

## รายการอ้างอิง

1. Chayan Jutaphan. Reduce Lot to Lot Gram Variation. Bangkok : Seagate Technology, 2000. (Mimeographed)
2. Anawat Jorapunyanont. Reduction of Contamination. Ayutthaya: K.R. Precision, 2000. (Mimeographed)
3. Anawat Jorapunyanont. Cpk Improvement of Arm Twist. Ayutthaya: K.R. Precision, 2000. (Mimeographed)
4. นวลพรรณ ใจงาม. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
5. ชัญชัย บวรโชคชัย. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกมา กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
6. วีรพจน์ เหล่าโพธิ์วิหาร. การปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ระบบ SIX SIGMA ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ กรณีศึกษา: บริษัท ซีเคเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด. สารนิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
7. อธิริยา เก็งวินิจ. การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงดัชนีคุณภาพการผลิตของมัมที่กระทำระหว่างตัวงานกับฮาร์ดดิสก์ในอุตสาหกรรมแขนจับยึดหัวอ่านเขียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
8. พิเชษฐ ศรีวรยาตร. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการปรับค่าความโค้งของกระจกถยนต์เพื่อลดต้นทุนการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
9. ทรงพล พิเชษฐวัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
10. สุรพล สุบรรณเจตพร. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตีบ-ตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
11. ธนียา ลิมชูเชื้อ. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตครีบบระบายความร้อนโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

12. ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตตัวหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
13. Breyfogle III, F. W. Implementing SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods. New York: John Wiley&Sons, 1999.
14. Pande, P. S., Neuman, R. P. and Cavanagh, R. R. The SIX SIGMA Way How GE Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance. (n.p.): McGraw-Hill Book, 2000.
15. Kiemele, M. J., Schmidt, S. R. and Berdine, R. J. Basic Statistics Tools for Continuous Improvement. 4<sup>th</sup> ed. USA: Air Academy Press & Associates, LLC, 2000.
16. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
17. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
18. ศันสนีย์ สุภาภา. ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์สำหรับวิศวกร. กรุงเทพมหานคร: พิสิษฐ์เซ็นเตอร์, 2539.
19. Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. 5<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley&Sons, 2001.
20. ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
21. อนันต์ ทองมอญ. ซูปเปอร์ด้วยไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาพพิมพ์, (ม.ป.ป.).
22. Automotive Industry Action Group (AIAG). Measurement System Analysis (MSA)., 3<sup>rd</sup> edition, Michigan: (n.p.), 2002.
23. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
24. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
25. Bosshart, W. C. Printed Circuit Boards Design and Technology. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1998.
26. Shina, S. G. Six Sigma for Electronics Design and Manufacturing. (n.p.): McGraw-Hill, 2002.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### การคำนวณความสามารถของกระบวนการผลิตในระดับซิกซ์ ซิกมา

จากค่ามาตรฐานของข้อมูลที่กระจายแบบปกติจะได้ว่า

$$Z_{USL} = \frac{USL - \mu}{\sigma}$$

$$Z_{LSL} = \frac{\mu - LSL}{\sigma}$$

และจากค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ

$$Cpk = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right)$$

ซึ่งทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของค่า Z และค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ  
ได้ว่า

$$Cpk = \frac{Z_{\min}}{3}$$

หากกระบวนการไม่มีการเลื่อนของค่ากลางแล้ว ที่ระดับคุณภาพซิกซ์ ซิกมาจะได้ค่า  
ของดัชนีความสามารถของกระบวนการเท่ากับ

$$Cpk = \min\left(\frac{6-0}{3}, \frac{0+6}{3}\right) = 2$$

แต่จากสมมติฐานของโมโตโรล่าที่ให้ค่ากลางของข้อมูลของกระบวนการสามารถที่จะ  
เลื่อนไปได้เท่ากับ  $\pm 1.5\sigma$  ทำให้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการมีค่า

$$\text{Shifted } -1.5\sigma \text{ Cpk} = \min\left(\frac{6+1.5}{3}, \frac{-1.5+6}{3}\right) = 1.5$$

$$\text{Shifted } +1.5\sigma \text{ Cpk} = \min\left(\frac{6-1.5}{3}, \frac{1.5+6}{3}\right) = 1.5$$



และค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ  $C_p$  ที่ระดับคุณภาพที่ซิกซ์ ซิกมาสามารถคำนวณได้ดังนี้คือ

จากความสัมพันธ์

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

จากกราฟการกระจายแบบปกติที่มีการกระจายของข้อมูลที่มีค่าข้อจำกัดด้านล่างเท่ากับ  $-6\sigma$  และค่าข้อจำกัดด้านบนเท่ากับ  $+6\sigma$  เพราะฉะนั้นจะทำให้ค่า  $C_p$  มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{6\sigma - (-6\sigma)}{6\sigma} \\ &= 2 \end{aligned}$$

ดังนั้นที่ระดับคุณภาพซิกซ์ ซิกมาจะเทียบเท่ากับดัชนีความสามารถของกระบวนการได้ คือ  $C_p = 2.0$  และ  $C_{pk} = 1.5$

## ภาคผนวก ข

### ผลการศึกษาระบบการวัด

- ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความหนาทองแดงในรูปของเครื่อง  
Copper Scope
- ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความหนาทองแดงในรูปของเครื่อง Micro  
Scope (Cross section)
- ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูประหว่างเครื่องวัด Copper Scope  
กับ Micro Scope

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความหนาทองแดงในรูของเครื่อง

Copper Scope

Run Order	Replicate	Part	Appraiser	Reading (mils)	Run Order	Replicate	Part	Appraiser	Reading (mils)
46	1	1	1	1.049	23	2	1	1	1.050
47	1	2	1	1.320	12	2	2	1	1.310
16	1	3	1	1.287	1	2	3	1	1.287
30	1	4	1	1.092	18	2	4	1	1.081
11	1	5	1	1.274	55	2	5	1	1.273
7	1	6	1	1.184	4	2	6	1	1.190
13	1	7	1	1.348	50	2	7	1	1.347
43	1	8	1	0.973	39	2	8	1	0.977
14	1	9	1	1.434	5	2	9	1	1.424
25	1	10	1	1.128	40	2	10	1	1.126
44	1	1	2	1.064	6	2	1	2	1.050
45	1	2	2	1.323	59	2	2	2	1.310
41	1	3	2	1.285	17	2	3	2	1.291
57	1	4	2	1.091	10	2	4	2	1.093
21	1	5	2	1.262	15	2	5	2	1.269
19	1	6	2	1.187	35	2	6	2	1.170
60	1	7	2	1.342	26	2	7	2	1.343
49	1	8	2	0.987	51	2	8	2	0.985
36	1	9	2	1.429	52	2	9	2	1.432
34	1	10	2	1.128	2	2	10	2	1.122
8	1	1	3	1.053	20	2	1	3	1.059
9	1	2	3	1.309	24	2	2	3	1.305
42	1	3	3	1.295	32	2	3	3	1.294
31	1	4	3	1.080	28	2	4	3	1.090
33	1	5	3	1.260	37	2	5	3	1.262
3	1	6	3	1.173	48	2	6	3	1.183
29	1	7	3	1.355	56	2	7	3	1.343
58	1	8	3	0.986	54	2	8	3	0.981
27	1	9	3	1.426	53	2	9	3	1.427
22	1	10	3	1.118	38	2	10	3	1.118

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าความหนาทองแดงในรูของเครื่อง Micro

Scope (Cross section)

Run Order	Replicate	Part	Appraiser	Reading (mils)	Run Order	Replicate	Part	Appraiser	Reading (mils)
9	1	1	1	1.050	56	2	1	1	1.043
44	1	2	1	1.307	43	2	2	1	1.308
15	1	3	1	1.306	21	2	3	1	1.291
33	1	4	1	1.088	49	2	4	1	1.082
53	1	5	1	1.265	3	2	5	1	1.256
12	1	6	1	1.172	34	2	6	1	1.180
36	1	7	1	1.341	22	2	7	1	1.333
7	1	8	1	0.989	8	2	8	1	0.997
14	1	9	1	1.412	45	2	9	1	1.421
11	1	10	1	1.117	23	2	10	1	1.136
59	1	1	2	1.059	55	2	1	2	1.062
20	1	2	2	1.318	60	2	2	2	1.321
52	1	3	2	1.284	6	2	3	2	1.282
58	1	4	2	1.082	50	2	4	2	1.082
16	1	5	2	1.244	28	2	5	2	1.248
2	1	6	2	1.192	10	2	6	2	1.170
17	1	7	2	1.348	46	2	7	2	1.353
29	1	8	2	0.992	27	2	8	2	0.975
47	1	9	2	1.430	5	2	9	2	1.428
18	1	10	2	1.129	37	2	10	2	1.122
57	1	1	3	1.048	1	2	1	3	1.057
39	1	2	3	1.319	4	2	2	3	1.325
40	1	3	3	1.267	31	2	3	3	1.288
26	1	4	3	1.100	32	2	4	3	1.093
41	1	5	3	1.260	13	2	5	3	1.269
25	1	6	3	1.161	19	2	6	3	1.172
54	1	7	3	1.342	42	2	7	3	1.335
24	1	8	3	0.977	51	2	8	3	0.980
48	1	9	3	1.424	35	2	9	3	1.435
30	1	10	3	1.116	38	2	10	3	1.104

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในระหว่างเครื่องวัด Copper Scope กับ Micro Scope

Part	Cu-Scope (mils)	Micro Scope (mils)	Different (mils)
1	1.049	1.050	-0.001
2	1.320	1.307	0.013
3	1.287	1.306	-0.019
4	1.092	1.088	0.004
5	1.274	1.265	0.009
6	1.184	1.172	0.012
7	1.348	1.341	0.007
8	0.973	0.989	-0.016
9	1.434	1.412	0.022
10	1.128	1.117	0.011
11	1.013	1.026	-0.013
12	1.264	1.256	0.008
13	1.301	1.319	-0.018
14	1.372	1.356	0.016
15	1.138	1.133	0.005

$$\text{Different} = \text{Thickness}_{\text{Cu-Scope}} - \text{Thickness}_{\text{Micro-Scope}}$$

## ภาคผนวก ค

## ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ

Part	After Plating	After Etching	After Final
1	1.214	1.250	1.232
2	1.190	1.165	1.167
3	1.183	1.184	1.196
4	1.235	1.214	1.172
5	1.413	1.392	1.397
6	1.310	1.296	1.327
7	1.540	1.520	1.514
8	1.481	1.532	1.511
9	1.157	1.167	1.187
10	1.440	1.358	1.361
11	1.476	1.510	1.459
12	1.118	1.118	1.139
13	1.321	1.310	1.359
14	1.209	1.221	1.205
15	1.351	1.451	1.395
16	1.389	1.398	1.390
17	1.288	1.310	1.320
18	1.278	1.267	1.228
19	1.139	1.136	1.157
20	1.367	1.311	1.339
21	1.367	1.346	1.331
22	1.461	1.459	1.482
23	1.464	1.500	1.508
24	1.410	1.374	1.394
25	1.309	1.277	1.347
26	1.377	1.391	1.400
27	1.236	1.231	1.201
28	1.195	1.234	1.218
29	1.319	1.340	1.365
30	1.099	1.112	1.062

## ภาคผนวก ง

### ผลการทดสอบสมมติฐาน

- ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating
- ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบสมมติฐานความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating
- ตารางที่ ง.3 ผลการทดสอบสมมติฐานอุณหภูมิสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating
- ตารางที่ ง.4 ผลการทดสอบสมมติฐานความเข้มข้นคลอไรด์ อีออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating
- ตารางที่ ง.5 ผลการทดสอบสมมติฐานความเข้มข้นกรดซัลฟริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating
- ตารางที่ ง.6 ผลการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ในการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในถัง Electroless Copper 85 ในกระบวนการ Electroless Copper Plating
- ตารางที่ ง.7 ผลการทดสอบสมมติฐานอุณหภูมิสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในถัง Electroless Copper 85 ในกระบวนการ Electroless Copper Plating

ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid  
Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating

Dip 53 min	Dip 63 min
1.132	1.390
0.938	1.390
1.191	1.506
1.024	1.102
1.084	1.289
1.509	1.565
1.254	1.444
1.172	1.428
1.303	1.378
1.310	1.396
1.072	1.280
1.379	1.342
1.122	1.374
1.025	1.409
1.198	1.389
1.225	1.561
1.250	1.655
1.258	1.249
1.172	1.554
1.183	1.546
1.134	1.231
1.204	1.531
1.363	1.343
1.261	1.401



ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบสมมติฐานความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วย  
กระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating

Current 23 ASF	Current 33 ASF
1.115	1.679
1.074	1.264
1.173	1.365
1.261	1.571
0.924	1.656
1.194	1.658
1.069	1.571
1.193	1.542
0.997	1.564
1.274	1.669
1.036	1.461
1.067	1.351
1.045	1.469
1.166	1.735
0.967	1.608
1.042	1.661
1.005	1.562
0.876	1.387
0.900	1.533
0.855	1.496
1.035	1.518
1.145	1.485
1.087	1.699
1.323	1.653

ตารางที่ ง.3 ผลการทดสอบสมมติฐานอุณหภูมิสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating

Temp 22 C	Temp 26 C
1.419	1.439
1.293	1.283
1.278	1.409
1.237	1.412
1.103	1.192
1.268	1.304
1.369	1.488
1.052	1.151
1.117	1.200
1.217	1.247
1.238	1.265
1.213	1.365
1.007	1.206
1.446	1.493
1.311	1.304
1.103	1.288
1.424	1.251
1.293	1.300
1.218	1.472
1.075	1.194
1.350	1.368
1.391	1.616
1.348	1.148
1.261	1.385

ตารางที่ ง.4 ผลการทดสอบสมมติฐานความเข้มข้นคลอไรด์ อีออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบ  
ทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating

Cl-ion 40 ppm	Cl-ion 60 ppm
1.278	1.269
1.071	1.055
1.257	1.355
1.228	1.504
1.271	1.334
1.146	1.518
1.515	1.030
1.211	1.406
1.100	1.301
1.047	1.388
1.120	1.274
1.268	1.181
1.066	1.245
1.209	1.314
1.200	1.307
1.181	1.434
1.465	1.105
1.076	1.272
1.438	1.289
1.143	1.331
1.289	1.336
1.251	1.408
1.236	1.286
1.245	1.300

ตารางที่ ง.5 ผลการทดสอบสมมติฐานความเข้มข้นกรดซัลฟูริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบ  
ทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในถัง Acid Copper Plating ในกระบวนการ Pattern Plating

Sulfuric 210 g/l	Sulfuric 250 g/l
1.183	1.412
1.462	1.318
1.382	1.394
1.248	1.336
1.095	1.636
1.121	1.367
1.150	1.325
1.249	1.328
1.210	1.414
1.209	1.267
1.373	1.352
1.082	1.458
1.243	1.417
1.208	1.213
1.034	1.438
1.415	0.988
0.990	1.300
1.230	1.427
1.153	1.493
1.163	1.227
1.283	1.289
1.249	1.236
1.045	1.395
1.011	1.258

ตารางที่ ง.6 ผลการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ในการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในถัง

Electroless Copper 85 ในกระบวนการ Electroless Copper Plating

DipTime-ElessCu85_39 min	DipTime-ElessCu85_45 min
1.301	1.248
1.177	1.112
1.278	1.407
1.175	1.324
1.240	1.511
1.279	1.224
1.167	1.281
1.277	1.452
1.203	1.423
1.470	1.476
1.064	1.102
1.126	1.376
1.393	1.337
1.295	1.154
1.325	1.357
1.306	1.157
1.316	1.269
1.405	1.471
1.489	1.263
1.132	1.206
1.322	1.435
1.211	1.297
1.470	1.172
1.550	1.219

ตารางที่ ง.7 ผลการทดสอบสมมติฐานอุณหภูมิสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในถัง Electroless Copper 85 ในกระบวนการ Electroless Copper Plating

Temp-ElessCu85_44 C	Temp-ElessCu85_46 C
1.384	1.299
1.412	1.285
1.322	1.099
1.269	1.213
1.390	1.426
1.295	1.296
1.341	1.438
1.333	1.221
1.306	1.374
1.341	1.066
1.067	1.368
1.470	1.151
1.300	1.281
1.084	1.508
1.302	1.148
1.166	1.269
1.160	1.070
1.186	1.154
1.258	1.412
1.354	1.277
1.160	1.274
1.093	1.426
1.587	1.292
1.277	1.408

## ภาคผนวก จ

### ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ

- ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนา  
ทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองแบบส่วนประสมกลางของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความ  
หนาทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ จ.3 ผลส่วนตกค้างการทดลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนา  
ทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอยไหม้บนผิว  
ทองแดงในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ จ.5 ผลการทดลองแบบส่วนประสมกลางของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอยไหม้บนผิว  
ทองแดงในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนา  
ทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Average	SD
1	28	1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0.908	0.122
2	25	1	2	1	1	-1	-1	-1	1.421	0.126
3	37	1	2	1	-1	1	-1	-1	1.010	0.123
4	24	1	2	-1	1	1	-1	-1	1.242	0.121
5	35	1	2	1	-1	-1	1	-1	1.118	0.123
6	38	1	2	-1	1	-1	1	-1	1.216	0.119
7	36	1	2	-1	-1	1	1	-1	0.949	0.119
8	30	1	2	1	1	1	1	-1	1.671	0.124
9	20	1	2	1	-1	-1	-1	1	1.115	0.126
10	29	1	2	-1	1	-1	-1	1	1.302	0.118
11	21	1	2	-1	-1	1	-1	1	0.952	0.125
12	31	1	2	1	1	1	-1	1	1.779	0.124
13	27	1	2	-1	-1	-1	1	1	1.052	0.126
14	26	1	2	1	1	-1	1	1	1.643	0.127
15	22	1	2	1	-1	1	1	1	1.216	0.122
16	34	1	2	-1	1	1	1	1	1.537	0.121
17	23	0	2	0	0	0	0	0	1.296	0.125
18	32	0	2	0	0	0	0	0	1.337	0.119
19	33	0	2	0	0	0	0	0	1.337	0.121
20	15	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1.024	0.122
21	14	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1.164	0.126
22	11	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1.006	0.123
23	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1.704	0.121
24	8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.801	0.123
25	17	1	1	1	1	-1	1	-1	1.580	0.119
26	13	1	1	1	-1	1	1	-1	1.162	0.119
27	10	1	1	-1	1	1	1	-1	1.255	0.128
28	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.968	0.122
29	6	1	1	1	1	-1	-1	1	1.857	0.118
30	18	1	1	1	-1	1	-1	1	1.188	0.119
31	16	1	1	-1	1	1	-1	1	1.642	0.124
32	5	1	1	1	-1	-1	1	1	1.130	0.120
33	19	1	1	-1	1	-1	1	1	1.403	0.123
34	3	1	1	-1	-1	1	1	1	0.962	0.120
35	9	1	1	1	1	1	1	1	1.769	0.122
36	12	0	1	0	0	0	0	0	1.302	0.120
37	2	0	1	0	0	0	0	0	1.359	0.121
38	4	0	1	0	0	0	0	0	1.414	0.125



ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองแบบส่วนประสมกลางของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนา  
ทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Average	SD
39	41	1	3	-2.378	0	0	0	0	1.031	0.119
40	48	1	3	2.378	0	0	0	0	1.638	0.121
41	43	1	3	0	-2.378	0	0	0	0.785	0.122
42	45	1	3	0	2.378	0	0	0	1.933	0.123
43	39	1	3	0	0	-2.378	0	0	1.105	0.121
44	44	1	3	0	0	2.378	0	0	1.237	0.119
45	42	1	3	0	0	0	-2.378	0	1.144	0.121
46	47	1	3	0	0	0	2.378	0	1.213	0.124
47	46	1	3	0	0	0	0	-2.378	1.024	0.121
48	40	1	3	0	0	0	0	2.378	1.276	0.124

ตารางที่ จ.3 ผลส่วนตกค้างการทดลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดง  
ในรูปของการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	FITS1	RESI1
1	28	1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0.862	0.046
2	25	1	2	1	1	-1	-1	-1	1.525	-0.104
3	37	1	2	1	-1	1	-1	-1	1.110	-0.100
4	24	1	2	-1	1	1	-1	-1	1.268	-0.026
5	35	1	2	1	-1	-1	1	-1	1.049	0.069
6	38	1	2	-1	1	-1	1	-1	1.208	0.008
7	36	1	2	-1	-1	1	1	-1	0.954	-0.005
8	30	1	2	1	1	1	1	-1	1.618	0.053
9	20	1	2	1	-1	-1	-1	1	1.099	0.016
10	29	1	2	-1	1	-1	-1	1	1.392	-0.090
11	21	1	2	-1	-1	1	-1	1	1.004	-0.052
12	31	1	2	1	1	1	-1	1	1.802	-0.023
13	27	1	2	-1	-1	-1	1	1	0.944	0.108
14	26	1	2	1	1	-1	1	1	1.742	-0.099
15	22	1	2	1	-1	1	1	1	1.192	0.024
16	34	1	2	-1	1	1	1	1	1.484	0.053
17	23	0	2	0	0	0	0	0	1.354	-0.058
18	32	0	2	0	0	0	0	0	1.354	-0.017
19	33	0	2	0	0	0	0	0	1.354	-0.017
20	15	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1.033	-0.009
21	14	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1.192	-0.028
22	11	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.938	0.068
23	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1.602	0.102
24	8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.878	-0.077
25	17	1	1	1	1	-1	1	-1	1.541	0.039
26	13	1	1	1	-1	1	1	-1	1.126	0.036
27	10	1	1	-1	1	1	1	-1	1.284	-0.029
28	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.928	0.040
29	6	1	1	1	1	-1	-1	1	1.726	0.131
30	18	1	1	1	-1	1	-1	1	1.176	0.012
31	16	1	1	-1	1	1	-1	1	1.468	0.174
32	5	1	1	1	-1	-1	1	1	1.115	0.015
33	19	1	1	-1	1	-1	1	1	1.408	-0.005
34	3	1	1	-1	-1	1	1	1	1.020	-0.058
35	9	1	1	1	1	1	1	1	1.818	-0.049
36	12	0	1	0	0	0	0	0	1.354	-0.052
37	2	0	1	0	0	0	0	0	1.354	0.005
38	4	0	1	0	0	0	0	0	1.354	0.060

ตารางที่ จ.3 (ต่อ) ผลส่วนตกค้างการทดลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนา  
ทองแดงในรูปในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	FITS1	RESI1
39	41	1	3	-2.378	0	0	0	0	1.054	-0.023
40	48	1	3	2.378	0	0	0	0	1.655	-0.017
41	43	1	3	0	-2.378	0	0	0	0.786	-0.001
42	45	1	3	0	2.378	0	0	0	1.923	0.010
43	39	1	3	0	0	-2.378	0	0	1.101	0.004
44	44	1	3	0	0	2.378	0	0	1.283	-0.046
45	42	1	3	0	0	0	-2.378	0	1.181	-0.037
46	47	1	3	0	0	0	2.378	0	1.219	-0.006
47	46	1	3	0	0	0	0	-2.378	1.013	0.011
48	40	1	3	0	0	0	0	2.378	1.329	-0.053

ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอยไหม้บนผิวทองแดงในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Burn (Points)
1	28	1	2	-1	-1	-1	-1	-1	0
2	25	1	2	1	1	-1	-1	-1	32
3	37	1	2	1	-1	1	-1	-1	0
4	24	1	2	-1	1	1	-1	-1	31
5	35	1	2	1	-1	-1	1	-1	0
6	38	1	2	-1	1	-1	1	-1	27
7	36	1	2	-1	-1	1	1	-1	0
8	30	1	2	1	1	1	1	-1	72
9	20	1	2	1	-1	-1	-1	1	0
10	29	1	2	-1	1	-1	-1	1	0
11	21	1	2	-1	-1	1	-1	1	0
12	31	1	2	1	1	1	-1	1	34
13	27	1	2	-1	-1	-1	1	1	0
14	26	1	2	1	1	-1	1	1	32
15	22	1	2	1	-1	1	1	1	0
16	34	1	2	-1	1	1	1	1	31
17	23	0	2	0	0	0	0	0	0
18	32	0	2	0	0	0	0	0	0
19	33	0	2	0	0	0	0	0	0
20	15	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0
21	14	1	1	-1	1	-1	-1	-1	19
22	11	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0
23	1	1	1	1	1	1	-1	-1	37
24	8	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0
25	17	1	1	1	1	-1	1	-1	43
26	13	1	1	1	-1	1	1	-1	0
27	10	1	1	-1	1	1	1	-1	39
28	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0
29	6	1	1	1	1	-1	-1	1	0
30	18	1	1	1	-1	1	-1	1	0
31	16	1	1	-1	1	1	-1	1	14
32	5	1	1	1	-1	-1	1	1	0
33	19	1	1	-1	1	-1	1	1	13
34	3	1	1	-1	-1	1	1	1	0
35	9	1	1	1	1	1	1	1	38
36	12	0	1	0	0	0	0	0	0
37	2	0	1	0	0	0	0	0	0
38	4	0	1	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ จ.5 ผลการทดลองแบบส่วนประสมกลางของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอยไหม้บน  
ผิวทองแดงในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Burn (Points)
39	41	1	3	-2.378	0	0	0	0	0
40	48	1	3	2.378	0	0	0	0	0
41	43	1	3	0	-2.378	0	0	0	0
42	45	1	3	0	2.378	0	0	0	113
43	39	1	3	0	0	-2.378	0	0	0
44	44	1	3	0	0	2.378	0	0	35
45	42	1	3	0	0	0	-2.378	0	0
46	47	1	3	0	0	0	2.378	0	36
47	46	1	3	0	0	0	0	-2.378	38
48	40	1	3	0	0	0	0	2.378	0

## ภาคผนวก จ

### ผลการทดสอบยืนยันผล

ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าความหนาทองแดงในรูหลังชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าความหนาทองแดงในรูหลังชุบทองแดงด้วย  
กระแสไฟฟ้า

Part	Thickness	Part	Thickness	Part	Thickness	Part	Thickness	Part	Thickness	Part	Thickness
1	1.677	25	1.795	49	1.561	73	1.614	97	1.562	121	1.412
2	1.516	26	1.641	50	1.457	74	1.282	98	1.537	122	1.350
3	1.431	27	1.555	51	1.519	75	1.477	99	1.439	123	1.210
4	1.562	28	1.684	52	1.421	76	1.575	100	1.482	124	1.572
5	1.464	29	1.423	53	1.277	77	1.547	101	1.438	125	1.484
6	1.580	30	1.434	54	1.314	78	1.537	102	1.658	126	1.359
7	1.438	31	1.552	55	1.688	79	1.383	103	1.640	127	1.473
8	1.469	32	1.567	56	1.454	80	1.615	104	1.525	128	1.479
9	1.375	33	1.627	57	1.659	81	1.394	105	1.307	129	1.565
10	1.463	34	1.539	58	1.760	82	1.519	106	1.450	130	1.582
11	1.603	35	1.705	59	1.576	83	1.397	107	1.497	131	1.595
12	1.626	36	1.561	60	1.614	84	1.475	108	1.369	132	1.361
13	1.455	37	1.557	61	1.478	85	1.625	109	1.530	133	1.423
14	1.458	38	1.482	62	1.453	86	1.442	110	1.379	134	1.442
15	1.357	39	1.353	63	1.745	87	1.684	111	1.503	135	1.512
16	1.426	40	1.457	64	1.588	88	1.451	112	1.500	136	1.413
17	1.491	41	1.585	65	1.580	89	1.591	113	1.509	137	1.313
18	1.546	42	1.596	66	1.724	90	1.547	114	1.626	138	1.311
19	1.494	43	1.592	67	1.397	91	1.313	115	1.611	139	1.641
20	1.445	44	1.541	68	1.629	92	1.453	116	1.586	140	1.462
21	1.643	45	1.772	69	1.347	93	1.439	117	1.539	141	1.532
22	1.786	46	1.479	70	1.560	94	1.477	118	1.811	142	1.315
23	1.361	47	1.648	71	1.441	95	1.594	119	1.493	143	1.346
24	1.589	48	1.537	72	1.815	96	1.711	120	1.680	144	1.393

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตารางที่ ข.1 ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต



ตารางที่ ข.1 ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)	Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)
1	1	1.535	2	1	1.262
1	2	1.6	2	2	1.466
1	3	1.39	2	3	1.635
1	4	1.409	2	4	1.678
1	5	1.755	2	5	1.590
1	6	1.448	2	6	1.764
1	7	1.518	2	7	1.327
1	8	1.551	2	8	1.485
1	9	1.589	2	9	1.309
1	10	1.557	2	10	1.515
1	11	1.73	2	11	1.595
1	12	1.584	2	12	1.497
1	13	1.553	2	13	1.405
1	14	1.587	2	14	1.460
1	15	1.455	2	15	1.467
1	16	1.443	2	16	1.538
1	17	1.47	2	17	1.407
1	18	1.35	2	18	1.497
1	19	1.564	2	19	1.563
1	20	1.626	2	20	1.627
1	21	1.572	2	21	1.611
1	22	1.39	2	22	1.665
1	23	1.549	2	23	1.485
1	24	1.754	2	24	1.454
1	25	1.654	2	25	1.394
1	26	1.605	2	26	1.361
1	27	1.583	2	27	1.617
1	28	1.314	2	28	1.686
1	29	1.759	2	29	1.465
1	30	1.654	2	30	1.469

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)	Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)
3	1	1.377	4	1	1.341
3	2	1.455	4	2	1.747
3	3	1.504	4	3	1.469
3	4	1.533	4	4	1.546
3	5	1.471	4	5	1.447
3	6	1.452	4	6	1.485
3	7	1.641	4	7	1.540
3	8	1.618	4	8	1.612
3	9	1.810	4	9	1.516
3	10	1.588	4	10	1.435
3	11	1.827	4	11	1.388
3	12	1.626	4	12	1.711
3	13	1.454	4	13	1.728
3	14	1.529	4	14	1.659
3	15	1.467	4	15	1.435
3	16	1.537	4	16	1.299
3	17	1.416	4	17	1.476
3	18	1.757	4	18	1.557
3	19	1.498	4	19	1.540
3	20	1.522	4	20	1.431
3	21	1.569	4	21	1.390
3	22	1.676	4	22	1.355
3	23	1.616	4	23	1.629
3	24	1.692	4	24	1.658
3	25	1.426	4	25	1.588
3	26	1.510	4	26	1.475
3	27	1.715	4	27	1.571
3	28	1.820	4	28	1.286
3	29	1.589	4	29	1.578
3	30	1.478	4	30	1.528

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)	Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)
5	1	1.496	6	1	1.331
5	2	1.272	6	2	1.433
5	3	1.345	6	3	1.584
5	4	1.590	6	4	1.303
5	5	1.551	6	5	1.590
5	6	1.585	6	6	1.413
5	7	1.482	6	7	1.370
5	8	1.424	6	8	1.511
5	9	1.391	6	9	1.462
5	10	1.481	6	10	1.447
5	11	1.705	6	11	1.179
5	12	1.337	6	12	1.650
5	13	1.726	6	13	1.454
5	14	1.527	6	14	1.522
5	15	1.506	6	15	1.614
5	16	1.532	6	16	1.583
5	17	1.361	6	17	1.371
5	18	1.330	6	18	1.387
5	19	1.451	6	19	1.570
5	20	1.512	6	20	1.625
5	21	1.486	6	21	1.580
5	22	1.610	6	22	1.354
5	23	1.287	6	23	1.516
5	24	1.260	6	24	1.625
5	25	1.310	6	25	1.622
5	26	1.480	6	26	1.559
5	27	1.571	6	27	1.584
5	28	1.473	6	28	1.262
5	29	1.437	6	29	1.485
5	30	1.415	6	30	1.634

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)	Lot#	Part	Cu-in-Hole thickness (mils)
7	1	1.547	8	1	1.366
7	2	1.440	8	2	1.453
7	3	1.521	8	3	1.537
7	4	1.716	8	4	1.266
7	5	1.490	8	5	1.643
7	6	1.587	8	6	1.536
7	7	1.753	8	7	1.622
7	8	1.426	8	8	1.577
7	9	1.789	8	9	1.665
7	10	1.738	8	10	1.577
7	11	1.437	8	11	1.375
7	12	1.560	8	12	1.520
7	13	1.709	8	13	1.561
7	14	1.582	8	14	1.511
7	15	1.470	8	15	1.791
7	16	1.388	8	16	1.684
7	17	1.488	8	17	1.550
7	18	1.757	8	18	1.686
7	19	1.524	8	19	1.431
7	20	1.535	8	20	1.599
7	21	1.568	8	21	1.583
7	22	1.426	8	22	1.515
7	23	1.548	8	23	1.602
7	24	1.393	8	24	1.630
7	25	1.364	8	25	1.290
7	26	1.562	8	26	1.565
7	27	1.611	8	27	1.646
7	28	1.553	8	28	1.514
7	29	1.475	8	29	1.436
7	30	1.669	8	30	1.462

## ภาคผนวก ข

### ข้อมูลแนวโน้มของปัจจัยนำเข้า

- ตารางที่ ข.1 ค่าเวลาในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ ข.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ ข.3 ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า
- ตารางที่ ข.4 ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออน
- ตารางที่ ข.5 ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก

ตารางที่ ช.1 ค่าเวลาในการชุปทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

Week	ค่าที่ตั้ง		ค่าที่วัดได้		คลาดเคลื่อน (วินาที)
	นาที่	วินาที	นาที่	วินาที	
1	58	0	57	59	-1
2	58	0	57	58	-2
3	58	0	58	1	1
4	58	0	58	2	2
5	58	0	58	2	2
6	58	0	58	3	3
7	58	0	57	58	-2
8	58	0	57	59	-1
9	58	0	58	3	3
10	58	0	57	58	-2
<b>Mean</b>					<b>0.30</b>
<b>Stdev</b>					<b>2.11</b>



เนื่องจากเวลาที่เบี่ยงเบนไป 2.11 วินาที หรือ เท่ากับ 0.035 นาที คิดเป็น ค่าเข้ารหัส เท่ากับ 0.007 หน่วย ซึ่งจะทำให้ความหนาทองแดงในรูเบี่ยงเบนไปประมาณ 0.001 mils และ นับว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเบี่ยงเบนของค่าความหนาทองแดงในรูของกระบวนการ (มีค่า 0.138 mils) คิดเป็น 0.72% ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

[การคำนวณ: ค่าสัมประสิทธิ์ของเวลาที่ใช้ในการชุบ = 0.12633

ค่าสัมประสิทธิ์ของเวลาที่ใช้ในการชุบร่วมกับกระแสไฟฟ้า = 0.04056

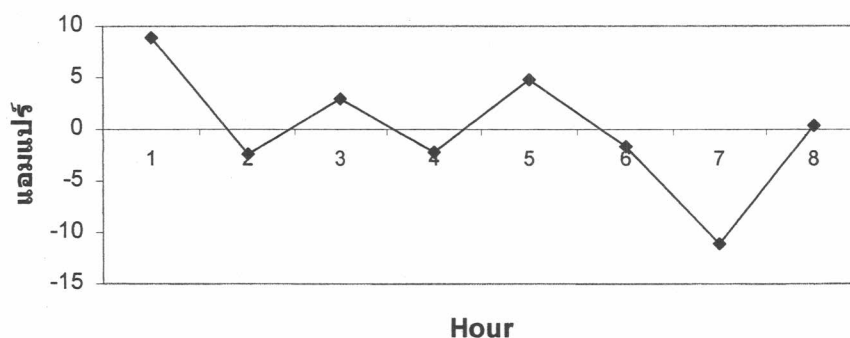
ค่าเบี่ยงเบนของความหนาทองแดงในรู =  $(0.12633 \times 0.007) + (0.04056 \times 0.007) = 0.001$ ]

ดังนั้นการตรวจสอบค่าวัดจึงใช้กำหนดการเดิม คือ ตรวจวัดทุกสัปดาห์จึงเหมาะสม เนื่องจากเป็นไปตามกำหนดการซ่อมบำรุงป้องกัน (Preventive maintenance) เครื่องจักร

ตารางที่ ๗.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชูปทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

Hour	ค่าที่ตั้ง		ค่าที่วัดได้		คลาดเคลื่อน	
	แอมแปร์	ASF	แอมแปร์	ASF	แอมแปร์	ASF
1	553	29	561.8	29.44	8.8	0.44
2	553	29	550.6	28.86	-2.4	-0.14
3	553	29	555.9	29.14	2.9	0.14
4	553	29	550.8	28.87	-2.2	-0.13
5	553	29	557.8	29.23	4.8	0.23
6	553	29	551.4	28.90	-1.6	-0.10
7	553	29	541.9	28.40	-11.1	-0.60
8	553	29	553.4	29.00	0.4	0.00
		<b>Mean</b>	<b>552.95</b>	<b>28.98</b>	<b>-0.05</b>	<b>-0.02</b>
		<b>Stdev</b>	<b>5.92</b>	<b>0.31</b>	<b>5.92</b>	<b>0.31</b>

กระแสที่คลาดเคลื่อน



เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสใน 8 ชั่วโมงเท่ากับ 0.31 ASF คิดเป็น ค่าเข้ารหัสเท่ากับ 0.06 หน่วย ซึ่งจะทำให้ความหนาทองแดงในรูมีค่าเบี่ยงเบนไป 0.019 mils และมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเบี่ยงเบนของค่าความหนาทองแดงในรูของกระบวนการ (มีค่า 0.138 mils) คิดเป็น 13.76% ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่พอยอมรับได้

[การคำนวณ: ค่าสัมประสิทธิ์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชูป = 0.23907

ค่าสัมประสิทธิ์ของเวลาที่ใช้ในการชูปร่วมกับกระแสไฟฟ้า = 0.04056

ค่าสัมประสิทธิ์ของกระแสไฟฟ้าร่วมกับความเข้มข้นของซัลฟูริก = 0.03356

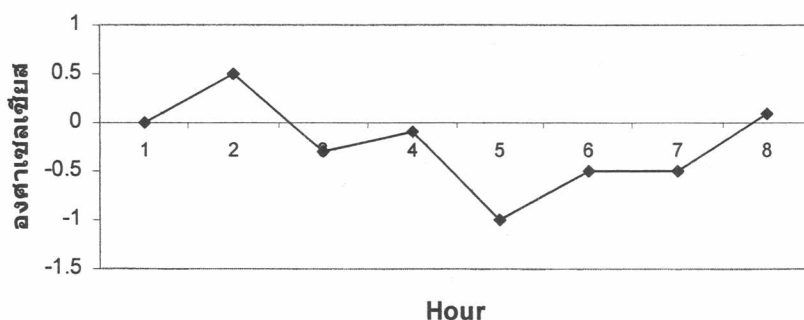
ค่าเบี่ยงเบนของความหนาทองแดงในรู =  $(0.23907 \times 0.06) + (0.04056 \times 0.06) + (0.03356 \times 0.06) = 0.019$

ดังนั้นการตรวจสอบควรทำการตรวจสอบทุกๆ 8 ชั่วโมง หรือทุกกะ

ตารางที่ ช.3 ค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการชูปทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

Hour	ค่าที่ตั้ง	ค่าที่วัดได้	คลาดเคลื่อน
	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส	องศาเซลเซียส
1	25	25	0
2	25	25.5	0.5
3	25	24.7	-0.3
4	25	24.9	-0.1
5	25	24	-1
6	25	24.5	-0.5
7	25	24.5	-0.5
8	25	25.1	0.1
	<b>Mean</b>	<b>24.78</b>	<b>-0.23</b>
	<b>Stdev</b>	<b>0.46</b>	<b>0.46</b>

อุณหภูมิที่คลาดเคลื่อน



เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิใน 8 ชั่วโมงเท่ากับ 0.46 องศาเซลเซียส คิดเป็น ค่าเข้ารหัสเท่ากับ 0.23 หน่วย ซึ่งจะทำให้ความหนาทองแดงในรูมีค่าเบี่ยงเบนไป 0.007 mils และมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเบี่ยงเบนของค่าความหนาทองแดงในรูของ กระบวนการ (มีค่า 0.138 mils) คิดเป็น 5.07% ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

[การคำนวณ: ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ = 0.03823

ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิกำลังสอง = -0.02871

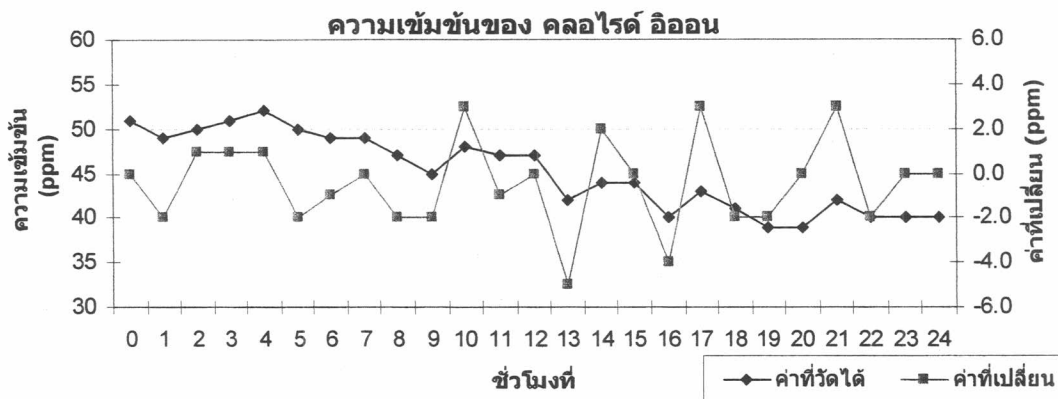
ค่าเบี่ยงเบนของความหนาทองแดงในรู =  $(0.03823 \cdot 0.23) + (-0.02871 \cdot 0.23) = 0.007 \text{ mils}]$

ดังนั้นการตรวจสอบควรทำการตรวจสอบทุกๆ 8 ชั่วโมง หรือทุกกะ



ตารางที่ ซ.4 ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออน

ชั่วโมงที่	ค่าที่วัดได้	ค่าที่เปลี่ยน
	ppm	ppm
0	51	0
1	49	-2.0
2	50	1.0
3	51	1.0
4	52	1.0
5	50	-2.0
6	49	-1.0
7	49	0.0
8	47	-2.0
9	45	-2.0
10	48	3.0
11	47	-1.0
12	47	0.0
13	42	-5.0
14	44	2.0
15	44	0.0
16	40	-4.0
17	43	3.0
18	41	-2.0
19	39	-2.0
20	39	0.0
21	42	3.0
22	40	-2.0
23	40	0.0
24	40	0.0
<b>Mean</b>	<b>0</b>	<b>-0.46</b>
<b>Stdev</b>	<b>4.34</b>	<b>2.08</b>



เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของคลอไรด์ อีออนที่เปลี่ยนไปในแต่ละชั่วโมง ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 2.08 ppm คิดเป็น ค่าซาร์หัสเท่ากับ 0.208 หน่วย ซึ่งจะทำให้ความหนาทองแดงในรูมีค่าเบี่ยงเบนไป 0.0004 mils และมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเบี่ยงเบนของค่าความหนาทองแดงในรูของกระบวนการ (มีค่า 0.138 mils) คิดเป็น 0.29% ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

[การคำนวณ: ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของซัลฟูริก = 0.00799

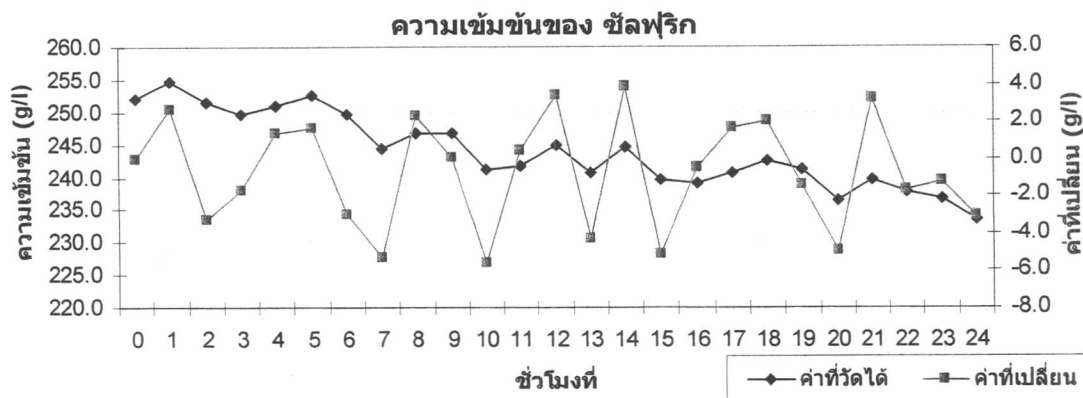
ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของซัลฟูริกกำลังสอง = -0.02738

ค่าเบี่ยงเบนของความหนาทองแดงในรู =  $(0.00799 \times 0.208) + (-0.02738 \times 0.208) = 0.0004$  mils]

แต่เนื่องจากค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น การตรวจสอบควรทำการตรวจสอบทุกๆ 8 ชั่วโมง หรือทุกกะเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น

ตารางที่ ๗.5 ค่าความเข้มข้นของซัลฟูริก

ชั่วโมงที่	ค่าที่วัดได้	ค่าที่เปลี่ยน
	g/l	g/l
0	252.0	0
1	254.7	2.7
2	251.4	-3.3
3	249.7	-1.7
4	251.1	1.4
5	252.7	1.6
6	249.7	-3.0
7	244.4	-5.3
8	246.7	2.3
9	246.8	0.1
10	241.2	-5.6
11	241.6	0.4
12	245.0	3.4
13	240.7	-4.3
14	244.6	3.9
15	239.5	-5.1
16	239.0	-0.5
17	240.6	1.6
18	242.6	2.0
19	241.2	-1.4
20	236.3	-4.9
21	239.5	3.2
22	237.8	-1.7
23	236.6	-1.2
24	233.5	-3.1
<b>Mean</b>	<b>243.96</b>	<b>-0.77</b>
<b>Stdev</b>	<b>5.83</b>	<b>3.05</b>



เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของซัลฟูริกที่เปลี่ยนไปในแต่ละชั่วโมง ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 3.05 g/l คิดเป็น ค่าเข้ารหัสเท่ากับ 0.152 หน่วย ซึ่งจะทำให้ความหนาทองแดงในรูมีค่าเบี่ยงเบนไป 0.005 mils และมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความเบี่ยงเบนของค่าความหนาทองแดงในรูของกระบวนการ (มีค่า 0.138 mils) คิดเป็น 3.62% ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

[การคำนวณ: ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของซัลฟูริก = 0.03823

ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของซัลฟูริกกำลังสอง = -0.02871

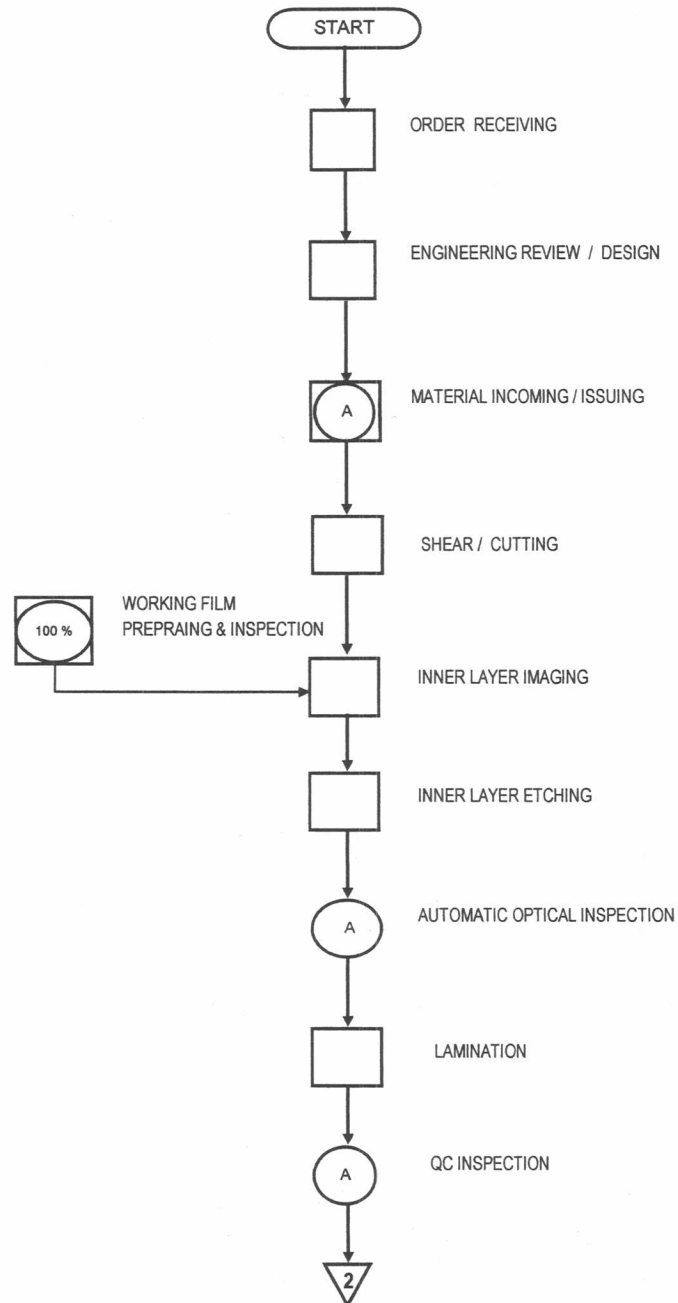
ค่าเบี่ยงเบนของความหนาทองแดงในรู =  $(0.03823 \times 0.152) + (-0.02871 \times 0.152) = 0.005 \text{ mils}$ ]

แต่เนื่องจากค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น การตรวจสอบควรทำการตรวจสอบทุกๆ 8 ชั่วโมง หรือทุกกะเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น

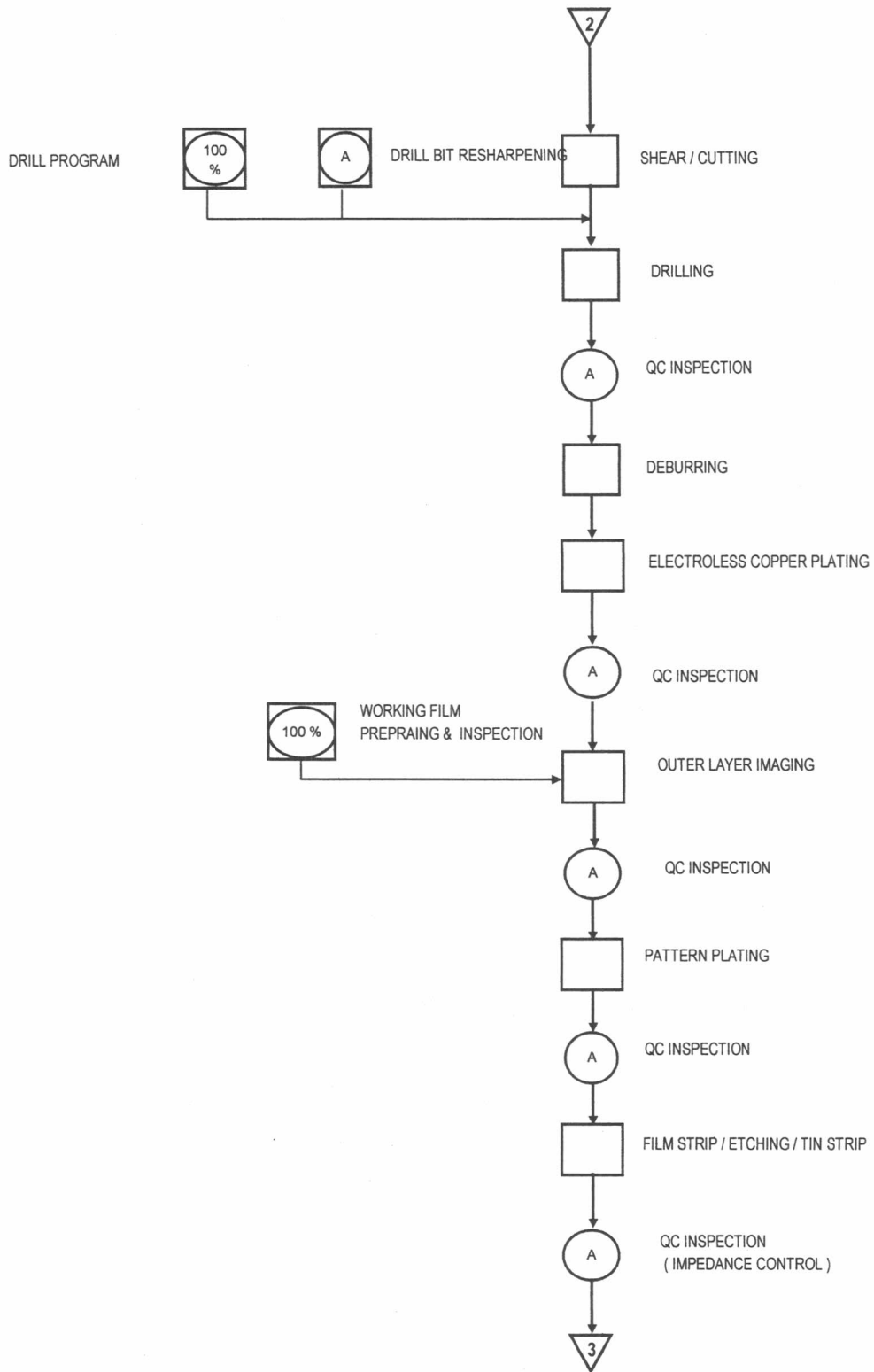
## ภาคผนวก ฅ

### แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

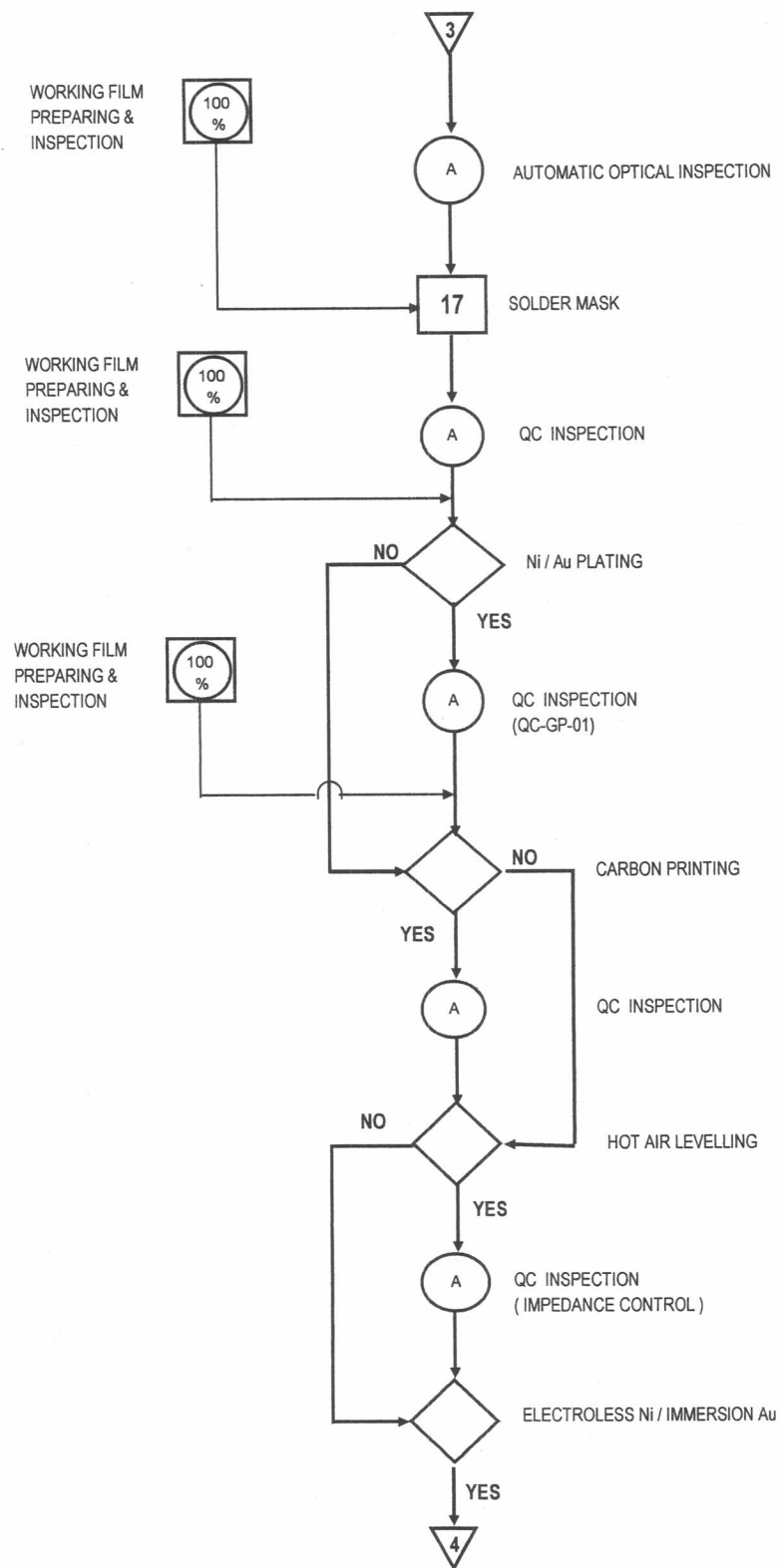
รูปที่ ฅ.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ ๘.๑ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

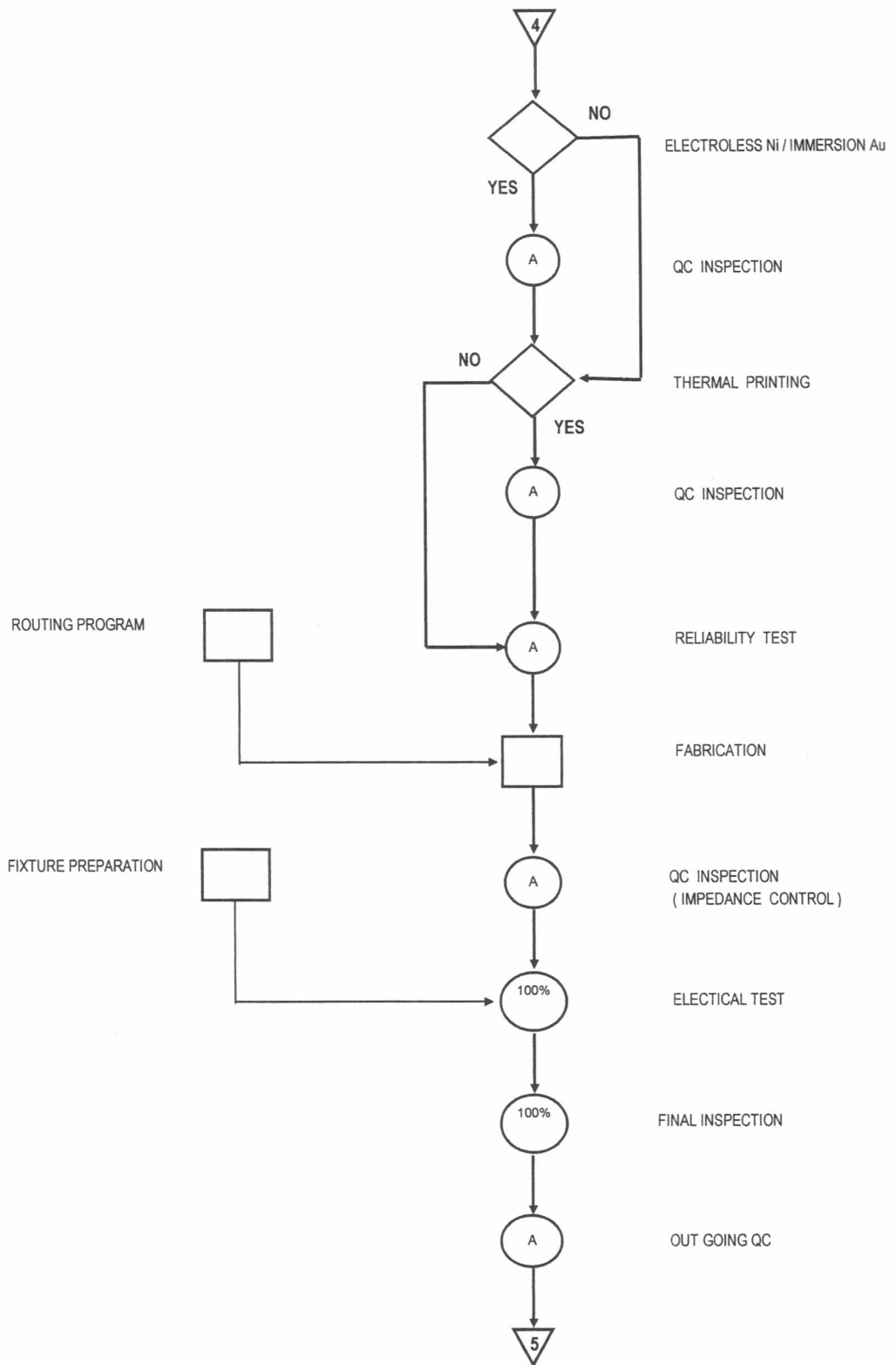


รูปที่ ๓.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)

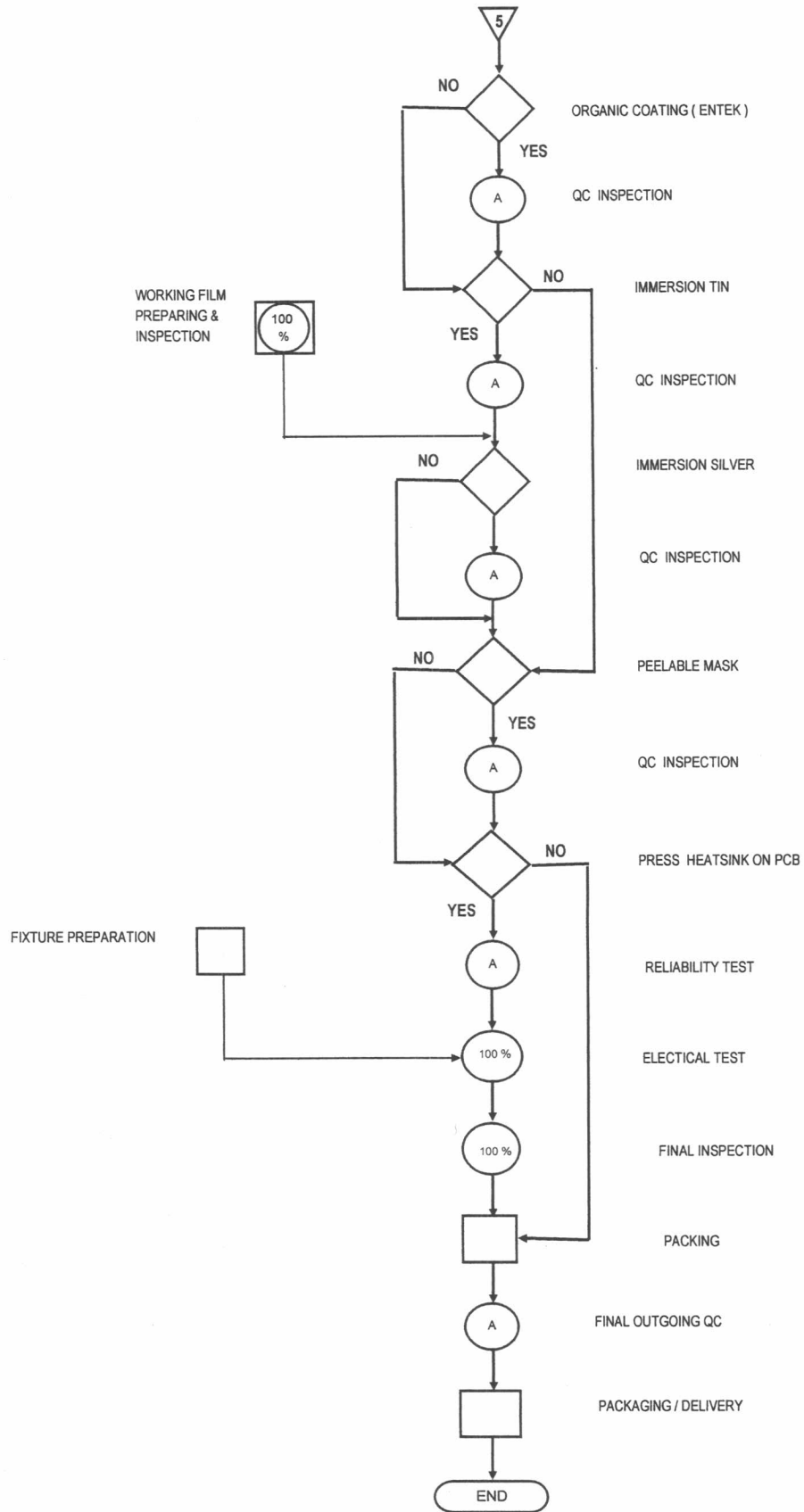


รูปที่ ๑.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)





รูปที่ ๓.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)



รูปที่ ๓.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรยุทธ มัดจูปะ เกิดเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2517 จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อปี พ.ศ.2540 และได้เข้าศึกษาต่อ ในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยในปี 2545