



## การทดลองและสรุปผล

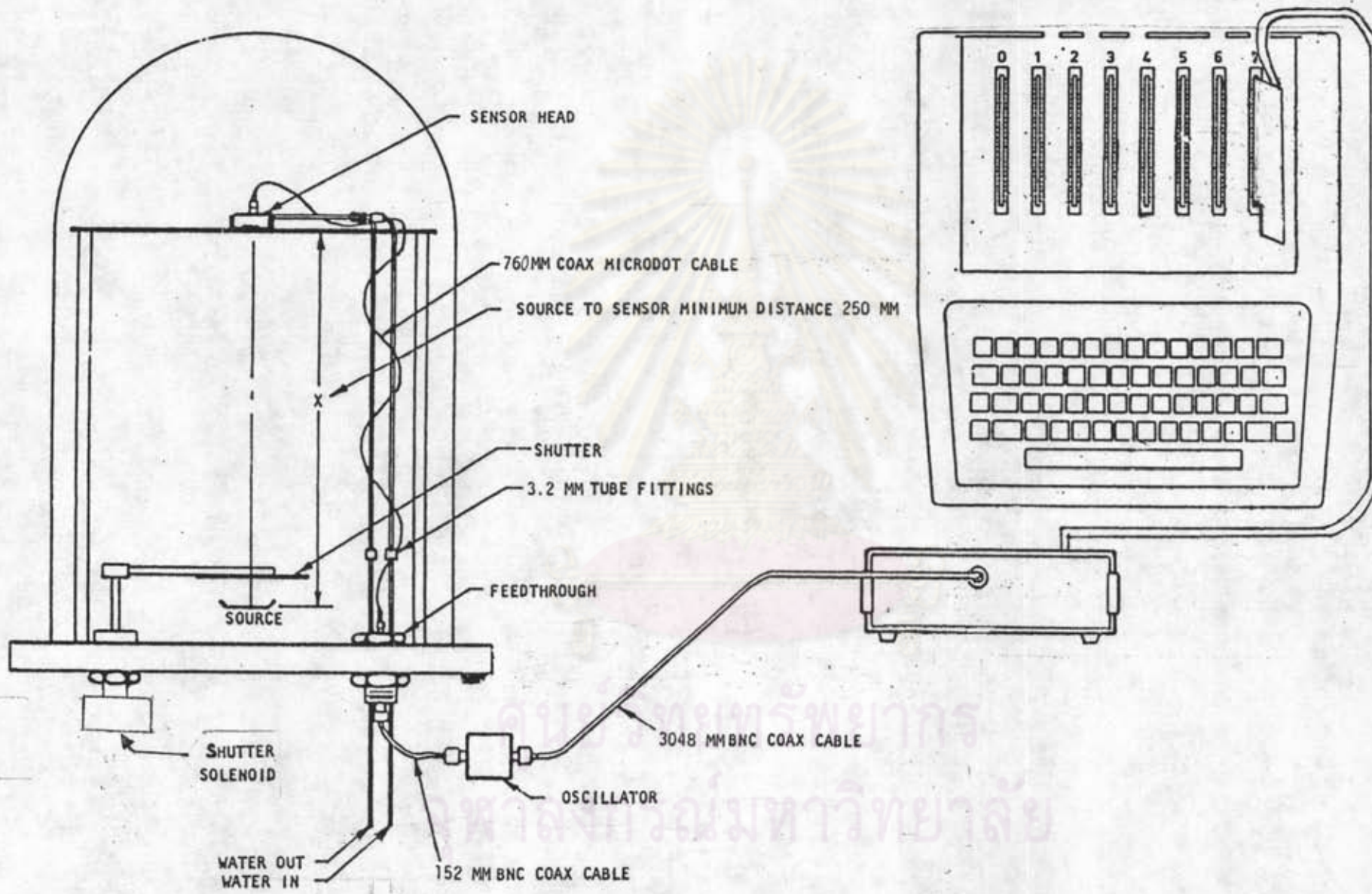
ตลอดการทดลองครั้งนี้ใช้แผ่นสไลด์เป็นฐานรอง และใช้ผลึกควอทซ์อ้างอิงซึ่งมีความถี่ = 6.144 MHz ส่วนผลึกควอทซ์รับรู้ได้ใช้ผลึก 6.000 MHz 2 อัน ผลัดเปลี่ยนกัน ดังนั้นความถี่เอาท์พุทจากมิกเซอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ลดลง เพราะผลต่างระหว่างความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้กับความถี่ของผลึกควอทซ์อ้างอิงจะเพิ่มขึ้น ยกเว้นหัวข้อ 5.2 ได้ใช้ความถี่ผลึกควอทซ์รับรู้ = 6.258 MHz ซึ่งทำให้ความถี่เอาท์พุทจากมิกเซอร์ลดลง เมื่อความถี่ผลึกควอทซ์รับรู้ลดลง

### 5.1 การใช้เครื่องมือ

การใช้เครื่องมือจะอ้างอิงจากรูป 3-11 โดยเป็นไปตามลำดับดังนี้

1. การต่อชุดเครื่องมือ ต้องทำในขณะที่ยังไม่ได้เปิดเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ การต่อเครื่องมือครบชุดแสดงในรูปที่ 5-1 และมีสิ่งต่างๆ ที่ต้องต่อเข้าชุดกันดังนี้

- ก. วัตต์เสียบแผ่นอินเตอร์เฟสบนสล็อตสุดท้าย คือสล็อตที่ 7
  - ข. ต่อปลายข้างหนึ่งของสายชนิด DIN 5 เข้ากับปลั๊ก DIN 5 บนแผ่นอินเตอร์เฟส ต่อปลายอีกข้างหนึ่งเข้ากับปลั๊ก DIN 5 ที่เขียนกำกับไว้ว่า "to 6522 VIA" บนกล่องบรรจุวงจร
  - ค. ต่อสายเคเบิลจากออสซิลเลเตอร์รับรู้เข้ากับปลั๊ก BNC ที่เขียนกำกับไว้ว่า "to sensor osc." บนกล่องบรรจุวงจร
  - ง. เสียบปลั๊กไฟของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์, มอนิเตอร์ เข้ากับไฟบ้าน 220 V 50 Hz.
2. เริ่มเดินเครื่องระเหยสารตามขั้นตอนในภาคผนวก ข
  3. เปิดจอมอนิเตอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ตามลำดับ
  4. ใส่แผ่นดิสก์ที่เขียนกำกับไว้ว่า thickness monitor program ลงในตัวขับเคลื่อนดิสก์ เพื่อบูทแผ่น



รูป 5-1 การต่อเครื่องมือเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์และเครื่องระเหยสาร

## THIN FILM THICKNESS MONITOR

(Jan, 1989)

1. NOTES ABOUT THE PROGRAM
2. TESTING CALCULATION
3. RUN THE MONITOR PROGRAM
4. QUIT

SELECT 4

]

ก

## THIN FILM THICKNESS MONITOR

TO QUIT TYPE Q,  
OTHERWISE PRESS RETURN

ข

## INFORMATIONS

FILM DENSITY(IN g/cc.) = 8.93

ACOUSTIC IMPEDANCE = 20.21

REQUIRED THICKNESS(IN Ang.) = 1300

ค

F MIXER = 1256714 Hz.

F MIXER = 1256714 Hz.

TO QUIT TYPE Q,  
OTHERWISE PRESS RETURN

ARE YOU READY TO COAT?

-- READY --

F MIXER = 1256714 Hz. DELTA F = 0 Hz.  
THICKNESS = 0 Ang.

รูป 5-2 ข้อความบนจอมอนิเตอร์

5. หลังจากที่ยุทจวนบันทึกข้อมูลสักครั้งหนึ่งก็จะปรากฏข้อความดังรูป 5-2ก ขึ้นบนจอให้ตอบคำถามตามต้องการ

- ก. ถ้าต้องการอ่านบันทึกย่อเกี่ยวกับโปรแกรมให้คีย์หมายเลข 1
- ข. ถ้าต้องการเข้าสู่โปรแกรมทดสอบให้คีย์หมายเลข 2
- ค. ถ้าต้องการเข้าสู่โปรแกรมวัดความหนาให้คีย์หมายเลข 3
- ง. ถ้าต้องการเลิกใช้โปรแกรมให้คีย์หมายเลข 4

## 5.2 การทดสอบการทำงานของเครื่องมือ

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ หลังจากต่อชุดเครื่องมือต่างๆ เรียบร้อยแล้ว และใช้โปรแกรมทดสอบการทำงานซึ่งมีหน้าที่แค่เพียงหาความถี่ของออสซิลเลเตอร์รับรู้ (ซึ่งแทนด้วยเอาท์พุทของมิกเซอร์) โปรแกรมทดสอบการทำงานจะเป็นไปดังนี้

```

15 HOME-: INVERSE : PRINT "PROGR
    AM TO TEST": NORMAL
29 PRINT
30 PRINT CHR$(4)"BLOAD TIMER
34 REM SET UP JUMP VECTORS
35 POKE 10,76: POKE 11,12: POKE
    12,25
36 POKE 1022,00: POKE 1023,25
60 GOSUB 700
64 REM CALL TIMER SUBROUTINE
65 Z = USR (0)
69 REM CONVERT NUMBER OF CLOCK
    CYCLES FROM HEX TO DEC .
70 A = PEEK (27)
75 B = 256 * PEEK (28) + A
80 C = 65536 * PEEK (29) + B
85 D = 16777216 * PEEK (30) + C
100 T = D / 1022714
105 F = INT (M / T)
130 HTAB 1: VTAB 23: PRINT "F MI
    XER = ";F;" Hz."
150 GOTO 65
700 REM GIVE NO. OF EVENTS
710 REM THIS NUMBER MUST BE LESS
    THAN 65537
715 M = 30000
720 N = M - 1
725 REM POKE N INTO 2 LOCATIONS
730 NHI = INT (N / 256)
735 POKE 26,NHI
740 NLO = (N / 256 - NHI) * 256
745 POKE 25,NLO
799 RETURN
  
```

5.2.1 ทดสอบขั้นต้น โดยเปิดฝาครอบออกและให้ชุดเครื่องมือทำงาน ลองหายาจรดผลึกควอทซ์รับรู้ จะสังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ (ลดลง) ตามตาราง 5-1 และรอจนความถี่กลับมาคงที่อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นปิดฝาครอบและสูบอากาศออก สังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยความถี่ของออสซิลเลเตอร์รับรู้มีความถี่เพิ่มขึ้นประมาณ 100 Hz. ตามตาราง 5-2

เหตุการณ์	เอาร์ทพุทของมิกเซอร์ (Hz)
ก่อนเปิดฝาครอบ	111014
เมื่อปล่อยอากาศเข้า	110938
เมื่อหายาจรด	110862
	110856
	110873
	110890
	110893
	110896
	110898
	110898
	110901
	110904
	110910
	110929
	110932

ตาราง 5-1 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ เมื่อทดลองหายาจรด (เมื่อ  $N = 30,000$ , ความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ = 6.258 MHz)

ความดัน	เอาต์พุตของมิกเซอร์ (Hz)
เมื่อเปิดฝาครอบ	110943
	110946
เมื่อเริ่มปั๊มสุญญากาศ	110986
	111000
	111014
	111028
6.4 mbar	111031
6.0 mbar	111033
5.4 mbar	111036
4.8 mbar	111039
4.5 mbar	111039
4.0 mbar	111042

ตาราง 5-2 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้  
ที่ความดันต่างๆกัน ในฝาครอบทรงระฆัง

5.2.2 การทดสอบขั้นต่อไป ทำโดยเปรียบเทียบ กับเครื่องนับความถี่ (frequency counter) ชนิดอื่นที่เที่ยงตรง ซึ่งได้แก่เครื่องนับความถี่ของ Hewlette Packard รุ่น HP5216A หลังจากต่อชุดเครื่องมือต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ลองฉาบโลหะ และสังเกตความถี่ที่เปลี่ยนไป เปรียบเทียบระหว่าง ความถี่แสดงบน HP5216A และความถี่ที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ของ Apple II ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 5-3 สังเกตว่าค่าจาก Apple II จะเป็นขั้นโดยห่างกันขั้นละ 5 Hz. ซึ่งเป็นความสามารถในการจำแนก (resolution) ของเครื่องมือชุดนี้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเหล่านี้ก็สมนัยกับค่าจาก HP5216A โดยห่างกันเป็นค่าคงที่ประมาณ 320 Hz. ซึ่งอาจทำให้ง่ายกันได้โดยเพียงแต่วางค่านี้ลงไปโปรแกรมทดสอบ

ความถี่ที่วัดได้จาก Apple II (Hz)	ความถี่ที่วัดได้จาก HP5216A (Hz)
147400	147082
	147081
	147080
	147079
147395	147078
	147077
	147076
	147075
147390	147074

ตาราง 5-3 เปรียบเทียบความถี่ที่วัดได้จาก Apple II  
กับที่วัดได้จาก HP5216A  
(ความถี่ผลึกควอทซ์รับรู้ = 8.000 MHz)

### 5.3 การทำกราฟปรับเทียบ (calibration curve)

เนื่องจากผลึกควอทซ์รับรู้ไม่ได้ถูกวาง ณ ตำแหน่งเดียวกับฐานรอง  
โอยของโลหะที่ขึ้นโอบรอบบนฐานรองอาจไม่เท่ากับที่โอบบนผิวผลึกควอทซ์รับรู้เพียง  
แต่เป็นสัดส่วนกันเท่านั้น เนื่องจากความหนาแน่นของฟิล์มที่เกิดจากเป็นชั้น ๆ  
โดยโอยของโลหะ อาจน้อยกว่าความหนาแน่นของชั้นทองแดงที่ถูกละระเหย ซึ่ง  
เป็นความหนาแน่นของทองแดงทั้งก้อน (bulk density) ดังนั้นก่อนที่โปรแกรม  
ทำงาน ในหัวข้อ 4.18 จะทำงานได้จริง จำต้องหาค่าคงที่ K ตามสมการ  
ที่ 2.4 ซึ่งทำได้โดยการทดลองละลายโลหะ เริ่มต้นด้วยการใช้เครื่องมือตาม  
หัวข้อ 5.1 และคอยจนกระทั่งความดันในฝาคอรอบลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเห็นว่า  
ความถี่ของออสซิลเลเตอร์รับรู้คงที่ จึงบันทึกค่าความถี่เริ่มต้นไว้ และเริ่มต้นทำ  
การละลายโลหะ บนแผ่นสไลด์โดยให้หยุดการละลายโลหะที่การเปลี่ยนแปลงความถี่ค่า  
ต่าง ๆ กันในแต่ละแผ่น (หมายเหตุ : สังเกตได้ว่าหลังการละลายโลหะ เมื่อนำ



แผ่นสไลด์มาส่องไฟดูจะพบว่า ที่การเปลี่ยนความถี่มาก แผ่นสไลด์จะถูก  
ฉาบที่บอกว่าที่การเปลี่ยนแปลงความถี่น้อย) หลังจากนั้นจึงทดสอบด้วยวิธีข้าง และ  
หาตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ชั่งมวลของฐานรองก่อนถูกฉาบด้วยโลหะ ด้วยเครื่องชั่งที่  
สามารถอ่านทศนิยมตำแหน่งที่ 5 ของกรัมได้ โดยใช้อาศัยที่ศูนย์ เครื่องมือวิจัย  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. หลังจากฉาบฐานรองด้วยโลหะแล้วทำการชั่งมวลอีกครั้ง
3. หามวลที่เปลี่ยนแปลง (เพิ่มขึ้น) จากข้อ 1 และ 2 ผลที่ได้แสดง  
เปรียบเทียบกับความถี่ที่เปลี่ยนไปจากฐานรองแต่ละอันในตาราง 5-4 ผลที่ได้ดังนี้

มวลก่อนฉาบโลหะ (g)	มวลหลังฉาบโลหะ (g)	$\Delta$ มวล ( $\times 10^{-5}$ g)	$\Delta$ ความถี่ (Hz)
5.37863	5.37879	16	359
5.22920	5.22925	5	126
5.19330	5.19340	10	210
5.12433	5.12460	27	424
4.99415	4.99430	15	314
5.31440	5.31470	30	561
5.00560	5.00592	32	606
5.05977	5.05990	13	222
5.21420	5.21443	23	436
5.21435	5.21459	24	428

ตาราง 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ  
ผลึกควอตซ์รับรู้ และมวลของฐานรองที่เพิ่มขึ้น  
หลังการฉาบโลหะ (ทองแดง) (แผ่นสไลด์ชุดที่ 1)

4. หลังจากนั้นจึง เปลี่ยนผลึกควอทซ์รับรู้อีกอันหนึ่ง และทำการทดลองอีกชุดหนึ่ง ได้ผลตามที่แสดงไว้ในตาราง 5-5

มวลก่อนฉาบโลหะ (g)	มวลหลังฉาบโลหะ (g)	$\Delta$ มวล ( $\times 10^{-5}$ g)	$\Delta$ ความถี่ (Hz)
5.16295	5.16300	5	110
4.88287	4.88297	10	204
5.51580	5.51592	12	269
5.47800	5.47823	23	460
5.17170	5.17192	22	442
5.15180	5.15209	29	584

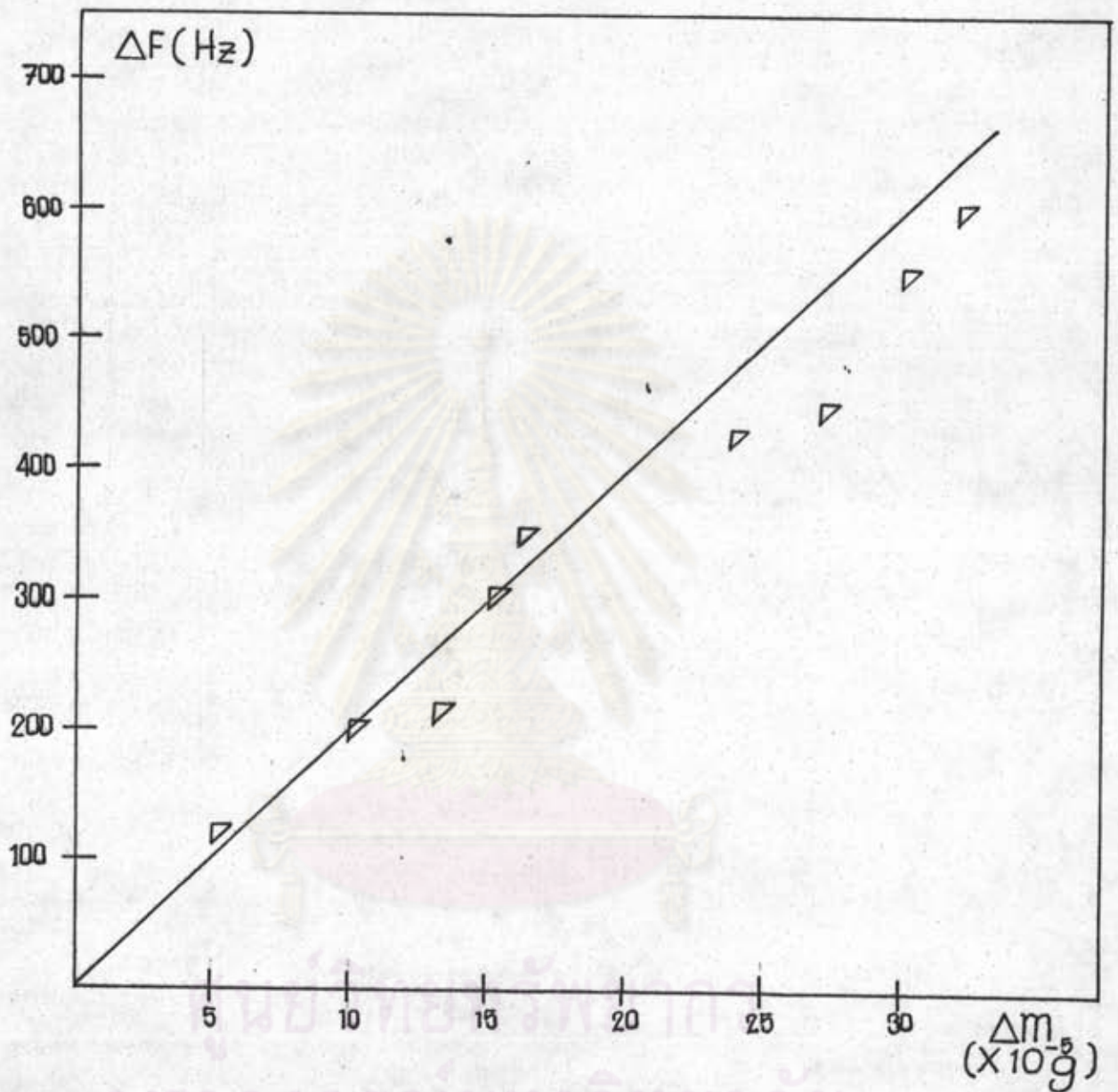
ตาราง 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้ และมวลของฐานรองที่เพิ่มขึ้น หลังการฉาบโลหะ (ทองแดง) (แผ่นสไลด์ชุดที่ 2)

5. พล็อตกราฟระหว่างค่ามวลที่เปลี่ยนแปลงไป ในข้อ 3 และ 4 กับค่าของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากฐานรองแต่ละอันของทั้ง 2 ชุด ผลที่ได้แสดงไว้ในรูป 5-3 และ 5-4

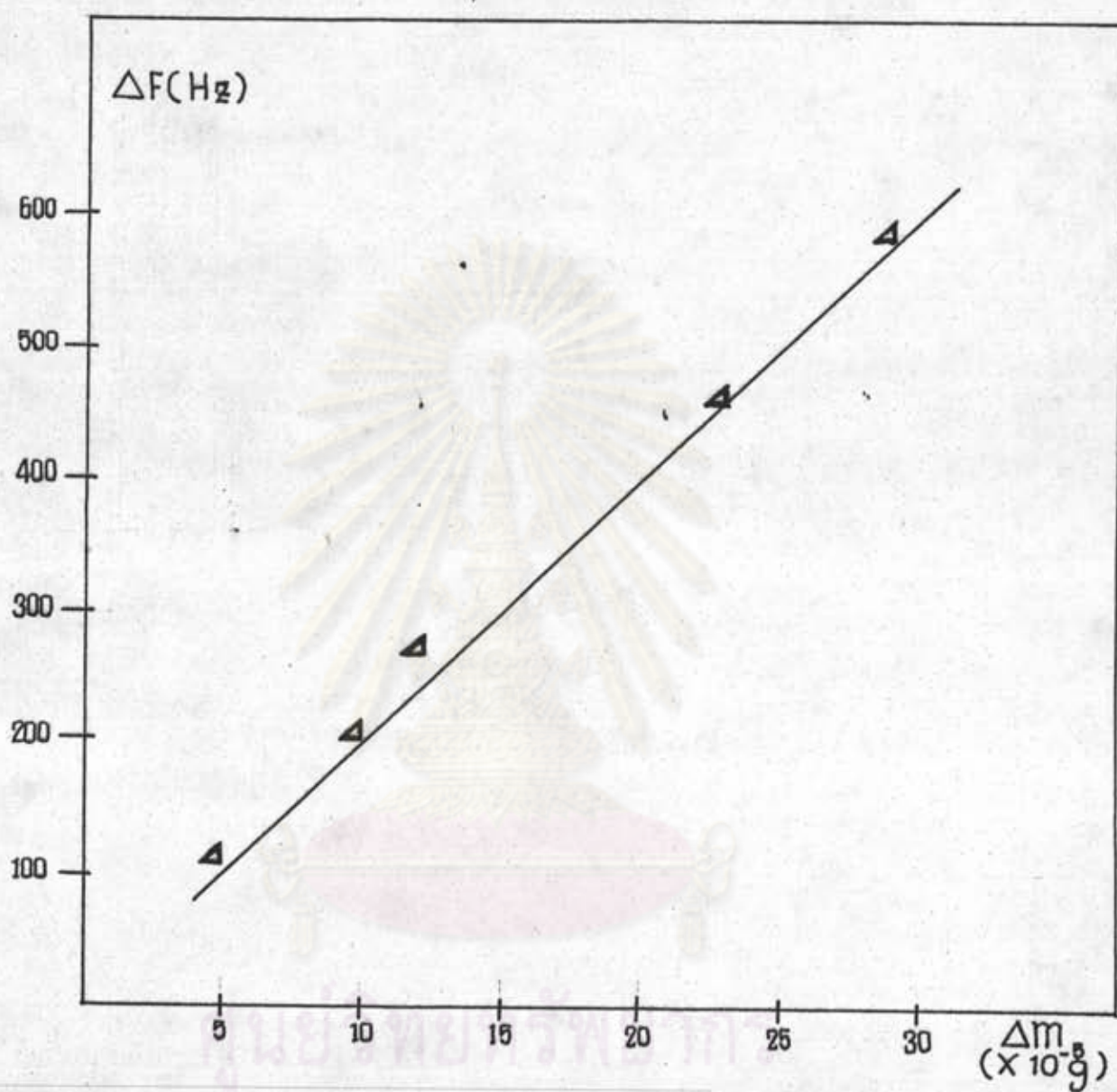
6. คำนวณหาความหนาของฟิล์มที่ขึ้นไปฉาบบนฐานรองแต่ละอันในตาราง 5-4 และ 5-5 โดยอาศัยความสัมพันธ์  $d_f = m/(A \times r_f)$  เมื่อ  $d_f$  แทนความหนาของฟิล์มบาง,  $m$  แทนมวลของฟิล์มบาง,  $A$  แทนพื้นที่ผิวหน้าของฟิล์มบาง โดยถือว่าฟิล์มบางขึ้นไปเกาะบนฐานรอง ในลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ  $r_f$  แทนความหนาแน่นของฟิล์ม

7. คำนวณหาความหนาของฟิล์มที่ขึ้นไปฉาบบนฐานรอง แต่ละอันในตาราง 5-4 และ 5-5 จากการเปลี่ยนแปลงความถี่โดยอาศัยสมการ 2-10

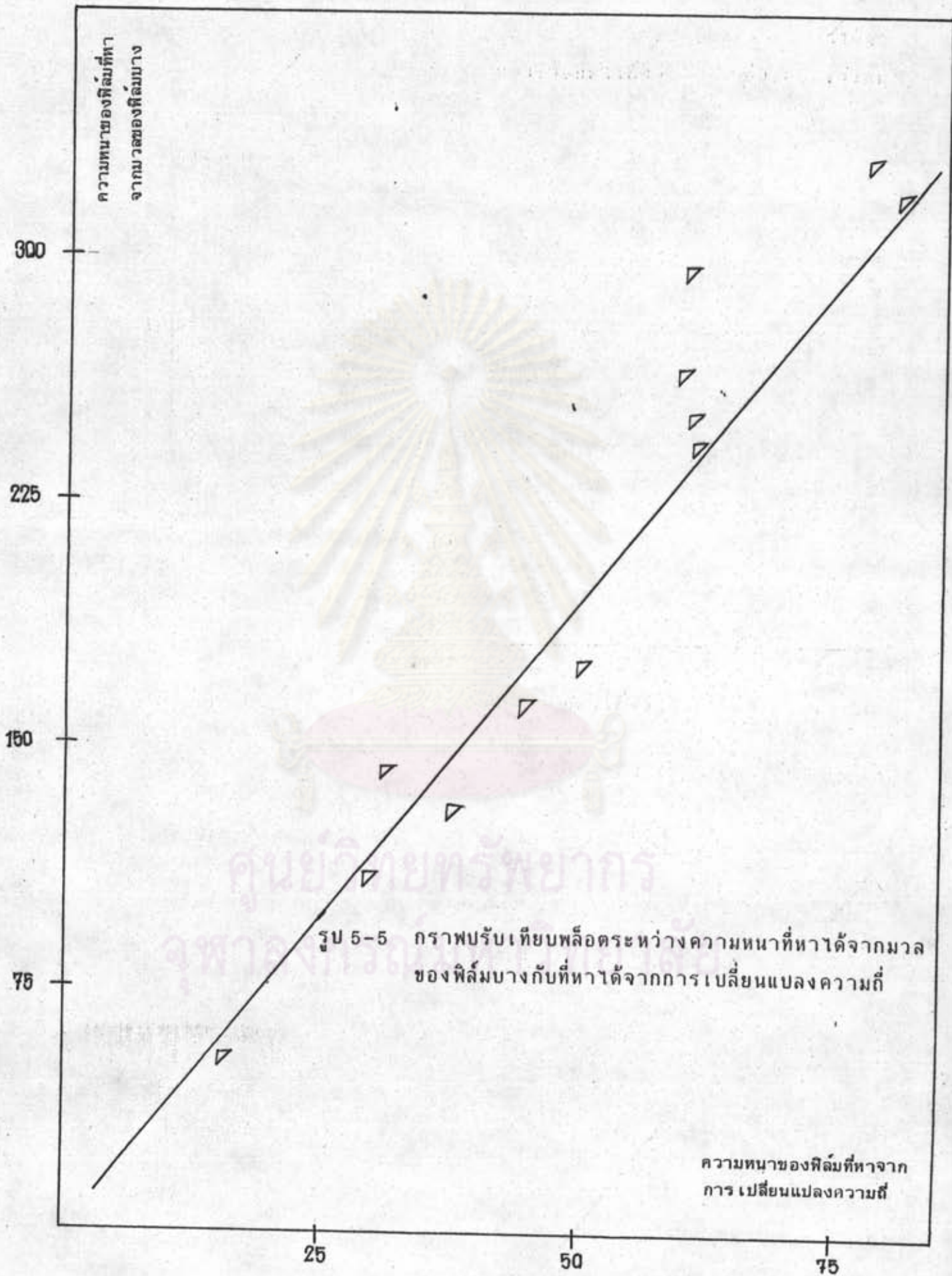
8. แสดงค่าของความหนาของฟิล์มบางที่คำนวณได้ในข้อ 6 และ 7 เปรียบเทียบกันในตารางที่ 5-6 และหลังจากนั้นนำไปพล็อตกราฟระหว่างค่าทั้งสองนี้ ซึ่งจะได้เป็นกราฟเปรียบเทียบออกมา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-5



รูป 5-3 กราฟความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับน้ำหนักของแผ่นสไลด์ที่เพิ่มขึ้น  
(แผ่นสไลด์ชุดที่ 1)



รูป 5-4 กราฟความถี่ที่เปลี่ยนแปลงกับน้ำหนักของแผ่นสไลด์ที่เพิ่มขึ้น  
(แผ่นสไลด์ชุดที่ 2)



ความหนาที่คำนวณจาก $\Delta m$ (Angstrom)	ความหนาที่คำนวณจาก $\Delta F$ (Angstrom)
176.697	49.44
55.218	17.355
110.436	28.93
298.177	58.41
165.654	43.95
331.308	77.30
353.395	83.52
143.567	30.60
254.002	60.11
265.046	59.01
55.218	15.17
110.436	28.13
132.523	37.09
254.002	63.44
242.959	60.97
320.264	80.58

ตาราง 5-6 เปรียบเทียบความหนาของฟิล์มบางที่คำนวณได้จากมวลของฟิล์มบางกับที่คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงความถี่

#### 5.4 การปรับปรุงและทดสอบโปรแกรมใช้งาน

##### 5.4.1 การปรับปรุงโปรแกรมใช้งาน

เมื่อได้กราฟเปรียบเทียบแล้ว ก็ได้นำมาหาค่าสโลบของ

กราฟ, K ซึ่งได้ประมาณ 4 และนำค่าคงที่นี้คูณเข้ากับสมการใน  
บรรทัด 2020 และใส่ไว้ในบรรทัดต่อไป กล่าวคือ 2021  $DF = K \cdot DF$   
เพื่อแปลงความหนาของฟิล์มบางที่ฉาบบนผิวผลึกควอทซ์ มาเป็นความหนาของ  
ฟิล์มบางที่ฉาบบนฐานรอง

#### 5.4.2 การทดสอบโปรแกรมใช้งานที่ได้ปรับปรุงแล้ว

การทดสอบทำตามขั้นตอนการใช้เครื่องมือในหัวข้อ 5.1  
และเมื่อความหนาของสารที่ขึ้นไปฉาบซึ่งแสดงบนจอมอนิเตอร์ถึงขนาดที่ต้องการ  
ก็ทำการปิดชัตเตอร์ และบันทึกค่าไว้ หลังจากนั้นนำแผ่นสไลด์ชุดนี้ไปชั่งหามวล  
และคำนวณความหนาออกมา และนำไปเปรียบเทียบกับความหนาของ  
แผ่นสไลด์แต่ละแผ่นที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ ตามที่บันทึกไว้แล้ว การเปรียบเทียบ  
ระหว่างความหนาจาก 2 วิธีนี้ แสดงในตาราง 5-7

$\Delta F$ (Hz)	ความหนาที่แสดง บนจอมอนิเตอร์ (Angstrom)	$\Delta m$ ( $\times 10^{-5} g$ )	ความหนาที่คำนวณ จากมวล (Angstrom)
488	268.76	25	276.09
1382	761.36	70	773.05
131	72.2	7	77.30
2083	1148.24	94	1038.09
2024	1116.48	104	1148.53
3038	1677.24	156	1722.80
3719	2055.56	190	2098.28
4794	2653.48	228	2517.94

ตาราง 5-7 เปรียบเทียบค่าความหนาของฟิล์มบางที่แสดงบนจ  
อมอนิเตอร์หลังจากปิดชัตเตอร์ กับที่คำนวณจากมวล

### 5.5 การใช้โปรแกรมใช้งาน

1. ใช้เครื่องมือตามที่กล่าวในหัวข้อ 5.1
2. หลังจากบูทงานบันทึกข้อมูลสักครั้งหนึ่งก็จะปรากฏข้อความดังรูป 5-2ก ขึ้นบนจอให้ตอบคำถามตามต้องการ ถ้าต้องการเข้าสู่โปรแกรมวัดความหนาให้คีย์หมายเลข 3 แต่ถ้าต้องการเลิกใช้โปรแกรมให้คีย์หมายเลข 4
3. หลังจากคีย์หมายเลข 3 ตัวชี้บนแผ่นดิสค์จะวิ่งอยู่ครู่หนึ่งและจะปรากฏข้อความดังรูป 5-2ข บนจอ
  - ก. ถ้าต้องการเลิกใช้โปรแกรมนี้อีกกดตัว Q บนแป้นพิมพ์
  - ข. ถ้าต้องการใช้โปรแกรมนี้ต่อ ให้กดตัวอื่น
4. หากคีย์ตัวอื่นที่ไม่ใช่ตัว Q ตัวชี้บนจานดิสค์จะวิ่งอยู่ครู่หนึ่งและจะปรากฏข้อความดังรูป 5-2ค บนจอ
  - ก. ใส่ค่าความหนาแน่นของโลหะที่จะฉาบ  
ค่าความหนาแน่นของสารต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก
  - ข. ใส่ค่าอัตราส่วนความต้านทานเชิงซ้อนเชิงสวนศาสตร์ของโลหะนั้น ค่าอัตราส่วนความต้านทานเชิงซ้อนเชิงสวนศาสตร์ของสารต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก
  - ค. ใส่ค่าความหนาที่ต้องการ  
ทุกครั้งคีย์แต่ละค่าเสร็จให้กด RETURN
5. หลังจากใส่ข้อมูลจนครบแล้ว เครื่องก็จะเริ่มนับความถี่ดังที่แสดงในรูปที่ 5-2ง และทุกครั้งที่แสดงความถี่จำนวน 5 ครั้งแล้ว จะปรากฏข้อความบนจอดังรูป 5-2จ หากยังไม่ทำการระเหยโลหะให้กด RETURN 2 ครั้ง และเครื่องจะทำตามขั้นตอนที่ 5 ซ้ำ
6. หลังจากนั้นรอให้เครื่องระเหยสารลดความดันลง จนกระทั่งเห็นว่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์รับรู้คงที่ จึงพิมพ์คำว่า Y ลงไป และระบบจะทำการบันทึกค่าความถี่นี้ไว้ เพื่อใช้เป็นความถี่เริ่มต้น หลังจากนั้นสักครู่หนึ่งจะมีคำว่า READY ปรากฏขึ้นจึงกด RETURN แล้วลงมือฉาบโลหะบนฐานรองได้
7. หลังจากนั้นขณะที่ฉาบโลหะ จอมอนิเตอร์จะแสดงความถี่ของมิกเซอร์, การเปลี่ยนแปลงความถี่จากความถี่เริ่มต้น และความหนาที่คำนวณได้



## 5.6 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดสอบขั้นต้นโดยให้เครื่องมือแสดงความถี่เมื่อหายาจรด ผลึกควอทซ์รับรู้ หรือเมื่อลดความดันในฝาครอบ จะเห็นว่าเครื่องมือชุดนี้มีความไวพอสมควร

2. การทดสอบการวัดความถี่ โดยใช้ชุดเครื่องมือที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับความถี่ที่วัดโดยเครื่องนับความถี่ HP5216A ในหัวข้อ 5.2.2 ได้ค่าของความถี่ที่สมนัยกัน โดยมีระยะห่างคงที่ อาจกล่าวได้ว่าเครื่องมือชุดนี้สามารถนับความถี่ได้ดีพอสมควรโดยมีความสามารถในการจำแนก  $\pm 5$  Hz

3. จากการทดลองโดยวิธีซึ่งนำหน้าในหัวข้อ 5.3.1 และนำไปพลอตกราฟระหว่างการเปลี่ยนแปลงความถี่ และน้ำหนักของแผ่นสไลด์ที่เพิ่มขึ้น จำนวน 2 ชุด จะได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่แปรโดยตรงตามน้ำหนักของสารที่ขึ้นไปฉาบบนแผ่นสไลด์ นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงความถี่แปรโดยตรงตามความหนาของสารที่ขึ้นไปฉาบบนแผ่นสไลด์

4. จากการหากราฟเปรียบเทียบ ซึ่งพล็อตระหว่างความหนาของฟิล์มที่คำนวณโดยใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่ และความหนาของฟิล์มที่คำนวณโดยใช้มวลของสารที่ขึ้นไปฉาบบนแผ่นสไลด์ จะได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ แปรโดยตรงตามความหนาด้วย

5. เมื่อได้ค่าสโลปของกราฟเปรียบเทียบ ก็ได้นำค่าคงที่นี้ไปใช้ในโปรแกรม เพื่อคำนวณความหนาของสารที่ขึ้นไปฉาบบนแผ่นสไลด์ และให้แสดงค่าความหนาขณะทำการระเหยสาร บนจอมอนิเตอร์ ตามที่เขียนในหัวข้อ 5.4.1

6. หลังจากที่ได้ใช้โปรแกรมที่ได้ปรับปรุงแล้วนี้ ก็ได้ทำการทดสอบในหัวข้อ 5.4.2 จะได้ความหนาที่แสดงบนจอมอนิเตอร์เมื่อหยุดฉาบสารค่อนข้างใกล้เคียงกับความหนาที่วัดได้

### 5.7 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

1. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์รับรู้จาใช้ประมาณมวลของโลหะที่ฉาบบนฐานรองได้โดยตรง และอาจประมาณค่าความหนาของแผ่นฟิล์มบางในขณะระเหยอย่างคร่าว ๆ ได้โดยอาศัยค่า  $K$
2. การวัดความหนาของฟิล์มบางเป็นเรื่องค่อนข้างละเอียดอ่อน ค่า  $K$  ที่หาได้ในหัวข้อ 5.4 ขึ้นกับระบบของการทดลอง ซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับเทียบทุกครั้ง เมื่อระบบของการทดลองเปลี่ยนไป
3. ความหนาจริงอาจทดสอบได้โดยวิธีการทางทัศนศาสตร์ (optical method) เช่นวิธี interferometry แต่ก็เป็งานานใหญ่อยู่เหมือนกัน
4. การทดลองนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเพียง 8 บิต ซึ่งนำทดลองใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดสูงขึ้น เช่น 16 บิต หรือ 32 บิต น่าจะให้ความสามารถในการจำแนกสูงขึ้นหรือไม่
5. เนื่องจากไมโครคอมพิวเตอร์ Apple II สามารถมีอินเทอร์รัพท์ในเวลาเดียวกันได้เพียง 1 อินเทอร์รัพท์เท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งต่อผู้ใช้งาน เช่น ผู้ใช้งานไม่สามารถสั่งงานให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ ทางแป้นพิมพ์ในลักษณะขัดจังหวะได้ขณะที่เครื่องมือกำลังนับความถี่อยู่ นอกจากตอบคำถามเมื่อโปรแกรมถามเท่านั้น
6. วงจรอินเทอร์เฟสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย