

รายการอ้างอิง

1. Mason, T.J., and Lorimer, J.P. Sonochemistry theory, applications and uses of ultrasound in chemistry, (n.p.) John Wiley & Sons, 1998
2. Lesko, Timothy Michael. Chemical effects of acoustic cavitation[Online]. 2004. Available from: <http://rsolver.caltech.edu/caltech.ETD:etd-04262004-184449> [2006, March 20]
3. Andrew T. Young. Polytropes[Online]. 2003. Available from: <http://minatka.sdu.edu/GF/explain/thermal/polytropes.html> [2006, March 20]
4. Sami B. Awad, Ultrasonic cavitations and precision cleaning, Process Methodology (November 1996): 12-17.
5. จิตติวุฒ เพชรมุณี, ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการกรองระดับอนุภาคในโมดูลแบบแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
6. พิชิต สุขเจริญพงษ์. การควบคุมเชิงคุณภาพเชิงวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร: หจก. เอช-เอ็น การพิมพ์, 2535.
7. Douglas C. Montgomery. Design and analysis of experiments. 5th.ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.
8. วิจิตรา พลเยี่ยม. ภาควิชาสถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, การวางแผนการทดลอง. เล่มที่ 1, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: 2543.
9. ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
10. Paul M. Krail, Water-gun cavity collapse in a compressible liquid[Online]. Available from: <http://link.aip.org/link/?GPYS7/51/2200/1>[2006 March 20].

11. Bogdan Niemczewski. Estimation of the suitability of selected organic solvent for ultrasonic cleaning. *Ultrasonic sonochemistry*. 6 (1999): 149-156.
12. O. Sano, T.Kaneko and G.P.RajaSekhar. Collapse, growth and merging of cavity regions in a granular material due to viscous flow[on line]. Available from :<http://fluid.ippt.gov.pl/ictam04/text/serious/docs/FF17/11876/abstract.pdf>[2006 February 27]
13. P.L.Kaye, C.S.J.Pickles, J.E.Field, and K.S.Julian. Investigation of erosion processes as cleaning mechanisms in the removal of thin deposited soil. *Wear* 186-187 (1995): 413-420.
14. Kenneth S. Suslick.Millan M.Mdleleni , and Jeffrey T.Ries. Chemistry induced by hydrodynamic cavitation. *J.Am.Chem.Soc.*119 (1997): 9303-9304.
15. Z.W. Zhong, and S.H.Gee. Failure analysis of ultrasonic pitting and carbon voids on magnetic recording disks. *Ceramics International*, 50 (2004):1619-1622.
16. Mikko O.Lamminen, Harold W. Walker, and Linda K.Weavers. Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle – fouled ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*. 237 (2004): 213-223.
17. วีรพันธ์ เดิมวิทย์ขจร บริษัท เอ็น เอส เค แบริ่ง(ประเทศไทย) จำกัด. เสียงและความสั่นสะเทือนในแบริ่ง. *เทคนิค* 216 (พฤศจิกายน 2545): 114-122.
18. MINITAB User's guide 1: Data, graphics, and macros. MINITAB statistic software. Release 13 for Window. 1st printing. U.S.A.: Minitab Inc., 2000.
19. MINITAB User's guide 2: Data, graphics, and macros. MINITAB statistic software. Release 13 for Window. 1st printing. U.S.A.: Minitab Inc., 2000.
20. นันทิ ไพรวลัย. ตรวจสอบอาการเสียของลูกปืน. (อัครา).

21. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, นิพนธ์ ชาติชวนชม. Failure mode and effective analysis : FMEA.(อัครา).
22. Jeff Han Cock, and Blue Wave Ultrasonic. Ultrasonic cleaning. ASM handbook. Vol. 5, 2nd printing, Surface engineering. U.S.A.: ASM International,1996.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. F. John Fuchs. Ultrasonic cleaning: Fundamenta; theory and application[Online]. May 2002.
Available from: <http://www.blackstone-ney.com>[2005]
2. F. John Fuchs and William L. Puskas. Application of multiple frequency ultrasonics[Online].
June 2005. Available from: <http://www.blackstone-ney.com>[2005]
3. Geankoplis, C.J. Transport Processes and Unit Operation, New Jersey: PRT Prentice Hall, 1993.
4. Health Sonics Corporation. The Ins and Outs of ultrasonic cleaning[Online]. 2005. Available
from: <http://www.healthsonics.com>[2006 January]
5. Ressel C. Manchester. Precision Aqueous Cleaning System and Process Design. System
Design and Development (June 1994): 11-13.
7. Sami B. Awad. Aqueous ultrasonics cleaning and corrosion protection of steel component.
Cleaning & pretreatment[Online]. 2004. Available from: <http://www.crest-ultrasonic.com>[2005]
8. Victor L. Streeter and E. Benjamin Wylie. Fluid mechanics. 1st ed. Singapore: Mc Graw-Hill
Ryerson Limited, 1983.
9. Warren L. McCabe, Julian C. Smith and Peter Harriott. Unit operations of chemical
engineering. 6th ed. Singapore McGraw-Hill Ryerson Limited, 2001.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



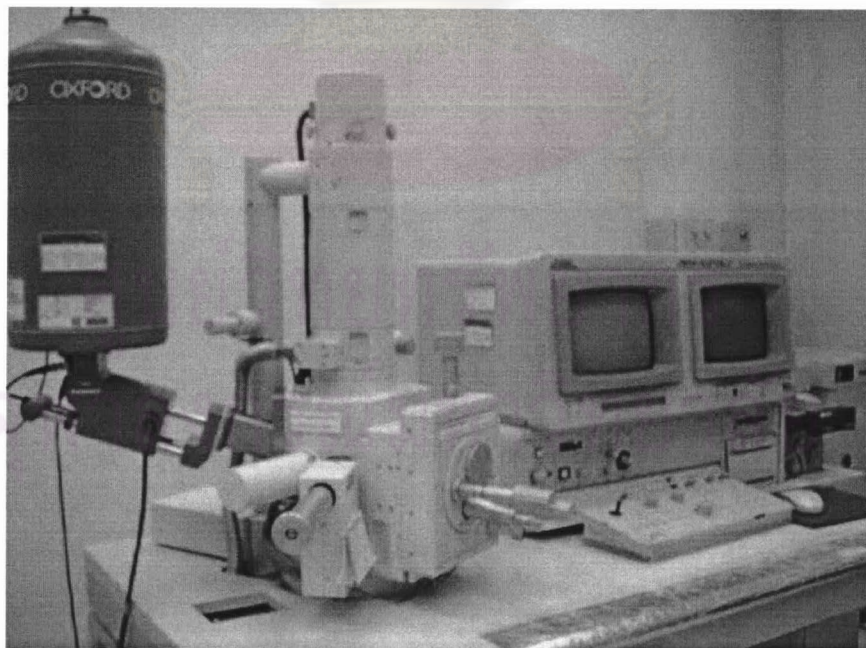
ภาคผนวก ก

ภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

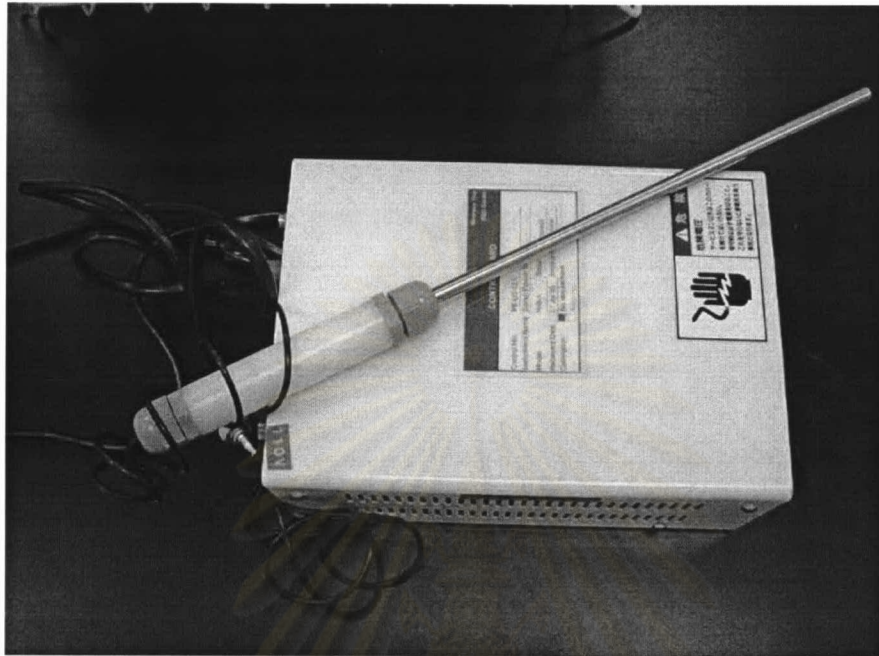
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



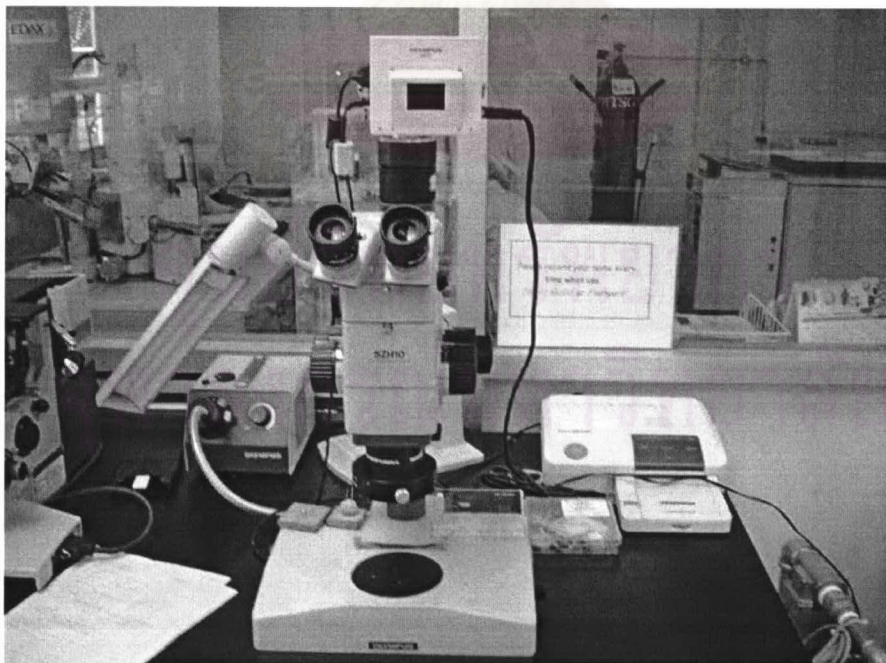
รูปที่ ก.1 เครื่องตรวจนับอนุภาคในสารละลาย (Liquid particle counter)



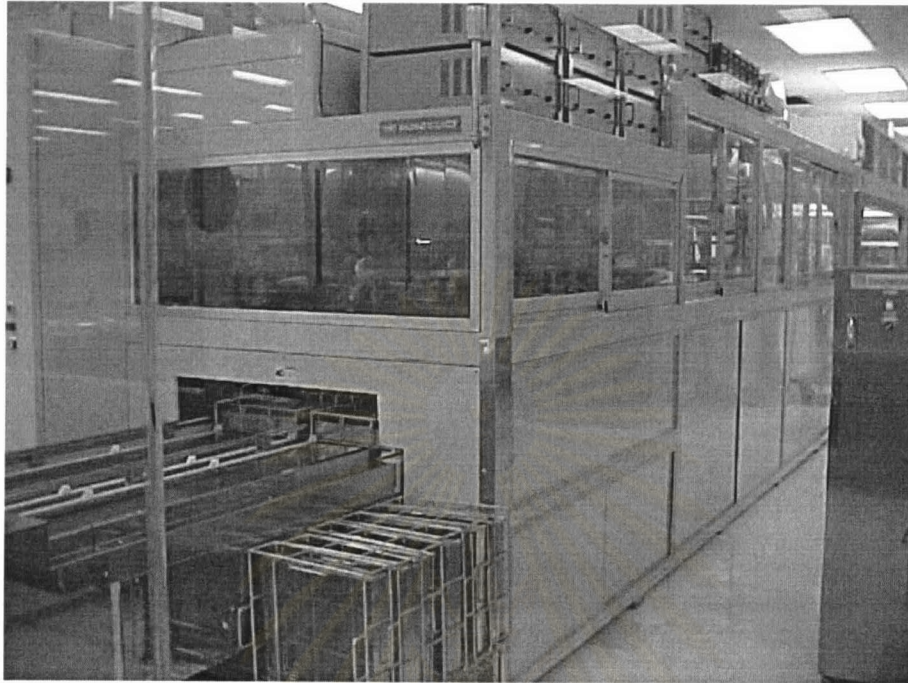
รูปที่ ก.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ ด้วยรังสีเอกซ์ (Scanning Electron Microscope and X-Ray Microanalysis)



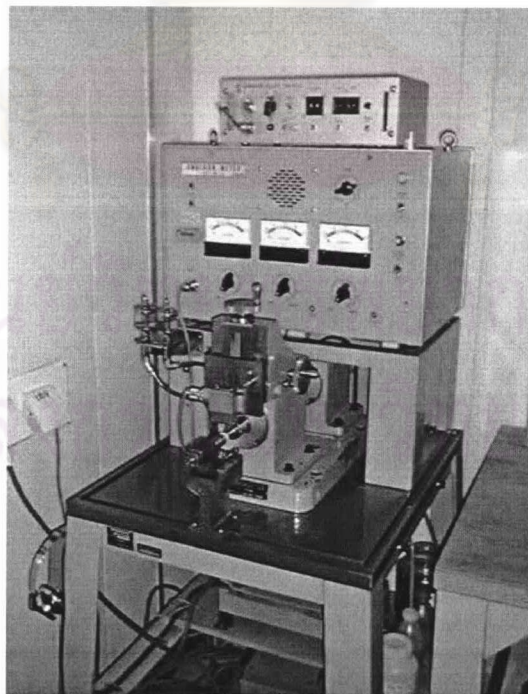
รูปที่ ก.3 Ultrasonic sound pressure meter



รูปที่ ก.4 กล้องจุลทรรศน์



รูปที่ ก.5 เครื่องล้างชิ้นงานแบบใช้คลื่นเหนือเสียง



รูปที่ ก.6 Anderson Meter



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถังที่ 1

วันที่	แรงดัน (MPa)	อุณหภูมิของสารละลาย(°C)	อัตราการไหล (L/min)	Ultrasonic (mV)	ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um (อนุภาค/10 ml)
ค่าควบคุม	0.01 – 0.1	28 - 50		1 - 5	400
1	0.06	45	0		244
2	0.06	46	0		277
3	0.06	46	0		520
4	0.06	46	0		302
5	0.06	46	0		552
6	0.06	45	0		314
7	0.06	43	0	1	242
8	0.06	46	0		277
9	0.06	46	0		209
10	0.06	47	0		347
11	0.06	47	0		350
12	0.06	47	0		223
13	0.06	46	0		304
14	0.06	47	0	2.5	192
15	0.06	48	0		347
16	0.06	45	0		212
17	0.06	47	0		350
18	0.06	47	0		297
19	0.06	46	0		150
20	0.06	46	0		184
21	0.06	46	0	3	143
22	0.06	47	0		176
23	0.06	46	0		190
24	0.06	47	0		270
25	0.06	48	0		252
26	0.06	46	0		325
27	0.06	46	0		263
28	0.06	46	0	2	253
29	0.06	46	0		259
30	0.06	46	0		258

ตารางที่ ข.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถึงที่ 2

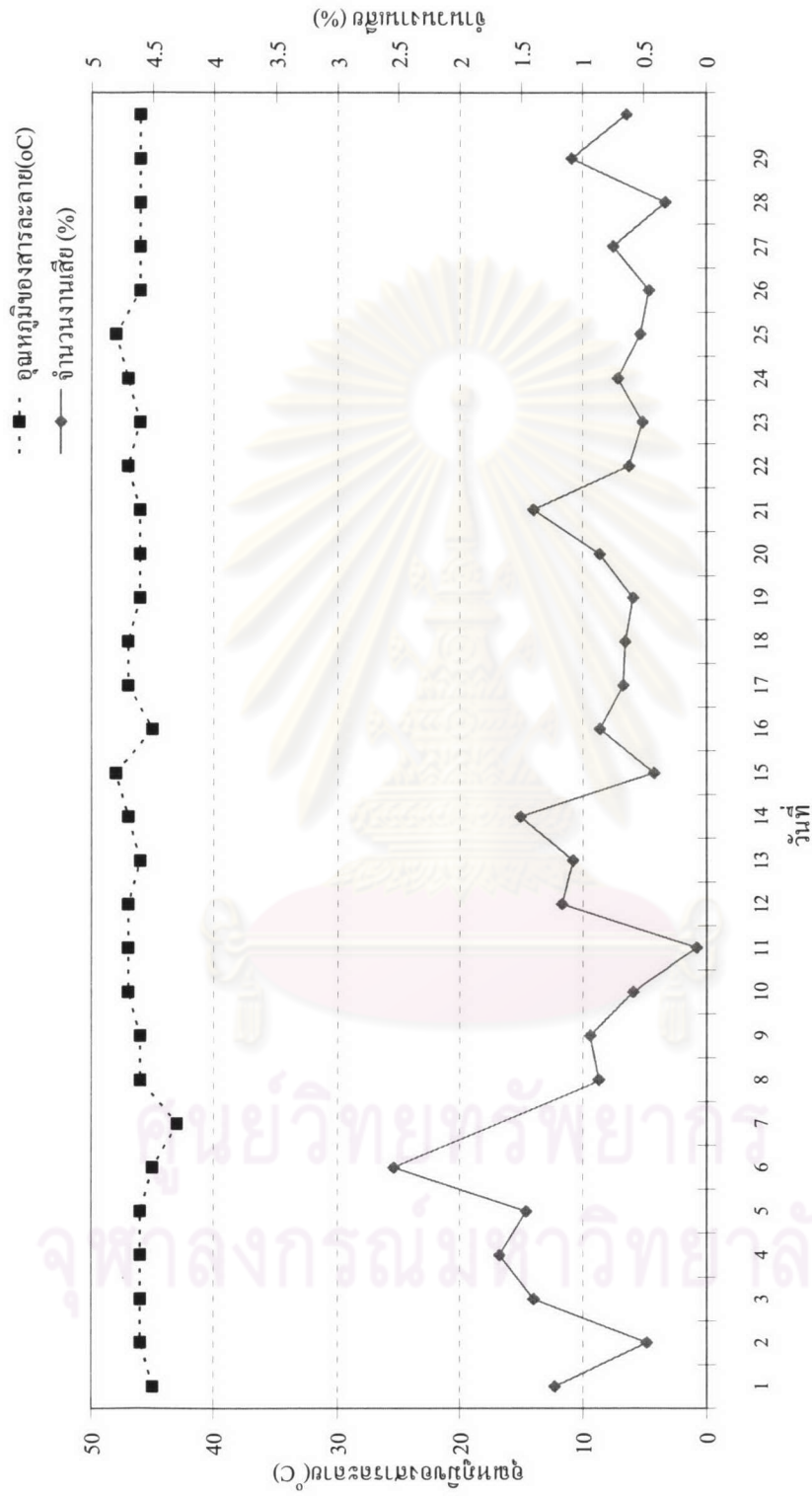
วันที่	แรงดัน (MPa)	อุณหภูมิของสารละลาย(°C)	อัตราการไหล (L/min)	Ultrasonic (mV)	ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um (อนุภาค/10 ml)
ค่าควบคุม	0.01 - 0.15	28 - 50	45 - 60	1 - 5	200
1	0.12	34	53		113
2	0.12	33	53		135
3	0.12	33	53		151
4	0.12	33	53		159
5	0.12	31	53		147
6	0.12	31	53		81
7	0.12	29	53	2.5	126
8	0.12	33	53		213
9	0.12	31	53		275
10	0.12	34	53		123
11	0.12	33	53		85
12	0.12	34	50		62
13	0.12	33	52		32
14	0.12	33	52	3	55
15	0.12	33	52		35
16	0.12	31	52		33
17	0.12	34	53		54
18	0.12	33	53		33
19	0.12	32	53		90
20	0.12	30	53		34
21	0.12	32	53	2.5	36
22	0.12	35	53		46
23	0.12	34	53		61
24	0.12	33	53		34
25	0.12	34	53		55
26	0.12	34	53		42
27	0.12	34	53		73
28	0.12	32	53	2.8	41
29	0.12	33	53		109
30	0.12	32	53		26

ตารางที่ ข.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องล้างชิ้นงานถึงที่ 3

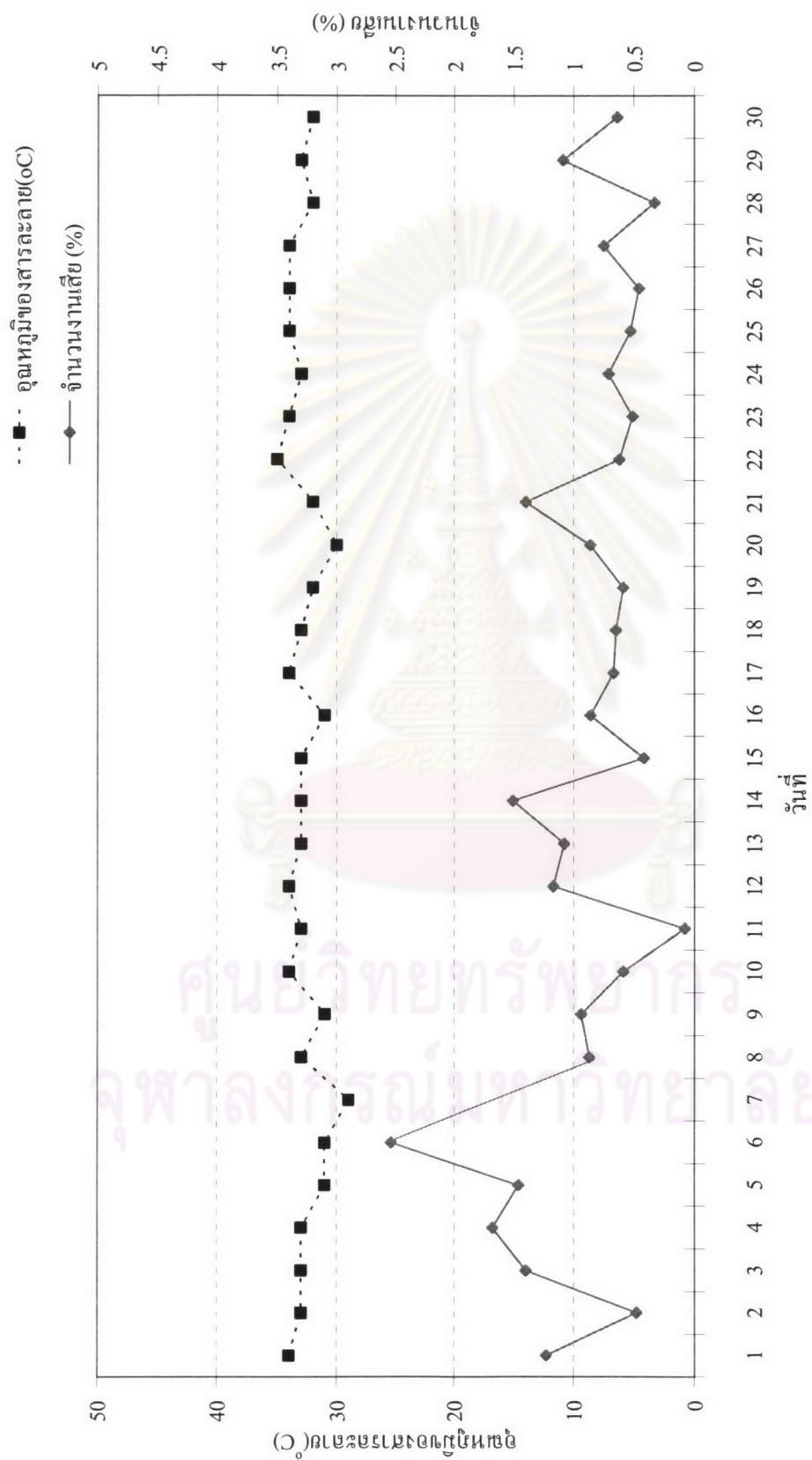
วันที่	แรงดัน (MPa)	อุณหภูมิของสารละลาย(°C)	อัตราการไหล (L/min)	Ultrasonic (mV)	ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um (อนุภาค/10 ml)
ค่าควบคุม	0.01 – 0.15	28 - 50	45 - 60	1 - 5	150
1	0.15	42	50		39
2	0.15	41	50		36
3	0.15	42	50		34
4	0.15	41	50		94
5	0.15	40	50		91
6	0.15	38	50		53
7	0.15	36	50	1	129
8	0.15	41	50		83
9	0.15	40	50		417
10	0.15	42	50		68
11	0.15	42	50		46
12	0.15	43	50		192
13	0.15	40	50		69
14	0.15	42	50	1.5	42
15	0.15	43	50		51
16	0.15	40	50		37
17	0.15	42	50		35
18	0.15	41	50		27
19	0.15	40	50		9
20	0.15	39	50		40
21	0.15	40	50	2	32
22	0.15	43	50		18
23	0.15	41	50		13
24	0.15	41	50		22
25	0.15	42	50		38
26	0.15	42	50		24
27	0.15	40	50		39
28	0.15	43	50	1	30
29	0.15	40	50		55
30	0.15	40	50		54

ตารางที่ ข.4 จำนวนงานเสียที่ผิวร่องนำบอลเนื่องจากการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง

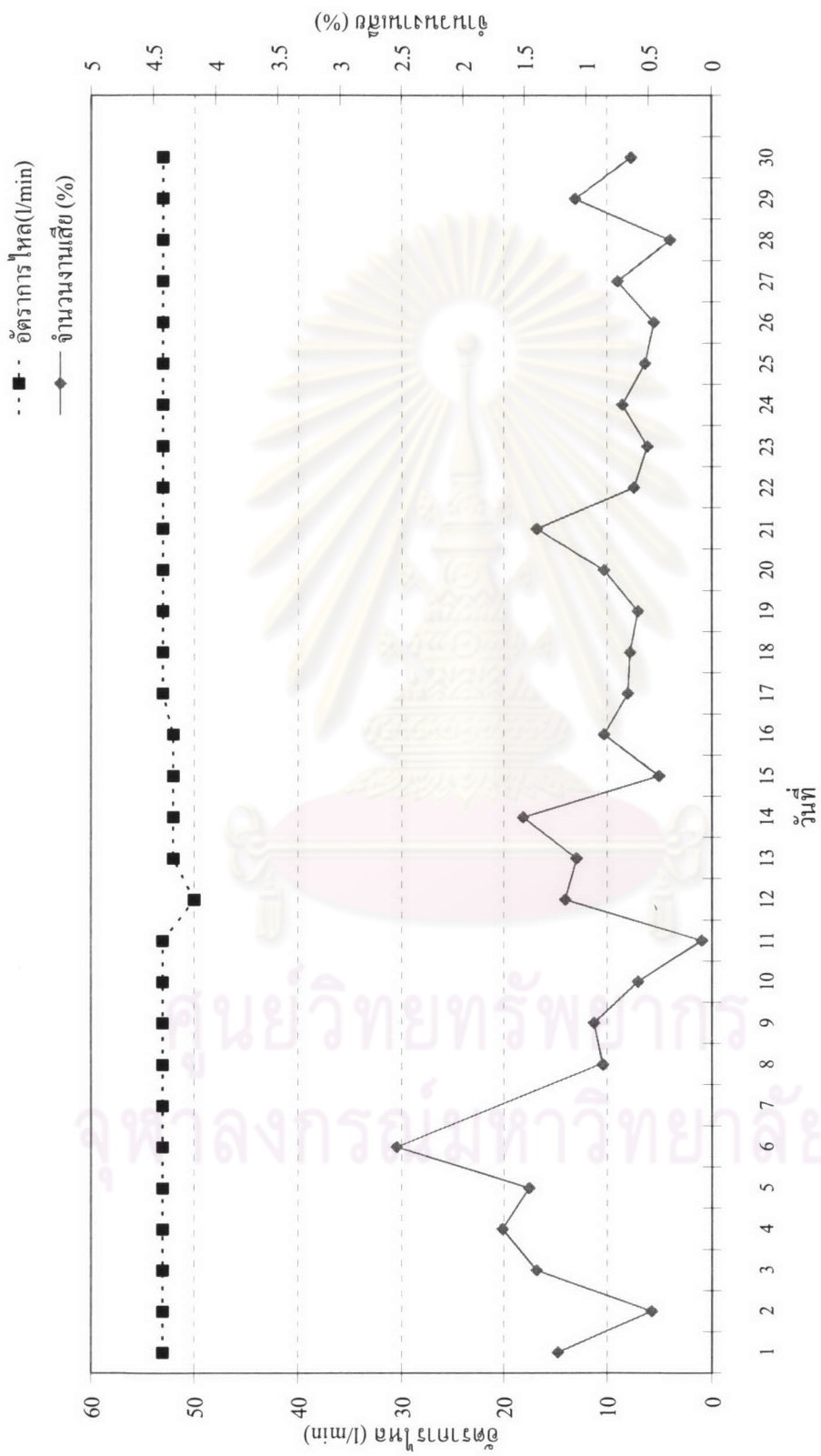
วันที่	จำนวนงานเสีย (%)
1	1.23
2	0.48
3	1.40
4	1.68
5	1.46
6	2.54
7	
8	0.87
9	0.94
10	0.59
11	0.08
12	1.17
13	1.08
14	1.51
15	0.42
16	0.86
17	0.67
18	0.65
19	0.59
20	0.86
21	1.40
22	0.62
23	0.51
24	0.71
25	0.53
26	0.46
27	0.75
28	0.33
29	1.09
30	0.64



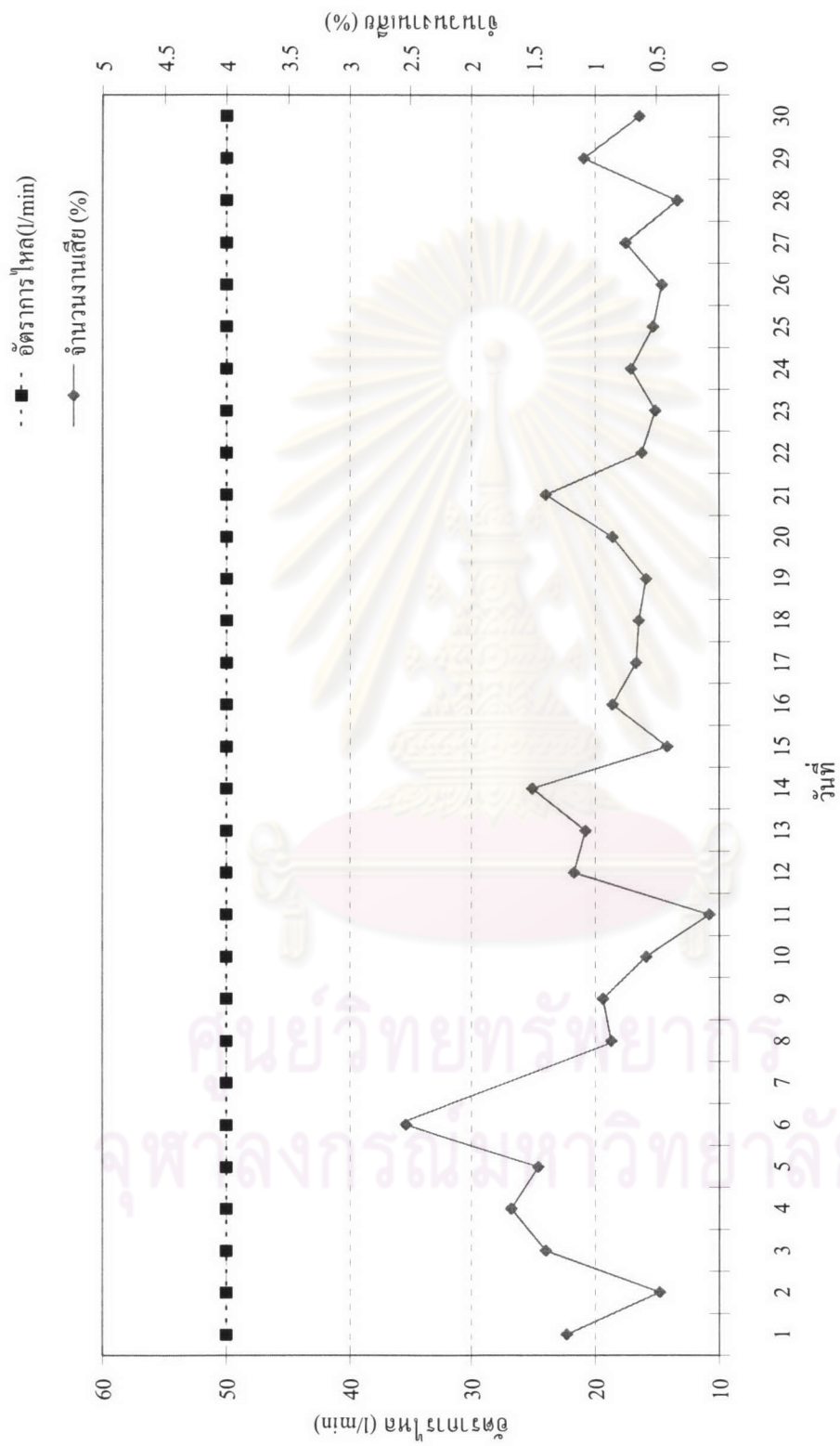
รูปที่ ข.1 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 1 ต่อ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน



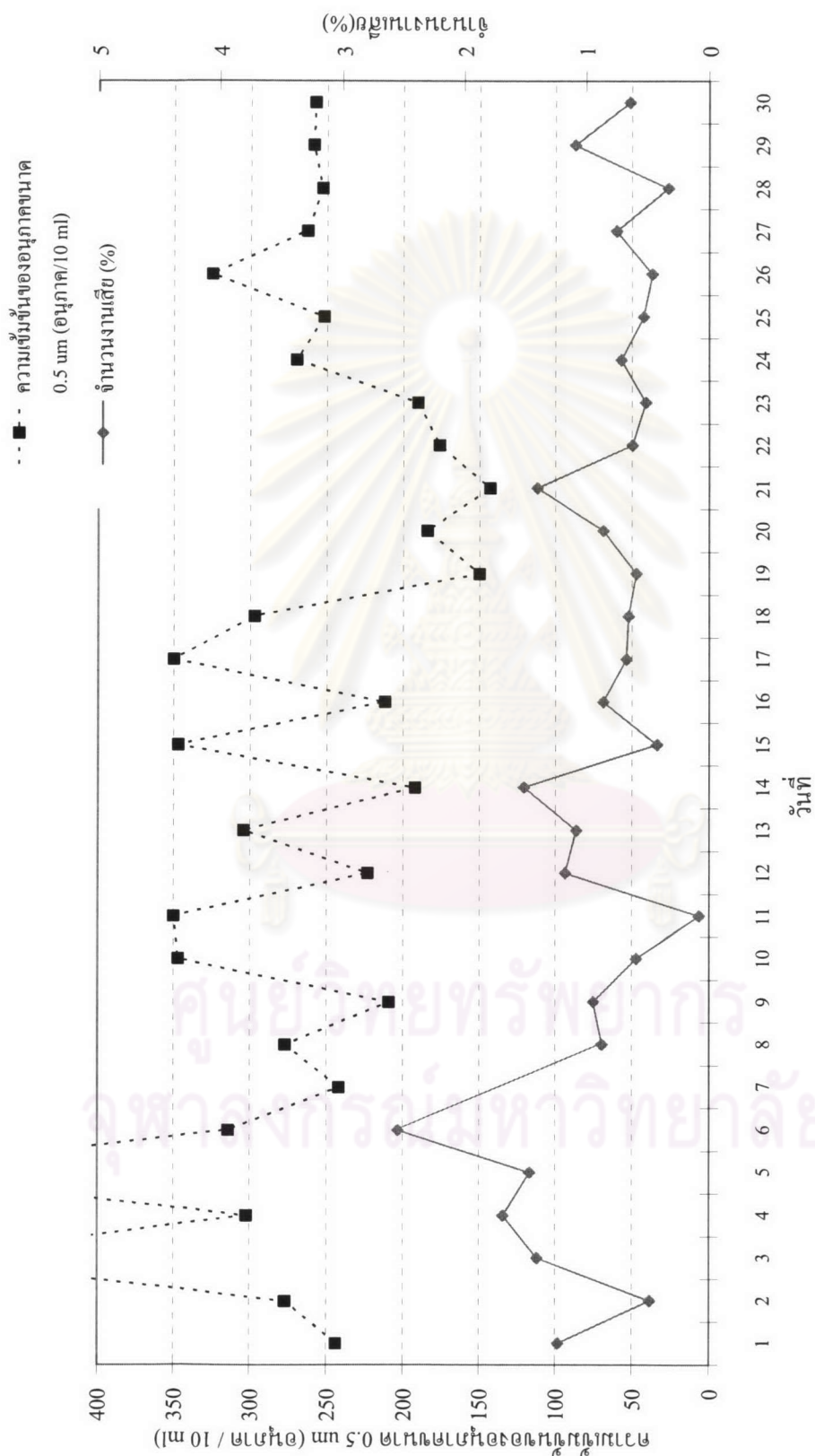
รูปที่ ข.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายในถังที่ 2 ต่อ จำนวนงานเลี้ยงเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน



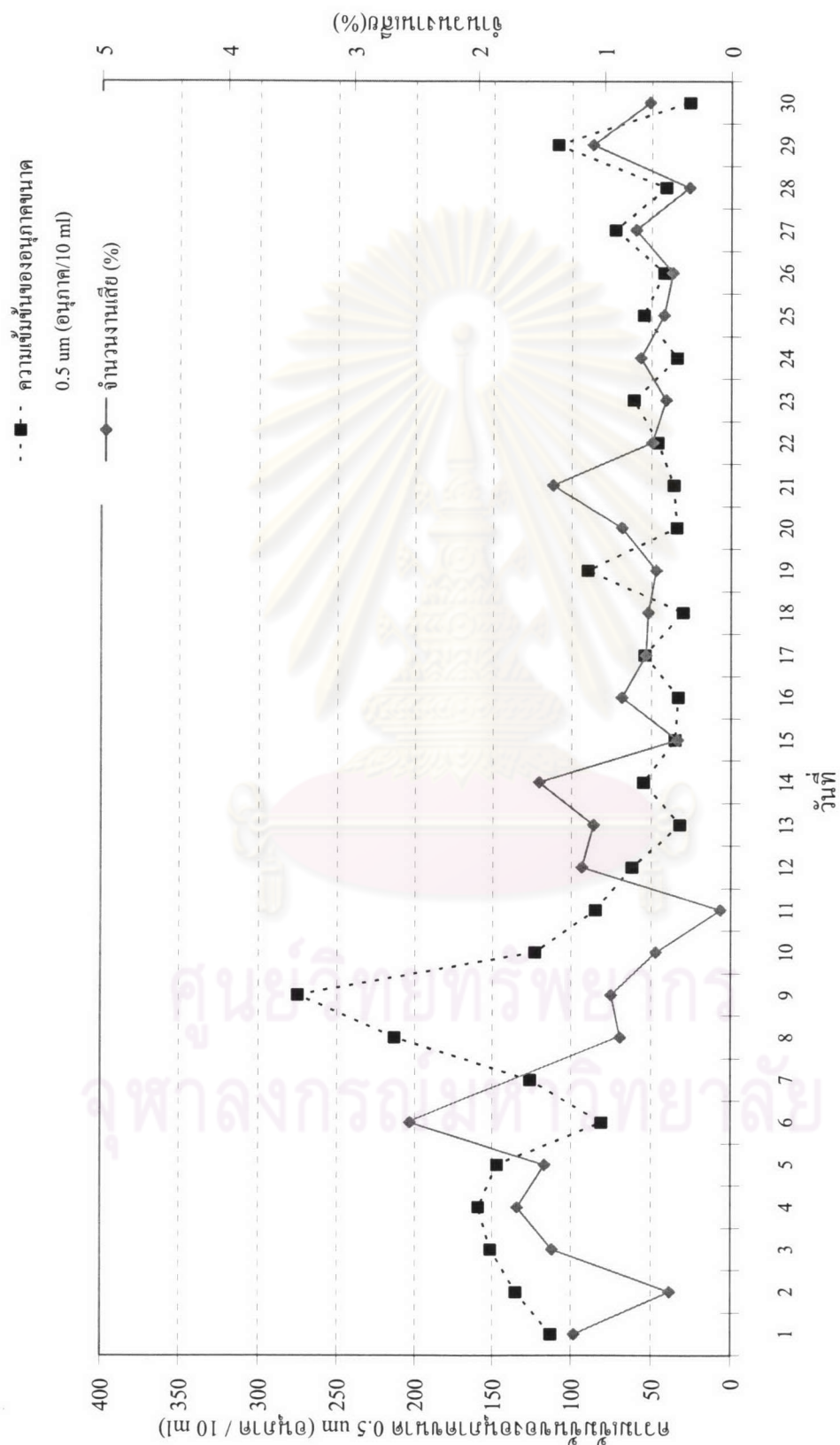
รูปที่ ข.4 อัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 2 กับ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน



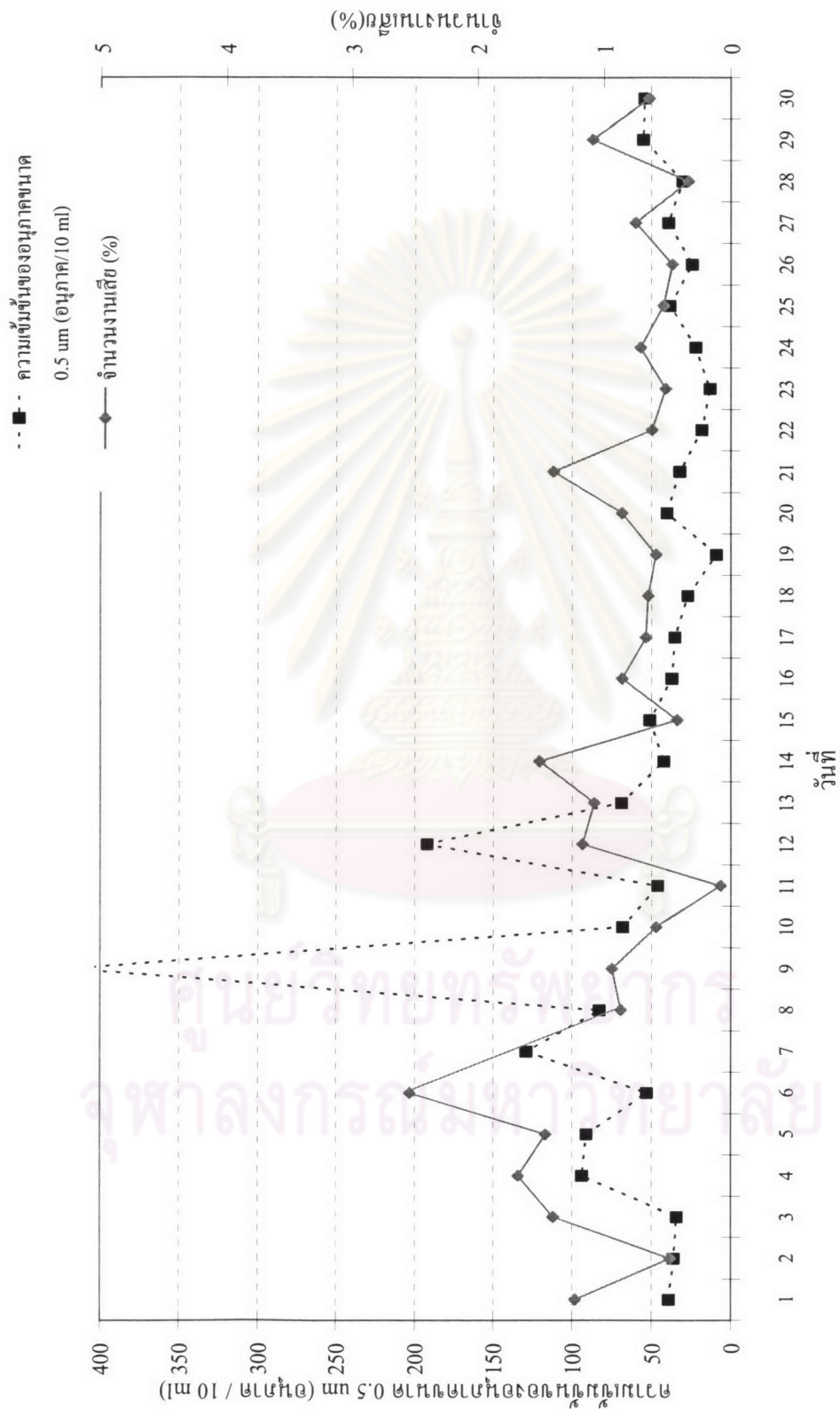
รูปที่ ข.5 อัตราการไหลของสารละลายในถังที่ 3 กับ จำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นใน 1 เดือน



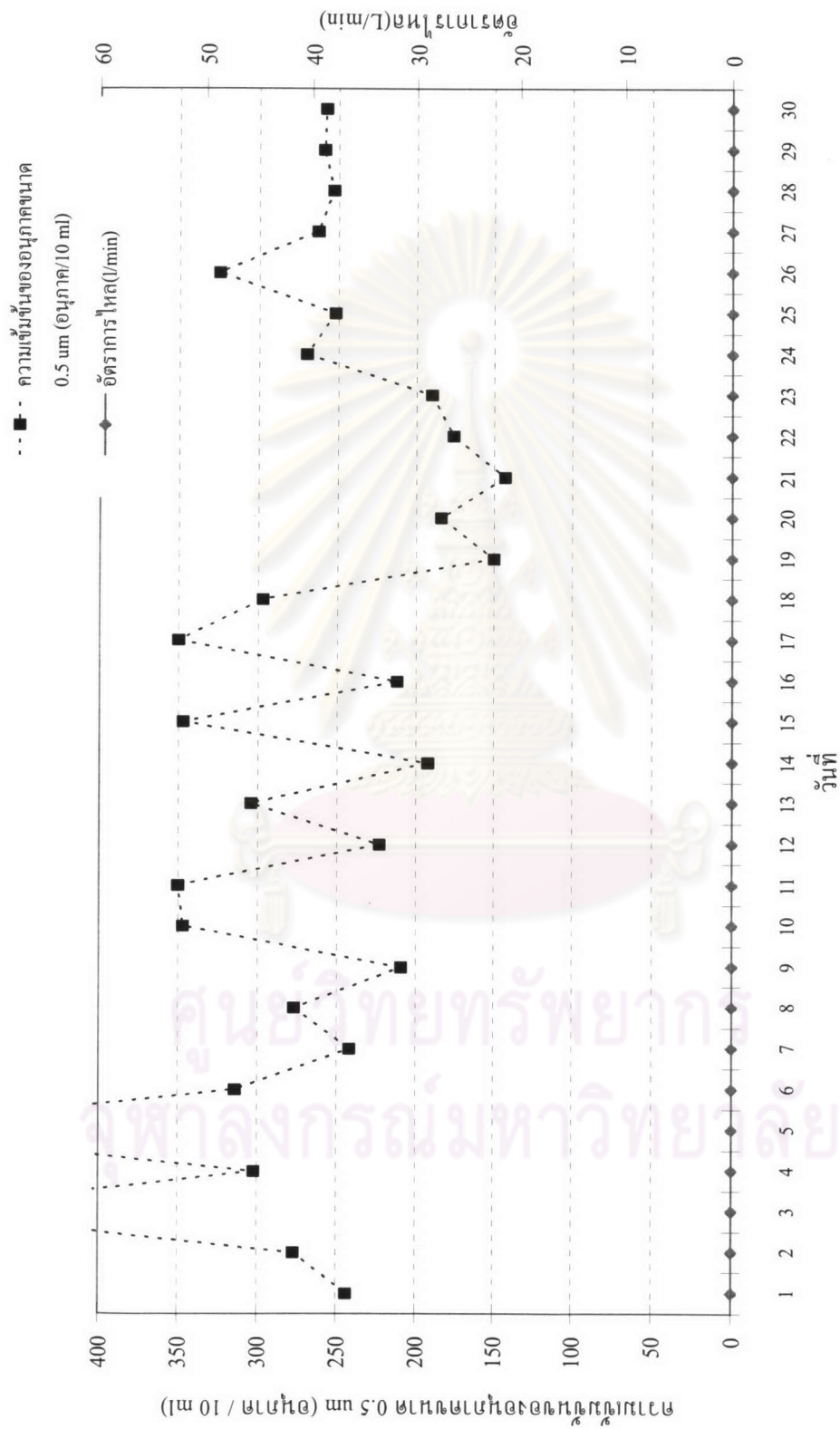
รูปที่ ข.6 ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 1 กับจำนวนงานเสียที่เกิดขึ้น



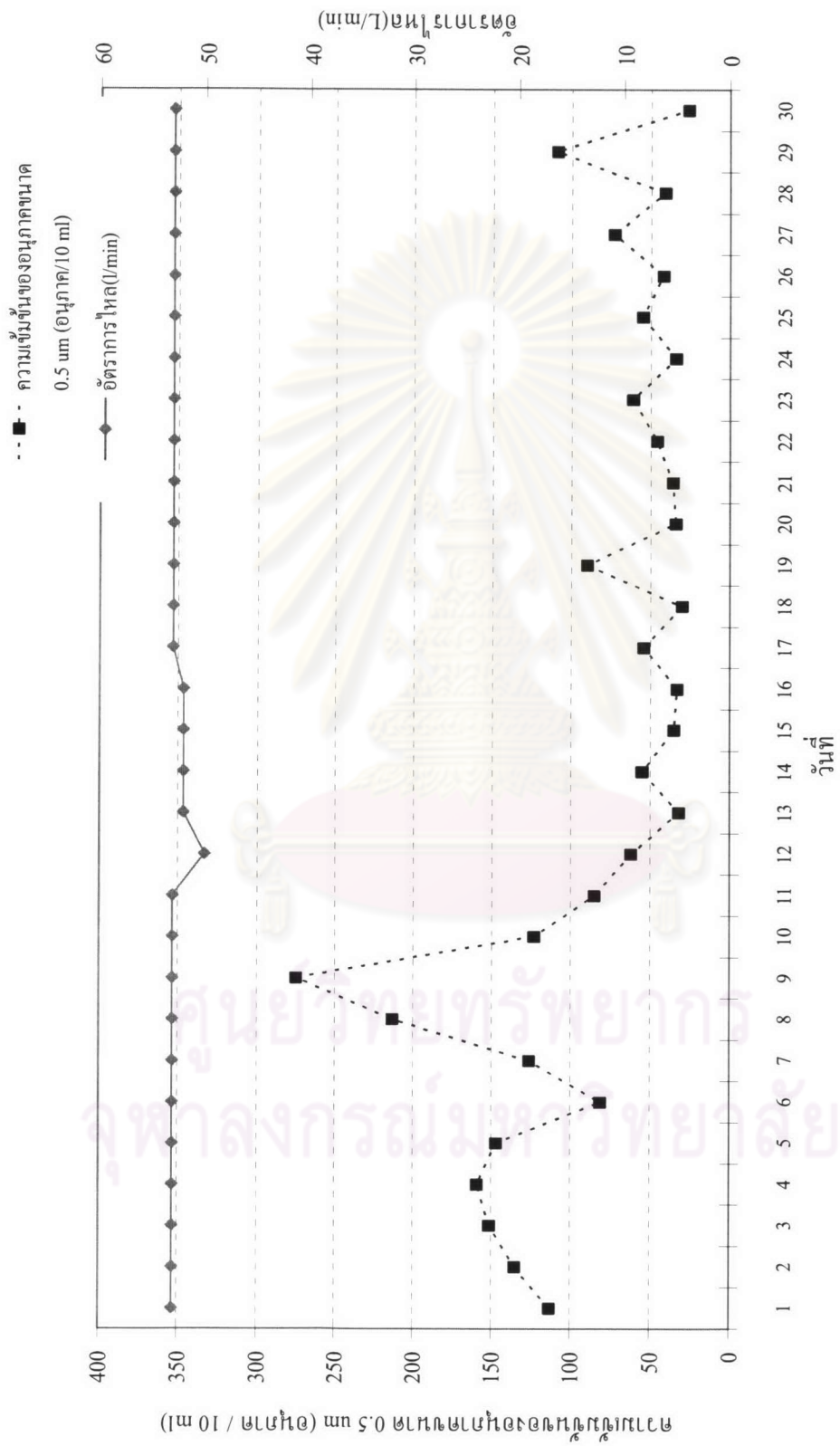
รูปที่ ข.7 ความชื้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 2 กับจำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น



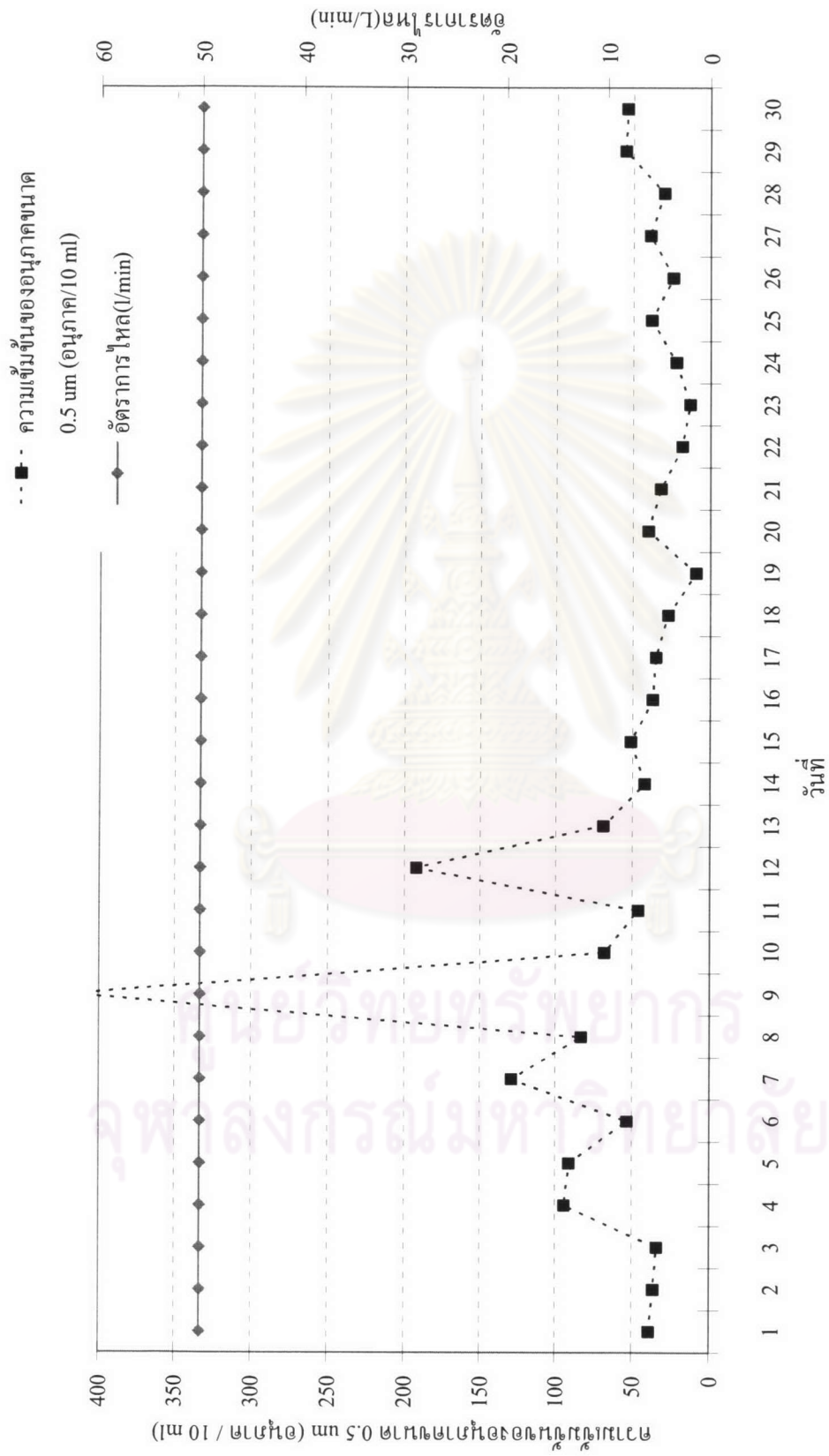
รูปที่ ข.8 ความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 μm ในสารละลายในถังที่ 3 กับจำนวนงานเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น



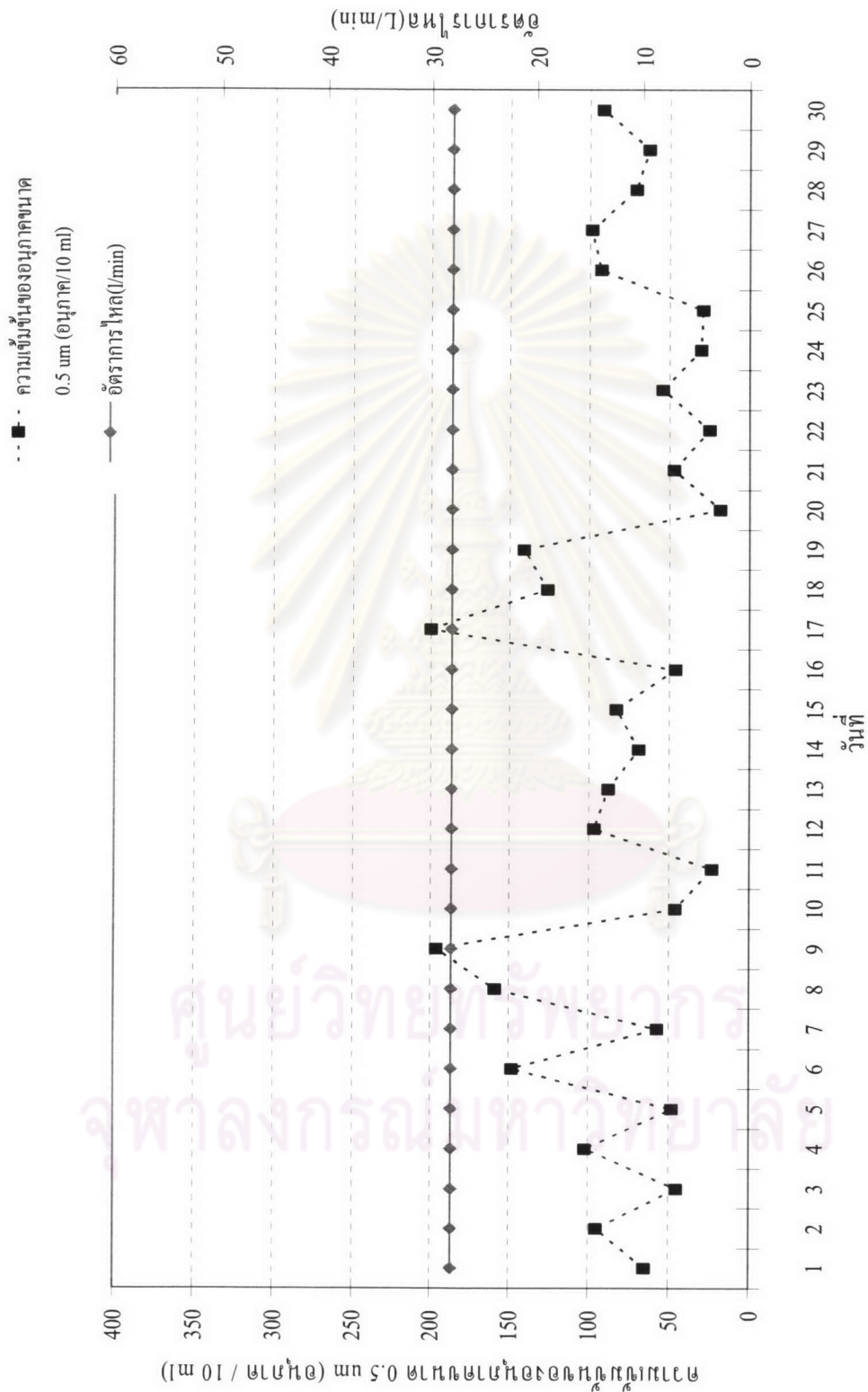
รูปที่ ๙.๙ อัตราการไหลของสารละลายกับความชื้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 1



รูปที่ ข.10 อัตราการไหลของสารละลายกับความชื้นของอนุภาคขนาด 0.5 μm ในสารละลายในถังที่ 2



รูปที่ ข.11 อัตราการไหลของสารละลายกับความชื้นของอนุภาคขนาด 0.5 um ในสารละลายในถังที่ 3



รูปที่ ข.12 อัตราการไหลของสารละลายกับความเข้มข้นของอนุภาคขนาด 0.5 μm ในสารละลายในถังที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ โปรแกรม MINITAB

Worksheet size: 100000 cells

General Factorial Design

Factors: 2 Factor Levels: 3, 2

Runs: 12 Replicates: 2, blocked on replicates

General Linear Model

Factor	Type	Levels	Values			
Blocks	fixed	2	1	2		
temp	fixed	3	32	33	34	(Unit : °C)
flow rate	fixed	2	51	53		(Unit : L/min)

Analysis of Variance for NG bearing , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.04941	0.04941	0.04941	0.87	0.394
temp	2	0.07752	0.07752	0.03876	0.68	0.547
flow	1	0.05741	0.05741	0.05741	1.01	0.361
temp*flow	2	0.07182	0.07182	0.03591	0.63	0.569
Error	5	0.28374	0.28374	0.05675		
Total	11	0.53989				

Least Squares Means for NG bearing

Temp	Mean	StDev
32	0.8600	0.05657
33	1.0225	0.16617
34	0.8450	0.18385

Flow rate (L/min)	Mean	StDev
51	0.9783	0.16003
53	0.8400	0.10828

Temp*Flow		Mean	StDev
32	51	0.8200	0.14142
32	53	0.9000	0.36770
33	51	1.1400	0.09899
33	53	0.9050	0.34648
34	51	0.9750	0.07778
34	53	0.7150	0.20506



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.5 แบบฟอร์มตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of variance, ANOVA)

Source of variation	Degree of freedom	Sum of squares	Mean squares
Treatment	ab-1		
A	a-1	SS _A	MS _A
B	b-1	SS _B	MS _B
AB	(a-1)(b-1)	SS _{AB}	MS _{AB}
Error	ab(r-1)	SS _E	MS _E
Total	abr-1	SS _T	

สัญลักษณ์ และสูตรคำนวณ

SS_A = ค่าวัดความผันแปรของค่าเฉลี่ยของระดับปัจจัย ASS_B = ค่าวัดความผันแปรของค่าเฉลี่ยของระดับปัจจัย BSS_{AB} = ค่าวัดความผันแปรของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ BSS_E = ผลรวมของความผันแปรที่ไม่ทราบสาเหตุSS_T = ค่าวัดความผันแปรของค่าสังเกตทั้งหมด

a = ระดับของปัจจัย A

b = ระดับของปัจจัย B

r = จำนวนชุดของการทำซ้ำ

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r X_{ijk}^2 - \frac{X^2}{abr}$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{X_{..i}^2}{br} - \frac{X^2}{abr}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{X_{.j}^2}{ar} - \frac{X^2}{abr}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{X_{.ij}^2}{r} - \frac{X^2}{abr} - SS_A - SS_B$$

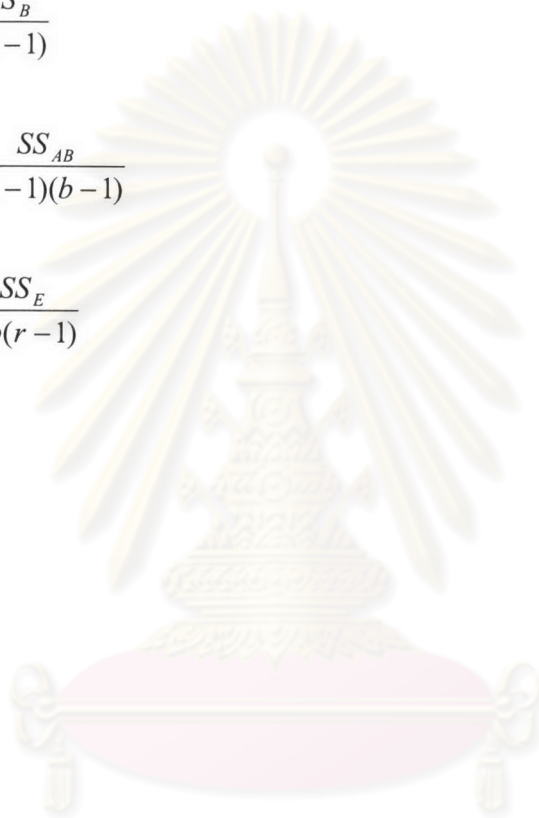
$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{(a-1)}$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{(b-1)}$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{ab(r-1)}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจิตติมา วรวงศ์ไกรศรี เกิดเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบางแพปฐมพิทยา จังหวัดราชบุรี ในปีการศึกษา 2536 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2540 จากนั้นได้เริ่มทำงานในบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับชิ้นส่วน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พร้อมกับได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี(ภาคนอกเวลาราชการ) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย