
|        | a   | b     | c     | a   | b    | c   | a                               | b   | c | a                         | b      | c      |
| 1      | 42.68   | 31.04 | 31.04 | 12.8  | 9.0  | 8.6 | 4                               | 8   | 7 | 131.64                    | 136.16 | 142.49 |
| 2      | 42.10   | 30.39 | 28.99 | 12.8  | 8.9  | 8.0 | 4                               | 8   | 7 | 129.85                    | 134.80 | 143.06 |
| 3      | 41.59   | 30.52 | 28.89 | 12.4  | 8.8  | 8.0 | 2                               | 4   | 2 | 132.41                    | 136.92 | 142.57 |
| 4      | 39.77   | 31.35 | 27.98 | 12.2  | 8.7  | 7.4 | 4                               | 4   | 6 | 128.69                    | 142.26 | 149.27 |
| 5      | 40.30   | 30.59 | 27.29 | 12.0  | 8.9  | 7.6 | 3                               | 3   | 6 | 132.58                    | 135.69 | 141.76 |
| 6      | 40.51   | 30.59 | 28.22 | 12.0  | 8.9  | 7.8 | 3                               | 3   | 6 | 131.09                    | 135.69 | 142.83 |
| 7      | 40.49   | 31.18 | 28.99 | 12.0  | 8.9  | 7.7 | 3                               | 3   | 8 | 131.02                    | 138.31 | 148.63 |
| 8      | 41.52   | 30.10 | 29.11 | 12.7  | 8.9  | 8.0 | 3                               | 3   | 8 | 129.07                    | 133.52 | 143.65 |
| 9      | 41.01   | 30.42 | 29.89 | 12.5  | 8.9  | 8.0 | 3                               | 4   | 5 | 129.52                    | 134.94 | 147.50 |
| 10     | 40.36   | 30.52 | 28.54 | 12.3  | 8.8  | 7.9 | 3                               | 5   | 5 | 129.54                    | 136.92 | 142.62 |
| เฉลี่ย | 41.03   | 30.67 | 28.89 | 12.41                                       | 8.87 | 7.9 | 3.2                             | 4.5 | 6 | 130.54                    | 136.52 | 144.44 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.3<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|--|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------|--------|--------|
|        | a  | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                         | b      | c      |
| 1      | 41.72  | 30.63 | 29.12 | 17.2   | 11.8  | 10.5  | 4                                | 4   | 5   | 95.76                     | 102.48 | 109.49 |
| 2      | 39.40  | 30.30 | 31.25 | 16.0   | 12.0  | 11.4  | 4                                | 4   | 5   | 97.22                     | 99.68  | 108.22 |
| 3      | 41.28  | 30.53 | 30.91 | 17.0   | 11.7  | 11.9  | 4                                | 4   | 6   | 95.86                     | 103.02 | 102.54 |
| 4      | 39.60  | 28.58 | 30.08 | 16.0   | 11.1  | 11.1  | 3                                | 2   | 6   | 97.71                     | 101.65 | 106.98 |
| 5      | 39.37  | 29.44 | 28.77 | 16.0   | 11.7  | 10.2  | 3                                | 3   | 4   | 97.14                     | 99.34  | 111.35 |
| 6      | 41.99  | 29.99 | 27.63 | 17.2   | 11.8  | 10.3  | 3                                | 3   | 5   | 96.38                     | 100.34 | 105.90 |
| 7      | 41.55  | 30.61 | 29.04 | 16.8   | 11.8  | 10.4  | 3                                | 4   | 5   | 97.64                     | 102.41 | 110.24 |
| 8      | 41.94  | 30.08 | 28.51 | 17.0   | 11.4  | 10.2  | 3                                | 2   | 6   | 97.40                     | 104.17 | 110.35 |
| 9      | 42.17  | 28.18 | 29.83 | 17.0   | 11.2  | 11.0  | 3                                | 4   | 5   | 97.93                     | 99.33  | 107.06 |
| 10     | 39.77  | 28.97 | 31.42 | 16.2   | 11.4  | 11.2  | 3                                | 6   | 5   | 96.92                     | 100.32 | 110.75 |
| เฉลี่ย | 40.88  | 29.73 | 29.66 | 16.64  | 11.59 | 10.82 | 3.3                              | 3.6 | 5.2 | 97.00                     | 101.27 | 108.29 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.4<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราความถี่ของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|---|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a   | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
| 1      | 40.30   | 29.95 | 30.27 | 25.60  | 18.0  | 17.4  | 4                                | 5   | 8   | 62.15                           | 65.69 | 68.68 |
| 2      | 42.61   | 28.17 | 30.38 | 25.8   | 17.0  | 17.2  | 3                                | 5   | 5   | 65.20                           | 65.42 | 69.73 |
| 3      | 43.99   | 27.41 | 30.06 | 28.0   | 16.0  | 16.3  | 4                                | 5   | 2   | 62.02                           | 67.63 | 72.80 |
| 4      | 44.59   | 26.01 | 29.95 | 28.4   | 15.8  | 17.3  | 5                                | 6   | 5   | 61.98                           | 64.99 | 68.35 |
| 5      | 44.41   | 27.80 | 30.86 | 28.0   | 17.4  | 17.7  | 5                                | 8   | 5   | 62.92                           | 63.07 | 68.83 |
| 6      | 44.56   | 27.53 | 31.06 | 28.3   | 16.3  | 18.3  | 3                                | 4   | 6   | 62.16                           | 66.68 | 67.01 |
| 7      | 43.02   | 26.94 | 31.06 | 27.5   | 17.2  | 17.6  | 3                                | 7   | 2   | 61.76                           | 61.83 | 69.67 |
| 8      | 43.62   | 26.72 | 31.16 | 27.4   | 16.0  | 17.7  | 3                                | 3   | 4   | 62.85                           | 65.93 | 69.50 |
| 9      | 43.78   | 26.67 | 30.59 | 27.8   | 16.4  | 17.6  | 5                                | 5   | 5   | 62.17                           | 64.20 | 68.62 |
| 10     | 43.54   | 26.55 | 31.13 | 27.6   | 16.4  | 17.8  | 3                                | 7   | 4   | 62.28                           | 63.91 | 69.04 |
| เฉลี่ย | 43.44   | 27.38 | 30.65 | 27.44  | 16.65 | 17.49 | 3.8                              | 5.5 | 4.6 | 62.52                           | 64.94 | 69.22 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.5<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|--|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a  | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
| 1      | 41.44  | 25.85 | 29.43 | 60.4   | 36.1  | 37.4  | 5                                | 5   | 2   | 27.08                           | 28.27 | 31.07 |
| 2      | 41.68  | 24.15 | 30.13 | 60.6   | 35.6  | 38.4  | 3                                | 8   | 3   | 27.15                           | 26.78 | 30.98 |
| 3      | 41.13  | 22.14 | 30.16 | 59.0   | 28.6  | 38.2  | 3                                | 4   | 2   | 27.52                           | 30.56 | 31.17 |
| 4      | 41.11  | 23.27 | 30.34 | 59.0   | 33.2  | 39.7  | 3                                | 8   | 5   | 27.51                           | 27.67 | 30.17 |
| 5      | 40.36  | 22.28 | 31.67 | 57.6   | 31.4  | 43.4  | 3                                | 6   | 6   | 27.66                           | 28.01 | 28.81 |
| 6      | 40.61  | 23.39 | 31.30 | 57.6   | 31.6  | 40.3  | 3                                | 6   | 4   | 27.83                           | 29.22 | 30.66 |
| 7      | 41.21  | 22.89 | 30.59 | 60.2   | 32.5  | 40.5  | 4                                | 5   | 5   | 27.03                           | 27.80 | 29.82 |
| 8      | 41.05  | 23.69 | 30.71 | 59.6   | 34.4  | 40.0  | 3                                | 5   | 4   | 27.19                           | 27.19 | 30.31 |
| 9      | 41.36  | 24.74 | 30.50 | 60.4   | 34.6  | 39.0  | 3                                | 2   | 2   | 27.03                           | 28.23 | 30.87 |
| 10     | 40.91  | 24.80 | 29.84 | 59.0   | 34.2  | 37.0  | 3                                | 3   | 3   | 27.37                           | 28.63 | 31.84 |
| เฉลี่ย | 41.09  | 23.72 | 30.47 | 59.34  | 33.22 | 39.39 | 3.3                              | 5.2 | 3.6 | 27.34                           | 28.24 | 30.57 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.6<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|---|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a   | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
| 1      | 41.96   | 25.19 | 30.21 | 80.9   | 47.4  | 52.8  | 3                                | 5   | 4   | 20.48                           | 20.98 | 22.59 |
| 2      | 41.53   | 23.71 | 30.21 | 77.2   | 44.9  | 54.0  | 3                                | 5   | 5   | 21.24                           | 20.85 | 22.09 |
| 3      | 42.63   | 22.85 | 30.06 | 82.3   | 44.8  | 50.8  | 4                                | 5   | 2   | 20.45                           | 20.14 | 23.36 |
| 4      | 41.89   | 23.08 | 30.51 | 76.4   | 41.2  | 53.4  | 0                                | 5   | 5   | 21.65                           | 22.12 | 22.56 |
| 5      | 42.87   | 23.90 | 30.09 | 80.6   | 42.6  | 52.8  | 3                                | 5   | 4   | 20.99                           | 22.14 | 22.50 |
| 6      | 43.20   | 23.91 | 30.12 | 81.5   | 43.8  | 50.9  | 3                                | 4   | 2   | 20.93                           | 21.55 | 23.36 |
| 7      | 43.75   | 24.32 | 30.51 | 85.0   | 44.6  | 49.2  | 3                                | 3   | 0   | 20.32                           | 21.53 | 24.48 |
| 8      | 44.53   | 24.35 | 30.82 | 84.8   | 46.0  | 57.6  | 3                                | 7   | 5   | 20.73                           | 20.89 | 21.12 |
| 9      | 42.05   | 25.02 | 28.95 | 84.0   | 44.0  | 49.6  | 3                                | 6   | 4   | 19.76                           | 22.45 | 23.04 |
| 10     | 42.23   | 25.42 | 30.35 | 79.6   | 47.0  | 53.6  | 3                                | 2   | 4   | 20.94                           | 21.35 | 22.35 |
| เฉลี่ย | 42.66   | 24.18 | 30.18 | 81.23  | 44.63 | 52.47 | 2.8                              | 4.7 | 3.5 | 20.75                           | 21.40 | 22.75 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.7<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราความถี่ของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|---|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------|-------|-------|
|        | a   | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                         | b     | c     |
| 1      | 42.66   | 23.35 | 28.20 | 119.4  | 63.0  | 76.9  | 3                                | 2   | 3   | 14.11                     | 14.63 | 14.48 |
| 2      | 43.00   | 24.05 | 28.67 | 123.8  | 69.3  | 75.5  | 3                                | 3   | 1   | 13.71                     | 13.70 | 14.99 |
| 3      | 43.65   | 23.14 | 29.88 | 124.6  | 61.6  | 79.4  | 2                                | 1   | 3   | 13.83                     | 14.83 | 14.86 |
| 4      | 43.57   | 23.04 | 29.70 | 130.0  | 66.9  | 79.8  | 4                                | 1   | 2   | 13.23                     | 13.60 | 14.69 |
| 5      | 43.35   | 22.01 | 30.39 | 122.8  | 62.8  | 81.2  | 4                                | 2   | 2   | 13.94                     | 13.84 | 14.78 |
| 6      | 43.79   | 22.93 | 30.45 | 127.0  | 63.1  | 79.0  | 3                                | 1   | 3   | 13.61                     | 14.35 | 15.22 |
| 7      | 43.06   | 22.93 | 30.24 | 121.2  | 66.0  | 78.6  | 3                                | 4   | 3   | 14.02                     | 13.72 | 15.19 |
| 8      | 42.86   | 21.94 | 29.78 | 118.4  | 60.4  | 77.0  | 3                                | 4   | 0   | 14.29                     | 14.34 | 15.27 |
| 9      | 42.31   | 22.26 | 30.45 | 118.4  | 64.8  | 81.4  | 3                                | 4   | 4   | 14.11                     | 13.56 | 14.77 |
| 10     | 42.61   | 22.62 | 29.57 | 121.0  | 70.3  | 76.0  | 3                                | 4   | 4   | 13.90                     | 12.70 | 15.36 |
| เฉลี่ย | 43.09   | 22.83 | 29.73 | 122.66                                       | 64.82 | 78.48 | 3.1                              | 2.6 | 2.5 | 13.88                     | 13.93 | 14.96 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.8<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |        |          | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |      | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |      |      |
|--------|--|-------|-------|--|--------|----------|----------------------------------|-----|------|---------------------------------|------|------|
|        | a  | b     | c     | a  | b      | c        | a                                | b   | c    | a                               | b    | c    |
| 1*     | 41.46  | 24.43 | 30.72 | 217.3  | 213.8  | 130.0    | 0                                | 10  | -3   | 7.35                            | 4.51 | 9.33 |
| 2      | 42.67  | 23.26 | 29.70 | 260.0  | 101.2  | 198.9    | 3                                | -1  | 6    | 6.48                            | 9.07 | 5.89 |
| 3      | 42.14  | 24.85 | 20.46 | 252.0  | 220.4  | 112.2    | 0                                | 8   | -5   | 6.60                            | 4.45 | 7.20 |
| 4      | 42.04  | 23.10 | 27.87 | 266.4  | 111.0  | 226.6    | 2                                | -2  | 3    | 6.23                            | 8.22 | 4.86 |
| 5      | 42.95  | 24.11 | 24.19 | 210.0  | 160.4  | 156.4    | 2                                | 7   | 3    | 8.07                            | 5.93 | 6.11 |
| 6      | 41.75  | 23.47 | 26.96 | 290.0  | 122.2  | 156.0    | 4                                | 5   | 2    | 5.68                            | 7.58 | 6.82 |
| 7      | 41.85  | 24.00 | 30.03 | 235.0  | 158.3  | 223.6    | 3                                | 5   | 5    | 7.03                            | 5.99 | 5.30 |
| 8      | 42.02  | 23.27 | 23.05 | 267.8  | 117.4  | 155.5    | 5                                | -1  | 2    | 6.19                            | 7.83 | 5.85 |
| 9      | 41.40  | 23.65 | 26.50 | 229.3  | 155.8  | 151.8    | 4                                | 3   | 3    | 7.12                            | 5.99 | 6.89 |
| 10     | 41.85  | 23.15 | 30.81 | 277.7  | 120.3  | 221.0    | 4                                | 3   | 7    | 5.95                            | 7.59 | 5.50 |
| เฉลี่ย | 42.02  | 23.73 | 27.03 | 250.55                                       | 148.08 | 173.22.7 | 3.7                              | 2.3 | 6.69 | 6.72                            | 6.38 |      |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.4.9  
a,b,c

|        | $f_1$<br>อัตราการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |   | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |        |   | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |      |   | $\omega \Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |      |   |
|--------|---|-------|---|--|--------|---|----------------------------------|------|---|----------------------------------|------|---|
|        | a   | b     | c | a  | b      | c | a                                | b    | c | a                                | b    | c |
| 1      | -   | 22.27 | - | -  | 124.6  | - | -                                | -10  | - | -                                | 7.06 | - |
| 2      | -   | 21.68 | - | -  | 193.4  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.43 | - |
| 3      | -   | 22.86 | - | -  | 192.4  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.69 | - |
| 4      | -   | 22.50 | - | -  | 184.0  | - | -                                | -8   | - | -                                | 4.83 | - |
| 5      | -   | 22.44 | - | -  | 184.0  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.81 | - |
| 6      | -   | 19.79 | - | -  | 173.0  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.52 | - |
| 7      | -   | 19.47 | - | -  | 166.0  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.63 | - |
| 8      | -   | 20.32 | - | -  | 171.8  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.67 | - |
| 9      | -   | 19.70 | - | -  | 164.9  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.72 | - |
| 10     | -   | 19.41 | - | -  | 166.8  | - | -                                | -10  | - | -                                | 4.59 | - |
| เฉลี่ย | -   | 21.04 | - | -  | 172.09 | - | -                                | -9.8 | - | -                                | 4.90 | - |



## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.1<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราความถี่ของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |     |      | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|---|-------|-------|--|-----|------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------|--------|--------|
|        | a   | b     | c     | a  | b   | c    | a                                | b   | c   | a                         | b      | c      |
|        | 1   | 41.33 | 26.33 | 25.61  | 8.7 | 4.7  | 5.7                              | 2   | 4   | 8                         | 187.55 | 221.16 |
| 2      | 39.67   | 29.10 | 24.24 | 8.2  | 5.6 | 5.7  | 2                                | 4   | 8   | 190.99                    | 205.15 | 167.89 |
| 3      | 40.48   | 29.99 | 23.79 | 8.3  | 5.7 | 5.5  | 2                                | 4   | 8   | 192.54                    | 207.71 | 170.76 |
| 4      | 40.78   | 29.99 | 22.73 | 8.4  | 5.7 | 5.6  | 3                                | 4   | 8   | 191.66                    | 207.71 | 160.24 |
| 5      | 40.95   | 28.00 | 22.58 | 8.3  | 5.4 | 5.3  | 3                                | 8   | 10  | 194.78                    | 204.70 | 168.19 |
| 6      | 40.33   | 25.15 | 22.50 | 8.2  | 5.2 | 5.3  | 3                                | 8   | 10  | 194.17                    | 190.94 | 167.60 |
| 7      | 40.11   | 26.00 | 21.52 | 7.9  | 5.2 | 5.4  | 3                                | 10  | 10  | 200.44                    | 197.39 | 157.33 |
| 8      | 38.67   | 24.67 | 22.50 | 8.0  | 4.7 | 5.6  | 3                                | 8   | 8   | 190.83                    | 207.22 | 158.62 |
| 9      | 39.40   | 30.00 | 24.09 | 7.8  | 5.0 | 5.6  | 3                                | 4   | 8   | 199.42                    | 236.87 | 169.83 |
| 10     | 38.75   | 26.33 | 22.27 | 7.8  | 4.8 | 5.6  | 3                                | 10  | 8   | 196.13                    | 216.56 | 157.00 |
| เฉลี่ย | 40.05   | 27.56 | 23.18 | 8.16   | 5.2 | 5.53 | 2.7                              | 6.4 | 8.6 | 193.85                    | 209.54 | 165.48 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.2<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$                     |       |       | $f_2^{-1}$       |      |      | $\theta$   |     |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|---------------------------|-------|-------|------------------|------|------|------------|-----|-----|---------------------------|--------|--------|
|        | อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน |       |       | คาบของการหมุนควง |      |      | มุมของ     |     |     |                           |        |        |
|        | รอบ/วินาที                |       |       | วินาที/รอบ       |      |      | การหมุนควง |     |     |                           |        |        |
|        | a                         | b     | c     | a                | b    | c    | a          | b   | c   | a                         | b      | c      |
| 1      | 39.75                     | 24.31 | 23.57 | 10.0             | 5.5  | 7.0  | 3          | 4   | 4   | 156.93                    | 174.49 | 132.93 |
| 2      | 38.04                     | 25.69 | 23.08 | 9.3              | 6.1  | 7.0  | 5          | 4   | 10  | 161.48                    | 166.26 | 130.17 |
| 3      | 39.63                     | 25.83 | 23.08 | 9.8              | 6.0  | 6.9  | 5          | 6   | 8   | 159.65                    | 169.95 | 132.05 |
| 4      | 39.72                     | 24.86 | 22.31 | 9.7              | 6.2  | 6.8  | 3          | 8   | 8   | 161.66                    | 158.30 | 129.52 |
| 5      | 38.98                     | 25.97 | 22.18 | 9.7              | 6.0  | 6.8  | 3          | 4   | 8   | 158.65                    | 170.88 | 128.77 |
| 6      | 39.56                     | 25.14 | 22.69 | 10.0             | 6.2  | 6.5  | 3          | 10  | 7   | 156.18                    | 160.08 | 137.81 |
| 7      | 40.35                     | 26.53 | 22.18 | 10.2             | 6.3  | 6.7  | 3          | 8   | 7   | 156.17                    | 166.25 | 130.69 |
| 8      | 40.92                     | 25.00 | 24.23 | 10.6             | 6.3  | 7.1  | 3          | 10  | 8   | 152.40                    | 156.66 | 134.73 |
| 9      | 41.58                     | 26.81 | 22.69 | 10.5             | 6.3  | 7.0  | 3          | 10  | 8   | 156.33                    | 168.00 | 129.97 |
| 10     | 41.23                     | 23.50 | 21.92 | 10.4             | 5.3  | 6.8  | 5          | 10  | 8   | 156.51                    | 175.05 | 127.26 |
| เฉลี่ย | 39.98                     | 25.36 | 22.79 | 10.02            | 6.02 | 6.86 | 3.6        | 7.4 | 7.6 | 157.60                    | 166.59 | 131.19 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1,5,3  
a,b,c

|        | $f_1$<br>อัตราคาบหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |      |      | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega \Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |        |        |
|--------|---|-------|-------|--|------|------|----------------------------------|-----|-----|----------------------------------|--------|--------|
|        | a   | b     | c     | a  | b    | c    | a                                | b   | c   | a                                | b      | c      |
| 1      | 41.20   | 23.69 | 21.98 | 13.4   | 7.3  | 8.6  | 3                                | 6   | 8   | 121.38                           | 128.12 | 100.90 |
| 2      | 42.13   | 22.38 | 21.35 | 13.8   | 7.4  | 8.8  | 5                                | 8   | 8   | 120.52                           | 119.40 | 95.78  |
| 3      | 39.78   | 21.54 | 20.73 | 13.2   | 7.0  | 8.5  | 5                                | 4   | 8   | 118.97                           | 121.48 | 96.28  |
| 4      | 38.33   | 22.98 | 21.27 | 12.0   | 7.1  | 8.3  | 5                                | 8   | 7   | 126.10                           | 127.78 | 101.17 |
| 5      | 38.94   | 25.83 | 21.33 | 12.4   | 8.4  | 8.0  | 5                                | 2   | 7   | 123.97                           | 121.40 | 105.26 |
| 6      | 40.15   | 27.81 | 20.63 | 12.8   | 8.6  | 8.5  | 5                                | 3   | 7   | 123.83                           | 127.66 | 95.82  |
| 7      | 40.49   | 27.08 | 21.33 | 12.8   | 8.6  | 8.4  | 6                                | 3   | 7   | 124.88                           | 124.31 | 100.25 |
| 8      | 38.41   | 28.33 | 19.40 | 12.6   | 8.7  | 7.7  | 4                                | 5   | 4   | 120.35                           | 128.55 | 99.47  |
| 9      | 40.28   | 25.00 | 16.56 | 12.8   | 8.5  | 8.3  | 6                                | 5   | 3   | 124.23                           | 116.11 | 78.77  |
| 10     | 40.58   | 22.50 | 18.08 | 12.9   | 7.5  | 7.2  | 5                                | 8   | 3   | 124.19                           | 118.44 | 99.13  |
| เฉลี่ย | 40.03   | 24.71 | 20.27 | 12.87  | 7.91 | 8.23 | 4.9                              | 5.2 | 6.2 | 122.84                           | 123.33 | 97.28  |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.4<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |      |      | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |   | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|---|-------|-------|--|------|------|----------------------------------|-----|---|---------------------------|-------|-------|
|        | a   | b     | c     | a  | b    | c    | a                                | b   | c | a                         | b     | c     |
| 1      | 40.54   | 19.80 | 17.92 | 19.0   | 9.0  | 11.0 | 5                                | 2   | 4 | 84.23                     | 86.85 | 64.31 |
| 2      | 38.91   | 17.89 | 16.42 | 17.8   | 8.0  | 10.2 | 6                                | 8   | 2 | 86.30                     | 88.28 | 63.55 |
| 3      | 39.53   | 20.10 | 16.76 | 18.2   | 9.0  | 9.9  | 6                                | 4   | 2 | 85.75                     | 88.17 | 66.83 |
| 4      | 40.20   | 19.71 | 16.20 | 19.0   | 9.0  | 9.7  | 10                               | 8   | 3 | 83.53                     | 86.46 | 65.93 |
| 5      | 40.59   | 23.25 | 14.61 | 19.0   | 10.7 | 9.0  | 10                               | 10  | 4 | 84.34                     | 85.78 | 64.09 |
| 6      | 40.86   | 25.98 | 13.92 | 19.2   | 12.0 | 9.0  | 12                               | 6   | 4 | 84.02                     | 85.47 | 61.06 |
| 7      | 40.86   | 24.29 | 11.33 | 19.3   | 11.0 | 7.9  | 12                               | 1   | 6 | 83.58                     | 87.18 | 56.62 |
| 8      | 40.98   | 20.69 | 14.90 | 19.0   | 9.0  | 9.0  | 10                               | 5   | 4 | 85.15                     | 90.76 | 65.36 |
| 9      | 40.25   | 20.10 | 13.85 | 19.0   | 9.0  | 8.5  | 10                               | 5   | 5 | 83.63                     | 88.17 | 64.33 |
| 10     | 36.24   | 20.94 | 16.76 | 17.0   | 9.3  | 9.7  | 15                               | 8   | 5 | 84.16                     | 88.89 | 68.21 |
| เฉลี่ย | 39.90   | 21.28 | 15.27 | 18.65  | 9.6  | 9.39 | 9.65.7                           | 3.9 |   | 84.47                     | 87.60 | 64.03 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.5<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|--|-------|-------|---|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a  | b     | c     | a                                       | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
|        | 1  | 40.10 | 22.35 | 14.11                                   | 37.2  | 19.3  | 16.7                             | 2   | 2   | 2                               | 42.56 | 45.72 |
| 2      | 40.76  | 21.62 | 13.82 | 37.8                                    | 19.0  | 17.3  | 4                                | 4   | 3   | 42.57                           | 44.92 | 31.54 |
| 3      | 40.56  | 20.50 | 14.39 | 38.2                                    | 17.6  | 16.4  | 2                                | 8   | 2   | 41.92                           | 45.98 | 34.64 |
| 4      | 40.96  | 23.56 | 14.37 | 38.4                                    | 20.8  | 15.6  | 3                                | 1   | 6   | 42.11                           | 44.72 | 36.37 |
| 5      | 41.28  | 22.07 | 15.45 | 38.0                                    | 18.7  | 18.3  | 3                                | 7   | 4   | 42.89                           | 46.59 | 33.33 |
| 6      | 41.64  | 23.38 | 14.22 | 38.2                                    | 19.7  | 16.4  | 3                                | 2   | 4   | 43.03                           | 46.85 | 34.23 |
| 7      | 39.79  | 21.15 | 14.05 | 37.8                                    | 18.4  | 16.4  | 3                                | 5   | 2   | 41.56                           | 45.38 | 33.82 |
| 8      | 41.08  | 22.14 | 12.62 | 38.7                                    | 18.4  | 15.2  | 3                                | 8   | 8   | 41.91                           | 47.50 | 32.78 |
| 9      | 41.99  | 26.11 | 14.78 | 39.0                                    | 20.6  | 17.0  | 4                                | 3   | 2   | 42.51                           | 50.04 | 34.32 |
| 10     | 40.50  | 22.25 | 14.43 | 40.0                                    | 19.6  | 15.8  | 2                                | 8   | 4   | 39.97                           | 44.82 | 36.06 |
| เฉลี่ย | 40.87  | 22.51 | 14.22 | 38.33                                   | 19.21 | 16.51 | 2.9                              | 4.8 | 3.7 | 42.10                           | 46.25 | 34.05 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.6<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|--|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a  | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
| 1      | 40.19  | 25.34 | 14.86 | 45.6   | 24.8  | 21.2  | 3                                | 4   | 2   | 34.79                           | 40.34 | 27.67 |
| 2      | 41.86  | 26.14 | 13.52 | 46.7   | 25.4  | 19.6  | 3                                | 4   | 5   | 35.39                           | 40.63 | 27.23 |
| 3      | 41.88  | 24.61 | 13.84 | 46.8   | 25.0  | 18.7  | 3                                | 10  | 5   | 35.33                           | 38.86 | 29.22 |
| 4      | 42.78  | 25.59 | 14.44 | 48.0   | 26.4  | 19.4  | 3                                | 8   | 4   | 35.18                           | 38.27 | 29.38 |
| 5      | 42.52  | 25.11 | 14.51 | 47.0   | 26.1  | 19.4  | 3                                | 1   | 3   | 35.72                           | 37.98 | 29.53 |
| 6      | 41.90  | 23.65 | 15.09 | 46.2   | 24.4  | 20.7  | 4                                | 5   | 3   | 35.80                           | 38.26 | 28.78 |
| 7      | 42.35  | 24.15 | 14.99 | 46.8   | 25.4  | 20.6  | 5                                | 3   | 4   | 35.72                           | 37.53 | 28.73 |
| 8      | 41.89  | 24.20 | 15.48 | 47.1   | 26.0  | 21.6  | 2                                | 3   | 3   | 35.11                           | 36.75 | 28.29 |
| 9      | 41.84  | 23.25 | 15.63 | 46.3   | 23.3  | 21.3  | 3                                | 6   | 2   | 35.68                           | 39.39 | 28.97 |
| 10     | 42.95  | 24.78 | 15.60 | 47.9   | 25.8  | 20.7  | 3                                | 2   | 2   | 35.40                           | 37.92 | 29.75 |
| เฉลี่ย | 42.02  | 24.68 | 14.80 | 46.84  | 25.26 | 20.32 | 3.2                              | 4.6 | 3.3 | 35.41                           | 38.59 | 28.76 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.7<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$                  |       |       | $f_2^{-1}$       |       |       | $\theta$         |     |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-----|-----|---------------------------|-------|-------|
|        | อัตราความถี่ของตัวหมุน |       |       | คาบของการหมุนควง |       |       | มุมของการหมุนควง |     |     |                           |       |       |
|        | รอบ/วินาที             |       |       | วินาที/รอบ       |       |       |                  |     |     |                           |       |       |
|        | a                      | b     | c     | a                | b     | c     | a                | b   | c   | a                         | b     | c     |
| 1      | 41.99                  | 23.4  | 16.60 | 60.0             | 30.0  | 28.0  | 2                | 4   | 3   | 27.63                     | 30.49 | 23.41 |
| 2      | 42.13                  | 23.57 | 15.30 | 60.0             | 29.0  | 25.8  | 3                | 7   | 4   | 27.72                     | 32.09 | 23.41 |
| 3      | 41.97                  | 23.65 | 15.76 | 60.2             | 33.8  | 27.2  | 4                | 0   | 2   | 27.52                     | 27.62 | 22.87 |
| 4      | 42.10                  | 23.23 | 16.22 | 59.0             | 29.4  | 25.2  | 5                | 5   | 9   | 28.17                     | 31.19 | 25.41 |
| 5      | 41.70                  | 23.83 | 15.64 | 61.0             | 31.2  | 27.4  | 1                | 4   | 4   | 26.99                     | 30.15 | 22.53 |
| 6      | 41.22                  | 23.08 | 15.38 | 58.2             | 42.9  | 25.5  | 1                | 7   | 2   | 27.96                     | 21.24 | 23.81 |
| 7      | 41.67                  | 25.63 | 15.16 | 58.4             | 31.7  | 25.4  | 2                | 5   | 5   | 28.17                     | 31.92 | 23.56 |
| 8      | 41.65                  | 26.12 | 15.72 | 58.0             | 31.4  | 25.6  | 3                | 10  | 5   | 28.35                     | 32.84 | 24.24 |
| 9      | 42.10                  | 25.99 | 14.89 | 58.4             | 33.6  | 25.4  | 4                | 3   | 4   | 28.46                     | 30.54 | 23.14 |
| 10     | 41.52                  | 23.72 | 14.74 | 58.1             | 30.5  | 25.6  | 4                | 4   | 4   | 28.21                     | 30.70 | 22.73 |
| เฉลี่ย | 41.81                  | 24.22 | 15.54 | 59.13            | 32.35 | 26.11 | 2.9              | 4.9 | 4.2 | 27.92                     | 29.91 | 23.51 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.8<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |      |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |    |     | $\omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|--|-------|-------|---|------|-------|----------------------------------|----|-----|---------------------------|-------|-------|
|        | a  | b     | c     | a                                       | b    | c     | a                                | b  | c   | a                         | b     | c     |
| 1      | 42.14  | 24.45 | 15.52 | 79.6                                    | 41.0 | 34.0  | 3                                | 2  | 5   | 20.90                     | 23.54 | 18.02 |
| 2      | 42.11  | 24.47 | 16.45 | 78.5                                    | 38.6 | 36.2  | 5                                | 10 | 3   | 21.18                     | 25.03 | 17.94 |
| 3      | 40.63  | 25.64 | 14.48 | 78.8                                    | 46.0 | 31.0  | 2                                | 2  | 5   | 20.36                     | 22.00 | 18.44 |
| 4      | 41.45  | 23.71 | 15.36 | 78.8                                    | 41.6 | 35.0  | 5                                | 3  | 2   | 20.77                     | 22.50 | 17.33 |
| 5      | 40.62  | 25.09 | 13.37 | 83.3                                    | 44.6 | 30.4  | 2                                | 1  | 4   | 19.25                     | 22.21 | 17.36 |
| 6      | 41.89  | 24.64 | 14.81 | 84.0                                    | 44.4 | 31.8  | 1                                | 1  | 7   | 19.69                     | 21.91 | 18.39 |
| 7      | 42.08  | 23.46 | 14.33 | 83.0                                    | 38.6 | 32.5  | 3                                | 5  | 4   | 20.02                     | 23.99 | 17.41 |
| 8      | 41.95  | 25.89 | 14.01 | 83.0                                    | 45.4 | 31.6  | 2                                | 0  | 3   | 19.95                     | 22.51 | 17.50 |
| 9      | 41.68  | 24.08 | 14.24 | 81.5                                    | 40.8 | 29.0  | 4                                | 3  | 10  | 20.19                     | 23.30 | 19.39 |
| 10     | 42.22  | 26.13 | 15.27 | 82.2                                    | 44.0 | 32.4  | 3                                | 3  | 5   | 20.28                     | 23.44 | 18.61 |
| เฉลี่ย | 41.68  | 24.76 | 14.78 | 81.27                                   | 42.5 | 32.39 | 3                                | 3  | 4.8 | 20.26                     | 23.04 | 18.04 |



## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.9<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |       |       | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |       |       |
|--------|---|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------------|-----|-----|---------------------------------|-------|-------|
|        | a   | b     | c     | a  | b     | c     | a                                | b   | c   | a                               | b     | c     |
| 1      | 40.88   | 23.15 | 17.28 | 128.7  | 59.8  | 54.0  | 2                                | 3   | 3   | 12.54                           | 15.28 | 12.63 |
| 2      | 41.38   | 25.03 | 15.02 | 126.8  | 69.8  | 47.2  | 1                                | 3   | 6   | 12.88                           | 14.16 | 12.56 |
| 3      | 42.03   | 25.31 | 16.18 | 127.0  | 64.0  | 53.4  | 4                                | 5   | 2   | 13.07                           | 15.5  | 11.96 |
| 4      | 41.87   | 24.31 | 15.12 | 130.0  | 57.2  | 51.4  | 2                                | 7   | 3   | 12.72                           | 16.78 | 11.61 |
| 5      | 41.53   | 25.28 | 15.16 | 127.0  | 57.8  | 51.0  | 5                                | 4   | 2   | 12.91                           | 17.27 | 11.74 |
| 6      | 42.22   | 24.73 | 14.58 | 127.8  | 67.0  | 49.2  | 2                                | 1   | 4   | 13.04                           | 14.57 | 11.70 |
| 7      | 42.33   | 22.96 | 15.20 | 130.5  | 61.2  | 51.2  | 4                                | 1   | 4   | 12.81                           | 14.81 | 11.72 |
| 8      | 42.06   | 22.51 | 15.81 | 130.2  | 57.6  | 51.0  | 0                                | 3   | 3   | 12.75                           | 15.43 | 12.24 |
| 9      | 41.86   | 24.72 | 15.43 | 131.2  | 65.3  | 55.4  | 3                                | 1   | 4   | 12.60                           | 14.94 | 10.99 |
| 10     | 42.31   | 25.62 | 14.83 | 132.0  | 61.8  | 53.0  | 0                                | 4   | 2   | 12.65                           | 16.37 | 11.05 |
| เฉลี่ย | 41.85   | 24.36 | 15.46 | 129.12                                       | 62.15 | 51.68 | 2.3                              | 3.2 | 3.3 | 12.80                           | 15.51 | 11.82 |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.10<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาบการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |       |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |        |      | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |     |   | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |      |      |
|--------|--|-------|-------|--|--------|------|----------------------------------|-----|---|---------------------------------|------|------|
|        | a  | b     | c     | a  | b      | c    | a                                | b   | c | a                               | b    | c    |
|        | 1  | -     | 22.65 | -  | -      | 99.4 | -                                | -   | 4 | -                               | -    | 8.99 |
| 2      | -  | 23.54 | -     | -  | 115.4  | -    | -                                | 6   | - | -                               | 8.05 | -    |
| 3      | -  | 23.46 | -     | -  | 113.6  | -    | -                                | 2   | - | -                               | 8.15 | -    |
| 4      | -  | 25.58 | -     | -  | 152.8  | -    | -                                | 1   | - | -                               | 6.61 | -    |
| 5      | -  | 25.33 | -     | -  | 133.8  | -    | -                                | 2   | - | -                               | 7.47 | -    |
| 6      | -  | 23.84 | -     | -  | 114.2  | -    | -                                | 5   | - | -                               | 8.24 | -    |
| 7      | -  | 24.65 | -     | -  | 135.4  | -    | -                                | 4   | - | -                               | 7.19 | -    |
| 8      | -  | 22.88 | -     | -  | 121.8  | -    | -                                | 2   | - | -                               | 7.42 | -    |
| 9      | -  | 23.63 | -     | -  | 120.4  | -    | -                                | 6   | - | -                               | 7.75 | -    |
| 10     | -  | 23.13 | -     | -  | 117.4  | -    | -                                | 6   | - | -                               | 7.78 | -    |
| เฉลี่ย | -  | 23.87 | -     | -  | 122.42 | -    | -                                | 3.8 | - | -                               | 7.77 | -    |

## ตารางแสดงผลการทดลอง

ชุดที่ 5.1.5.11<sub>a,b,c</sub>

|        | $f_1$<br>อัตราคาการหมุนของตัวหมุน<br>รอบ/วินาที |   |       | $f_2^{-1}$<br>คาบของการหมุนควง<br>วินาที/รอบ |   |        | $\theta$<br>มุมของ<br>การหมุนควง |   |     | $\omega\Omega = 4\pi^2 f_1 f_2$ |   |      |
|--------|---|---|-------|--|---|--------|----------------------------------|---|-----|---------------------------------|---|------|
|        | a   | b | c     | a  | b | c      | a                                | b | c   | a                               | b | c    |
|        | 1   | - | -     | 12.49  | - | -      | 102.0                            | - | -   | 5                               | - | -    |
| 2      | -   | - | 14.57 | -  | - | 145.0  | -                                | - | 10  | -                               | - | 3.97 |
| 3      | -   | - | 14.62 | -  | - | 130.4  | -                                | - | 2   | -                               | - | 4.43 |
| 4      | -   | - | 15.28 | -  | - | 155.8  | -                                | - | 5   | -                               | - | 3.87 |
| 5      | -   | - | 14.07 | -  | - | 133.7  | -                                | - | 2   | -                               | - | 4.15 |
| 6      | -   | - | 14.74 | -  | - | 151.4  | -                                | - | 6   | -                               | - | 3.84 |
| 7      | -   | - | 13.95 | -  | - | 110.2  | -                                | - | 5   | -                               | - | 5.00 |
| 8      | -   | - | 14.90 | -  | - | 135.0  | -                                | - | 10  | -                               | - | 4.36 |
| 9      | -   | - | 14.01 | -  | - | 126.7  | -                                | - | 2   | -                               | - | 4.37 |
| 10     | -   | - | 14.76 | -  | - | 134.0  | -                                | - | 8   | -                               | - | 4.35 |
| เฉลี่ย | -   | - | 14.34 | -  | - | 132.42 | -                                | - | 5.5 | -                               | - | 4.32 |

## 5.2 การคำนวณ

จากความสัมพันธ์ในสมการ (2.15)

$$Mgh = c\eta\Omega \left[ 1 + \left\{ C + C' - (A + A') - Mh^2 \right\} \frac{\theta\Omega}{c\eta} \right] \quad (5.2.1)$$

สามารถเขียนได้ว่า

$$Mgh = c\eta\Omega \left[ 1 + \left\{ \frac{(C+C_1+C_{M_i}) - (A+A') - Mh^2}{C} \right\} \left\{ \frac{\pi\theta}{180f_1f_2^{-1}} \right\} \right] \quad (5.2.2)$$

เมื่อ  $C$  เป็นค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยของตัวหมุนและมอเตอร์ส่วนที่หมุน = 917.366 กรัม-ซม.<sup>2</sup>

$C + C_1$  เป็นค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยของตัวหมุนและโครงใจโรสโคปรอบแกน GC  
มีค่า = 2395.957 กรัม-ซม.<sup>2</sup>

$C_{M_i}$  เป็นค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยของตุ้มน้ำหนักรอบ GC มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 5.2.1 ถึง 5.2.3

$A + A'$  เป็นค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยของตัวหมุน โครงใจโรสโคปและตุ้มน้ำหนักรอบแกน GA  
ดังแสดงในตารางที่ 5.2.1 , 5.2.2 , 5.2.3

$f_1, f_2^{-1}$  เป็นอัตราการหมุนและคาบของการหมุน ซึ่งได้จากการทดลอง

จากการทดลอง สามารถบันทึกค่า  $f_1, f_2^{-1}, \theta$  และจากการสร้างทำให้ทราบค่า  $C, C_1, C_{M_i}, (A + A'), M, h$  เหล่านี้ สามารถหาทางขวามือของสมการ (5.2.2) ได้ ซึ่งเรียกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง ส่วนค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบนั้นเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางด้านซ้ายมือของสมการ (5.2.2) เมื่อเรากำหนดเงื่อนไขของตุ้มน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่า  $h$  ตามที่ต้องการ ผลของความคลาดเคลื่อนนั้นจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับค่าจากการคำนวณ นำค่า

ความคลาดเคลื่อนไปเขียนกราฟกับค่าระยะทางจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลาง (h) ความสัมพันธ์ที่ได้  
จะแสดงคุณสมบัติของเครื่องมือ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนนั้นแสดงในตาราง 5.2.4 , 5.2.5  
และ 5.2.6

ตารางที่ 5.2.1 แสดงค่า  $c\eta\Omega \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$  เนื่องจากค่า  $h_A$  , ข้อมูล a, b, c

| $h_A$<br>ชม.         | $C_{Mi}$<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | $A + A'$<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | $c\eta\Omega \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$ |                           |                           |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|
|                      |                                   |                                   | a<br>(x 10 <sup>5</sup> )                                   | b<br>(x 10 <sup>5</sup> ) | c<br>(x 10 <sup>5</sup> ) |
| 0.50                 | 0                                 | 8,546.261                         | 1.656   | 1.705                     | 1.788                     |
| 0.36                 | 0.508                             | 9,190.405                         | 1.197   | 1.250                     | 1.321                     |
| 0.26                 | 0.881                             | 9,806.831                         | 0.889   | 0.928                     | 0.991                     |
| 0.16                 | 1.116                             | 10,308.059                        | 0.573   | 0.595                     | 0.634                     |
| 0.06                 | 1.881                             | 10,495.932                        | 0.251   | 0.259                     | 0.280                     |
| 0.04                 | 1.881                             | 10,676.983                        | 0.190   | 0.196                     | 0.209                     |
| 0.02                 | 1.881                             | 10,854.957                        | 0.127   | 0.128                     | 0.137                     |
| $5.4 \times 10^{-4}$ | 1.881                             | 11,063.230                        | 0.061   | 0.062                     | 0.059                     |
| -0.01                | 1.881                             | 11,190.536                        | -   | 0.045                     | -                         |
| -0.54                | 4.747                             | 14,095.761                        | -1.775  | -1.903                    | -1.495                    |
| -0.44                | 4.747                             | 13,050.052                        | -1.443  | -1.513                    | -1.192                    |
| -0.34                | 4.747                             | 12,155.807                        | -1.125  | -1.126                    | -0.886                    |
| -0.24                | 1.925                             | 11,718.623                        | -0.773  | -0.800                    | -0.585                    |
| -0.14                | 8.687                             | 12,229.831                        | -0.386  | -0.423                    | -0.311                    |
| -0.12                | 8.687                             | 11,924.357                        | -0.325  | -0.354                    | -0.263                    |
| -0.10                | 8.687                             | 11,710.017                        | -0.256  | -0.274                    | -0.215                    |
| -0.08                | 8.687                             | 11,502.720                        | -0.186  | -0.211                    | -0.165                    |
| -0.06                | 8.687                             | 11,302.467                        | -0.117  | -0.142                    | -0.108                    |
| -0.04                | 8.687                             | 11,109.257                        | -   | -0.071                    | -                         |
| -0.03                | 8.687                             | 11,055.347                        | -   | -                         | -0.040                    |

ตารางที่ 5.2.2 แสดงค่า  $C_{\eta\Omega} \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$  เนื่องจากค่า  $h_B$ , ข้อมูล  $a, b, c$

| $h_B$<br>ชม.          | $C_{M_i}$<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | $A + A^v$<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | $C_{\eta\Omega} \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$ |                        |                        |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|------------------------|------------------------|
|                       |                                    |                                    | $a^5$<br>$\times 10^5$   | $b^5$<br>$\times 10^5$ | $c^5$<br>$\times 10^5$ |
| 0.54                  | 0                                  | 8,622.771                          | 1.656  | 1.705                  | 1.788                  |
| 0.40                  | 0.508                              | 9,273.413                          | 1.197  | 1.250                  | 1.320                  |
| 0.30                  | 0.881                              | 9,889.374                          | 0.889  | 0.928                  | 0.991                  |
| 0.20                  | 1.116                              | 10,393.082                         | 0.573  | 0.595                  | 0.634                  |
| 0.10                  | 1.881                              | 10,583.474                         | 0.251  | 0.259                  | 0.280                  |
| 0.08                  | 1.881                              | 10,765.026                         | 0.190  | 0.196                  | 0.209                  |
| 0.06                  | 1.881                              | 10,954.625                         | 0.127  | 0.128                  | 0.137                  |
| 0.04                  | 1.881                              | 11,152.275                         | 0.061  | 0.062                  | 0.059                  |
| 0.03                  | 1.881                              | 11,279.892                         | -  | 0.045                  | -                      |
| -0.50                 | 4.747                              | 14,198.391                         | -1.775   | -1.903                 | -1.495                 |
| -0.40                 | 4.747                              | 13,150.087                         | -1.443   | -1.513                 | -1.191                 |
| -0.30                 | 4.747                              | 12,253.347                         | -1.125   | -1.126                 | -0.886                 |
| -0.20                 | 1.925                              | 11,813.760                         | -0.773   | -0.800                 | -0.585                 |
| -0.10                 | 8.687                              | 12,238.263                         | -0.386   | -0.423                 | -0.311                 |
| -0.08                 | 8.687                              | 12,016.382                         | -0.325   | -0.354                 | -0.263                 |
| -0.06                 | 8.687                              | 11,801.537                         | -0.256   | -0.274                 | -0.215                 |
| -0.04                 | 8.687                              | 11,604.694                         | -0.186   | -0.211                 | -0.165                 |
| -0.02                 | 8.687                              | 11,392.987                         | -0.117   | -0.142                 | -0.108                 |
| -1.2x10 <sup>-5</sup> | 8.687                              | 11,199.276                         | -  | -0.071                 | -                      |
| +0.006                | 8.687                              | 11,145.223                         | -  | -                      | -0.040                 |

ตารางที่ 5.2.3 แสดงค่า  $C_{M\Omega} \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$  เนื่องจากค่า  $h_C$ , ข้อมูล a, b, c

| $h_C$<br>ชม. | $C_{M\Omega}$<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | A + A'<br>กรัม-ชม. <sup>2</sup> | $C_{M\Omega} \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$ |                    |                    |
|--------------|--|---------------------------------|---|--------------------|--------------------|
|              |  |                                 | a<br>$\times 10^5$  | b<br>$\times 10^5$ | c<br>$\times 10^5$ |
| 0.58         | 0                                      | 8,700.785                       | 1.656   | 1.705              | 1.788              |
| 0.44         | 0.508                                  | 9,334.329                       | 1.197   | 1.250              | 1.320              |
| 0.34         | 0.881                                  | 9,943.213                       | 0.889   | 0.928              | 0.991              |
| 0.24         | 1.116                                  | 10,436.986                      | 0.573   | 0.595              | 0.634              |
| 0.14         | 1.881                                  | 10,617.299                      | 0.251   | 0.259              | 0.280              |
| 0.12         | 1.881                                  | 10,796.855                      | 0.190   | 0.196              | 0.209              |
| 0.10         | 1.881                                  | 10,984.441                      | 0.127   | 0.128              | 0.137              |
| 0.08         | 1.881                                  | 11,180.076                      | 0.061   | 0.062              | 0.059              |
| 0.07         | 1.881                                  | 11,306.430                      | -   | 0.045              | -                  |
| -0.47        | 4.747                                  | 14,171.826                      | -1.775  | -1.903             | -1.495             |
| -0.36        | 4.747                                  | 13,133.897                      | -1.443  | -1.513             | -1.191             |
| -0.26        | 4.747                                  | 12,247.105                      | -1.125  | -1.126             | -0.886             |
| -0.17        | 1.925                                  | 11,817.307                      | -0.773  | -0.800             | -0.585             |
| -0.06        | 8.687                                  | 12,256.106                      | -0.386  | -0.423             | -0.311             |
| -0.04        | 8.687                                  | 12,032.237                      | -0.325  | -0.354             | -0.263             |
| -0.02        | 8.687                                  | 11,819.400                      | -0.256  | -0.274             | -0.215             |
| -0.001       | 8.687                                  | 11,613.631                      | -0.186  | -0.211             | -0.165             |
| +0.02        | 8.687                                  | 11,414.888                      | -0.117  | -0.142             | -0.108             |
| +0.04        | 8.687                                  | 11,223.191                      | -   | -0.071             | -                  |
| +0.044       | 8.687                                  | 11,169.722                      | -   | -                  | -0.040             |



ตารางที่ 5.2.4 แสดงความคลาดเคลื่อน ระหว่างการคำนวณกับการทดลองจากข้อมูลชุด a

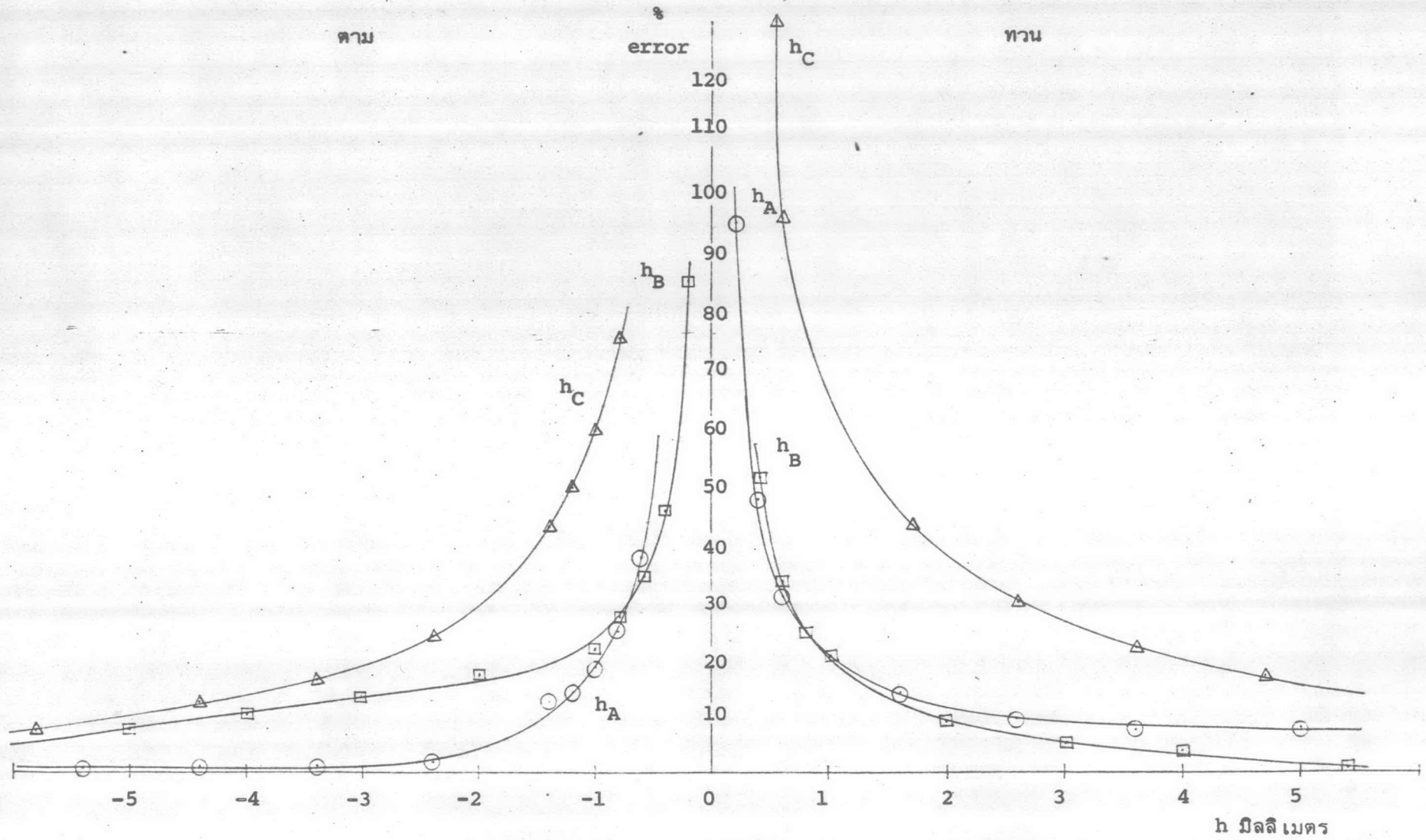
| (Mgh) <sub>AC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>BC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>CC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh)<br>(ABC) E<br>x 10 <sup>5</sup> | h <sub>A</sub>       | error<br>% | h <sub>B</sub>        | error<br>% | h <sub>C</sub> | error<br>% |
|--|--|--|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|----------------|------------|
| 1.539                                    | 1.661                                    | 1.784                                    | 1.656                                 | 0.50                 | 7.60       | 0.54                  | 0.36       | 0.58           | 7.17       |
| 1.117                                    | 1.239                                    | 1.362                                    | 1.197                                 | 0.36                 | 7.16       | 0.40                  | 3.39       | 0.44           | 12.19      |
| 0.811                                    | 0.933                                    | 1.055                                    | 0.889                                 | 0.26                 | 9.62       | 0.30                  | 4.72       | 0.34           | 15.81      |
| 0.505                                    | 0.627                                    | 0.750                                    | 0.573                                 | 0.16                 | 13.47      | 0.20                  | 8.61       | 0.24           | 23.60      |
| 0.192                                    | 0.314                                    | 0.437                                    | 0.251                                 | 0.06                 | 30.73      | 0.10                  | 20.06      | 0.14           | 42.56      |
| 0.129                                    | 0.251                                    | 0.374                                    | 0.190                                 | 0.04                 | 47.29      | 0.08                  | 24.30      | 0.12           | 49.20      |
| 0.065                                    | 0.187                                    | 0.310                                    | 0.127                                 | 0.02                 | 95.38      | 0.06                  | 32.09      | 0.10           | 59.03      |
| 0.002                                    | 0.124                                    | 0.247                                    | 0.061                                 | 5.4x10 <sup>-4</sup> | 2950.0     | 0.04                  | 50.81      | 0.08           | 75.30      |
| -0.038                                   | 0.084                                    | 0.207                                    | -                                     | -0.01                | -          | 0.03                  | -          | 0.07           | -          |
| -1.774                                   | -1.652                                   | -1.529                                   | -1.775                                | -0.54                | 0.28       | -0.50                 | 7.45       | -0.47          | 16.42      |
| -1.434                                   | -1.312                                   | -1.189                                   | -1.443                                | -0.44                | 0.63       | -0.40                 | 9.98       | -0.36          | 21.36      |
| -1.111                                   | -0.990                                   | -0.867                                   | -1.125                                | -0.34                | 1.26       | -0.30                 | 13.13      | -0.26          | 29.64      |
| -0.787                                   | -0.664                                   | -0.542                                   | -0.773                                | -0.24                | 1.78       | -0.20                 | 16.42      | -0.17          | 42.62      |
| -0.441                                   | -0.319                                   | -0.196                                   | -0.386                                | -0.14                | 12.47      | -0.10                 | 21.00      | -0.06          | 96.94      |
| -0.377                                   | -0.255                                   | -0.132                                   | -0.325                                | -0.12                | 13.79      | -0.08                 | 27.06      | -0.04          | 145.45     |
| -0.313                                   | -0.191                                   | -0.069                                   | -0.256                                | -0.10                | 18.21      | -0.06                 | 34.03      | -0.02          | 271.01     |
| -0.250                                   | -0.128                                   | -0.004                                   | -0.186                                | -0.08                | 24.00      | -0.04                 | 45.31      | -0.001         | 4525.0     |
| -0.186                                   | -0.064                                   | +0.059                                   | -0.117                                | -0.06                | 37.10      | -0.02                 | 82.81      | +0.02          | 298.31     |
| -0.122                                   | 0  | +0.123                                   | -                                     | -0.04                | -          | -1.2x10 <sup>-5</sup> | -          | +0.04          | -          |
| -0.104                                   | +0.018                                   | +0.141                                   | -                                     | -0.03                | -          | +0.006                | -          | +0.044         | -          |

ตารางที่ 5.2.5 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณกับการทดลองจากข้อมูลชุด b

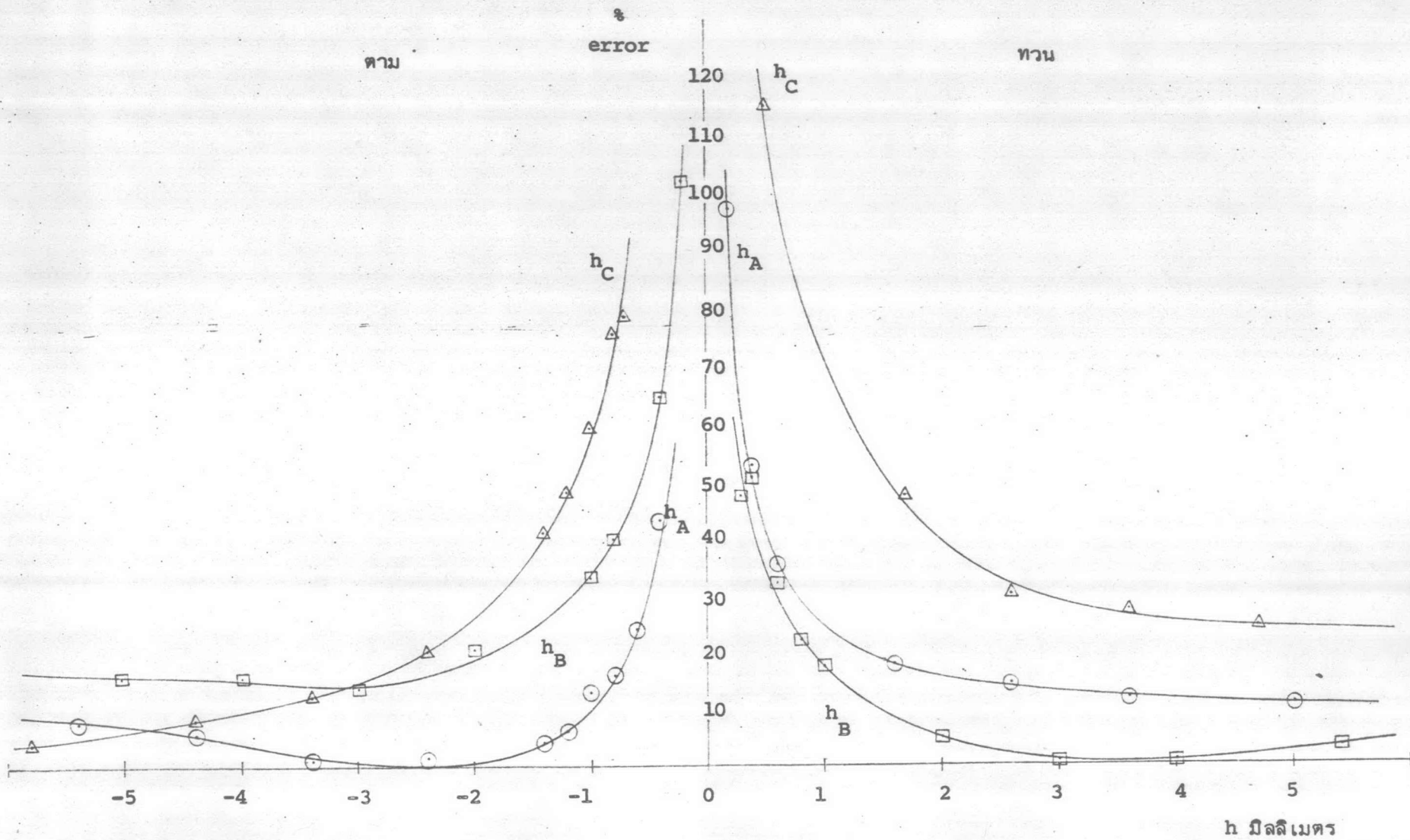
| (Mgh) <sub>AC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>BC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>CC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh)<br>(ABC) E<br>x 10 <sup>5</sup> | h <sub>A</sub>       | error<br>% | h <sub>B</sub>        | error<br>% | h <sub>C</sub> | error<br>% |
|--|--|--|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|----------------|------------|
| 1.539                                    | 1.661                                    | 1.784                                    | 1.705                                 | 0.50                 | 10.79      | 0.54                  | 2.95       | 0.58           | 4.43       |
| 1.117                                    | 1.239                                    | 1.362                                    | 1.250                                 | 0.36                 | 11.82      | 0.40                  | 0.81       | 0.44           | 8.30       |
| 0.811                                    | 0.933                                    | 1.055                                    | 0.928                                 | 0.26                 | 14.43      | 0.30                  | 0.64       | 0.34           | 12.13      |
| 0.505                                    | 0.627                                    | 0.750                                    | 0.595                                 | 0.16                 | 17.82      | 0.20                  | 5.26       | 0.24           | 20.67      |
| 0.192                                    | 0.314                                    | 0.437                                    | 0.259                                 | 0.06                 | 34.90      | 0.10                  | 17.52      | 0.14           | 40.73      |
| 0.129                                    | 0.251                                    | 0.374                                    | 0.196                                 | 0.04                 | 51.94      | 0.08                  | 21.91      | 0.12           | 47.59      |
| 0.065                                    | 0.187                                    | 0.310                                    | 0.128                                 | 0.02                 | 96.92      | 0.06                  | 31.55      | 0.10           | 58.71      |
| 0.002                                    | 0.124                                    | 0.247                                    | 0.062                                 | 5.4x10 <sup>-4</sup> | 2980.0     | 0.04                  | 50.32      | 0.08           | 74.90      |
| -0.038                                   | 0.084                                    | 0.207                                    | 0.045                                 | -0.01                | 218.16     | 0.03                  | 47.62      | 0.07           | 78.31      |
| -1.774                                   | -1.652                                   | -1.529                                   | -1.903                                | -0.54                | 7.27       | -0.50                 | 15.19      | -0.47          | 24.46      |
| -1.434                                   | -1.312                                   | -1.189                                   | -1.513                                | -0.44                | 5.51       | -0.40                 | 15.32      | -0.36          | 27.25      |
| -1.111                                   | -0.990                                   | -0.867                                   | -1.126                                | -0.34                | 1.35       | -0.30                 | 13.74      | -0.26          | 29.87      |
| -0.787                                   | -0.664                                   | -0.542                                   | -0.800                                | -0.24                | 1.52       | -0.20                 | 20.33      | -0.17          | 47.42      |
| -0.441                                   | -0.319                                   | -0.196                                   | -0.423                                | -0.14                | 4.08       | -0.10                 | 32.60      | -0.06          | 115.82     |
| -0.377                                   | -0.255                                   | -0.132                                   | -0.354                                | -0.12                | 6.10       | -0.08                 | 38.82      | -0.04          | 167.42     |
| -0.313                                   | -0.191                                   | -0.069                                   | -0.274                                | -0.10                | 12.46      | -0.06                 | 43.46      | -0.02          | 297.10     |
| -0.250                                   | -0.128                                   | -0.004                                   | -0.211                                | -0.08                | 15.60      | -0.04                 | 64.92      | -0.001         | 5175.0     |
| -0.186                                   | -0.064                                   | +0.059                                   | -0.142                                | -0.06                | 23.66      | -0.02                 | 122.19     | +0.02          | 340.68     |
| -0.122                                   | 0  | +0.123                                   | -0.071                                | -0.04                | 42.62      | -1.2x10 <sup>-5</sup> | ∞          | +0.04          | 157.72     |
| -0.104                                   | +0.018                                   | +0.141                                   | -                                     | -0.03                | -          | +0.006                | -          | +0.044         | -          |

ตารางที่ 5.2.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณกับการทดลองจากข้อมูลชุด c

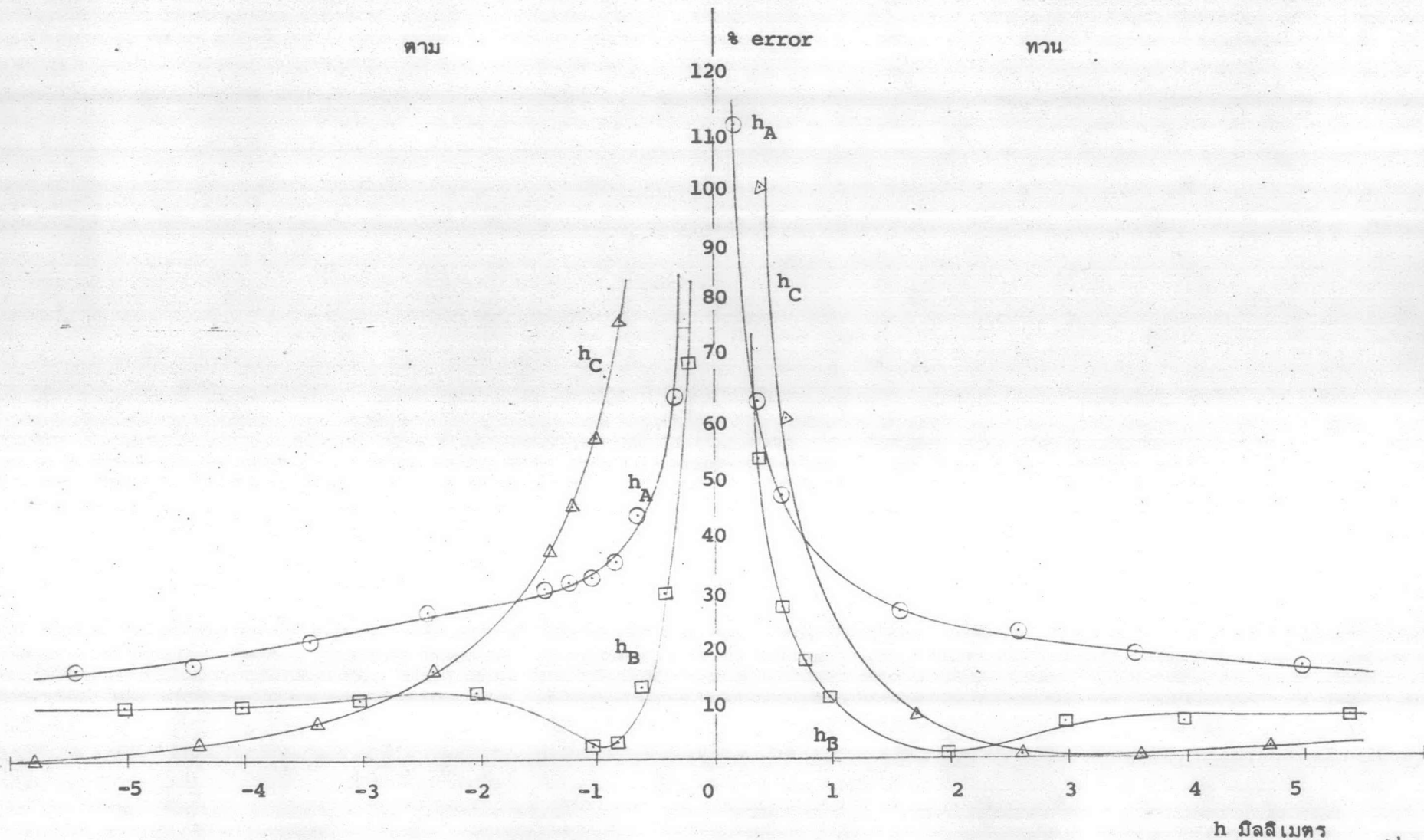
| (Mgh) <sub>AC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>BC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>CC</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | (Mgh) <sub>(ABC)E</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | h <sub>A</sub>       | error<br>% | h <sub>B</sub>        | error<br>% | h <sub>C</sub> | error<br>% |
|--|--|--|--|----------------------|------------|-----------------------|------------|----------------|------------|
| 1.539                                    | 1.661                                    | 1.784                                    | 1.788  | 0.50                 | 16.24      | 0.54                  | 7.65       | 0.58           | 0.22       |
| 1.117                                    | 1.239                                    | 1.362                                    | 1.321  | 0.36                 | 18.17      | 0.40                  | 6.45       | 0.44           | 2.94       |
| 0.811                                    | 0.933                                    | 1.055                                    | 0.991  | 0.26                 | 22.19      | 0.30                  | 6.22       | 0.34           | 6.07       |
| 0.505                                    | 0.627                                    | 0.750                                    | 0.634  | 0.16                 | 25.54      | 0.20                  | 1.12       | 0.24           | 15.47      |
| 0.192                                    | 0.314                                    | 0.437                                    | 0.280  | 0.06                 | 45.83      | 0.10                  | 10.83      | 0.14           | 35.93      |
| 0.129                                    | 0.251                                    | 0.374                                    | 0.209  | 0.04                 | 62.02      | 0.08                  | 17.13      | 0.12           | 44.22      |
| 0.065                                    | 0.187                                    | 0.310                                    | 0.137  | 0.02                 | 110.77     | 0.06                  | 26.74      | 0.10           | 55.81      |
| 0.002                                    | 0.124                                    | 0.247                                    | 0.059  | 5.4x10 <sup>-4</sup> | 2825.0     | 0.04                  | 52.42      | 0.08           | 76.32      |
| -0.038                                   | 0.084                                    | 0.207                                    | -  | -0.01                | -          | 0.03                  | -          | 0.07           | -          |
| -1.774                                   | -1.652                                   | -1.529                                   | -1.495                                       | -0.54                | 15.73      | -0.50                 | 9.50       | -0.47          | 2.22       |
| -1.434                                   | -1.312                                   | -1.189                                   | -1.192                                       | -0.44                | 16.64      | -0.40                 | 9.22       | -0.36          | 0.17       |
| -1.111                                   | -0.990                                   | -0.867                                   | -0.886                                       | -0.34                | 20.16      | -0.30                 | 10.51      | -0.26          | 2.19       |
| -0.787                                   | -0.664                                   | -0.542                                   | -0.585                                       | -0.24                | 25.67      | -0.20                 | 12.05      | -0.17          | 7.93       |
| -0.441                                   | -0.319                                   | -0.196                                   | -0.311                                       | -0.14                | 29.47      | -0.10                 | 2.51       | -0.06          | 58.90      |
| -0.377                                   | -0.255                                   | -0.132                                   | -0.263                                       | -0.12                | 30.24      | -0.08                 | 3.14       | -0.04          | 99.47      |
| -0.313                                   | -0.191                                   | -0.069                                   | -0.215                                       | -0.10                | 31.31      | -0.06                 | 12.57      | -0.02          | 211.99     |
| -0.250                                   | -0.128                                   | -0.004                                   | -0.165                                       | -0.08                | 34.00      | -0.04                 | 28.91      | -0.001         | 4025.0     |
| -0.186                                   | -0.064                                   | +0.059                                   | -0.108                                       | -0.06                | 41.94      | -0.02                 | 68.75      | +0.02          | 283.05     |
| -0.122                                   | 0  | +0.123                                   | -  | -0.04                | -          | -1.2x10 <sup>-5</sup> | -          | +0.04          | -          |
| +0.104                                   | +0.018                                   | +0.141                                   | -0.040                                       | -0.03                | 62.50      | +0.006                | 120.0      | +0.044         | 128.09     |



รูปที่ 5.2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความคลาดเคลื่อนกับระยะ h ในกรณีข้อมูล a



รูปที่ 5.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง% ความคลาดเคลื่อนกับระยะ  $h$  ในกรณีข้อมูล  $b$



รูปที่ 5.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความคลาดเคลื่อน กับระยะ  $h$  ในกรณีข้อมูล c

### 5.3 การแก้ไขความคลาดเคลื่อนด้วยการคิดค่า $h$ เฉลี่ย

ในการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลมานั้น มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการหมุนของตัวหมุน โดยให้อยู่ใน 3 ช่วง ดังได้กล่าวในหัวข้อ 5.1 และในแต่ละช่วงอัตราการหมุนก็ได้แยกการพิจารณาออกเป็น 3 กรณีคือ

กรณีแรก เมื่อพิจารณาว่าแกนของมอเตอร์เลื่อนเข้ามาหามอเตอร์ด้วยระยะประมาณ

1 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากแรงกดของตัวหมุนในขณะที่มอเตอร์ยกสูงขึ้น

กรณีที่สอง เมื่อพิจารณาว่าแกนของมอเตอร์อยู่ในลักษณะปกติ

กรณีที่สาม ตรงกันข้ามกับกรณีแรก กล่าวคือพิจารณาให้แกนมอเตอร์เลื่อนออกด้วยระยะ

1 มิลลิเมตร

สำหรับกรณีที่สามนี้ ในการทดลองจริง ๆ แกนของมอเตอร์เลื่อนออกมาน้อยมาก ดังนั้นจะคิดเฉพาะกรณีแรก และกรณีที่สองมาเฉลี่ย และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตาราง 5.3.1

$(Mgh)_{AC}$  หมายถึงค่า  $Mgh$  ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่า  $h_A$

$(Mgh)_{BC}$  หมายถึงค่า  $Mgh$  ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่า  $h_B$

$(Mgh)_{CC}$  หมายถึงค่า  $Mgh$  ที่ได้จากการคำนวณด้วยค่า  $h_C$

ทำนองเดียวกัน  $(Mgh)_{(A,B,C)E}$  คือค่าที่ได้จากการทดลอง โดยคิดในเทอมของ

$$c\eta \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$$

$(Mgh)_{av}$  หมายถึงค่า  $Mgh$  ที่คิดจากค่าเฉลี่ยของ  $h_A$  และ  $h_B$

ตารางที่ 5.3 แสดงความคลาดเคลื่อนเมื่อแก้ด้วยการคิดค่าเฉลี่ยของ h

| Mgh <sub>av.</sub><br>x 10 <sup>5</sup> | ข้อมูล a                               |            | ข้อมูล b                               |            | ข้อมูล c                               |            |
|---|--|------------|--|------------|--|------------|
|   | (Mgh) <sub>E</sub><br>x10 <sup>5</sup> | error<br>% | (Mgh) <sub>E</sub><br>x10 <sup>5</sup> | error<br>% | (Mgh) <sub>E</sub><br>x10 <sup>5</sup> | error<br>% |
| 1.600                                   | 1.656                                  | 3.5        | 1.705                                  | 6.56       | 1.788                                  | 11.75      |
| 1.178                                   | 1.197                                  | 1.61       | 1.250                                  | 6.11       | 1.321                                  | 12.14      |
| 0.872                                   | 0.889                                  | 1.95       | 0.928                                  | 6.42       | 0.991                                  | 13.65      |
| 0.566                                   | 0.573                                  | 1.24       | 0.595                                  | 4.87       | 0.634                                  | 12.01      |
| 0.253                                   | 0.251                                  | 0.79       | 0.259                                  | 2.37       | 0.280                                  | 10.67      |
| 0.190                                   | 0.190                                  | 0.00       | 0.196                                  | 3.16       | 0.209                                  | 10.00      |
| 0.126                                   | 0.127                                  | 0.79       | 0.128                                  | 1.59       | 0.137                                  | 8.73       |
| 0.063                                   | 0.061                                  | 3.17       | 0.062                                  | 1.59       | 0.059                                  | 6.35       |
| 0.023                                   | -                                      | -          | 0.045                                  | 95.65      | -                                      | -          |
| -1.713                                  | -1.775                                 | 3.62       | -1.903                                 | 11.09      | -1.495                                 | 12.73      |
| -1.373                                  | -1.443                                 | 5.10       | -1.513                                 | 10.20      | -1.192                                 | 13.18      |
| -1.051                                  | -1.125                                 | 7.04       | -1.126                                 | 7.14       | -0.886                                 | 15.70      |
| -0.726                                  | -0.773                                 | 6.47       | -0.800                                 | 10.19      | -0.585                                 | 19.42      |
| -0.380                                  | -0.386                                 | 1.58       | -0.423                                 | 11.32      | -0.311                                 | 18.16      |
| -0.316                                  | -0.325                                 | 2.85       | -0.354                                 | 12.03      | -0.263                                 | 16.77      |
| -0.252                                  | -0.256                                 | 1.59       | -0.274                                 | 8.73       | -0.215                                 | 14.68      |
| -0.189                                  | -0.186                                 | 1.59       | -0.211                                 | 11.64      | -0.165                                 | 12.70      |
| -0.125                                  | -0.117                                 | 6.4        | -0.142                                 | 13.60      | -0.108                                 | 13.60      |
| -0.061                                  | -                                      | -          | -0.071                                 | 16.39      | -                                      | -          |
| -0.043                                  | -                                      | -          | -                                      | -          | -0.040                                 | 6.98       |



#### 5.4 การทดลองเพื่อตรวจสอบผล

เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งอื่น ควรจะสอดคล้องกับคุณสมบัติของเครื่องมือตั้งได้กล่าวมาแล้ว โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

ตารางที่ 5.4.1 แสดงเงื่อนไขของการทดลองเพื่อตรวจสอบผล

| $h_B$<br>ซม. | ตุ้มน้ำหนัก<br>กรัม | $X_{c.g.}$<br>ซม. | น้ำหนักรวม<br>กรัม | จำนวน<br>เกลียว | $h_A$<br>ซม. |
|--------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| +0.35        | $M_{10} = 4.609$    | 0.33              | 318.830            | 64              | +0.31        |
| -0.35        | $M_2 = 20.646$      | 1.28              | 334.867            | 37              | -0.39        |

ตารางที่ 5.4.2 แสดงค่าที่วัดได้จากเงื่อนไข 5.4.1

| ข้อมูล | $f_1$<br>รอบ/วินาที | $f_2^{-1}$<br>วินาที/รอบ | $\eta$ | $\theta$ | $A + A'$    | $c\eta \left[ 1 + \frac{f\theta\Omega}{\eta} \right]$<br>$= (Mgh)_E$ |
|--------|---------------------|--------------------------|--------|----------|-------------|--|
| a      | 38.10               | 13.20                    | 113.95 | 5.3      | 9,421.392   | 104,385.81   |
|        | 39.91               | 11.51                    | 136.89 | 4.0      | -12,689.334 | -125,363.33  |
| b      | 32.52               | 11.21                    | 114.53 | 4.3      | 9,421.392   | 104,899.38   |
|        | 24.13               | 7.56                     | 126.00 | 4.1      | -12,689.334 | -115,077.56  |
| c      | 19.81               | 8.03                     | 97.39  | 4.4      | 9,421.392   | 89,010.173   |
|        | 13.93               | 4.95                     | 111.10 | 6.3      | -12,689.334 | -100,089.31  |

ตารางที่ 5.4.3 แสดงความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณกับการทดลองด้วยค่า  $h$  ที่แก้แล้ว

| M<br>กรัม | $h_{av}$<br>ซม. | $(Mgh_{av})_C$<br>$\times 10^5$ | $(Mgh)_E$<br>$\times 10^5$ | error<br>% | ข้อมูล |
|-----------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|------------|--------|
| 318.830   | 0.33            | 1.029                           | 1.044                      | 1.44       | a      |
| 334.867   | 0.37            | -1.212                          | -1.254                     | 3.46       |        |
| 318.830   | 0.33            | 1.029                           | 1.049                      | 1.94       | b      |
| 334.867   | 0.37            | -1.212                          | -1.151                     | 5.03       |        |
| 318.830   | 0.33            | 1.029                           | 0.890                      | 13.50      | c      |
| 334.867   | 0.37            | -1.212                          | -1.001                     | 17.40      |        |

จะเห็นว่าผลของการทดลองครั้งนี้เมื่อคิดโดยใช้ค่า  $h$  ที่แก้แล้ว ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองครั้งก่อนทุกประการ.