บทที่ 3
การวิเคราะห์

3.1 บทนำ

อุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนในคอนกรีตได้รับอิทธิพลจากส่วนผสมในคอนกรีตซึ่งเพิ่มสูงขึ้นตามอายุของคอนกรีต ดังนั้นในการศึกษาถึงอุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนในคอนกรีตจึงหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเพิ่มกับส่วนผสมในคอนกรีต โดยหาสมการที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการเพิ่มอุณหภูมิ และหาอิทธิพลของส่วนผสมในคอนกรีตต่อสมการ แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีอื่นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

3.2 ลักษณะสมการอุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนในคอนกรีต

เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานจึงนำสมการทางคณิตศาสตร์มาแทนการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยเลือกสมการตามลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนและอายุของคอนกรีตและเลือกแบบที่เหมาะสมกับงานคอนกรีตดังนี้

3.2.1 ลักษณะสมการ อุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนมีความสัมพันธ์กับอายุของคอนกรีตมีลักษณะสมการเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียล กล่าวคือในช่วงที่คอนกรีตอายุยังอ่อนนั้นอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่าและค่อย ๆ ลดลงจนไม่มีการเพิ่มของอุณหภูมิในที่สุด ลักษณะดังที่กล่าวข้างต้นมีรูปสมการดัง[12] เช่น

$$T = K(1-e^{-at}) \qquad (3.1)$$

$$T = K(1-(1+at)e^{-at}) \qquad (3.2)$$

$$T = Ct/(b+t) \qquad (3.3)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิเพิ่มแบบก่อกันความร้อนเมื่อเวลา t (°ซ.)

t = เวลาหลังจากวัดอุณหภูมิเริ่มแรก (วัน)

K,a,b,C = ค่าคงที่ในสมการ

3.2.2 การหาค่าคงที่ในสมการและการเลือกสมการ ค่าคงที่ต่าง ๆ ในสมการ ตามหัวข้อ 3.2.1 หาได้โดยวิธีการหาสมการถดถอยเชิงซ้อน กล่าวคือโดยการนำผลรวมของผลต่าง

กำลังสองของค่าที่ได้จากการทดสอบและจากสมการมาหาอนุพันธ์ย่อย เทียบกับค่าคงที่ในสมการ และนำสมการที่ได้จากการหาอนุพันธ์มาแก้สมการ หลังการแทนค่าอุณหภูมิและ เวลาจากผลทดสอบลงในสมการของค่าคงที่จะได้ค่าคงที่ในสมการ เหล่านั้น โดยค่าคงที่นี้จะทำให้ค่าความแปรปรวน (variance) ที่ได้จากการทดสอบและจากสมการมีค่าต่ำที่สุดสำหรับสมการนั้น หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าคงที่ที่ได้จะ เหมาะสมกับสมการที่สุด

ลักษณะของสมการที่ เหมาะสมกับการ เพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนในคอนกรีตนั้น พิจารณาได้จากการ เลือกสมการที่ให้ค่าความแปรปรวนต่ำสุด จากการทดลองหาค่าคงที่ในสมการตามหัวข้อ 3.2.1 ปรากฏว่าได้ค่าความแปรปรวน เฉลี่ยจากทุกตัวอย่างทดสอบของสมการที่ 3.1 มีค่าต่ำสุด และรองลงมา เป็นสมการที่ 3.2, 3.3 โดยมีค่า เป็น 1.73, 2.06 และ 3.52 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.4 เพราะฉะนั้นสมการที่ 3.1 จึง เหมาะที่จะใช้ เป็นสมการแทนการ เพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนมากที่สุด

3.3 ผลของส่วนผสมในคอนกรีตมีต่อสมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อน

ดังที่กล่าวมาแล้วสมการที่ เหมาะสมสำหรับประ เมินอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อนคือสมการที่ 3.1 หรือ

$$T = K(1-e^{-at}) \qquad (3.1)$$

เมื่อหาค่าคงที่ K และ a จากสมการข้างต้นนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของสมการและตัวแปรในแต่ละชุดของการทดสอบแล้ว จึงนำความสัมพันธ์แต่ละชุดของการทดสอบมาหาสมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อนโดยการรวมผลของตัวแปรชุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

3.3.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละชุดการทดสอบ เมื่อทดลองหาค่าคงที่ K และ a ของสมการโดยวิธีการใช้สมการถดถอย เชิงซ้อน ปรากฏว่าค่า K กับอุณหภูมิ เพิ่มสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าคงที่ K เท่ากับอุณหภูมิ เพิ่มสูงสุด แล้วจึงหาค่าคงที่ a ซึ่งเป็นค่ากำหนดอัตราการ เพิ่มอุณหภูมิ โดยวิธีการใช้สมการถดถอยต่อไป. จากผลการทดสอบของตัวแปรในแต่ละชุดการทดสอบได้ค่าคงที่ K และ a ดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.4 และนำมา เขียน เป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.1 ถึง 3.3 เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละชุดการทดสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่จากสมการสำหรับการทดสอบ ชุด ก.(ชนิดของซีเมนต์ในคอนกรีต)

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าคงที่จากสมการ							
	K	(3.1)		(3.2)		(3.3)		
		a	S	a	S	C	d	S
CT-I	36.0	2.04	1.48	4.43	2.26	42.5	0.41	3.03
CT-III	41.0	2.38	2.92	5.06	1.11	48.1	0.35	7.34
CT-V	34.5	1.73	3.03	3.66	0.76	44.1	0.61	5.06
เฉลี่ย			2.48		1.38			5.14

หมายเหตุ S คือค่าแปรปรวนของสมการ

K มีหน่วยเป็น °ซ.

a มีหน่วยเป็น วัน$^{-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ค่าคงที่จากสมการสำหรับการทดสอบ ชุด ข.(ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าคงที่จากสมการ							
	K	(3.1)		(3.2)		(3.3)		
		a	S	a	S	C	d	S
CC-200	19.0	2.26	0.34	4.79	0.37	22.6	0.38	0.89
CC-250	24.5	2.11	0.38	4.62	1.64	28.5	0.38	0.62
CC-300	30.0	2.47	0.42	5.23	0.86	35.0	0.33	1.70
CC-350	36.0	2.04	1.48	4.43	2.26	42.5	0.41	3.03
CC-400	41.0	2.38	1.30	5.17	2.64	47.4	0.33	3.14
CC-450	42.5	2.06	1.42	4.54	5.75	49.0	0.38	1.95
CC-450	40.5	2.41	1.14	5.22	2.39	46.6	0.32	3.16
CC-500	43.0	2.46	2.03	5.20	0.94	50.6	0.34	5.68
CC-500	44.0	2.56	1.66	5.60	3.37	50.1	0.29	3.65
CC-550	49.0	2.52	2.58	5.45	3.00	56.5	0.31	6.05
เฉลี่ย			1.21		2.41			2.84

หมายเหตุ S คือค่าแปรปรวนของสมการ

K มีหน่วยเป็น °ซ.

a มีหน่วยเป็น วัน$^{-1}$

ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่จากสมการสำหรับการทดสอบ ชุด ค.(อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในคอนกรีต)

ตัวอย่างทดสอบ	ค่าคงที่จากสมการ							
	K	(3.1)		(3.2)		(3.3)		
		a	S	a	S	C	d	S
CW-45	37.5	2.02	1.03	6.48	1.38	42.4	0.24	3.30
CW-50	35.0	2.21	1.08	4.88	3.89	40.1	0.34	1.38
CW-55	36.0	2.04	1.48	4.43	2.26	42.5	0.41	3.03
CW-60	36.0	2.71	0.93	5.87	1.89	41.0	0.28	2.46
เฉลี่ย			1.13		2.36			2.54

หมายเหตุ S คือค่าแปรปรวนของสมการ

K มีหน่วยเป็น °ซ.

a มีหน่วยเป็น วัน$^{-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่จากสมการสำหรับการทดสอบ ชุด ง.(อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)

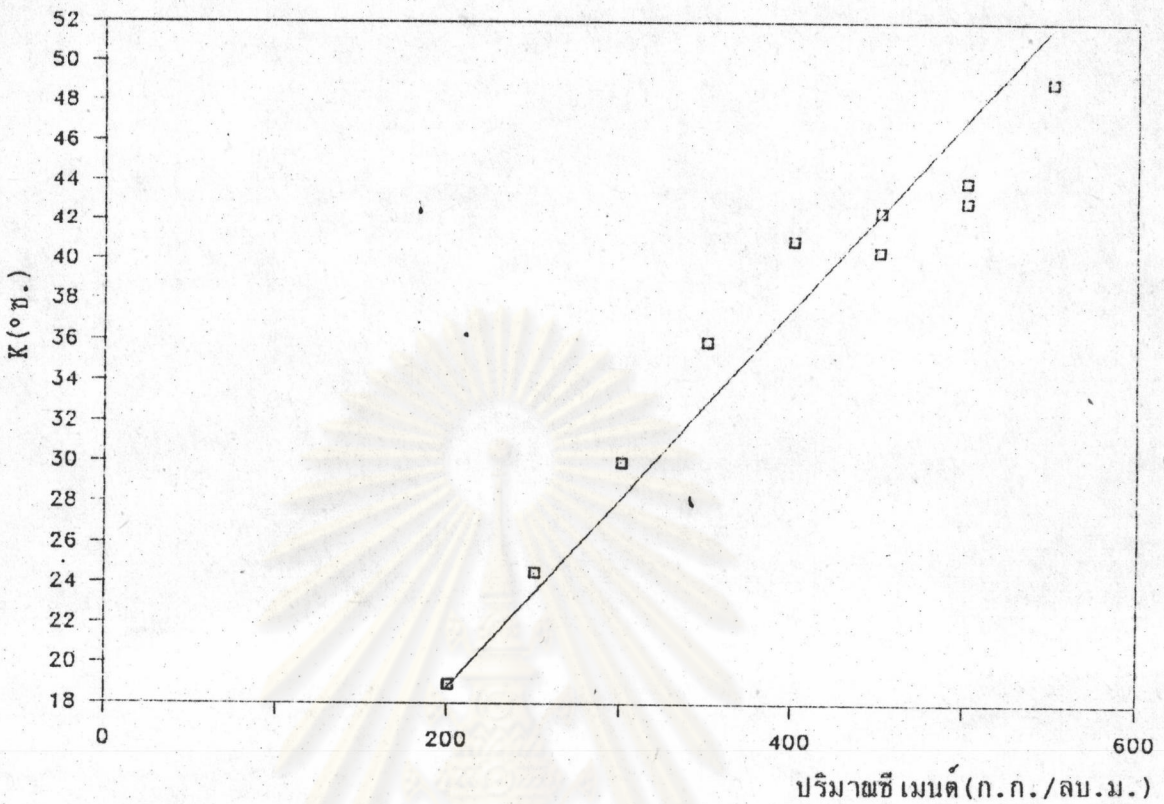
ตัวอย่างทดสอบ	ค่าคงที่จากสมการ							
	K	(3.1)		(3.2)		(3.3)		
		a	S	a	S	' C	d	S
CI-20	40.0	1.56	4.92	3.26	0.61	53.9	0.76	6.92
CI-30	36.0	2.04	1.48	4.43	2.26	42.5	0.41	3.03
CI-35	36.5	2.09	0.60	4.53	3.24	42.8	0.39	1.35
CI-40	38.0	3.59	1.30	7.90	2.18	41.8	0.18	2.85
เฉลี่ย			2.08		2.07			3.54

หมายเหตุ S คือค่าแปรปรวนของสมการ

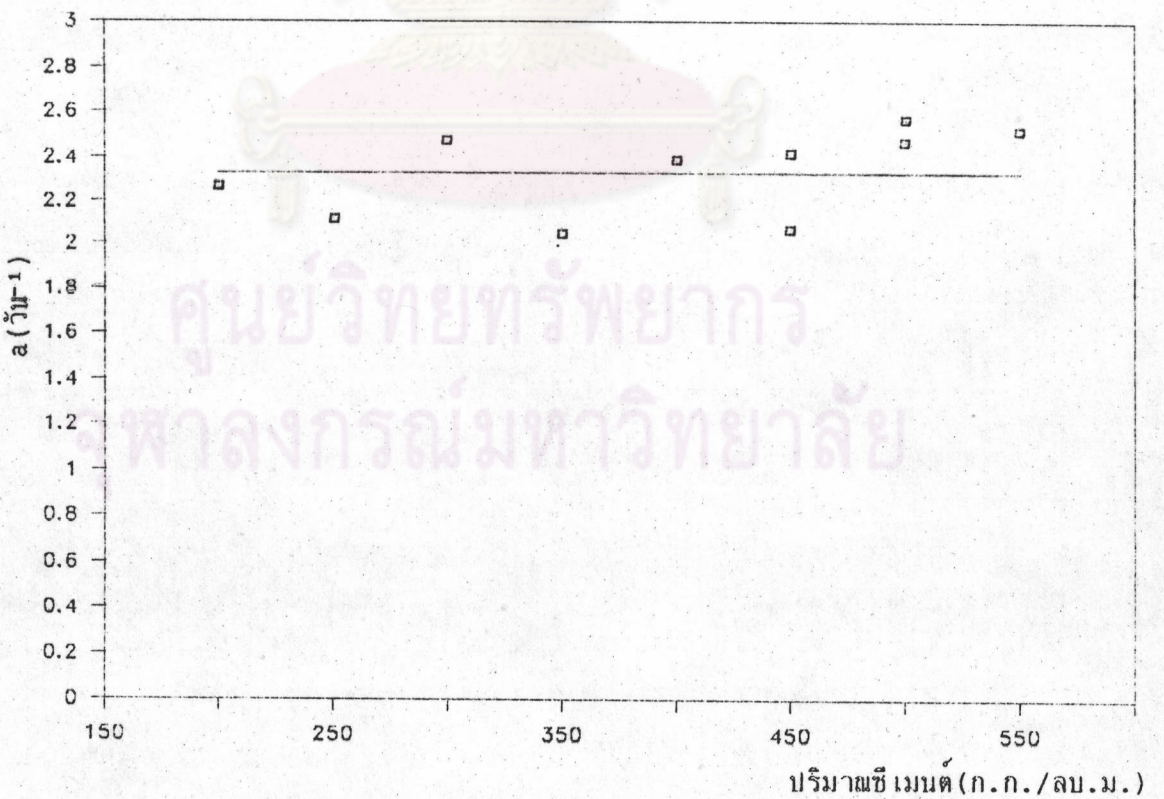
K มีหน่วยเป็น °ซ.

a มีหน่วยเป็น วัน$^{-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

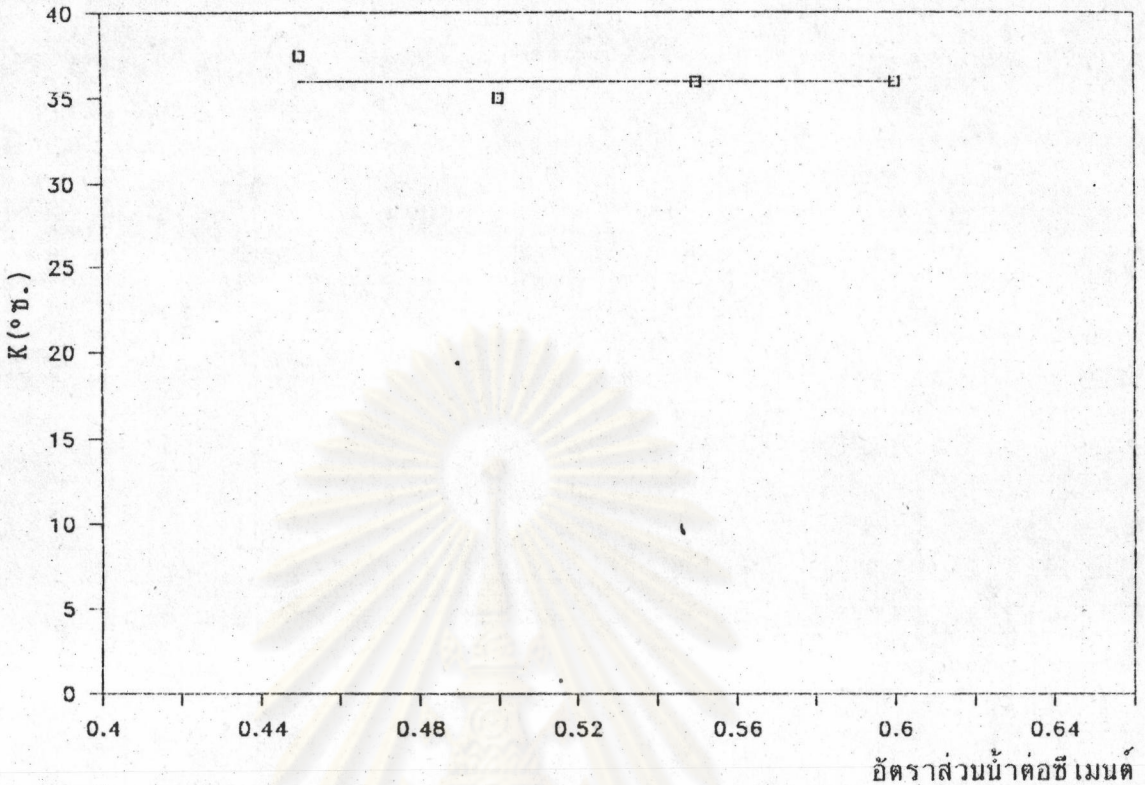


รูปที่ 3.1 ก. ค่าคงที่ K ของตัวแปรชุด ข.(ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)

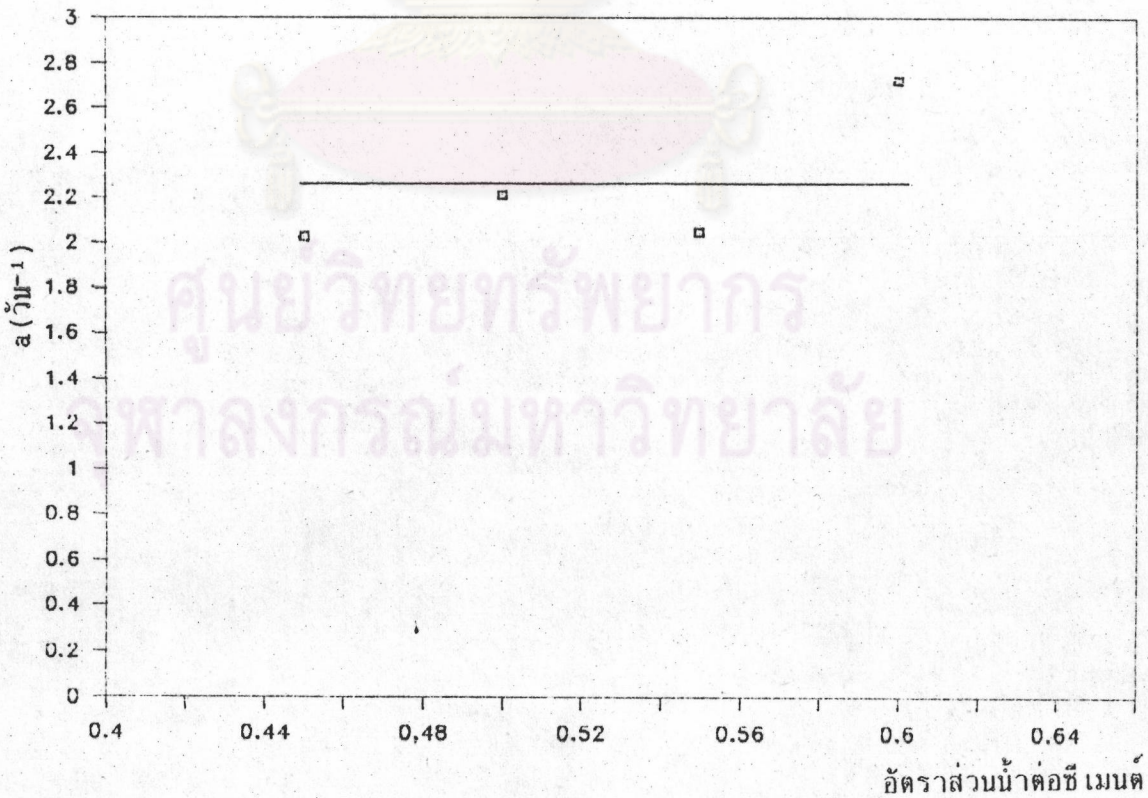


รูปที่ 3.1 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

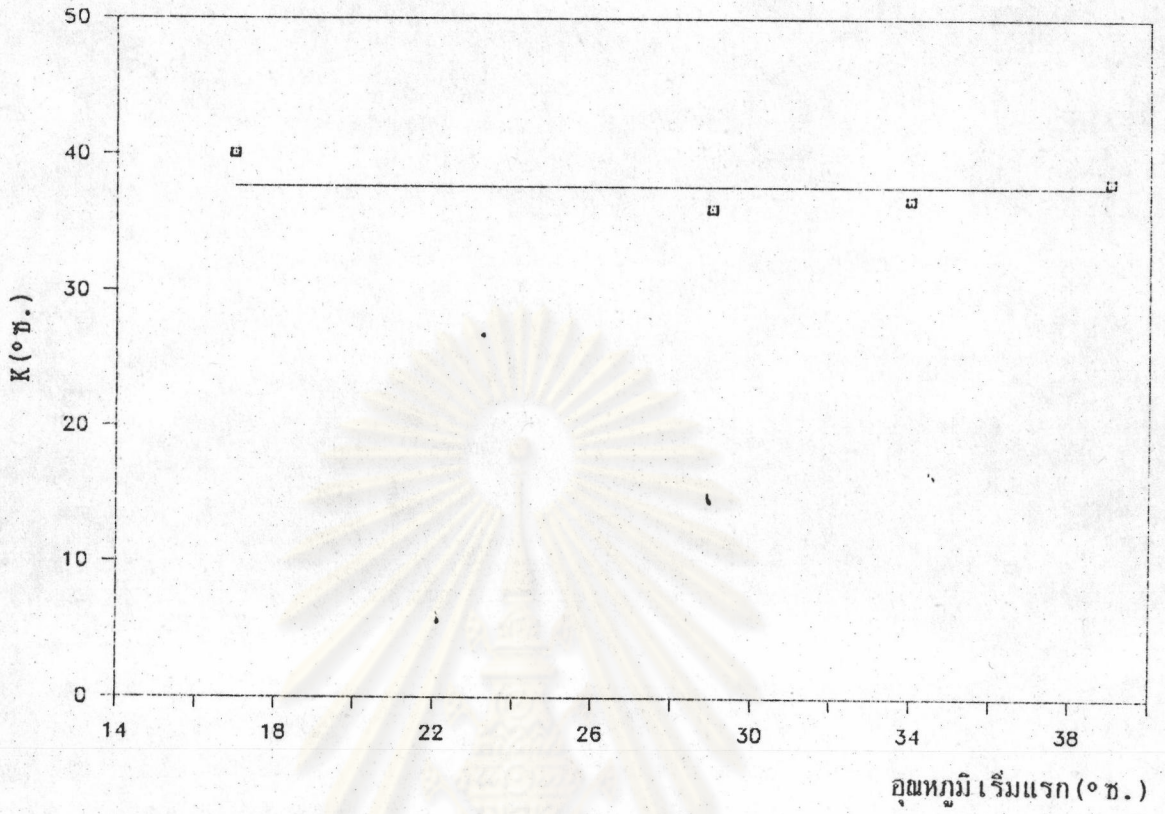


รูปที่ 3.2 ก. ค่าคงที่ K ของตัวแปรชุด ค.(อัตราส่วนน้ำต่อซี เมนต์ในคอนกรีต)

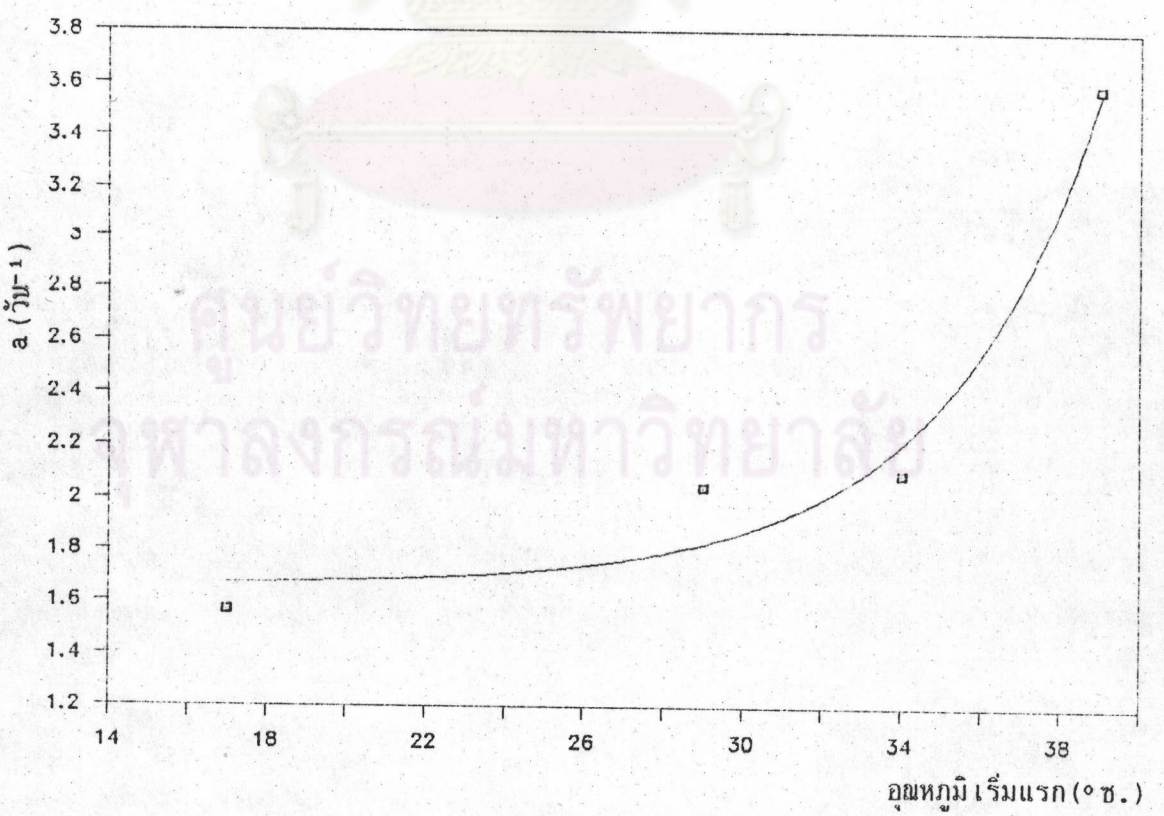


รูปที่ 3.2 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซี เมนต์ในคอนกรีต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ก. ค่าคงที่ k ของตัวแปรชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)



รูปที่ 3.3 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุด ก. (ประเภทของซีเมนต์ที่ใช้ในคอนกรีต)

ซีเมนต์ประเภทที่ I

$K = 36.5$ °ซ.

$a = 2.1$ วัน$^{-1}$

ซีเมนต์ประเภทที่ III

$K = 41.0$ °ซ.

$a = 2.4$ วัน$^{-1}$

ซีเมนต์ประเภทที่ V

$K = 34.5$ °ซ.

$a = 1.7$ วัน$^{-1}$

ชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)

$K = 0.094CC$

$a = 2.3$

ชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในคอนกรีต)

$K = 36.0$

$a = 2.3$

ชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)

$K = 37.6$

$a = e^{(2.2 \times 10^{-12} CI^{7.3} + 0.5)}$

เมื่อ K และ a คืออุณหภูมิสูงสุด °ซ. และค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ วัน$^{-1}$ ตามลำดับ

CC และ CI คือ ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต (ก.ก./ลบ.ม.) และ อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต (°ซ.) ตามลำดับ

3.3.2 สมการอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อน เนื่องจากการทดสอบชุด ค. และ ง. ให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดเป็นค่าคงที่ ดังนั้นสมการของอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนสำหรับซีเมนต์ประเภทที่ I จึงมีค่าเป็น

$$K = 0.09CC \qquad (3.4)$$

สำหรับค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมินั้นผลการทดสอบชุด ข. และ ค. ให้ค่าเป็นค่าคงที่ ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะการทดสอบชุด ง. เท่านั้น ดังนั้นสมการทั่วไป คือ

$$a = e^{(2.2\times10^{-12}CI^{7.3}+0.5)} \qquad (3.5)$$

เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในคอนกรีตมีผลโดยตรงมาจากปริมาณ C_3A และ C_3S ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 1.2.1 ที่เกี่ยวกับผลของประเภทของซีเมนต์ ดังนั้น สมการของอุณหภูมิสูงสุด และค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ a สำหรับซีเมนต์ประเภทที่ III และ V จึงเป็นสัดส่วนของผลทดสอบเช่นกัน โดยที่สมการของอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดมีสัดส่วนเป็น 1.0, 1.1 และ 0.9 ตามลำดับ และค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิมีสัดส่วนเป็น 1.0, 1.2 และ 0.8 ตามลำดับ

3.4 เปรียบเทียบกราฟการเพิ่มอุณหภูมิ

3.4.1 <u>เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา</u> เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์อุณหภูมิกับเวลาจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา หาอุณหภูมิเพิ่มสูงสุด (K) เมื่ออายุครบ 3 วัน และค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับกราฟความสัมพันธ์ จากนั้นนำมาหาอัตราส่วนเมื่อเทียบกับผลการทดสอบเป็นจำนวนเท่าทั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดและค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ a ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I, III และ V จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ได้จากผลการทดสอบมีค่าต่ำกว่าผลงานวิจัยที่ผ่านมายกเว้นซีเมนต์ประเภทที่ V โดยซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V มีอัตราส่วนของอุณหภูมิสูงสุดอยู่ระหว่าง 1.02(22) ถึง 1.46(6), 1.34(20) ถึง 1.69(6) และ 0.95(5) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลการทดสอบ ส่วนค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมินั้นสำหรับซีเมนต์ประเภทที่ I และ III มีอัตราส่วนอยู่ระหว่าง 0.48(14) ถึง 1.40(22) และ 0.65(20) ถึง 0.77(14) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลการทดสอบ

3.4.2 <u>เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ</u> ความร้อนจากปฏิกิริยาการก่อตัวของซีเมนต์ เมื่ออายุครบ 3 วัน หาได้จากสมการ (18)

$$H_{3\ day} = 240(C_3S) + 50(C_2S) + 880(C_3A) + 290(C_4AF) \qquad (3.6)$$

เมื่อแทนค่าปริมาณสารประกอบหลักทางเคมีในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่าง ๆ(2) ลงในสมการข้างบนจะได้ค่าความร้อนจากปฏิกิริยาการก่อตัวสำหรับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I, III และ V เป็น 258.9, 270.7 และ 191.2 จูน/กรัมของซีเมนต์ ตามลำดับ และความร้อนจำเพาะของคอนกรีตที่มีหินปูนเป็นส่วนผสม ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 20 °ซ. ทดลองใช้ค่าที่ได้จาก A Water Resoures Technical Publication(4) และ ACI Committee 207(5) โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดเป็น 0.963 หรือ 1.005 จูน/กรัมของคอนกรีต/°ซ. สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. และ ข. ตามลำดับ จากสมการที่ 1.3 แทนค่าหาค่าอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนสำหรับซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. ได้เป็น 1.1, 1.2 และ 0.8 ตามลำดับ ต่อซีเมนต์ 10^4 ก.ก./ลบ.ม. และคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข. ได้เป็น 1.1, 1.1 และ 0.8 ตามลำดับ ต่อซีเมนต์ 10 ก.ก./ลบ.ม. นำมาเทียบกับอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบได้ดังตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าสำหรับปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V สัดส่วนของผลจากค่าที่ได้จากการคำนวณต่อผลการทดสอบมีค่าเป็น 1.2, 1.1 และ 0.9 ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก และมีสัดส่วนเป็น 1.1, 1.1 และ 0.9 ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

3.4.3 <u>เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากโครงสร้างจริง</u>

3.4.3.1 ข้อมูลทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่นำมาเปรียบเทียบ ข้อมูลจากการวัดค่าอุณหภูมิองค์อาคารคอนกรีตหลา 2 แห่ง คือ แห่งแรกเป็นตอม่อของสะพานพระรามที่ 9 ฝั่งกรุงเทพมหานคร (P3) แห่งที่สองอยู่ที่ฝั่งธนบุรี (P4) ของโครงการเดียวกันนั้น ทั้ง 2 แห่งมีมวลคอนกรีตขนาด 32x36.5x6 ม. รองพื้นด้วยคอนกรีตหยาบหนา 0.05 ม. ใช้เวลาในการเทคอนกรีตประมาณ 40 ชั่วโมง ส่วนผสมของคอนกรีตประกอบด้วย ซีเมนต์ประเภทที่ I มีปริมาณ 390 ก.ก./$ม^3$, อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45, หินปูน 1063 ก.ก./$ม^3$, ทราย 799 ก.ก./$ม^3$, POZZOLITH 100XR จำนวน 250 ม.ล./100 ก.ก.ของซีเมนต์ และ NP-20 จำนวน 2000 ม.ล./$ม^3$ อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีตมีค่า 27 °ซ. อุณหภูมิน้ำเข้าและออกของท่อระบายความร้อนมีค่า 30 °ซ. และ 40 °ซ. ตามลำดับ ขั้นตอนการก่อสร้างสำหรับการเทคอนกรีตคือ การเทคอนกรีตเทแบบต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเทคอนกรีตเฉลี่ยเป็น 167 ลบ.ม./ช.ม.

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ลำดับที่/หนังสืออ้างอิง	ประเภทของซีเมนต์					
	ประเภทที่ I		ประเภทที่ III		ประเภทที่ V	
	K	a	K	a	K	a
1(20)	1.09	0.69	1.34	0.65	-	-
2(19)	1.09	0.85	-	-	-	-
3(6)	1.46	0.60	1.69	0.66	-	-
4(5)	1.38	-	1.69	-	0.95	-
5(22)	1.02	1.40	-	-	-	-
6(14)	1.29	0.48	1.39	0.77	-	-

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณ

ชนิดของซีเมนต์	คุณสมบัติทางความร้อน	จำนวนเท่า*
I	ชุด ก.	1.19
	ชุด ข.	1.14
III	ชุด ก.	1.11
	ชุด ข.	1.06
V	ชุด ก.	0.93
	ชุด ข.	0.89

หมายเหตุ - ชุด ก. ใช้ค่าความนำความร้อน 0.81 บี.ที.ยู./ฟุต/°ฟ./ช.ม.
ความร้อนจำเพาะ 0.23 บี.ที.ยู./ปอนด์/°ฟ.

- ชุด ข. ใช้ค่าความนำความร้อน 1.76 บี.ที.ยู./ฟุต/°ฟ./ช.ม.
ความร้อนจำเพาะ 0.24 บี.ที.ยู./ปอนด์/°ฟ.

- จำนวนเท่า* จำนวนเท่าของอุณหภูมิสูงสุดของวิธีการคำนวณต่อผลการทดลอง

สภาพทางอุตุนิยมวิทยาได้จากรายงานประจำวันของกรมอุตุนิยมวิทยาคือ ความดันของบรรยากาศมีค่าประมาณ 0.999 บรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 0.85 % ความเร็วลมประมาณ 6.2 ไมล์/ชั่วโมง อุณหภูมิของอากาศวัดโดยตรงจากบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ปริมาณแสงแดดประมาณ 2,000 บี.ที.ยู./วัน

ตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร มีท่อระบายความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 4 ชั้น แต่ละชั้นอยู่สูงจากคอนกรีตหยาบเป็น 1.0, 2.5, 3.5 และ 5.0 ม. ท่ออยู่ห่างกันในแนวราบ 1.2 ม. ดังรูปที่ 3.4

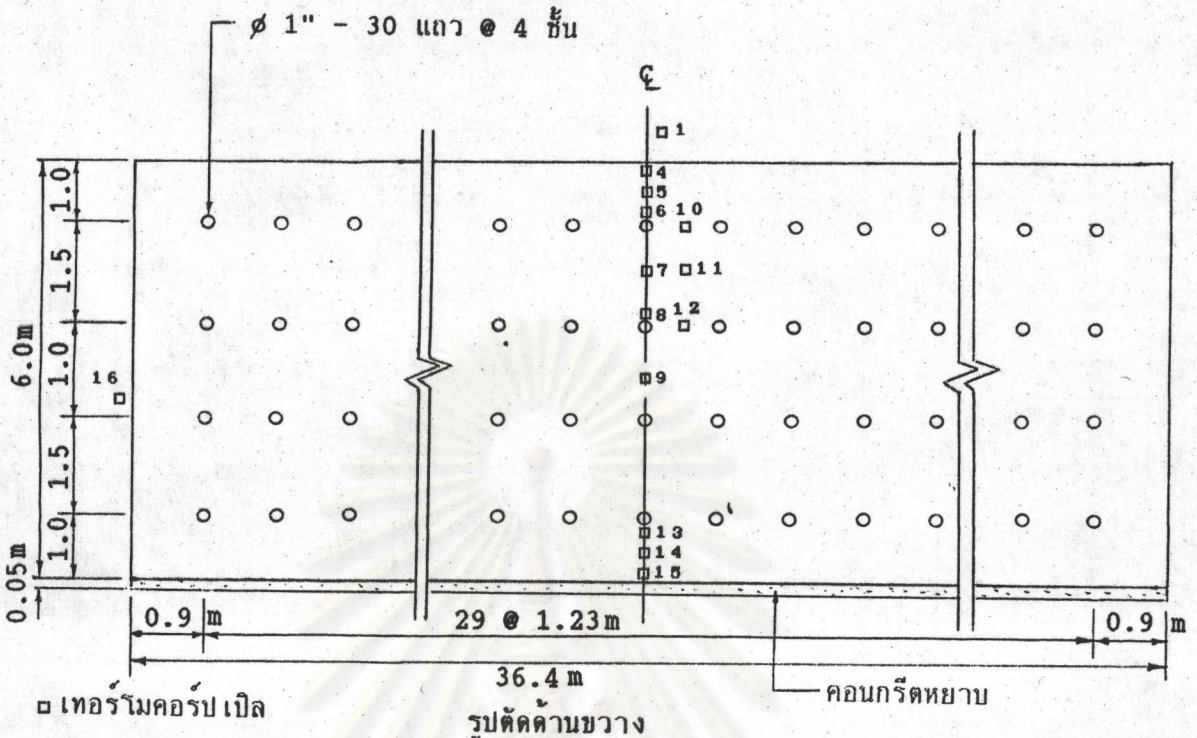
ตอม่อฝั่งธนบุรี มีท่อระบายความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 20 แถว สลับกับท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วจำนวน 8 แถว ในแนวราบ โดยท่อชุดนี้วางเรียงกันในแนวดิ่ง 4 ชั้น แต่ละชั้นอยู่สูงจากคอนกรีตหยาบเป็น 1.0, 2.5, 3.5 และ 5.0 ม. ท่อระบายความร้อนชุดที่ 2 เป็นท่อเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว จำนวน 25 แถวในแนวราบ โดยวางอยู่ระหว่างท่อชุดแรกในแนวราบและแนวดิ่ง ท่อชุดที่ 2 นี้วางเรียงกันในแนวดิ่ง 3 ชั้น อยู่สูงจากคอนกรีตหยาบรองพื้นเป็น 1.75, 3.00 และ 4.25 ม. ระยะระหว่างท่อทั้ง 2 ชุดในแนวราบ 0.6 หรือ 0.75 ม. ดังรูปที่ 3.5

เมื่อนำสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตตามที่ใช้ในการก่อสร้างแทนค่าในสมการได้อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดเป็น 36.7 °ซ. และ ค่ากำหนดอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 1.76 วัน$^{-1}$ เพื่อกำหนดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแบบก้กกันความร้อนในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์ แล้วนำไปวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ โดยทดลองใช้คุณสมบัติทางความร้อนเป็น 2 ชุด โดยชุด ก. และ ชุด ข. มีความนำความร้อนเป็น 0.81 และ 1.76 บี.ที.ยู./ช.ม./ฟ./°ฟ. ความร้อนจำเพาะเป็น 0.23 และ 0.24 บี.ที.ยู./ปอนด์/°ฟ. ตามลำดับ พร้อมกับสภาวะแวดล้อมขององค์อาคารทั้ง 2 ดังรูปที่ 3.4 สำหรับฝั่งกรุงเทพมหานคร และรูปที่ 3.5 สำหรับฝั่งกรุงธนบุรี ซึ่งแบ่งองค์อาคารเป็นส่วนย่อยและกำหนดจุดสมมติดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 สำหรับตอม่อทั้ง 2 แห่งตามลำดับ หลังจากทำการวิเคราะห์แล้วนำอุณหภูมิที่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้เพื่อหาค่าคงที่อุณหภูมิเพิ่มแบบก้กกันความร้อนสูงสุด ที่ทำให้ได้ผลจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลจากการวัดจากโครงสร้างจริงโดยวิธีการเทียบสัดส่วน

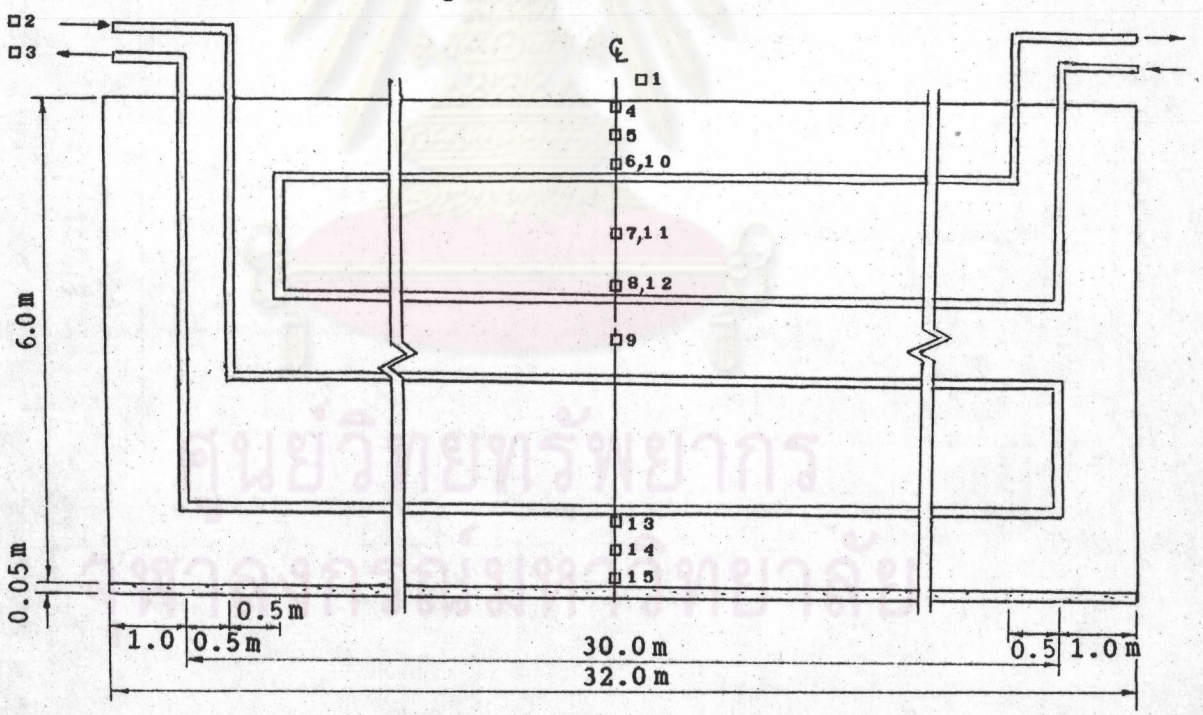
3.4.3.2 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิและผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีทดลองกับวิธีวัดอุณหภูมิจากโครงสร้าง

- ตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร อุณหภูมิตามเวลาที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.7 และ

รูปตัดด้านยาว

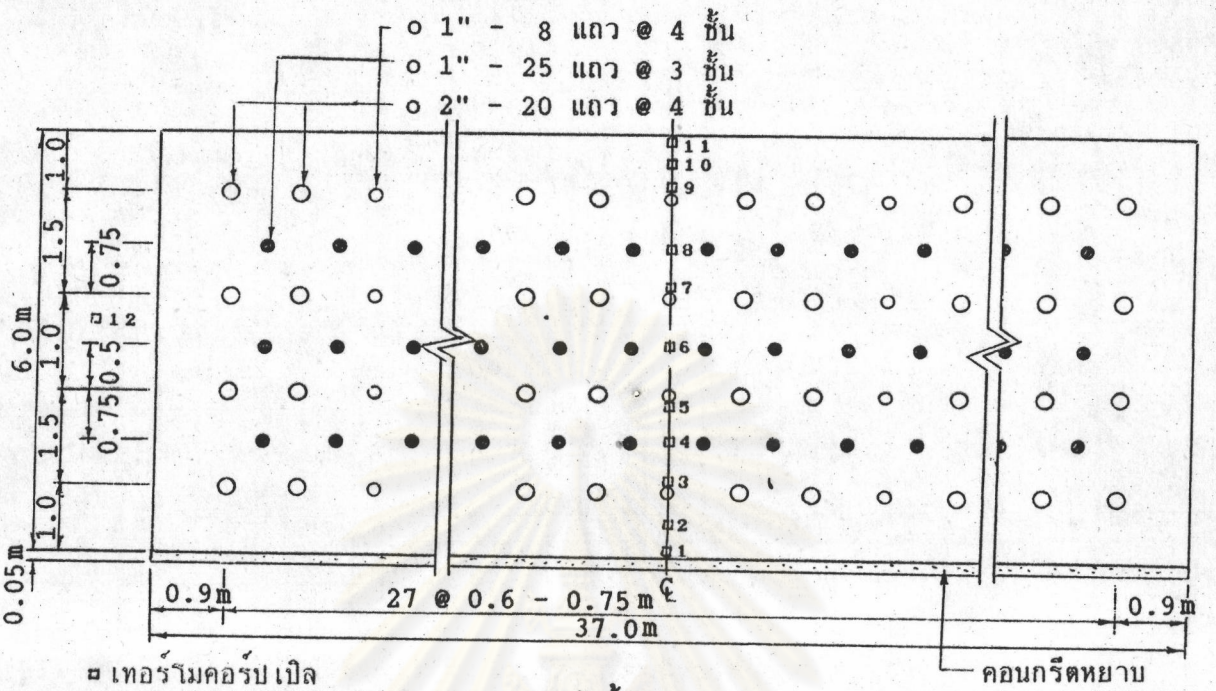


รูปตัดด้านขวาง

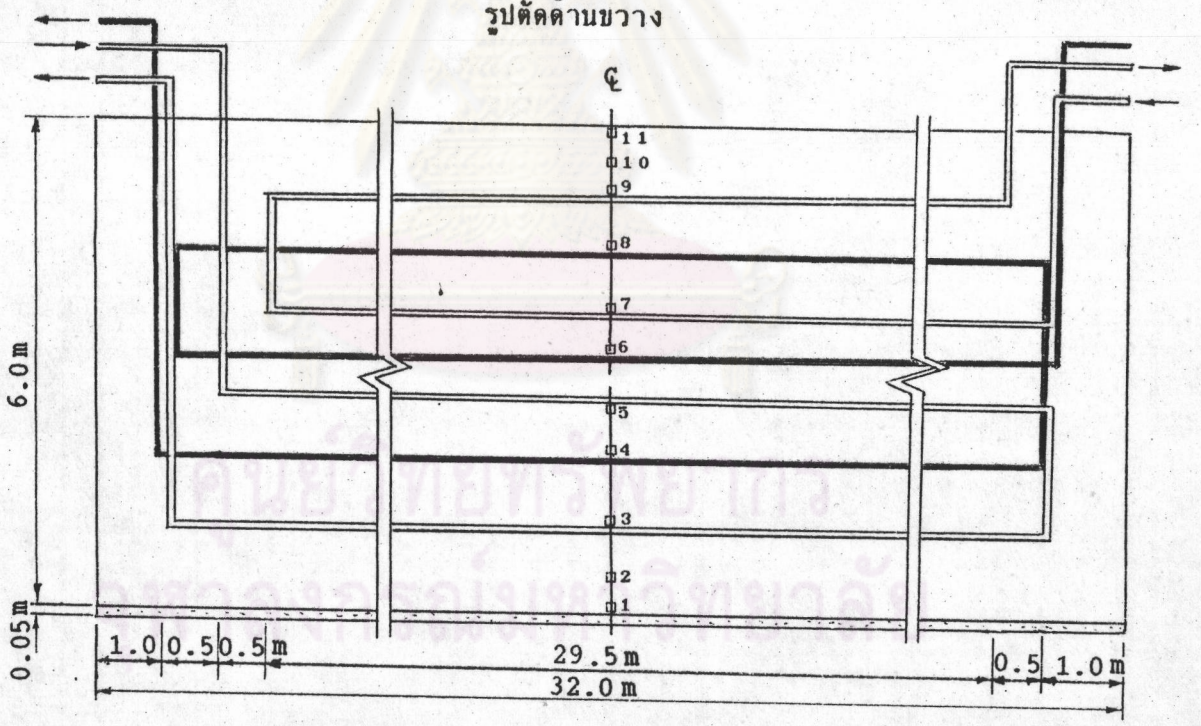


รูปที่ 3.4 รูปตัดของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร

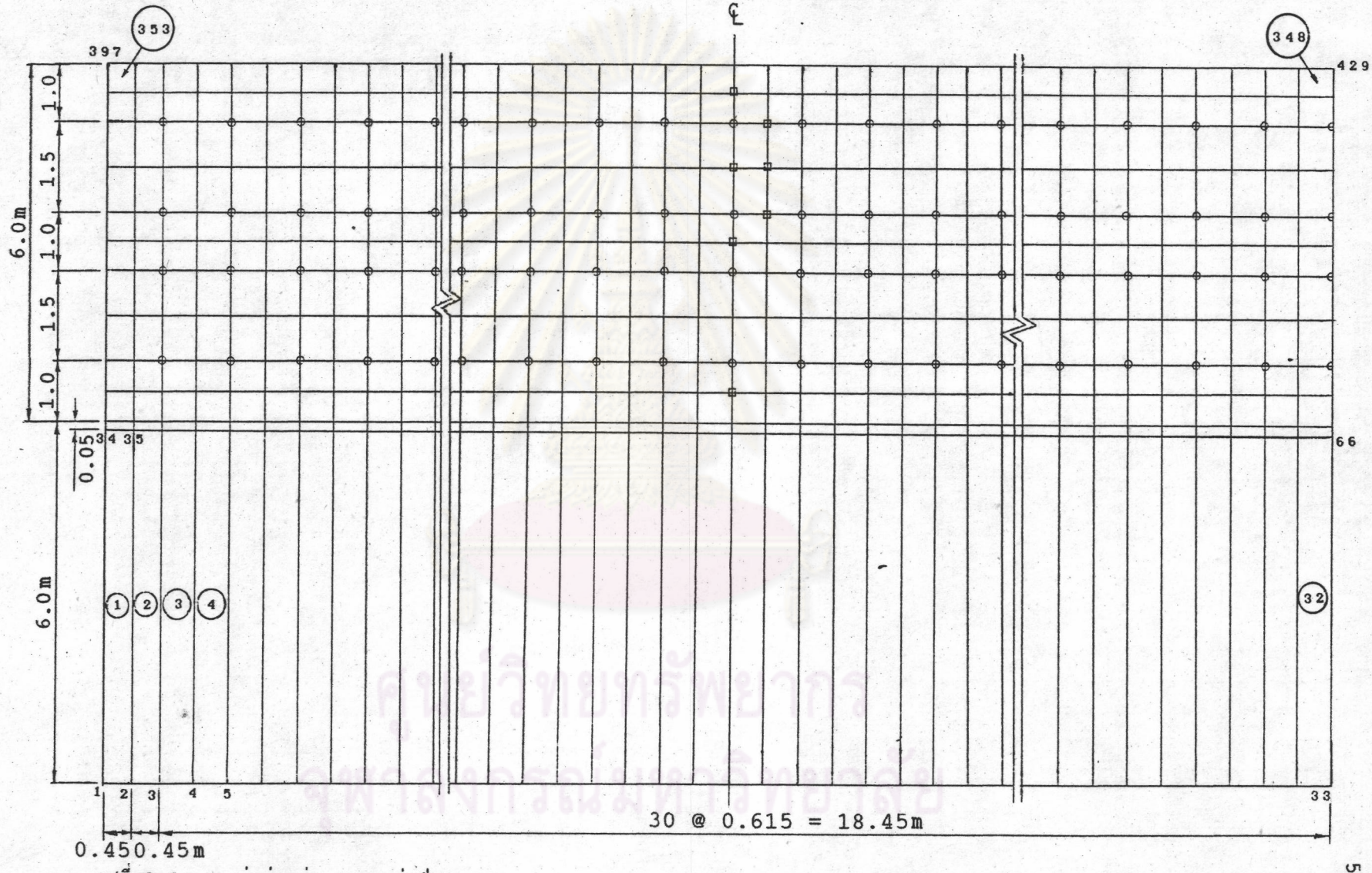
รูปตัดด้านยาว



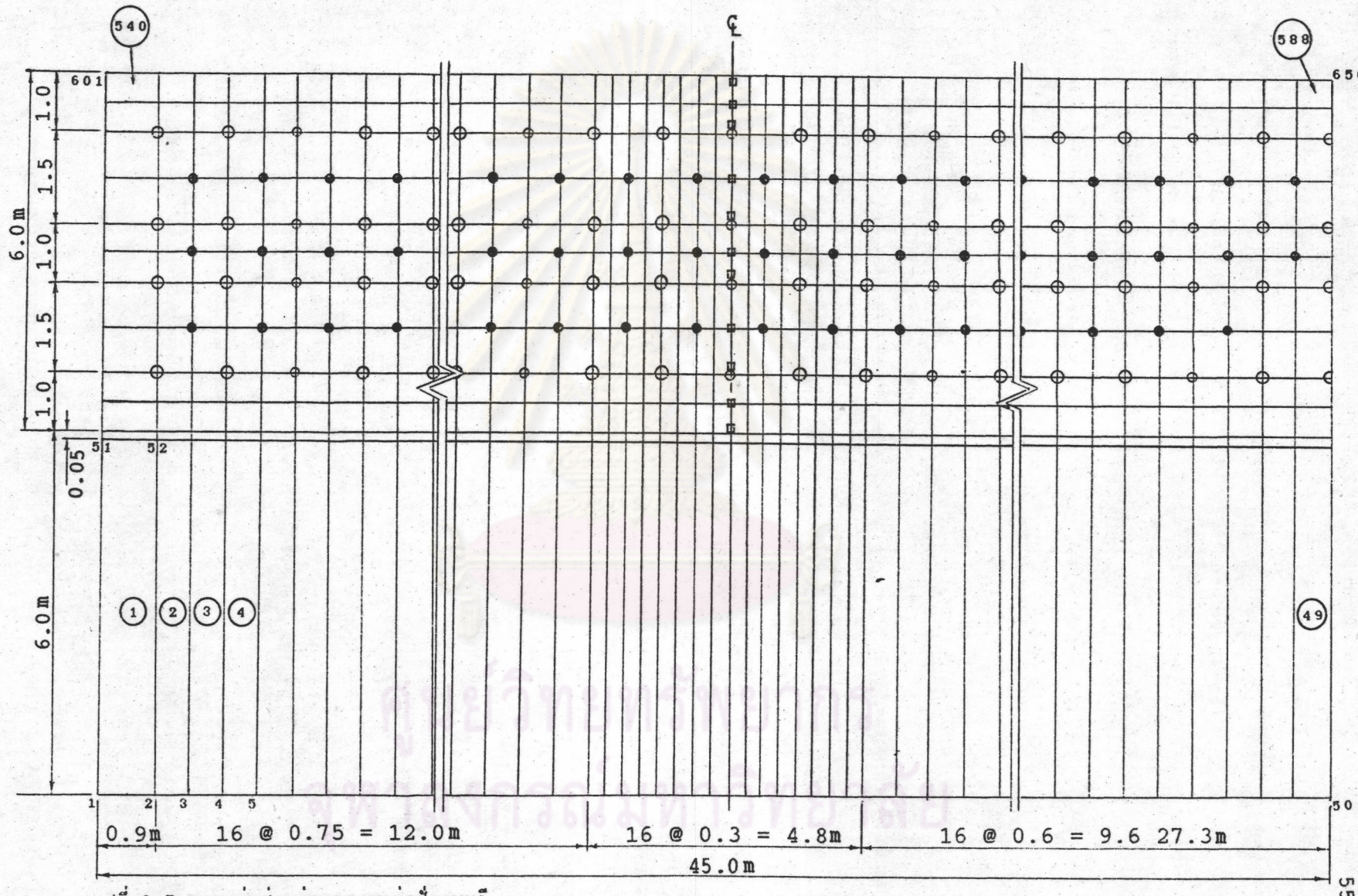
รูปตัดด้านขวาง



รูปที่ 3.5 รูปตัดของตอม่อฝั่งธนบุรี



รูปที่ 3.6 การแบ่งส่วนย่อยของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.7 การแบ่งส่วนย่อยของตอม่อฝั่งธนบุรี

3.8 สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. และ ชุด ข. ตามลำดับ พร้อมทั้งนำอุณหภูมิที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ ในคอนกรีตจากตารางที่ 3.7 และ 3.8 เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

- ตอม่อฝั่งธนบุรี อุณหภูมิตามเวลาที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.9 และ 3.10 สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. และ ชุด ข. ตามลำดับ พร้อมทั้งนำอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ที่จุดต่าง ๆ ในคอนกรีตจากตารางที่ 3.9 และ 3.10 เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ขององค์อาคารทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกันสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3.11 และได้ค่าของสัดส่วนของอุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้ได้อุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิที่วัดได้จากโครงสร้างเทียบกับอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ได้จากการทดสอบสำหรับคุณสมบัติทางความร้อนทั้ง 2 ชุด มีค่าเป็น 1.7 เท่า เพื่อใช้เป็นตัวคูณประกอบปรับแก้อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดจากผลการทดสอบต่อไป

3.4.3.3 การปรับแก้สมการอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนและการเลือกคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีต เมื่อทดลองใช้ตัวคูณประกอบ ปรับแก้ผลจากการทดสอบ ได้ค่าอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดเป็น 62.3 °ซ. แล้ววิเคราะห์หาอุณหภูมิชุดใหม่ในคอนกรีตที่เวลาช่วงต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

- ตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร อุณหภูมิตามเวลาที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.12 และ 3.13 สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. และ ชุด ข. ตามลำดับ พร้อมทั้งนำอุณหภูมิที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ ในของคอนกรีตจากตารางที่ 3.12 และ 3.13 เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

- ตอม่อฝั่งธนบุรี อุณหภูมิตามเวลาที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.14 และ 3.15 สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. และ ชุด ข. ตามลำดับ พร้อมทั้งนำอุณหภูมิที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ ในคอนกรีตจากตารางที่ 3.14 และ 3.15 เขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.14 และ 3.15 ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.12 ถึง 3.15 จะสังเกตุได้ว่า เมื่อใช้คุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตตามชุด ก. (ค่าความนำความร้อนเป็น 0.81 บี.ที.ยู./ฟุต/°ฟ./ช.ม.) ตัวคูณประกอบเป็น 1.7 จะได้อุณหภูมิจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลการวัดอุณหภูมิจากโครงสร้างจริงมาก ดัง

แสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.14 ในทางตรงข้าม เมื่อใช้คุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตตาม ชุด ข. นั้น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากมวลคอนกรีตเร็วกว่าที่วัดได้ในโครงสร้างจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.15

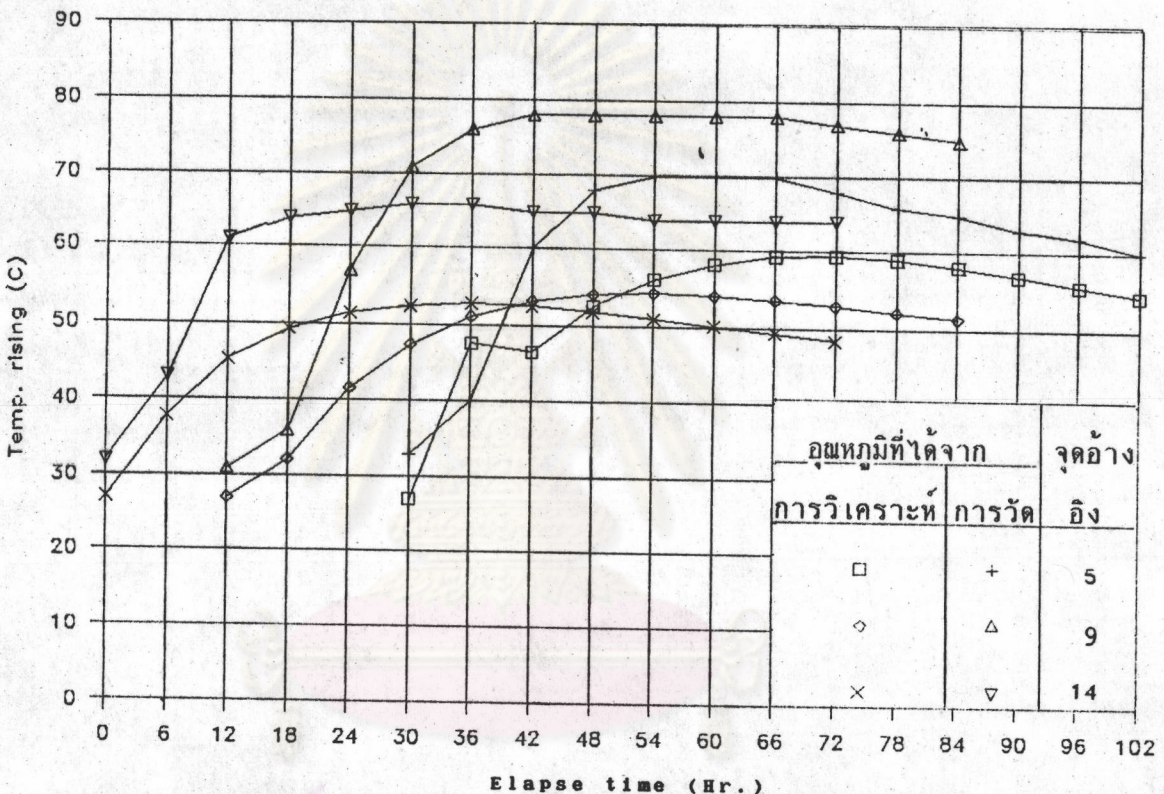
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

Time	Temp. at point no.(°C.)													
	14		9		12		7		11		10		5	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27	32												
6	37.83	43												
12	45.27	61	27	31	27	32								
18	49.31	64	32.27	36	29.86	32	27	29	27	29				
24	51.45	65	41.59	57	37.46	41	32.99	34	33.51	34	27	27		
30	52.41	66	47.39	71	45.74	66	37.83	62	38.39	62	33.85	34	27	33
36	52.78	66	51.11	76	50.88	73	45.69	70	46.14	70	40.92	50	47.57	40
42	52.51	65	53.16	78	53.96	77	50.74	75	51.11	74	47.87	68	46.49	60
48	51.81	65	54.05	78	55.65	79	53.94	78	54.19	78	52.29	73	52.53	68
54	51.04	64	54.29	78	56.44	80	56.08	80	56.02	80	54.99	75	56.08	70
60	50.17	64	54.07	78	56.63	80	57.35	80	57.02	80	56.55	76	58.15	70
66	49.28	64	53.58	78	56.44	80	58.05	80	57.47	82	57.36	77	59.28	70
72	48.40	64	52.92	77	56.02	80	58.36	80	57.56	82	57.65	77	59.43	68
78			52.23	76	55.45	80	58.52	80	57.44	82	57.63	76	59.01	66
84			51.43	75	54.81	79	58.31	80	57.18	81	57.40	75	58.09	65
90							58.04	80	56.81	81	57.00	75	56.99	63
96											56.46	75	55.74	62
102													54.49	60
avgERR	13.23		21.66		19.81		21.09		21.93		16.75		8.18	
avg. T	50.40		51.44		52.68		53.90		53.58		54.19		56.03	

totERR	17.52 C	
initial temp.	27.00 C	
cons. K	36.67 C	
total avg. T	53.17 C	
temp. rising	26.17 C	
temp. loss	10.50 C	28.62 %
adjust temp.	22.54 C	
adjust K	59.21 C	
adjust factor	1.61	

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.



รูปที่ 3.8 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

ตารางที่ 3.8 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร

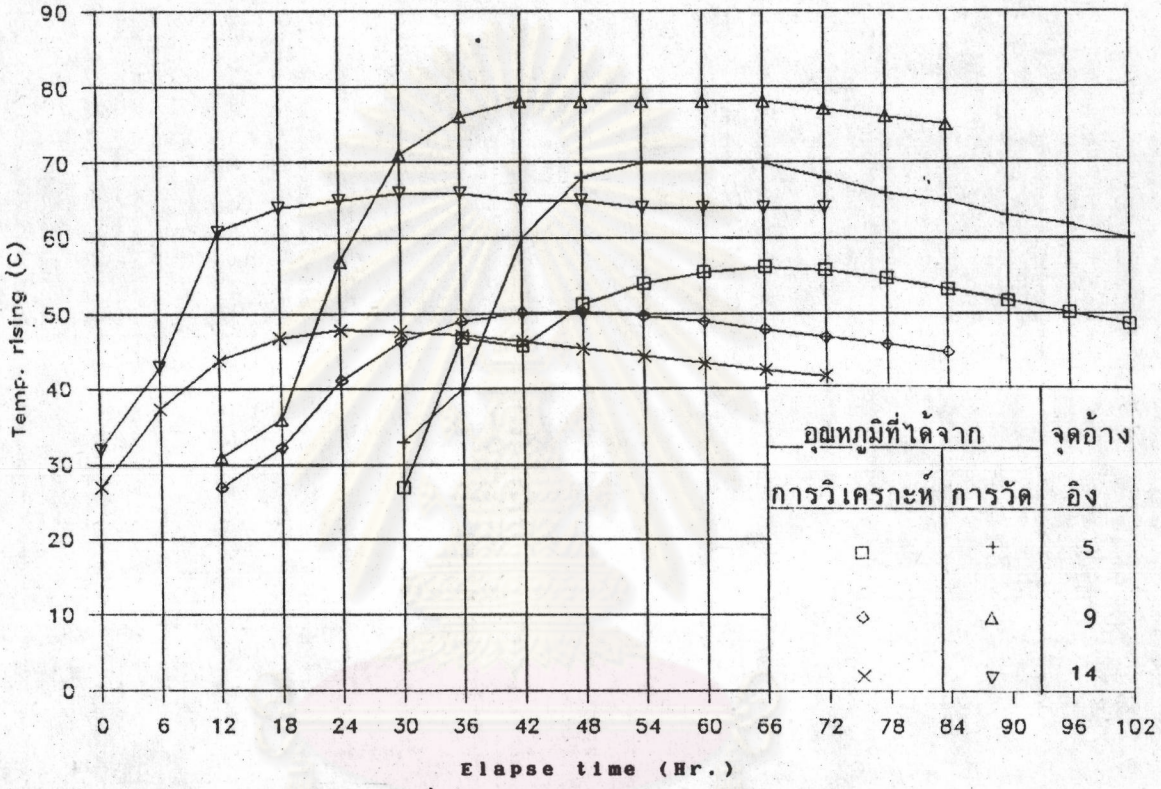
สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

Time	Temp. at point no.(°C.)													
	14		9		12		7		11		10		5	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27	32												
6	37.42	43												
12	43.89	61	27	31	27	32								
18	46.82	64	32.3	36	29.99	32	27	29	27	29				
24	47.83	65	41.23	57	37.49	41	33.09	34	33.56	34	27	27		
30	47.7	66	46.31	71	45.13	66	38.03	62	38.27	62	33.95	34	27	33
36	47.19	66	49.04	76	49.49	73	45.66	70	45.71	70	41.09	50	46.8	40
42	46.38	65	50.16	78	51.77	77	50.47	75	50.27	74	47.63	68	45.75	60
48	45.36	65	50.21	78	52.68	79	53.28	78	52.87	78	51.52	73	51.2	68
54	44.41	64	49.74	78	52.72	80	54.94	80	54.18	80	53.62	75	54	70
60	43.45	64	48.92	78	52.25	80	55.65	80	54.68	80	54.57	76	55.53	70
66	42.56	64	47.93	78	51.47	80	55.79	80	54.63	82	54.81	77	56.24	70
72	41.75	64	46.88	77	50.53	80	55.55	80	54.25	82	54.56	77	55.77	68
78			45.92	76	49.55	80	55.18	80	53.7	82	54.05	76	54.72	66
84			44.91	75	48.57	79	54.44	80	53.05	81	53.36	75	53.23	65
90							53.72	80	52.3	81	52.49	75	51.72	63
96											51.48	75	50.12	62
102													48.6	60
avgERR	18.02		25.37		22.95		22.77		24.04		18.99		11.53	
avg. T	45.21		47.39		49.24		52.06		51.26		51.74		52.44	

totERR	20.52 C	
initial temp.	27.00 C	
cons. K	36.67 C	
total avg. T	49.91 C	
temp. rising	22.91 C	
temp. loss	13.76 C	37.53 %
adjust temp.	28.23 C	
adjust K	64.90 C	
adjust factor	1.77	

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี

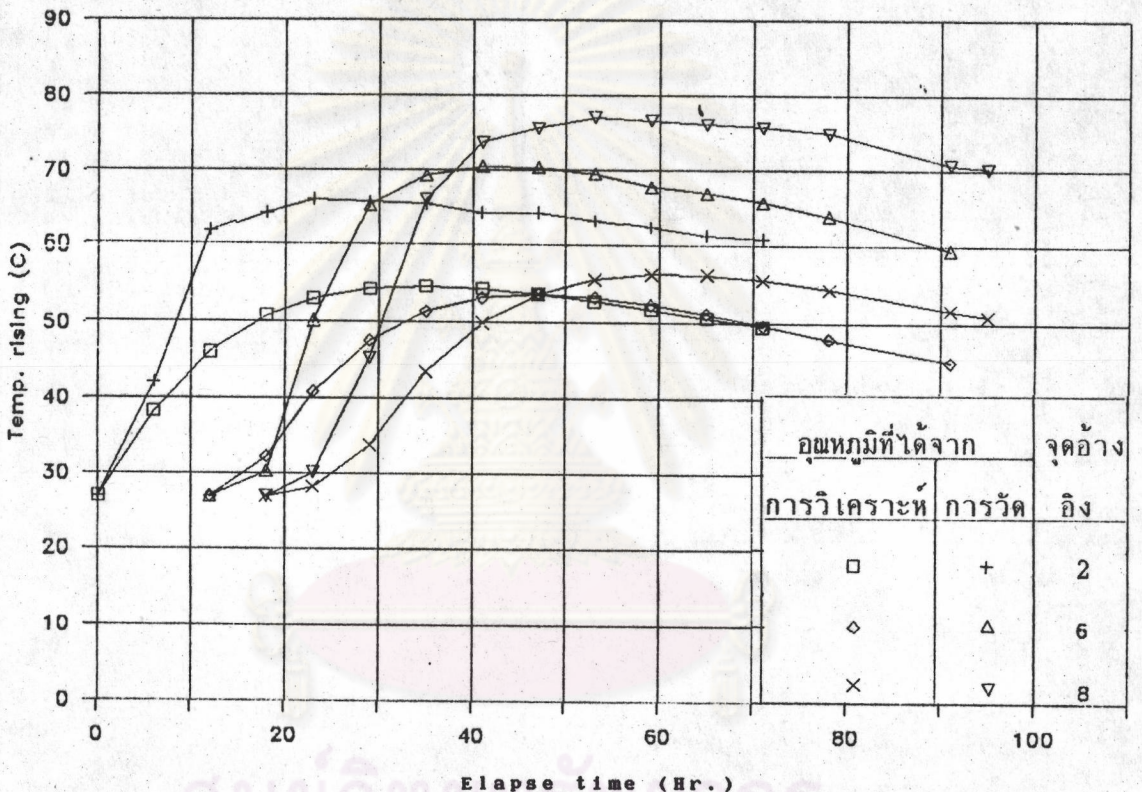
สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

Time	Temp. at point no.(°C.)									
	2		4		6		8		10	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27.00	27.0								
6	38.35	42.1	27.00	27.0						
12	46.04	61.7	32.65	33.5	27.00	27.0				
18	50.66	64.3	42.94	61.8	32.26	30.3	27.00	27.0		
23	52.87	66.1	48.71	70.8	40.90	50.2	28.22	30.2		
29	54.19	65.8	53.15	59.8	47.53	65.4	33.74	45.4	27.00	27.0
35	54.54	65.5	55.64	75.1	51.30	69.3	43.60	66.2	36.97	41.5
41	54.26	64.3	56.75	75.0	53.10	70.5	49.88	73.7	41.83	68.5
47	53.58	64.3	56.93	71.2	53.58	70.4	53.61	75.7	48.50	70.9
53	52.69	63.3	56.47	74.3	53.20	69.5	55.56	77.1	52.52	71.1
59	51.66	62.4	55.61	73.3	52.30	67.8	56.28	76.7	54.73	69.3
65	50.58	61.3	54.52	72.0	51.07	67.0	56.19	76.2	55.69	67.9
71	49.49	60.9	53.27	71.1	49.65	65.8	55.55	75.8	55.93	65.6
78			51.69	62.0	47.93	63.9	54.34	75.0	56.04	63.5
91					44.95	59.5	51.64	70.8	54.64	57.5
95							50.85	70.3	54.08	56.3
101									53.70	54.2
107									53.02	53.0
avgERR	11.09		15.13		14.32		18.64		10.14	
avg. T	50.74		51.53		48.15		49.12		51.47	

total avg. dT	13.86 C
initial temp.	27.00 C
cons. K	36.67 C
total avg. T	50.20 C
temp. rising	23.20 C
temp. loss	13.47 C
	36.73 %
adjust temp.	18.95 C
adjust K	55.62 C
adjust factor	1.52

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี
สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

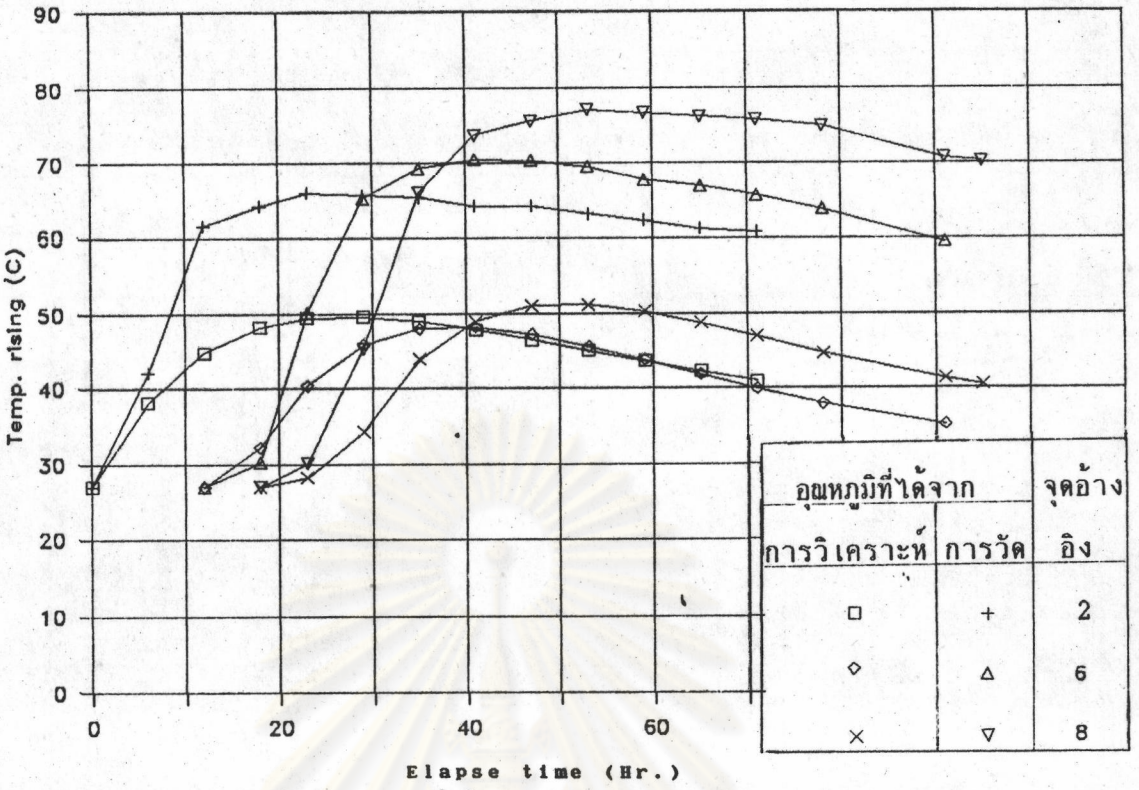
ตารางที่ 3.10 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี

สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

Time	Temp. at point no.(°C.)									
	2		4		6		8		10	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27.00	27.0								
6	38.16	42.1	27.00	27.0						
12	44.83	61.7	32.84	33.5	27.00	27.0				
18	48.26	64.3	42.80	61.8	32.31	30.3	27.00	27.0		
23	49.45	66.1	47.83	70.8	40.44	50.2	28.22	30.2		
29	49.62	65.8	50.97	59.8	45.85	65.4	34.32	45.4	27.00	27.0
35	48.95	65.5	51.92	75.1	48.03	69.3	43.95	66.2	37.15	41.5
41	47.82	64.3	51.48	75.0	48.20	70.5	48.97	73.7	41.73	68.5
47	46.46	64.3	50.23	71.2	47.21	70.4	51.00	75.7	47.90	70.9
53	45.04	63.3	48.56	74.3	45.62	69.5	51.17	77.1	51.21	71.1
59	43.63	62.4	46.71	73.3	43.78	67.8	50.26	76.7	52.60	69.3
65	42.28	61.3	44.86	72.0	41.86	67.0	48.78	76.2	52.68	67.9
71	41.00	60.9	43.00	71.1	39.94	65.8	46.95	75.8	52.17	65.6
78			40.97	62.0	37.97	63.9	44.72	75.0	51.81	63.5
91					35.29	59.5	41.31	70.8	49.21	57.5
95							40.50	70.3	48.38	56.3
101									48.03	54.2
107									47.09	53.0
avgERR	16.38		20.64		20.26		23.58		13.28	
avg. T	45.46		46.01		42.21		44.18		48.33	

total avg. dT	18.83 C
initial temp.	27.00 C
cons. K	36.67 C
total avg. T	45.24 C
temp. rising	18.24 C
temp. loss	18.43 C
	50.26 %
adjust temp.	28.29 C
adjust K	64.96 C
adjust factor	1.77

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.



รูปที่ 3.11 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบกับวิธีวัดจากโครงสร้างจริง

องค์อาคารคอนกรีตหลา	ชุด ก.	ชุด ข.
ฝั่งกรุงเทพมหานคร	1.61	1.77
ฝั่งธนบุรี	1.52	1.77
เฉลี่ย	1.57	1.77

หมายเหตุ - ชุด ก. ใช้ค่าความนำความร้อน 0.81 บี.ที.ยู./ฟุต/°ฟ./ช.ม.
ความร้อนจำเพาะ 0.23 บี.ที.ยู./ปอนด์/°ฟ.
- ชุด ข. ใช้ค่าความนำความร้อน 1.76 บี.ที.ยู./ฟุต/°ฟ./ช.ม.
ความร้อนจำเพาะ 0.24 บี.ที.ยู./ปอนด์/°ฟ.

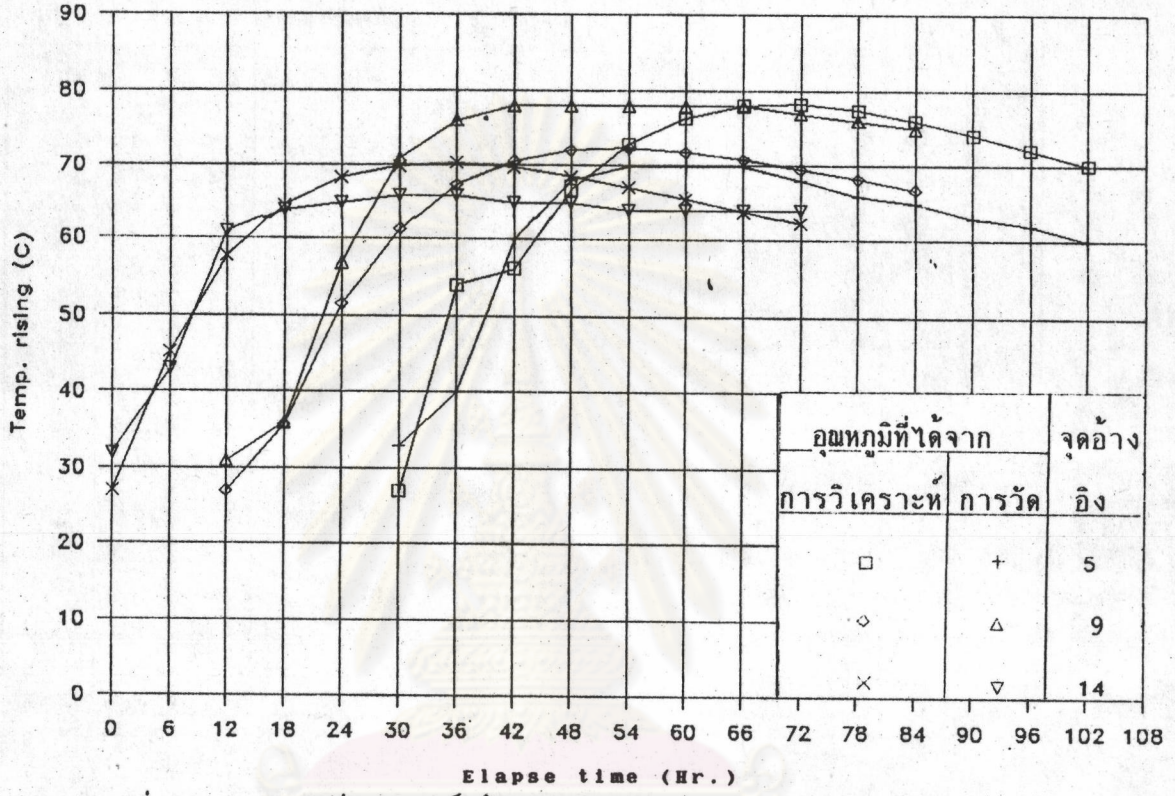
ตารางที่ 3.12 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

Time	Temp. at point no.(°C.)													
	14		9		12		7		11		10		5	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27	32												
6	45.25	43												
12	57.73	61	27	31	27	32								
18	64.67	64	35.87	36	32.31	32	27	29	27	29				
24	68.36	65	51.56	57	45.08	41	37.71	34	38.65	34	27	27		
30	69.95	66	61.3	71	59.03	66	45.65	62	46.7	62	39.09	34	27	33
36	70.37	66	67.38	76	67.62	73	58.71	70	59.71	70	50.49	50	54.06	40
42	69.76	65	70.69	78	72.69	77	67.2	75	67.98	74	61.91	68	56.24	60
48	68.52	65	72.08	78	75.42	79	72.66	78	73.07	78	69.08	73	66.72	68
54	67.08	64	72.34	78	76.61	80	76.2	80	76.02	80	73.36	75	72.93	70
60	65.48	64	71.83	78	76.79	80	78.29	80	77.57	80	75.73	76	76.41	70
66	63.84	64	70.84	78	76.34	80	79.38	80	78.2	82	76.84	77	78.11	70
72	62.23	64	69.58	77	75.47	80	79.81	80	78.22	82	77.1	77	78.26	68
78			68.25	76	74.38	80	79.88	80	77.86	82	76.82	76	77.47	66
84			66.77	75	73.15	79	79.47	80	77.26	81	76.19	75	75.97	65
90							78.9	80	76.5	81	75.29	75	74.16	63
96											74.21	75	72.13	62
102													70.09	60
108														
avgERR	-1.85		6.63		3.51		3.76		4.86		0.41		-7.55	
avg. T	66.18		67.51		70.23		72.38		71.74		71.55		72.59	

totERR	1.39 C	
initial temp.	27 C	
cons. K	62.2 C	
total avg. T	70.31 C	
temp. rising	43.31 C	
temp. loss	18.89 C	30.37 %
adjust temp.	1.82 C	
adjust K	64.02 C	
adjust factor	1.03	

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.12 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

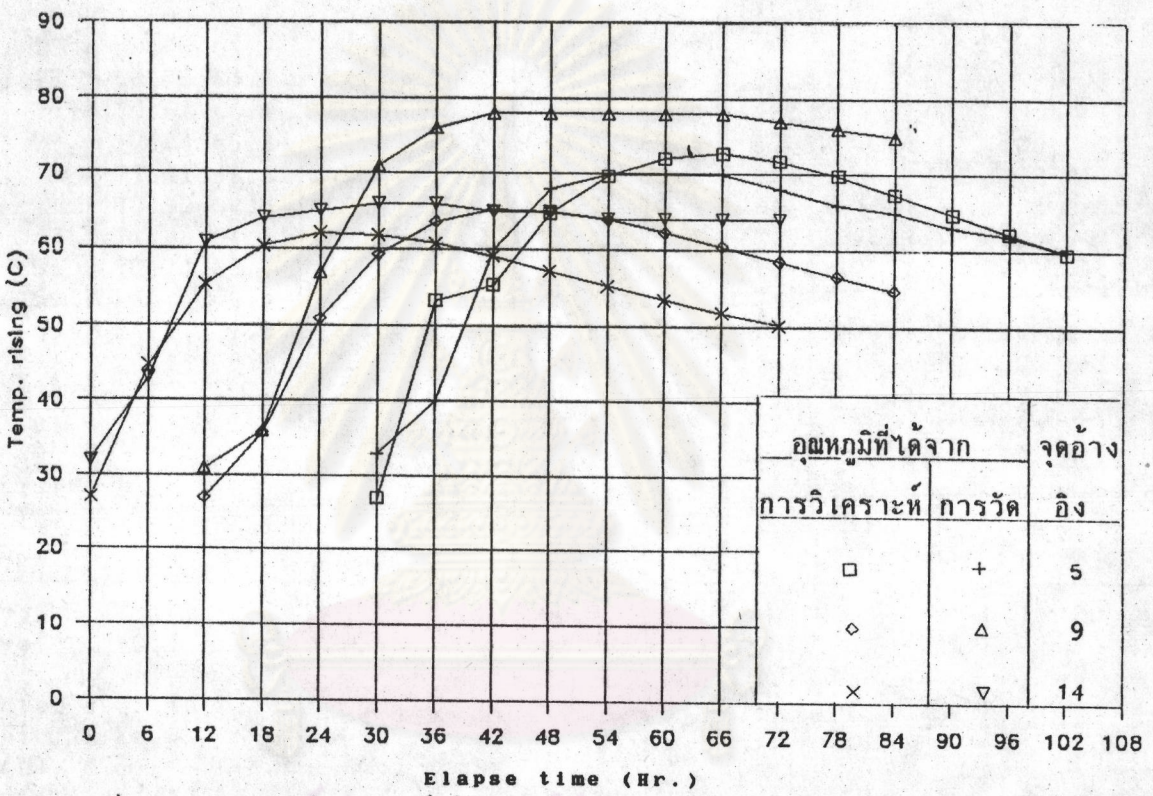
ตารางที่ 3.13 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

Time	Temp. at point no.(°C.)													
	14		9		12		7		11		10		5	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27	32												
6	44.58	43												
12	55.39	61	27	31	27	32								
18	60.41	64	35.85	36	32.48	32	27	29	27	29				
24	62.12	65	50.86	57	45.04	41	37.87	34	38.68	34	27	27		
30	61.86	66	59.29	71	57.83	66	45.93	62	46.44	62	39.22	34	27	33
36	60.76	66	63.62	76	64.98	73	58.65	70	58.8	70	50.43	50	53.31	40
42	59.12	65	65.2	78	68.55	77	66.62	75	66.22	74	60.88	68	55.35	60
48	57.19	65	65.04	78	69.82	79	71.25	78	70.34	78	66.94	73	64.83	68
54	55.32	64	63.97	78	69.64	80	73.8	80	72.3	80	70.08	75	69.74	70
60	53.48	64	62.34	78	68.59	80	74.8	80	72.86	80	71.32	76	72.09	70
66	51.77	64	60.46	78	67.04	80	74.8	80	72.53	82	71.37	77	72.76	70
72	50.21	64	58.5	77	65.24	80	74.16	80	71.65	82	70.63	77	71.74	68
78			56.65	76	63.35	80	73.22	80	70.46	82	69.44	76	69.85	66
84			54.79	75	61.47	79	71.8	80	69.1	81	67.97	75	67.37	65
90							70.34	80	67.61	81	66.27	75	64.84	63
96											64.42	75	62.22	62
102													59.72	60
108														
avgERR	6.57		13.45		9.41		7.15		9.08		5.17		-1.82	
avg. T	57.06		60.07		63.78		68.67		67.12		66.34		66.41	

totERR	7.00 C	
initial temp.	27 C	
cons. K	62.2 C	
total avg. T	64.21 C	
temp. rising	37.21 C	
temp. loss	24.99 C	40.18 %
adjust temp.	9.82 C	
adjust K	72.02 C	
adjust factor	1.16	

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

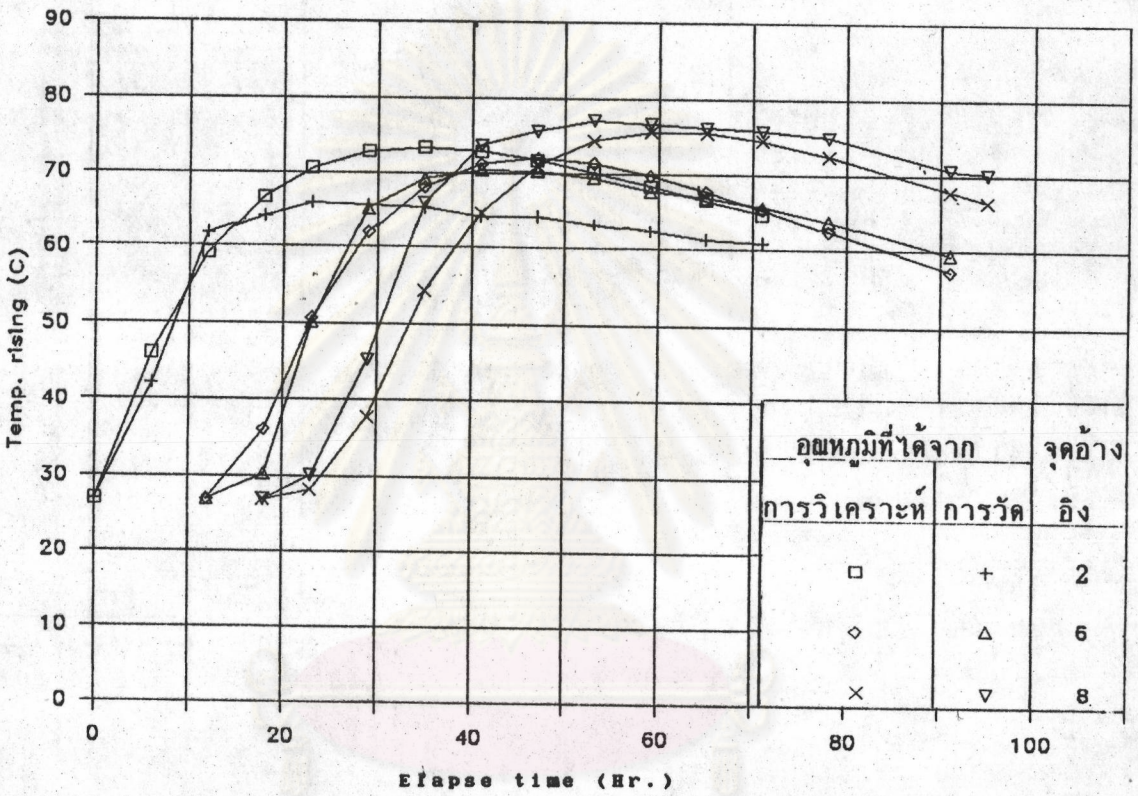
ตารางที่ 3.14 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี

สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

Time	Temp. at point no.(°C.)									
	2		4		6		8		10	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27.00	27								
6	46.07	42.1	27.00	27						
12	59.05	61.7	37	33.5	27.00	27				
18	66.86	64.3	54.35	61.8	36.16	30.3	27.00	27		
23	70.61	66.1	64.06	70.8	50.73	50.2	28.22	30.2		
29	72.84	65.8	71.52	59.8	61.92	65.4	37.82	45.4	27.00	27
35	73.41	65.5	75.66	75.1	68.28	69.3	54.3	66.2	44.2	41.5
41	72.92	64.3	77.47	75.0	71.31	70.5	64.83	73.7	52.22	68.5
47	71.78	64.3	77.69	71.2	72.11	70.4	71.12	75.7	63.5	70.9
53	70.24	63.3	76.85	74.3	71.46	69.5	74.41	77.1	70.31	71.1
59	68.5	62.4	75.33	73.3	69.91	67.8	75.66	76.7	74.04	69.3
65	66.67	61.3	73.4	72.0	67.82	67.0	75.53	76.2	75.67	67.9
71	64.8	60.9	71.22	71.1	65.42	65.8	74.47	75.8	76.01	65.6
78			68.51	62.0	62.51	63.9	72.49	75.0	75.74	63.5
91					57.37	59.5	67.96	70.8	72.93	57.5
95							66.57	70.3	71.84	56.3
101									70.64	54.2
107									69.11	53
avgERR	-5.15		-1.93		-0.45		4.14		-6.41	
avg. T	66.98		68.59		62.92		63.61		68.02	

total avg. dT	-1.96 C
initial temp.	27 C
cons. K	62.2 C
total avg. T	66.02 C
temp. rising	39.02 C
temp. loss	23.18 C
	37.26 %
adjust temp.	-2.69 C
adjust K	59.51 C
adjust factor	0.96

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.



รูปที่ 3.14 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.

ตารางที่ 3.15 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี

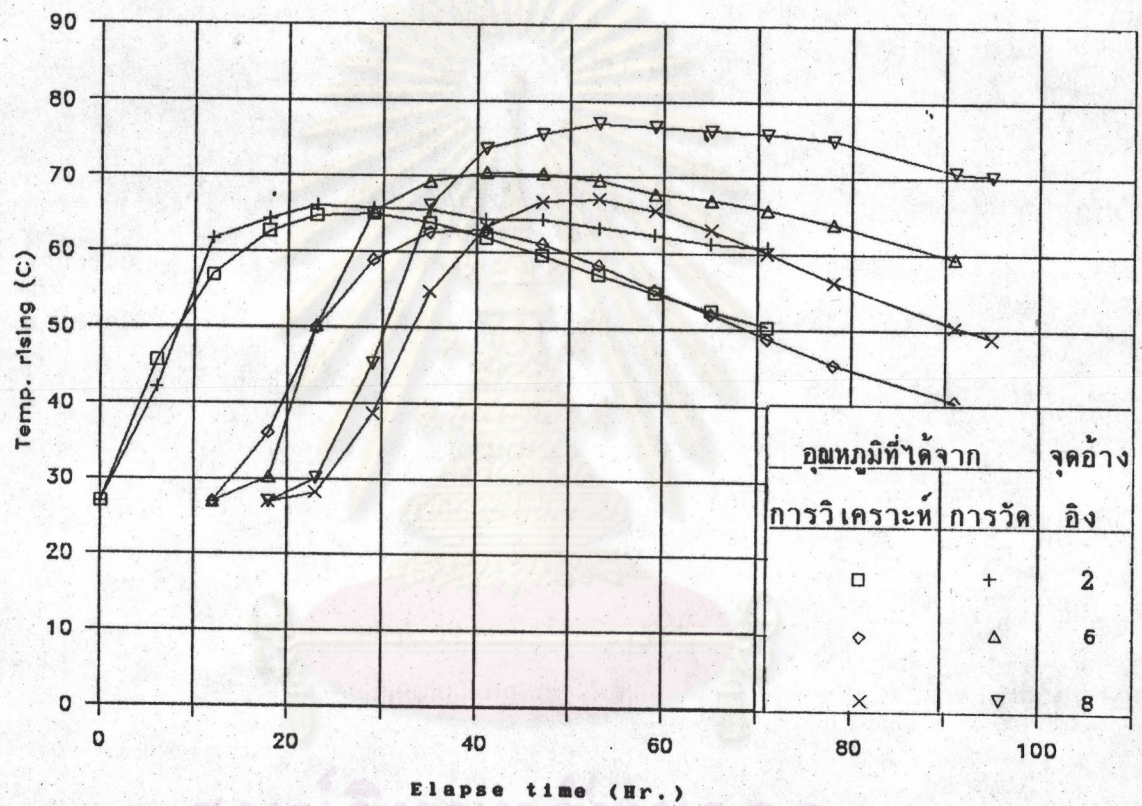
สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.

Time	Temp. at point no. (°C.)									
	2		4		6		8		10	
(Hr.)	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.	Ana.	Mea.
0	27.00	27								
6	45.68	42.1	27.00	27						
12	56.95	61.7	37.26	33.5	27.00	27				
18	62.72	64.3	53.98	61.8	36.2	30.3	27.00	27		
23	64.74	66.1	62.36	70.8	49.89	50.2	28.22	30.2		
29	65.02	65.8	67.52	59.8	58.96	65.4	38.72	45.4	27.00	27
35	63.87	65.5	68.99	75.1	62.61	69.3	54.81	66.2	44.42	41.5
41	61.94	64.3	68.13	75.0	62.86	70.5	63.28	73.7	51.96	68.5
47	59.63	64.3	65.91	71.2	61.15	70.4	66.74	75.7	62.38	70.9
53	57.19	63.3	62.99	74.3	58.42	69.5	67.09	77.1	67.96	71.1
59	54.79	62.4	59.78	73.3	55.28	67.8	65.6	76.7	70.28	69.3
65	52.49	61.3	56.56	72.0	52.04	67.0	63.12	76.2	70.4	67.9
71	50.33	60.9	53.39	71.1	48.85	65.8	60.11	75.8	69.38	65.6
78			49.96	62.0	45.52	63.9	56.42	75.0	67.99	63.5
91					40.76	59.5	50.46	70.8	63	57.5
95							48.94	70.3	61.42	56.3
101									59.97	54.2
107									57.96	53.0
avgERR	3.89		7.76		9.76		12.47		-0.65	
avg. T	57.95		58.90		52.71		55.29		62.26	

total avg. dT	6.64	C
initial temp.	27	C
cons. K	62.2	C
total avg. T	57.42	C
temp. rising	30.42	C
temp. loss	31.78	C
	51.09	%
adjust temp.	10.04	C
adjust K	72.24	C
adjust factor	1.16	

Note - Ana. = Temperature from analysis.
- Mea. = Temperature from measurement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.15 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้ตามเวลาของตอม่อฝั่งธนบุรี
สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.