การตรวจสอบการทรุดตัวของอาคารด้วยกล้องระดับ

เศรษฐพงศ์ ศรีวิริยานนท์[1] ธงชัย โพธิ์ทอง[2] และ ธีระ ลาภิศชยางกูล[3*]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 1014

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อติดตามและตรวจสอบค่าการทรุดตัวของอาคารฐานรากเสาเข็มของอาคารวิศววัฒนะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยใช้กล้องระดับรุ่น WILD NAK2 ประกอบกับ Parallel Plate Micrometer โดยการถ่ายระดับอ้างอิงจากหมุดหลักฐานทางดิ่งของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งอยู่บริเวณด้านในประตูทางเข้าของโรงเรียนนาหลวง กรุงเทพมหานคร (BM 533) มายังหมุด (KMUTT 09) บริเวณหน้าอาคารเรียนรวม 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และทำการติดตั้งชุดการตรวจสอบการทรุดตัวจำนวน 43 จุด สำหรับหาค่าการทรุดตัวของอาคารวิศววัฒนะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บริเวณส่วนอาคารสูง 8 -11 ชั้นและอาคารต่ำ 4 ชั้น พบว่าบริเวณส่วนอาคารสูง มีค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ 1.13 มม. และค่าการบิดเชิงมุมสูงสุดของอาคารนี้เกิดขึ้นระหว่างเสาหมายเลข 14 และ 22 มีค่า 1/2,735 และบริเวณส่วนอาคารต่ำ มีค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ 0.77 มม. และค่าการบิดเชิงมุมสูงสุดของอาคารเกิดขึ้นระหว่างเสาหมายเลขที่ 42 และ 43 มีค่า 1/27,211 จากผลดังกล่าวมีค่ามุมของการบิดเชิงมุมที่ยอมให้น้อยกว่า 1/750 เมื่อพิจารณาการทรุดตัวและการบิดเชิงมุมมีค่าน้อย จึงทำให้ไม่มีผลต่อโครงสร้างของอาคารวิศววัฒนะ ที่จะเป็นอันตรายต่อโครงสร้างของอาคารและยังสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อตรวจสอบการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การทรุดตัวของอาคารฐานรากเสาเข็ม / การระดับ

* *Corresponding Author : theera.lil@mail.kmutt.ac.th*

[1] *อาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี*

[2] *อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

[3] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

Settlement of Building by Level

Setthapong Sriviriyanont[1], Thongchai Phothong[2] and Theera Laphitchayangkul[3*]
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Abstract

The aim of this research was to monitor and investigate the foundation settlement of Engineering Building (Witsawa-Wattana) at King Mongkut's University of Technology Thonburi. The settlement data was recorded by using WILD NAK2 levelling attached with parallel plate micrometer. The benchmark of the levelling loop was the BM 533, in the Na Luang School, provided by the Royal Thai Survey Department. Incorporated with, the KMUTT 09 in front of Classrooms Building 4 at King Mongkut's University of Technology Thonburi was the temporary benchmark for each monitoring. At the monitoring points, 43 settlement plates were installed in 2 zones, high- and low-rise buildings. The maximum settlement of the high-rise building was 1.13 mm, while the maximum angular distortion (settlement/length) of the building between the column No.14 and No.22 was 1/2735. The maximum settlement of the low-rise building was 0.77 mm and the maximum angular distortion of the building between the column No.42 and No. 43 was 1/27211. The observed maximum angular distortions of the building were less than the allowable 1/750, which implies that the settlement of the building was not damaging the building.

Keywords : Settlement for Pile Foundation / Level

* *Corresponding Author : theera.lil@mail.kmutt.ac.th*

[1] *Lecture, Department of Civil Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology.*

[2] *Lecture, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*

[3] *Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

การหาความสูงหรือระดับของจุดต่างๆ บนผิวโลกเกี่ยวข้องกับการวัดระยะทางดิ่ง ซึ่งจะต้องอาศัยกล้องระดับ ไม้วัดระดับ และเครื่องมือประกอบอื่นๆ ซึ่งการทำระดับมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่องานการทำแผนที่ เพื่อนำไปออกแบบทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง รวมทั้งการตรวจสอบการทรุดตัวของอาคาร หรือพื้นดินในภูมิประเทศนั้น โดยภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้มีการจัดทำหมุดหลักฐานทางดิ่ง (Vertical Control Point) มาเป็นเวลานานสำหรับการเรียนการสอน และใช้อ้างอิง ในการกำหนดความสูงของพื้นดินหรืออาคารภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อป้องกันน้ำท่วมและวัดการทรุดตัวของอาคารต่างๆ ในบริเวณมหาวิทยาลัย แต่ละแห่งไม่ว่าใหม่หรือเก่า โดยเฉพาะอาคารใหม่ที่สร้างขึ้นยังไม่มีการตรวจสอบการทรุดตัว เช่น อาคารวิศวัฒนะฯ เป็นหนึ่งในอาคารที่เปิดทำการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมโยธาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งเปิดใช้งานมาเป็นเวลานานตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 รวมทั้งโครงสร้างของอาคารยังต้องรองรับน้ำหนักจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษา และยังไม่เคยมีการบันทึกข้อมูลการทรุดตัวของอาคารตั้งแต่เปิดใช้งานมา

ดังนั้นในการทำโครงงานวิจัยเรื่อง ตรวจสอบการทรุดตัวของอาคารด้วยกล้องระดับ เพื่อตรวจสอบและเก็บข้อมูลการทรุดตัวของอาคารวิศวัฒนะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับนำไปใช้อ้างอิงการวางแผนและจัดการในด้านการใช้อาคารในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจและวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวของอาคารวิศวัฒนะ

3. ขอบเขต

- ค่าระดับแต่ละหมุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อ้างอิงจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร บริเวณด้านในประตูทางเข้าของโรงเรียนนาหลวง กรุงเทพมหานคร

- การหาค่าระดับของอาคารวิศวัฒนะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จะใช้วิธีการทำระดับความละเอียดสูง ด้วยกล้องระดับ WILD NAK2 กับไม้วัดระดับอินวาร์ อ้างอิงความถูกต้องตาม ข้อกำหนดของงานระดับชั้น 1 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $4\sqrt{k}$,k = ระยะทางในการเดินระดับในหน่วยกิโลเมตร

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธรรมชาติของดินเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกวางย่อมเกิดการทรุดตัว ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ กับสิ่งก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าชั้นรองรับน้ำหนักบรรทุกเป็นดินเหนียวอ่อน จะมีปริมาณความชื้นในดินสูง การทรุดตัวจะเกิดขึ้นเป็นเวลายาวนานกว่า น้ำในช่องว่างของมวลดินจะไหลออกจนอยู่ในสภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ชั้นดินทรายหรือชั้นดินกรวดในสภาพที่รองรับน้ำหนักเท่าๆ กันการทรุดตัวจะเกิดขึ้นทันทีและหยุด เพราะน้ำสามารถไหลออกจากชั้นดินได้เร็ว จึงมักมีปัญหาน้อยกว่าการทรุดตัวของมวลดินที่เกิดขึ้นในแนวดิ่ง อันเป็นผลต่อเนื่องจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกบนผิวดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือการทรุดตัวทันที การทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำของมวลดิน [1-2]

4.1 การทรุดตัวทันที (Immediate Settlement) คือ การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำบนผิวดิน การทรุดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) ของมวลดินโดยที่ปริมาณน้ำในมวลดินไม่เปลี่ยนแปลงจึงมักจะไม่เกิดปัญหากับสิ่งก่อสร้างในกรณีที่น้ำหนักโครงสร้างมากๆ เพราะการทรุดตัวแบบนี้จะสิ้นสุดเมื่อการก่อสร้างเสร็จ

4.2 การทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำของมวลดิน (Consolidation Settlement) คือการทรุดตัวที่แบ่งเป็น การทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำของมวลดินระยะแรก (Primary Consolidation Settlement) เกิดจากการที่มีน้ำหนักบรรทุกถ่ายลงบนฐานรากทันที ทำให้เกิดการทรุดตัวทันทีแล้ว ยังทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Water Pressure) ในดินอิ่มตัว แรงดันน้ำส่วนเกินนี้สามารถทำได้หมดไปได้ โดยขึ้นอยู่กับเวลา การทรุดตัวลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่าความซึมน้ำได้ของดิน, ค่าความหนาของชั้นดินและความยืดหยุ่นของโครงสร้างเดิมและการทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำของมวลดินระยะที่สอง (Secondary Consolidation Settlement) ขึ้นอยู่กับการยุบตัวและคายน้ำของมวลดินต่อเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำในระยะแรก ถึงแม้ว่าแรงดันน้ำจะเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วก็ตาม

แต่ดินบางชนิดก็ยังไม่หยุดการทรุดตัว อัตราการเกิดการทรุดตัวลักษณะนี้ช้ากว่าอัตราการเกิดการทรุดตัวเนื่องจากการยุบตัวและคายน้ำของมวลดินระยะแรกมาก และมีปริมาณไม่มากนักจึงไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์การทรุดตัวแต่โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการทรุดตัวในลักษณะนี้จะหมายถึงการทรุดตัวแบบการยุบตัวและคายน้ำของมวลดินระยะแรก

ในปัจจุบันอาคารมีปัญหาการทรุดตัวกันมาก การทรุดตัวของอาคารเป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างแตกร้าว ยิ่งถ้าปล่อยให้เกิดการทรุดตัวต่อเนื่องเป็นเวลานาน โครงสร้างคอนกรีตอาจแตกระเบิดออกจากกัน และอาคารอาจพังทลายลงมาได้ ดังนั้นเมื่อสงสัยว่าอาคารอาจเกิดการทรุดตัวจึงควรทำการวิเคราะห์ลักษณะการทรุดตัว สาเหตุการทรุดตัว ลักษณะการแตกร้าวของโครงสร้าง และการสำรวจสภาพการแตกร้าวเบื้องต้น เพื่อที่จะได้แก้ไขได้ก่อนที่อาคารจะเสียหายจนแก้ไขได้ยาก หรือแก้ไขไม่ได้เลยจากงานวิจัยการศึกษาการทรุดตัวของอาคารฐานรากลึกด้วยกล้องสำรวจได้ทำการสำรวจการทรุดตัวของอาคารเรียนรวม 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เวลาทั้งสิ้น 161 วัน ซึ่งเป็นอาคารที่มีลักษณะฐานรากลึกวางบนชั้นทรายได้ผลค่าการทรุดตัวของอาคารเรียนรวม 3 มีค่าการทรุดตัวน้อยที่สุด คือ 2.34 มม. และค่าการทรุดตัวมากที่สุด คือ 3.99 มม.[3]

4.3 ลักษณะการทรุดตัวของอาคาร [3-4]

ลักษณะการทรุดตัวของอาคารอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ที่ส่งผลกระทบกับระบบฐานรากของอาคาร ซึ่งพอจะสรุปเป็น 2 แบบดังนี้

4.3.1 อาคารทรุดตัวในแนวดิ่ง อาคารเกิดการทรุดตัวแต่รูปทรงของอาคารโดยรวมยังคงอยู่ในแนวดิ่ง และยังแบ่งได้ 2 แบบ คือ

- ฐานรากในอาคารทั้งหมดทรุดตัว เป็นการทรุดตัวพร้อมๆ กัน ค่าการทรุดตัวใกล้เคียงกันแต่มีปริมาณการทรุดตัวมาก มักจะเกิดขึ้นกับการใช้เสาเข็มสั้นที่ปลายเสาเข็มนั้นอยู่ในชั้นดินอ่อนมาก ลักษณะการทรุดตัวเช่นนี้จะไม่ค่อยมีรอยร้าวเกิดขึ้น อาคารจะค่อยๆ จมลงดิน โดยทั่วไปจะพบว่ามีปัญหาการทรุดตัวระหว่างการก่อสร้าง และถ้ายังคงสร้างอาคารต่อไปจนถึงสภาวะหนึ่งที่น้ำหนักบรรทุกเกินกำลังแบกทานของเสาเข็มมากๆ จะทรุดจมแบบฉับพลันทั้งหลัง

- ฐานรากในอาคารทรุดตัวไม่เท่ากัน การทรุดตัวแบบนี้อาจเกิดจากสาเหตุหนึ่ง หรือหลายสาเหตุประกอบกัน เช่น ฐานรากหรือเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกันมาก เสาเข็มบางต้นมีความบกพร่อง ฐานรากบางฐานเกิดการเยื้องศูนย์ หรือปลายเสาเข็มอยู่บนดินต่างชนิดกัน เมื่อฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันจะทำให้โครงสร้างบิดตัวแตกร้าว อาคารที่มีปัญหาการทรุดตัวแบบนี้มักพบผนังแตกร้าวแนวเฉียงอย่างชัดเจน

4.3.2 อาคารทรุดเอียง เกิดจากฐานรากของอาคารส่วนใหญ่เยื้องศูนย์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งมักจะเกิดขึ้นจากการก่อสร้างที่มีการวางตำแหน่งเสาเข็มผิดพลาด หรืออาจเกิดจากเสาเข็มส่วนใหญ่ในอาคารเป็นเสาเข็มประเภทรับแรงเสียดทาน (Friction Pile) ที่ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกตามต้องการได้ เพราะสภาพดินมีความแปรปรวน หรือมีน้ำหนักบรรทุกกดลงบนฐานรากกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมากเกินไป ทำให้อาคารด้านหนึ่งทรุดจมลงมากกว่าอีกด้านหนึ่ง เมื่ออาคารทรุดจมลงด้านหนึ่งอีกด้านหนึ่งของอาคารจะถูกยกขึ้น การทรุดตัวของอาคารแบบนี้มักจะไม่เกิดการแตกร้าวที่โครงสร้าง แม้แต่รอยแตกร้าวที่ผนังก็เกิดขึ้นน้อยมาก รอยแตกร้าวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่เสาตอม่อ หรือเสาเข็มบริเวณด้านของอาคารที่ถูกยกขึ้น

4.4 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุการทรุดตัว

4.4.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอาคารจากแบบแปลนการก่อสร้าง หรือรายละเอียดต่างๆจากสภาพที่เป็นจริง เช่น ลักษณะการใช้งาน ตำแหน่งสถานที่ตั้ง จำนวนชั้น ความกว้าง ความยาว และความสูง ตำแหน่งของเสาที่ตรงกับตำแหน่งฐานราก ตำแหน่งของเสาที่ไม่ตรงกับฐานราก สิ่งก่อสร้างข้างเคียงหรือสภาพของพื้นที่โดยรอบ มีคลอง แม่น้ำ หรือมีการขุดลอกดินบริเวณใกล้ตัวอาคารบ้างหรือไม่ ข้อมูลเกี่ยวกับการก่อสร้าง เริ่มก่อสร้างเมื่อใดแล้วเสร็จเมื่อใด ระยะเวลาใช้งานที่ผ่านมา และพบว่าอาคารทรุดตัวหรือแตกร้าวเมื่อใด

4.4.2 ข้อมูลฐานราก ศึกษาชนิดฐานรากว่าเป็นฐานรากเสาเข็มหรือฐานรากแผ่ ขนาดและจำนวนฐานรากในอาคาร จำนวนเสาเข็มแต่ละฐาน รายละเอียดเหล็กเสริม ชนิดและขนาดของเสาเข็มเดิม ระดับความลึกปลายเสาเข็ม กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย และอัตราส่วนความปลอดภัยของเสาเข็มที่ระบุในแบบ

4.4.3 ข้อมูลดิน ควรเจาะสำรวจสภาพชั้นดินเพื่อเก็บข้อมูลต่างๆไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับความลึก ความหนาของชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน ในระดับต่างๆ ของดินภายในกรุงเทพ

4.4.4 ข้อมูลการทรุดตัวของดินในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากข้อมูลของการสำรวจการทรุดตัวของดินในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากการสูบน้ำบาดาลถ้าระดับแรงดันน้ำบาดาลลดลง เกิดการทรุดตัวของแผ่นดินและปัจจุบันมีการคืนตัวของระดับน้ำซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร จากรายงานการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑลดังตารางที่ 1 [4]

ตารางที่ 1 การทรุดตัวบริเวณพื้นที่ต่างๆ ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระหว่างปี 2521–2553[7]

อัตราการทรุดตัว (ซม./ปี)				
ปี	**ทิศเหนือ**	**ทิศตะวันออก**	**ทิศตะวันตก**	**ตอนกลาง**
พ.ศ. 2521-2525	10.0	0.9	5.5	4.1
พ.ศ. 2526-2530	5.5	2.0	0.1	0.8
พ.ศ. 2531-2535	1.9	2.2	0.5	1.0
พ.ศ. 2536-2540	2.9	2.4	0.4	1.5
พ.ศ. 2541-2545	1.4	0.4	0.4	0.9
พ.ศ. 2546-2548	1.5	2.4	1.5	2.4
พ.ศ. 2549-2553	<1.0-2.0	<1.0-2.0	<1.0-3.0	<1.0

พบว่า อัตราการทรุดตัว (ซม./ปี) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อยู่ในทางทิศตะวันตกของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2549-2553 จะมีค่าการทรุดตัวประมาณ <1.0-3.0 ซม./ปี

4.4.5 ข้อมูลอาคารทรุดเอียงควรตรวจวัดความลาดเอียงที่เกิดขึ้น และถ้าฐานรากของอาคารมีการทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) จะทำให้อาคารเอียงและทำความเสียหายต่อโครงสร้างได้ และการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานรากอาคาร จะอยู่ในรูปของค่าการบิดเชิงมุม (Angular Distortion) เป็นค่าการทรุดตัวต่อความยาว (Settlement/Length) บอกพฤติกรรมของโครงสร้างต่างๆ ดังตารางที่ 2 ซึ่งถ้าค่าน้อยกว่า 1/150 โครงสร้างมีความเสี่ยงเกิดอันตรายได้ [6]

ตารางที่ 2 การบิดเชิงมุม [8]

การบิดเชิงมุม	**พฤติกรรมของโครงสร้าง**
1/750	Limit where difficulties with machinery sensitive to settlement are to be feared
1/600	Limit of danger for frames diagonals
1/500	Safe limit for buildings where cracking is not permissible
1/300	Limit where first cracking in panel walls is to be expected
1/300	Limit where difficulties with overhead cranes are to expected
1/250	Limit where tilting of high, rigid buildings might become visible
1/150	Considerable cracking in panel wall and brick walls
1/150	Safe limit for flexible brick wall (h/L < f)
1/150	Limit where general structural damage of building of buildings is to be feared

4.5 การทำระดับความละเอียดสูงเพื่อวัดค่าการทรุด

ในการรังวัดค่าระดับที่ต้องการอ่านค่าให้มีค่าความละเอียดระดับมิลลิเมตรหรือต่ำกว่า จะใช้กล้องระดับที่มีความละเอียดสูงที่สามารถอ่านค่าได้ถึง 0.1-0.01 มิลลิเมตรที่มีกำลังขยายไม่ต่ำกว่า 40 เท่าในการทำงานที่ใช้งานร่วมกับไม้วัดระดับแบบอินวาร์ที่มีการยืดหดตัวน้อยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องสูง ในการวัดการทรุดตัว ความลาดเอียงของพื้นในการเทคอนกรีตหรือการทำหมุดควบคุมที่มีความถูกต้องสูง ดังเช่นงานวิจัยของ Likhitripaiboon และคณะ [3] การทรุดตัวของอาคารด้วยกล้องระดับกล้องระดับอัตโนมัติรุ่น WILD NAK2 พร้อม Plan Parallel Plate Micrometer ในการหาค่าการทรุดตัวของอาคารสำนักงานอธิการบดีที่มีค่าการทรุดตัวน้อยสุด 0.69 มิลลิเมตรและมากสุดที่ 1.89 มิลลิเมตร [3] หรือการสำรวจการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพมหานครของกรมแผนที่ทหารในปี 2550 ที่ใช้กล้องกล้องระดับอัตโนมัติรุ่น WILD N3 ไม้วัดระดับอินวาร์ที่พบว่ามีการทรุดตัว 2-3 เซนติเมตรต่อปีในบางพื้นที่ แต่โดยทั่วไปจะทรุดตัวต่ำกว่า 2 เซนติเมตร [5]

5. เครื่องมือและขั้นตอนในการดำเนินงาน

5.1 เครื่องมือในการดำเนินงาน

ประกอบด้วย

- กล้องระดับอัตโนมัติรุ่น WILD NAK2 พร้อม Plan Parallel Plate Micrometer[6]
- ขาตั้งกล้อง
- ไม้วัดระดับอินวาร์ (InvarStaff)
- ฐานรองไม้วัดระดับ (Foot Plate)

5.2. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1) ทำการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับอัตโนมัติรุ่น WILD NAK2 พร้อม Plan Parallel Plate Micrometer ที่สามารถอ่านได้ละเอียดระดับมิลลิเมตรหรือต่ำกว่าสามารถใช้ในงานระดับชั้นที่ 1 [6] โดยอ้างอิงจากหมุดหลักฐานทางดิ่ง ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งอยู่บริเวณด้านในประตูทางเข้า ของโรงเรียนนาหลวง กรุงเทพมหานคร อ้างอิงจากข้อมูลงานระดับในปี พ.ศ. 2557 มีค่าระดับ 1.13812 เมตร ทำการถ่ายระดับไปยังหมุดหลักฐาน KMUTT09 บริเวณหน้าอาคารเรียนรวม 4 ได้ค่าระดับเท่ากับ 1.037680 เมตร จากนั้นทำการถ่ายค่าระดับไปยังหมุดหน้าหอชายเลขที่ 49/0004 ท.ก.2555 ครั้งแรกค่าระดับของหมุดนี้มีค่า 0.51544 เมตร และครั้งที่ 2 ทำการตรวจสอบมีค่า 0.51448 เมตร เพื่อทำการตรวจสอบซึ่งมีค่าต่างกันอยู่ที่ 0.00096 เมตร ซึ่งแตกต่างกันน้อยจากนั้นจะนำค่าระดับไปใช้ในการหาค่าการทรุดตัวของอาคารอาคารวิศวกรรมวัฒนะ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งมีตำแหน่งหมุดอ้างอิงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตำแหน่งหมุดอ้างอิง [9]

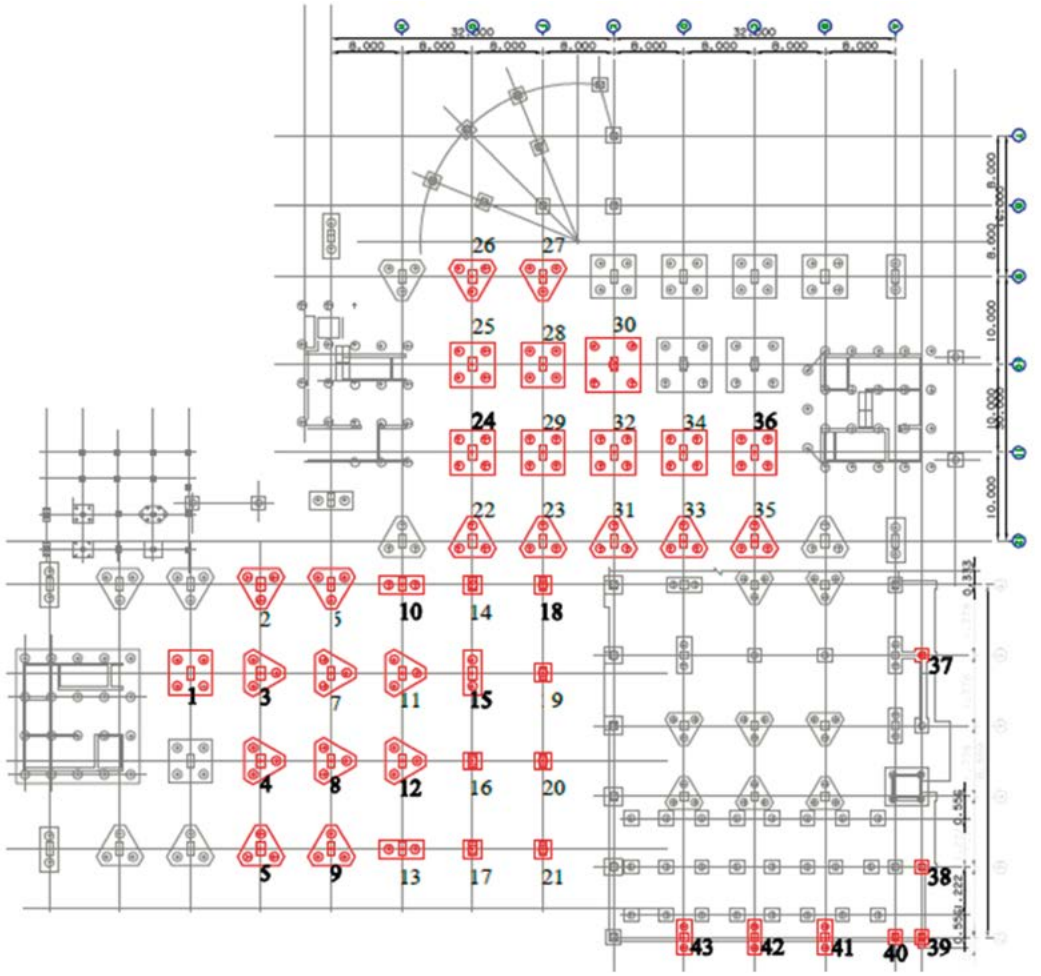
2) เลือกตำแหน่งของเสาบริเวณลานจอดรถใต้ดินของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์ และบริเวณด้านหน้าและด้านข้างของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ให้ครอบคลุมบริเวณที่จะทำการวัดการทรุดตัวที่สามารถวัดการทรุดตัวได้โดยไม่รบกวนการทำงานและการทำงานของหน่วยงานต่างๆ ของอาคารดังกล่าว จึงมีการจัดประเภทของเสาที่ทำการสำรวจโดยการแบ่งตามจำนวนเสาเข็ม ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

3) ติดตั้งชุดตรวจสอบการทรุดตัวด้วยเหล็กฉากขนาด 2 นิ้วมีหัวหมุด และป้ายแจ้งเตือนโปรดระวังดังรูปที่ 3 เพื่อใช้ในการตั้งไม้ระดับและวัดค่าการทรุดตัวของอาคาร บนตำแหน่งของเสาต้นที่ได้เลือกไว้แล้ว โดยติดให้กึ่งกลางของเสา อยู่ตรงกับแนวเส้นเล็งของกล้องระดับ และต้องทำเครื่องหมายโปรดระวังไว้แสดงหรือบ่งบอกกับผู้ที่พบเห็น เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุหรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้

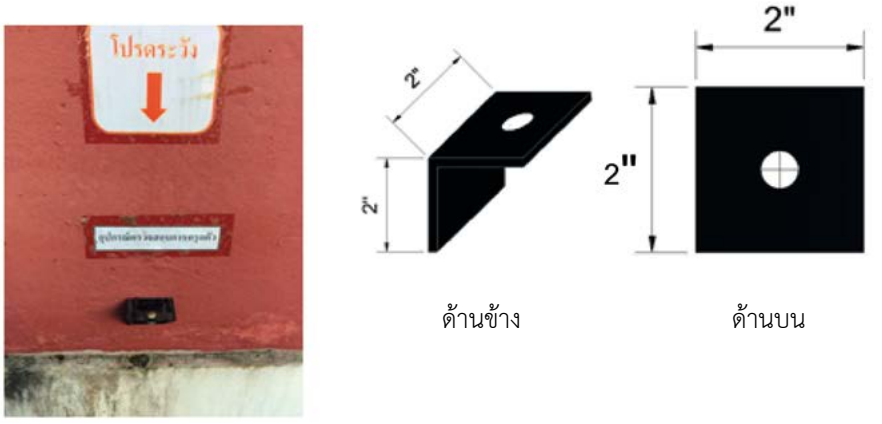
4) ทำการวัดค่าระดับในวงรอบที่ 1 จากหมุดหลักฐานหน้าอาคารเรียนรวม 4 ไปจนถึงหน้าอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา สิ้นสุดที่หมุดหลักฐานหน้าอาคารเรียนรวม 4 ทำการ

ตารางที่ 3 การจัดประเภทของเสาอาคารวิศวัฒนะ โดยแบ่งออกเป็น 3 อาคาร

ประเภทของเสาอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล		
จำนวนเสาเข็ม	**ชนิดของฐานราก**	**หมายเลขเสาที่**
1	ฐานรากเสาเข็ม	14, 16, 17, 18, 19, 20, 21
2		10, 13, 15
3		2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12
4		1
ประเภทของเสาอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์		
3	ฐานรากเสาเข็ม	22, 23, 26, 27, 31, 33, 35
4		24, 25, 28, 29,32, 34, 36
5		30
ประเภทของเสาอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา		
1	ฐานรากเสาเข็ม	37, 38, 39, 40
2		41, 42, 43



รูปที่ 2 ตำแหน่งเสาเข็มที่วัดการทรุดตัว



ด้านข้าง ด้านบน

รูปที่ 3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในการตรวจสอบการทรุด

ตรวจสอบค่าระดับให้อยู่ในงานระดับชั้น 1 หาค่าระดับของเสาทั้งหมด 7 ต้นในตำแหน่งเสาที่หมายเลข 37 ถึงหมายเลข 43 ทำการบันทึกข้อมูล ส่วนวงรอบที่ 2 จากหมุดหลักฐานหน้าอาคารเรียนรวม 4 ไปจนถึงหมุดหน้าหอพักชายเลขที่ 49/0004 ท.ก.2555 สิ้นสุดที่หมุดหลักฐานหน้าอาคารเรียนรวม 4 ทำการตรวจสอบค่าระดับให้อยู่ในงานระดับชั้น 1 จากนั้นเริ่มทำการส่องเข้าลานจอดรถใต้ดินของอาคารวิศววัฒนะ จำนวนเสาทั้งหมด 36 ต้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 อยู่ในบริเวณส่วนของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในตำแหน่งเสาที่หมายเลข 1 ถึงหมายเลข 21 กลุ่มที่ 2 อยู่ในบริเวณส่วนของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ ในตำแหน่งเสาที่หมายเลข 22 ถึงหมายเลข 36 และทำการบันทึกข้อมูล

5) ทำการวัดค่าระดับทุกๆเดือน ของอาคารภาควิชาวิศวกรรรมโยธา ตั้งแต่วันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ.2559 จนถึงวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ.2560 รวมทั้งหมด 8 ครั้ง และอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์และวิศวกรรมเครื่องกล ตั้งแต่วันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ.2559 จนถึง วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 รวมทั้งหมด 9 ครั้ง ดังตารางที่ 4 แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการวิเคราะห์ผลการทรุดตัวของอาคาร

ตารางที่ 4 กำหนดระยะเวลาการเก็บข้อมูลค่าระดับในแต่ละครั้ง

ครั้งที่	เดือน	วันที่	วงรอบที่ 1 อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา	วงรอบที่ 2 อาคารวิศววัฒนะ	ระยะเวลา (วัน)
1	สิงหาคม	14/08/59	8.00 – 10.00 น.	13.00-17.00 น.	0
2	กันยายน	18/09/59			35
3	ตุลาคม	22/10/59			69
4	พฤศจิกายน	26/11/59			105
5	ธันวาคม	26/12/59			135
6	มกราคม	21/01/60			161
7	กุมภาพันธ์	19/02/60			190
8	มีนาคม	19/03/60			218
9	พฤษภาคม	06/05/60	-		266

6. ผลการศึกษา

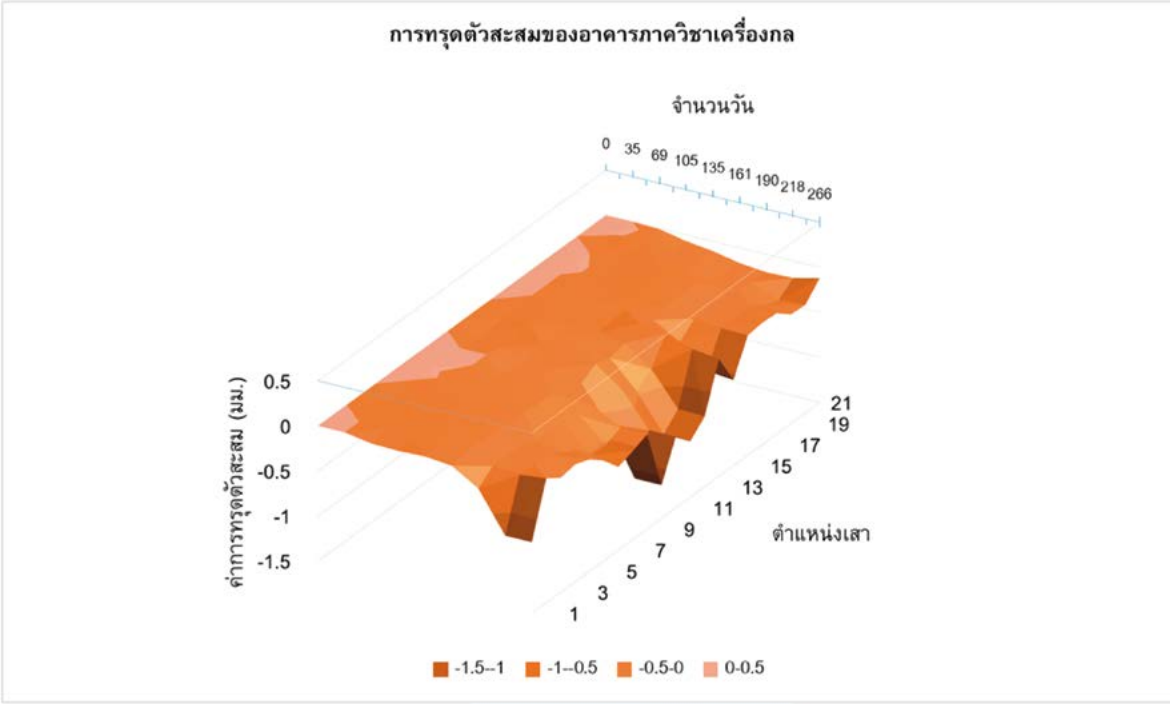
จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูล การทรุดตัวของอาคารวิศวัฒนะและอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

6.1 ผลการทรุดตัวสะสม

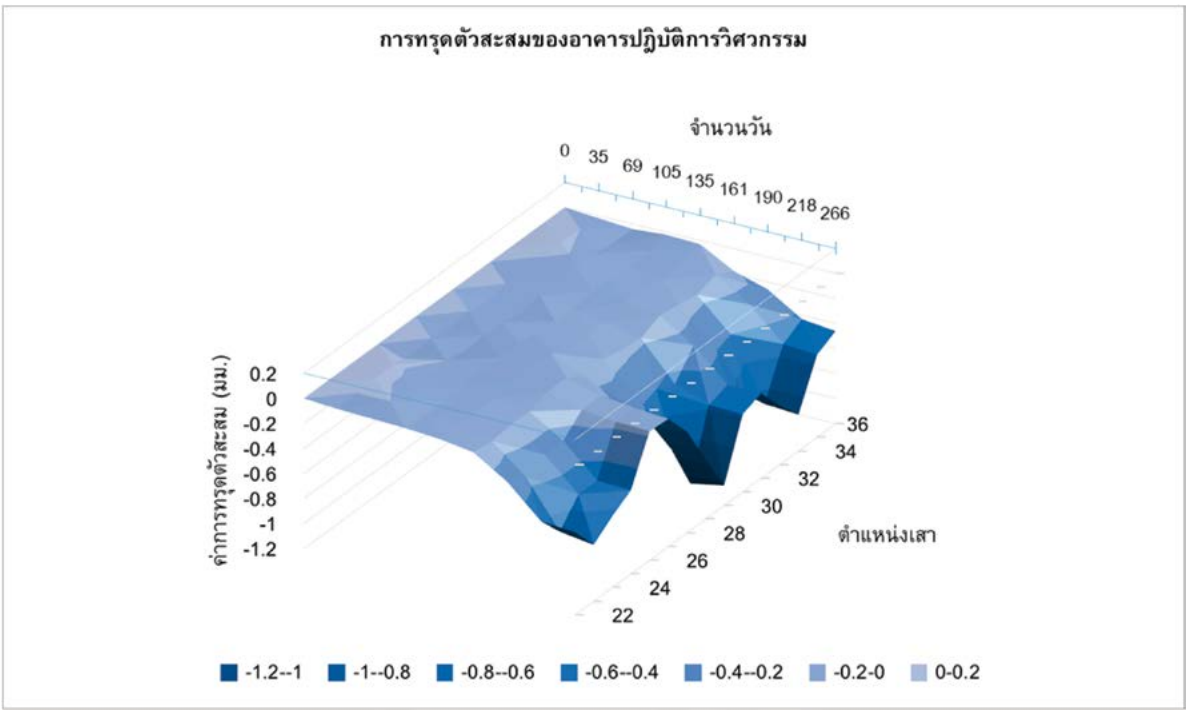
6.2 ค่าการบิดเชิงมุมที่ยอมให้

6.1 ผลการทรุดตัวสะสม

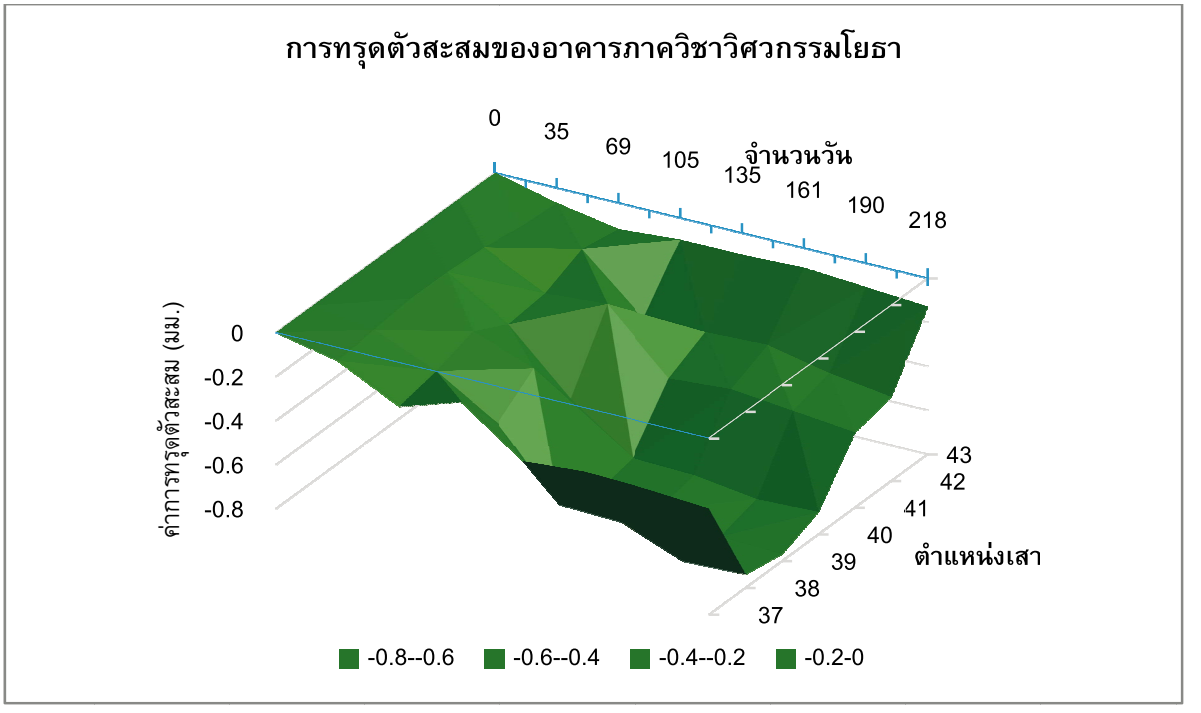
จากค่าระดับที่ได้ทำการสำรวจดังตารางที่ 4 จะนำมาวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวสะสมของอาคารทั้ง 3 แห่ง ดังรูปที่ 4, 5 และ 6 พบว่าแนวโน้มการทรุดตัวสะสมของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลดังรูปที่ 4 ซึ่งมีตำแหน่งเสาหมายเลขที่ 1 ถึง 21 มีแนวโน้มการทรุดตัวสะสมคงที่ ในระยะเวลา 6 เดือนแรก ต่อมาการทรุดตัวสะสมเพิ่มมากขึ้น ในช่วงเดือนที่ 7 ถึง 8 และคงที่ ในการสำรวจวัดค่าครั้งสุดท้ายในเดือนพฤษภาคม ซึ่งโดยบริเวณที่มีการทรุดตัวน้อยที่สุด อยู่ที่บริเวณโดยรอบอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในตำแหน่งเสาที่มีการทรุดตัวน้อย คือ ตำแหน่งเสาหมายเลข 2, 17, 21 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการรับน้ำหนักน้อยที่สุดจึงมีค่าทรุดตัวสะสมอยู่ในช่วง 0.12-0.15 มม. และบริเวณที่เกิดการทรุดตัวมากคือ บริเวณช่วงกลางของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเป็นรอยต่อกับอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรม ในตำแหน่งเสาที่มีการทรุดตัวคือ ตำแหน่งเสาหมายเลข 10 ซึ่งมีค่าทรุดตัวสะสมเท่ากับ 1.13 มม. และผลการทรุดตัวสะสมของอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมดังรูปที่ 5 ซึ่งมีตำแหน่งเสาหมายเลขที่ 22 และ 36 มีแนวโน้มการทรุดตัวสะสมคงที่ ในระยะเวลา 6 เดือนแรก ต่อมาจะพบว่าการทรุดตัวสะสมเพิ่มมากขึ้น ในช่วงเดือนที่ 7 ถึง 8 และกลับมาคงที่ ในการสำรวจวัดค่าครั้งสุดท้ายในเดือนพฤษภาคมเช่นกัน โดยบริเวณที่มีการทรุดตัวน้อยที่สุด อยู่ที่บริเวณโดยรอบอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมในตำแหน่งเสาที่มีการทรุดตัว คือ ตำแหน่งเสาหมายเลขที่ 26 และ 27 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการรับน้ำหนักน้อยที่สุดจึงมีค่าทรุดตัวสะสมอยู่ในช่วง 0.15 มม. ถึง 0.16 มม. และบริเวณที่เกิดการทรุดตัวมากที่สุดคือ บริเวณช่วงกลางของอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรม ในตำแหน่งเสาที่มีการทรุดตัว คือ ตำแหน่งเสาหมายเลขที่ 30 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการรับน้ำหนักมากที่สุดโดยมีเสาเข็มถึง 5 ต้น จึงมีค่าทรุดตัวสะสมอยู่เท่ากับ 1.09 มม.



รูปที่ 4 การทรุดตัวสะสมของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล



รูปที่ 5 การทรุดตัวสะสมของอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรม



รูปที่ 6 การทรุดตัวสะสมของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ส่วนผลการทรุดตัวสะสมของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา ดังรูปที่ 6 ที่เสาต้นที่ 37 ถึง 43 ระยะเวลา 218 วัน พบว่าค่าการทรุดตัวสะสมต่ำสุดอยู่ที่ 0.13 มม. ในตำแหน่งเสาที่ 43 และค่าการทรุดตัวสะสมสูงสุด อยู่ที่ 0.77 มม. ในตำแหน่งเสาที่ 39 และจะพบแนวโน้มการทรุดตัวของกราฟที่ในช่วงระยะ 5 เดือนแรก และมีแนวโน้มคงที่ในระยะ 6 - 8 เดือน ซึ่งจะสังเกตว่ากราฟจะมีแนวโน้มการทรุดตัวอาจแบ่งเป็น 3 ระดับ ซึ่งระดับที่ 1 คือเสาต้นที่ 43 ซึ่งมีค่าการทรุดตัวน้อยเท่ากับ 0.13 มม. ระดับที่ 2 คือเสาต้นที่ 37, 41, 42 ซึ่งมีค่าการทรุดตัวปานกลางเฉลี่ย เท่ากับ 0.52 มม. และ ระดับที่ 3 คือเสาต้นที่ 38, 39, 40 ซึ่งมีค่าการทรุดตัวมากเฉลี่ย เท่ากับ 0.73 มม. จากระดับที่แบ่งประเภทจะแบ่งไปตามตัวน้อยไปมาก ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จากผลกระทบจากพื้นที่ก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งของเสาที่ทำการสำรวจ ครั้งนี้พบว่า เสาต้นที่รองรับด้วยเสาเข็มเดียวจะมีการทรุดตัว มากกว่าเสาต้นที่รองรับด้วยเสาเข็มกลุ่ม

6.2 ค่าการบิดเชิงมุม

การบิดเชิงมุมจะพิจารณาจากระยะห่างของเสาที่อยู่ติดกัน เพื่อตรวจสอบความเอียงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกัน จากตารางที่ 5 จะพบว่า ในระยะเวลา 266 วัน ตำแหน่งเสาที่อยู่ติดกันซึ่งมีการบิดเชิงมุม มีค่าน้อยที่สุดคือตำแหน่งระหว่างเสาที่ 3 และ 4, 7และ 8, 16 และ 17, 20 และ 21, 22 และ 25, 24 และ 25, 26 และ 27 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 หรือว่าไม่เกิดการเอียงหรือบิดตัวของโครงสร้างและค่าการบิดเชิงมุมมากที่สุดคือตำแหน่งระหว่างเสาที่ 14 และ 22 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/2,735 ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 2 พบว่า ค่าการบิดเชิงมุมที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบแล้วยังมีค่าน้อยกว่า1/750 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับอาคารเสาเข็มลึกและมีเครื่องจักรที่อ่อนไหวต่อแรงสั่นสะเทือนและการเอียงของโครงสร้างจากการทรุดตัว จึงไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างหลัก

จากตารางที่ 6 จะพบว่า การบิดเชิงมุมที่ยอมให้ที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกันจะพบว่า ในระยะเวลา 218 วัน ในตำแหน่งเสาที่อยู่ติดกันซึ่งมีค่าการบิดเชิงมุม มีค่าน้อยที่สุดคือตำแหน่งเสาที่ 38 และ 39 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/275,862 และค่าความเอียงของโครงสร้างที่มากที่สุดคือตำแหน่งเสาที่ 42 และ 43 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/27,211 ตามลำดับ ซึ่งเมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 2 จะพบว่าค่าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า 1/750 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับอาคารเสาเข็มลึกและมีเครื่องจักรที่อ่อนไหวต่อแรงสั่นสะเทือนและการเอียงของโครงสร้างเมื่อเกิดจากทรุดตัว ซึ่งไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างหลัก

ตารางที่ 5 ตารางค่าความเอียงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกันของอาคารวิศววัฒนะ

ระหว่างเสา	ความยาว (ม.)	ค่าความเอียงของระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกัน(มม.)	ค่าการบิดเชิงมุมสูงสุด
1และ 3	4	0.54	1/7,349
2และ 3	5	0.01	1/431,827
2และ 6	4	0.19	1/20,750
3และ 4	5	0.00	0
3และ 7	4	0.36	1/11,038
4และ 5	5	0.10	1/50,195
4และ 8	4	0.36	1/11,038
5และ 9	4	0.19	1/21,277
6 และ 7	5	0.18	1/27,595

ตารางที่ 5 ตารางค่าความเอียงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกันของอาคารวิศววัฒนะ (ต่อ)

ระหว่างเสา	ความยาว (ม.)	ค่าความเอียงของระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกัน(มม.)	ค่าการบิดเชิงมุมสูงสุด
6และ10	4	0.78	1/5,099
7และ8	5	0.00	0
7และ11	4	0.18	1/22,076
8 และ9	5	0.07	1/66,867
8และ12	4	0.34	1/11,620
9และ13	4	0.26	1/15,627
10และ11	5	0.42	1/11,847
10และ14	4	0.97	1/4,128
11และ12	5	0.16	1/30,669
11และ15	4	0.18	1/22,076
12และ13	5	0.16	1/30,669
12และ16	4	0.71	1/5,661
13และ17	4	0.54	1/7,359
14และ15	5	0.37	1/13,673
14และ18	4	0.00	1/1,215,599
14และ22	1	0.37	1/2,735
15 และ16	5	0.36	1/13,797
15และ 19	4	0.26	1/15,164
16และ 17	5	0.00	0
16และ 20	4	0.15	1/26,210
17และ 21	4	0.15	1/26,916
18และ 19	5	0.10	1/50,704
18และ 22	1	0.36	1/2,759
19และ 20	5	0.05	1/92,593
20และ 21	5	0.00	0
21และ 22	4	0.21	1/18,711
21และ 24	10	0.21	1/46,778
22และ 25	10	0.00	0

ตารางที่ 5 ตารางค่าความเอียงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกันของอาคารวิศววัฒนะ (ต่อ)

ระหว่างเสา	ความยาว (ม.)	ค่าความเอียงของระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกัน(มม.)	ค่าการบิดเชิงมุมสูงสุด
22และ 31	4	0.04	1/91,783
24และ 25	10	0.00	0
24และ 29	4	0.18	1/22,076
25และ26	10	0.36	1/27,595
25และ 28	4	0.10	1/39,067
26 และ27	4	0.00	0
27และ 28	10	0.26	1/38,462
28และ 30	4	0.66	1/6,017
28และ 29	10	0.28	1/35,263
29และ 32	4	0.18	1/22,076
31และ 32	10	0.04	1/229,456
31 และ 33	4	0.14	1/29,067
32และ 34	4	0.36	1/11,038
33และ 35	4	0.18	1/22,076
33และ 34	10	0.18	1/55,190
34และ 36	4	0.45	1/8,796

ตารางที่ 6 ตารางค่าความเอียงของโครงสร้างที่เกิดขึ้นระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกันของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ระหว่างเสา	ความยาว (ม.)	ค่าความเอียงของระหว่างเสาต้นที่อยู่ติดกัน(มม.)	ค่าการบิดเชิงมุมสูงสุด
37-38	16	0.42	1/38,554
38-39	8	0.03	1/275,862
39-40	3	0.07	1/44,118
40-41	8	0.24	1/33,613
41-42	8	0.04	1/195,122
42-43	8	0.29	1/27,211

7. สรุปผลและวิจารณ์ผล

ผลจากการวัดทรุดตัวของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมจะอยู่ระหว่าง 0.00–1.13 มม. โดยมีการทรุดตัวมากที่สุด คือ ตำแหน่งเสาหมายเลข 10 บริเวณช่วงกลางของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเป็นรอยต่อกับอาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรม และการบิดเชิงมุมที่ยอมให้ของอาคารเกิดขึ้นระหว่างเสาค่าเท่ากับ 0 หมายความว่าไม่เกิดการเอียงหรือบิดตัวของโครงสร้าง จะเป็นตำแหน่งระหว่างเสาที่ 3 และ 4, 7 และ 8, 16 และ 17, 20 และ 21, 22 และ 25, 24 และ 25, 26 และ 27 ส่วนการบิดตัวเชิงมุมสูงสุดของโครงสร้างที่เกิดขึ้นมีค่า1/2,735 ขึ้นไปซึ่งน้อยกว่า 1/750 ที่ยอมให้ของค่าการทรุดตัวต่อความยาวที่ได้จากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของแต่ละเสาของอาคารวิศววัฒนะ

จึงไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างหลักของอาคาร ส่วนค่าการทรุดตัวของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาอยู่ระหว่าง 0.03 - 0.77 มม. และการบิดเชิงมุมสูงสุดของอาคารเกิดขึ้น 1/27,211 ขึ้นไป ซึ่งน้อยกว่า 1/750 ที่ยอมให้ของค่าการทรุดตัวต่อความยาว ที่ได้จากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของแต่ละเสาของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา จึงไม่มีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างหลักของอาคารซึ่งผลจากการวัดค่าการทรุดตัวและการบิดเชิงมุมสูงสุดของอาคารสามารถตรวจสอบการทรุดตัวและเอียงตัวของเสาภายในอาคารที่เป็นโครงสร้างหลักได้อย่างถูกต้องซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบอาคารอื่นๆ ที่ต้องการได้เช่นกัน

8. กิตติกรรมประกาศ

ในโครงงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวศรุตา ลี้เจริญ นายสพล ควรหา และ นายสิทธิพันธ์ รังสิยาวรานนท์ ที่ได้ช่วยในการทำระดับและเก็บข้อมูลการทรุดตัวของอาคารตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไว้ ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

1. Nanegrungsunk, B., 2009, Foundation of Engineering and Tunnelling, 7th ed., Top Textbook Bangkok. (In Thai)

2. Kangsathira, M., 1986, Mechanics of Soil Engineering, Mass Media Company Limited, Bangkok. (In Thai)

3. Likhitripaiboon, N., Kenchaiwong, D., Thongmai, C. and Phetphrom, A., 2002, Settlement of Building by Level, King Mongkut's University of Technology Thonburi [Online], Available : https : //opac.lib.kmutt.ac.th/vufind/Record/1127991[23 August 2017]. (In Thai)

4. Yungwattana, W., 2008, "Evaluation of Differential Settlement," *Rangsit University Journal of Engineering and Technology*, 11 (1), pp. 11-20. (In Thai)

5. The Project Surveys of Ground Subsidence for the Year 2007, Geodesy and Geophysics Division, Royal Thai Armed Forces Headquarters [Online], Available : http : //library.dmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2550/17004.pdf [23 August 2017]. (In Thai)

6. Leica-geosystems, "Leica NA2 & NAK2 Automatic", Optical Levels [Online], Available : http://leica-geosystem.com products/levels/automatic-levels/leica-na2-nak2 [23 August 2017].

7. Department of Groundwater Resources, 2012, Groundwater Situation in Bangkok and Vicinity in 2012, p. 21. (In Thai)

8. Ricceri, G. and Soranzo, M., 1985, "An Analysis on Allowable Settlements of Structures," Italian Geotechnical Magazine, Pàtron Publisher, Italy, 4, pp. 177-188.

9. Google, King Mongkut's University of Technology Thonburi Map [Online], Available : https : //www.google.co.th/maps/@13.6508221,100.49374,596m/data=!3m1!1e3?hl=th (In Thai)