การประเมินกำลังของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเก่าด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย

Strength Evaluate of Old Reinforced Concrete Building By Non-Destructive Method

มีศักดิ์ธนา พัวพิทยาธร[1], ณัฏฐพงษ์ ลาดบัตร[2], สหลาภ หอมวุฒิวงศ์[2*]

Meesakthana Powpitthayadhorn[1], Natthapong Ladbud[2], Sahalaph Homwuttiworng[2*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้นซึ่งเป็นอาคารเรียนที่มีอายุการใช้งานมามากกว่า 40 ปี เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นหนึ่งบางต้นมีความเสียหาย และปรากฏร่องรอยการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในส่วนอื่นๆ อย่างชัดเจน ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างเสาแบบไม่ทำลาย โดยการใช้ค้อนสะท้อน (Rebound hammer) เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และนำค่าที่ได้มาคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา ทำการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกของอาคารจากสภาพการใช้งานจริงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง จากผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในโครงสร้างอาคารเก่ามีค่าลดลง โดยมีค่าประมาณร้อยละ 90 ของกำลังคอนกรีตเดิม และยังพบอีกว่าอาคารที่ทำการศึกษาต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากการใช้งานได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเหล็ก กำลังรับแรงอัด การทดสอบแบบไม่ทำลาย ค้อนสะท้อน

Abstract

This research aim to evaluate the service load of a 4-story reinforced concrete building. It is education building and has been used for more than 40 years. Some of the first floor reinforced concrete columns are damaged and the deteriorations are clearly appeared on the other members. In this observation, the rebound hammer method was used to evaluate the compressive strength of concrete. Then the service load of the concrete column was determined. The real load of building was analyzed and compare to the service load of the structure. It was found that the compressive strength of concrete in old building decreased and was about 90% of the original compressive strength. Moreover, this building must be renovated to improve the service load capacity forsafety using.

Keywords: Reinforced concrete, compressive strength, Non-destructive method, Rebound hammer

---

[1] วิศวกรโยธา, [2]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามกันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

[1] Civil Engineer, [2] Lecturer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham 44150,Thailand.

[*]Corresponding author: SahalaphHomwuttiwong, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150,Thailand. E-mail: sahalaph.h@msu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันมีอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอายุการใช้งานมานานจำนวนไม่น้อย และในหลายอาคารที่มีการใช้งานอยู่ ซึ่งผู้ใช้งานอาคารอาจมีข้อวิตกกังวลในความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่ออาคารที่มีร่องรอยของการเสื่อมสภาพของโครงสร้างหลักอาคาร ได้แก่ คาน และเสา โดยการเสื่อมสภาพของโครงสร้างที่เกิดขึ้น เช่น การแตกร้าว การแอ่นตัว การเป็นสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีต เป็นต้น ทำให้เจ้าของอาคารหรือผู้ใช้งานเกิดความไม่มั่นใจในความปลอดภัยของการใช้งานอาคาร อันอาจนำไปสู่การตัดสินใจทุบหรือทำลายอาคารเพื่อทำการก่อสร้างอาคารหลังใหม่ ซึ่งถ้าหากอาคารดังกล่าวยังมีความสามารถในการรับน้ำหนักและใช้งานได้ ก็จะเป็นการตัดสินใจที่ผิดพลาดและนำไปสู่การสูญเสียงบประมาณ เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารใหม่

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเก่านั้น สามารถทำได้หลายวิธี หลายมาตรฐาน เช่น การทดสอบการรับน้ำหนัก (Strength evaluation of existing structures) [1] ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ได้กำลังรับน้ำหนักของอาคารที่มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้สูง การทดสอบโดยการเจาะตัวอย่าง (Coring sample) [2] เป็นการเจาะเอาตัวอย่างจริงจากโครงสร้าง เพื่อนำมาทดสอบหากำลังอัดหรือความแข็งแรงซึ่งการทดสอบทั้งสองวิธีนี้อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้

สำหรับการทดสอบอีกประเภท เป็นการทดสอบที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้าง เช่น ตรวจสอบค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต โดยการส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse Velocity Test) [3] เป็นการส่งผ่านคลื่นความถี่เข้าไปในเนื้อคอนกรีต แล้วแปลผลออกมาเป็นความแข็งแรงของคอนกรีต แต่เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบราคาสูง การทดสอบแบบไม่ทำลายอีกวิธีที่นิยมใช้กันคือ การทดสอบด้วยค้อนสะท้อน (Rebound hammer test) [4] เนื่องจากมีความสะดวก ง่าย ไม่ซับซ้อนค่าใช้จ่ายไม่สูง และสามารถทราบค่ากำลังความแข็งแรงของโครงสร้างได้ทันที ความแม่นยำหรือความเชื่อมั่นของผลการทดสอบก็ลดลงกว่าวิธีอื่น

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตด้วยวิธีค้อนสะท้อน เป็นมาตรฐานการทดสอบวัสดุของประเทศสหรัฐอเมริกา ASTM C805 (Rebound Number of Hardened Concrete) โดยอาศัยหลักการกระแทกและกระดอนกลับของมวลสปริง (Spring Mass) โดยที่ค่าดัชนีสะท้อนกลับ (Rebound Number) ที่เกิดจากการกดแกนทดสอบ (Plunger) และกระบอกทดสอบ(Housing) ที่กำหนดให้มีตำแหน่งตั้งฉากกับผิวคอนกรีต แรงกระแทกจากสปริงภายในจะทำให้แกนทดสอบเกิดการสะท้อนกลับ ดัชนีการสะท้อนกลับมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 100 ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับพลังงานของผิวคอนกรีต ซึ่งคอนกรีตที่มีความแข็งมากกว่าจะมีค่าดัชนีการสะท้อนกลับที่สูงกว่า ทั้งนี้คอนกรีตที่จะทำการทดสอบจะต้องมีผิวเรียบ และมีความหนาไม่น้อยกว่าที่กำหนดตามชนิดของเครื่องมือ โดยทั่วไปกำหนดที่ประมาณ 10 เซนติเมตร

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารเก่า โดยใช้การทดสอบด้วยค้อนสะท้อน เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลตามมาตรฐานที่กำหนด ความแปรปรวนของข้อมูล และใช้เป็นค่าความแข็งแรงในการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร ซึ่งจะข้อมูลและแนวทางให้นักวิจัยได้ทราบในปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการทดสอบด้วยวิธีค้อนสะท้อน และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ออกแบบเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกปรับปรุงซ่อมแซมอาคารหรือทำการก่อสร้างอาคารใหม่ทดแทน

สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเก่าที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นอาคารเรียนของคณะวัฒนธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตั้งอยู่ที่ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความสูง 4 ชั้น มีอายุการใช้งานมานานกว่า 40 ปี สภาพภายนอกอาคารดังแสดงใน Figure 1 พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารหลังนี้ประกอบด้วย สำนักงานเลขานุการคณะวัฒนธรรม ห้องทำงานของผู้บริหาร ห้องพัก

อาจารย์ ห้องเรียนระดับปริญญาตรี โท และเอก และพื้นที่ห้องสำหรับอ่านหนังสือ เนื่องจากอาคารดังกล่าวผ่านการใช้งานมาค่อนข้างนาน และมีร่องรอยการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเสาชั้นล่าง โดยมีการแตกร้าวในเสาชั้น 1 หลายต้น ดังแสดงใน Figure 2

Figure1 Education building of Cultural Science Faculty

Figure2 The deteriorationsof the first floor column

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบกำลังของคอนกรีตแบบไม่ทำลายหรือค้อนสะท้อน (Schmidt Hammer) ดังแสดงใน Figure3 เป็นชนิด N คุณสมบัติของค้อนยิงคอนกรีต (Rebound Hammer) แบบ N ตามมาตรฐาน ASTM C805/805M-13a, (Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete) ซึ่งใช้ทดสอบกับคอนกรีตธรรมดา (แบบอ่านจำนวนครั้งการสะท้อนโดยตรง)

Figure3 Rebound or Schmidt Hammer

วิธีการทดสอบ

1. การเตรียมพื้นผิวตัวอย่างโครงสร้างอาคารเก่า โดยการใช้เครื่องตัดคอนกรีตตัดปูนฉาบออก และสกัดผิวปูนฉาบออกให้เห็นเนื้อคอนกรีตกว้างโดยประมาณประมาณ 20-30 เซนติเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบ แล้วตีเส้นตาราง 12 ช่องห่างกันไม่น้อยกว่า 2.50 เซนติเมตร(1นิ้ว) เพื่อจะไม่ให้เกิดผลจากจุดทดสอบเดียวกัน ซึ่งอาจให้ค่าที่มากเกินความเป็นจริง

2. จับค้อนสะท้อนให้แน่นแล้วทำการกดค้อนสะท้อนลงในบริเวณตารางที่เตรียมไว้ในลักษณะที่ตั้งฉากกับพื้นผิวคอนกรีตแรงกดที่ต้องสม่ำเสมอแล้วจะเกิดการลั่นไกโดยอัตโนมัติของค้อนสะท้อนดังแสดงใน Figure 4 โดยในขณะที่มีการสะท้อนกลับจะดันดรรชนีให้เคลื่อนที่ไปตามแถบวัดค่าที่ติดอยู่บนค้อนสะท้อนเรียกว่าค่าการสะท้อน (Rebound number) ทำการอ่านและบันทึกค่าให้ครบจำนวน 12 ค่าการสะท้อน

Figure4 Rebound hammer testing

3. คำนวณหาค่าเฉลี่ยตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM C805ถ้าหากมีค่าการสะท้อนแตกต่างจากค่าเฉลี่ยเกิน 6 หน่วยให้ตัดค่าสะท้อนดังกล่าวออกแล้วหาค่าเฉลี่ยใหม่แต่ถ้าค่าการสะท้อนมีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 6 หน่วยมากกว่า 2 ค่าจะไม่นำมาคิดค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยการสะท้อนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} \quad \text{.......................} (1)$$

เมื่อ $\bar{X}$= ค่าเฉลี่ย Rebound number

Xi=ค่า Rebound number ครั้งที่ i

n= จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ทำการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในบริเวณชั้นที่ 1 ของอาคารเรียนคณะวัฒนธรรมศาสตร์ ด้วยเครื่องทดสอบชนิดค้อนสะท้อน ชนิด N และทำการคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดได้ตาม Table1 โดยพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 196.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดและค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 238.62 และ 151.14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แตกต่างจากค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.4 และ 22.9 ตามลำดับ

ผลการศึกษา

ร้อยละของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเก่ากับคอนกรีตขณะที่ทำการก่อสร้าง

งานวิจัยต้องการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่กำหนดในขณะที่ทำการก่อสร้าง แต่เนื่องจากเป็นอาคารเก่าทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลและแบบก่อสร้างได้ ดังนั้นจึงสมมุติค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างอาคารดังกล่าวเท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามแบบก่อสร้าง [5] ซึ่งเป็นกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการผสมคอนกรีตด้วยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 : ซึ่งเทียบเท่ากับคอนกรีต ชนิด ค.1 ของมาตรฐานของกรมโยธาธิการ [6] ดังนั้นกำลังอัดของคอนกรีตอาคารเก่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 93.5 ของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตขณะที่ทำการก่อสร้าง จากผลการทดสอบนี้แสดงว่าคอนกรีตเก่าหรือคอนกรีตที่ผ่านการใช้งานมานานแล้ว และมีสภาพความเสียหายจากสภาวะแวดล้อม จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนัก ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7-9]

Table 1 Compressive strength of concrete (ksc)

จุดที่	1	2	3	4	5
1	205.06	205.06	223.15	157.94	163.45
2	238.62	169.01	230.84	169.01	211.03
3	151.14	156.57	235.50	196.21	171.81
4	181.73	233.94	212.54	169.01	194.74
5	230.84	193.28	217.06	212.54	226.22
6	169.01	183.16	232.39	184.60	176.04
7	157.94	206.55	194.74	188.93	205.06
8	164.83	160.69	209.54	237.05	224.68
9	181.73	186.04	174.63	163.45	193.28
10	183.16	223.15	205.06	155.21	230.84
11	206.55	166.22	235.50	191.83	235.50
12	196.21	170.41	181.73	233.94	212.54

การตรวจสภาพของตอม่อคอนกรีต

เนื่องจากเสาของอาคารในชั้น 1 มีร่องรอยของความเสียหายทั้งหมดจำนวน 13 ต้น จากจำนวนเสา 60 ต้น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 21.7 ดังนั้นจึงมีการพิจารณาสุ่มสำรวจสภาพของโครงสร้างเสาส่วนที่อยู่ภายใต้พื้นคอนกรีตหรือส่วนที่เป็นตอม่อ ทำการขุดเจาะพื้นแผ่นคอนกรีตบริเวณโคนเสาคอนกรีตออก แล้วทำการตรวจสอบสภาพของตอม่อจำนวน 2 ตำแหน่งโดยเลือกตรวจสอบในตำแหน่งเดียวกันกับเสาคอนกรีตที่ปรากฏความเสียหาย ตอม่อมีความลึกประมาณ 1.50 เมตร และหน้าตัดของตอม่อมีขนาดเท่ากันกับของเสาในชั้นที่ 1ผลของการตรวจสอบพบว่าเนื้อคอนกรีตของตอม่อยังมีสภาพดี มีความแข็งแรง ไม่มีร่องรอยของความเสียหายทั้งสองตำแหน่ง ดังแสดงใน Figure5

ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา

จากผลกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของเสาคอนกรีตที่ได้ ต้องทำการปรับค่า เนื่องจากข้อกำหนดของค้อนสะท้อนที่ใช้ทดสอบดังกล่าวได้ระบุค่าแปรผันของค่ากำลังอัดที่ได้เท่ากับร้อยละ ± 20 ดังนั้น แสดงว่ากำลังรับแรงอัดของเสาขั้นต่ำมีค่าเท่ากับ 0.80x196.31 = 157.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นนำค่ากำลังอัดดังกล่าวมาทำการคำนวณตามหลักการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามสมการที่ 2

Figure 5 Observation of column piers

$$P = 0.85Ag(0.25f_c^{'} + f_s\rho_g) \quad \text{........ (2)}$$

โดยพิจารณาว่ามีปริมาณเหล็กเสริมคอนกรีตเดิมเท่ากับร้อยละ 1 และเสาคอนกรีตขนาดหน้าตัดเท่ากับ 30x40 เซนติเมตร ปรากฏว่าเสาสามารถรับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยได้ประมาณ 47 ตัน ซึ่งจากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของอาคารทั้ง 4 ชั้นที่ลงสู่เสาชั้นที่ 1 มีค่าประมาณ 67 ตัน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เสารับได้มีค่าน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากการใช้งานจริง ดังนั้นต้องมีการเสริมความแข็งแรงของเสาเพื่อให้สามารถใช้งานตามความต้องการได้

การออกแบบเสริมกำลังของเสาเดิม

หลักการออกแบบเพื่อเสริมกำลังรับน้ำหนักของเสาในกรณีนี้ เลือกใช้วิธีเสริมวัสดุใหม่ทั้งสองชนิด ซึ่งได้แก่คอนกรีตและเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เพื่อไปรับน้ำหนักบรรทุกส่วนที่เกินจากความสามารถของเสาเดิมที่รับได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 20 ตัน โดยจะต้องพยายามให้วัสดุเก่าและวัสดุใหม่ร่วมรับน้ำหนักด้วยกันเป็นอย่างดี ซึ่งรูปแบบการซ่อมแซมเสาเพื่อเสริมกำลังรับน้ำหนักบรรทุก ดังแสดงใน Figure 6 และ 7

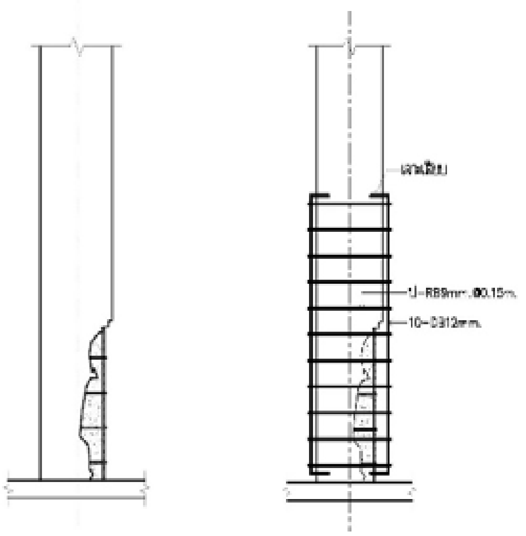

Figure 6 Renovation the reinforced concrete column

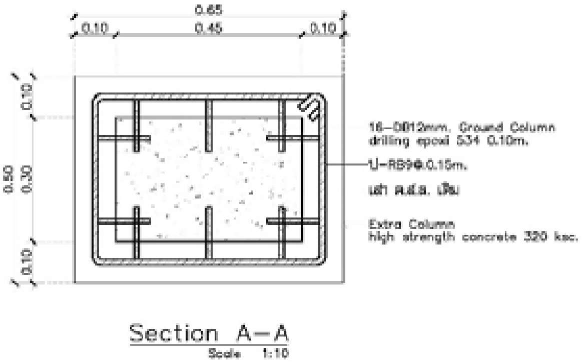

Figure 7 Section ofreinforced concrete column

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเพื่อประเมินความแข็งแรงของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเก่าด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. กำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนสะท้อนมีความแปรผันที่ค่อนข้างมาก โดยค่าที่ได้มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 20

2. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตของอาคารคณะวัฒนธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มี

ค่าประมาณร้อยละ 90 เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามแบบก่อสร้าง

3. การหาความแข็งแรงของคอนกรีต ด้วยการทดสอบวิธีไม่ทำลายแบบค้อนสะท้อน สามารถปฏิบัติงานได้สะดวก รวดเร็ว สามารถนำค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้ไปใช้คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของอาคารนปัจจุบัน

กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บุคลากรห้องวิจัยวิศวกรรมโครงสร้างและวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ขอขอบคุณคณะวัฒนธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนให้ทุนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. American concrete institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and commentary [Chapter 20], Strength Evaluation of Existing Structures, MI, pp. 317-322, 2008.

2. ASTM C42, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

3. ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.

4. ASTM C805/805M-13a, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, West Conshohocken, PA, 2013.

5. แบบก่อสร้างอาคารเรียน, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตมหาสารคาม, 2517.

6. มยผ.1101-52, มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก, กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพมหานคร, 2552.

7. Qazweeni, J.A., Daoud, O.K., Concrete Deterioration in a 20-Year-Old Structure in Kuwait,

CemConc Res, Vol. 21, No.6, pp. 1155-1164, 1991.

8. Mohammad, I., Bala, M., Mohamed, E.I., Compressive Strength Loss and Reinforcement Degradations of Reinforced Concrete Structure due to Long-Term Exposure, Constr Build Mater J, Vol.24, pp.898–902, 2010.

9. Katalin, S., Adorján, B., István, Z., Extensive Statistical Analysis of the Variability of Concrete Rebound Hardness Based on a Large Database of 60 Years Experience, Constr Build Mater J, Vol.53, pp.333–347, 2014.