

# งานตรวจสอบสภาพอาคาร และการเสริมกำลังโครงสร้าง

## อาคารสถานทูตไทยที่ถูกเพลิงไหม้ ณ กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา

**Building Health Inspection and Structural Strengthening : A Case Study of the Burnt-out Royal Thai Embassy Building at Phnom Penh, Cambodia**

### บทคัดย่อ

จากเหตุการณ์ประท้วงและจุดไฟเผาสถานทูตไทย ณ กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา เมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2546 เป็นผลทำให้อาคารได้รับความเสียหายทั้งส่วนที่เป็นสถาปัตยกรรมและโครงสร้าง การปรับปรุงซ่อมแซมอาคารเพื่อให้สามารถใช้งานได้ตามเดิมจึงจำเป็นต้องทำทั้งสองส่วนควบคู่กัน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของอาคารนั้นได้ทำการตรวจประเมินสภาพความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างก่อนแล้วจึงกำหนดแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขวิธีการตรวจประเมินสภาพอาคารนั้นประกอบไปด้วย การสำรวจ ตรวจสอบ และทดสอบ ซึ่งการตรวจสอบและทดสอบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นวิธีแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) มีการตรวจสอบแบบทำลายบางส่วนได้แก่การทำ Coring Test เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลตรวจสอบแบบไม่ทำลายและเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Strength Relationship ไว้ใช้ปรับแก้ค่าที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย นอกจากนี้ยังทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างส่วนที่รับแรงดัดซึ่งรับผลกระทบจากเพลิงไหม้โดยตรง เช่น แผ่นพื้นที่อยู่ตรงกับตำแหน่งเพลิงไหม้ โดยทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ผลทดสอบที่ได้ให้ความมั่นใจว่าแผ่นพื้นที่เสริมกำลังแล้วสามารถใช้งานได้ต่อไป

### Abstract

As a result of January 29, 2003 anti-Thai

riots with widespread protest and deconstruction of the Royal Thai Embassy in Phnom Penh, Kingdom of Cambodia, the Thai Embassy building was badly damaged both architectural and structural components by the setting fire. Repair and restoration the building to its normal functions were simultaneously carried out. For structural matters, structural strength and stabilities were preliminary investigated via various inspection techniques, to set guideline for improvement. Inspection techniques for the building are surveying, investigation, and testing. Most of the investigations and tests were nondestructive tests. However, the executed destructive tests involved coring test which the results were compared with those from the nondestructive tests. A graph showing strength relationship between destructive and nondestructive tests could therefore be built for correction adjustment to nondestructive tests. Actual structural load test of the burnt members, especially flexural members such as floors directly exposed to fire, were performed before and after strengthening with carbon fiber sheets. The

test results provided confidence in using the strengthening structure.

## 1. บทนำ

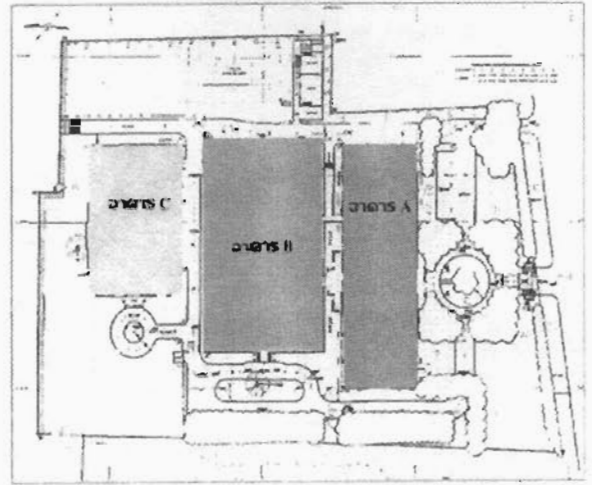
จากการชุมนุมประท้วงและเผาอาคารสถานทูตไทย ประจำกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา เมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2546 ทำให้อาคารทั้งหมดซึ่งมีจำนวนสามหลังได้รับความเสียหาย การปรับปรุงซ่อมแซมอาคารจำเป็นต้องคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างว่ายังอยู่ในสภาพที่ใช้งานต่อไปได้หรือไม่ มีส่วนใดที่ต้องซ่อมเสริมกำลังก่อนการใช้งานและมี ส่วนใดที่ควรทุบทำลาย ดังนั้นสิ่งที่ควรทำเป็นลำดับแรกคือ ทำการตรวจประเมินสภาพของอาคาร ผลของการตรวจสภาพอาคารจะทำให้ทราบความเสียหายและกำลังของโครงสร้างที่ยังคงมีอยู่ ทำให้กำหนดแนวทางการแก้ไขได้แน่นอนขึ้นและช่วยสร้าง ความมั่นใจในการใช้อาคารต่อไป

การตรวจประเมินสภาพอาคารสถานทูตไทยได้เริ่มดำเนินการเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2546 แล้วเสร็จวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2546 ซึ่งได้อาศัยแนวทางการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลตามที่ได้กล่าวข้างต้น ผลการตรวจประเมินทำให้ทราบว่าโครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ มีโครงสร้างรับแรงดัดบางส่วนที่ต้องเสริมกำลังเพราะพบ ว่าเกิดรอยแตกกว้างตรงตำแหน่งเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบในขณะที่ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุก แม้ว่าการวิเคราะห์จะแสดง ว่ารอยแตกกว้างนั้นไม่ได้เกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ ไม่ได้ก็ตาม แต่การเสริมกำลังก็เป็นวิธีการที่ช่วยทำให้โครงสร้างส่วนนั้นมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักที่ดีขึ้น สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์หารอยร้าวที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้เกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบซึ่งจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

## 2. ข้อมูลเกี่ยวกับอาคาร

สถานทูตไทยประจำกรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา ประกอบด้วยอาคารสามหลัง ได้แก่ อาคาร A เป็นอาคารสำนักงานสูง 4 ชั้น อาคาร B เป็นอาคารเลี้ยงรับรองชั้นเดียว และอาคาร C เป็นบ้านพักของคณะทูต มีความสูงสองชั้น

รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งการจัดวางของอาคารทั้งสามหลัง อาคาร A ซึ่งเป็นอาคารสำนักงาน ตั้งอยู่ใกล้ถนนใหญ่มากที่สุด จึงเป็นอาคารหลังแรกที่ถูกชุมนุมบุกรุกเข้าถึงและวางเพลิง ตำแหน่งที่ถูกวางเพลิงเป็นตำแหน่งด้านขวาชั้นล่างของอาคาร (เมื่อมองเข้าหาอาคารจากถนน) อาคาร B และ C เป็นอาคาร



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งอาคาร A, B และ C ด้านขวามือเป็นถนน

ถัดมาที่ถูกทุบทำลายและวางเพลิง คนไทยหนีออกจากสถานทูต ทางด้านหลังอาคาร C แล้วไปขึ้นเรือริมแม่น้ำซึ่งอยู่ห่างจากรั้วด้านหลังของอาคาร C ประมาณ 100 เมตร

## 3. การสำรวจ ตรวจสอบ และทดสอบ

### 3.1 การสำรวจ

สำรวจทำ Mapping แสดงความเสียหายของส่วน โครงสร้างอาคารทั้งหมด การทำ Mapping นั้นพิจารณาจาก การเดินสำรวจและระบุตำแหน่งความเสียหายลงในแบบแปลน จัดทำตารางจำแนกระดับความเสียหายที่เกิด แบ่งชนิดของ โครงสร้าง เช่น โครงสร้างรับแรงดัด โครงสร้างรับแรงอัด และ จัดแบ่งประเภทตามวัสดุที่ประกอบเป็นโครงสร้างนั้น การสำรวจ และจัดแบ่งประเภทเช่นนี้ทำให้สามารถระบุในเบื้องต้น คือ

- โครงสร้างส่วนใดที่ควรทุบทำลาย
- โครงสร้างใดสามารถนำมาใช้งานได้ แต่ควรทำการ ตรวจสอบเพิ่มเติมหรือเสริมกำลังก่อนใช้งาน
- โครงสร้างใดที่ไม่ได้รับผลกระทบจากเพลิงไหม้

ซึ่งอาจไม่ต้องทำการตรวจสอบใดๆ เลย หรืออาจตรวจสอบ เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ถูกเพลิงไหม้

ผลการสำรวจข้างต้นทำให้ลดขอบเขตของการตรวจสอบ หรือทดสอบให้แคบลง เพื่อให้ง่ายต่อการสรุปผลและการแก้ไข

### 3.2 การตรวจสอบ

หลังจากจำแนกความเสียหายตามหัวข้อที่ 3.1 แล้ว จึงทำการตรวจสอบโครงสร้างที่จัดอยู่ในเกณฑ์ไม่เสียหายรุนแรง ถึงขั้นบิดตัวเสียรูปจนยากต่อการใช้งาน โดยทำการตรวจสอบ ดังนี้

#### 3.2.1 ตรวจสอบกำลังคอนกรีตแบบไม่ทำลายด้วย

Rebound Number Test หรือที่เรียกว่า Schmidt Hammer Test ตรวจสอบอาคารทั้งสามหลังแบบสุ่มตัวอย่าง รวมจำนวนทั้งหมด 50 จุด

การตรวจสอบวิธีนี้อาจได้ค่าไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง หากตำแหน่งที่กดเครื่องมือทดสอบตรงกับตำแหน่งของหิน ในคอนกรีต ซึ่งจะทำให้ได้ค่าสูงเกินความจริง ดังนั้นจึงแก้ไข ด้วยการกำหนดให้กดทดสอบเป็นจำนวน 12 ค่า ณ ตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ โดยทำเป็นตารางดังแสดงในรูปที่ 2 นำ Rebound Number ทั้ง 12 ค่าที่อ่านได้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วพิจารณาว่ามีค่าใดค่าหนึ่งใน 12 ค่านั้นมากกว่าหรือน้อยกว่า ค่าเฉลี่ยเกิน 7 หน่วยหรือไม่ หากพบว่าให้ตัดค่านั้นทิ้งแล้วเฉลี่ยใหม่ หากไม่มีก็ถือว่าใช้ค่าเฉลี่ยนั้นได้เลย ในกรณีที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเกิน 7 หน่วยตั้งแต่สองค่าขึ้นไป จะทำการทดสอบใหม่ นอกจากนี้ก่อนการทดสอบจะสกัดผิวปูนฉาบออกและขัดผิวให้เรียบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เชื่อถือได้มากที่สุด



รูปที่ 2 ช่างสำรวจทำ Rebound Number Test

3.2.2 ตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตด้วยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity Test หรือ PUNDIT Test ตรวจสอบแบบสุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 45 จุด

วิธีนี้เป็นการใช้คลื่นความถี่สูงเคลื่อนผ่านตัวกลางที่ต้องการตรวจสอบ แล้ววัดเวลาที่คลื่นวิ่งผ่าน โดยปกติแล้วคลื่นจะวิ่งผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากได้ดีกว่าความหนาแน่นน้อย ดังนั้นหากคอนกรีตมีรูพรุนหรือรอยแตก ร้าว คลื่นเสียงจะใช้เวลาเดินทางผ่านมากกว่าคอนกรีตที่มีเนื้อสม่ำเสมอ

เนื่องจากความเร็วของคลื่นเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต และเป็นสัดส่วนผกผันกับรากที่สองของความหนาแน่นคอนกรีต ถ้าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของกำลังคอนกรีต (ACI 318) ดังนั้น ความเร็วของคลื่น (Pulse Velocity) จะเป็นสัดส่วน

กับรากที่สองของกำลังคอนกรีต แสดงว่ากำลังคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อความเร็วคลื่นน้อยมาก การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นตัวตรวจค่ากำลังคอนกรีตโดยตรง แต่มีความเหมาะสมที่จะใช้ตรวจคุณภาพคอนกรีต

3.2.3 ตรวจสอบกำลังคอนกรีตแบบกึ่งทำลายด้วย CAPO Test เลือกตรวจสอบคอนกรีตเสาจำนวน 4 ต้น รูปที่ 3 และ 4 แสดงการทดสอบ และตำแหน่งที่ทดสอบของแต่ละอาคารตามลำดับ



รูปที่ 3 ทดสอบ CAPO Test

3.2.4 ตรวจสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน และปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต โดยเจาะรูคอนกรีตที่เสาและคานแล้วนำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ รูที่เจาะแล้วนั้นทดสอบหาคาร์บอนเนชันด้วยการฉีดสารละลาย Phenolphthalein หากคอนกรีตยังมีสภาพความเป็นด่าง จะปรากฏเป็นสีม่วง นั่นแสดงว่าคอนกรีตยังอยู่ในสภาพที่ดี ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์หรืออากาศไหลเข้าไปทำปฏิกิริยากับถ้าฉีดแล้วไม่ปรากฏสีแสดงว่าคอนกรีตมีสภาพเป็นกลาง เพราะมีคาร์บอนไดออกไซด์แทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อคอนกรีต สภาพคอนกรีตที่เป็นกลางเช่นนี้จะเอื้อโอกาสให้เหล็กเป็นสนิมได้ง่าย สำหรับอาคารสถานีรถไฟที่ใช้งานมาไม่นานมีโอกาสเกิดคาร์บอนเนชันไม่มากนัก แต่สำหรับการปรับปรุงครั้งใหญ่ก็เห็นสมควรให้ทำการตรวจสอบด้วย

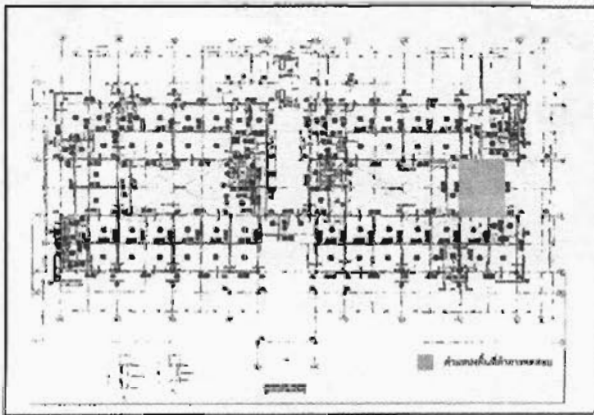
3.2.5 Coring Test เจาะแกนคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. จำนวน 11 แท่งตัวอย่าง แกนคอนกรีตที่เจาะจากอาคาร A เป็นตำแหน่งที่ไม่ถูกเพลิงไหม้ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับแกนคอนกรีตอาคาร B และ C ที่ถูกเพลิงไหม้

นำแกนคอนกรีตที่เจาะได้มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ

แล้วนำกำลังคอนกรีตที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายในตำแหน่งใกล้เคียงกัน เขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ (Strength Relationship) เพื่อใช้ปรับแก้ผลการทดสอบแบบไม่ทำลายในตำแหน่งอื่น

### 3.3 การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก

เลือกทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นในอาคาร A ซึ่งอยู่ที่ชั้นสองและอยู่ตรงกับตำแหน่งที่ถูกวางเพลิงเป็นตำแหน่งแรก พื้นผิวนี้เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ มีขนาด 6.00 x 8.00 ม. และหนา 10 ซม. กำหนดให้รับน้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ม.<sup>2</sup> ทำการทดสอบโดยใช้น้ำหนักบรรทุกและทดสอบตามมาตรฐาน ACI 318-89 รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งพื้นของอาคาร A ที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 4 แผนผังแสดงตำแหน่งพื้นที่ชั้นสองของอาคาร A ที่ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก

## 4. ผลสำรวจ ตรวจสอบ และทดสอบ

4.1 จากการสำรวจและทำ Mapping จำแนกความเสียหายของโครงสร้าง ได้ผลสรุปดังนี้

- พบว่าอาคาร C ซึ่งเป็นอาคารที่พักของคณะทูตได้รับความเสียหายมากที่สุด โครงหลังคาซึ่งเป็นเหล็กปิดตัวเสียรูปมาก พื้นชั้นสองเกือบทุกผืนเกิด Spalling และแอ่นตัวอย่างเห็นได้ชัด จึงเห็นสมควรรื้อถอนแล้วสร้างใหม่

- อาคาร B โครงหลังคาเหล็กหลุดร่วงลงมาทำให้ต้องทำโครงหลังคาใหม่ทั้งหมด ในส่วนของโครงสร้างคอนกรีตได้แก่ เสา พื้น และคาน มีเขม่าควันจับเต็มทั่วบริเวณ แต่ไม่เกิดการแอ่นตัวหรือบิดตัว จึงกำหนดให้ทำการตรวจสอบโครงสร้างเฉพาะในส่วนที่เป็นคอนกรีต ตามรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อ 3.2

- อาคาร A ซึ่งเป็นอาคารแรกที่ถูกวางเพลิง กลับมีความเสียหายน้อยที่สุด ตำแหน่งที่เพลิงไหม้มากที่สุดในอาคาร

คือบริเวณด้านขวา (มองจากถนนใหญ่) และอยู่บริเวณชั้นล่างเท่านั้น จึงทำการตรวจสอบโครงสร้างเช่นเดียวกับอาคาร B

4.2 ผลทดสอบกำลังคอนกรีตจาก Coring Test ภายหลังจากการปรับแก้ค่าตามมาตรฐาน ASTM C42 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะจากพื้นอาคารทั้งสามหลัง และกำลังคอนกรีตที่ทดสอบได้

| Specimen No. | Cross section Area (cm <sup>2</sup> ) | Total Load (kN) | Ultimate Strength (kg/cm <sup>2</sup> ) | RD Ratio | Ultimate Strength (kN/cm <sup>2</sup> ) | Average Ultimate Strength (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|---|----------|---|---|
| A-11         | 75.89                                 | 20.01           | 263.67                                  | 1.69     | 232.01                                  | 232.05  |
| A-12         | 77.80                                 | 24.37           | 314.09                                  | 0.87     | 273.26                                  |   |
| B-1          | 76.88                                 | 26.16           | 339.67                                  | 1.00     | 302.81                                  | 303.37  |
| B-2          | 76.87                                 | 21.63           | 282.16                                  | 1.23     | 299.69                                  |   |
| B-3          | 77.44                                 | 25.79           | 333.01                                  | 0.98     | 289.72                                  | 291.29  |
| C-4          | 77.29                                 | 31.44           | 406.76                                  | 0.78     | 363.87                                  |   |
| C-6          | 77.44                                 | 27.64           | 366.84                                  | 1.11     | 323.36                                  |   |
| C-6          | 77.29                                 | 23.38           | 303.56                                  | 1.15     | 272.30                                  |   |
| C-7          | 78.07                                 | 21.06           | 248.54                                  | 0.95     | 301.48                                  |   |
| C-8          | 77.91                                 | 21.10           | 270.80                                  | 1.00     | 256.62                                  |   |
| C-9          | 77.78                                 | 23.85           | 306.77                                  | 0.86     | 266.59                                  |   |

ตารางที่ 2 ด้านซ้ายเป็นค่ากำลังคอนกรีตทั้ง 50 ตัวอย่าง และด้านขวาเป็นการหาค่า Tenth Percentile Strength

| Concrete Strength (kg/cm <sup>2</sup> ) | จำนวนตัวเก็บ | Descriptive statistic       |                              |
|---|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| 206                                     | 1            | Mean                        | 299.54                       |
| 224                                     | 3            | Standard Error              | 7.27545523                   |
| 228                                     | 1            | Median                      | 290                          |
| 238                                     | 1            | Mode                        | 312                          |
| 253                                     | 4            | Standard Deviation          | 51.44523936                  |
| 266                                     | 8            | Sample Variance             | 2646.612653                  |
| 280                                     | 1            | Kurtosis                    | 0.625717354                  |
| 283                                     | 6            | Skewness                    | 0.719650002                  |
| 297                                     | 3            | Range                       | 238                          |
| 312                                     | 8            | Minimum                     | 209                          |
| 327                                     | 2            | Maximum                     | 445                          |
| 328                                     | 1            | Sum                         | 14957                        |
| 341                                     | 2            | Count                       | 50                           |
| 358                                     | 3            | Largest(1)                  | 445                          |
| 371                                     | 1            | Smallest(1)                 | 209                          |
| 386                                     | 2            | Confidence Level(90.0%)     | 12.16767343                  |
| 430                                     | 1            |                             |                              |
| 445                                     | 1            |                             |                              |
| จำนวนตัวเก็บรวม                         | 50           | Mean Y = 299.54             | SE                           |
|   |              | $\hat{\sigma}_y = 51.4452$  | SE                           |
|   |              | K = 1.56                    |                              |
|   |              | Tenth percentile strength = | $Y - K \cdot \hat{\sigma}_y$ |
|   |              |                             | 219.895 > 0.95 (z)           |

4.3 นำผล Rebound Number Test ที่ตรงกับตำแหน่งเจาะแก่นคอนกรีต (Coring Test) มาหาความสัมพันธ์เป็น Strength Relationship

ค่า Rebound Number Test ที่ได้จากการตรวจสอบทั้งหมด 50 จุด นำมาหาค่ากำลังคอนกรีตจาก Strength Relationship แล้วคำนวณหา Tenth Percentile

Strength ได้เท่ากับ 218.89 กก./ซม.<sup>2</sup> ดังแสดงในตารางที่ 2

#### 4.4 ผลตรวจสอบอื่น

4.4.1 ผลการทดสอบ CAPO Test ได้ค่ากำลังคอนกรีตเท่ากับ 219.50 กก./ซม.<sup>2</sup>

4.4.2 ผลตรวจสอบด้วย PUNDIT Test ได้ผลว่าคุณภาพของคอนกรีตจัดอยู่ในเกณฑ์ดี

4.4.3 คาร์บอนเนชั่นในคอนกรีต (Carbonation Depth Test) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 2 ซม. และปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตเฉลี่ย 0.17%

4.5 ผลทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของพื้น เนื่องจากขณะทดสอบน้ำหนักบรรทุกสูงสุด พื้นเกิดการแตกร้าวที่บริเวณขอบคาน จึงต้องยุติการทดสอบและปลดน้ำหนักบรรทุกออกทันที ค่าการแอ่นตัวที่วัดได้มากที่สุดคือ 2.25 มม. เมื่อปลดน้ำหนักบรรทุกออกแล้ววัดค่าการแอ่นตัวคงที่ได้เท่ากับ 0.40 มม. แผ่นพื้นมีการคืบตัว 1.85 มม. คิดเป็น 82% ของการแอ่นตัว

### 5. บทวิเคราะห์

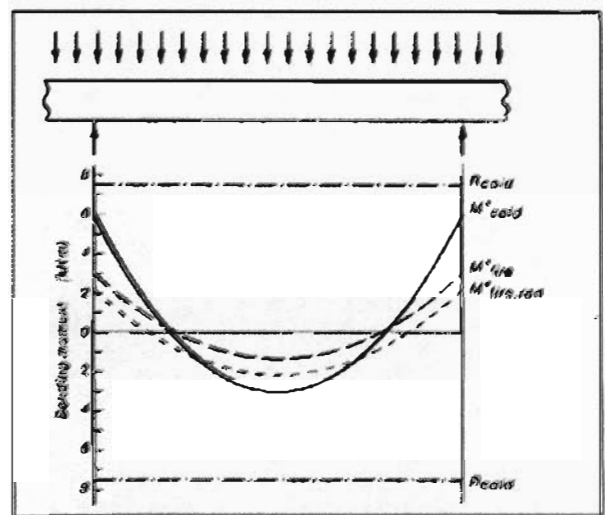
• เป็นที่น่าสังเกตว่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากแกนคอนกรีตตรงตำแหน่งที่ไม่โดนเพลิงไหม้ของอาคาร A (252.65 กก./ซม.<sup>2</sup>) มีค่าใกล้เคียงกับกำลังคอนกรีตที่กำหนดในแบบแปลนก่อสร้างเดิม (240 กก./ซม.<sup>2</sup>) แต่กำลังคอนกรีตของอาคาร B และอาคาร C กลับมีค่าสูงกว่า โดยเฉพาะอาคาร C ซึ่งโดนเพลิงไหม้มากที่สุด กำลังคอนกรีตที่ทดสอบได้มีค่ามากที่สุด ผลที่ได้อาจขัดกับคำอธิบายตามหลักวิชาการที่กล่าวว่ากำลังและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่อถูกเพลิงไหม้ แต่จากการตรวจสอบสภาพอาคารที่ถูกเพลิงไหม้หลายแห่งพบว่ากำลังคอนกรีตที่ได้จากการทำ Coring Test ซึ่งน่าจะให้ผลเป็นที่เชื่อถือมากที่สุดกลับได้ค่าสูงกว่าเดิม ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะความร้อนจากเพลิงไหม้ทำให้ความชื้นในคอนกรีตระเหยออก คอนกรีตจึงเปลี่ยนสภาพเป็นแข็งขึ้น แต่ก็อาจทำให้มีสภาพเปราะมากขึ้นด้วย ดังนั้นหากจะต้องใช้งานในส่วนดังกล่าวควรคำนึงถึง Ductility ของคอนกรีตด้วย

• Tenth Percentile Strength จาก Rebound Number Test เท่ากับ 218.89 กก./ซม.<sup>2</sup>  $> 0.85f_c'$  (ค่า  $f_c'$  คือค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ระบุในแบบเท่ากับ 240 กก./ซม.<sup>2</sup>) แสดงว่าคอนกรีตยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้

• ผลการตรวจสอบคาร์บอนเนชั่นและปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตแสดงว่าคอนกรีตยังคงมีสภาพเป็นต่าง เป็น

Passive Environment อย่างดีที่ทำให้ Oxide ของเหล็กยังคงเสถียรภาพอยู่ได้ไม่เกิดสนิม

• เนื่องจากพื้นของอาคาร A ที่ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก เกิดการแตกร้าวบริเวณตำแหน่งโมเมนต์ลบ จึงต้องยุติการทดสอบเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายมากขึ้น ลักษณะที่พื้นแตกร้าวเช่นนี้อาจทำให้เข้าใจว่าเหล็กเสริมที่รับโมเมนต์ลบรับแรงดึงไม่ไหวจึงเกิดการยึดตัว และนั่นอาจแสดงว่าพื้นรับน้ำหนักไม่ได้ แต่ความเป็นจริงแล้วด้วยน้ำหนักบรรทุกที่ทำการทดสอบไม่น่าจะทำให้เกิด Tensile Stress เกินกว่ากำลังของเหล็กเสริมจะรับได้ รอยแตกร้าวอาจมีอยู่ก่อนแต่มีขนาดเล็กมากจึงยากที่จะพบเห็น เมื่อทดสอบน้ำหนักบรรทุกพื้นมีการแอ่นตัวทำให้อรอยแตกร้าวขยายใหญ่ขึ้นจนเห็นได้ชัด สาเหตุหลักของการแตกร้าวน่าจะเกิดจากเหล็กเสริมได้รับความร้อนทำให้สูญเสียกำลังและเกิดการยึดตัว ประกอบกับต้องรับแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ลบจึงยิ่งเป็นตัวเร่งทำให้เหล็กยึดตัวมากและเกิดการแตกร้าวในที่สุด



รูปที่ 5 โมเมนต์ในโครงสร้างรับแรงดัดที่มีความต่อเนื่องหลายช่วง เปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงดัดของหน้าตัด

โดยทั่วไปพบว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่โดนเพลิงไหม้ จะเกิดการแตกร้าวที่ตำแหน่งโมเมนต์ลบ ข้อสงสัยว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น อาจอธิบายได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 5 โครงสร้างรับแรงดัดที่มีความต่อเนื่องจะมี Moment Curve ดังเส้นทึบที่แสดงในรูป ( $M^*_{col}$ ) สำหรับเส้น  $R_{col}$  คือกำลังต้านทานรับแรงดัดของ Section ในภาวะปกติ เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างโมเมนต์ลบกับ  $R_{col}$  น้อยกว่าระยะห่างระหว่างโมเมนต์บวกกับ  $R_{col}$  เมื่อถูกเพลิงไหม้กำลังต้านทาน



รับแรงดัดจะลดลงและทำให้บริเวณที่เป็นโมเมนต์ลบ ถึงจุด Yield ก่อน ด้วยเหตุนี้รอยแตกกว้างจึงเกิดที่ขอบคาน ด้านบนมากกว่าที่จะเกิดใต้ท้องพื้นซึ่งเป็นโมเมนต์บวก

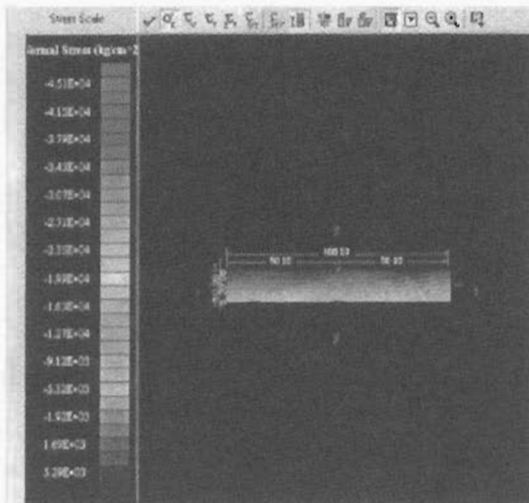
## 6. การแก้ไข

เนื่องจากพื้นมีรอยแตกกว้างในตำแหน่งที่แสดงให้เห็นว่า กำลังรับน้ำหนักของพื้นมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานจึงได้ทำการแก้ไข ดังนี้

- ค้ำยันพื้น และซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy
- เสริมกำลังพื้นด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหน้าตัดพื้น ก่อนและหลังเสริมกำลัง

| Properties              | Before retrofitting | After Retrofitting |
|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Area (cm <sup>2</sup> ) | 1,000               | 1,009.7            |
| Ixx (cm <sup>4</sup> )  | 8,333               | 8,587.9            |
| Max.Moment (t-m)        | 2.661               | 7.06               |



รูปที่ 6 แสดงการวิเคราะห์หน้าตัดของพื้น

แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้เสริมกำลังมีขนาดกว้าง 5 ซม.หนา 1.2 มม. เนื่องจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้มาก ตำแหน่งที่ติดตั้งจึงเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นดึงและเสริมกำลังทั้งสองทิศทางของแผ่นพื้น กำลังต้านทานแรงดัดของหน้าตัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3

## 7. สรุป

7.1 ผลจากการสำรวจเบื้องต้นเพื่อจำแนกระดับความเสียหายของโครงสร้าง ทำให้ขอบเขตของการตรวจสอบมีความชัดเจนขึ้น สามารถระบุตำแหน่งที่จะตรวจสอบและข้อมูลที่ต้องการได้แน่นอน ทำให้งานปรับปรุงแก้ไขอาคารในบางส่วนสามารถทำควบคู่ไปพร้อมกับการตรวจสอบได้

7.2 การตรวจสอบในที่ (In-Place Test) ควรทำ Strength Relationship เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น และควรใช้ Tenth Percentile Strength ของวัสดุในการคำนวณเสริมกำลังของโครงสร้าง มากกว่าที่จะใช้ค่าเฉลี่ยปกติเพราะค่าเฉลี่ย ไม่ได้เป็นตัวแทนของตัวอย่างที่ทดสอบได้ทั้งหมด

7.3 พื้นต่อเนื้อที่ถูกเพลิงไหม้จะเกิดรอยร้าวบริเวณใกล้ขอบคาน เพราะเมื่อ Flexural Capacity ของพื้นลดต่ำลง เหล็กเสริมบริเวณโมเมนต์ลบของพื้นจะถึงจุด Yield ก่อน เหล็กเสริมบริเวณโมเมนต์บวก

7.4 งานเสริมกำลังโครงสร้างที่ใช้คาร์บอนไฟเบอร์มีความสะดวก เพราะมีน้ำหนักเบาและติดตั้งง่าย อีกทั้งมีกำลังรับแรงดึงสูง จึงช่วยเสริมกำลังโครงสร้างในส่วนรับแรงดึงได้ดี แต่มีข้อเสียเรื่องการหลุดร่อนเมื่อสัมผัสกับความชื้นสูง เช่น โดนไฟเผา ดังนั้น การเสริมกำลังควรคำนึงถึงกรณีนี้ด้วย

## 8. เอกสารอ้างอิง

- (1) ชัชชาติ สิทธิพันธุ์, "พฤติกรรม การประเมิน และการซ่อมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกเพลิงไหม้", โยธาสาร ปีที่ 16 พฤษภาคม-มิถุนายน 2547 หน้า 44-53.
- (2) ชนศ วิระศิริ, "รายงานการตรวจสอบอาคาร สถานทูตไทย กรุงเทพมหานคร ประเทศกัมพูชา", บริษัท พีเนสส์ ซอยล์ เพลสติ้ง จำกัด.
- (3) A.H.Buchanan, "Structural design for fire safety", reprinted April 2002, John Wiley & sons.
- (4) Ted key "Assesment and renovation of concrete structure", 1st ed., England, Longman Scientific & Technical, 1992.

