

คุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนผิวดิน

Site Characteristics of Subsoils in Bangkok and Vicinity Area by Microtremor Observations

นคร ภู่วโรดม และ นนทกร พลินยศ

Nakhorn Poovarodom and Nonthakorn Plalinyot

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี 12120

โทร.0-2564-3001-9 โทรสาร. 0-2564-3010

E-mail: pnakhorn@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานแรงจากแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทยได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมขึ้นจากผลงานวิจัยด้านแผ่นดินไหวหลายด้าน แต่งานวิจัยด้านการศึกษาคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งที่จำเป็นต่อการประเมินการขยายคลื่นแผ่นดินไหวยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะดังกล่าวโดยใช้วิธีที่ดำเนินการสำรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายต่ำ คือ การใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดิน โดยการตรวจวัดแบบ 1 จุด และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V) เพื่อประเมินค่าคาบอิทธิพลหลัก และดำเนินการตรวจวัดด้วยรูปแบบ array แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Spatial Autocorrelation Method (SPAC) เพื่อประเมินค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกถึงระดับประมาณ 90 เมตร โดยดำเนินการศึกษารวม 36 บริเวณ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80x80 ตารางกิโลเมตร ผลการศึกษาขั้นต้นคือการเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยกับผลจากการศึกษาด้วยวิธีอื่นซึ่งพบว่าผลมีความสอดคล้องกันดี และค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 70-200 เมตร/วินาที ส่วนค่าคาบอิทธิพลหลักมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-1.1 วินาที ผลการศึกษานี้สามารถใช้จำแนกชั้นดินสำหรับการออกแบบอาคารด้านทานแรงจากแผ่นดินไหว และพิจารณาผลเทียบกับลักษณะทางธรณีเทคนิคของพื้นที่ศึกษา

Abstract

The seismic design standard for buildings in Thailand was recently updated according to improvement of

researches. Among these pertinent tasks, site characterization for evaluation of seismic wave amplification has been primitively investigated. Owing to this limited information, this research aims to quantitatively investigate site characteristics of subsoils by economical and practical technique of microtremor observations. The technique of single point observation with Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V) method to estimate the predominant period and the technique of array observation with Spatial Autocorrelation (SPAC) technique for exploration of shear wave velocity profile down to about 90 m were conducted for 36 sites in approximately 80 km by 80 km area. The results of shear wave velocity profiles were firstly compared with the available results from previous researches and they were found to be in good agreement. The average shear wave velocities from the surface to 30-m depth vary from 70 to 200 m/s and the predominant periods are found from 0.4 to 1.1 second. Site classifications based on the predominant period and the average shear wave velocity are presented and discussed with distribution of thickness of soft clay and geotechnical properties.

1. บทนำ

คุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง ได้แก่ ความเร็วคลื่นเฉือน (shear wave velocity) และคาบอิทธิพลหลัก (predominant period) มีอิทธิพลอย่างสูงต่อการขยายขนาด หรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวซึ่งประกอบด้วยขนาด (amplitude) องค์ประกอบความถี่ (frequency content)

และระยะเวลา (duration) ซึ่งส่งผลต่อระดับความรุนแรงจากแผ่นดินไหว ในอดีตที่ผ่านมาตัวอย่างเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สำคัญที่แสดงให้เห็นว่าชั้นดินเหนียวอ่อนสามารถเพิ่มระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ ดังนั้นผลของคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งจึงเป็นข้อกำหนดสำคัญในหลักการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว โดยจำแนกตามคุณสมบัติที่แตกต่างกันของสภาพชั้นดินบริเวณที่ตั้งและแสดงในรูปของค่าประกอบที่ใช้ปรับค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่เป็นดินตะกอนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 15-20 เมตร สภาพดังกล่าวอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหวจากระยะไกล โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ถึงแม้ว่าศูนย์กลางอยู่ห่างจากประเทศไทยมากแต่ส่งผลให้อาคารสูงหลายแห่งในพื้นที่นี้สั่นไหวจนรู้สึกได้ และบางเหตุการณ์ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างรองของอาคาร ในด้านกฎหมายว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว คือ กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2550 ได้กำหนดให้ค่าประกอบสำหรับชั้นดินที่ตั้งอาคารในเขตดินอ่อนมากมีค่าสูง และในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ.1302) ได้กำหนดให้ต้องคำนึงผลของคุณลักษณะชั้นดินบริเวณที่ตั้งเพื่อประเมินการขยายขนาดความรุนแรงจากแผ่นดินไหว โดยพิจารณาใช้ค่าหลักจากความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก ที่เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (V_{S30}) อย่างไรก็ดี ข้อมูลของคุณลักษณะของดินบริเวณที่ตั้งในประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากวิธีที่ใช้ในการสำรวจที่ผ่านมาใช้ค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้ยังขาดข้อมูลที่เพียงพอในการประเมินผลเนื่องจากสภาพชั้นดินในแต่ละพื้นที่ให้ถูกต้องได้ งานวิจัยโดย นคร และ กิตติศักดิ์ (2553) ได้เริ่มใช้วิธีการตรวจวัดคลื่นพื้นผิวและหาความเร็วคลื่นเฉือน และได้ผลความเร็วคลื่นเฉือนที่สอดคล้องกับผลโดยเทคนิคอื่นที่เคยมีผู้วิจัยไว้ก่อนหน้านี้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านเครื่องมือ จึงต้องใช้สมมุติฐานของวิธีวิเคราะห์ ด้วยวิธี 2-sites Spatial

Autocorrelation (2sSPAC) และดำเนินการสำรวจเพียง 8 แห่งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ เชียงราย และกาญจนบุรี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเพื่อทำการสำรวจความเร็วคลื่นเฉือน และคาบอิทธิพลหลัก ด้วยการตรวจวัดการสั่นขนาดเล็ก (microtremor) ของคลื่นพื้นผิว แล้ววิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค Spatial Autocorrelation Method (SPAC) และ Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V) ตามลำดับ เนื่องจากการดำเนินการสำรวจที่ผิวดินและไม่ต้องเจาะหลุมสำรวจ จึงทำให้ดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและประหยัด อีกทั้งสามารถสำรวจได้ในระดับความลึกที่มากได้อีกด้วย (ประมาณ 90 เมตรในงานนี้) งานวิจัยนี้ดำเนินการสำรวจจำนวนทั้งสิ้น 36 จุด ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80x80 ตารางกิโลเมตร บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2. วิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนผิวดิน (Microtremor Observation Techniques)

การสำรวจความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดิน โดยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะ เช่น วิธี downhole test มีข้อจำกัดเนื่องจากต้องเจาะหลุมเพื่อสำรวจ จึงมีค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานาน และข้อจำกัดของความลึกที่สำรวจได้ตามความลึกของหลุมเจาะ ทางเลือกที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กบนผิวดิน โดยข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่รบกวนพื้นผิวโดยเฉพาะหากทำการสำรวจในเขตชุมชนเมือง และให้ประสิทธิภาพสูงสำหรับการสำรวจถึงระดับลึก การศึกษานี้ดำเนินการเก็บข้อมูลคลื่นขนาดเล็กบนผิวที่เกิดขึ้นในสภาพธรรมชาติ ด้วยเครื่องมือที่มีความไวสูง โดยการตรวจวัดแบบ 1 จุด และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V) เพื่อประเมินหาค่าคาบอิทธิพลหลัก และดำเนินการตรวจวัดด้วยรูปแบบ array แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Spatial Autocorrelation Method (SPAC) เพื่อประเมินหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก

2.1 วิธี Horizontal-to-Vertical spectral ratio (H/V)

วิธี H/V เสนอโดย Nakamura (1989) เป็นการตรวจวัดองค์ประกอบในแนวราบและแนวดิ่งของคลื่นขนาดเล็กบนผิวดิน โดยการตรวจวัดเพียงตำแหน่งเดียว แล้วคำนวณ

อัตราส่วนของสเปกตรัมของคลื่นในแนวราบต่อสเปกตรัมของคลื่นในแนวตั้ง ด้วยสมมติฐานเพื่อลดทอนอิทธิพลของแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อองค์ประกอบคลื่นในแนวราบและแนวตั้ง โดยผลอัตราส่วนสเปกตรัมที่ได้ใช้เพื่อประเมินค่าคาบอิทธิพลหลัก และอัตรากำลังขยายคลื่น (amplification factor) ค่า H/V spectrum สร้างจากอัตราส่วนระหว่างค่าฟูเรียร์สเปกตรัมขององค์ประกอบคลื่นแนวราบและแนวตั้ง ดังแสดงในสมการที่ 1

$$H/V \text{ spectrum} = \frac{\sqrt{F_{NS} \times F_{EW}}}{F_{UD}} \quad (1)$$

โดยที่ F_{NS} , F_{EW} และ F_{UD} คือ ขนาดของฟูเรียร์สเปกตรัมของคลื่นที่ผิวดินในแนวเหนือ-ใต้ แนวตะวันตก-ตะวันออก และ แนวตั้ง ตามลำดับ ค่าคาบที่ให้ค่าสูงสุดของ H/V spectrum แสดงถึงค่าคาบอิทธิพลหลัก และอัตรากำลังขยายคลื่นของดินบริเวณนั้นๆ ประเมินจากความสูงของ H/V spectrum อย่างไรก็ดียังมีข้อขัดแย้งในสมมติฐานสำหรับทฤษฎีนี้ โดยสมมติฐานของ Nakamura (1989) ได้สมมติให้องค์ประกอบคลื่นหลัก คือ คลื่นในตัวกลาง (body wave) ซึ่งแย้งกับพื้นฐานของคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดิน อันมีองค์ประกอบหลักเป็นคลื่นพื้นผิว (surface wave) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความสะดวกในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล จึงมีการประยุกต์ใช้อย่างกันแพร่หลาย และในงานวิจัยนี้ได้ใช้ผลเป็นข้อมูลในการพิจารณาประกอบกับผลหลักคือความเร็วคลื่นเฉือนในหัวข้อต่อไป

2.2 วิธี Spatial Autocorrelation (SPAC method)

วิธี SPAC เสนอโดย Aki (1957) เป็นการหาค่าความเร็วเฟส (phase velocity) ของคลื่นพื้นผิวที่มีค่าแตกต่างกันสำหรับความถี่คลื่นต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติ dispersive ของดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละชั้นที่เรียงกันอยู่ บนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมเชิงระยะทางและเวลา โดยการตรวจวัดองค์ประกอบคลื่นในแนวตั้งที่หลายจุดพร้อมกันในรูปแบบ array และคลื่นพื้นผิวที่บันทึกได้มีส่วนประกอบหลักคือโหมดพื้นฐานของคลื่นเรย์เลห์ เมื่อประเมินหาค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์เชิงสเปกตรัมระหว่างคลื่นที่วัดที่จุดศูนย์กลางและจุดใดๆบน array ที่จัดเป็นรูปวงกลมรอบจุดศูนย์กลาง จะ

ได้ค่าสัมประสิทธิ์ Spatial autocorrelation ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่และรัศมี (หรือระยะทางระหว่างหัววัด) สำหรับคู่การตรวจวัดใดๆ เมื่อนำความสัมพันธ์ของทุกคู่มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ Spatial autocorrelation ($\rho(\omega, r)$) ซึ่งแสดงถึงค่าพลังงานที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลางสำหรับความเร็วเฟสของคลื่นที่ตำแหน่งรัศมีและความถี่ใดๆ ค่า $\rho(\omega, r)$ สำหรับการตรวจวัดในรูปแบบ array สามารถแสดงได้ว่าเป็นฟังก์ชันกับ (1) ค่าความถี่ ω (2) รัศมี r และ (3) ความเร็วเฟสที่ความถี่ใดๆ สำหรับโหมดพื้นฐานของคลื่นเรย์เลห์ $c(\omega)$ ดังสมการที่ 2 ซึ่งเสนอโดย Aki (1957) หรือรายละเอียดที่อธิบายโดย Okada (2003)

$$\rho(\omega, r) = J_0\left(\frac{\omega r}{c(\omega)}\right) \quad (2)$$

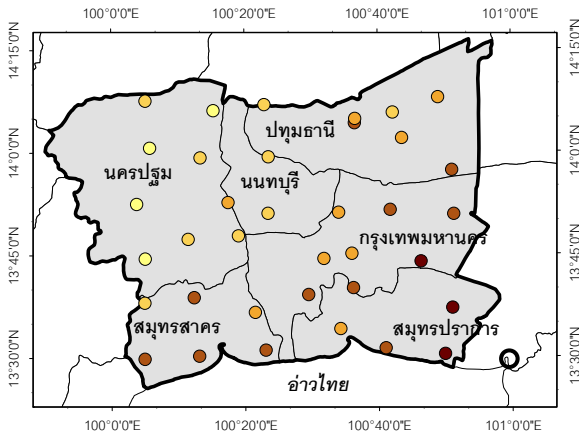
โดยที่ค่า J_0 คือ Bessel function of the first kind with the zero-th order จากสมการพบว่าที่รัศมีคงที่ใด ๆ ค่าความเร็วเฟสมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของคลื่น และสามารถหาได้จาก $\rho(\omega, r)$ ที่ตรวจวัดมา ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงคุณลักษณะของดินบริเวณนั้นด้วย dispersion curve ซึ่งแสดงเป็นความสัมพันธ์ของความเร็วเฟสที่เปลี่ยนแปลงกับความถี่ของคลื่น จากนั้นค่าความเร็วคลื่นเฉือนสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความเร็วเฟส เนื่องจากคุณสมบัติ dispersion ของคลื่นเรย์เลห์นั้นเป็นผลโดยตรงมาจากความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินบริเวณนั้น ดังนั้น ความเร็วคลื่นเฉือนจึงสามารถหาได้จาก dispersion curve ด้วยหลักการคำนวณย้อนกลับ (inversion analysis) การศึกษานี้ใช้หลักการ Down Hill Simplex Method with Very Fast Simulated Annealing ที่พัฒนาโดย Yokoi (2005)

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่สำหรับการศึกษา

พื้นที่สำหรับการศึกษาตั้งอยู่ระหว่าง พิกัดละติจูดที่ 13° 30' N ถึง 14° 5' N และลองจิจูดที่ 100° 5' E ถึง 100° 50' E ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรปราการ พื้นที่บริเวณนี้ตั้งอยู่บนที่ราบ

ดินตะกอนปากแม่น้ำ และมีแม่น้ำสายหลัก 2 สายไหลผ่านคือ เจ้าพระยาและท่าจีน ซึ่งไหลออกทางปากอ่าวไทยในทิศใต้รูปที่ 1 แสดงพื้นที่สำหรับการตรวจวัด โดยดำเนินการทั้งสิ้น 36 ตำแหน่งซึ่งมีการกระจายตัวอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ทั้งแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก

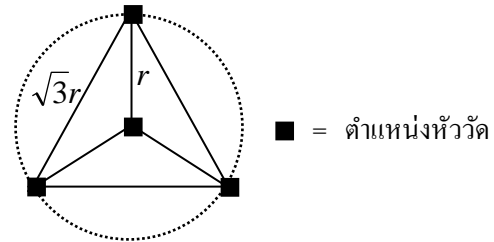


รูปที่ 1 พื้นที่สำหรับการศึกษาของงานวิจัยนี้

3.2 วิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็บบนผิวดิน

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการตรวจวัด ประกอบด้วย เครื่องบันทึกสัญญาณดิจิทัลที่มี resolution ของการแปลงสัญญาณเท่ากับ 24 bit และหัววัดความเร็วของการสั่นสะเทือนแบบ 3 แกนที่มีคาบธรรมชาติ 2 วินาที จำนวน 4 หัว เชื่อมต่อเข้าสู่เครื่องบันทึกสัญญาณโดยสายเคเบิล การตรวจวัดในแต่ละสถานที่จะเริ่มจากการทดสอบความสอดคล้อง coherency และความต่างเฟสของคลื่นในแต่ละหัววัด โดยวางหัววัดทั้ง 4 ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน จากผลของการทดสอบในทุกพื้นที่พบว่า ค่าความถี่ที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมอยู่ในช่วง 0.8 Hz ถึง 17 Hz การจัดเก็บข้อมูลใช้เวลา 20 นาทีต่อการวัดแต่ละครั้ง ด้วยจำนวนข้อมูล 200 จุดต่อวินาที ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน ส่วนละ 4096 จุดข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และใช้ค่าเฉลี่ยของทุกส่วนเพื่อการประมวลผล รูปแบบการตรวจวัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าบนเส้นวงกลม หัววัด 1 ตัวอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์กลาง และหัววัดอีก 3 ตัวอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรอบวง ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการจัดวางหัววัดที่สมบูรณ์ตามทฤษฎี SPAC การตรวจวัดสำหรับแต่ละสถานที่ประกอบด้วย 4 array ซึ่งมีคาร์ซีของวงกลมแตกต่างกัน ดังนี้คือ 9, 25, 35 และ 50 เมตร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูล

จากคู่ของหัววัดที่วางอยู่บนเส้นรอบวงที่มีระยะห่างเท่ากับ $\sqrt{3}r$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.9, 43.3, 60.6 และ 86.6 เมตร ดังนั้นจึงมีข้อมูลทั้งสิ้นคือ 8 ชุดของระยะระหว่างหัววัด และในแต่ละชุดใช้ค่าเฉลี่ยจาก 3 คู่ของสัญญาณจากหัววัดเพื่อใช้ในการคำนวณ SPAC coefficient ผลของความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ประเมินจากการคำนวณย้อนกลับได้กำหนดไว้ที่ระดับความลึกประมาณเท่ากับค่าระยะห่างมากที่สุดของการตรวจวัด นั่นคือประมาณ 90 เมตร และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแบบ 1 จุดถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณค่าคาบอทธิพลหลักด้วยวิธี H/V Spectrum ratio



รูปที่ 2 การจัดเรียงหัววัดเป็นรูปวงกลมสำหรับวิธี SPAC

4. ผลการศึกษาและการอภิปราย

4.1 การเปรียบเทียบค่า V_{s30} กับการตรวจวัดด้วยเทคนิคอื่น

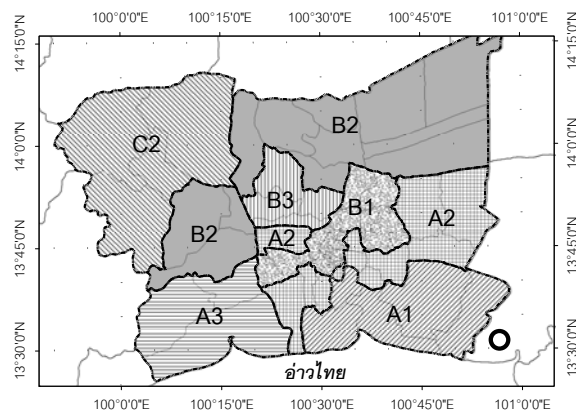
การศึกษาส่วนแรกคือทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ที่ระดับความลึก 30 เมตร ที่ได้จากการศึกษานี้ กับการทดสอบด้วยเทคนิคอื่น ๆ ในบริเวณเดียวกันจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งประกอบด้วยวิธี seismic downhole โดย (D1) จิตติและอาณัติ (2552) และ (D2) Ashford (2000) วิธีการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็บบนผิวดินด้วยเทคนิค FK โดย Arai and Yamazaki (2002) และการวิเคราะห์คลื่นพื้นผิวแบบหลายช่องสัญญาณ (MASW) โดยประภาพร (2550) บริเวณที่สำรวจมีทั้งสิ้น 5 บริเวณ คือ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (สนามฟุตบอล AIT) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สนามรักบี้ ประตูใหญ่ CU) ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (สนามรักบี้ TU) กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา (สนามด้านหน้า TMD) และวัดตำหรุ จังหวัดสมุทรปราการ (ลานด้านหลังวัด WTR) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 3 พบว่าค่าที่ได้จาก

การศึกษานี้ให้ผลที่สอดคล้องดีกับการทดสอบด้วยเทคนิคอื่น ๆ

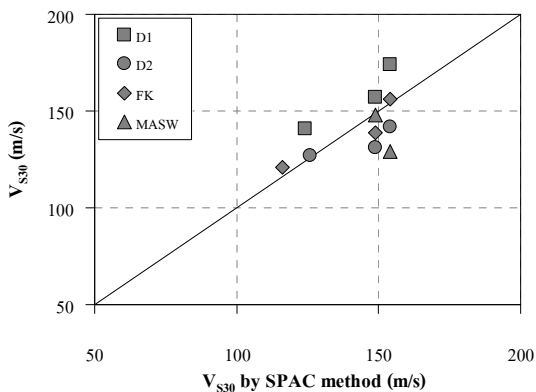
กลางหนาประมาณ 8 ถึง 10 เมตรเป็นชั้นแรก และชั้นดินเหนียวแน่นชั้นแรกหรือชั้นดินทรายชั้นแรกเป็นชั้นถัดลงมา

ตารางที่ 1 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

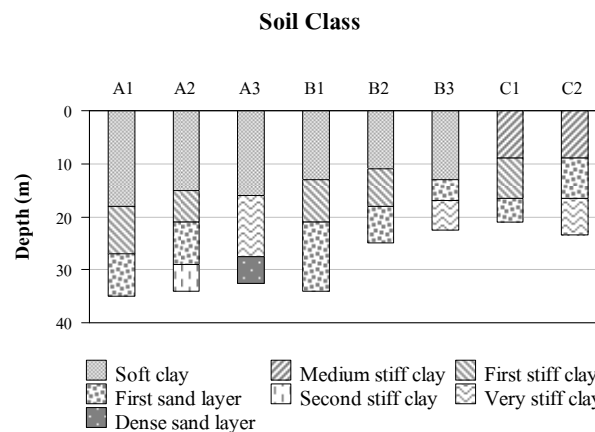
| สถานที่ | V_{S30} (m/s) | | | | |
|---------|-----------------|-----|-----|------|-----|
| | SPAC | D1 | D2 | MASW | FK |
| AIT | 154 | 174 | 142 | 129 | 156 |
| CU | 149 | 157 | 131 | 148 | 139 |
| TU | 126 | - | 127 | - | - |
| TMD | 124 | 141 | - | - | - |
| WTR | 116 | - | - | - | 121 |



รูปที่ 4 แผนที่การจำแนกประเภทของชั้นดินในพื้นที่ศึกษาโดย Tuladhar (2003)



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่า V_{S30} ที่ได้จากการศึกษานี้และการตรวจวัดด้วยเทคนิคอื่น

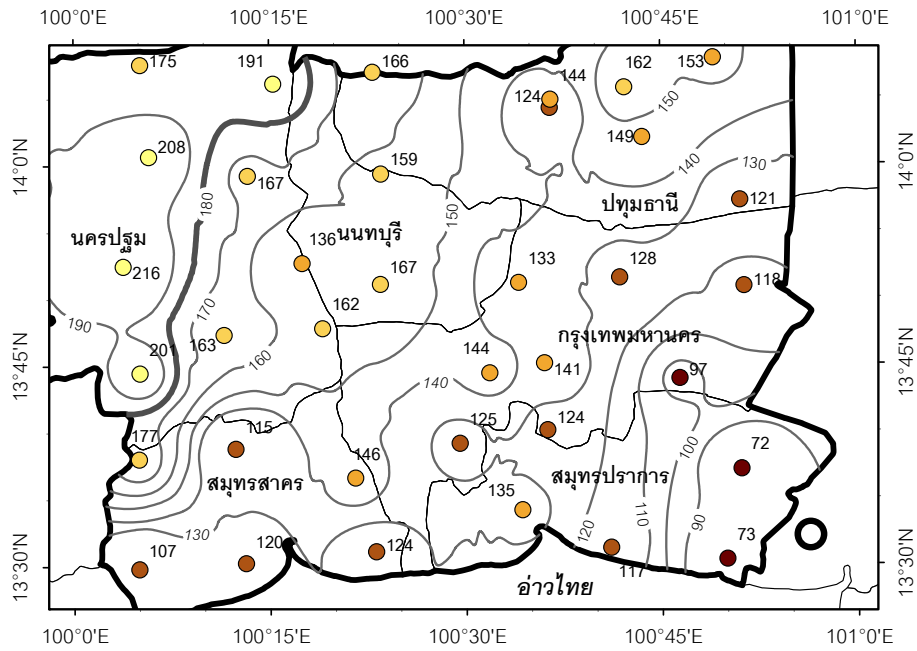


4.2 ผลความเร็วคลื่นเฉือนและคาบอิทธิพลหลักของพื้นที่ศึกษา

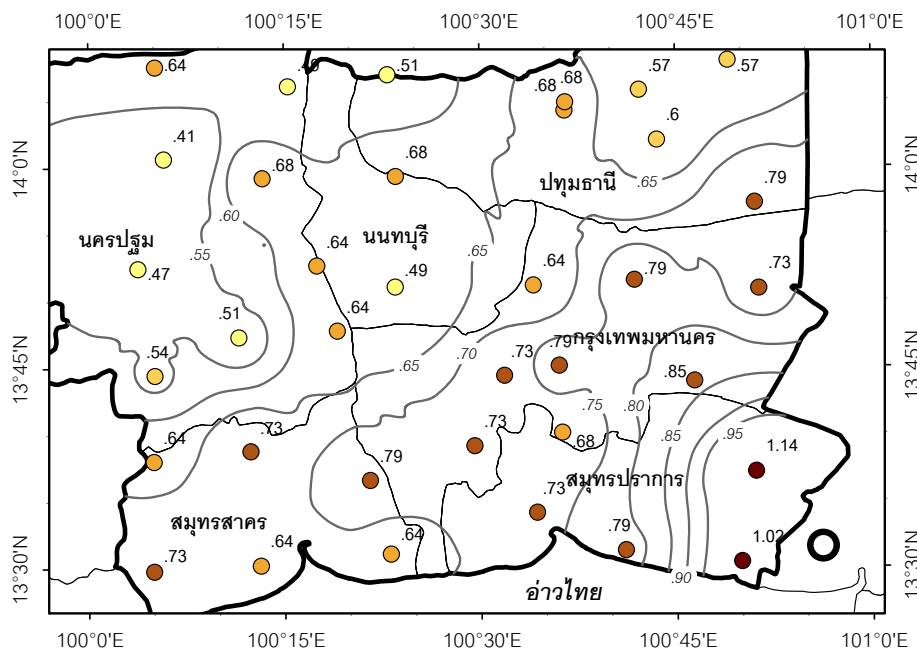
ผลการศึกษาทั้งหมดในพื้นที่ได้ถูกนำเสนอและพิจารณาพร้อมกับลักษณะของข้อมูลชั้นดินที่มีการสรุปไว้โดย Tuladhar (2003) ที่ได้รวบรวมข้อมูลจากหลุมเจาะสำรวจแล้วจัดกลุ่มตามลักษณะของชั้นดินที่คล้ายกัน โดยแผนที่แสดงการจัดกลุ่มแสดงไว้ในรูปที่ 4 ส่วนรูปที่ 5 แสดงลักษณะของชั้นดินของแต่ละกลุ่ม ชั้นดินประเภท A (A1, A2 และ A3) มีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมากที่สุดประมาณ 16 ถึง 20 เมตร ชั้นดินประเภท B (B1, B2 และ B3) มีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนประมาณ 10 ถึง 14 เมตร สำหรับชั้นดินประเภท C (C1 และ C2) ซึ่งเป็นตัวแทนของดินบริเวณขอบตะวันตงเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวแน่นปาน

รูปที่ 5 ลักษณะของชั้นดินตามความลึกในพื้นที่ศึกษาโดย Tuladhar (2003)

ผลที่ได้จากการตรวจวัดค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 เมตรแรก (V_{S30}) และค่าคาบอิทธิพลหลัก (T_p) ของ 36 บริเวณศึกษา ถูกนำมาประมวลและแสดงผลเป็นเส้นชั้นในรูปแบบแผนที่ดังในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยที่จุดกลมแสดงตำแหน่งที่สำรวจ และตัวเลขข้างจุดแสดงค่าที่ศึกษาได้



รูปที่ 6 แผนที่ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร (V_{s30}) สำหรับกรุงเทพมหานครและปริมณฑล



รูปที่ 7 แผนที่ค่าคาบอิทธิพลหลัก (T_p) สำหรับกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

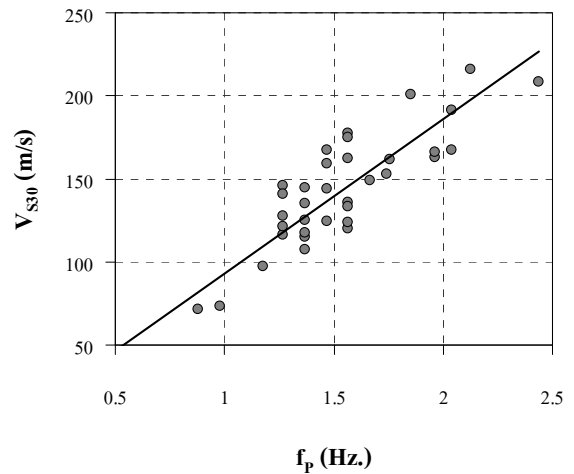
ผลที่ได้จาก V_{s30} สามารถใช้จำแนกประเภทของดินได้อย่างชัดเจน โดยค่า V_{s30} ที่พบมีค่าอยู่ในช่วง 70-200 เมตร/วินาที ซึ่งเกณฑ์ตาม มยผ. 1302 ได้กำหนดให้ บริเวณที่มี V_{s30} ต่ำกว่า 180 เมตร/วินาที เป็นดินประเภท E (ดินอ่อน) และ V_{s30} ที่มีค่าระหว่าง 180 ถึง 360 เมตร/วินาที เป็นดินประเภท D (ดินแข็ง)

และมีข้อกำหนดในการคำนวณแรงจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันสำหรับชั้นดินลักษณะต่าง ๆ ส่วนค่า T_p มีค่าอยู่ในช่วง 0.4-1.1 วินาที บริเวณที่มีค่า V_{s30} ต่ำที่สุดหรือค่า T_p ยาวที่สุดคือ บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการใกล้อ่าวไทย และตรงกับชั้นดินประเภท A1 ซึ่ง

มีดินชั้นแรกประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนหนาที่สุด พื้นที่โดยทั่วไปบริเวณตามแนวปากอ่าวไทยมีแนวโน้มของค่า V_{S30} ต่ำ และค่า T_p ยาว ซึ่งตรงกับชั้นดินประเภท A1, A2 และ A3 บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาพบว่า V_{S30} มีค่าเพิ่มขึ้นและค่า T_p มีค่าลดลงตามสภาพความแข็งของดินเนื่องจากความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนน้อยกว่าบริเวณใกล้อ่าวไทย และมีความสอดคล้องในภาพรวมกับชั้นดินประเภท B1, B2 และ B3 ซึ่งบริเวณที่กล่าวมานี้ จำแนกได้เป็นชั้นดินประเภท E ส่วนบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา คือจังหวัดนครปฐม มีค่า V_{S30} สูงที่สุด จำแนกเป็นชั้นดินประเภท D และค่า T_p สั้นที่สุด แสดงถึงลักษณะของชั้นดินแข็ง สอดคล้องกับชั้นดินประเภท C2 ซึ่งความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่าน้อยที่สุด สำหรับค่า T_p ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้าของ Tuladhar และคณะ (2004) โดยที่ค่า T_p มีค่ามากกว่า 0.8 วินาทีที่บริเวณตะวันออกของกทม ใกล้อ่าวไทย และจังหวัดสมุทรปราการ จากนั้นค่ามีแนวโน้มน้อยลงเหลือ 0.6-0.8 วินาทีที่บริเวณกลางพื้นที่ศึกษา และค่าน้อยกว่า 0.6 วินาทีที่บริเวณทิศเหนือและทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_{S30} และค่า T_p

จากผลการตรวจวัด V_{S30} และค่า T_p ที่พบแนวโน้มนความสัมพันธ์ คือ บริเวณที่มีค่า V_{S30} ต่ำจะมีค่า T_p ยาว และในทางกลับกัน บริเวณที่มีค่า V_{S30} สูงจะมีค่า T_p สั้น เมื่อนำค่าส่วนกลับของค่า T_p หรือค่าความถี่อิทธิพลหลัก (predominant frequency, f_p) มาศึกษาความสัมพันธ์กับ V_{S30} ได้ผลแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งผลแสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบทั่วไประหว่าง V_{S30} กับ f_p แต่ผลมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้อจำกัดของวิธี H/V spectral ratio ที่ประมวลผลจากสัญญาณการตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียว และใช้ลักษณะของรูปร่างสเปกตรัมเท่านั้น จึงอาจแสดงผลจากสัญญาณรบกวนมากกว่าผลจากคุณสมบัติของชั้นดิน แต่วิธี SPAC ที่ใช้ correlation ของสัญญาณที่ตรวจวัดหลายตำแหน่งพร้อมกันสามารถแสดงคุณสมบัติของชั้นดินได้จากลักษณะคลื่นที่วัดได้ ดังนั้นผลความเร็วคลื่นเฉือนจึงให้ผลที่เชื่อมั่นได้สูงกว่า



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_{S30} และ f_p

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะบริเวณที่ตั้งของชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยการตรวจวัดการสั่นขนาดเล็กที่ผิวดิน เพื่อใช้ศึกษาคุณสมบัติของชั้นดินด้านการขยายขนาดคลื่นแผ่นดินไหว คือ คาบอิทธิพลหลัก และความเร็วคลื่นเฉือน โดยทำการการศึกษาจำนวน 36 บริเวณในพื้นที่ประมาณ 80x80 ตารางกิโลเมตร เพื่อประเมินค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตรแรก (V_{S30}) และค่าคาบอิทธิพลหลัก (T_p) ผลการศึกษาพบว่าชั้นดินบริเวณอ่าวไทย โดยเฉพาะเขตจังหวัดสมุทรปราการมีค่า V_{S30} ต่ำที่สุด ประมาณ 70 เมตร/วินาที และค่า T_p มีค่ายาวที่สุดประมาณ 1.1 วินาที เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมากที่สุด และแนวโน้มของบริเวณอื่นคือ ค่า V_{S30} เพิ่มขึ้น และ T_p สั้นลงในพื้นที่ตอนกลางและตอนเหนือของพื้นที่ศึกษาที่ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมีค่าลดลง โดยบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาในจังหวัดนครปฐมมีค่า V_{S30} สูงที่สุดประมาณ 220 เมตร/วินาที และค่า T_p มีค่าสั้นที่สุดประมาณ 0.4 วินาที ข้อมูลของแต่ละพื้นที่สามารถใช้จำแนกประเภทของชั้นดินเพื่อการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างเหมาะสม และใช้ในการวางแผนจัดการด้านแผ่นดินไหวในเขตพื้นที่นี้ได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยที่ RDG533002 และทุนช่วยเหลือการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมูลนิธิโทรเทเพื่อส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย ครั้งที่ 16 (พ.ศ. 2552) ขอขอบคุณ คุณกิตติศักดิ์ พิทักษ์วงศ์ ที่ให้คำปรึกษา รวมทั้งถ่ายทอดเทคนิคในการใช้เครื่องมือ วิธีการวิเคราะห์ และข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่องานวิจัยนี้ อีกทั้งขอขอบคุณ คุณตฤณ บุญงาม คุณนรากร บุญเต็ม และคุณอมรเทพ จิระศักดิ์จรรย์ศรี สำหรับความช่วยเหลือในงานภาคสนาม

7. บรรณานุกรม

- [1] กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
- [2] กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2552, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302)
- [3] นคร ภู่วโรดม และ กิตติศักดิ์ พิทักษ์วงศ์, 2553, การศึกษาคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งด้วยการตรวจวัดคลื่นขนาดเล็กที่ผิวดินวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 21 ฉบับที่ 3
- [4] Y. Nakamura (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", Q. Rep. Railw. Tech. Res. Inst. 30, No. 1, 25–33.
- [5] K. Aki (1957), "Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Microtremors", Bulletin of the Earthquake Research Institute, No. 22, 415–456.
- [6] H. Okada (2003), "The Microtremor Survey Method (translated by Koya Suto)", Geophysical Monograph Series, No.12, Society of Exploration Geophysicists.

- [7] T. Yokoi (2005), "Combination of Down Hill Simplex Algorithm with Very Fast Simulated Annealing Method-an Effective Cooling Schedule for Inversion of Surface Wave's Dispersion Curve", Proc. of the Fall Meeting of Seismological Society of Japan. B049.
- [8] จิตติ ปาลศรี และ อาณัติ เรืองรัมย์, 2552, ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นเฉือน ค่า N สำหรับการตอกกระบอกฝาทดสอบและกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำของดินในกรุงเทพฯ และบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [9] S.A. Ashford (2000), "Shear Wave Velocity Testing at Chulalongkorn University and SIIT Bangkok, Thailand." Test Report No. TR-2000/15, University of California, San Diego, Department of Structural Engineering, Structural Systems Research Project.
- [10] H. Arai and F. Yamazaki (2002), "Exploration of S-Wave Velocity Structure Using Microtremor Arrays in the Greater Bangkok, Thailand", Earthquake Disaster Mitigation Research Center
- [11] ประภาพร จันทะมาศ, 2550, การเปรียบเทียบความเร็วคลื่นเฉือนของชั้นดินกรุงเทพฯ ที่ได้จากการวิเคราะห์คลื่นผิวดินแบบหลายช่องสัญญาณ กับวิธีวัดจากหลุมเจาะ, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [12] R. Tuladhar (2003), "Classification of Soil Profile and Seismic Response Analysis (Elastic) in the Greater Bangkok Area", Internal Report, Structural Engineering Field of Study, Asian Institute of Technology, Thailand
- [13] R. Tuladhar, F. Yamazaki, P. Wanitchai, and J. Saita (2004), "Seismic Microzonation of Greater Bangkok Using Microtremor Observation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 33, 211-225