

## รายการอ้างอิง

- Andrews, B.A., In 'Separations for Biotechnology 3', Eds: Pyle, D.L., 1994, p.29-35, Bookcraft (Bath) Ltd., U.K.
- Bauer, K., Garbe, D., Surburg, H., In 'Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (5<sup>th</sup> ed.)', 1985, p.167-169, Federal Republic of Germany.
- Binks, B., Chemistry and Industry, 1993, July (14), 537-541.
- Borzeix, F., Monot, F., Vandecasteele, J.P. 1992. Strategies for Enzymatic Esterification in Organic Solvents: Comparison of Microaqueous, Biphasic and Micellar systems. Enzyme. Microb. Technol. 14: 791-797.
- Bovara, R., Carrea, G., Ottolina, G., Riva, S. 1993. Water Activity does not Influence the Enantioselectivity of Lipase PS and Lipoprotein Lipase in Organic Solvents. Biotechnol. Lett. 15: 169-174.
- Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter, J.S. In 'Statistics for Experimenters', 1985, p.143-291, John Wiley & Sons, New York.
- Bru, R., Ferrer, A.S., Carmona, F.G. 1989. A Theoretical Study on the Expression of Enzymic Activity in Reverse Micelles. Biochem. J. 259: 355-361.
- Bru, R., Ferrer, A.S., Carmona, F.G. 1990. The Effect of Substrate Partitioning on the Kinetics of Enzymes Acting in Reverse Micelles. Biochem. J. 268: 679-684.
- Cambou, B. and Klibanov, A.M. 1984. Comparison of Different Strategies for the Lipase-Catalyzed Preparative Resolution of Racemic Acids and Alcohols: Asymmetric Hydrolysis, Esterification, and Transesterification. Biotechnol. Bioeng. 26: 1449-1454.

- Chen, C.S., Wu, S.H., Girdaukas, G., Sih, C.J. 1987. Quantitative Analyses of Biochemical Kinetic Resolution of Enantiomers. 2. Enzyme-Catalyzed Esterifications in Water-Organic Solvent Biphasic System. J. Am. Chem. Soc. 109: 2812-2817.
- Chopineau, J., McCafferty, F.D., Therisod, M., Klibanov, A.M. 1988. Production of Biosurfactants from Sugar Alcohols and Vegetable Oils Catalyzed by Lipases in a Nonaqueous Medium. Biotechnol. Bioeng. 31: 208-214.
- Claon, P.A., Akoh, C.C. 1994. Lipase Catalyzed Synthesis of Terpene Esters by Transesterification in n-Hexane. Biotech. Letters. 16: 235-240.
- Dekker, M., Hilhorst, R., Laane, C. 1989. Isolating Enzymes by Reversed Micelles. Analytical. Biochemistry. 178: 217-226.
- Derfer, J.M., Derfer, M.M. In 'Encyclopedia of Chemical Technology', (3<sup>rd</sup> ed.), 1985, p.742-745, Wiley-interscience.
- El Seoud, In 'Reverse Micelles', Eds: Luisi, P.L., and Straub, B.E. 1984, p.81, Plenum Press, New York.
- Faber, K., In 'Biotransformations in Organic Chemistry-A Text Book' (2<sup>nd</sup> ed.), 1995, Springer-Verlag, Germany.
- Faure, A., Tistchenko, A.M., Zemb, T., Chachaty, C. 1985. Aggregation and Dynamical Behavior in Sodium Diethylhexyl Phosphate/Water/Benzene Inverted Micelles. J. Phys. Chem. 89: 3373-3378.
- Faure, A., Ahlnas, T., Tistchenko, A.M., Chachaty, C. 1987. Surfactant Conformation and Solvent Penetration in Sodium Di-2-ethylhexyl Phosphate Reversed Micelles. A Multinuclear Relaxation Study. J. Phys. Chem. 91: 1827-1834.
- Fletcher, P.D.I., Freedman, R.B., Robinson, B.H., Rees, G.D., Schomacker, R. 1987. Lipase-catalysed ester synthesis in oil-continuous microemulsions. Biochimica et Biophysica Acta. 912: 278-282.

- Foumeron, J.D., Chiche, M., Pieroni, G. 1990. Stereoselective lipase-Catalyzed Acylation of Terpenic Allylic Alcohols by Fatty Acid Anhydrides. Tetrahedron Letters. 31: 4875-4878.
- Goldberg, M., Thomas, D., Legoy, M.D. 1990. The Control of Lipase-Catalysed Trans-esterification and Esterification Reaction Rates: Effects of Substrate Polarity, Water Activity and Water Molecules on Enzyme Activity. Eur. J. Biochem. 190: 603-609.
- Goto, Ma., Goto, Mu., Kamiya, N., Nakashio, F. 1995. Enzymatic Interesterification of Triglyceride with Surfactant-Coated Lipase in Organic Media. Biotechnol. Bioeng. 45: 27-32.
- Han, D., Rhee, J.S., 1985. Batchwise Hydrolysis of Olive Oil by Lipase in AOT-Isooctane Reversed Micelles. Biotechnol. Lett. 7: 651-656.
- Han, D., Rhee, J.S., 1986. Characteristics of Lipase-Catalyzed Hydrolysis of Olive Oil in AOT-Isooctane Reversed Micelles. Biotechnol. Bioeng. 28: 1250-1255.
- Han, D., Rhee, J.S., 1987. Lipase reaction in AOT-Isooctane Reversed Micelles. Biotechnol. Bioeng. 30: 381-388.
- Hilhorst, R., Spruijt, R., Laane, C., Veeger, C. 1984. Eur. J. Biochem. 144: 459-466.
- Hu, Z., Gulari, E. 1995. Protein Extraction Using the Sodium Bis(2-ethylhexyl) Phosphate (NaDEHP) Reverse Micellar System. Biotechnol. Bioeng. 50: 203-206.
- Jain, T.K., Varghney, M., Maitra, A. 1989. Structural Studies of Aerosol OT Reverse Micellar Aggregates by FT-IR Spectroscopy. J. Phy. Chem. 93: 7409-7416.
- Janssen, A.E.M., Padt, A.V., Riet, K.V. 1993. Solvent Effects on Lipase-Catalyzed Esterification of Glycerol and Fatty Acids. Biotechnol. Bioeng. 42: 953-962.

- Kamiya, N., and Goto, M. 1997. How Is Enzymatic Selectivity of Menthol Esterification Catalyzed by Surfactant-Coat Lipase Determined in Organic Media?. Biotechnol. Prog. 13: 488-492.
- Kamiya, N., Goto, M., Nakashio, F. 1995. Surfactant-Coated Lipase Suitable for the Enzymatic Resolution of Menthol as a Biocatalyst in Organic Media. Biotechnol. Prog. 11: 270-275.
- Kuntz, I.D., and Kauzmann, W. 1974. Advance Protein Chemical. 28: 239-345.
- Laane, C., Boeren, S., Vos, K., Veeger, C. 1987, Rules for Optimization of Biocatalysis in Organic Solvents. Biotechnol. Bioeng. 30: 81-87.
- Lang, J., Lalem, N., Zana, R. 1991. Quaternary Water in Oil Microemulsions. 1. Effect of Alcohol Chain Length and Concentration on Droplet Size and Exchange of Material between Droplets. J. Phys. Chem. 95: 9533-9541.
- Langrand, G., Baratti, J., Buono, G., Triantaphylides, C. 1986. Lipase Catalyzed Reaction and Strategy for Alcohol Resolution. Tetrahedron. Lett. 27: 29-32.
- Langrand, G., Triantaphylides, C., Baratti, J. 1988. Lipase Catalyzed formation of Flavour Esters. Biotech. Letters. 8: 549-554.
- Leung, R., Hou, M.J., Shah, D.O., In 'Surfactants in Chemical Process Engineering', Eds: Wasan, D.T., Ginn, M.E., Shah, D.O. 1991. p.315-365, Aluminum Company of America.
- Likhtenshtein, G.I., Belonogova, O.V., Levashov, A.V., Khmel'nitski, Y.L., Klyachko, N.L., Martinek, K. 1983. Biokhimiya. 48: 379-386.
- Linfield, W.M., O'Brien, D.J., Serota, S., Robert, A. 1984. Lipid-Lipase Interactions. I. Fat Splitting with Lipase from *Candida Rugosa*. J. Am. Oil. Chem. Soc. 61: 1067-1071.
- Lokotsch, W., Fritsche, K., Sydatk, C. 1989. Resolution of D,L-Menthol by Interesterification with Triacetin Using the Free and Immobilized Lipase of *Candida Cylindracea*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 31: 467-472.

- Macrae, A.R. 1983. Lipase-Catalyzed Interesterification of Oils and Fats. J. Am. Oil Chem. Soc. 60: 291-294.
- Martinek, K., Levashov, A.V., Klyachko, N.L., Khmel'nitski, Y.L., Berezin, I.V. 1986. Eur. J. Biochem. 155: 453-468.
- Matzke, S.F., Creagh, A.L., Prausnitz, J.M., Blanch, H.W. 1992. Mechanisms of Protein Solubilization in Reverse Micelles. Biotechnol. Bioeng. 40: 91-102.
- Myers, R.H. In 'Response Surface Methodology', Eds: Allyn and Bacon. 1971, p.27-175. Inc. Boston.
- Monot, F., Borzeix, F., Bardin, M., Vandecastels, J.P. 1991. Enzymatic Esterification in Organic Media. Appl. Microbial. Biotechnol. 35: 759-765.
- Nicholson, J.D., and Clark, J.H.R. In 'Surfactant in Solution', Eds: Mittal, K., and Lindman, B. 1984, p.1663, Plenum Press, New York.
- Nicot, C., Vacher, M., Vincent, M., Gallay, J., Waks, M. 1985. Biochemistry. 24: 7024-7032.
- Parker, S.P., In 'Dictionary of Scientific and Technical Terms', (4<sup>th</sup> ed.), 1989, McGraw-Hill, U.S.A.
- Pilóni, M.P. 1993. Reversed Micelles as Microreactors. J. Phys. Chem. 97: 6961-6973.
- Posorske, L.H. 1984, Industrial-Scale Application of Enzymes to the Fats and Oils Industry. J. Am. Oil Chem. Soc. 61: 1758-1760.
- Segel, I.H. 1975. Enzyme Kinetics. Wiley, New York.
- Shiol, A., Harada, M., Matsumoto, K. 1991. Phase Equilibrium of Sodium Bis(2-ethylhexyl) Phosphate / Water / n-Heptane / Sodium chloride Microemulsion. J. Phys. Chem. 95: 7495-7502.
- Shiol, A., Harada, M., Tanabe, M. 1993. Effect of Organic Solvent on the Aggregates' Geometry and Winsor II/III Transition in the Sodium Bis(2-ethylhexyl) Phosphate System. J. Phys. Chem. 97: 8281-8288.

- Stamatis, H., Xenakis, A., Kolisis, F.N., Provelegiou, M. 1993a. Esterification Reactions Catalyzed by Lipase in Microemulsions: The Role of Enzyme Localization in Relation to Its Selectivity. Biotechnol. Bioeng. 42: 103-110.
- Stamatis, H., Xenakis, A., Menge, U., Kolisis, F.N. 1993b. Kinetic Study of Lipase Catalyzed Esterification Reactions in Water-in-Oil Microemulsions. Biotechnol. Bioeng. 42: 931-937.
- Stamatis, H., Xenakis, A., Kolisis, F.N. 1993c. Enantiomeric Selectivity of a Lipase from *Penicillium simplicissimum* in the Esterification of Menthol in Microemulsions. Biotechnol. Lett. 15: 471-476.
- Stamatis, H., Xenakis, A., Dimitriadis, E., Kolisis, F.N. 1995. Catalytic Behavior of *Pseudomonas cepacia* Lipase in Water-in-Oil Microemulsions. Biotechnol. Bioeng. 45: 33-41.
- Steinmann, B., Jackle, H., Luisi, P.L. 1986. Biopolymers. 25: 1133-1139.
- Therisod, M., Kilbanov, A.M. 1986. Facile Enzymatic Preparation of Monoacylated Sugars in Pyridine. J. Am. Chem. Soc. 108: 5638-5640.
- Therisod, M., Kilbanov, A.M. 1987. Regioselective Acylation of Secondary Hydroxyl Groups in Sugars Catalyzed by Lipase in Organic Solvents. J. Am. Oil. Chem. Soc. 109: 3977-3981.
- Valls, T.P., Xenakis, A., Kolisis, F.N. 1992. Comparative Studies of Lipase from *Rhizopus delemar* in various Microemulsion System. Biocatalysis. 6: 267-279.
- Verhaert, R.M.D., Hilhorst, R., Vermue, M., Schaafsma, T.J., Veeger, C. 1990. Description of Enzyme Kinetics in Reversed Micelles. Eur. J. Biochem. 187: 59-72.
- Walde, P., Peng, Q., Fadnavis, N.W., Battistel, E., Luisi, P.L. 1988. Eur. J. Biochem. 173: 401-409.

- Wang, Y.F., Lalonde, J.J., Momongan, M., Bergbrater, D.E., Wang, C.H. 1988. Lipase-Catalyzed Irreversible Transesterifications Using Enol Esters as Acylating Reagents. J. Am. Chem. Soc. 110: 7200-7205.
- Yee, L.N., Akoh, C.C., Phillips, R.S. 1995. Terpene Ester Synthesis by Lipase-Catalyzed Transesterification. Biotechnol. Letters. 17: 67-70.
- Zaks, A., Klivanov, A.M. 1988. The Effect of Water on Enzyme Action in Organic Media. J. Biol. Chem. 263: 8017-8021.
- Zulauf, M., Eicke, H.F. 1979. Inverted Micelles and Microemulsions in the Ternary System H<sub>2</sub>O / Aerosol OT / Isooctane as Studied by Proton Correlation Spectroscopy. J. Phys. Chem. 83: 480-483.
- สุวรรณ เศรษฐนันนท์. "มินต์และผลิตภัณฑ์ของมินต์". วิทยาศาสตร์การอาหาร (วารสารเพื่อวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ปีที่ 16, เล่มที่ 3, กันยายน 2538, หน้า 30-35.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

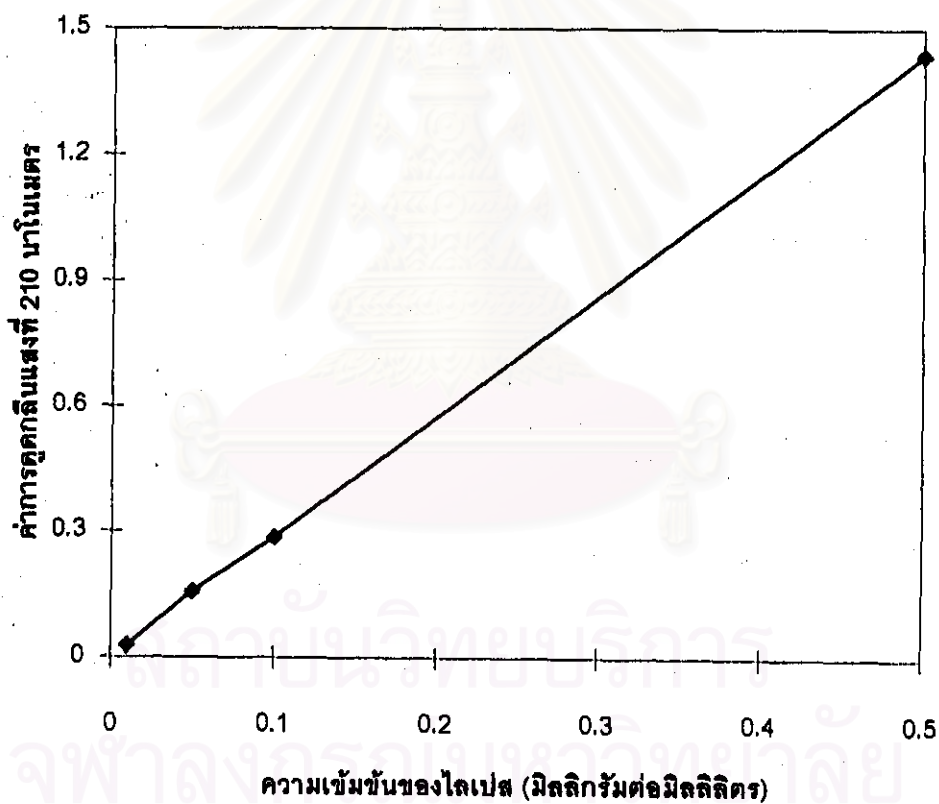




สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 ค่ามาตรฐานของการดูดกลืนแสงของไลเปสที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

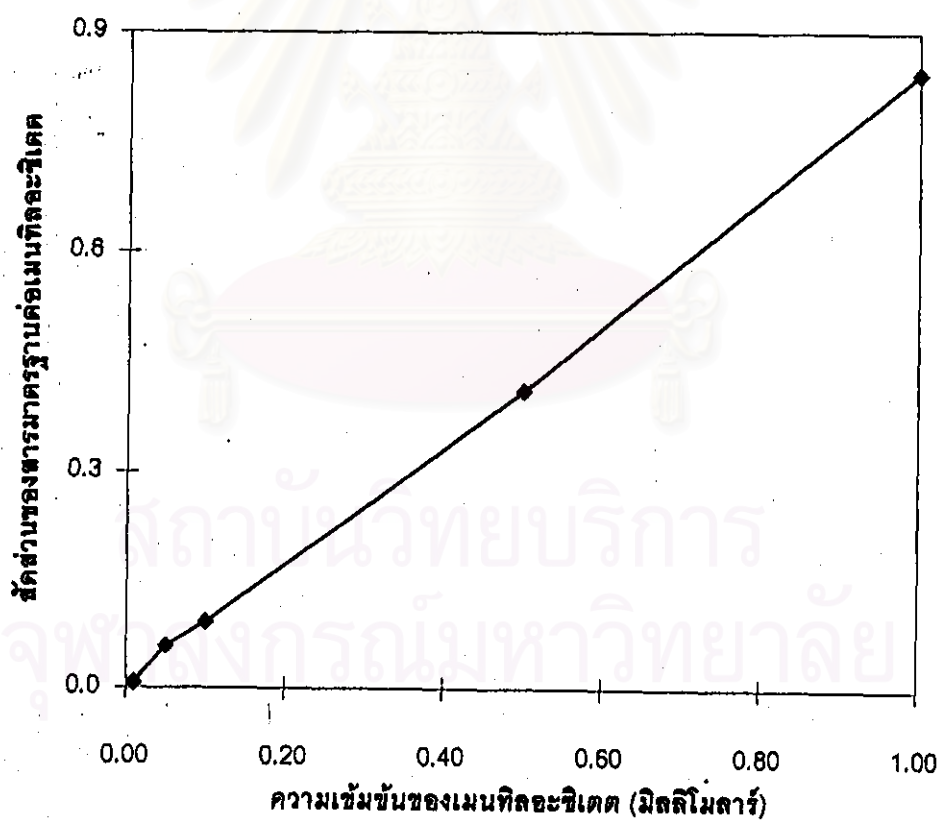
ความเข้มข้นของไลเปส (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงของไลเปสที่ 210 นาโนเมตร			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
0.01	0.0257	0.0266	0.026	0.0261
0.05	0.1529	0.1541	0.1535	0.1535
0.1	0.2847	0.2853	0.2865	0.2855
0.5	1.4373	1.4389	1.4364	1.4375



รูปที่ ก1 ค่ามาตรฐานของการดูดกลืนแสงของไลเปสที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

ตารางที่ ก2 ค่ามาตรฐานของแมนทีลอะซีเตดจากการวิเคราะห์ด้วยแกสโครมาโตกราฟี

ความเข้มข้นของแมนทีลอะซีเตด (มิลลิโมลาร์)	สัดส่วนของสารมาตรฐานต่อแมนทีลอะซีเตด			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
0.01	0.00573	0.00606	0.00695	0.00625
0.05	0.06063	0.06123	0.05074	0.05753
0.10	0.08025	0.10933	0.08400	0.09119
0.50	0.37913	0.45517	0.39900	0.41110
1.00	0.74997	0.89904	0.88090	0.84330



รูปที่ ก2 ค่ามาตรฐานของแมนทีลอะซีเตดจากการวิเคราะห์ด้วยแกสโครมาโตกราฟี

ตารางที่ ก3 ความสามารถในการละลายของไลเปสที่ 0.1 โมลาร์ SDEHP

ความเข้มข้นของ บัฟเฟอร์ (โมลาร์)	0.025 M NaCl				0.05 M NaCl			
	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ
	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์
0.025	1.0758	0.374	0.126	25.2	1.0368	0.36	0.14	27.9
0.05	1.0231	0.356	0.144	28.9	1.0106	0.351	0.149	29.7
0.1	1.085	0.377	0.123	24.6	1.0495	0.365	0.135	27
0.2	1.097	0.381	0.119	23.7	1.0602	0.369	0.131	26.3

ความเข้มข้นของ บัฟเฟอร์ (โมลาร์)	0.1 M NaCl				0.2 M NaCl			
	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ
	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์
0.025	1.057	0.367	0.133	26.5	1.1204	0.39	0.11	22.1
0.05	1.0121	0.352	0.148	29.6	1.1043	0.384	0.116	23.2
0.1	1.0671	0.371	0.129	25.8	1.1559	0.402	0.098	19.6
0.2	1.0948	0.381	0.119	23.9	1.222	0.425	0.075	15

ตารางที่ ก4 ความสามารถในการละลายของไลเปสที่ 0.1 โมลาร์ NaCl

ความเข้มข้นของ บัพเฟอร์ (โมลาร์)	0.025 M SDEHP				0.05 M SDEHP			
	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ
	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์
0.025	1.0418	0.362	0.138	27.6	1.0369	0.36	0.14	27.9
0.05	1.0125	0.352	0.148	29.6	0.9926	0.345	0.155	31
0.1	1.0302	0.358	0.142	28.4	1.0237	0.356	0.144	28.8
0.2	1.065	0.37	0.13	25.9	1.0532	0.366	0.134	26.8

ความเข้มข้นของ บัพเฟอร์ (โมลาร์)	0.1 M SDEHP				0.2 M SDEHP			
	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของไลเปส	ความเข้มข้นของไลเปส	ความสามารถในการ
	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำละลายน้ำ	ในตัวทำอินทรีย์	ละลายในตัวทำอินทรีย์
0.025	1.0567	0.367	0.133	26.5	1.0915	0.379	0.121	24.1
0.05	1.0121	0.352	0.148	29.6	1.0414	0.362	0.138	27.6
0.1	1.0463	0.364	0.136	27.2	1.0948	0.381	0.119	23.9
0.2	1.0948	0.381	0.119	23.9	1.1503	0.4	0.1	20

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทิลอะซิเตต กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองแบบสองระดับ

เวลา (ชั่วโมง)	ชุดของการทดลอง															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	0.0000	0.0008	0.0131	0.0005	0.0037	0.0060	0.0000	0.0142	0.0000	0.0000	0.0180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000
45	0.0008	0.0083	0.0223	0.0050	0.0144	0.0042	0.0161	0.0164	0.0000	0.0071	0.0348	0.0000	0.0000	0.0000	0.0172	0.0102
90	0.0144	0.0110	0.0383	0.0125	0.0250	0.0473	0.0306	0.0276	0.0153	0.0161	0.0778	0.0032	0.0172	0.0028	0.0419	0.0325
120	0.0402	0.0151	0.0486	0.0154	0.0375	0.0929	0.0784	0.0416	0.0304	0.0406	0.1136	0.0045	0.0189	0.0084	0.0657	0.0372

ตารางที่ ก6 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเมทิลอะซิเตต กับเวลาของการเกิดปฏิกิริยาในการทดลองแบบองค์ประกอบตรงกลาง

เวลา (ชั่วโมง)	ชุดของการทดลอง														
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
45	0.0216	0.0000	0.0000	0.0215	0.0000	0.0000	0.0184	0.0085	0.0278	0.0174	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
75	0.0465	0.0253	0.0113	0.0577	0.0230	0.0484	0.0451	0.0221	0.0367	0.0166	0.0439	0.0452	0.0448	0.0577	
100	0.0756	0.0339	0.0241	0.0698	0.0305	0.0635	0.0809	0.0378	0.0583	0.0378	0.0604	0.0638	0.0578	0.0631	
120	0.0878	0.0480	0.0246	0.1027	0.0551	0.1030	0.1025	0.0517	0.0758	0.0569	0.0750	0.0813	0.0821	0.0797	

ตารางที่ ก7 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ  $W_o$  กับความเข้มข้นของเมทอล

ความเข้มข้นของเมทอล (มิลลิโมลาร์)	$W_o$				
	0.5	1	1.5	2	2.5
10	0.0000	0.5218	4.0805	5.1514	3.7345
20	4.2247	8.3660	10.0195	9.1852	5.8631
30	11.0371	13.2732	13.0215	10.2820	5.0547
40	14.9125	15.2434	13.0865	8.4418	1.3093
50	15.8509	14.2766	10.2145	3.6646	0.0000

ตารางที่ ก8 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ  $W_o$  กับความเข้มข้นของไตรอะซิทีน

ความเข้มข้นของไตรอะซิทีน (มิลลิโมลาร์)	$W_o$				
	0.5	1	1.5	2	2.5
20	9.7495	9.6544	7.0715	2.0008	0.0000
35	11.3662	12.4367	11.0194	7.1143	0.7214
50	11.0371	13.2732	13.0215	10.2820	5.0547
65	8.7622	12.1639	13.0778	11.5039	7.4422
80	4.5415	9.1088	11.1883	10.7800	7.8839

ตารางที่ ก9 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ  $W_o$  กับอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$W_o$				
	0.5	1	1.5	2	2.5
10	5.2751	6.4456	5.1283	1.3232	0.0000
20	9.6946	11.3979	10.6134	7.3411	1.5810
30	11.0371	13.2732	13.0215	10.2820	5.0547
40	9.3026	12.0715	12.3526	10.1459	5.4514
50	4.4911	7.7928	8.6067	3.9328	2.7711

ตารางที่ ก10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของ pH กับความเข้มข้นของไตรอะซิทีน

pH	ความเข้มข้นของไตรอะซิทีน (มิลลิโมลาร์)				
	20	35	50	65	80
6.0	0.0000	5.6352	10.6321	13.6832	14.7885
6.5	3.8699	9.3152	12.8147	14.3684	13.9763
7.0	7.0715	11.0194	13.0215	13.0778	11.1883
7.5	8.2973	10.7478	11.2525	9.8114	6.4245
8.0	7.5473	8.5004	7.5077	4.5692	0.0000

ตารางที่ ก 11 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแมนทอลกับไดอะอะซิติกต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ

ความเข้มข้นของแมนทอล (มิลลิโมลาร์)	ความเข้มข้นของไดอะอะซิติก (มิลลิโมลาร์)					
	20.0	30.0	57.0	65.0	75.0	80.0
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15.0	2.6509	4.8722	7.6897	7.4815	6.4361	5.6001
20.0	4.0587	6.9225	10.2908	10.0812	9.0340	8.1971
25.0	5.9322	8.7942	12.1577	11.9468	10.8976	10.0598
30.0	7.0715	9.9317	13.2903	13.0778	12.0269	11.1883
35.0	7.4765	10.3349	13.6887	13.4747	12.4221	11.5825
40.0	7.1473	10.0039	13.3528	13.1374	12.0829	11.2425
45.0	6.0838	8.9386	12.2826	12.0658	11.0095	10.1682
50.0	4.2861	7.1391	10.4782	10.2600	9.2019	8.3597

ตารางที่ ก 12 ความสัมพันธ์ของส่วนกลับความเข้มข้นของแมนทอลกับความเข้มข้นของไดอะอะซิติกต่อส่วนกลับของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ

ส่วนกลับความเข้มข้นแมนทอล (มิลลิโมลาร์) <sup>-1</sup>	ความเข้มข้นของไดอะอะซิติก (มิลลิโมลาร์)					
	20.0	30.0	57.0	65.0	75.0	80.0
0.0667	0.3892	0.2317	0.1300	0.1337	0.1554	0.1786
0.0500	0.2464	0.1445	0.0972	0.0992	0.1107	0.1220
0.0400	0.1686	0.1137	0.0823	0.0837	0.0918	0.0994
0.0333	0.1414	0.1007	0.0752	0.0765	0.0831	0.0894
0.0286	0.1338	0.0968	0.0731	0.0742	0.0805	0.0863
0.0250	0.1399	0.1000	0.0749	0.0761	0.0828	0.0889
0.0222	0.1644	0.1119	0.0814	0.0829	0.0908	0.0983
0.0200	0.2333	0.1401	0.0954	0.0975	0.1087	0.1196



ตารางที่ ก13 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยาในระบบรีเวิร์สไมเซลล์กับระบบตัว  
ทำละลายอินทรีย์

ระบบรีเวิร์สไมเซลล์		ระบบตัวทำละลายอินทรีย์		
เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา ที่ 0.1 mg/ml โลเปส	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา	
			ที่ 0.1 mg/ml โลเปส	ที่ 10 mg/ml โลเปส
0	0.000	0.0	0.000	0.0
21	0.005	4.5	0.037	3.7
45	0.010	21.0	0.150	15.0
90	0.020	23.0	0.155	15.5
120	0.027	38.0	0.225	22.5
		50.0	0.280	28.0
		78.0	0.320	32.0
		107.0	0.343	34.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (P) ของเรซิมิกเนนทอลและไตรอะซิดินตามค่า pH

pH	เรซิมิกเนนทอล				ไตรอะซิดิน			
	Ab.org	[เนนทอล]org	[เนนทอล]aq	P	Ab.org	[ไตรอะซิดิน]org	ไตรอะซิดิน	P
6.0	0.3924	32.64	0.58	56.28	1.6233	25.97	23.21	1.119
6.5	0.3914	32.51	0.71	45.79	1.5894	25.37	23.81	1.066
7.0	0.3913	32.49	0.73	44.51	1.5799	25.2	23.98	1.051
7.5	0.3918	32.56	0.66	49.33	1.6228	25.96	23.22	1.118

[เนนทอล]เริ่มต้น เท่ากับ 33.22 mM (abs = 0.3969)

[ไตรอะซิดิน]เริ่มต้น เท่ากับ 49.18 mM (abs = 2.2072)

ตารางที่ 15 ความสามารถในการละลายน้ำของเรซิมิกเนนทอลกับไตรอะซิดิน ที่ pH = 7, อุณหภูมิ = 30 องศาเซลเซียส

เรซิมิกเนนทอล			ไตรอะซิดิน		
ความเข้มข้นรวม	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นในน้ำ	ความเข้มข้นรวม	ค่าดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นในน้ำ
12.8	0.1419	0.10	21.17	0.5086	6.27
19.2	0.1434	0.30	31.76	0.9246	13.62
25.6	0.1437	0.34	52.93	1.5413	24.52
32.0	0.1438	0.35	79.40	1.6578	26.58
38.4	0.1436	0.32	105.86	1.6581	26.58



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ข1 การวางแผนการออกแบบการทดลอง (experimental design)

การวางแผนการออกแบบการทดลองจะแบ่งเป็นสองช่วงคือ ช่วงแรกเป็นการทดลองแบบระดับ  $2^{5-1}$  ( $2^{5-1}$  factorial design) เพื่อหาว่าผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยามีอย่างน้อยเพียงใด ส่วนในช่วงที่สองจะเป็นการทดลองแบบหาส่วนประกอบตรงกลาง (central composition design) เพื่อหาสมการทำนายค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่มีผลมาจากตัวแปรทั้งห้า

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารลดแรงตึงผิว ( $W_0$ ) เป็น  $x_1$ , ความเข้มข้นของเรซิไมกเมนทอลเป็น  $x_2$ , ความเข้มข้นของไตรอะซิตินเป็น  $x_3$ , ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็น  $x_4$ , และอุณหภูมิเป็น  $x_5$  โดยการออกแบบการทดลองจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะศึกษาถึงตัวแปรทั้งห้าในสองระดับ (ที่ระดับ +1 และ -1) ตามตารางที่ ข1 โดยที่ระดับของแต่ละตัวแปรถูกกำหนดโดยค่าจริงของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง โดยตัวเลขที่ถูกนำมาลบจากค่าจริงของตัวแปรจะเป็นค่าที่อยู่ตรงกลางของแต่ละตัวแปร ส่วนตัวหารในแต่ละสมการก็จะเป็นค่าของผลต่างของค่าจริงในแต่ละระดับ

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{W_0 - 1.5}{0.5} \\
 x_2 &= \frac{\text{ความเข้มข้นของเรซิไมกเมนทอล} - 30}{10} \\
 x_3 &= \frac{\text{ความเข้มข้นของไตรอะซิติน} - 50}{15} \\
 x_4 &= \frac{\text{ความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์} - 7.0}{0.5} \\
 x_5 &= \frac{\text{อุณหภูมิ} - 35}{5}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ๗1 การวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ  $2^{(6-1)}$ 

ชุดทดลอง ที่	ระดับของตัวแปร					ค่าของตัวแปร				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$w_0$	[แมนทอล] (mM)	[ไทรอะซิดีน] (mM)	pH	อุณหภูมิ (C)
1	-1	-1	-1	-1	+1	1.0	20	35	6.5	40
2	+1	-1	-1	-1	-1	2.0	20	35	6.5	30
3	-1	+1	-1	-1	-1	1.0	40	35	6.5	30
4	+1	+1	-1	-1	+1	2.0	40	35	6.5	40
5	-1	-1	+1	-1	-1	1.0	20	65	6.5	30
6	+1	-1	+1	-1	+1	2.0	20	65	6.5	40
7	-1	+1	+1	-1	+1	1.0	40	65	6.5	40
8	+1	+1	+1	-1	-1	2.0	40	65	6.5	30
9	-1	-1	-1	+1	-1	1.0	20	35	7.5	30
10	+1	-1	-1	+1	+1	2.0	20	35	7.5	40
11	-1	+1	-1	+1	+1	1.0	40	35	7.5	40
12	+1	+1	-1	+1	-1	2.0	40	35	7.5	30
13	-1	-1	+1	+1	+1	1.0	20	65	7.5	40
14	+1	-1	+1	+1	-1	2.0	20	65	7.5	30
15	-1	+1	+1	+1	-1	1.0	40	65	7.5	30
16	+1	+1	+1	+1	+1	2.0	40	65	7.5	40

สำหรับระดับของตัวแปรทั้งห้าที่ถูกใช้ในการออกแบบการทดลองสามารถแสดงเป็นค่าจริงของตัวแปรทั้งห้าได้ตามตารางที่ ข2

ตารางที่ ข2 ระดับและค่าจริงของตัวแปรในการออกแบบการทดลอง

ตัวแปร	ระดับ				
	-2	-1	0	+1	+2
1. $w_0(x_1)$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
2. ความเข้มข้นของเรซิมิก เมนทอล ( $x_2$ )	10	20	30	40	50
3. ความเข้มข้นของไตรอะซิดีน ( $x_3$ )	20	35	50	65	80
4. ความเป็นกรด-ด่าง ( $x_4$ )	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
5. อุณหภูมิ ( $x_5$ )	25	30	35	40	45

จากการวางแผนการออกแบบการทดลองสามารถนำมาหาอิทธิพลของการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะโดยการคำนวณแบบ "Yates algorithm" [Box และคณะ, 1985] โดยจะสามารถบอกได้ว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลหลัก (main effect) และ/หรือ มีอิทธิพลร่วม (interaction effect) กับตัวแปรอื่นต่อการเกิดปฏิกิริยา

การวางแผนการทดลองในขั้นตอนที่สองจะเป็นการทดลองในส่วนที่ขยายระดับจากขั้นตอนแรกออกมาอีกหนึ่งระดับ โดยการทดลองจะทำในช่วงระดับที่ +2 และ -2 ตามตารางที่ ข3 ซึ่งผลจากการทำในขั้นตอนนี้หรือที่เรียกว่าเป็น CCD (central composite design) สามารถนำมาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะในรูปแบบที่มากกว่าอันดับหนึ่ง (quadratic polynomial) โดยอาศัยการวิเคราะห์จากสมการถดถอยแบบกำลังสอง (least square regression) [Myers, 1971] ดังแสดงในตารางที่ ข9 และ ข10 ซึ่งสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลของการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา

ตารางที่ ๒3 การวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ CCD (central composite design)

ชุด ทดลอง ที่	ระดับของตัวแปร					ค่าของตัวแปร				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$w_0$	[แมนทอล] (mM)	[ไตรอะซิติก] (mM)	pH	อุณหภูมิ (°C)
17	-2	0	0	0	0	0.5	30	50	7.0	35
18	+2	0	0	0	0	2.5	30	50	7.0	35
19	0	-2	0	0	0	1.5	10	50	7.0	35
20	0	+2	0	0	0	1.5	50	50	7.0	35
21	0	0	-2	0	0	1.5	30	20	7.0	35
22	0	0	+2	0	0	1.5	30	80	7.0	35
23	0	0	0	-2	0	1.5	30	50	6.0	35
24	0	0	0	+2	0	1.5	30	50	8.0	35
25	0	0	0	0	-2	1.5	30	50	7.0	25
26	0	0	0	0	+2	1.5	30	50	7.0	45
27	0	0	0	0	0	1.5	30	50	7.0	35
28	0	0	0	0	0	1.5	30	50	7.0	35
29	0	0	0	0	0	1.5	30	50	7.0	35
30	0	0	0	0	0	1.5	30	50	7.0	35

ผลการทดลองจากการใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลองการทดลองจะแสดงในรูปของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (initial rate) และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะของการออกแบบการทดลองแบบสองระดับ (two factorial design) ดังแสดงในตารางที่ ๒4 และการออกแบบการทดลองแบบองค์ประกอบตรงกลาง (central composition design, CCD) ดังแสดงในตารางที่ ๒8

ตารางที่ ๗4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะจากการ  
ทดลองแบบสองระดับ

ชุดทดลองที่	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น ( $\mu\text{M/hr}$ ) <sup>(1)</sup>	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ $\times 10^2$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}\ \text{enz}^{-1}$ )
1	0.3182	5.303
2	0.1049	1.748
3	0.3909	6.515
4	0.1401	2.335
5	0.3114	5.190
6	0.7623	12.705
7	0.6144	10.240
8	0.3089	5.148
9	0.2571	4.285
10	0.3203	5.338
11	0.9350	15.583
12	0.0416	0.693
13	0.1873	3.122
14	0.0662	1.103
15	0.5527	9.212
16	0.3531	5.885

<sup>(1)</sup> ผลการทดลองตามตาราง ก5

ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้จากการทำการออกแบบการทดลองในชุดทดลองที่ 1 ถึง 16 ตามตารางที่ ๗4 สามารถนำมาหาอิทธิพลหลัก (main effect) และอิทธิพลร่วม (interaction effect) ของแต่ละตัวแปรได้ดังตารางที่ ๗5 โดยใช้วิธี Yate's algorithm [Box และคณะ, 1985]



ตารางที่ ข5 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปร:  $W_0$ , ความเข้มข้นของ เรมิกเมนทอล และไตรอะซิติน, ความเป็นกรด-ด่างของฟอสเฟตบัพเฟอร์ และ จุณภูมิ ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะสำหรับการออกแบบการทดลอง ในระดับ  $2^{5-1}$

อิทธิพล	รหัสของตัวแปร	ค่าที่คำนวณได้ $\times 10^2$
ค่าเฉลี่ย	-	5.9
<b>อิทธิพลหลัก (main effects)</b>		
$W_0$	1	-3.06
[เมนทอล]	2	2.1
[ไตรอะซิติน]	3	1.35
ความเป็นกรด-ด่าง	4	-0.5
จุณภูมิ	5	3.33
<b>อิทธิพลร่วมสองตัวแปร (two-factor interactions)</b>		
$W_0 \times$ [เมนทอล]	12	-3.81
$W_0 \times$ [ไตรอะซิติน]	13	2.33
$W_0 \times$ ความเป็นกรด-ด่าง	14	-1.73
$W_0 \times$ จุณภูมิ	15	1.07
[เมนทอล] $\times$ [ไตรอะซิติน]	23	-0.01
[เมนทอล] $\times$ ความเป็นกรด-ด่าง	24	2.28
[เมนทอล] $\times$ จุณภูมิ	25	-0.21
[ไตรอะซิติน] $\times$ ความเป็นกรด-ด่าง	34	-2.99
[ไตรอะซิติน] $\times$ จุณภูมิ	35	-0.5
ความเป็นกรด-ด่าง $\times$ จุณภูมิ	45	0.33

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ผลของอิทธิพลหลักของ  $W_0$  ซึ่งจะแทนด้วยหมายเลข 1 สามารถหาค่าของอิทธิพลหลักได้โดยการนำเอาระดับของตัวแปร  $X_1$  ในตารางที่ ข1 ของแต่ละชุดทดลองไปคูณกับอัตราการผลิตปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้ในตารางที่ ข4 แล้วนำมารวมกัน และหารด้วย  $n/2$  (เมื่อ  $n$  คือ จำนวนชุดทดลองทั้งหมด) เช่น

$$\begin{aligned} \text{ค่าอิทธิพลหลักของ } W_0 &= 10^{-2} \times [(-1)(5.303) + (1)(1.748) + (-1)(6.515) + (1)(2.335) + \\ &\quad (-1)(5.19) + (1)(12.705) + (-1)(10.24) + (1)(5.148) + (-1)(4.285) + \\ &\quad (1)(5.338) + (-1)(15.583) + (1)(0.693) + (-1)(3.122) + \\ &\quad (1)(1.103) + (-1)(9.212) + (1)(5.885)] / 8 \\ &= -3.06 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

ส่วนผลของอิทธิพลร่วมสองตัวแปร สามารถหาได้คล้ายกับผลของอิทธิพลหลัก เช่น ผลของ  $W_0$  กับ [เมนทอล] ซึ่งจะแทนด้วยหมายเลข 12 สามารถหาค่าของอิทธิพลร่วมสองตัวแปรได้โดยการนำเอาระดับของตัวแปร  $X_1$  และ  $X_2$  ในตารางที่ ข1 ของแต่ละชุดทดลองไปคูณกับอัตราการผลิตปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้ในตารางที่ ข4 แล้วนำมารวมกัน และหารด้วย  $n/2$  เช่น

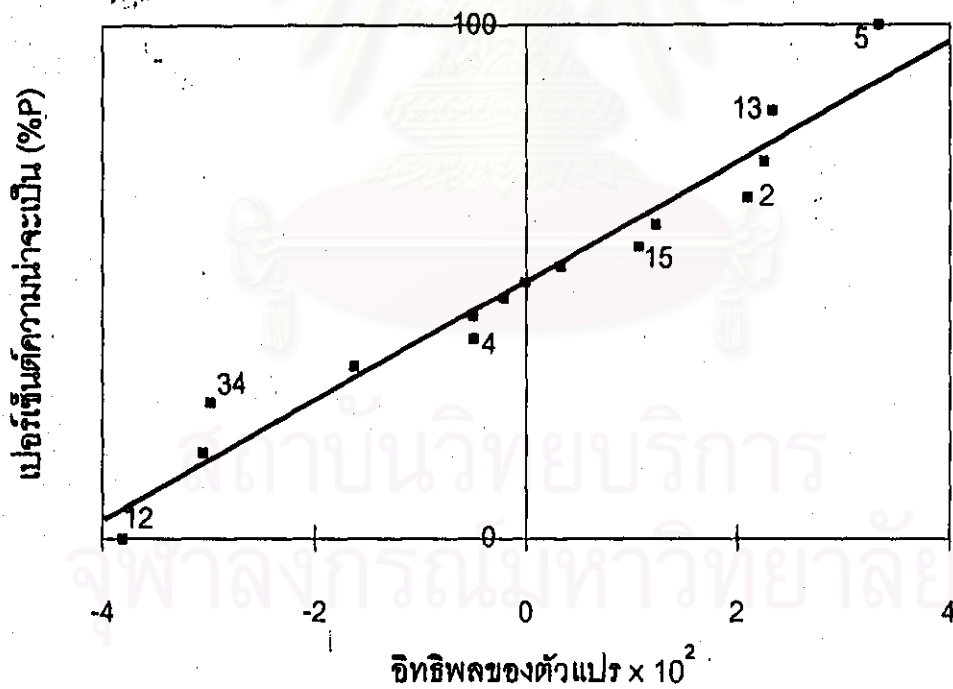
$$\begin{aligned} \text{ค่าอิทธิพลร่วมสองตัวแปรของ } W_0 \text{ กับ [เมนทอล]} &= \\ &= 10^{-2} \times [(-1)(-1)(5.303) + (1)(-1)(1.748) + (-1)(1)(6.515) + \\ &\quad (1)(1)(2.335) + (-1)(-1)(5.19) + (1)(-1)(12.705) + (-1)(1)(10.24) + \\ &\quad (1)(1)(5.148) + (-1)(-1)(4.285) + (1)(-1)(5.338) + \\ &\quad (-1)(1)(15.583) + (1)(1)(0.693) + (-1)(-1)(3.122) + \\ &\quad (1)(-1)(1.103) + (-1)(1)(9.212) + (1)(1)(5.885)] / 8 \\ &= -3.81 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

ค่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรต่างๆจากตารางที่ ข5 จะถูกนำมาหาค่าความน่าจะเป็นดังตารางที่ ข6 แล้วพลอตกราฟระหว่างค่าอิทธิพล กับค่าความน่าจะเป็นดังรูปที่ ข1 ค่าอิทธิพลที่อยู่นอกแนวเส้นตรงจะถือว่าเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา [Box และคณะ, 1985]

ตารางที่ ข6 15 ลำดับของค่าอิทธิพลและความน่าจะเป็น (P)

ลำดับที่ i	1	2	3	4	5	6	7	8
ค่าอิทธิพล $\times 10^2$	-3.81	-3.06	-2.99	-1.73	-0.5	-0.5	-0.21	-0.01
รหัสของตัวแปร	12	1	34	14	4	35	25	23
$P = 100(i - 0.5) / 15$	3.3	10.0	16.7	23.3	30.0	36.7	43.3	50.0

ลำดับที่ i	9	10	11	12	13	14	15
ค่าอิทธิพล $\times 10^2$	0.33	1.07	1.35	2.10	2.25	2.33	3.33
รหัสของตัวแปร	45	15	3	2	24	13	5
$P = 100(i - 0.5) / 15$	56.7	63.3	70.0	76.7	83.3	90.0	96.7

รูปที่ ข1 การพลอตค่าความน่าจะเป็นกับค่าอิทธิพลจากการทดลองในระดับ  $2^{5-1}$

จากกราฟ ข1 จะเห็นว่า 12, 34, 15, 13, 2, และ 5 เป็นจุดที่หลุดออกจากแนวเส้นตรง ดังนั้นจะได้ว่าความเข้มข้นของเมทอล (2), และอุณหภูมิตั้ง (5) จัดเป็นอิทธิพลหลักของระบบ โดยมี 12, 34, 15, และ 13 เป็นอิทธิพลร่วมของระบบคือ  $W_0$  มีอิทธิพลร่วมกับ [เมทอล], [ไตรอะซิทีน] มีอิทธิพลร่วมกับค่าความเป็นกรด-ด่าง,  $W_0$  มีอิทธิพลร่วมกับ อุณหภูมิและ  $W_0$  มีอิทธิพลร่วมกับ [ไตรอะซิทีน] ซึ่งจะส่งผลร่วมกันต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยจะต้องมีการตรวจสอบดูว่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมที่ได้ นั้นเป็นผลที่จะเกิดขึ้นในระบบจริง ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างสมการเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะตามความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อการเกิดปฏิกิริยาซึ่งได้มาจากตารางที่ ข5 นั่นคือค่าเฉลี่ย =  $5.9 \times 10^{-2}$ , 2 =  $2.1 \times 10^{-2}$ , 5 =  $3.33 \times 10^{-2}$ , 12 =  $-3.81 \times 10^{-2}$ , 34 =  $-2.99 \times 10^{-2}$ , 15 =  $1.07 \times 10^{-2}$ , และ 13 =  $2.33 \times 10^{-2}$  ตามสมการ (ข1) [Box และคณะ 1985]

$$Y = 10^{-2} \times (5.9 + (2.1/2)X_2 + (3.33/2)X_5 - (3.81/2)X_1X_2 + (2.33/2)X_1X_3 + (1.07/2)X_1X_5 - (2.99/2)X_3X_4) \dots \dots \dots (ข1)$$

แทนค่าของตัวแปร ( $X_2$ ,  $X_5$ ,  $X_1X_2$ ,  $X_1X_3$ ,  $X_1X_5$ , และ  $X_3X_4$ ) ด้วยค่า  $\pm 1$  (ระดับของตัวแปร) ตามชุดของการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ข1 เช่นตัวอย่างการคำนวณในชุดทดลองที่ 1

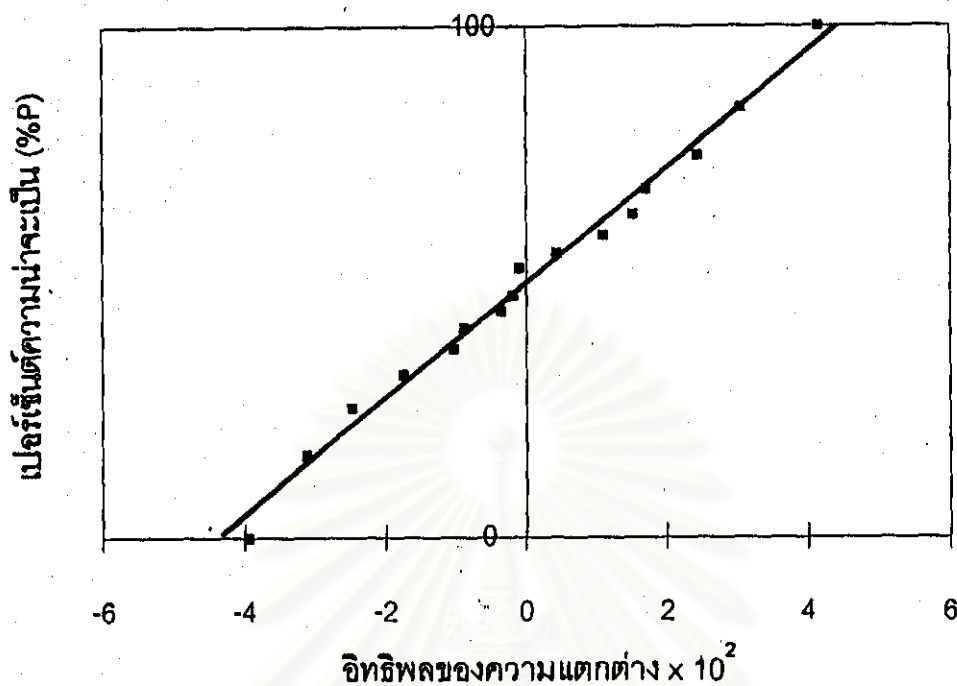
$$Y = 10^{-2} \times (5.9 + 1.05(-1) + 1.665(1) - 1.905(-1)(-1) + 1.165(-1)(-1) + 0.535(-1)(1) - 1.495(-1)(-1)) \\ = 3.745 \times 10^{-2}$$

ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่เกิดจากการคำนวณตามสมการที่ (ข1) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ข7 แล้วนำไปหาผลต่างเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง เพื่อพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือของสมการที่ใช้ในการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ ซึ่งได้ โดยการพลอตกราฟระหว่างค่าผลต่างที่เกิดจากการทดลองและสมการที่ (ข1) กับค่าความน่าจะเป็นดังรูปที่ ข2 แล้วพิจารณาดูว่า ถ้าค่าผลต่างในแต่ละจุดอยู่บนแนวเส้นตรงเดียวกันแสดงว่าอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมนั้นมีผลจริงต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจากรูปที่ ข2 จะเห็นว่าค่า

ความน่าจะเป็นที่ผลต่อระหว่างผลต่างที่เกิดจากการทดลองกับสมการที่ (ข1) นั้นอยู่บนแนวเส้นตรงเดียวกัน แสดงว่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของตัวแปรที่กล่าวถึงข้างต้นนั้นมีผลจริงต่อการเกิดปฏิกิริยา

ตารางที่ ข7 เปรียบเทียบค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้จากสมการที่ (ข1) และจากการทดลอง

ชุดทดลอง	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ $\times 10^2$ ( $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g-enz}^{-1}$ )		
	จากการทดลอง	จากสมการ (5.1)	ผลต่าง
1	5.303	3.745	1.56
2	1.748	1.895	-0.15
3	6.515	7.395	-0.88
4	2.335	4.085	-1.75
5	5.190	2.145	3.05
6	12.705	11.615	1.09
7	10.240	9.815	0.43
8	5.148	5.505	-0.36
9	4.285	4.475	-0.19
10	5.338	9.285	-3.95
11	15.583	13.145	2.44
12	0.693	3.175	-2.48
13	3.122	1.415	1.71
14	1.103	4.225	-3.12
15	9.212	5.065	4.15
16	5.885	6.915	-1.03



รูปที่ ข2. กราฟลดค่าความน่าจะเป็นของผลต่างที่ได้จากสมการ และการทดลอง

จากการวางแผนการออกแบบการทดลองในชุดสองระดับ จะสามารถนำมาสร้างเป็นสมการอันดับหนึ่งได้ซึ่งจะให้ผลแม่นยำเพียงในระดับของอิทธิพลที่ +1 และ -1 เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องหาสมการอันดับสองเพื่อใช้ในการทำนายค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ ทำการทดลองเพิ่มเติมในระดับการทดลองที่ +2 และ -2 ตามตารางที่ ข3 แล้วนำผลการทดลองที่ได้ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ข8 มาหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งห้าเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะโดยการจัดข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปสมการของ

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_1 X_i + \sum \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \epsilon_i$$

เราต้องการหา  $\beta_0, \beta_1, \beta_{ij}, \beta_{ii}$  ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร โดยที่  $\epsilon_i$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณที่แสดงในรูปของเวกเตอร์ ซึ่งผลที่ต้องการคือความผิดพลาดที่น้อยที่สุด (L) นั่นคือเราจะให้

$$L = \sum \epsilon_i^2 = \epsilon' \epsilon = (y - X\beta)'(y - X\beta)$$

นั่นคือ 
$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = -2X'y + 2(X'X)\beta = 0$$

ดังนั้น 
$$(X'X)\beta = X'y$$

ตารางที่ ๒๘ ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองในองค์ประกอบตรงกลาง (central composite design (CCD))

ชุดทดลองที่	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น ( $\mu\text{M/hr}$ ) <sup>(1)</sup>	อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ $\times 10^2$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}\cdot\text{enz}^{-1}$ )
17	0.7629	12.715
18	0.4209	7.015
19	0.2382	3.970
20	0.8378	13.963
21	0.4485	7.475
22	0.8654	14.423
23	0.8751	14.585
24	0.4316	7.193
25	0.6074	10.123
26	0.4350	7.250
27	0.5858	9.763
28	0.7372	12.287
29	0.7201	12.002
30	0.7355	12.258

<sup>(1)</sup> ผลการทดลองตามตาราง ก6

ซึ่งสมการข้างต้นสามารถเขียนเป็นเมตริกได้ตามตาราง ข9 แล้วแทนค่าจะได้เป็น ตาราง ข10 หลังจากนั้นแก้สมการของเมตริกจะทำให้ได้เวกเตอร์ของ  $\beta$  ซึ่งสามารถแปลงมาเป็นสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งห้ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะได้ตามสมการที่ (ข2)

$$Y = 10^{-2} \times (13.0215 - 1.4956X_1 + 1.5335X_2 + 1.0292X_3 - 0.7811X_4 + 0.8696 X_5 - 1.2439X_1^2 - 1.4685X_2^2 - 0.9729X_3^2 - 0.9879X_4^2 - 1.5385X_5^2 - 1.9052X_1X_2 + 1.1656X_1X_3 - 0.8669X_1X_4 + 0.5328X_1X_5 - 0.0054X_2X_3 + 1.1396X_2X_4 - 0.1042X_2X_5 - 1.4974X_3X_4 - 0.2512X_3X_5 + 0.1658X_4X_5) \dots\dots\dots(ข2)$$

แล้วแทนค่าตัวแปรของ  $X_1, X_2, X_3, X_4,$  และ  $X_5$  ตามค่าระดับของตัวแปรในชุดทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ ข1 และตารางที่ ข3 จะได้ผลดังตารางที่ ข11

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ตารางที่ ๑๑๐ แทนค่าตัวแปรทั้งห้าตามตารางที่ ๑๑๙

30	0	0	0	0	0	24	24	24	24	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b0	239.43
0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b1	-35.90
0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b2	36.80
0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b3	24.70
0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b4	-18.75
0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b5	20.87
24	0	0	0	0	0	48	16	16	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b11	173.33
24	0	0	0	0	0	16	48	16	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b22	166.14
24	0	0	0	0	0	16	16	48	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b33	182.00
24	0	0	0	0	0	16	16	16	48	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b44	181.52
24	0	0	0	0	0	16	16	16	16	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b55	163.90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b12	= -30.48
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	b13	18.65
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	b14	-13.87
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	b15	8.53
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	b23	-0.09
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	b24	18.23
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	b25	-1.67
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	b34	-23.96
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	b35	-4.02
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	b45	2.65

ตารางที่ ข11 เปรียบเทียบค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะที่ได้จากสมการที่ (ข2) และจากการทดลอง

ชุดที่	$Y_{\text{ทดลอง}} \times 10^2$	$Y_{\text{คำนวณ}} \times 10^2$	ผลต่าง $\times 10^2$	ชุดที่	$Y_{\text{ทดลอง}} \times 10^2$	$Y_{\text{คำนวณ}} \times 10^2$	ผลต่าง $\times 10^2$
1	5.303	5.081	0.22	17	12.715	11.037	1.68
2	1.748	3.184	-1.44	18	7.015	5.055	1.96
3	6.515	8.845	-2.33	19	3.970	4.081	-0.11
4	2.335	3.148	-0.81	20	13.963	10.215	3.75
5	5.190	7.263	-2.07	21	7.475	7.072	0.40
6	12.705	13.261	-0.56	22	14.423	11.188	3.23
7	10.240	11.690	-1.45	23	14.585	10.632	3.95
8	5.148	8.257	-3.11	24	7.193	7.508	-0.31
9	4.285	4.583	-0.30	25	10.123	5.128	4.99
10	5.338	4.119	1.22	26	7.250	8.607	-1.36
11	15.583	15.258	0.32	27	9.763	13.0215	-1.56
12	0.693	2.027	-1.33	28	12.287	13.0215	-0.73
13	3.122	2.540	0.58	29	12.002	13.0215	-1.02
14	1.103	2.180	-1.08	30	12.258	13.0215	-0.76
15	9.212	11.183	-1.97				
16	5.885	6.339	-0.45				

ใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์สมการ (ข2) ว่าสามารถนำไปใช้ทำนายค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะได้แม่นยำหรือไม่ดังตารางที่ ข12

ตารางที่ ข12 การวิเคราะห์ความแตกต่างของสมการ (ข2) กับการทดลองโดยใช้ ANOVA

Source	Sum of Square x 10 <sup>2</sup>	Degree of Freedom	Mean Square x 10 <sup>2</sup>	F-Ratio
Regression on				
b <sub>0</sub>	1910.8	1	1910.8	
b <sub>1</sub>	53.7	1	53.7	
b <sub>2</sub>	56.4	1	56.4	
b <sub>3</sub>	25.4	1	25.4	
b <sub>4</sub>	14.6	1	14.6	
b <sub>5</sub>	18.2	1	18.2	
b <sub>11</sub>	36.4	1	36.4	
b <sub>22</sub>	34.6	1	34.6	
b <sub>33</sub>	38.6	1	38.6	
b <sub>44</sub>	38.4	1	38.4	
b <sub>55</sub>	34.1	1	34.1	
b <sub>12</sub>	58.1	1	58.1	
b <sub>13</sub>	21.7	1	21.7	
b <sub>14</sub>	12.0	1	12.0	
b <sub>15</sub>	4.5	1	4.5	
b <sub>23</sub>	0	1	0	
b <sub>24</sub>	20.8	1	20.8	
b <sub>25</sub>	0.2	1	0.2	
b <sub>34</sub>	35.9	1	35.9	
b <sub>35</sub>	1.0	1	1.0	
b <sub>45</sub>	0.4	1	0.4	
	2415.8	21	115.04	

Lack of Fit	44.77	6	7.46	5.04
Error	4.44	3	1.48	
Residual	49.21		9	5.46
Total	2465.01		30	

พิจารณาค่า F จิกฤตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่า F จิกฤต ณ จุด  $F_{0.95,6,3}$  ประมาณ 8.94 ซึ่งค่า F คำนวณนั้นเท่ากับ 5.04 ซึ่งน้อยกว่าค่า F จิกฤตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าสมการที่ได้มีความเชื่อถือได้

จากสมการอันดับสองที่ได้ตามสมการ (ข2) สามารถนำมาทำนายหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ (Y) ณ สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในช่วงขอบเขตของการทำการวางแผนการออกแบบการทดลองได้ โดยตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาจะเป็นตัวแปรที่เป็นผลของอิทธิพลหลักคือ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารลดแรงตึงผิว ( $W_0$ ) แทนด้วย 1 และอุณหภูมิแทนด้วย 5 หรือตัวแปรที่เป็นผลของอิทธิพลร่วมคือ  $W_0$  กับความเข้มข้นของเมทอลแทนด้วย 12,  $W_0$  กับความเข้มข้นของไตรอะซิติกแทนด้วย 13,  $W_0$  กับ อุณหภูมิแทนด้วย 15, และความเข้มข้นของไตรอะซิติกกับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์แทนด้วย 34 ตามรูปที่ 5.3 แต่เนื่องจากผลของตัวแปรที่เป็นอิทธิพลร่วมจะให้ผลที่ครอบคลุมกว่าผลของตัวแปรที่เป็นอิทธิพลหลัก ดังนั้นถ้าตัวแปรใดเป็นทั้งอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมก็จะเลือกพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เป็นผลของอิทธิพลร่วมเท่านั้น นั่นคือ 12, 13, 15, และ 34 เป็นตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะดังกราฟรูปที่ 5.3, 5.4, 5.5, และ 5.6 ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

โดยถ้าจะพิจารณาตัวแปรของ 12 ว่ามีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะอย่างไร ก็ทำได้โดยการแทนค่าของตัวแปร 1 และ 2 ในช่วงระดับ +2 ถึง -2 ลงในสมการ (ข2) โดยให้ตัวแปร 3, 4, และ 5 มีค่าอยู่ตรงกลางของขอบเขตที่ศึกษาในการวางแผนการออกแบบการทดลองซึ่งจะมีค่าของระดับเป็นศูนย์ ดังนั้นจะเหลือตัวแปรที่นำมาทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะ ได้ดังสมการข้างล่าง

$$Y = 10^{-2} \times (13.0215 - 1.4956X_1 - 1.2439X_1^2 + 1.5335X_2 - 1.4685X_2^2 - 1.9052X_1X_2)$$

## ข2 การหาจุดที่เหมาะสมของตัวแปรทั้งห้า

พิจารณาจากกราฟ 5.3 ถึง 5.6 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของ  $W_0$ , ความเข้มข้นของเรซิมิกเมนทอล, และไตรอะซิติก, ค่าความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์, และอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะของการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเรซิมิกเมนทอลกับไตรอะซิติกในระบบปริเวร์สไมเซลล์ ซึ่งเราจำเป็นต้องหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรทั้งห้าต่อการเกิดปฏิกิริยาคือให้ได้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจำเพาะสูงสุด ซึ่งสามารถหาค่าสูงสุดของแต่ละตัวแปรได้จากความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง [Myers, 1971] คือ

$$X_{i,0} = \frac{-B^{-1}b}{2}$$

$$\text{เมื่อ } B = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} -1.2439 & -1.9052 & 1.1656 & -0.8669 & 0.5328 \\ -1.9052 & -1.4685 & -0.0054 & 1.1396 & -0.1042 \\ 1.1656 & -0.0054 & -0.9729 & -1.4974 & -0.2512 \\ -0.8669 & 1.1396 & -1.4974 & -0.9879 & 0.1698 \\ 0.5328 & -0.1042 & -0.2512 & 0.1698 & -1.5383 \end{bmatrix}$$

$$B^{-1} = 10^2 \times \begin{bmatrix} -0.2911 & 0.0538 & 0.4430 & -0.4425 & -0.2413 \\ 0.0538 & -0.5174 & -0.6166 & 0.3653 & 0.2082 \\ -0.4430 & -0.6166 & -0.7067 & 0.0314 & 0.3374 \\ -0.4425 & 0.3653 & 0.0314 & -0.3245 & -0.2344 \\ -0.2413 & 0.2082 & 0.3374 & -0.2344 & -0.8898 \end{bmatrix}$$

$$b = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} -1.4956 \\ 1.5335 \\ 1.0292 \\ -0.7811 \\ 0.8696 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นจะได้

$$X_{1,0} = \begin{bmatrix} X_{1,0} = -0.5548 \\ X_{2,0} = 0.8064 \\ X_{3,0} = 1.0333 \\ X_{4,0} = -0.6520 \\ X_{5,0} = -0.2184 \end{bmatrix}$$

ทำการเปลี่ยนค่าของระดับในแต่ละตัวแปรให้เป็นค่าจริงของตัวแปรจะได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของเรซิไมกเมนทอลและไตรอะซิดินโดยไลเปสจาก *Candida cylindracea* ในระบบ SDEHP/ไอโซออกเทนรีเวิร์สไมเซลล์คือ

$W_0$	=	1.22
ความเข้มข้นของเมนทอล	=	38.06 มิลลิโมลาร์
ความเข้มข้นของไตรอะซิดิน	=	65.5 มิลลิโมลาร์
ค่าความเป็นกรด-ด่างของบัฟเฟอร์	=	6.7
อุณหภูมิ	=	33.9 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



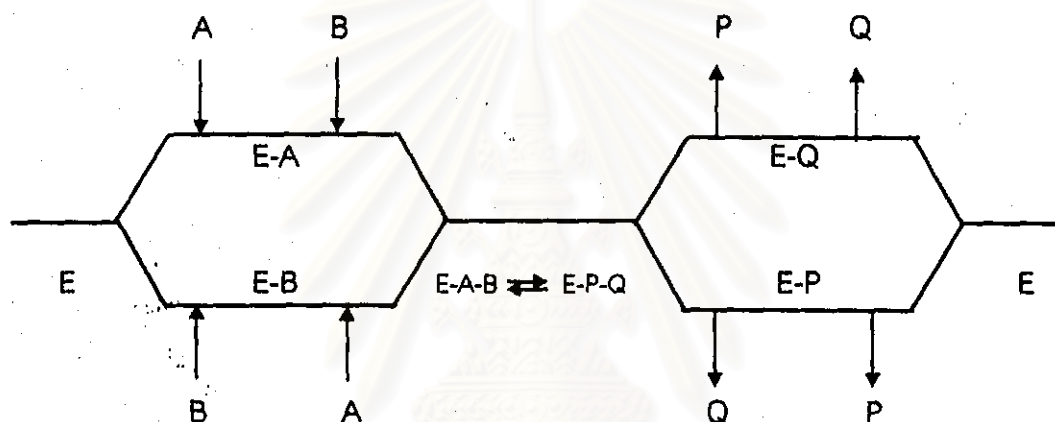
ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบแรนดอม ไบ-ไบ (random bi-bi mechanism)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบแรนดอม ไบ-ไบ จะมีลักษณะคือสารตั้งต้นทั้งสองตัวที่จับกับเอนไซม์จะมีตัวใดตัวหนึ่ง (A) หรือ (B) จับกับเอนไซม์ (E) ก่อนก็ได้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ EAB หลังจากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์ (EPQ) ออกมา และผลิตภัณฑ์ตัวใดตัวหนึ่ง (P) หรือ (Q) ถูกปล่อยออกมาจากเอนไซม์ก่อนก็ได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



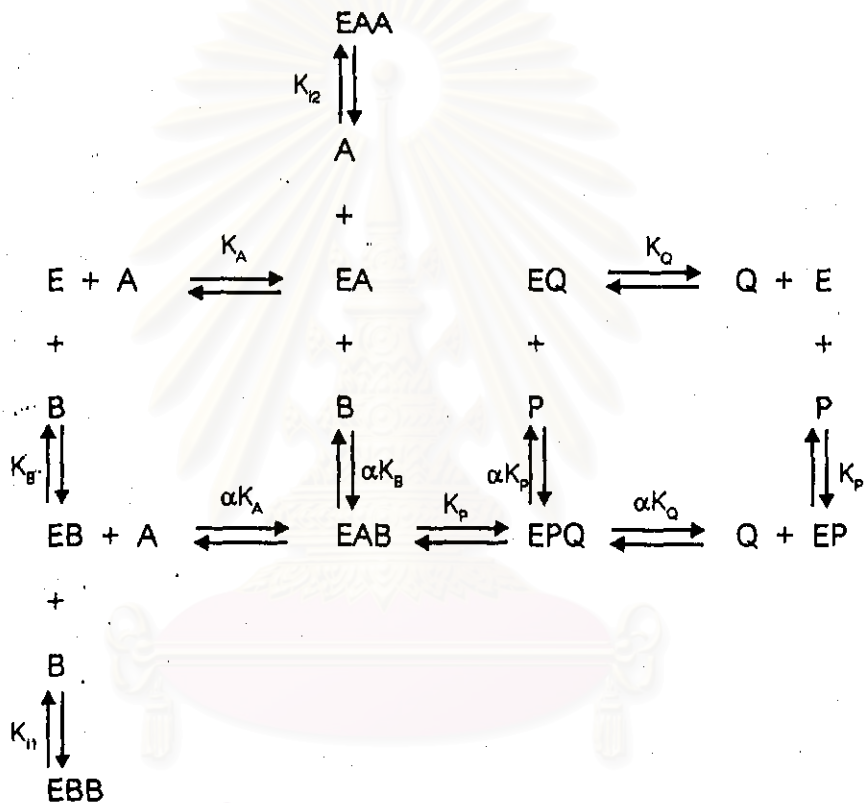
เมื่อ	A	แทน	ไตรอะซิทีน
	B	แทน	เวซิมิกเมนทอล
	P	แทน	ไดอะซิทีน
	Q	แทน	(-)เมนทิลอะซิเตต
	E	แทน	เอนไซม์
	$K_{11}$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $EB+B \rightleftharpoons EBB$
	$K_{12}$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $EA+A \rightleftharpoons EAA$
	$K_A$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $E+A \rightleftharpoons EA$
	$\alpha K_A$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $EB+A \rightleftharpoons EAB$
	$K_B$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $E+B \rightleftharpoons EB$
	$\alpha K_B$	แทน	ค่าคงที่ของการแตกตัวของปฏิกิริยา $EA+B \rightleftharpoons EAB$
	E-A	แทน	สารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับสาร A

E-A<sub>2</sub> แทน สารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับสาร A 2 โมเลกุล

E-B แทน สารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับสาร B

E-Q แทน สารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับผลิตภัณฑ์ Q

ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพแสดงได้เป็น



จากแผนภาพข้างต้นจะกำหนดให้ขั้นตอนของการเกิดผลิตภัณฑ์ (EPQ) นั้นช้ากว่าขั้นตอนของสารตั้งต้นจับกับเอนไซม์มากๆ จนถึงว่าไม่รบกวนสมดุลของการจับกันระหว่างสารตั้งต้นกับเอนไซม์ (rapid equilibrium assumption) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$V = K_p[\text{EAB}]$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } [E_0] &= [E] + [EA] + [EB] + [EAA] + [EBB] + [EAB] \\
 \text{และ } [EA] &= [E][A] / K_A \\
 [EB] &= [E][B] / K_B \\
 [EAA] &= [EA][A] / K_{12} = [E][A][A] / K_{12}K_A \\
 [EBB] &= [EB][B] / K_{11} = [E][B][B] / K_{11}K_B \\
 [EAB] &= [E][A][B] / \alpha K_A K_B
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\frac{V}{E_0} = \frac{K_p[EAB]}{[E] + [EA] + [EB] + [EAA] + [EBB] + [EAB]}$$

$$\frac{V}{K_p E_0} = \frac{\frac{[E][A][B]}{\alpha K_A K_B}}{[E] + \frac{[E][A]}{K_A} + \frac{[E][B]}{K_B} + \frac{[E][A][A]}{K_{12}K_A} + \frac{[E][B][B]}{K_{11}K_B} + \frac{[E][A][B]}{\alpha K_A K_B}}$$

$$\frac{V}{V_{\max}} = \frac{[A][B]}{\alpha K_A K_B + \alpha K_B [A] + \alpha K_A [B] + \frac{[A][A]\alpha K_B}{K_{12}} + \frac{[B][B]\alpha K_A}{K_{11}} + [A][B]}$$

$$\frac{V}{V_{\max}} = \frac{[A][B]}{\alpha K_A K_B + \alpha K_B [A] \left(1 + \frac{[A]}{K_{12}}\right) + \alpha K_A [B] \left(1 + \frac{[B]}{K_{11}}\right) + [A][B]}$$

## ประวัติผู้แต่ง

นายบุญชัย ฤกษ์นาถฤต เกิดวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2516 ที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม สำเร็จปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2537 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย