เอกสารอ้างอิง

1. ชาตา เตียประเสริฐ " สภาพสนามของเวลาการผสมและการผสมซ้ำสำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ," วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520

2. Vinit Chovichien, " Effect of Remixing on the Compressive Strength of Concrete ", Research Report, Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, 1982.

3. Copeland L.E. & Schulz G.E.," Electron Optical Investigation of Hydration Products of Calcium Siligates and Portland Cement," Journal of the PCA., 3-12, January, 1962.

4. Verbeck G.," Cement Hydration Reactions at Early-Ages,"Journal of the PCA, 57-63, September, 1965.

5. Monfore G.E. & Borie O.," An Isothermal Conduction Calorimeter for Study of the Early Hydration ReactionS of Portland Cements," Journal of the PCA., 13-19, MAY, 1966.

6. Troxell G.E., Davis H.E. & Kelly J.W., Composition and Properties of Concrete, 2nd ED., Mc graw-hill, Newyork, 1968.

7. ACI Comittee 212," Guide for use of Admixtures in Concrete," ACI Journal, V.68, 646-673, 1971.

8. Beauwfiat F.W. & Hoadley P.G.," Mix Time and Retempering Studies on Ready-Mixed Concrete," ACI Journal, V.70, 60-73, 1973.

9. Kaminski M. & Zielenkiewicz W.," The Heats of Hydration of Cement Constituents," Cement and Concrete Research, V.12, 549-558, 1982.

10. Berhane Z., " Heat of Hydration of Cement Pastes at Different Temperatures," Cement and Concrete Research, V.13, 114-118, 1983.

11. Bensted J., " Early Hydration of Portland Cement Effects of Water/Cement Ratio, " Cement and Concrete Research, V.13, 493-498, 1983

12. Popvics S., " New Formular for the Prediction of the Effect of Porosity on Concrete Strength," ACI Journal, V.82, 136-146, 1985.

13. George R.U., " Slump Loss, Air Loss and Field Performance of Concrete, " ACI Journal, V.80, 332-339, 1983.

14. Johnston C.D., Gambel B.R. and Malhotha V.M., " Effects of Superplasticizers on Properties of Fresh and Hardened Concrete," Transportation research Record, NO.270, 1-7, 1979.

15. Mulhotha V.M.," Superplasticizers:Their Effect on Fresh and Hardened Concrete ", REPORT NO.79-31, CANMET, ENERGY,MINES AND RESOURCES, OTTAWA, 1979.

16. Tognon G. & Cangian S.," Air Contrained in Superplasticizer Concrete ", ACI Journal, V.79, 350-354, 1982.

17. Mindress S.& Yong J.F., CONCRETE , Prentice-Hall, New Jursy, 1981

18. Neville A.M., PROPERTIES OF CONCRETE , Pitman Books Limited, ELBS Edition, Newyork, 1983.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19. Soroka I., PORTLAND CEMENT PASTE AND CONCRETE , Mcmillan Press, London, 1979.

20 Akroyd T.N.W., Concrete Properties and Manufacture , Pergamon Press Inc., Newyork, 1962.

21. Steinour H.H., " The Setting of Portland Cement," Research and Development Laboratories, PCA Journal, 7-80, 1958.

22. ACI Committee 305," Recommended Practice for Hot Weather Concreting," ACI Journal, V.68, 489-503, 1971.

23. ACI Committee 214, " Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete," (ACI 214-65), American Concrete Institute, Detroid, 1965.

24. ปริญญา จินดาประเสริฐ, คอนกรีตเทคโนโลยี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2529

25. Previte R.W., " Some Insights on the Mechaniscm of Saccharide Set Retardation of Portland Cement ," Cement and Concrete Research, V.1, NO.3, 301 - 316, 1971.

26. Berhane Z.," Evaporation of water from Fresh Motar and Concrete at Different Enviromental Conditions," ACI Journal, V.81 560-565, 1984.

27. Verbeck G.J.& Helmuth R.U.," Structures and Physical Properties of Cement Paste ", In Proceeding 5th, International Symposium on the Chemistry of Cement, Part 3, TOKYO, 1968.

28. Powers T.C. "The Physical Structure and Engineering Properties of Concrete ", Portland Cement Association Research and Development Laboratories Bulletin, NO.90, 1958.

29. Middlebrooks E.J., STATISTICAL CALCULATIONS, ANN Arbor Science Publishers Inc., Michigan, 1977.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมและการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์การร่อนผ่านตะแกรงของทราย

ขนาดตะแกรง	น.น. ส่วนที่ค้างบนตะแกรง, กรัม	%ส่วนที่ค้างบนตะแกรง	%สะสม	%สะสมที่ต้องการตามมาตรฐาน
No.4	6.6	1.34	1.34	0 - 5
No.8	23.5	4.76	6.10	0 - 20
No.16	53.5	10.84	16.94	15 - 50
No.30	177.5	35.97	52.91	40 - 75
No.50	166.4	33.72	86.63	70 - 90
No.100	55.0	11.14	97.77	90 - 98
PAN	11.0	2.23	-	-
TOTAL	493.5	100	261.70	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์การร่อนผ่านตะแกรงของมวลหยาบ หินเบอร์ 1 (ขนาด 3/16" - 3/4")

ขนาดตะแกรง	นน.ส่วนที่ค้างบนตะแกรง,กก.	%ส่วนที่ค้างบนตะแกรง	%สะสม	%สะสมที่ต้องการตามมาตรฐาน
1"	0	0	0	-
3/4"	0	0	0	0 - 10
1/2"	2.8	13.86	13.86	-
3/8"	12.4	61.39	75.25	45 - 80
No.4	1.9	19.35	94.60	90 - 100
PAN	3.1	5.40	100.00	-
TOTAL	20.2	100.00	173.76	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของทราย

	Determination	
	No.1	No.2
Volume of glass graduate V, CC.	500.00	500.00
Weight of glass graduate , gm.	385.98	385.98
Weight of saturated surface-dry sand , gm.	500.00	500.00
Weight of water + sand + glass graduate , gm.	1194.10	1196.61
Weight of water introduced W, gm.	311.32	312.73
Weight of oven - dry sand A, gm.	491.11	489.92
Bulk sp.gr.	2.58	2.61
Bulk sp.gr. (surface-dry basis)	2.60	2.65
Apparent sp.gr.	2.68	2.71
Absorption , %	1.80	2.06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 การหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลหยาบ

	Determination	
	No.1	No.2
Weight of saturate surface - dry rock B, gm.	1000.00	1000.00
Weight of basket in water gm.	189.78	189.78
Weight of basket + rock in water gm.	821.00	820.00
Weight of rock in water C, gm.	622.64	628.25
Weight of oven dry rock in air A, gm.	994.61	993.70
Bulk sp.gr.	2.70	2.68
Bulk sp.gr.(surface-dry basis)	2.73	2.69
Apparent sp.gr.	2.71	2.72
Absorption , %	0.54	0.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 การหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างในมวลรวม

		SAND		ROCK	
		No.1	No.2	No.1	No.2
Weight of measuring cylinder	kg.	2.71	2.71	2.71	2.71
Weight of cylinder + Water	kg.	12.38	12.35	12.35	12.35
Weight of water to fill the cylinder	kg.	9.64	9.64	9.64	9.64
Volume of measuring cylinder	m^3	.00944	.00944	.00944	.00944
Weight of cylinder + aggregate	kg.	16.72	16.62	17.40	17.33
Weight of aggregate to fill the cylinder	kg	14.01	13.91	14.69	14.62
Unit weight of aggregate	kg/m^3	1484	1474	1556	1549
Specific gravity		2.60	2.65	2.73	2.69
Percentage of voids	%	35.2	35.5	42.5	42.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามวิธี ACI

วัสดุที่ใช้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ถ.พ. = 3.15

ทราย

ถ.พ. = 2.63

หน่วยน้ำหนัก = 1,479 กก./ม^3

ค่าFiness Modulus = 2.62

ความดูดซึม = 1.93 %

ความชื้นที่ผิว = 6.15 %

หิน

ถ.พ. = 2.71

หน่วยน้ำหนัก = 1,553 กก./ม^3

ขนาดโตสุด = 1/2"

ความดูดซึม = 0.59 %

ความชื้นที่ผิว = 1.72 %

ค่ายุบตัวที่ต้องการ 8 - 10 ซม.

ออกแบบกำลังอัดประลัย = 200 กก./ ซม.^{2}

สำหรับมวลหยาบที่มีขนาดโตสุด 1/2" ต้องการน้ำในส่วนผสม = 215 ลิตร/ม^3

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการ = 0.7

ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 215/0.7

= 307.4 กก./ม^3

สำหรับโมดูลัสความละเอียด 2.62 และมวลหยาบขนาดโตสุด 1/2"

จะได้ปริมาตรของมวลหยาบในสภาพแห้งอัดแน่น = 0.57 ม^3/ม^3

ดังนั้นน้ำหนักของมวลหยาบที่ใช้ = 0.57 X 1,553

= 885.2 กก./ม^3

ปริมาตรของน้ำ = 215/1,000

= 0.215 ม^3

ปริมาตรของซีเมนต์ = 307.14/(3.15 X 1000)

= 0.098 ม^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาตรของมวลหยาบ = 885.2/(2.71 X 1000)

= 0.327 $ม^3$

ปริมาตรฟองอากาศ = 0.025 X 1

= 0.025 $ม^3$

ดังนั้นปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.665 $ม^3$

ปริมาตรทรายที่ต้องการ = 1 - 0.665

= 0.335 $ม^3$

น้ำหนักของทรายแห้ง = 0.335 X 2.63 X 1000

= 881.1 กก.

<u>ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น</u>

น้ำหนักมวลหยาบ(เปียก) = 885.2 X 1.0231

= 905.6 กก.

น้ำหนักทราย(เปียก) = 881.1 X 1.0808

= 952.2 กก.

ปริมาณน้ำที่ใช้จริง = 215 - 885.2(0.0172) - 881.1(0.0615)

= 145.6 กก.

<u>ออกแบบกำลังอัดประลัย = 300 กก./ ซม.^{2}</u>

สำหรับมวลหยาบที่มีขนาดโตสุด 1/2" ต้องการน้ำในส่วนผสม = 215 ลิตร/$ม^3$

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการ = 0.55

ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 215/0.55

= 391 กก./$ม^3$

สำหรับโมดูลัสความละเอียด 2.62 และมวลหยาบขนาดโตสุด 1/2"

จะได้ปริมาตรของมวลหยาบในสภาพแห้งอัดแน่น = 0.57 $ม^3/ม^3$

ดังนั้นน้ำหนักของมวลหยาบที่ใช้ = 0.57 X 1,553

= 885.2 กก./$ม^3$

ปริมาตรของน้ำ = 215/1,000

= 0.215 $ม^3$

ปริมาตรของซีเมนต์ = 391/(3.15 X 1000)

= 0.124 $ม^3$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาตรของมวลหยาบ = 885.2/(2.71 X 1000)

= 0.327 $ม^3$

ปริมาตรฟองอากาศ = 0.025 X 1

= 0.025 $ม^3$

ดังนั้นปริมาตรส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.691 $ม^3$

ปริมาตรทรายที่ต้องการ = 1 - 0.691

= 0.309 $ม^3$

น้ำหนักของทรายแห้ง = 0.309 X 2.63 X 1000

= 812.67 กก.

<u>ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้น</u>

น้ำหนักมวลหยาบ(เปียก) = 885.2 X 1.0231

= 906 กก.

น้ำหนักทราย(เปียก) = 812.7 X 1.0808

= 878 กก.

ปริมาณน้ำที่ใช้จริง = 215 - 885.2(0.0172) - 812.7(0.0615)

= 149.8 กก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การประเมินผลการทดสอบ

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error)

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเป็นดัชนีที่ใช้วัดการกระจายของค่าสังเกตุรอบเส้นถดถอย สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน} = \sqrt{\Sigma (Y - \hat{Y})^2 / (n-k)}$$

เมื่อ Y = ค่าที่ได้จากการทดสอบ

$\hat{Y}$ = ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย

n = จำนวนข้อมูลที่ทำการทดสอบ

k = จำนวนค่าคงที่ในสมการถดถอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระดับนัยสำคัญของเส้นถดถอย

ระดับนัยสำคัญของเส้นถดถอยสามารถหาได้จากการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเส้นถดถอย ว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่โดยอาศัยตารางที่ ข.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หาได้จากสมการ

$$R = \sqrt{1 - \frac{\Sigma (Y - \hat{Y})^2 / (n - k)}{\Sigma (Y - \bar{Y})^2 / (n - 1)}} \qquad (ข.1)$$

เมื่อ R = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coe.)

Y = ค่าที่ได้จากการทดสอบ

$\hat{Y}$ = ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย

$\bar{Y}$ = ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ

n = จำนวนข้อมูล

k = จำนวนตัวคงที่ในสมการถดถอย

<u>การประเมินผลการทดสอบกำลังรับแรงของคอนกรีต</u>

สถาบันคอนกรีตแห่ง อเมริกา (ACI 214) ได้เสนอแนะการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยสมมุติให้ความเปลี่ยนแปลงในคุณภาพและกำลังรับแรงของคอนกรีตการกระจายเป็นรูปเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติซึ่งในงานที่มีการควบคุณภาพคอนกรีตได้ดี จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) น้อย นั่นคือ ค่ากำลังรับแรงที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ ข.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ระดับนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (29)

SIGNIFICANT VALUES OF r AND R

Error df	P	Independent variables				Error df	P	Independent variables			
		1	2	3	4			1	2	3	4
1	.05	.997	.999	.999	.999	24	.05	.388	.470	.523	.662
	.01	1.000	1.000	1.000	1.000		.01	.496	.565	.609	.642
2	.05	.950	.975	.983	.987	25	.05	.381	.462	.514	.553
	.01	.990	.995	.997	.998		.01	.487	.555	.600	.633
3	.05	.878	.930	.950	.961	26	.05	.374	.454	.506	.545
	.01	.959	.976	.983	.987		.01	.478	.546	.590	.624
4	.05	.811	.881	.912	.930	27	.05	.367	.446	.498	.536
	.01	.917	.949	.962	.970		.01	.470	.538	.582	.615
5	.05	.754	.836	.874	.898	28	.05	.361	.439	.490	.529
	.01	.874	.917	.937	.949		.01	.463	.530	.573	.606
6	.05	.707	.795	.839	.867	29	.05	.355	.432	.482	.521
	.01	.834	.886	.911	.927		.01	.456	.522	.565	.598
7	.05	.666	.758	.807	.838	30	.05	.349	.426	.476	.514
	.01	.798	.855	.885	.904		.01	.449	.514	.558	.591
8	.05	.632	.726	.777	.811	35	.05	.325	.397	.445	.482
	.01	.765	.827	.860	.882		.01	.418	.481	.523	.556
9	.05	.602	.697	.750	.786	40	.05	.304	.373	.419	.455
	.01	.735	.800	.836	.861		.01	.393	.454	.494	.526
10	.05	.576	.671	.726	.763	45	.05	.288	.353	.397	.432
	.01	.708	.776	.814	.840		.01	.372	.430	.470	.501
11	.05	.553	.648	.703	.741	50	.05	.273	.336	.379	.412
	.01	.684	.753	.793	.821		.01	.354	.410	.449	.479
12	.05	.532	.627	.683	.722	60	.05	.250	.308	.348	.380
	.01	.661	.732	.773	.802		.01	.325	.377	.414	.442
13	.05	.514	.608	.664	.703	70	.05	.232	.286	.324	.354
	.01	.641	.712	.755	.785		.01	.302	.351	.386	.413
14	.05	.497	.590	.646	.686	80	.05	.217	.269	.304	.332
	.01	.623	.694	.737	.768		.01	.283	.330	.362	.389
15	.05	.482	.574	.630	.670	90	.05	.205	.254	.288	.315
	.01	.606	.677	.721	.752		.01	.267	.312	.343	.368
16	.05	.468	.559	.615	.655	100	.05	.195	.241	.274	.300
	.01	.590	.662	.706	.738		.01	.254	.297	.327	.351
17	.05	.456	.545	.601	.641	125	.05	.174	.216	.246	.269
	.01	.575	.647	.691	.724		.01	.228	.266	.294	.316
18	.05	.444	.532	.587	.628	150	.05	.159	.198	.225	.247
	.01	.561	.633	.678	.710		.01	.208	.244	.270	.290
19	.05	.433	.520	.575	.615	200	.05	.138	.172	.196	.215
	.01	.549	.620	.665	.698		.01	.181	.212	.234	.253
20	.05	.423	.509	.563	.604	300	.05	.113	.141	.160	.176
	.01	.537	.608	.652	.685		.01	.148	.174	.192	.208
21	.05	.413	.498	.522	.592	400	.05	.098	.122	.139	.153
	.01	.526	.596	.641	.674		.01	.128	.151	.167	.180
22	.05	.404	.488	.542	.582	500	.05	.088	.109	.124	.137
	.01	.515	.585	.630	.663		.01	.115	.135	.150	.162
23	.05	.396	.479	.532	.572	1,000	.05	.062	.077	.088	.097
	.01	.505	.574	.619	.652		.01	.081	.096	.106	.115

SOURCE: Reproduced from G. W. Snedecor, *Statistical Methods*, 4th ed, The Iowa State College Press, Ames, Iowa, 1946, with permission of the author and publisher.

ตารางที่ ข.2 สัมประสิทธิ์ความผันแปรสำหรับการควบคุมการทดสอบกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน : ตามมาตรฐาน ACI 214

ระดับการทำงาน	สัมประสิทธิ์ของการแปรปรวนสำหรับมาตรฐานการควบคุมต่างๆ			
	ดีเยี่ยม	ดี	พอใช้	เลว
งานก่อสร้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10.0	10.0-15.0	15.0-20.0	สูงกว่า 20.0
งานทดลองในห้องปฏิบัติการ	ต่ำกว่า 5.0	5.0-7.0	7.0-10.0	สูงกว่า 10.0

หมายเหตุ ถ้า $x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$ เป็นค่ากำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จำนวน n ตัวอย่าง

ค่าเฉลี่ย , $\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\ldots+x_n}{n}$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน , $\sigma = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+\ldots+(x_n-\bar{x})^2}{n}}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดสอบ

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อการพัฒนาหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม

หมายเลขทดสอบ	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม, กก./ซม.^{2} ที่เวลา, นาที							
	30	60	90	120	150	180	210	240
W-40	7	21	71	142	324			
W-41	18	30	50	119	298			
W-42	25	43	71	170	425			
W-43	29	88	212					
W-50	3	68	19	39	88	226	311	
W-51	3	11	27	80	203	379		
W-52	5	18	45	134	339			
W-53	19	57	153	408				
W-60	2	61	15	30	83	135	273	
W-61	2	3	8	20	69	152	293	
W-62	3	4	15	38	135	297		
W-63	8	18	45	114	214	383		

หมายเหตุ W-40 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมครั้งแรก

W-41 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.

เวลาที่อ่านค่าหน่วยแรงต้านทานเริ่มนับหลังการผสมซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบผลกระทบของปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมต่อการพัฒนาหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม

หมายเลขทดสอบ	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม, กก./ซม.^{2} ที่เวลา, นาที							
	30	60	90	120	150	180	210	240
C-3000	3	6	19	39	88	226	311	
C-3001	3	11	27	80	203	379		
C-3002	5	18	45	134	339			
C-3003	19	57	153	408				
C-3500	2	7	21	65	133	174	338	
C-3501	4	9	23	76	211	394		
C-3502	5	14	45	144	342			
C-3503	23	53	142	385				
C-4000	3	6	28	67	113	212	426	
C-4001	2	14	19	83	206	386		
C-4002	7	28	42	126	352			
C-4003	25	67	156	424				

หมายเหตุ C-3500 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-350 ผสมครั้งแรก
C-3501 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-350 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
เวลาที่อ่านค่าหน่วยแรงต้านทานเริ่มนับหลังการผสมซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษต่อการพัฒนาหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม

หมายเลขทดสอบ	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม, กก./ซม.^{2} ที่เวลา, นาที							
	30	60	90	120	150	180	210	240
A-2000	2	4	99	16	63	142	226	
A-2100	3	41	12	24	94	177		
A-2102	2	2	5	12	79	124	228	459
A-2105	1	2	3	5	48	100	194	340
A-2110	0	1	2	5	20	72	157	328
A-2200	2	5	14	31	106	276		
A-2210	2	3	11	27	109	224	369	
A-2220	2	2	9	20	75	183	324	
A-2240	0	0	3	8	44	136	296	
A-2300	7	12	33	79	194	337		
A-2310	5	12	33	69	151	315		
A-2330	5	8	20	47	113	273		
A-2360	1	2	8	17	71	190	432	

หมายเหตุ A-2000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมครั้งแรก
A-2100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
A-2102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์
เวลาที่อ่านค่าหน่วยแรงต้านทานเริ่มนับหลังการผสมซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษต่อการพัฒนาหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม (ต่อ)

หมายเลขทดสอบ	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงต้านทานการจมของเข็ม, กก./ซม.^{2} ที่เวลา, นาที							
	30	60	90	120	150	180	210	240
A-3000	5	18	39	55	135	284		
A-3100	12	30	88	212	439			
A-3102	11	27	45	127	269	509		
A-3105	5	18	46	113	226	439		
A-3110	2	11	21	42	113	283		
A-3200	7	23	99	312				
A-3210	5	42	70	183	451			
A-3220	4	19	42	127	310			
A-3240	1	7	28	96	290			
A-3300	20	85	156	326				
A-3310	18	78	141	311	481			
A-3330	16	57	127	283	439			
A-3360	11	46	99	212	396			

หมายเหตุ A-3000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมครั้งแรก
A-3100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
A-3102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์
เวลาที่อ่านค่าหน่วยแรงต้านทานเริ่มนับหลังการผสมซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อความสามารถในการไหล

หมายเลขทดสอบ	%สูญเสียการยุบตัว				%สูญเสียการไหล			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
W-41	38	75	50	54	17	19	15	17
W-42	75	50	63	63	46	29	40	38
W-43	100	100	100	100	42	44	42	43
W-51	40	60	60	53	18	13	13	15
W-52	40	70	80	63	32	25	28	28
W-53	100	100	90	97	40	42	32	38
W-61	50	44	50	48	6	13	8	9
W-62	63	44	50	52	27	19	22	23
W-63	81	100	88	90	23	27	33	28

หมายเหตุ W-40 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมครั้งแรก
W-41 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
%สูญเสียการยุบตัว และการไหล เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบผลกระทบของปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ต่อความสามารถเทได้

หมายเลขทดสอบ	%สูญเสียการยุบตัว				%สูญเสียการไหล			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
C-3001	40	60	60	53	18	13	13	15
C-3002	40	70	80	63	32	25	28	28
C-3003	100	100	90	97	40	42	32	38
C-3501	42	58	42	47	15	22	15	17
C-3502	33	67	100	73	25	28	30	28
C-3503	100	100	100	100	23	38	22	28
C-4001	33	67	17	39	7	13	13	11
C-4002	100	42	83	75	14	21	13	16
C-4003	100	100	83	94	41	30	32	34

หมายเหตุ C-3000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-300 ผสมครั้งแรก
C-3001 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-300 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
%สูญเสียการยุบตัว และการไหล เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษ
ต่อความสามารถเทได้

หมายเลขทดสอบ	%เปลี่ยนแปลงการยุบตัว				%เปลี่ยนแปลงการไหล			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
A-2100	-38	-38	-25	-33	-7	-8	-11	-9
A-2102	0	-13	-38	-17	-2	-9	-4	-6
A-2105	+63	+100	+125	+96	+2	-2	-6	-2
A-2110	+138	+188	+150	+158	+30	+15	+39	+22
A-2200	-40	-75	-60	-58	-14	-15	-19	-16
A-2210	-30	-65	-55	-50	-12	-6	-10	-9
A-2220	-40	+5	-20	-18	-2	-8	-7	-6
A-2240	+70	0	+75	+48	-1	+6	+9	+5
A-2300	-100	-86	-71	-86	-20	-25	-15	-20
A-2310	-100	-86	-86	-90	-15	-23	-17	-18
A-2330	-71	0	-57	-43	-15	-8	-12	-12
A-2360	+71	+43	+14	+43	-4	-7	-5	-5

หมายเหตุ A-2000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมครั้งแรก
A-2100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
A-2102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์

%เปลี่ยนแปลงการยุบตัว และการไหล เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษ
ต่อความสามารถเทได้ (ต่อ)

หมายเลขทดสอบ	%เปลี่ยนแปลงการยุบตัว				%เปลี่ยนแปลงการไหล			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
A-3100	-14	-57	-50	-40	-10	-20	-11	-14
A-3102	+29	+57	-14	+24	-5	-1	-3	-3
A-3105	+29	+86	+57	+57	+5	+10	+13	+9
A-3110	+171	+200	+157	+176	+31	+30	+26	+29
A-3200	-64	-55	-77	-65	-20	-24	-19	-21
A-3210	-64	-55	-55	-58	-11	-14	-14	-13
A-3220	-46	-27	-27	-33	-1	-4	-4	-3
A-3240	+36	+64	+82	+61	+16	+8	+12	+12
A-3300	-100	-94	-100	-98	-24	-35	-32	-30
A-3310	-100	-100	-89	-96	-25	-20	-24	-23
A-3330	-33	-11	-22	-22	-17	-16	-12	-15
A-3360	+56	+78	+56	+63	0	-4	-2	-2

หมายเหตุ A-3000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมครั้งแรก
A-3100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
A-3102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์

%เปลี่ยนแปลงการยุบตัว และการไหล เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 ผลการทดสอบผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน

หมายเลขทดสอบ	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม^3				กำลังอัดประลัยที่ 28วัน, กก./ซม.^{2}				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	%เปลี่ยน
W-40	2417	2404	2381	2401	332.6	385.3	391.6	369.8	-
W-41	2380	2415	2425	2407	384.8	413.2	390.5	396.2	+7.14
W-42	2407	2491	2393	2430	390.9	367.8	424.4	394.4	+6.65
W-43	2406	2420	2405	2410	418.5	476.0	473.9	456.1	+23.34
W-50	2375	2417	2394	2395	363.0	350.8	336.2	350.0	-
W-51	2401	2439	2390	2410	351.8	367.8	350.8	356.8	+1.94
W-52	2458	2412	2385	2418	412.9	373.5	379.7	388.7	+11.06
W-53	2412	2439	2466	2439	424.4	407.4	401.5	411.1	+17.46
W-60	2405	2439	2401	2415	239.3	273.6	254.6	255.8	-
W-61	2381	2455	2396	2411	233.9	263.8	311.2	269.6	+5.39
W-62	2408	2406	2433	2416	282.9	281.0	266.0	276.6	+8.13
W-63	2422	2463	2381	2422	305.6	282.9	217.6	294.3	+15.05

หมายเหตุ W-40 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมครั้งแรก

W-41 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม W-4 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.

%เปลี่ยนแปลง เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 ผลการทดสอบผลกระทบของปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม ต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน

หมายเลขทดสอบ	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม^3				กำลังอัดประลัยที่ 28วัน, กก./ซม.^{2}				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	%เปลี่ยน
C-3001	2375	2417	2394	2395	363.0	350.8	336.2	350.0	
C-3001	2401	2439	2390	2410	351.8	367.8	350.8	356.8	+1.94
C-3002	2458	2412	2385	2418	412.9	373.5	379.7	388.7	+11.06
C-3003	2412	2439	2466	2439	424.4	407.4	401.5	411.1	+17.46
C-3500	2402	2420	2366	2396	330.7	362.2	379.7	357.5	
C-3501	2407	2423	2482	2437	424.4	385.8	379.1	396.4	+10.88
C-3502	2482	2423	2450	2452	402.1	413.1	362.2	392.5	+9.79
C-3503	2471	2409	2407	2429	384.8	418.8	390.9	398.2	+11.38
C-4000	2395	2433	2428	2418	330.7	356.5	379.7	355.6	
C-4001	2409	2443	2409	2420	342.7	429.8	402.5	416.2	+17.04
C-4002	2401	2482	2439	2441	390.9	424.4	362.2	392.5	+10.38
C-4003	2412	2426	2436	2424	413.1	396.1	363.0	390.7	+9.87

หมายเหตุ C-3000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-300 ผสมครั้งแรก
C-3001 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม C-300 ผสมซ้ำที่ 1 ซม.
%เปลี่ยนแปลง เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน

หมายเลขทดสอบ	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม^3				กำลังอดประลัยที่ 28วัน, กก./ซม.^{2}				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	%เปลี่ยน
A-2000/1	2414	2436	2401	2417	198.1	229.4	251.3	226.3	
A-2100	2330	2471	2404	2402	242.5	232.0	220.7	231.7	+2.39
A-2102	2377	2399	2351	2376	237.7	244.8	220.4	234.3	+3.54
A-2105	2492	2352	2482	2442	240.1	220.4	228.9	229.8	+1.55
A-2110	2404	2361	2401	2389	249.0	217.8	167.5	233.4	+3.14
A-2000/2	2399	2396	2328	2374	195.4	209.4	190.4	198.4	
A-2200	2364	2353	2450	2389	217.8	212.2	203.7	211.2	+6.45
A-2210	2387	2414	2393	2398	201.0	232.0	186.7	206.6	+4.13
A-2220	2383	2355	2364	2367	223.4	190.4	217.8	210.5	+6.10
A-2240	2428	2375	2412	2405	228.9	203.9	209.4	214.1	+7.91
A-2000/3	2396	2423	2409	2409	181.1	192.4	183.5	185.7	
A-2300	2399	2425	2403	2409	234.5	212.2	226.4	224.4	+20.84
A-2310	2420	2315	2359	2365	249.0	225.9	214.9	229.9	+23.80
A-2330	2404	2399	2401	2401	264.5	217.8	240.1	252.3	+35.86
A-2360	2377	2417	2383	2392	226.4	240.1	217.6	228.0	+22.78

หมายเหตุ A-2000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมครั้งแรก

A-2100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.

A-2102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-2 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.

ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์

%เปลี่ยนแปลง เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 ผลการทดสอบผลกระทบของสารลดน้ำพิเศษต่อกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน(ต่อ)

หมายเลขทดสอบ	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม^3				กำลังอดประลัยที่ 28วัน, กก./ซม.^{2}				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	%เปลี่ยน
A-3000/1	2351	2488	2318	2386	198.4	201.0	212.1	203.8	
A-3100	2457	2460	2422	2446	217.8	209.4	220.7	216.0	+6.00
A-3102	2372	2433	2377	2394	223.4	215.0	203.9	214.1	+5.05
A-3105	2375	2406	2403	2395	209.4	214.9	198.1	207.5	+1.82
A-3110	2482	2364	2431	2426	240.7	234.5	209.4	228.0	+11.87
A-3000/2	2383	2391	2396	2390	304.6	275.5	271.6	283.9	
A-3200	2412	2370	2447	2410	316.9	281.1	296.0	298.0	+4.97
A-3210	2423	2439	2362	2408	330.7	299.9	275.5	302.0	+6.38
A-3220	2431	2396	2378	2402	299.9	288.6	319.6	302.7	+6.62
A-3240	2391	2375	2362	2376	323.9	286.6	308.6	306.3	+7.89
A-3000/3	2455	2401	2371	2409	307.1	335.0	318.3	320.1	
A-3300	2383	2386	2425	2398	363.0	369.2	352.7	361.6	+12.96
A-3310	2371	2386	2388	2382	363.0	385.8	363.0	370.6	+15.78
A-3330	2315	2391	2375	2360	358.2	375.3	380.3	371.3	+16.00
A-3360	2414	2411	2372	2399	333.9	322.6	329.5	328.7	+2.69

หมายเหตุ A-3000 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมครั้งแรก
A-3100 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
A-3102 หมายถึง คอนกรีตกลุ่ม A-3 ผสมซ้ำที่ 1 ชม.
ปริมาณสารลดน้ำพิเศษ 0.2%ของน้ำหนักซีเมนต์
%เปลี่ยนแปลง เทียบกับคอนกรีตผสมครั้งแรก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.10 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยตามอายุ

หมายเลขทดสอบ	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม^3				กำลังอดประลัยที่ 28วัน, กก./ซม.^{2}				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	%เปลี่ยน
D-0001	2350	2353	2379	2361	73.6	72.6	67.0	71.1	
D-2201	2377	2372	2396	2382	79.2	72.6	84.9	78.9	+10.97
D-0003	2399	2327	2385	2370	156.4	128.4	152.8	145.9	
D-2203	2353	2382	2455	2397	173.1	160.6	131.9	155.2	+6.37
D-0008	2364	2361	2335	2353	167.5	195.4	189.9	184.3	
D-2208	2377	2388	2380	2382	152.8	195.4	228.9	192.4	+4.40
D-0028	2322	2396	2383	2367	225.9	220.7	223.4	223.3	
D-2228	2369	2391	2404	2388	256.9	245.7	253.5	252.0	+12.85
D-0001	2345	2380	2390	2372	55.8	61.4	57.4	58.2	
D-3301	2374	2382	2396	2384	56.6	56.6	73.6	62.3	+7.04
D-0003	2423	2377	2374	2391	118.8	124.5	118.8	120.7	
D-3303	2310	2364	2417	2364	125.1	122.9	122.9	123.6	+2.40
D-0015	2326	2377	2409	2371	184.9	186.7	189.9	187.2	
D-3315	2336	2396	2412	2381	184.9	192.4	192.4	189.9	+1.44
D-0028	2391	2361	2444	2399	206.6	212.2	228.9	215.9	
D-3328	2364	2391	2349	2368	240.1	251.3	248.0	246.5	+14.17

หมายเหตุ D-0001 หมายถึง คอนกรีตกลุ่มD ผสมครั้งแรก ทดสอบที่อายุ1 วัน

D-2201 หมายถึง คอนกรีตกลุ่มD ผสมซ้ำที่ 2ชม. สารลดน้ำพิเศษ 2% ทดสอบที่อายุ 1 วัน

D-3315 หมายถึง คอนกรีตกลุ่มD ผสมซ้ำที่ 3ชม. สารลดน้ำพิเศษ 3% ทดสอบที่อายุ 15 วัน

ภาคผนวก ง.

การคำนวณหาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

1. ปฏิกิริยาสะสมของสารประกอบหลัก

จากตารางที่ 1.1 ใช้วิธี Numerical Integrate หาปฏิกิริยาสะสมที่เวลาต่างๆได้ดังนี้คือ

เวลา, ชม.	ปฏิกิริยาสะสม Cal/g.		
	C_3S	C_2S	C_3A+C_4AF
1	2.5	0	25.4
2	3.0	0	26.0
3	5.3	0	26.0

ที่ 28 วันสามารถหาปฏิกิริยาสะสมของสารประกอบหลักชนิดต่างๆได้จากการใช้วิธีก้าลังสองต่ำสุดพยากรณ์ข้อมูลจากตารางที่ 1.2 ได้ดังนี้คือ

C_3S = 135.4 Cal/g.

C_2S = 27.4 "

C_3A+C_4AF = 125.7 "

2. ปฏิกิริยาสะสมของซีเมนต์

จากปฏิกิริยาสะสมของสารประกอบหลักแต่ละชนิด ดังนั้นสำหรับซีเมนต์ประเภท 1 ที่ประกอบด้วย C_3S 50%, C_2S 25% และ C_3A+C_4AF 20% จะสามารถหาปฏิกิริยาสะสมของซีเมนต์ได้จากสมการ

$$Q(t) = \sum Ai(t)Xi$$

เมื่อ $Q(t)$ = ปฏิกิริยาสะสมของซีเมนต์ที่เวลา t

$Ai(t)$ = ปฏิกิริยาสะสมของสารประกอบหลักi ที่เวลา t

Xi = สัดส่วนของสารประกอบหลักi

เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ปฏิกิริยาสะสมของซีเมนต์ที่เวลาต่างๆดังนี้คือ

เวลา	ปฏิกิริยาสะสมของซีเมนต์ Cal/g.
1 ชม.	6.3
2 ชม.	6.7
3 ชม.	7.1
28 วัน	185.3

เนื่องจากค่าที่ได้จากตารางที่ 1.1, 1.2 เป็นค่าที่ 25 °C ดังนั้นจึงปรับแก้ผลของอุณหภูมิตามรูปที่ 1.2 และ 1.3 ได้ดังนี้

เวลา	ปฏิกิริยาสะสมที่ 25°C	ปฏิกิริยาสะสมที่ 35°C	%ของปฏิกิริยาที่ 28 วัน
1ชม.	6.3	6.3	3
2ชม.	6.7	8.0	4
3ชม.	7.1	10.0	5
28 วัน	185.3	185.3	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย อภิชาติ จันทรทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2504 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2527 เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2528

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย