

## REFERENCE

1. ปริญญา จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิตร, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอยแม่เมาะ, สำนักงานเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาชนบท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, มกราคม 2528.
2. ปริญญา จินดาประเสริฐ, ปูนซีเมนต์และคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ตุลาคม 2529.
3. Metha, P.K., "Pozzolanic and Cementitious By Products as Mineral Admixtures for Concrete - A Critical Review," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By Products in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 1-45.
4. Troxell, G.E., Davis, H.E., and Kelly, J.W., Composition and Properties of Concrete, McGraw. Hill civil Engineering Series, New York, U.S.A., 1968.
5. Samarin, A., Munn, R.L., and Ashby, J.b., "The Use of Fly Ash in Concrete :- Australian Experience," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By Products in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 143-153.
6. Popovics, S., Fundamentals of Portland Cement Concrete : A Quantitative Approach, John Willey and Sons, Vol. 1 : Fresh Concrete, 1982.
7. Power, T.C., The Properties of Fresh Concrete, John Willey and Sons, New York, 1967.

8. Hobbs, D.W., "The Effect of Pulverised-Fuel Ash Upon The Workability of Cement Paste and Concrete," Magazine of Concrete Research, V.32, No. 113, December 1980, pp. 219-226.
9. Ellis, C., Discussion of "The Effect of Pulverised-Fuel Ash Upon The Workability of Cement Paste and Concrete" by Hobbs, D.W., Magazine of Concrete Research, V.33, No.117, 1981, pp. 233-235.
10. The Rheology of Fresh Concrete, Pitman, England, 1983.
11. Hobbs D.W., "Influence of Aggregate Volume Concentration Upon the Workability of Concrete and Some Predictions from the Viscosity-Elasticity Analogy," Magazine of Concrete Research, Vol, 28, No. 97, December 1976, pp. 191-202.
12. Hobbs,D.W., "Influence of Fly Ash Upon the Workability and Early Strength of Concrete," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Procucts in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 289-306.
13. Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, J.W., and Davis, H.E., " Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash," ACI Journal, V.35, No.5, May-June 1937, pp. 577-612.
14. Higginson, E.C., "Mineral Admixtures," Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, ASTM STP 169-A, pp. 543-555.



15. Smith, I.A., "A Modern Approach to Fly-Ash in Concrete," Advances in Ready Mixed Concrete Technology, Proceedings of the First International conference on Ready-Mixed Concrete Held At Dundee University 29th September - 1st October 1975, Scotland, Editor : Dhir, R.K., pp. 89-94.
16. Campton, F.R., and Macinnis, C., "Field Trial of Fly Ash Concrete," Ontario Hydro Research News (Toronto), Jan-Mar. 1952, pp. 18-21.
17. Kokubu, M., "Fly Ash Cement," Proceedings of 6th International Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Principal Paper, 1974, pp. 1-51. (Selected Papers of Masatane Kokubu Studies on Materials for Concrete Structure, pp. 223-246)
18. Munday, J.G.L, and Dhir, R.K., "Mix Design for Corresponding Strength with Pulverized Fuel Ash as Partial Cement Replacement," Proceedings, International conference on Materials of Construction for Developing Countries (Bangkok, AUG. 1978), pp. 263-273.
19. Ramachandran, V.S., Feldman, R.F., and Beaudoin, J.J., Concrete Science, Division of Building Research National Research Council, Canada, 1981.
20. Kokubu, M., "Fly Ash and Fly Ash Cement," Proceedings, 5th International Symposium on the chemistry of Cement, Tokyo, 1968, pp. 75-105.

21. Bring, R.H., and Halstead, W.J., "Studies relating to the Testing of Fly Ash for use in Concrete," ASTM Proceedings, V156, 1956, pp. 1161-1206.
22. Davis, R.E., "Use of Pozzolan in Concrete," ACI Journal, V.46, Jan. 1950, pp. 377-384.
23. McIntosh, J.D., Concrete Mix Design, Cement and Concrete Association, 1966, pp. 80-81.
24. Cartte, G., and Malhotra, V.M., "Early-Age Strength Development of Concrete Incorporating Fly Ash and Condensed Silica Fume," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Products in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 765-784.
25. Blanks, R.F., "Fly Ash as Pozzolan," ACI Journal, V.46, April 1950, pp. 701-707.
26. Pasko, T.J., and Larson, T.D., "Some Statistical Analysis of the Strength and Durability of Fly Ash Concrete," ASTM Proceedings, V.62, pp. 1054-1067.
27. Pfeifer, D.W., "Fly Ash Aggregate Lightweight Concrete," ACI Journal, V.68, No.3, March 1971, pp. 213-216.
28. Brown, J.H., "the Effect of Two Different Pulverised Fuel Ashs Upon The Workability and Strength of Concrete," Wexham Springs, Cement and Concrete Association, 1980, pp.18.
29. Osbxck, B., and Smith, F.L., "The Influence of Air Content By Assessing The Pozzolanic Activity of Fly Ash By Strength

- Testing," Cement and Concrete Research, V.15, 1985, pp.53-64.
30. Berry, E.E., "Strength Development of some Blend-Cement Mortars," Cement and Concrete Research, V.10, 1980, pp. 1-11.
31. Washa, G.W., and Withey, N.H., "Strength and Durability of Concrete Containing Chicago Fly Ash," ACI Journal, V.49, No.8, April 1953, pp. 701-712.
32. Berry, E.E., and Malhotra, V.M., "Fly Ash for use in concrete-A Critical Review," ACI Journal, V.77, March-April 1980, pp. 59-73.
33. Minnick, J.L., "Investigations Relating to the use of Fly Ash as A Pozzolanic Material and as An Admixture in Portland Cement Concrete,": ASTM Proceedings, V.54, 1954.
34. Gebler, S., and Klieger, P., "Effect of Fly Ash on the Air Void Stability of Concrete," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Products in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 103-142.
35. Mindness, S., and Young, J.F., concrete, Prentice-Hall, 1981, p.971.
36. Kelly, T.M., "Setting Time." Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM STP 169-A, 1975, pp.102-115.
37. Soroka, I., Portland Cement Paste and Concrete, Macmillan Press, Haifa, Israel, 1979, pp. 28-45.



38. Costa, U., and Massazza, F., "Some Properties of Pozzolanic Cement Containing Fly Ash," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Products in Concrete, ACI Proceeding, 1983, pp. 235-243.
39. Cabrera, J.G., and Plowman, C., "Mechanism and Kinematics of Hydration of  $C_3A$  and  $C_4AF$ , Extracted from Cement," Cement and Concrete Research, V. 15, 1985, pp. 238-247.
40. Fajun, W., Grutxek, M.W., and Roy, D.M., "The Retarding Effects of Fly Ash upon the Hydration of Cement Paste : The First 24 Hours," Cement and Concrete Research, V.15, 1985, pp. 174-184.
41. Ogawa, K., Uchikawa, H., and Takemoto, k., "The Mechanism of the Hydration in the System  $C_3S$ -Pozzolana," Cement and Concrete Research, V-10, 1980, pp. 683-696.
42. Previte, R.W., "Concrete Slump Loss," ACI Journal, V.74, No.8, August 1977, pp. 361-367.
43. Neville, A.M., Properties of Concrete, Pitman, 1981.
44. Kokubu, M., "Colective Test of Various Fly Ash," Transcations of Japan Society of Civil Engineers, No.68, May 1960, pp. 1-31.
45. Mather, B., "The Partial Replacement of Portland Cement in Concrete" Presented at the Second Pacific Area Meeting Papers, Los Angles, Califonia, September 19 and 20, 1956, ASTM Special Technical Publication No. 205, pp. 37-73.

46. Frederick, B.A., "Application of Fly Ash for lean Concrete Mixes," ASTM Proceedings, V.44, 1944, pp. 810-821.
47. Nagataki, Sakai, and Takcuchi, "The Hydrothermal Reaction of Fly Ash-Cement System and Properties of Autoclaved Concrete with Fly Ash and Superplasticizer," Review of the Thirty-Fifth General Meeting, Tokyo, May 1981, pp. 158-159.
48. Timms, A.G., and Grieb, W.E., "Use of Fly Ash in Concrete," ASTM Proceedings, V.56, 1956, pp. 1139-1157.
49. ประจิต จีรัปปลา, "คอนกรีตผสมซีเมนต์ลอยแม่เมาะ," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนวิจัย รัชดาภิเษกสมโภช, กันยายน 2525.
50. Ashino, M., "Mix Design of Fly Ash Cement Concrete Using Mae Moh Fly Ash," AIT Thesis, April 1984.
51. Lovewell, C.E., and Washa, G.A., "Proportioning Concrete Mixture Using Fly Ash," ACI Journal, V.54, No.12, July 1958, pp. 1093-1102.
52. Ryan and Ashby, "The Development and Use of Wangi Fly Ash in Ready Mix Concrete," Institution of Engineers, Australia, V.38, 1966, pp. 229-238.
53. Smith, I.A., "The Design of Fly Ash Concrete," Research Report to CEGB, Glasgow University, December 1962.

54. Smith, I.A., "The Design of Fly Ash Concrete," Proceedings of Institution of Civil Engineer (London), V.36, 1967, pp. 769-790.
55. Miles, M.H., "The Performance of Rationally Design PFA Concrete," Research and Development Note No. 87, CEGB, South western Region, London, May 1964.
56. Resner, J.C., "Let's Design Fly Ash Concrete : Not Compare Them," Proceedings, Fourth International Ash Utilization Symposium, U.S. Bureau of Mines, Washingto, D.C, 1976, pp. 560-572.
57. Cannon, R.W., "Proportioning Fly Ash Concrete Mixes for Stength and Economy," ACI Journal, V.65, No.11, Nov. 1968, pp. 969-979.
58. Munday, J.G.K., Ong, L.T., and Dhir, R.K., "Mix Proportioning of Concrete with PFA : A Critical Review," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Products in Concrete, ACI Proceedings, 1983, pp. 267-287.
59. Warris, B., "Strength of Concrete Containing Secondary Cementing Materials," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Materials By-Products in Concrete, ACI Proceeding 1983, pp. 267-287.



ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนประกอบ	ซีเมนต์ (1)	ซีเมนต์แม่เมาะ (2)	ปูนซีเมนต์
CaO	3-6	28.2-39.5	60-67
SiO <sub>2</sub>	41-48	15.0-19.8	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21-27	5.9-7.0	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-17	17.3-24.2	0.5-6.0
MgO	1.6-2.5	4.6-5.4	0.1-5.0
SO <sub>3</sub>	0.3-1.6	0.8-1.2	1-3
Na <sub>2</sub> O	0.6-1.5	2.0-2.3	-
K <sub>2</sub> O	1.9-2.9	0.8-1.2	0.5-1.3

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้

อัตราส่วนน้ำต่อ อนุภาคละเอียด	ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ซีเมนต์ (% โดยน้ำหนัก)
0.4	300	0 15 (30) 45 60
0.5	250	0 15 (30) 45 60
0.5	300	0 (15) (30) (45) (60)
0.5	350	0 15 (30) 45 60
0.6	300	0 15 (30) 45 60

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมซีเมนต์เมื่อปริมาณซีเมนต์ต่างๆ กัน

อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์รวม ซีเมนต์ ซีเมนต์ ซีเมนต์	ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ปริมาณซีเมนต์ ที่เดิม เพิ่มโดย น้ำหนัก(%)	ค่าการยุบตัว (ซม.)	ค่าการไหล (%)	การอัดแน่น (%)	ปริมาณฟอง อากาศ(%)
0.5	250	0	0	12	85.3	3.10
		15	5.0	40	90.5	3.00
		30	9.5	48	92.9	2.90
		45	11.5	56	93.6	2.85
		60	19.1	84	96.8	1.80
	300	0	2.1	32	85.6	1.60
		15	6.1	52	94.0	1.45
		30	10.5	60	94.0	1.25
		45	11.5	68	96.4	1.20
		60	18.8	104	97.2	1.10
	350	0	11.6	104	94.7	1.40
		15	19.0	128	98.5	1.30
		30	20.1	136	98.1	1.20
		45	21.5	144	97.7	1.10
		60	22.2	152	98.8	1.00

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ผสมซีเมนต์แล้วเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมซีเมนต์ต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมซีเมนต์	ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ปริมาณซีเมนต์ที่ละลาย (%)	ค่าการยุบตัว (ซม.)	ค่าการไหล (%)	การอัดแน่น (%)	ปริมาณฟองอากาศ (%)
0.4	300	0	0	12	84.8	2.75
		15	1.4	20	89.3	2.65
		30	2.1	24	88.8	2.60
		45	3.7	32	90.0	2.50
		60	4.4	32	89.5	2.25
0.5		0	2.1	32	85.6	1.60
		15	6.1	52	94.0	1.45
		30	10.5	60	94.0	1.25
		45	11.5	68	96.4	1.20
		60	18.8	104	97.2	1.10
0.6		0	13.1	138	97.6	0.90
		15	18.0	144	96.9	0.70
		30	18.3	140	98.8	0.80
		45	19.8	148	98.4	0.80
		60	22.5	164	98.1	0.80



ตารางที่ 3.4 แสดงสัดส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่	ปริมาณซีเมนต์ กก./ม. <sup>3</sup>	อัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์+ซีเถ้าลอย	ปริมาณซีเถ้าลอย %
1	250	0.5	0
2	250	0.5	30
3	300	0.4	0
4	300	0.4	30
5	300	0.5	0
6	300	0.5	15
7	300	0.5	30
8	300	0.5	45
9	300	0.5	60
10	300	0.6	0
11	300	0.6	30
12	350	0.5	0
13	350	0.5	30

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมซีเมนต์ที่เฝ้าอยู่ในสภาวะเหลว

ส่วนผสมที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
อุณหภูมิ เวลา (นาที)	-	29.0	-	-	-	28.0	29.5	29.5	26.0	26.5	27.0	26.0	26.0
	การสูญเสียค่ายุบตัว (ซม.)												
2	0	12.5	0	2.1	2.1	8.3	12.9	12.8	22.0	13.0	21.2	15.5	20.5
12	-	9.3	-	-	-	6.5	10.5	12.6	19.3	10.5	20.0	15.0	19.3
22	-	8.2	-	-	-	3.5	8.0	9.8	18.8	9.5	19.8	14.0	18.0
32	-	4.2	-	-	-	2.2	6.1	8.0	17.0	7.3	18.8	12.0	16.2
42	-	4.2	-	-	-	1.4	5.1	7.2	15.0	5.5	17.8	9.2	16.0
52	-	2.7	-	-	-	-	2.9	6.4	13.0	2.8	13.7	4.3	10.0
62	-	1.3	-	-	-	-	1.7	6.0	12.5	2.5	9.6	2.4	8.7
72	-	0	-	-	-	-	-	3.7	8.0	1.1	6.0	0.8	8.1
82	-	-	-	-	-	-	-	2.1	7.5	0.7	5.0	0	8.0
92	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	0	4.2	-	6.5

ตารางที่ 3.6 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตเมื่อปริมาณซีเมนต์แตกต่างกัน

ซีเมนต์ (%)	ระยะเวลาก่อตัวขึ้นต้น (นาที)	ระยะเวลาก่อตัวขึ้นปลาย (นาที)
0	160	257
15	193	280
30	178	269
45	183	284
60	193	302

ตารางที่ 3.7 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตผสมซีเมนต์เมื่อปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ กัน

ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ซีเมนต์ (%)	การก่อตัวขึ้นต้น (นาที)	การก่อตัวขึ้นปลาย (นาที)
250	0	186	280
	30	188	275
300	0	160	257
	30	178	269
350	0	207	297
	30	196	291



ตารางที่ 3.8 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตผสมซีเมนต์เมื่อปริมาณน้ำต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ รวมซีเมนต์	ซีเมนต์ (%)	การก่อตัวขั้นต้น (นาที)	การก่อตัวขั้นปลาย (นาที)
0.4	0	141	247
	30	134	224
0.5	0	160	257
	30	178	269
0.6	0	224	329
	30	256	352

ตารางที่ 3.9 แสดงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมซีเมนต์เมื่อปริมาณซีเมนต์ต่างกัน

ซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ซีเมนต์ (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. <sup>2</sup> )	ความแปรปรวน (กก./ซม. <sup>2</sup> )
250	0	222.6	11.5
250	15	200.9	37.0
250	30	159.4	9.1
250	45	170.7	1.6
250	60	153.8	28.3
300	0	228.2	51.3
300	15	246.2	41.7
300	30	206.5	46.8

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	ซีเถ้าลอย (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. <sup>2</sup> )	ความแปรปรวน (กก./ซม. <sup>2</sup> )
300	45	182.0	48.7
300	60	171.6	35.4
350	0	251.8	47.1
350	15	209.4	31.5
350	30	213.2	26.3
350	45	181.1	2.8
350	60	177.3	24.1

ตารางที่ 3.10 แสดงกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมซีเถ้าลอยเมื่อปริมาณน้ำต่างกัน

อัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียด (W/C+F)	ซีเถ้าลอย (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. <sup>2</sup> )	ความแปรปรวน (กก./ซม. <sup>2</sup> )
0.4	0	282.9	27.0
0.4	15	284.8	22.9
0.4	30	293.3	36.1
0.4	45	250.9	18.2
0.4	60	201.9	32.8
0.5	0	228.5	51.5
0.5	15	246.2	41.7
0.5	30	206.5	46.8

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

อัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียด (W/C+F)	ซีเมนต์ลอย (%)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. <sup>2</sup> )	ความแปรปรวน (กก./ซม. <sup>2</sup> )
0.5	45	182.0	48.7
0.5	60	171.6	35.4
0.6	0	187.7	34.1
0.6	15	151.8	17.1
0.6	30	138.6	10.2
0.6	45	100.9	21.6
0.6	60	91.5	15.6

ตารางที่ 4.1 ก. แสดงค่าคงที่ของซีเมนต์ลอยที่เหมาะสมในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้

(1) เมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

W/(C+F)	k	ค่าการยุบตัวเริ่มแรก (ซม.)
0.4	8	0
0.5	28	2.1
0.6	14	13.1



(2) เมื่ออัตราส่วน  $W/(C+F)$  คงที่ = 0.5

ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	k	ค่าการยุบตัวเริ่มแรก (ซม.)
250	28	0
300	28	2.1
350	12	11.6

ตารางที่ 4.1 ข. แสดงค่าคงที่ของซีเมนต์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้

(1) เมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

$W/(C+F)$	k=1	ค่าการไหลเริ่มแรก (%)
0.4	44	12
0.5	100	32
0.6	40	138

(2) เมื่ออัตราส่วน  $W/(C+F)$  คงที่ = 0.5

ปริมาณซีเมนต์ (กก./ม. <sup>3</sup> )	k	ค่าการไหลเริ่มแรก
250	100	12
300	100	32
350	100	104

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคงที่ในสมการลดน้ำที่ 4.2

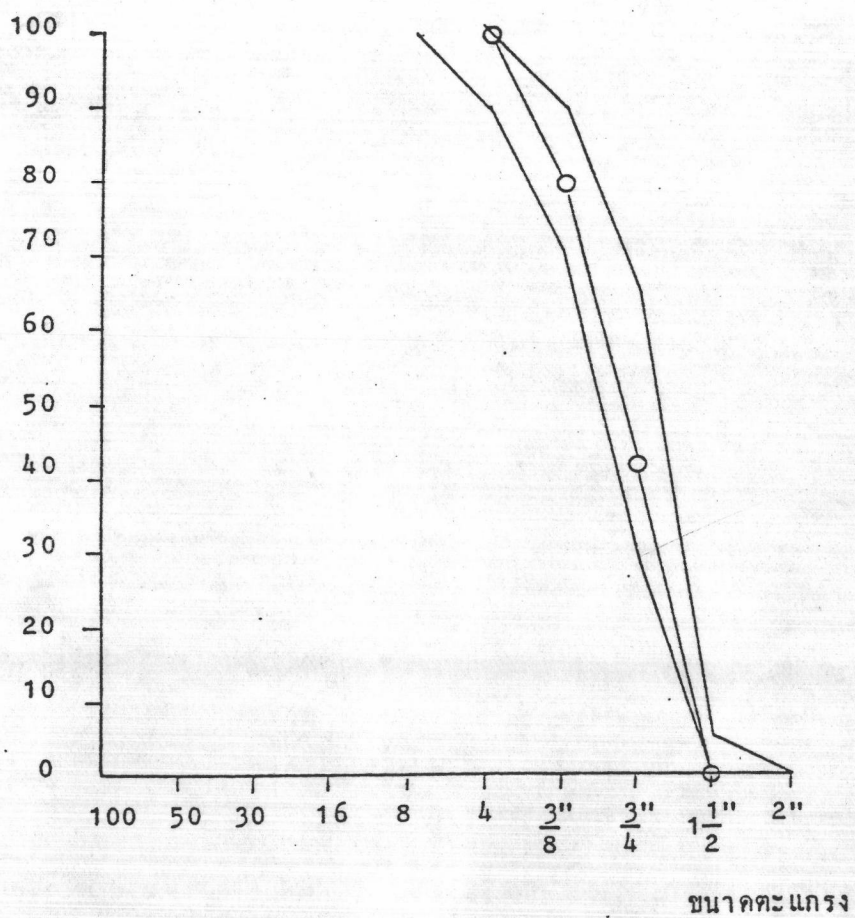
การทดสอบ	$k_1$	$k_2$	$k_3$
การยุบตัว(ซม.)	60	0.3	24
การไหล (%)	383	0.3	141.5

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคงที่ในสมการลดน้ำที่ 4.3

การทดสอบ	$k_1$	$k_2$	$k_3$
กำลังอัดที่ 28 วัน (กก./ซม. <sup>2</sup> )	-500	0.3	490

○—○ หินที่ใช้ในงานวิจัย  
 — ช่วงที่กำหนดโดย ASTM C33-80

% สวมบนตะแกรง

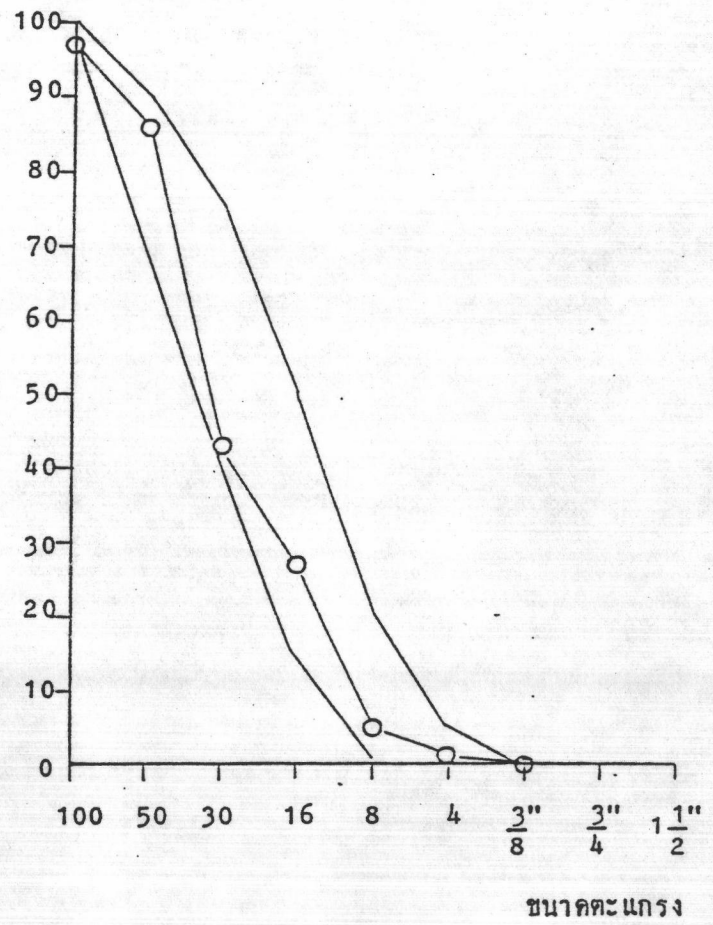


รูปที่ 3.1 แสดงปริมาณผลของหินตามมาตรฐาน ASTM C33

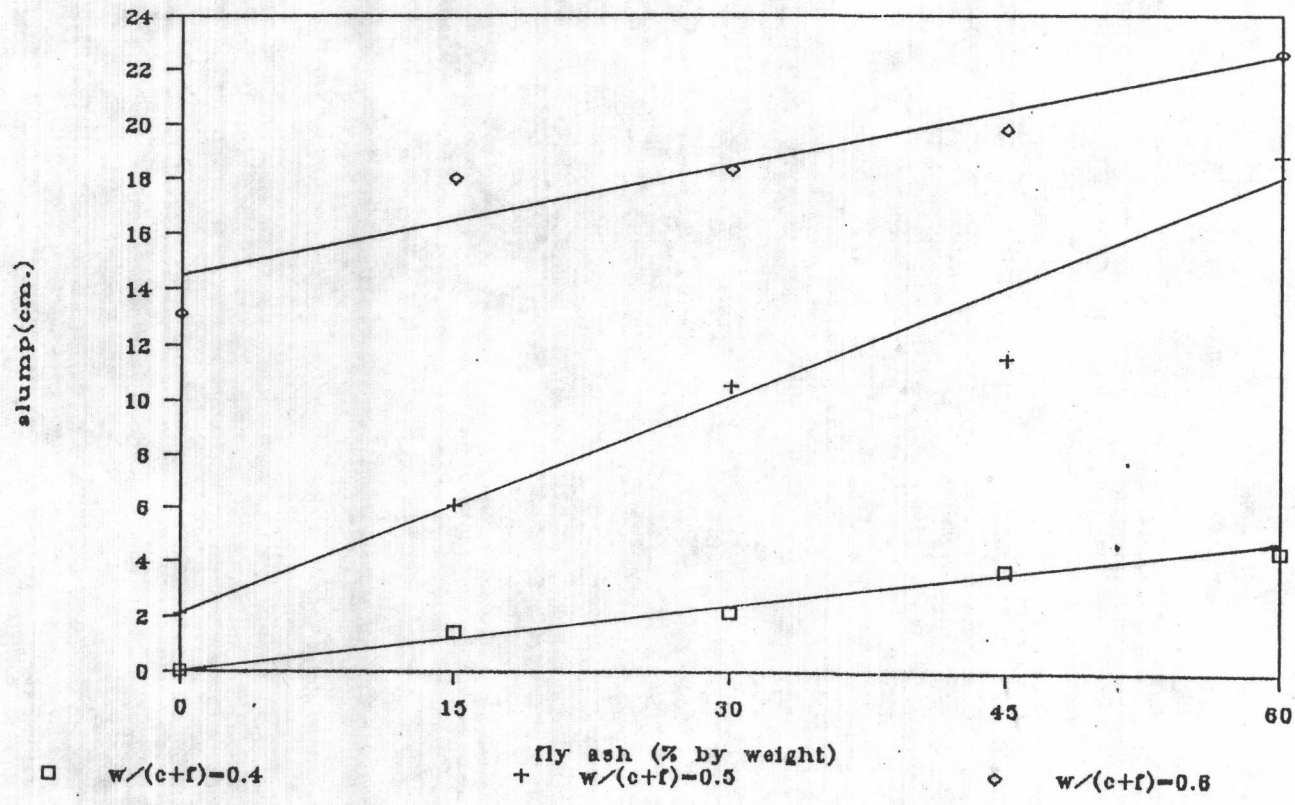


○—○ ทราบที่ใช้ในงานวิจัย  
 — ช่วงที่กำหนดโดย ASTM C33-80

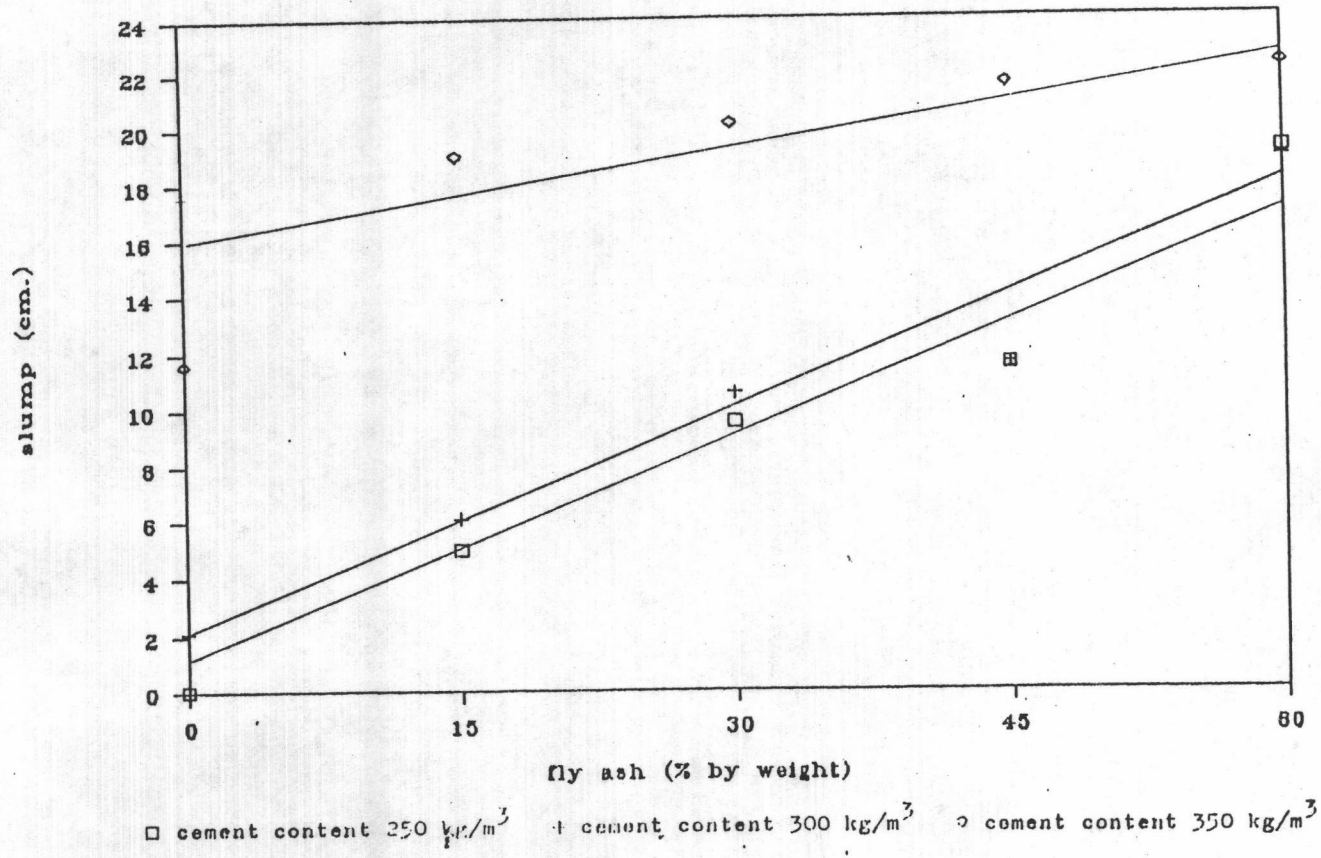
% สหสมบนคะแกรง



รูปที่ 3.2 แสดงปริมาณคะของทรายตามมาตรฐาน ASTM C33

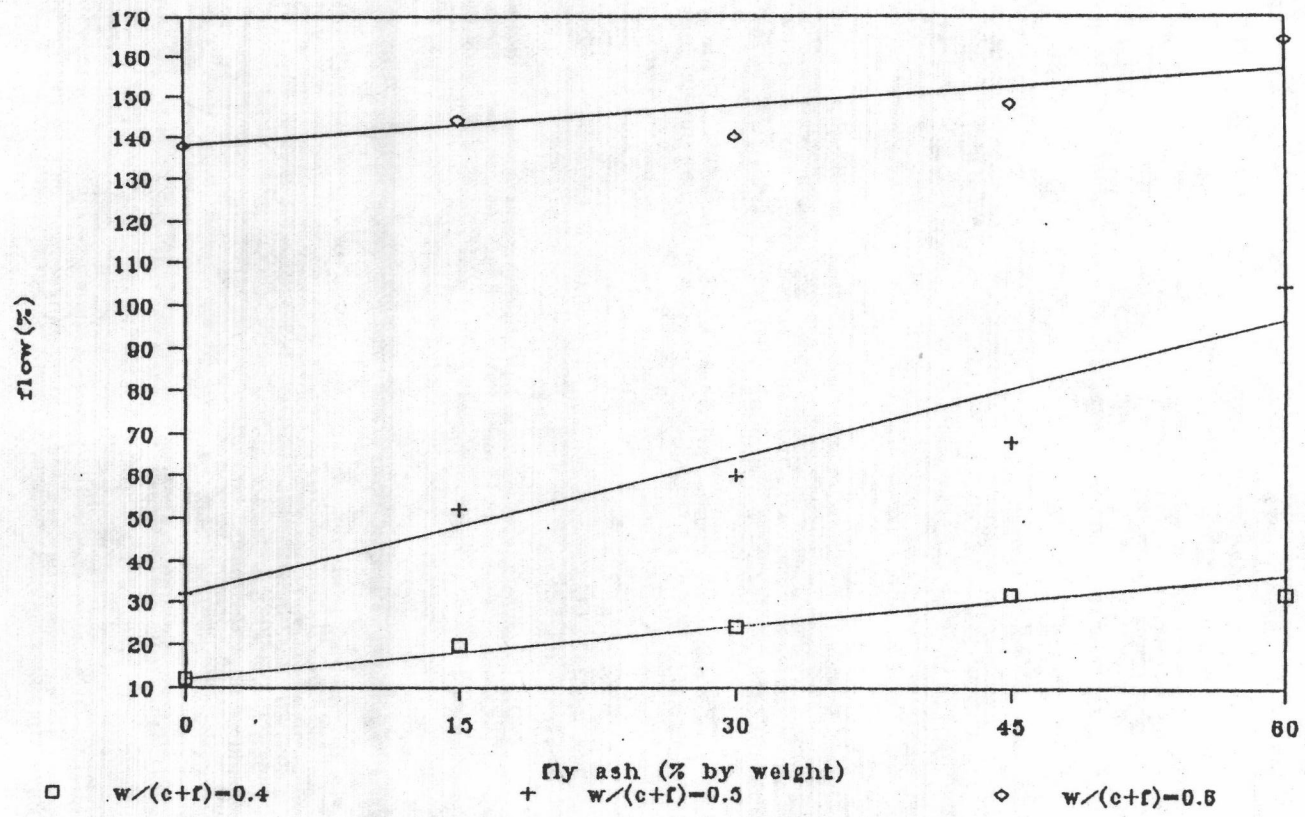


รูปที่ 3.3 การบุงตัวของมวลซีเมนต์ที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

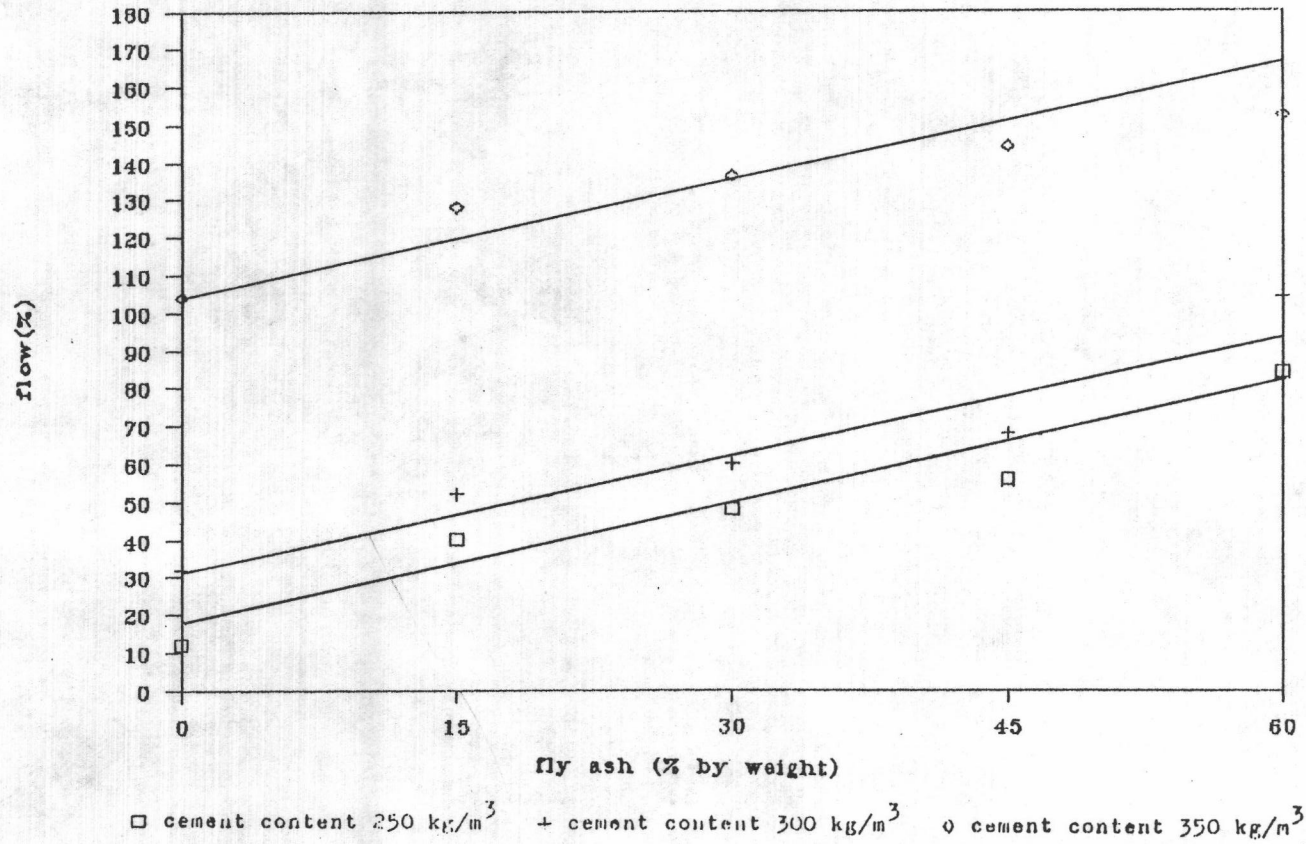


รูปที่ 3.4 การยูนทั่วตามปริมาณที่ละลาย เมื่ออัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียดคงที่เท่ากับ 0.5

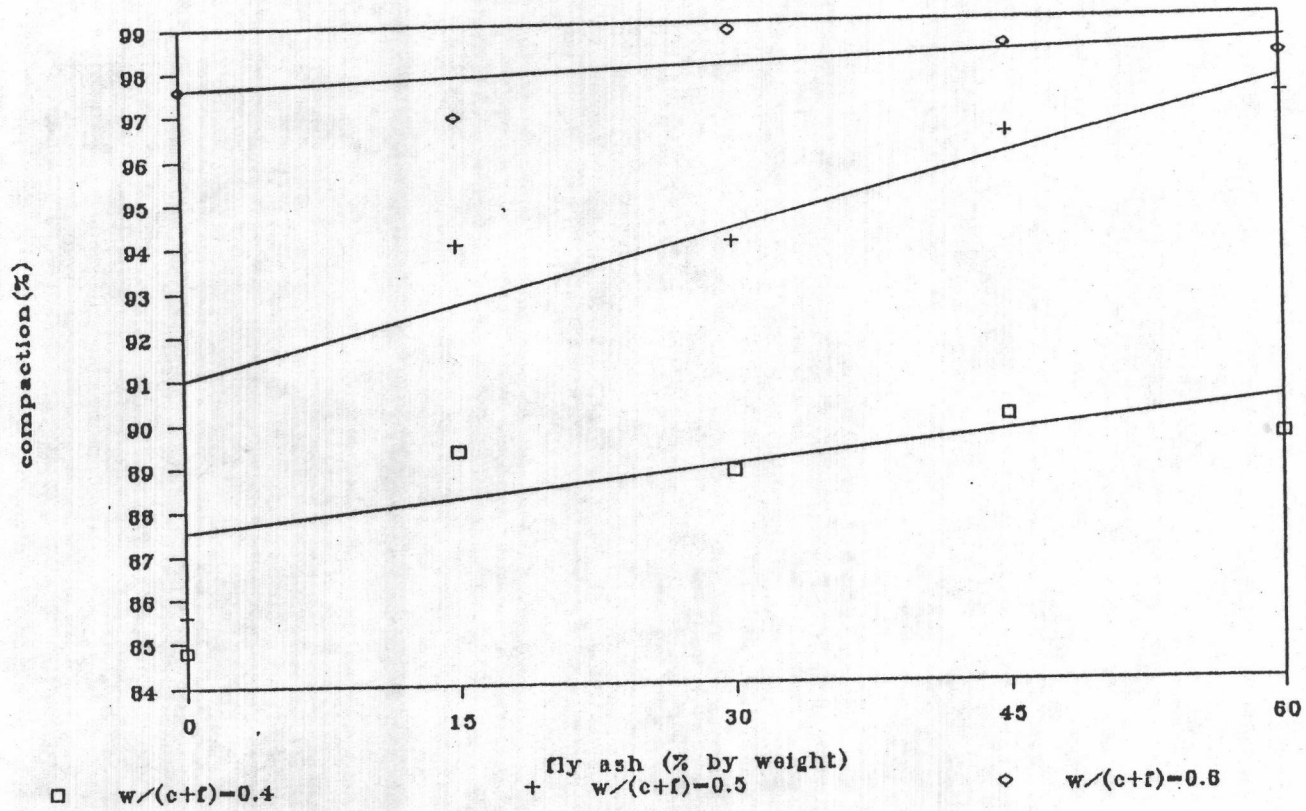




รูปที่ 3.5 ค่าการไหลตามปริมาณซีเมนต์ลอยเมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

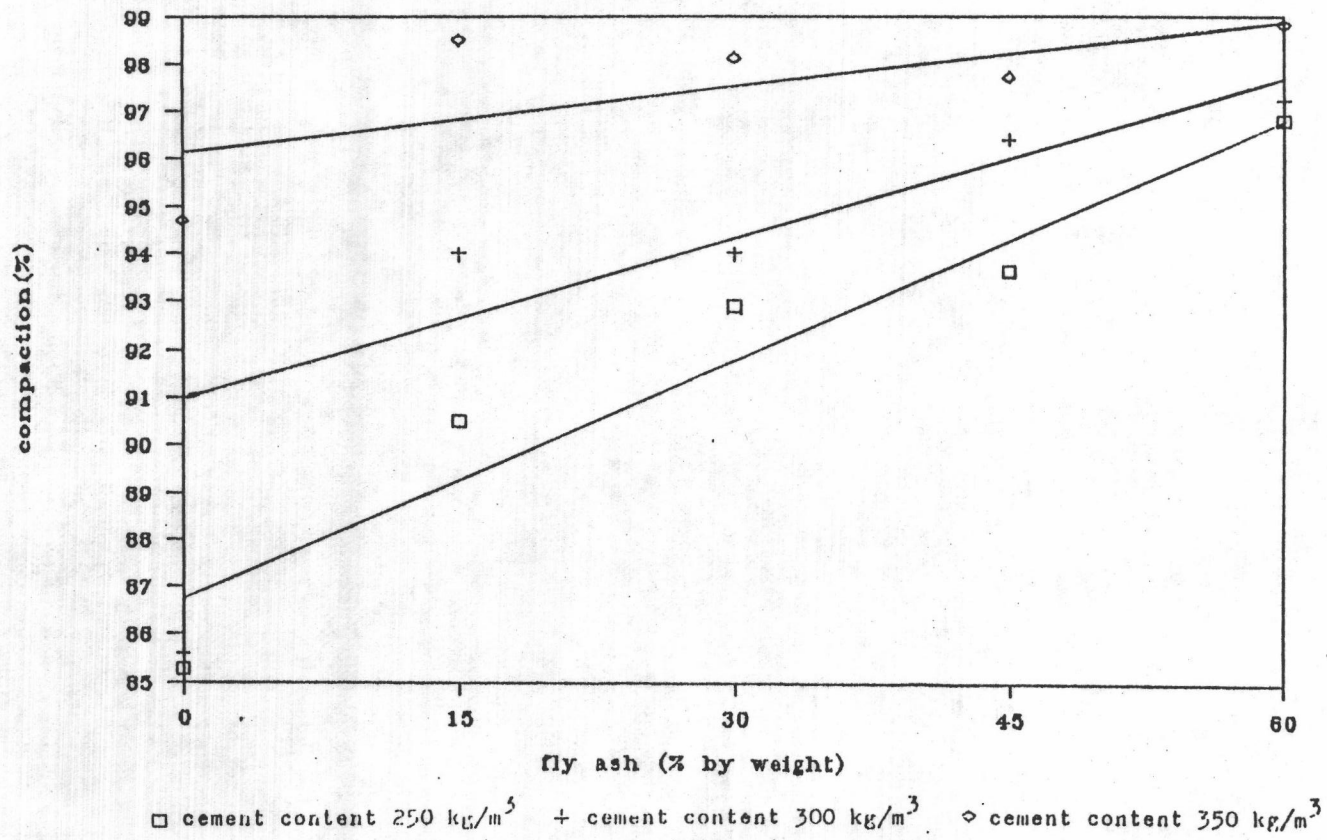


รูปที่ 3.6 ค่าการไหลตามปริมาณที่เจือจาง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียดคงที่เท่ากับ 0.5

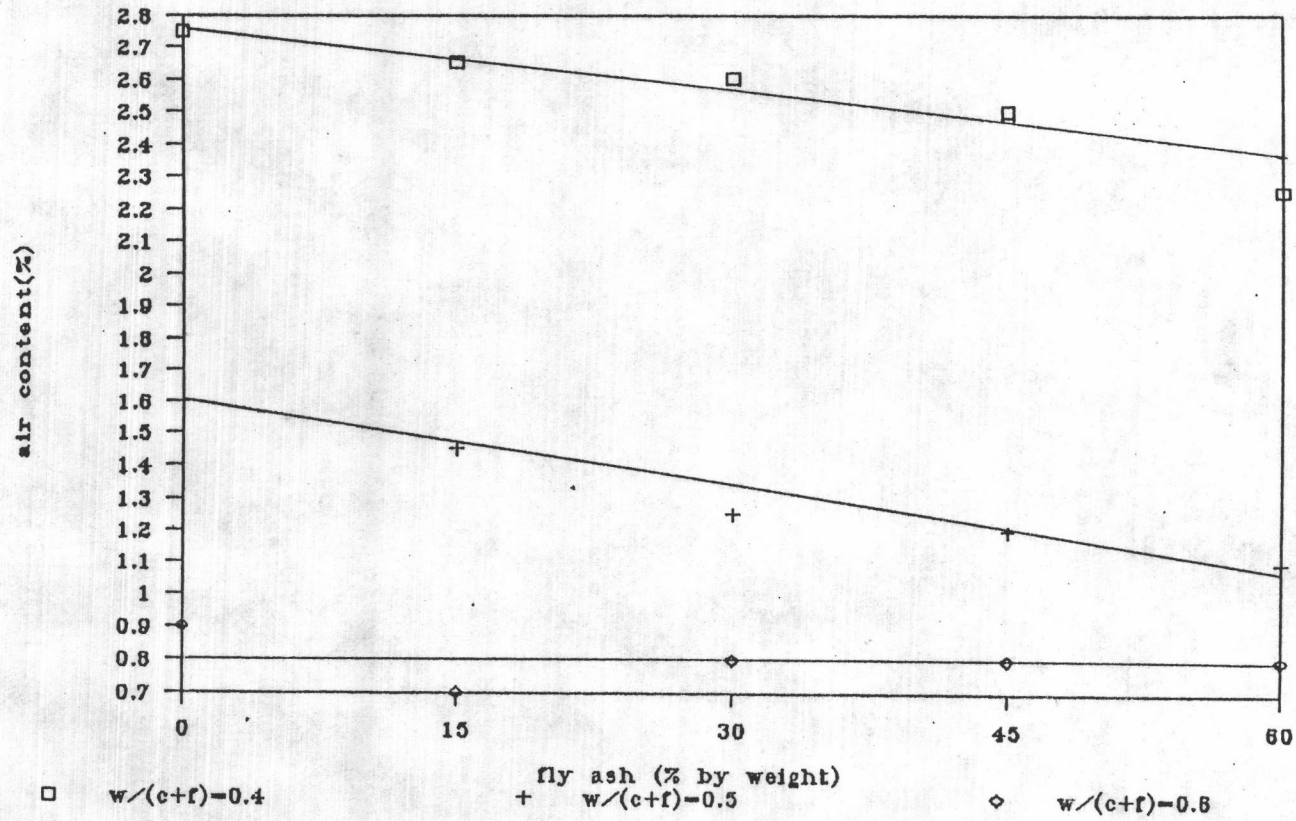


รูปที่ 3.7 ค่าการอัดแน่นตามปริมาณที่ เตาลอย เมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

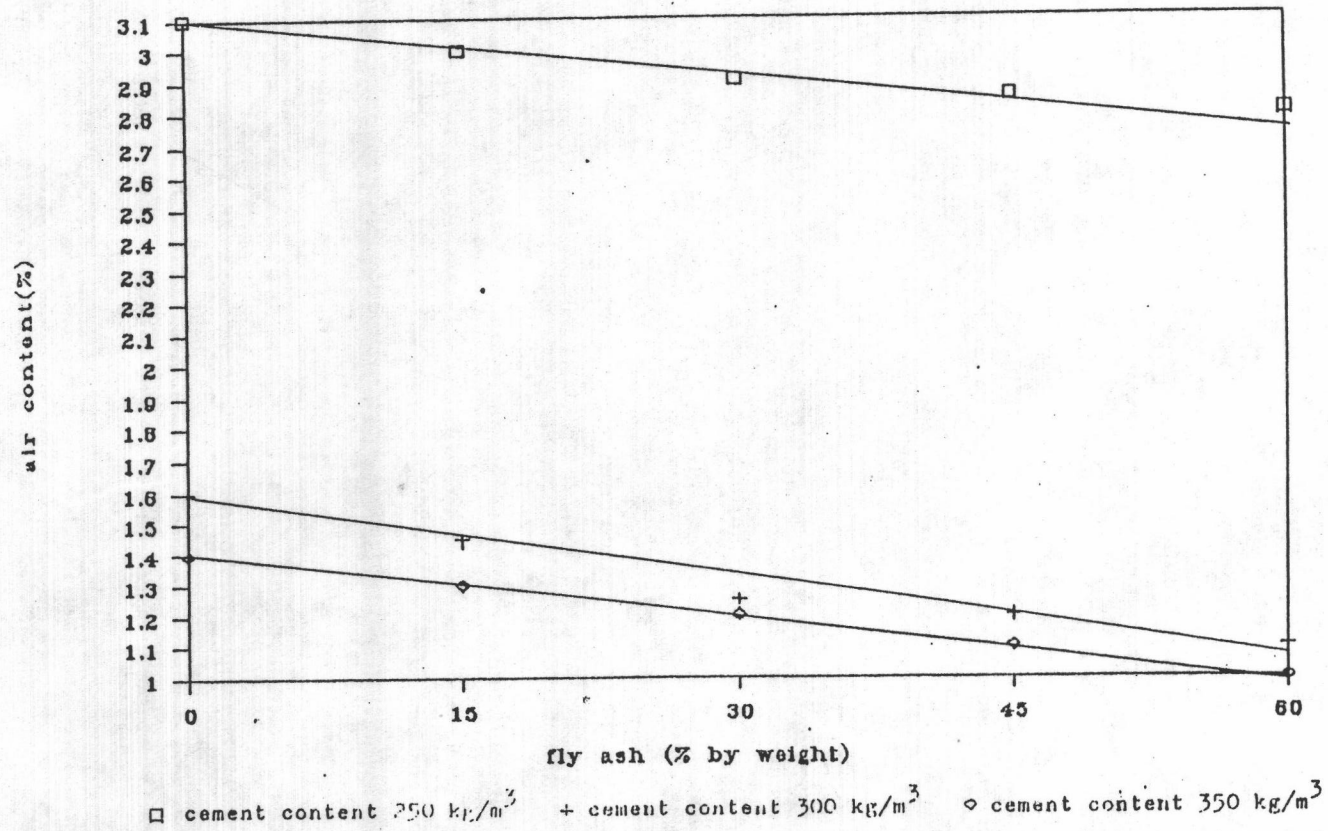




รูปที่ 3.8 ค่าการอัดแน่นตามปริมาณที่แตกย่อย เมื่ออัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียดแข็งที่เท่ากับ 0.5

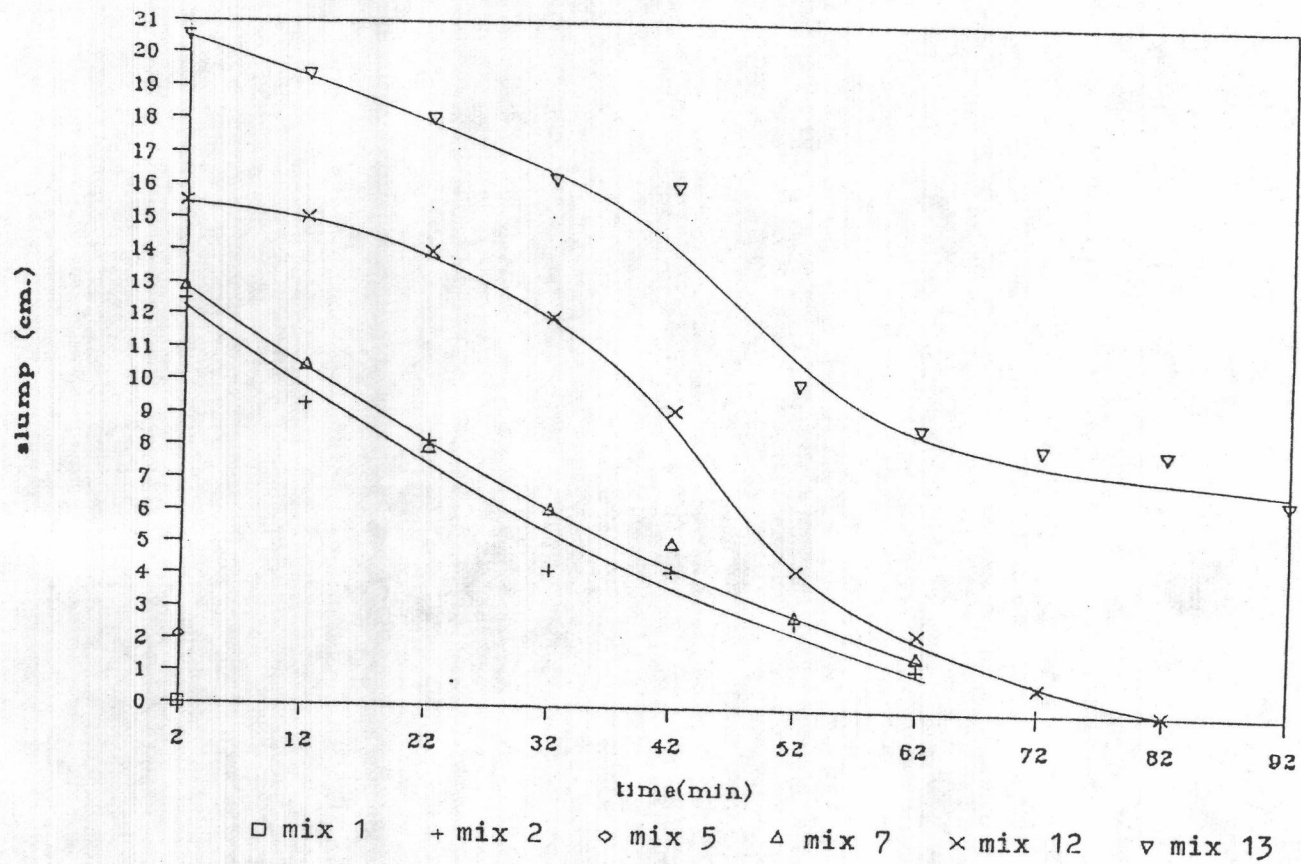


รูปที่ 3.9 ปริมาณของอากาศตามปริมาณที่ละลายเมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300กก./ม.<sup>3</sup>

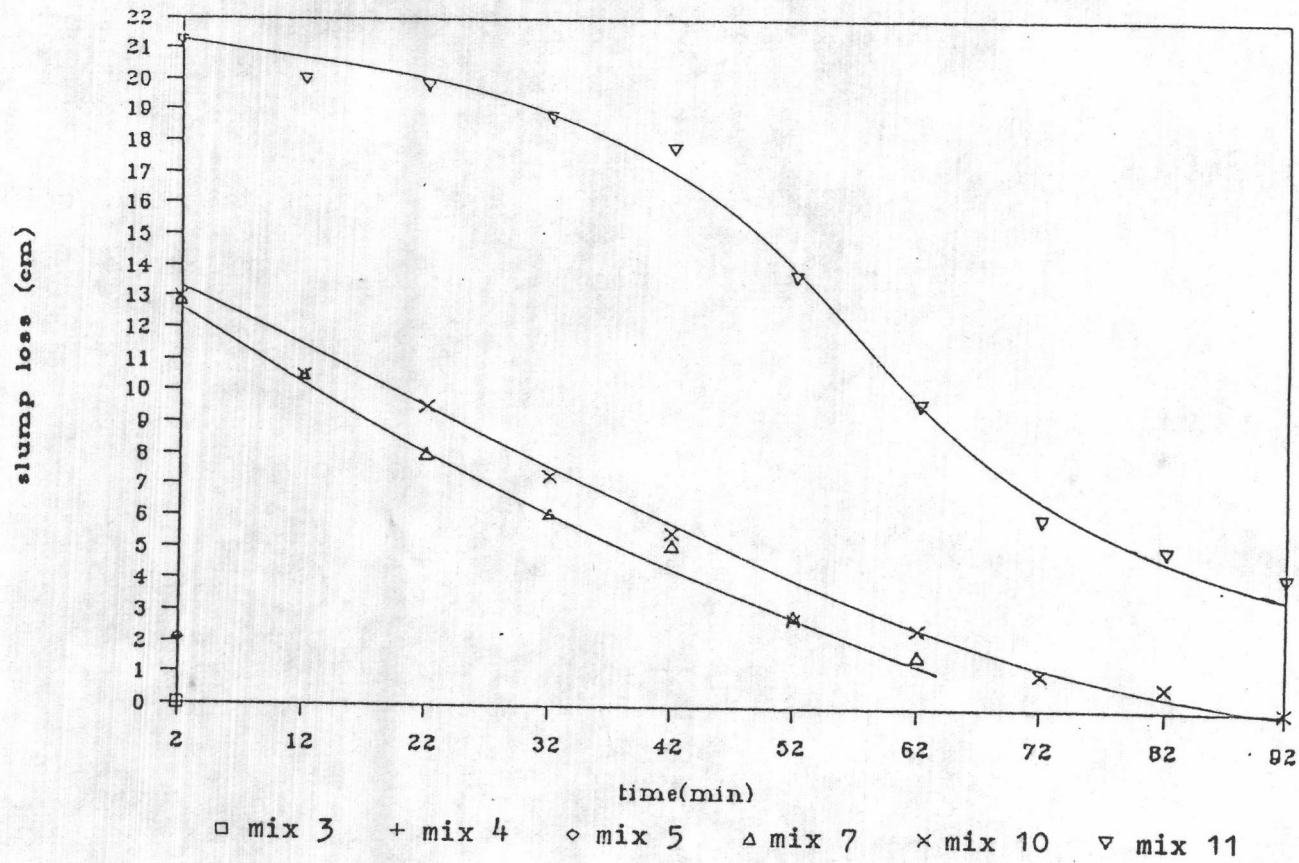


รูปที่ 3.10 ปริมาณฟองอากาศตามปริมาณซีเมนต์ลดเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อมวลภาคละเอียดที่เท่ากับ 0.5

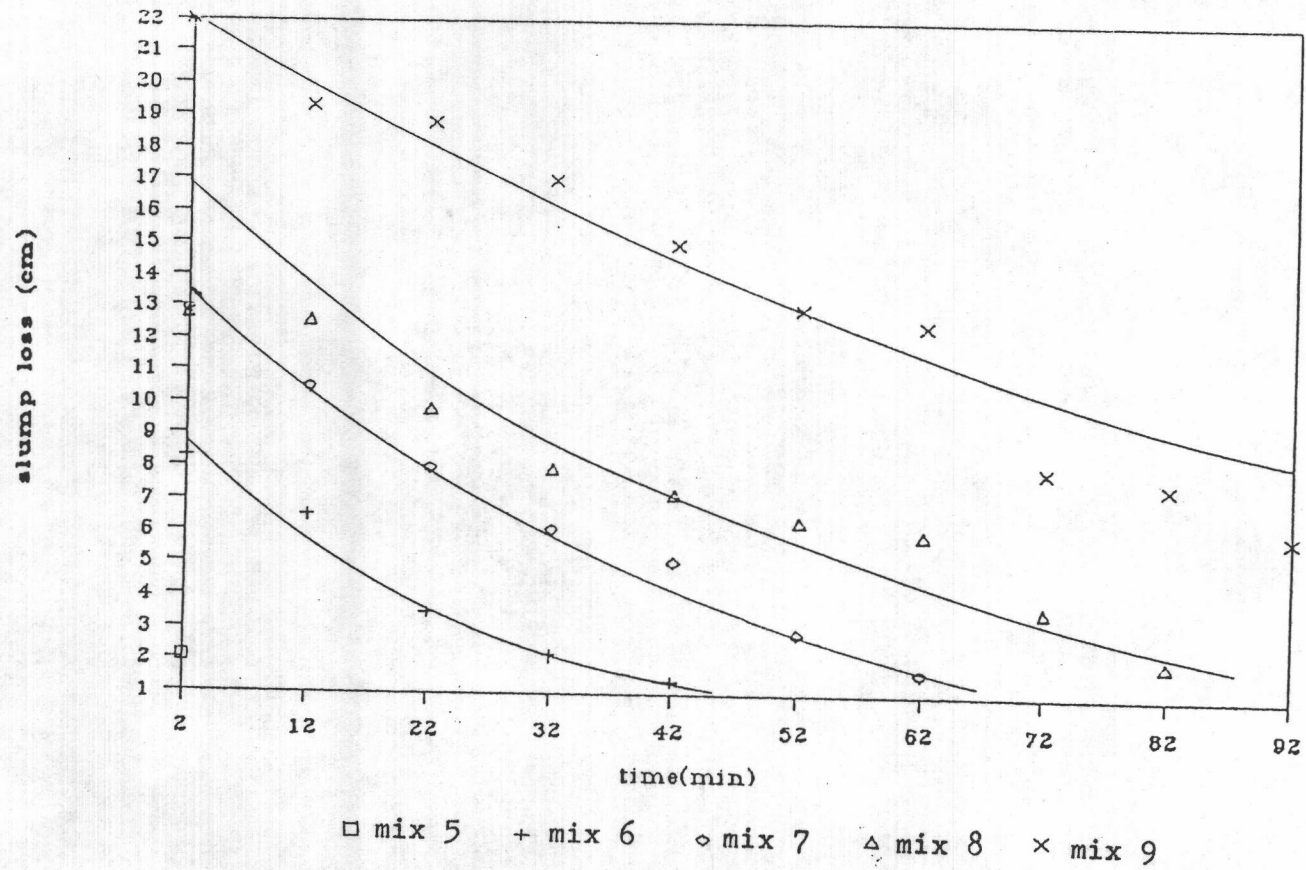




รูปที่ 3.11 การสูญเสียการยุบตัวของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมซีเมนต์เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อน้ำตาลละเอียดเท่ากับ 0.5

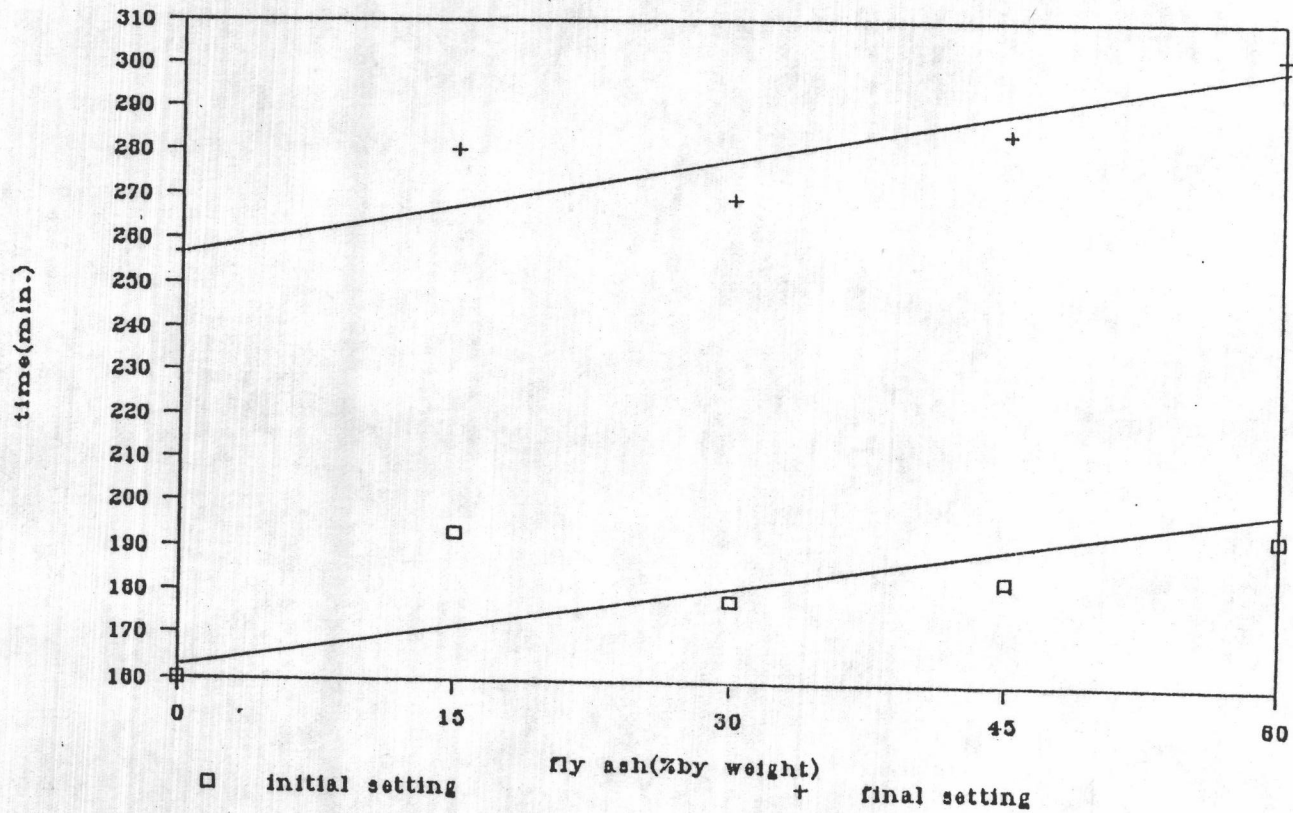


รูปที่ 3.12 การสูญเสียการยุบตัวของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมซีเมนต์เกรดลอมเวือปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

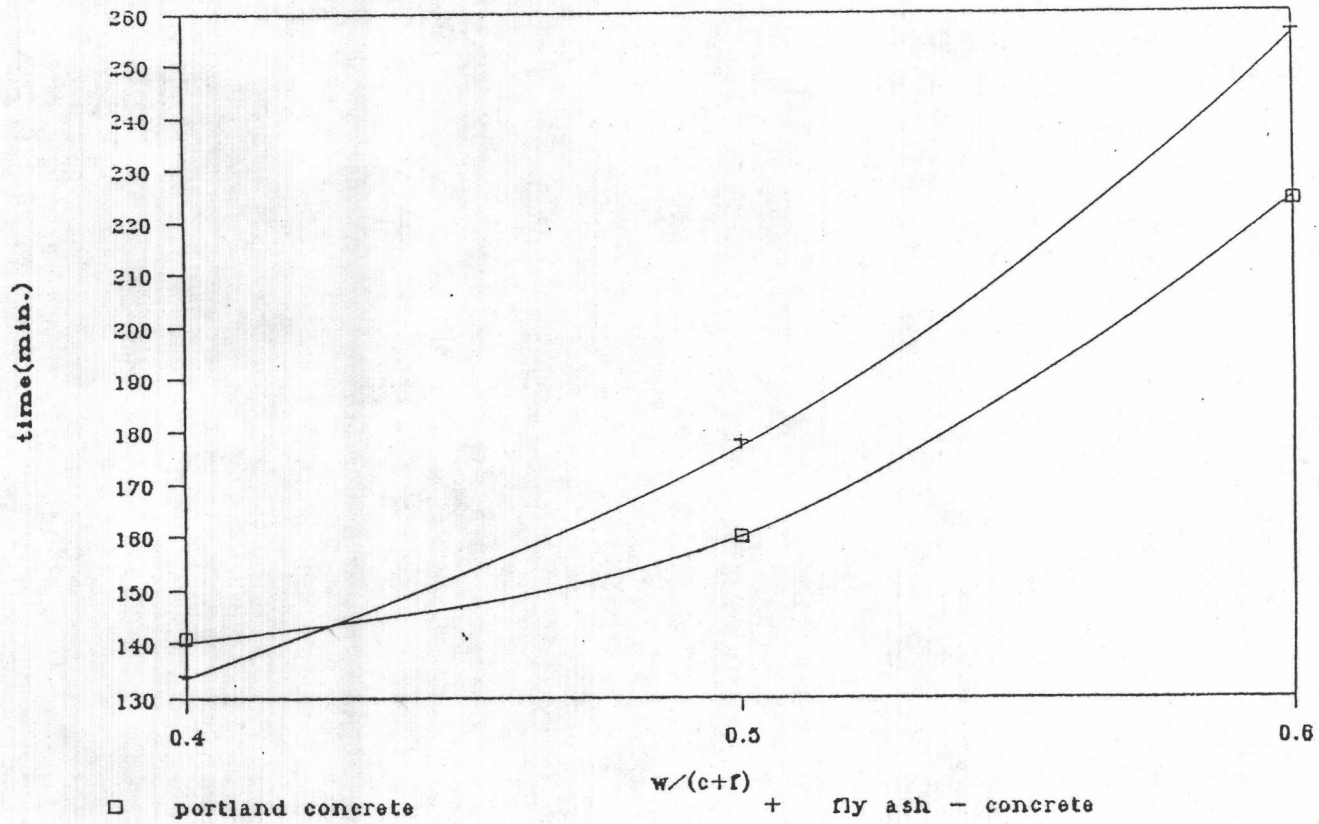


รูปที่ 3.13 การสูญเสียการยุบตัวตามปริมาณที่ทดสอบ



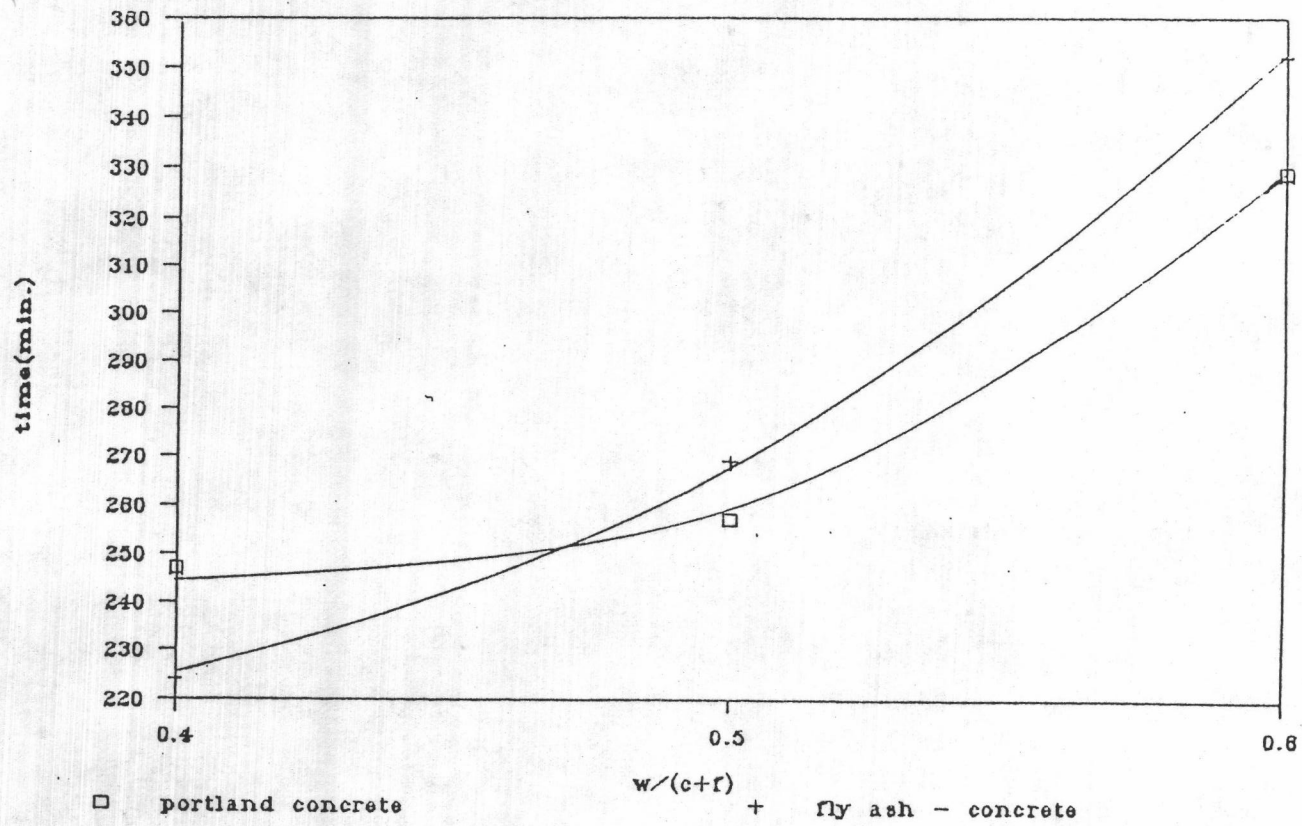


รูปที่ 3.14 ระยะเวลาก่อตัวตามปริมาณที่เติม



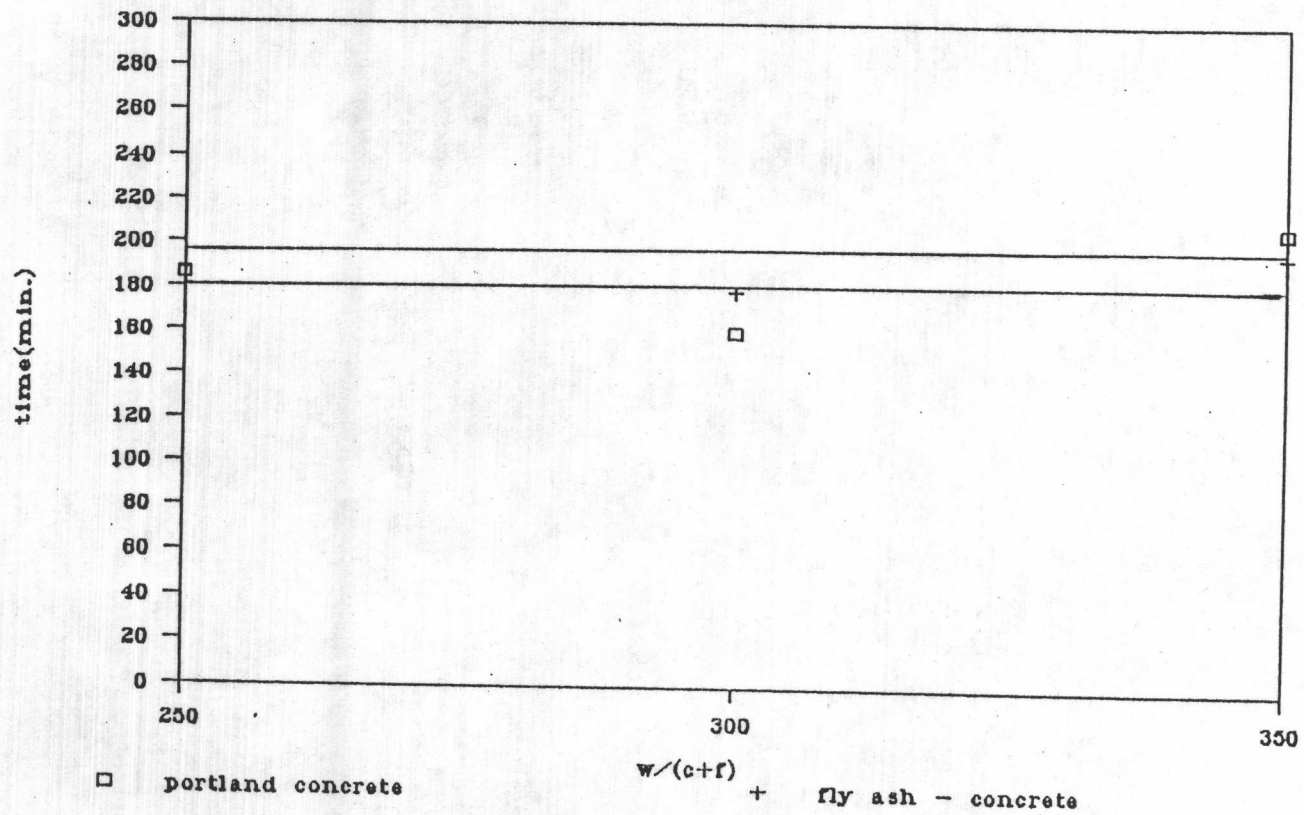
รูปที่ 3.15 ระยะเวลาก่อตัวขึ้นต้นตามอัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียด



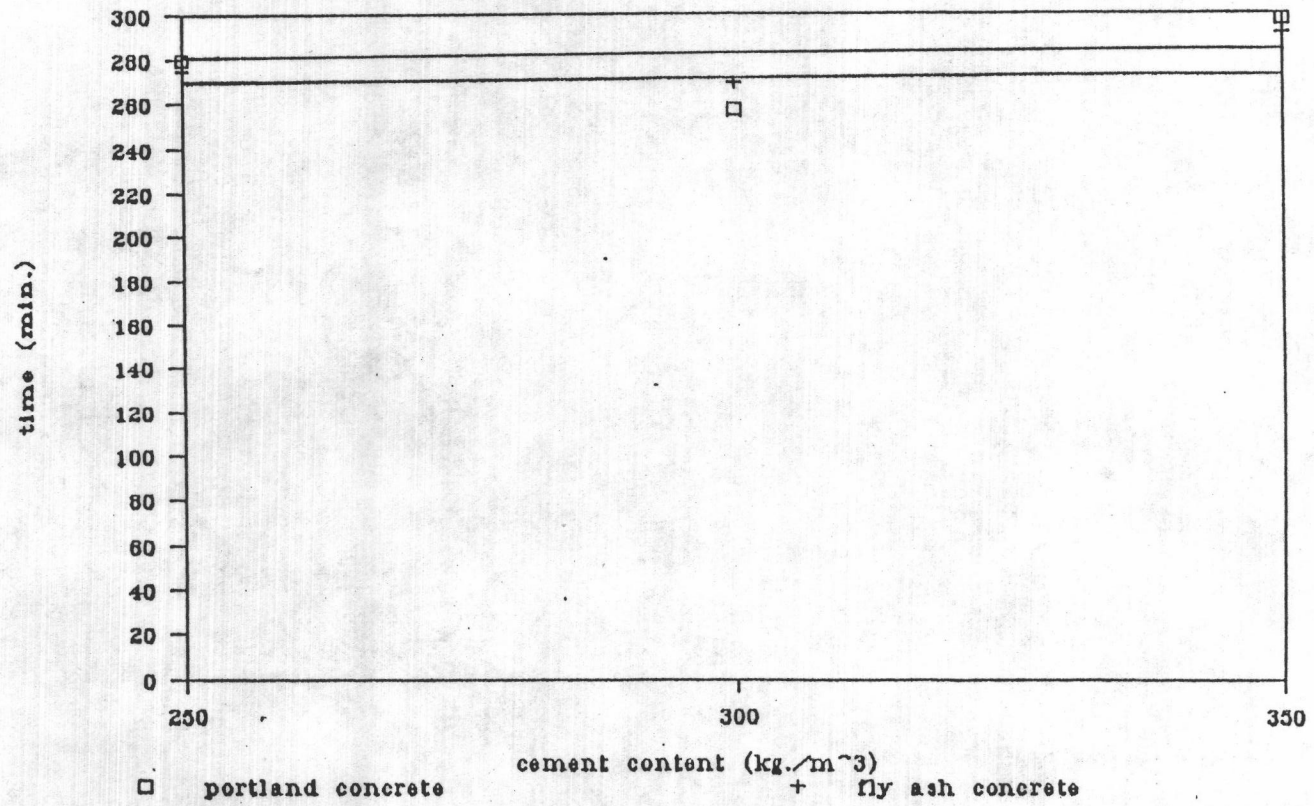


รูปที่ 3.16 ระยะเวลาที่ตัวขึ้นเปลี่ยนตามอัตราส่วนน้ำต่ออนุภาคละเอียด

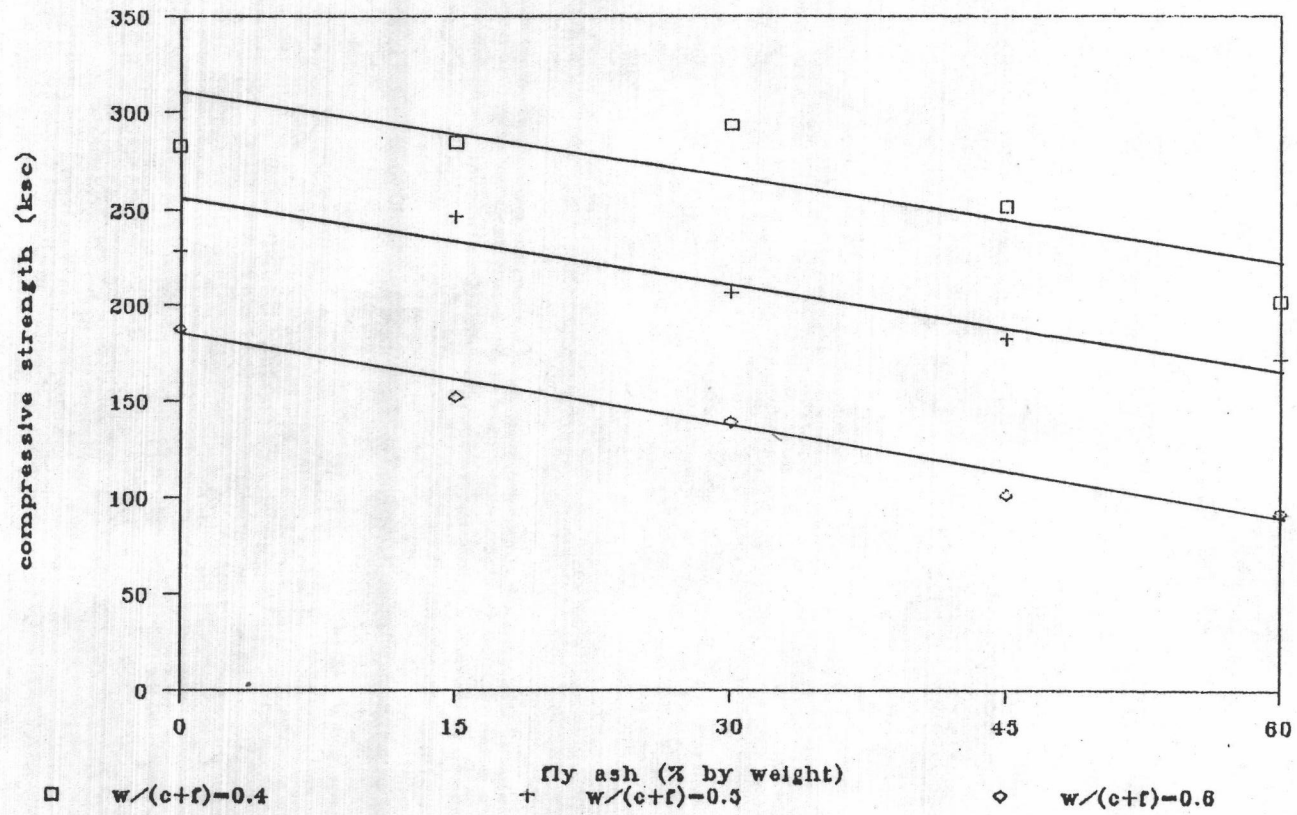




รูปที่ 3.17 ระยะเวลาที่ตัวขึ้นต้นตามปริมาณซีเมนต์

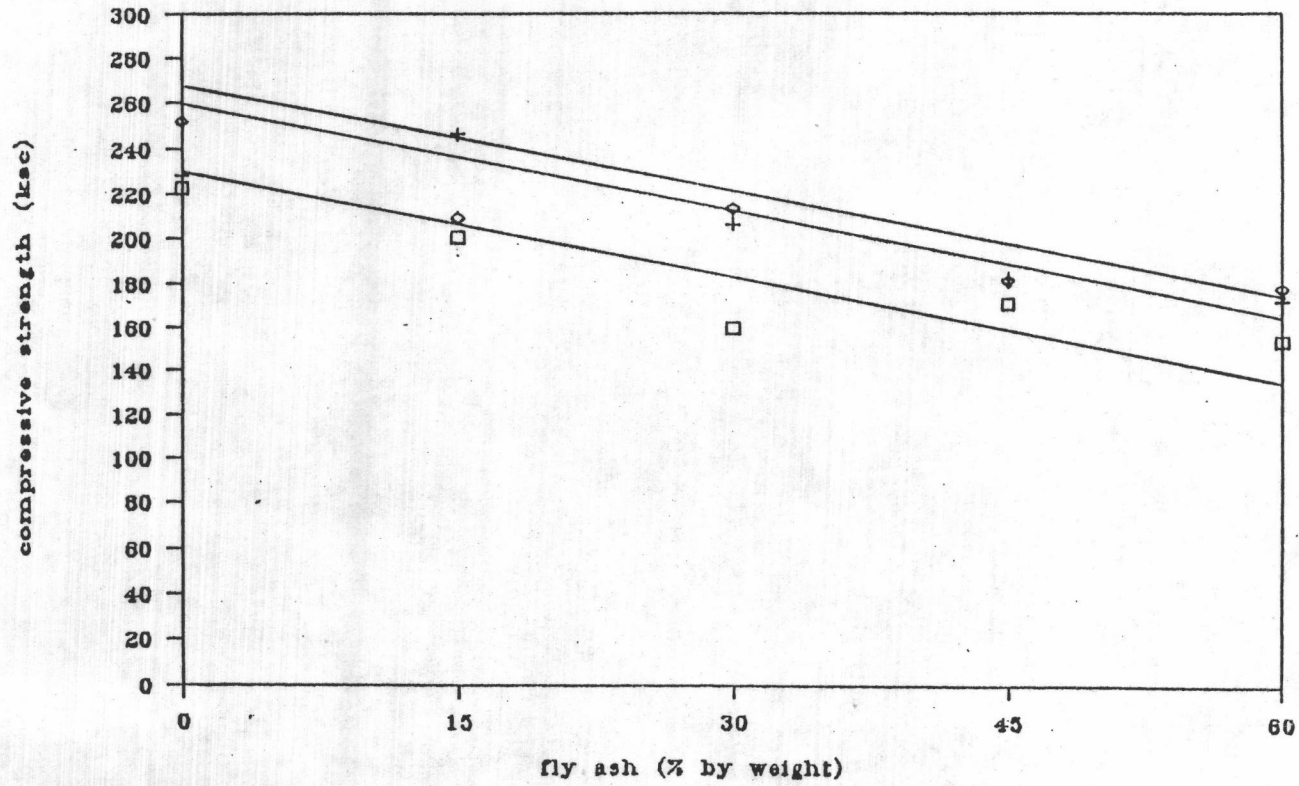


รูปที่ 3.18 ระยะเวลาที่ตัวขึ้นละลายตามปริมาณซีเมนต์



รูปที่ 3.19 กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตตามปริมาณที่ได้อบเมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ 300 กก./ม.<sup>3</sup>

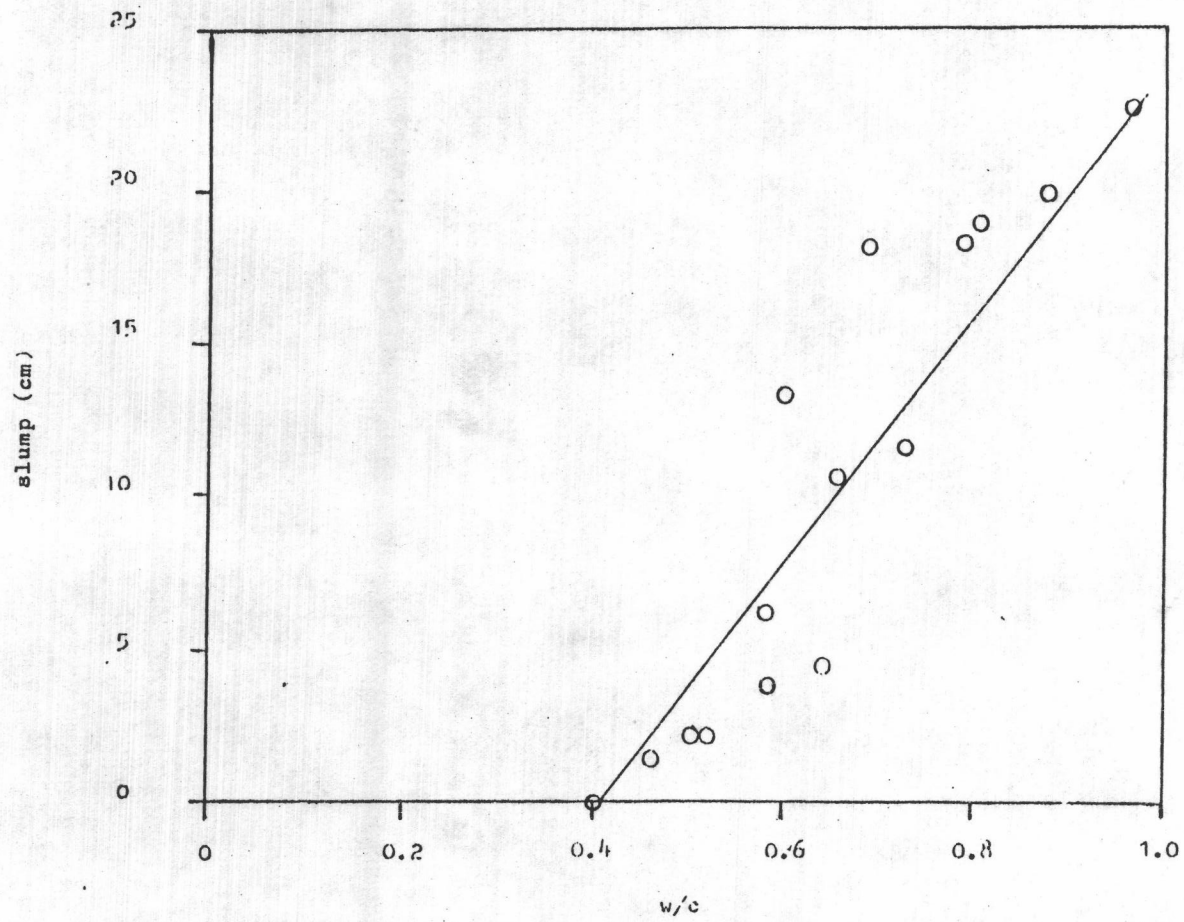




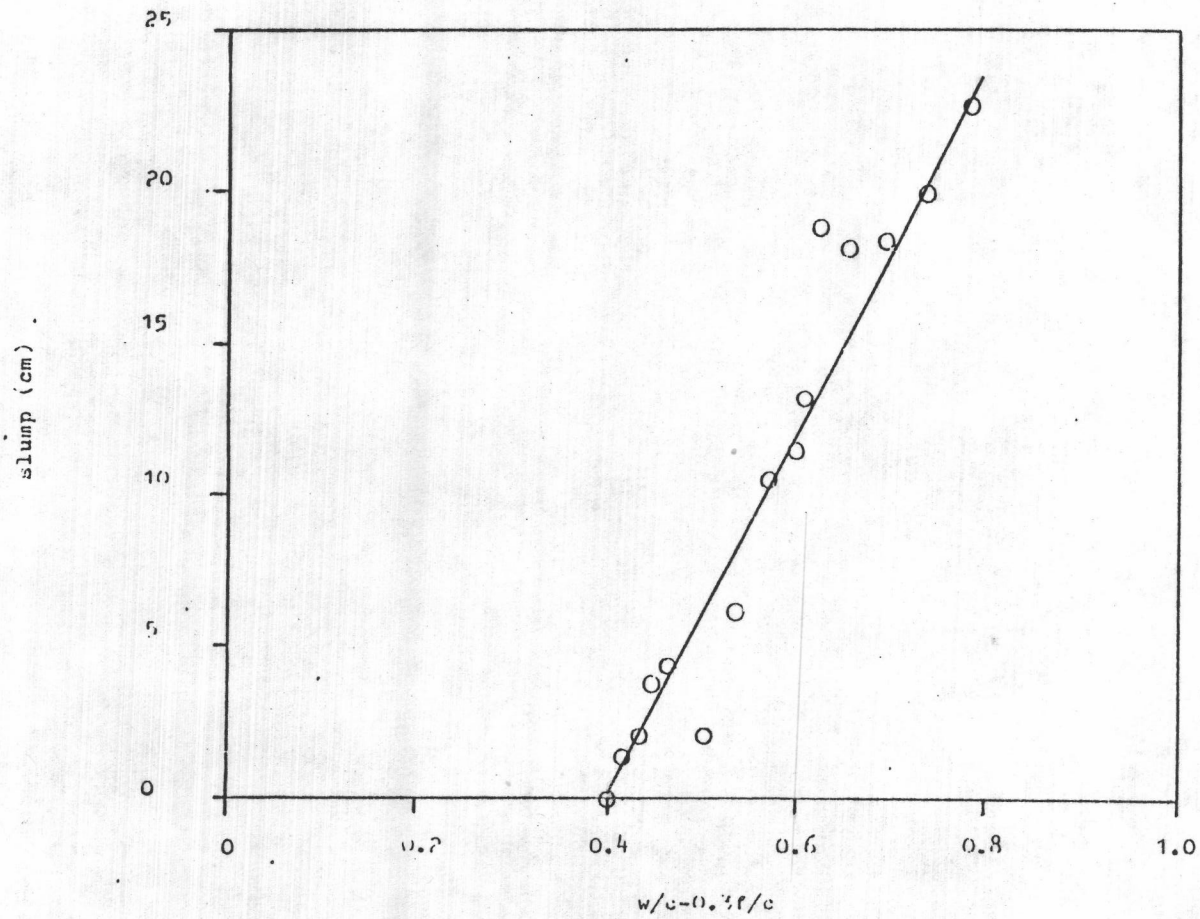
□ cement content 250 kg/m<sup>3</sup>    + cement content 300 kg/m<sup>3</sup>    ◇ cement content 350 kg/m<sup>3</sup>



รูปที่ 3.20 กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตตามปริมาณที่ เติลอม เมืออัตราส่วนน้ำต่ออนุภาค  
ละเอียดคงที่เท่ากับ 0.5

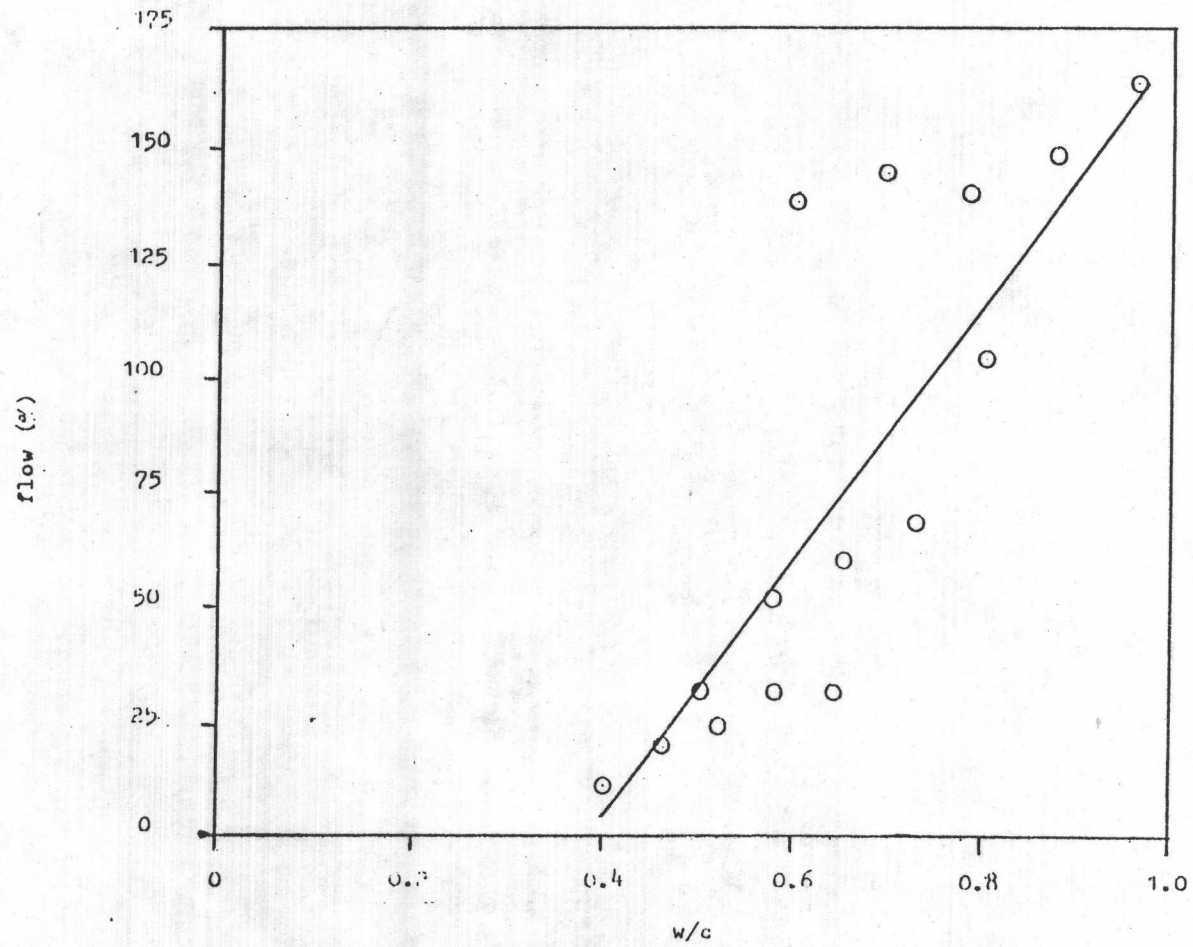


รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและ w/c

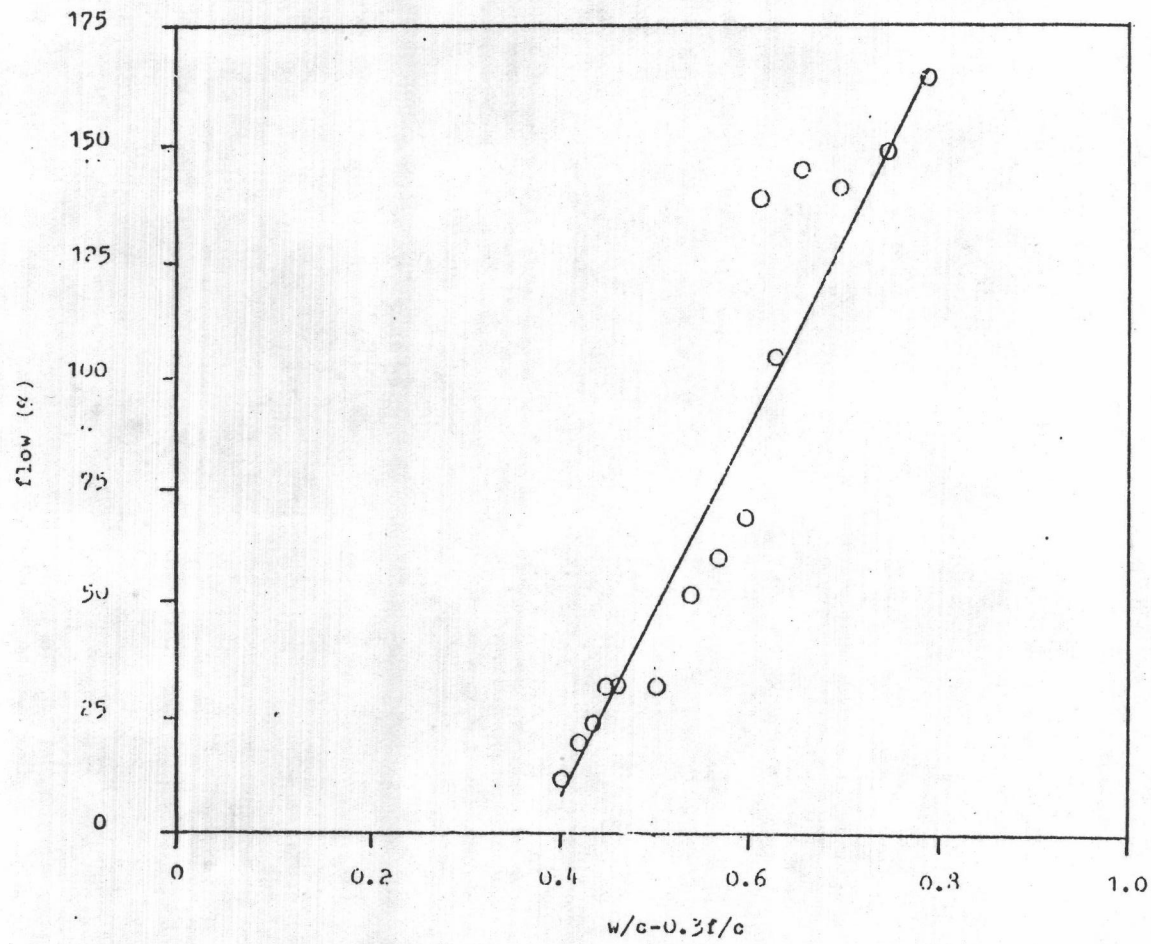


รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและ  $w/c - 0.3 F/C$

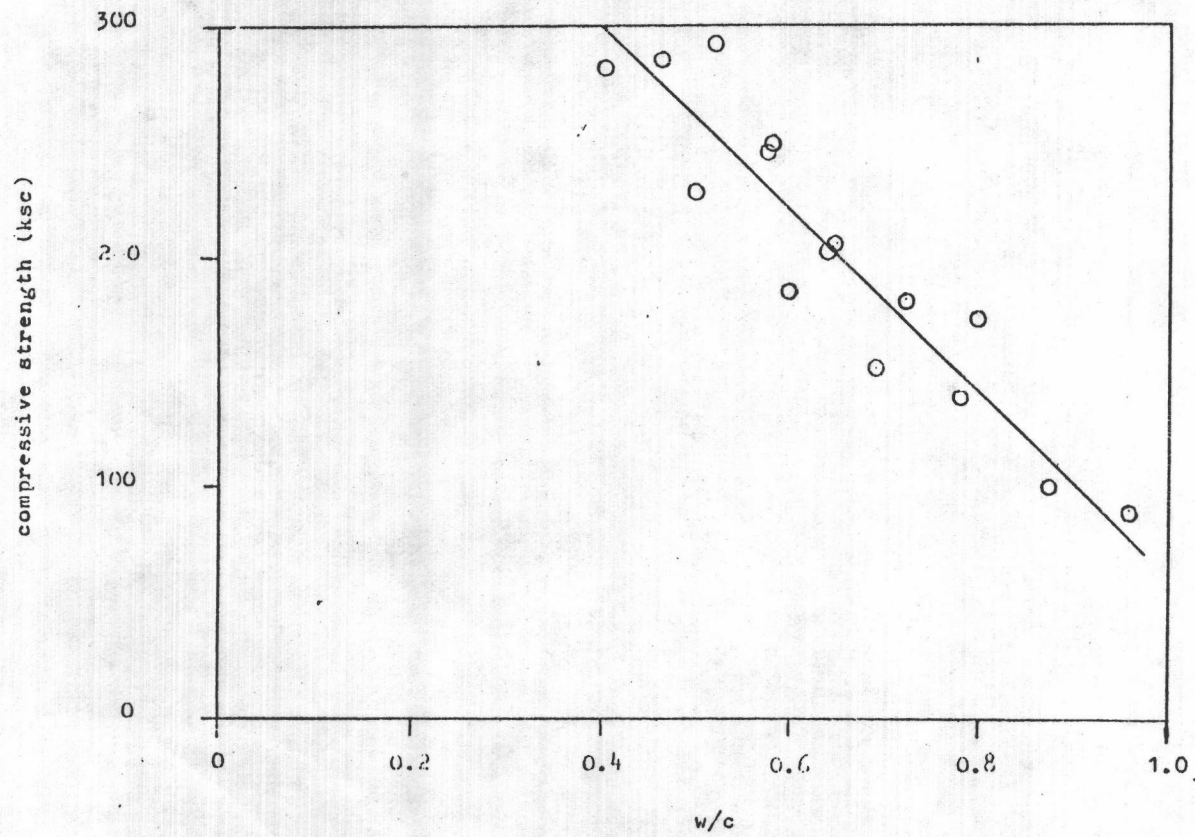




รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลและ w/c

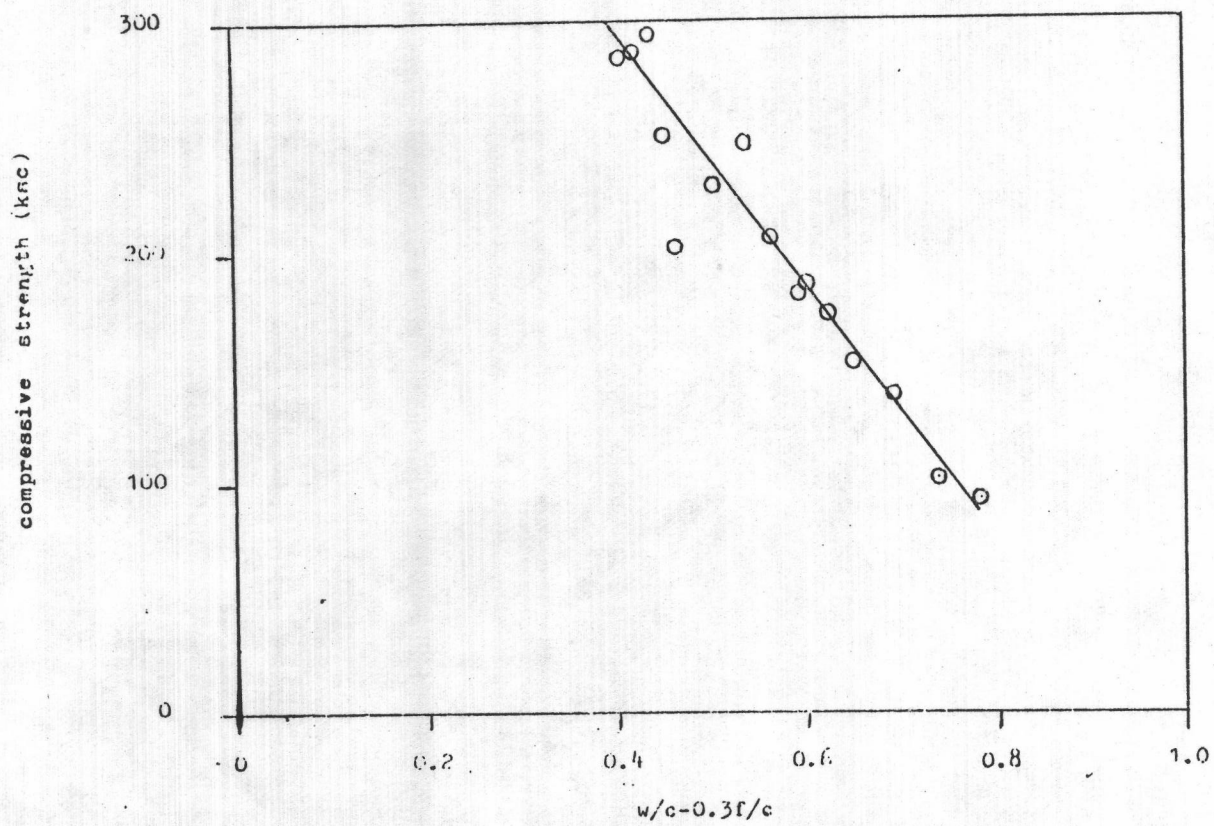


รูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล และ  $w/c - 0.3 F/c$



รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และ w/c.





รูปที่ 3.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และ  $w/c - 0.3 f/c$

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



ตารางที่ ก 1 ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

C	W	F	S	FL	PC	FC	IA	FA
300	0.4	0	0	28	15.50	17.40	0	2.85
		15	1.4	30	16.20	17.55	0	2.75
		30	2.1	31	16.00	17.40	0	2.70
		45	3.7	33	16.20	17.45	0	2.60
		60	4.4	33	15.60	16.85	0	2.35
250	0.5	0	0	28	15.60	17.45	0	3.20
		15	5.0	35	16.30	17.50	0	3.10
		30	9.5	37	16.70	17.60	0	3.00
		45	11.5	39	16.70	17.50	0	2.95
		60	19.1	46	17.10	17.50	0	2.70
300	0.5	0	2.1	33	15.60	17.40	0	1.70
		15	6.1	38	16.75	17.50	0	1.55
		30	10.5	40	16.65	17.40	0	1.35
		45	11.5	42	16.85	17.30	0	1.30
		60	18.8	51	17.15	17.50	0	1.20
350	0.5	0	11.6	51	17.40	18.10	0	1.50
		15	19.0	57	17.65	17.85	0	1.40
		30	20.1	59	17.50	17.75	0	1.30

## ตารางที่ ก 1 (ต่อ)

C	W	F	S	FL	PC	FC	IA	FA
350	0.5	45	21.5	61	17.50	17.80	0	1.20
		60	22.2	63	27.65	27.80	0	1.10
300	0.6	0	13.1	59.5	17.20	17.50	0	1.00
		15	18.0	61	16.40	17.80	0	0.80
		30	18.3	60	17.55	17.70	0	0.90
		45	19.8	62	07.60	17.80	0	0.90
		60	22.5	66	17.55	17.80	0	0.90

- C ปริมาณซีเมนต์ (Cement Content, กก./ม.<sup>3</sup>)  
W อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์รวมซีเถ้าลอย (Water Cement-fly ash Ratio)  
F ปริมาณซีเถ้าลอย (Fly Ash, % โดยน้ำหนัก)  
S ค่าการยุบตัว (Slump, ซม.)  
FL รัศมีการแผ่กระจายของคอนกรีตบนโต๊ะการไหล (ซม.)  
PC การอัดแน่นบางส่วน (Partially Compaction, กก.)  
FC การอัดแน่นเต็มที่ (Fully Compaction, กก.)  
IA ปริมาณฟองอากาศเริ่มต้น (Initial Reading Air Content, %)  
FA ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต (Final Reading Air Content, %)

น้ำหนักแบบหล่อคอนกรีตสำหรับทดสอบการอัดแน่น 4.9 กก.  
รัศมีพื้นฐานของคอนกรีตบนโต๊ะการไหลก่อนทดสอบ 25 ซม.  
ค่าปรับแก้ปริมาณฟองอากาศเนื่องจากมวลรวม 0.1 %

ตารางที่ ก 2 ข้อมูลการก่อดั้วส่วนผสมที่ 1

เวลา (นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
125	4.6	4.0	4.0
140	6.7	8.1	7.4
155	17.7	14.9	15.9
170	26.5	21.2	24.1
185	31.8	40.3	35.4
200	86.7	77.8	90.2
230	109.6	166.7	107.9
245	137.9	137.9	134.4



ตารางที่ ก 3 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 2

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance,ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
141	7.8	6.4	7.8
156	12.7	11.0	12.4
171	17.7	21.9	42.4
201	69.0	65.4	54.8
216	90.2	88.4	99.0
231	113.2	102.6	107.9
246	141.5	125.6	129.1
261	162.7	183.9	180.4

ตารางที่ ก 4 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 3

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
87	6.4	5.7	6.4
102	9.2	12.0	12.0
117	20.2	20.5	20.5
132	30.8	33.6	34.3
147	42.8	44.9	47.4
162	72.5	72.5	74.3
177	116.7	123.8	107.9
192	134.4	137.9	159.2

ตารางที่ ก 5 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 4

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
77	8.8	-	-
92	9.2	6.4	7.8
107	14.1	11.3	13.1
122	40.7	15.6	26.2
137	48.1	25.5	40.7
152	90.3	42.4	72.5
167	95.5	69.0	79.6
182	134.4	104.3	145.0
197	173.3	123.8	180.4
212	-	155.6	-

ตารางที่ ก 6 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 5



เวลา(นาที)	ความต้านทานการจรม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
102	6.0	7.1	5.3
117	9.9	8.8	7.4
132	17.3	15.9	17.0
147	29.0	13.3	21.6
162	36.4	38.2	32.5
177	60.1	54.5	39.6
192	96.2	68.3	85.9
207	100.4	96.6	101.5
222	154.6	166.9	109.6
237	-	-	163.7



ตารางที่ ก 7 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 6

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
148	7.8	7.4	9.2
163	9.2	11.3	13.8
178	13.7	25.5	24.4
193	30.1	35.4	38.9
208	60.1	70.7	72.5
223	88.4	92.0	102.6
238	129.1	137.9	122.0
253	146.8	159.2	162.7

ตารางที่ ก 8 ข้อมูลการก่อดั้วส่วนผสมที่ 7

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
133	6.4	6.7	6.0
148	13.4	15.9	13.4
163	27.6	25.8	23.0
178	38.2	51.3	39.6
193	66.1	63.7	49.2
208	93.7	93.7	81.3
223	117.4	128.0	107.9
238	156.3	145.0	119.2
253	176.1	179.3	164.5

ตารางที่ ก 9 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 8

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
142	8.8	9.2	8.8
157	16.6	18.4	18.4
172	31.5	31.8	28.6
187	40.0	44.2	43.9
202	60.5	61.9	61.2
217	74.3	74.3	83.1
232	109.6	100.8	102.6
247	148.5	162.7	164.5
262	169.8	176.8	169.8

ตารางที่ ก 10 ข้อมูลการก่อดั้วส่วนผสมที่ 9

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
134	5.3	6.0	6.0
149	10.6	10.7	10.6
164	13.8	21.6	14.1
179	21.6	32.5	22.3
194	38.9	53.1	38.2
209	48.8	56.6	61.2
224	78.5	84.2	95.5
239	91.9	100.8	102.6
254	114.9	113.2	130.9
269	148.2	160.9	166.2
284	166.6	172.2	172.6



ตารางที่ ก 11 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 10

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
168	6.0	6.4	5.3
183	13.8	11.3	13.4
198	18.0	18.7	15.2
213	31.1	31.8	25.5
228	60.1	47.7	46.0
247	72.5	74.3	60.1
258	90.2	91.9	65.4
273	107.9	102.6	84.9
288	130.9	109.6	130.9
303	155.6	152.1	155.6

ตารางที่ ก 12 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 11

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
168	4.6	5.3	4.6
183	9.2	7.8	7.8
198	14.9	13.4	14.9
213	33.6	30.1	21.2
228	48.8	38.3	30.1
243	61.9	46.0	53.1
258	88.4	63.7	60.1
273	94.3	69.0	74.3
288	106.1	100.8	88.4
303	113.2	109.6	123.8
318	137.9	141.5	141.5

ตารางที่ ก 13 ข้อมูลการก่อดั้วส่วนผสมที่ 12

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
169	9.2	12.0	8.1
184	13.1	23.0	15.9
199	24.7	36.1	23.0
214	38.9	36.4	37.8
229	74.3	69.0	72.5
244	113.2	106.1	99.0
259	127.3	114.9	116.9
274	136.2	159.2	159.2
289	159.2	-	-

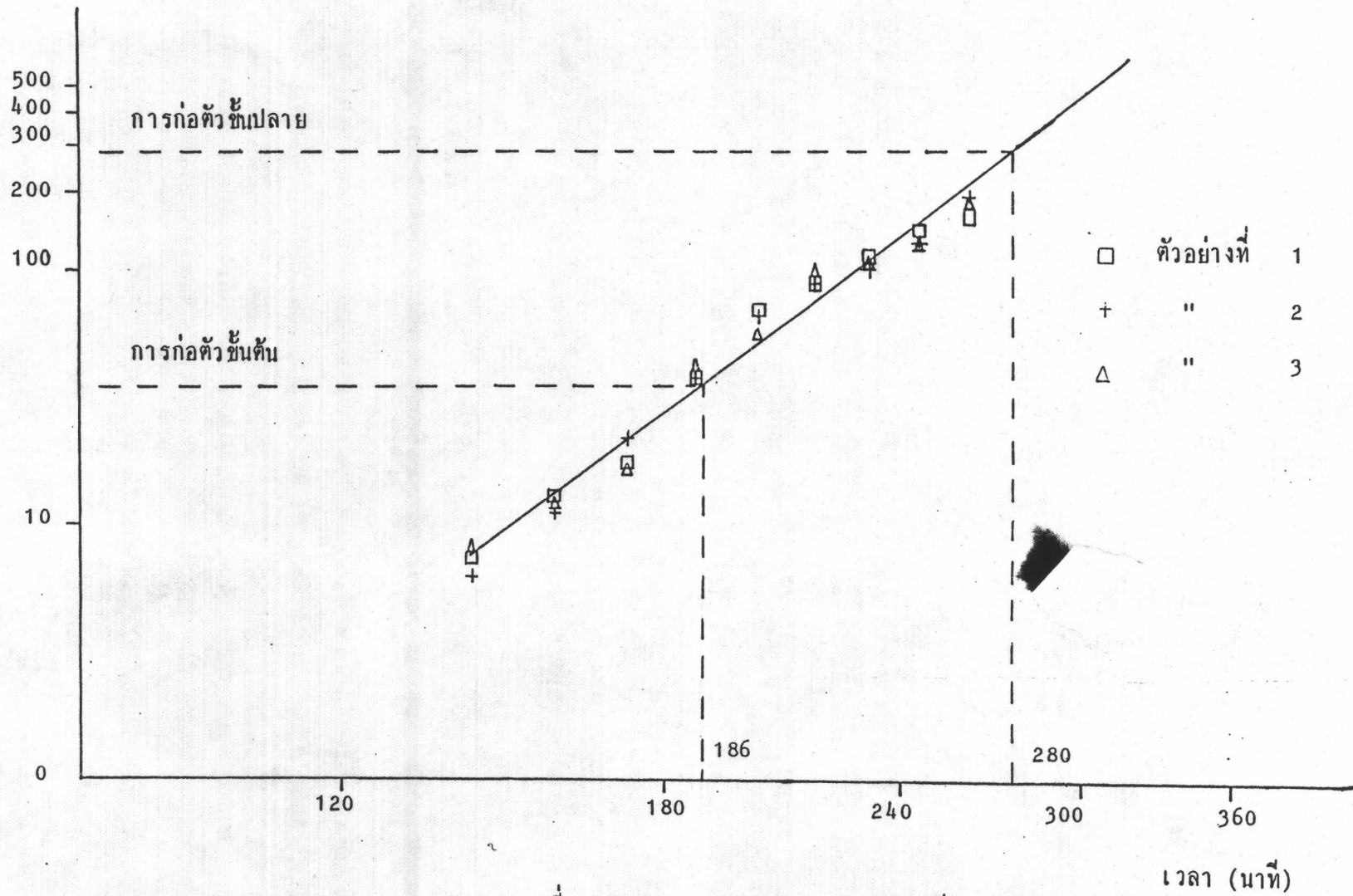
ตารางที่ ก 14 ข้อมูลการก่อตัวส่วนผสมที่ 13

เวลา(นาที)	ความต้านทานการจม (Penetration Resistance, ksc)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
142	7.4	5.3	6.0
157	8.5	8.1	10.6
172	22.3	20.2	15.6
187	37.8	31.8	38.2
202	40.0	43.5	42.4
217	63.7	56.6	58.4
232	82.0	76.0	72.5
247	120.3	129.1	113.2
262	141.5	155.6	166.2



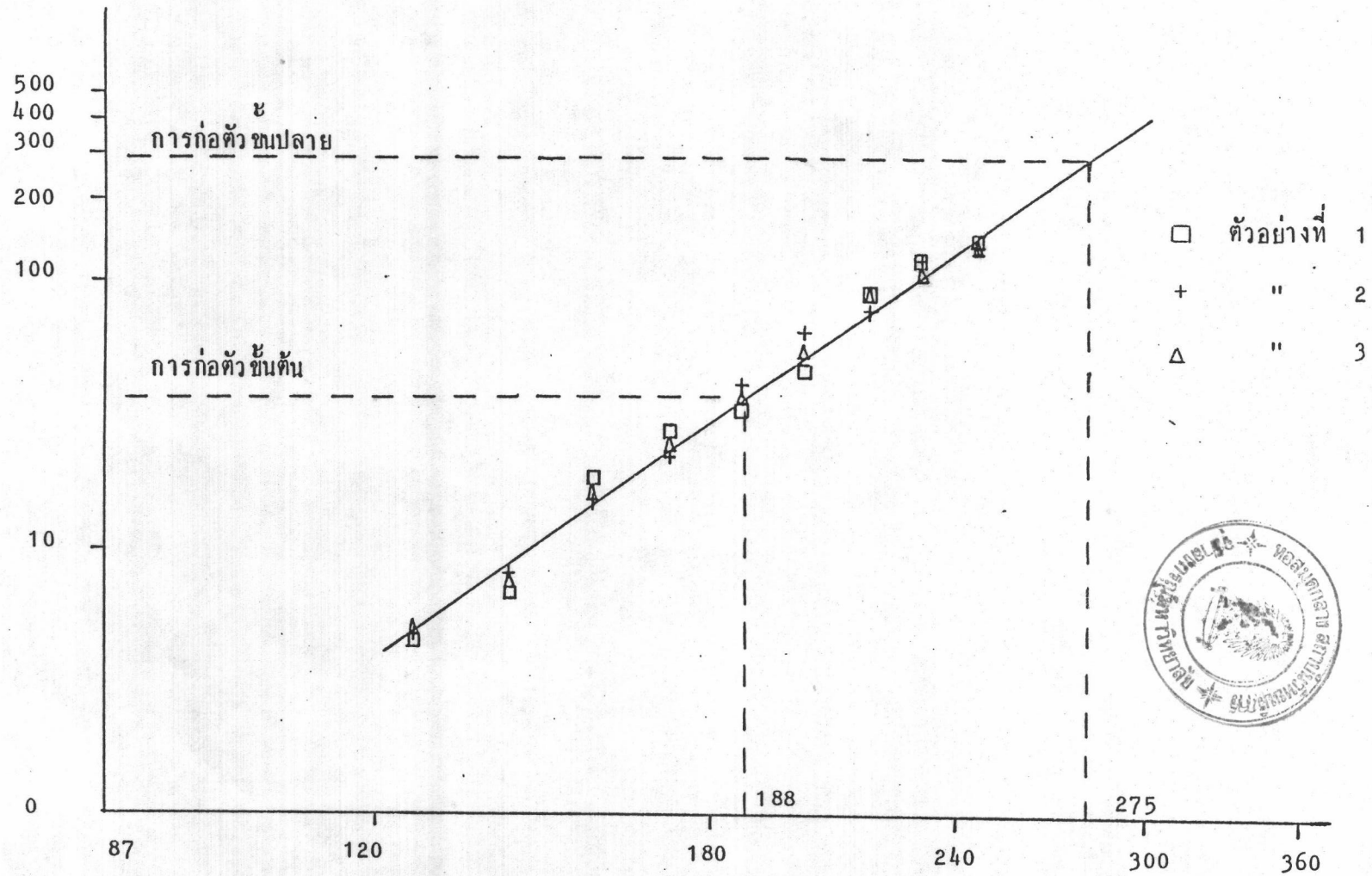
ภาคผนวก ข

ความต้านทานการจม (กก./ชม<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 1 การก่อดำของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1

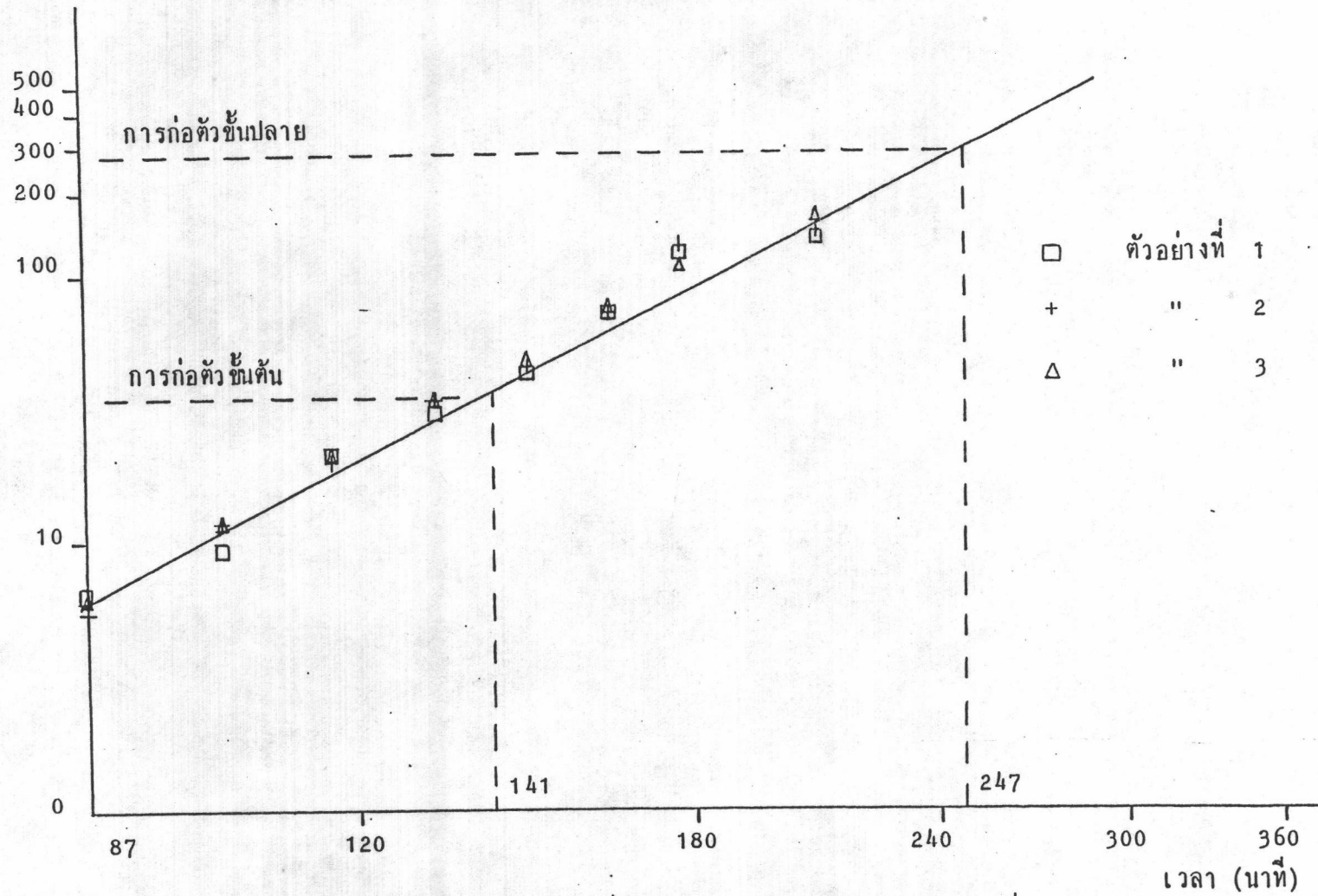
ความต้านทานการรวม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 2 การก่ตัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2

เวลา (นาที)

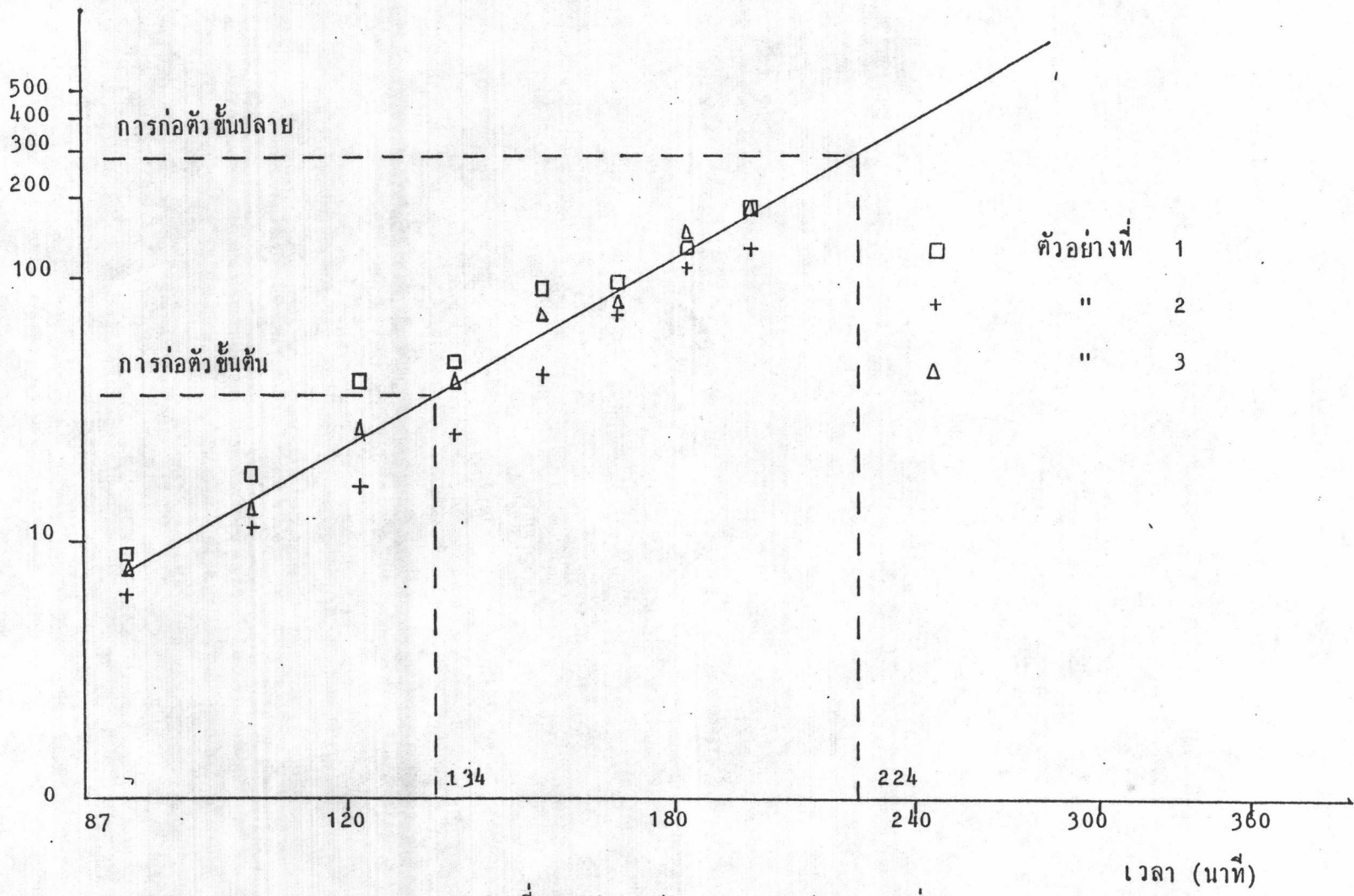
ความต้านทานการจม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 3 การก่อดัชนีของคอนกรีตส่วนผสมที่ 3

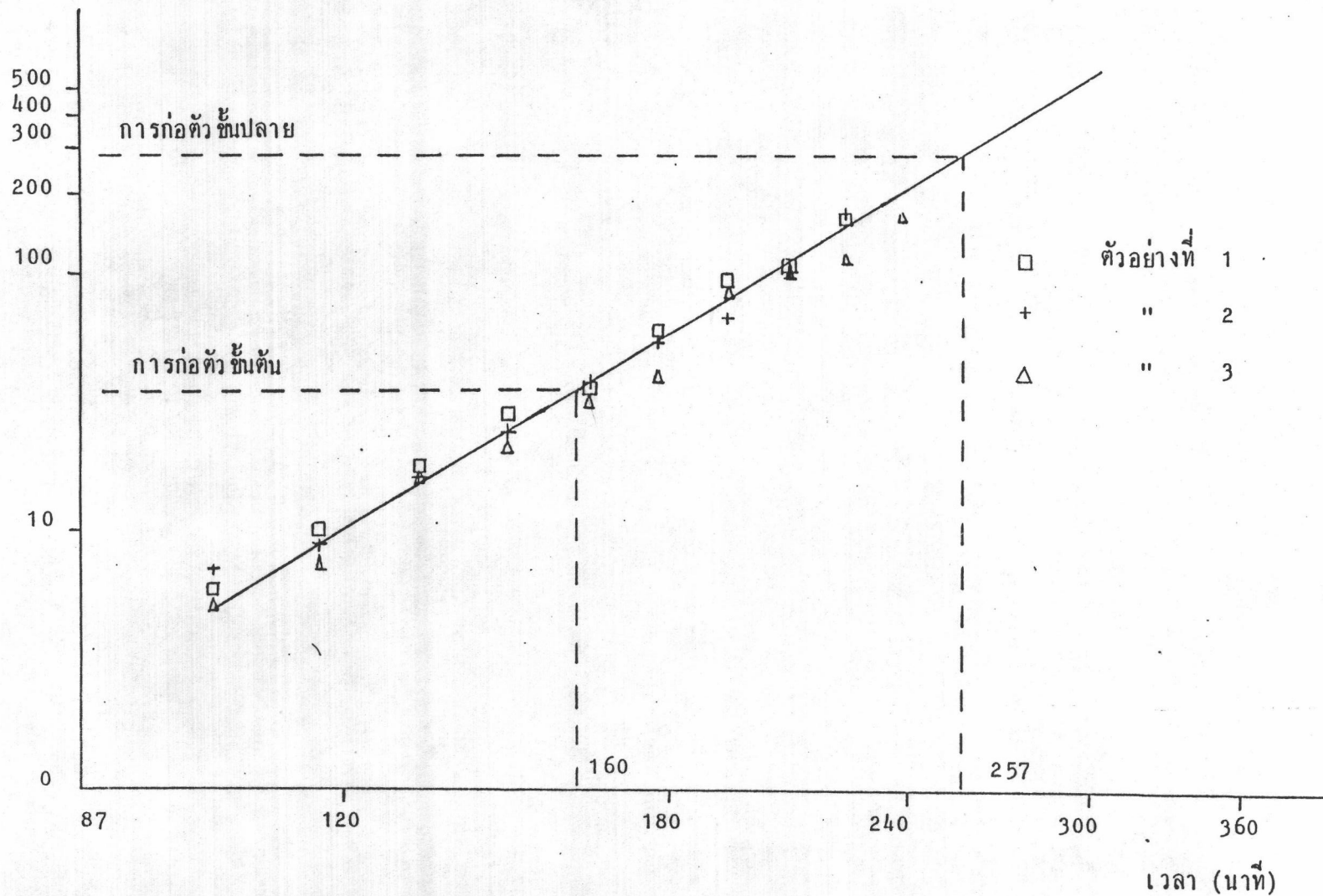


ความต้านทานการรวม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



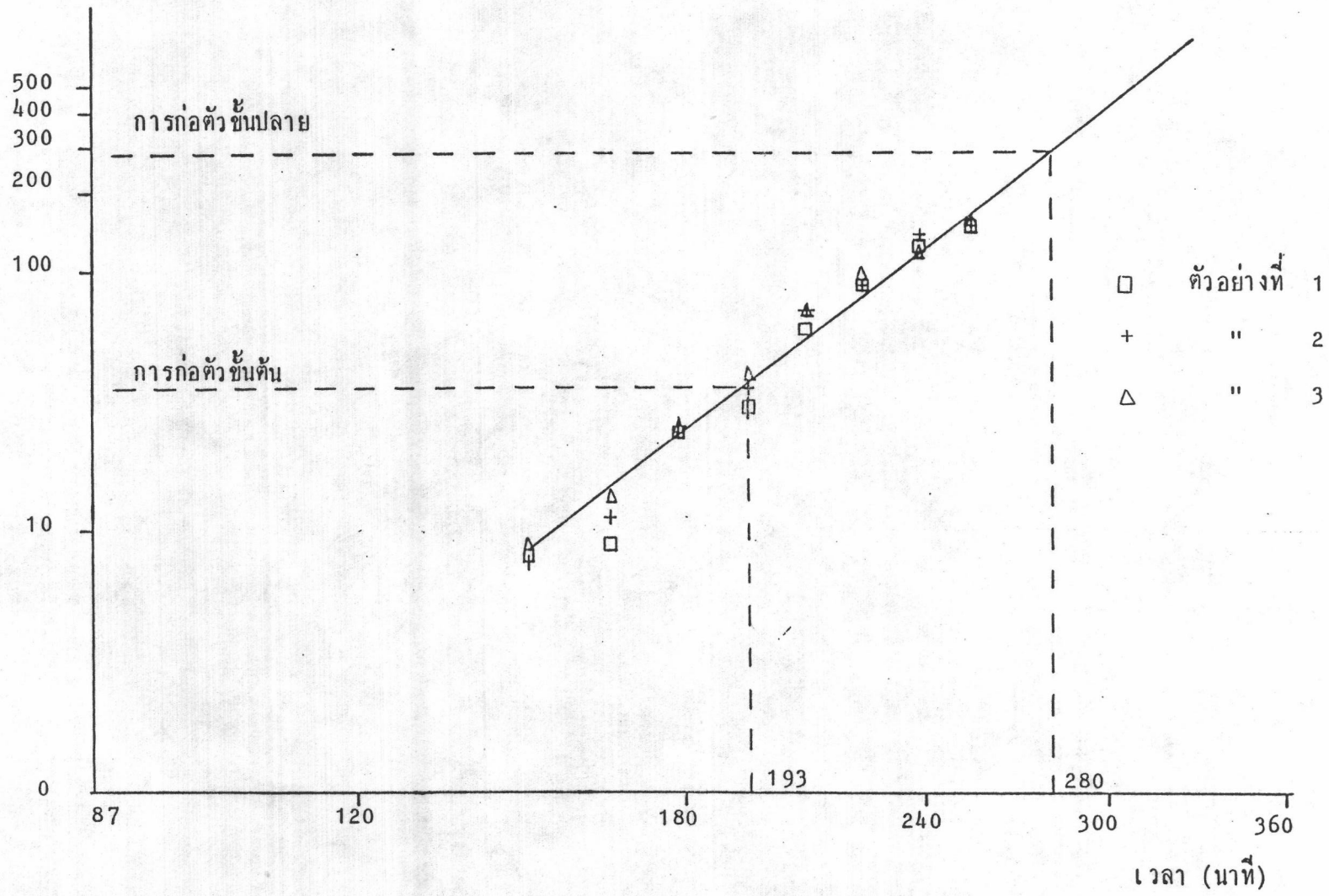
รูปที่ ข 4 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 4

ความต้านทานการรวม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



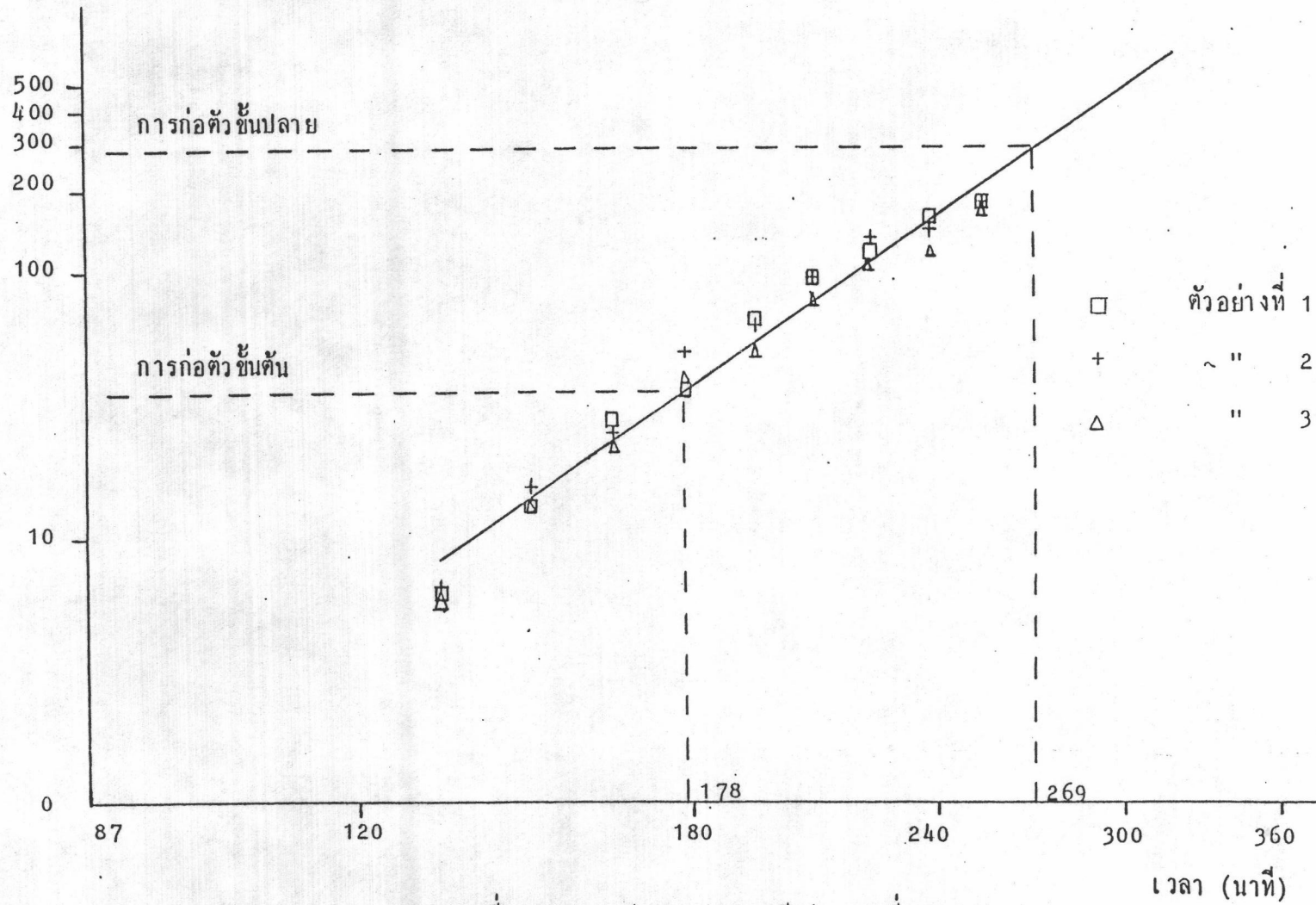
รูปที่ ข 5 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 5

ความต้านทานการจม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 6 การก่ตัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 6

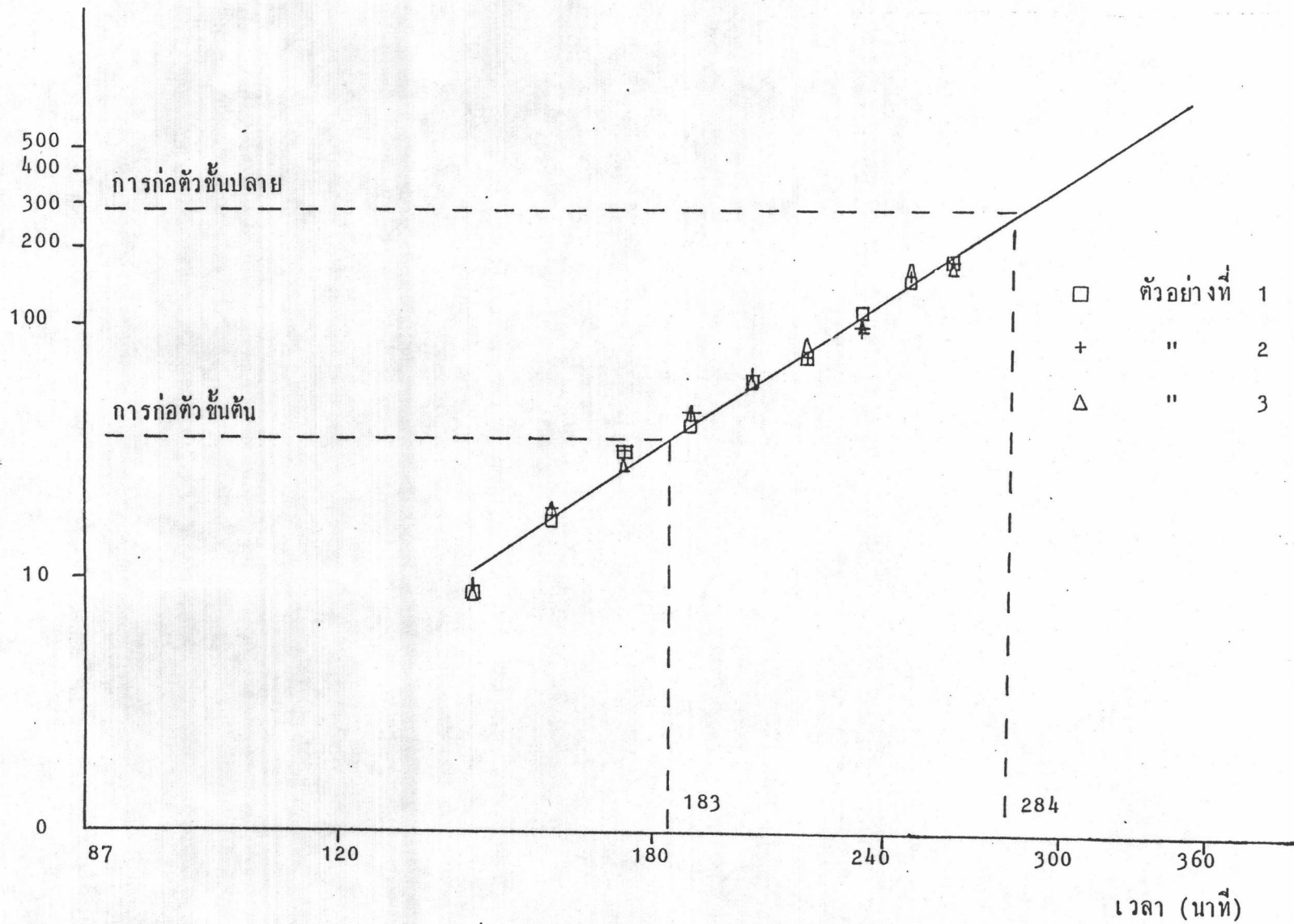
ความต้านทานการรวม (กก./ชม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 7 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 7

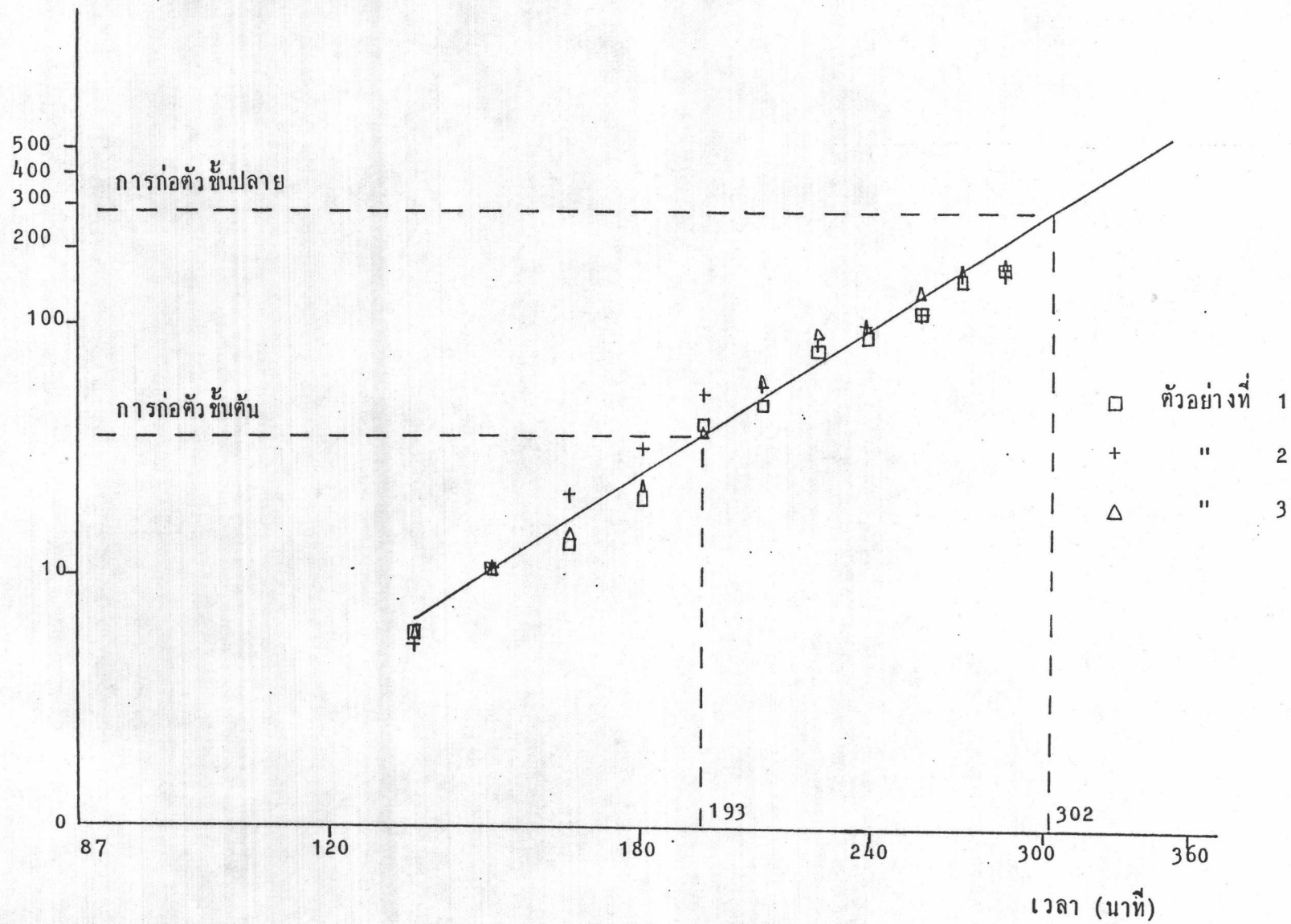


ความต้านทานการจม (กก./ซม.<sup>2</sup>)



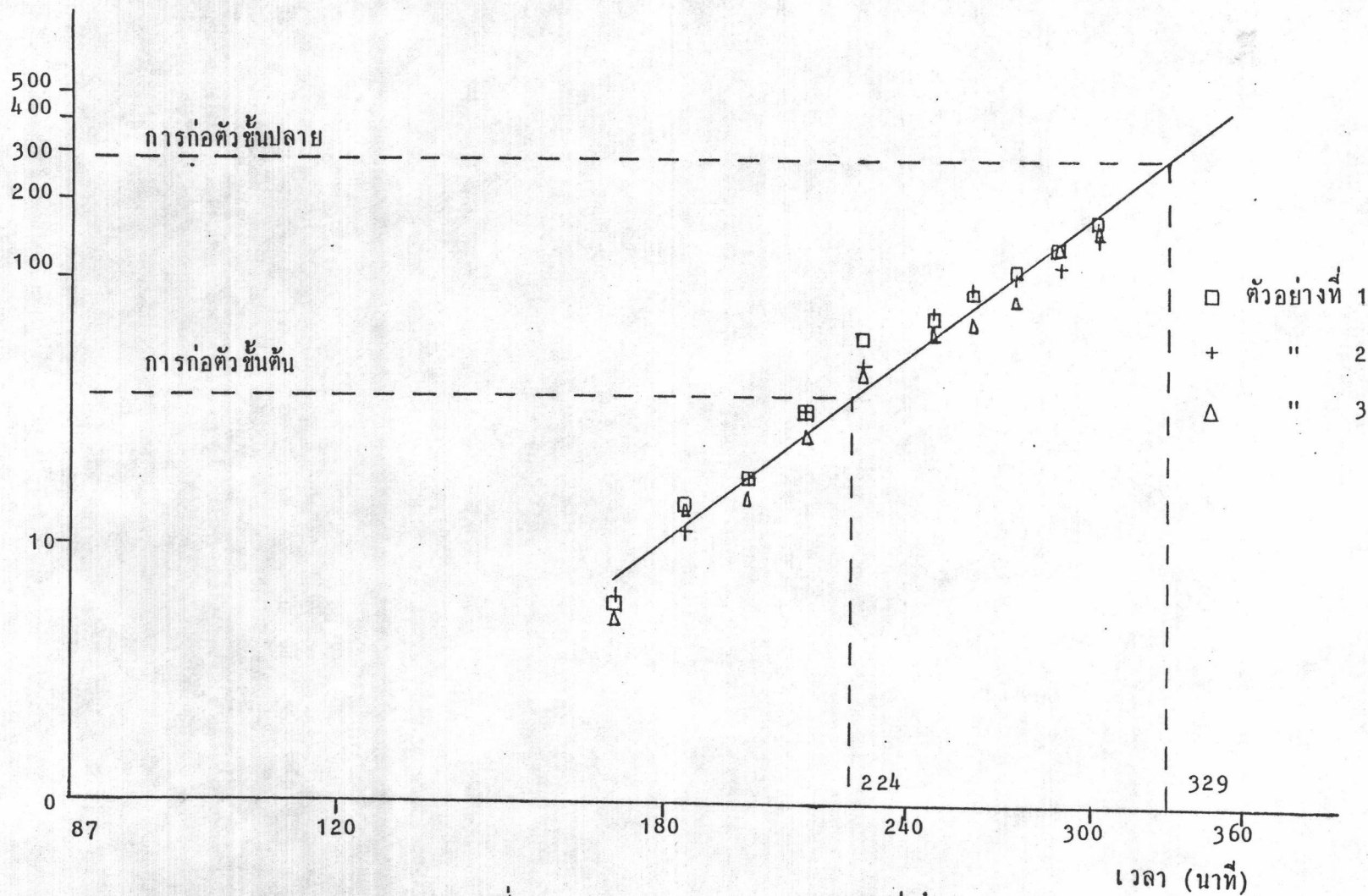
รูปที่ ข 8 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 8

ความต้านทานการรวม (กก./ชม<sup>2</sup>)



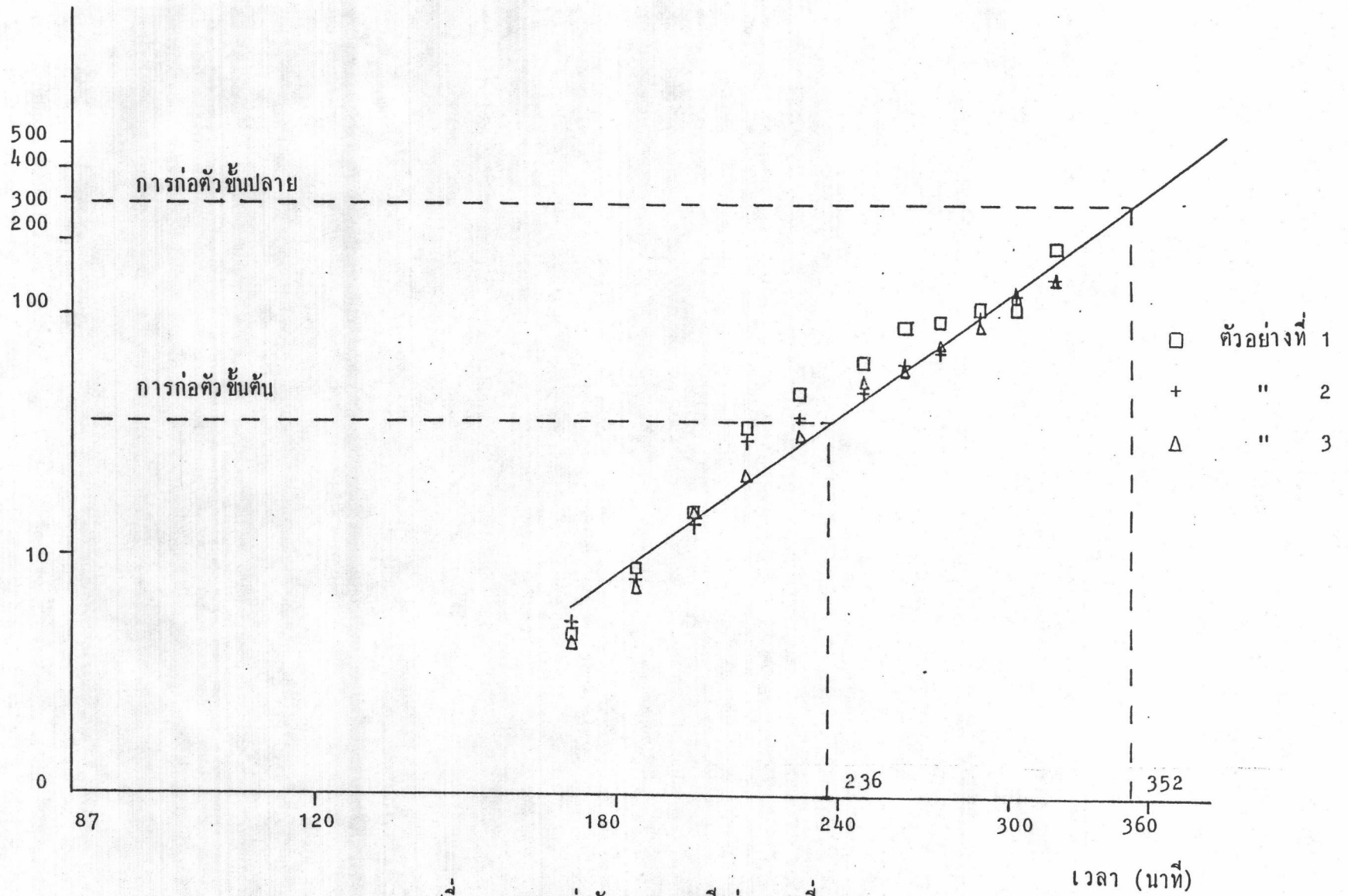
รูปที่ ข 9 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 9

ความต้านทานการจม (กก./ซม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 10 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสมที่ 10

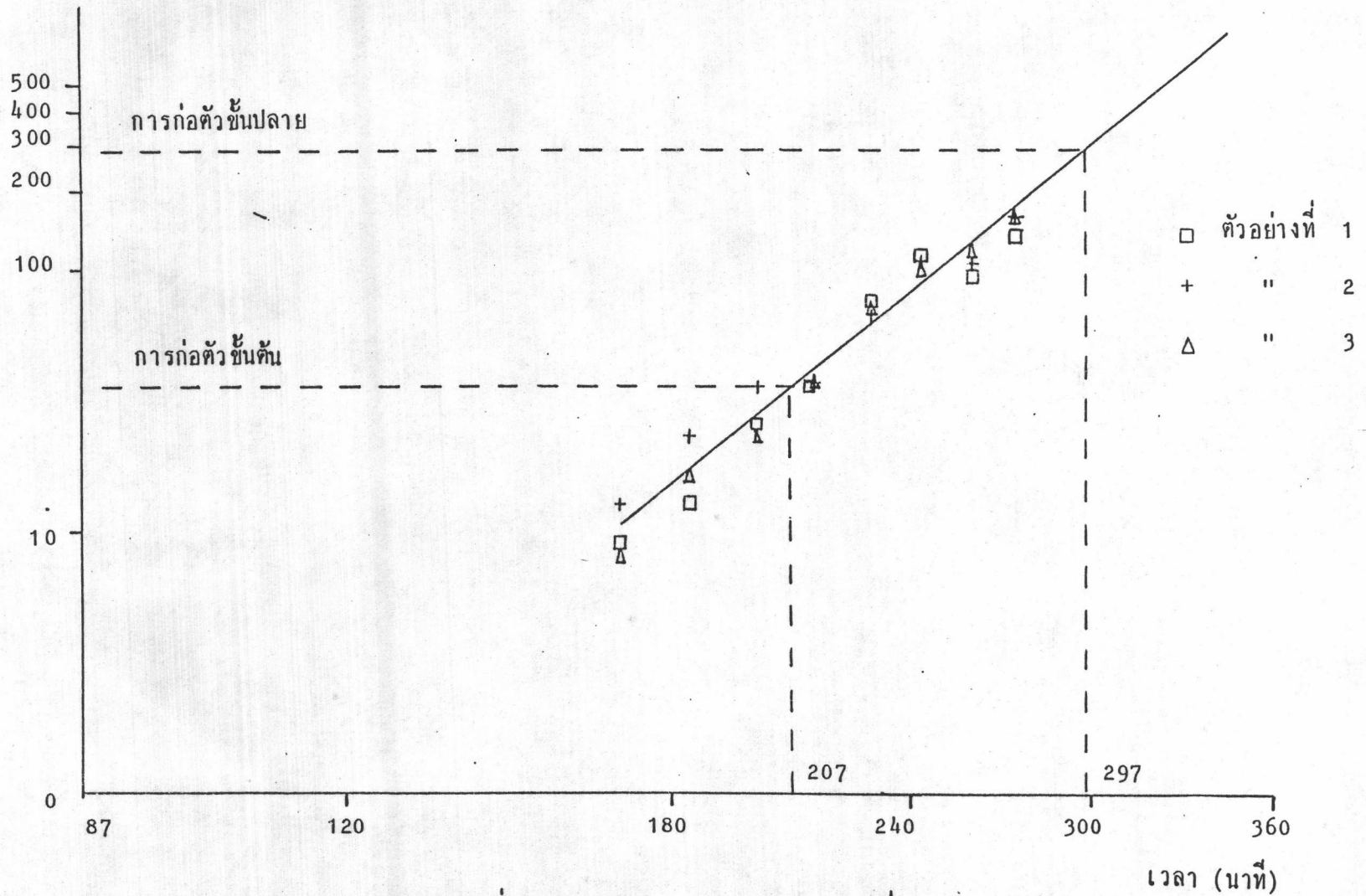
ความต้านทานการจม (กก./ซม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 11 การก่อดำของคอนกรีตส่วนผสมที่ 11

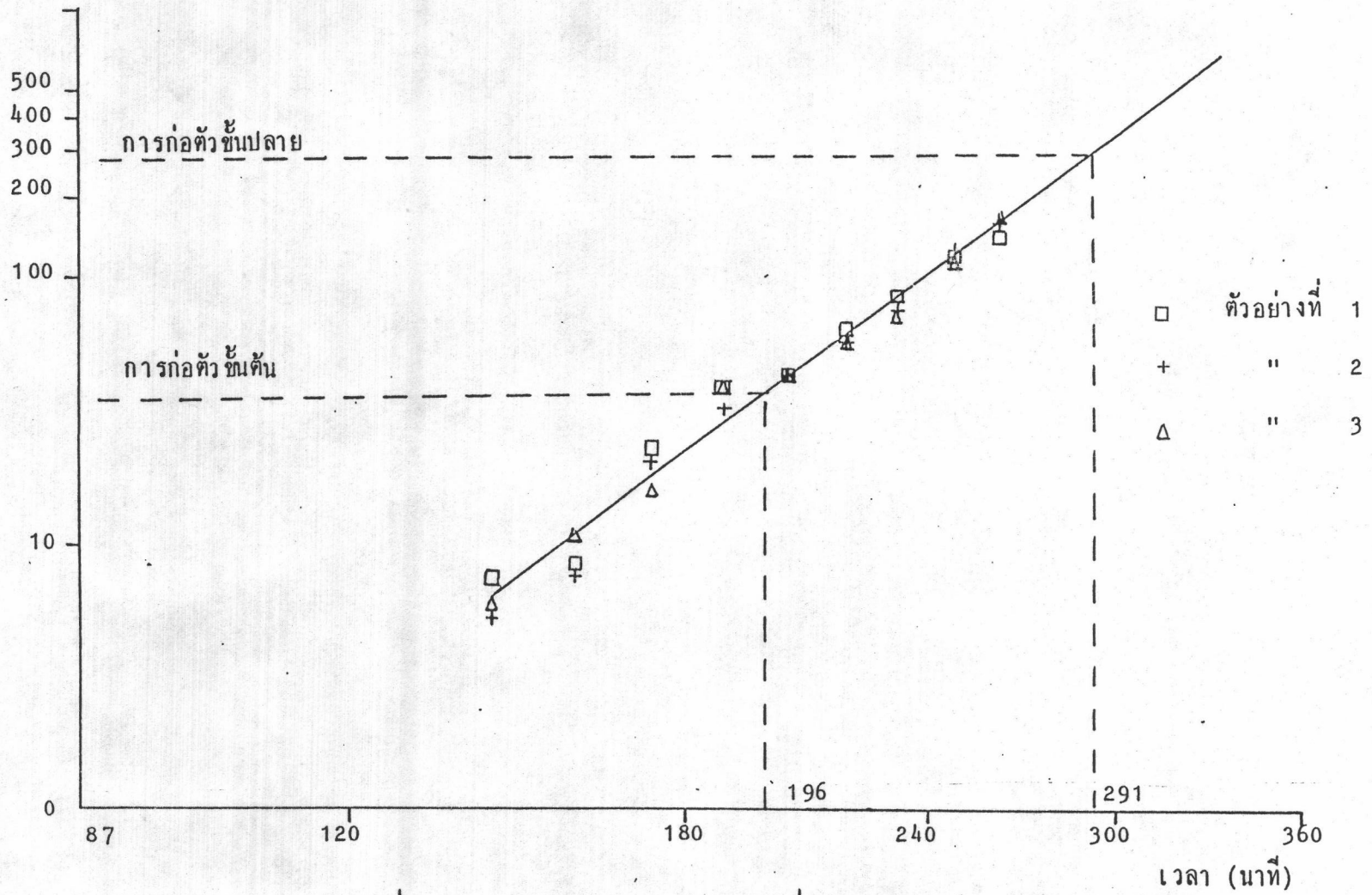


ความต้านทานการจม (กก./ซม<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 12 การก่อดำของคอนกรีตส่วนผสมที่ 12

ความต้านทานการจม (กก./ซม.<sup>2</sup>)



รูปที่ ข 13 การก่อดัวของคอนกรีตส่วนผสม 13

ประวัติผู้เขียน

นาย กรกฎ วิจิตรพงศ์ เกิดวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2505 สำเร็จการศึกษา  
ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี  
การศึกษา 2526 และได้เข้าศึกษาต่อชั้นปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2527 ปัจจุบันรับราชการเป็นวิศวกร 3 อยู่ที่ฝ่าย  
อาคาร กองยานพาหนะ อาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน



✓