

## บทที่ 5 ผลการศึกษา การศึกษาคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้ง

### 5.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูล

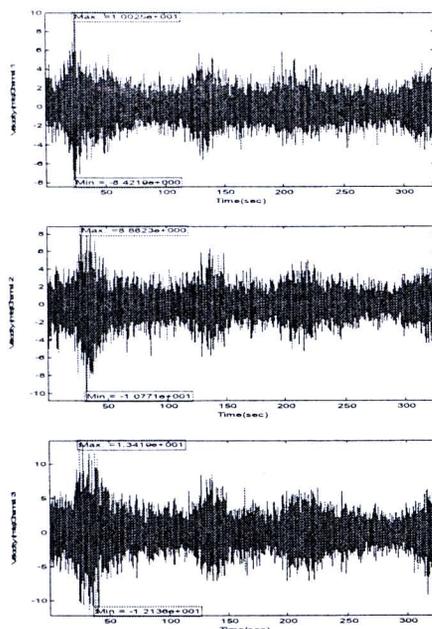
#### 5.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าคาบอิทธิพลหลัก โดยวิธี H/V Spectrum Ratio

ในส่วนนี้จะแสดงการวิเคราะห์การศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาค่าคาบอิทธิพลหลัก (Predominant Period) โดยวิธี H/V Spectrum Ratio ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจะอธิบายกระบวนการโดยใช้ตัวอย่าง วัดเจ็ดยอด ซึ่งมีการเก็บข้อมูลทั้งหมด 32,768 ข้อมูล, Sampling Rate 100 Hz เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการต่าง ๆ ในการวิเคราะห์โดยวิธีนี้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการวิเคราะห์

1. ข้อมูลการตรวจวัดได้ข้อมูลทั้งหมด 32,768 ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาแบ่งเป็น 16 ส่วน ส่วนละ  $2^{11} = 2048$  ข้อมูล = 20.48 วินาที เพื่อให้สามารถใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ดังรูปที่ 5.1

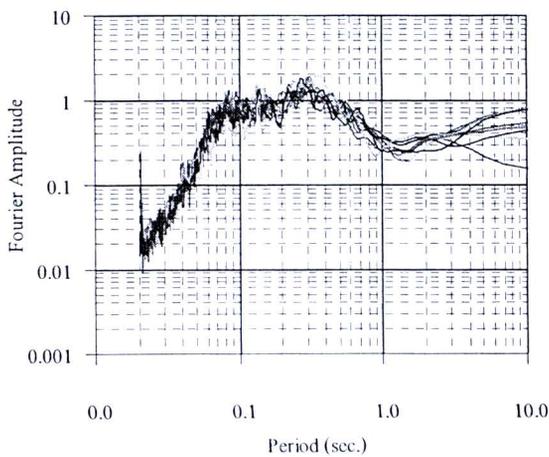
2. นำข้อมูลทั้งหมด 16 ส่วน มาตัดส่วนของสัญญาณที่ถูกรบกวนจากแหล่งภายนอก เช่น จากยานพาหนะหรือคนเดินรถบวนออก (โดยพิจารณาโดยผู้ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลส่วนต่าง ๆ หากมีช่วงใดที่มีผลตอบสนองรุนแรงผิดปกติมาก จัดเป็นสัญญาณที่ถูกรบกวน) โดยข้อมูลของตัวอย่างนี้ในส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมีทั้งหมด 10 ส่วนและข้อมูลในส่วนที่สัญญาณรบกวนมีทั้งหมด 6 ส่วน



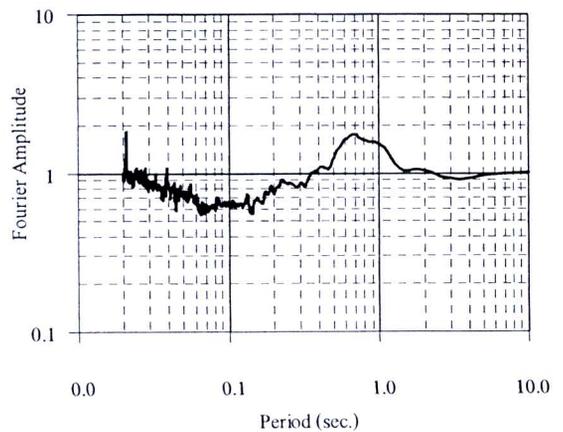
รูปที่ 5.1 ข้อมูลการตรวจวัด วัดเจ็ดยอด จังหวัดเชียงใหม่ (NS, EW และ UD ตามลำดับ)

3. จากข้อมูลที่ตัดสัญญาณออกเหลือจำนวน 10 ส่วน แล้วนำไปวิเคราะห์หา Fourier Spectrum โดยใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ของแต่ละส่วน ใช้ Parzen Window 0.40 Hz จากนั้นหาค่า Average Fourier Spectrum ของแต่ละแกน โดยข้อมูลทั้งหมดมีดังนี้

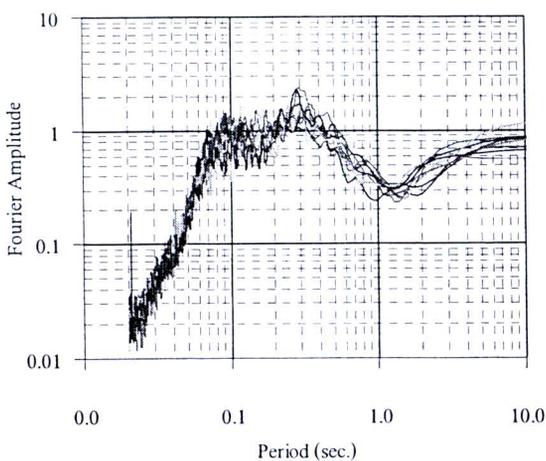
- Fourier Spectrum ของแกน NS จำนวน 10 ส่วนคำนวณเป็น Average Fourier Spectrum ของแกน NS
- Fourier Spectrum ของแกน EW จำนวน 10 ส่วนคำนวณเป็น Average Fourier Spectrum ของแกน EW
- Fourier Spectrum ของแกน UD จำนวน 10 ส่วนคำนวณเป็น Average Fourier Spectrum ของแกน UD



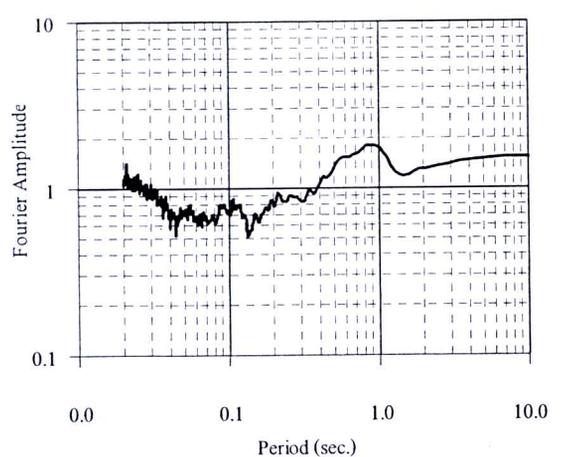
Fourier Spectrum ของแกน NS



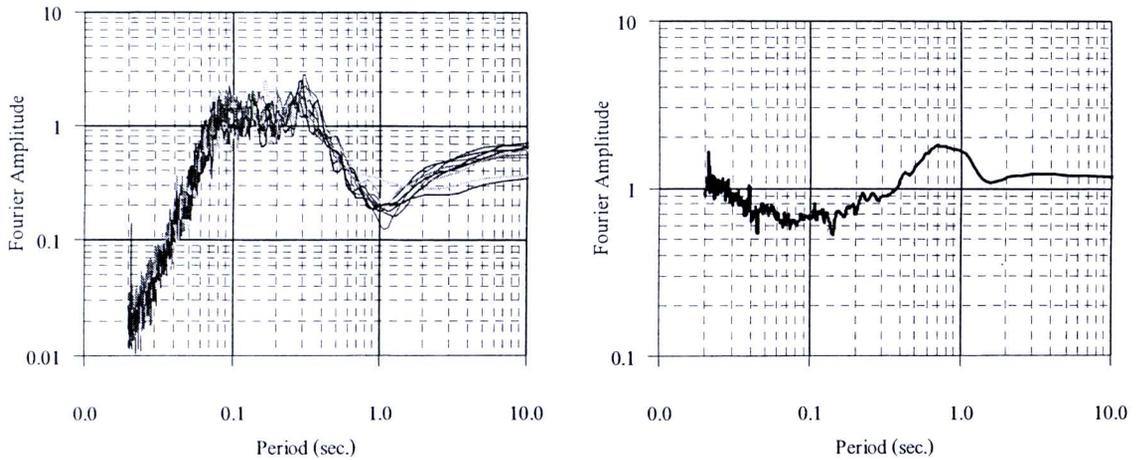
Average Fourier Spectrum ของแกน NS



Fourier Spectrum ของแกน EW



Average Fourier Spectrum ของแกน EW



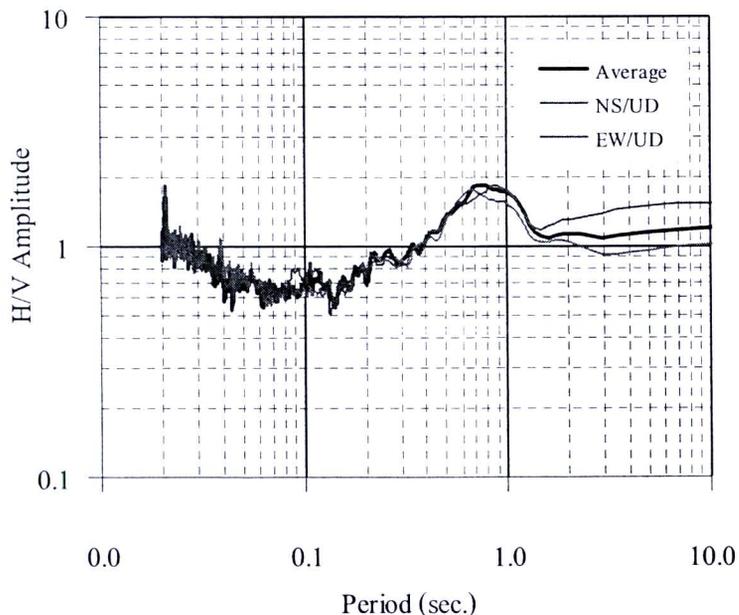
Fourier Spectrum ของแกน UD

Average Fourier Spectrum ของแกน UD

รูปที่ 5.2 Fourier Spectrum และ Average Fourier Spectrum ของแกน NS, EW, UD

4. จาก Average Fourier Spectrum ของแกน NS, EW, UD ใช้สมการ 5.1 คำนวณหาค่า H/V Spectrum Ratio

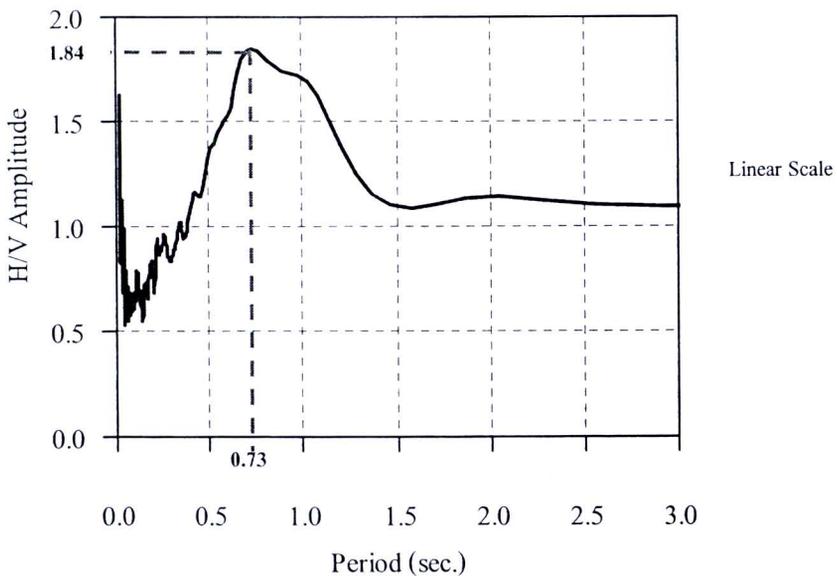
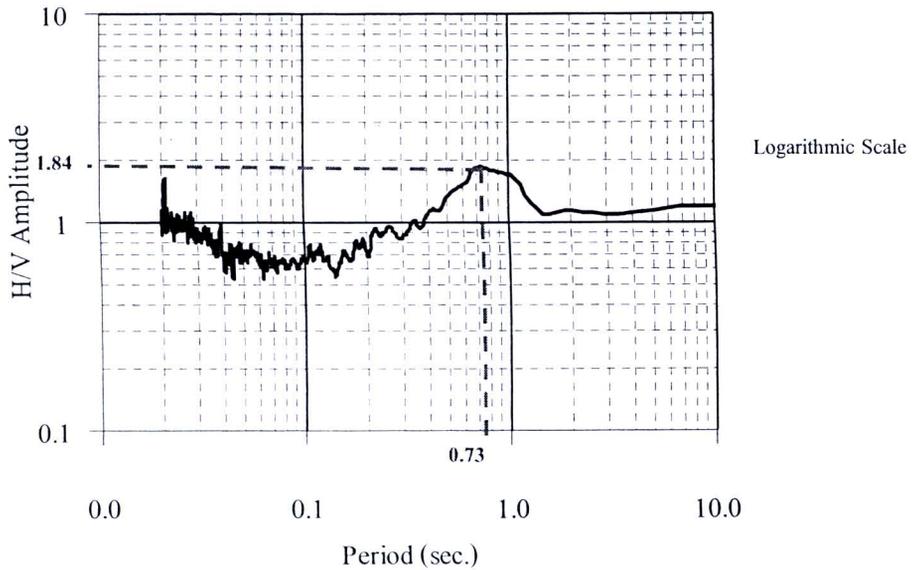
$$\text{Fourier Amplitude Ratio} = AR = \frac{H_S}{H_V} = \frac{\sqrt{F_{NS} \times F_{EW}}}{F_{UD}} \quad (5.1)$$



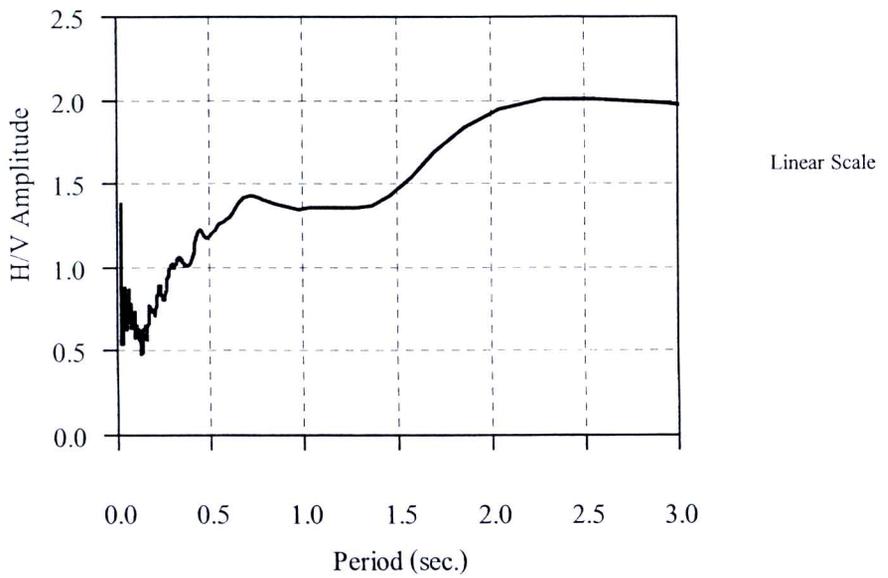
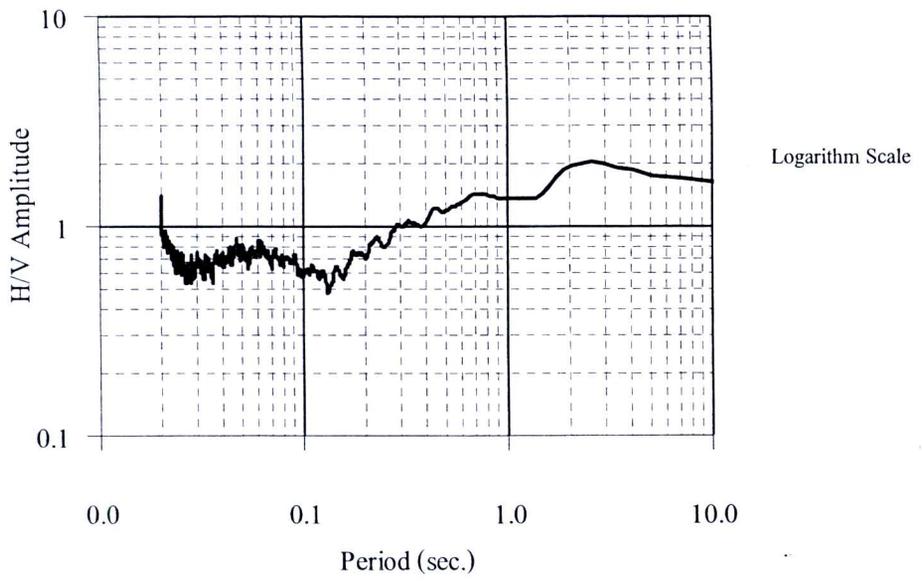
รูปที่ 5.3 H/V Spectrum Ratio ของวัดเจ็ดยอด จังหวัดเชียงใหม่

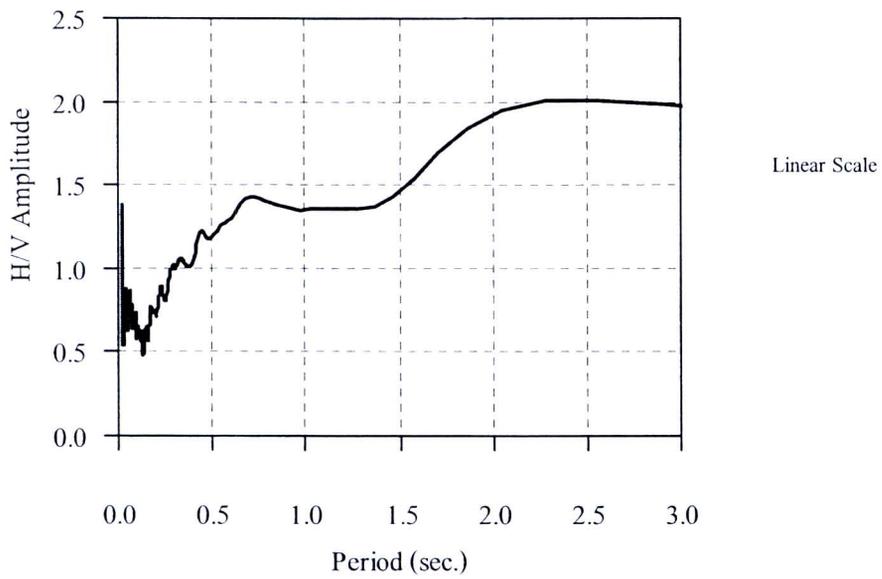
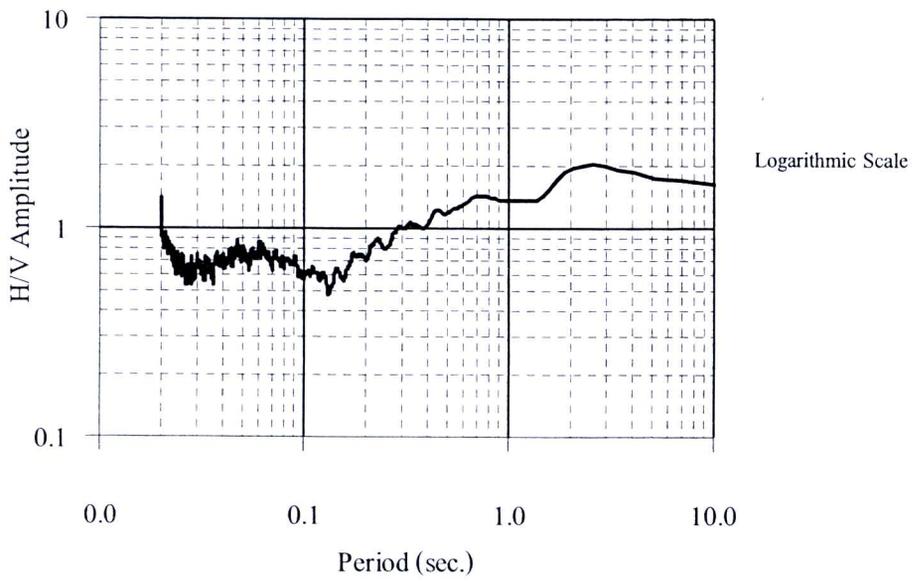
5. หาค่าคาบอิทธิพลหลัก (Predominant Period) และค่า จาก H/V Spectrum Ratio ซึ่งค่าคาบอิทธิพลหลักหาได้จาก ค่าคาบที่มี H/V Amplitude สูงสุด เช่น ดังรูปที่ 5.4 แสดงค่า คาบ

อิทธิพลหลัก (Predominant Period) และค่า Amplification Factor ของวัดเจ็ดยอดในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีค่า คาบอิทธิพลหลัก (Predominant Period) เท่ากับ 0.73 วินาที และมี Amplification Factor เท่ากับ 1.84 แต่สำหรับบางจุดที่ไม่สามารถระบุค่าเหลือไม่สามารถระบุค่าคาบอิทธิพลหลัก (NO CLEAR PEAK) ได้เนื่องจากไม่ค่าคาบที่มี H/V Amplitude สูงสุด อยู่ในกราฟ ตัวอย่างเช่น วัดเจดีย์หลวงในจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 H/V Spectrum Ratio ของวัดเจ็ดยอด จังหวัดเชียงใหม่



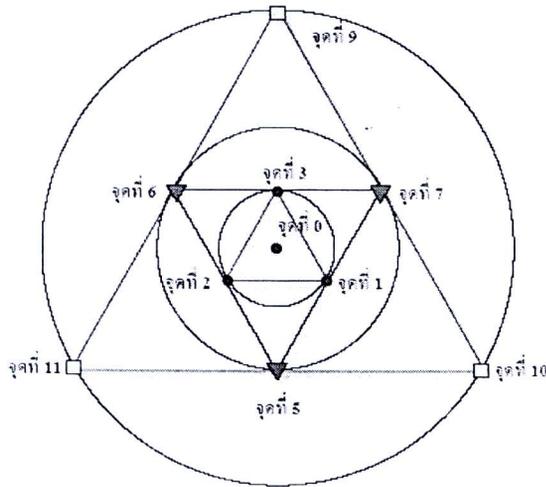


รูปที่ 5.5 H/V Spectrum Ratio ของวัดเจดีย์หลวง จังหวัดเชียงใหม่

### 5.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก โดยวิธี 2sSPAC

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก โดยใช้ข้อมูลของบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีการเก็บข้อมูลจำนวน 6 ครั้ง สำหรับรัศมีการวัด 3 รัศมี คือ 50 ม. 25 ม. และ 12.5 ม. โดยใช้ห้วงวัดจำนวน 3 ชุด มีลำดับการตรวจวัดดังตาราง 5.1 และมีรูปแบบดังรูปที่ 5.6 ซึ่งข้อมูลการตรวจวัดมี 9 ชุดข้อมูล เพื่อบันทึกค่า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ สำหรับรัศมีทั้งหมดดังนี้

- สำหรับรัศมี 50 ม. ได้ข้อมูล 3 ชุดข้อมูลสำหรับตำแหน่ง 0-9, 0-10 และ 0-11
- สำหรับรัศมี 25 ม. ได้ข้อมูล 3 ชุดข้อมูลสำหรับตำแหน่ง 0-5, 0-6 และ 0-7
- สำหรับรัศมี 12.5 ม. ได้ข้อมูล 3 ชุดข้อมูลสำหรับตำแหน่ง 0-1, 0-2 และ 0-3



รูปที่ 5.6 การเก็บข้อมูลแบบ Circular Array บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการตรวจวัดหาความเร็วคลื่นเฉือน บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่	รูปแบบการวัด	ครั้งที่	รัศมี ม.	ตำแหน่ง		
				Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ข้อมูลการวัด Sampling Rate = 100 Hz ความยาวข้อมูล = 20 นาที (120,000 data)	Circular Array  รูปแบบที่ 1	1	50	0	11	9
		2	50	0	10	9
		3	25	0	6	5
		4	25	0	6	7
		5	12.5	0	3	1
		6	12.5	0	3	2

### 5.1.3 การบันทึกข้อมูลที่ตรวจวัด

ข้อมูลที่ตรวจวัดได้เมื่อแปลงข้อมูลแล้วจะมีการบันทึกลงในรูปแบบ ASCII ซึ่งมีจำนวนแถว (row) ตามความยาวข้อมูล ซึ่งในกรณีนี้คือ 120,000 แถว และมีจำนวนหลัก (column) ตามจำนวนหัววัด คือ หัววัด 1 หัววัดจะวัด 3 คือ แกนการสั่นแนวตั้ง 1 แกน (Z) และแนวราบ 2 แกน(X, Y) ดังนั้นจำนวนหลักของข้อมูล

- การตรวจวัดด้วยหัววัด 1 หัววัด จะมีจำนวนหลัก 3 หลัก
- การตรวจวัดด้วยหัววัด 2 หัววัด จะมีจำนวนหลัก 6 หลัก
- การตรวจวัดด้วยหัววัด 3 หัววัด จะมีจำนวนหลัก 8 หลัก เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องรับ

สัญญาณที่สามารถรับหัววัดตัวที่ 3 ได้เพียงสองแกนเท่านั้นซึ่งต้องเลือกว่าจะเก็บข้อมูลแกนใด

ข้อมูลที่ได้แสดงในรูปที่ 5.7 เป็นข้อมูลที่บันทึกจากการเก็บข้อมูลจากจำนวน 3 หัววัด ซึ่งมีจำนวนหลักทั้งหมด 8 หลัก โดยที่ หลักที่ 1 หลักที่ 2 หลักที่ 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากหัววัดที่ 1 (Sensor 1) โดยหลักที่ 1 และหลักที่ 2 เป็นค่าความเร็วในแนวราบ 2 แกนซึ่งตั้งฉากกันจะเรียกว่า NS1, EW1 ในการศึกษานี้จะจัดให้กำหนดให้ทิศทางของแกน X ของทุกหัววัดมีทิศเหนือ หลักที่ 3 เป็นความเร็วในแนวตั้งจะเรียกว่า UD1

สำหรับหลักที่ 4 หลักที่ 5 หลักที่ 6 เป็นข้อมูลที่ได้จากหัววัดที่ 2 (Sensor 2) โดยหลักที่ 4 และหลักที่ 5 เป็นค่าความเร็วในแนวราบ 2 แกนซึ่งตั้งฉากกันจะเรียกว่า NS2, EW2 หลักที่ 6 เป็นความเร็วในแนวตั้งจะเรียกว่า UD2

สำหรับหลักที่ 6 หลักที่ 7 เป็นข้อมูลที่ได้จากหัววัดที่ 3 (Sensor 3) โดยหลักที่ 7 จะเป็นค่าความเร็วในแนวราบ 1 แกนซึ่งตั้งฉากกันจะเรียกว่า NS3 สำหรับหลักที่ 8 เป็นความเร็วใน

แนวตั้งหรือแนวราบ ซึ่งต้องเลือกที่จะบันทึกแกนใด ซึ่งในการศึกษานี้ต้องการค่าความเร็วแนวตั้ง จึงเรียกว่า UD3

Sensor 1			Sensor 2			Sensor 3	
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8
NS1	EW1	UD1	NS2	EW2	UD2	NS3	UD3
-10.450400	1.012500	2.792200	-1.553800	16.059100	-20.715200	-1.456900	7.436200
-10.843800	1.453400	2.271000	-6.039200	10.768100	-16.230400	-2.684100	13.469800
-11.291100	0.407300	1.544700	-11.831900	4.411100	-11.669900	-6.397700	18.126000
-12.125600	-3.319300	1.581800	-15.746500	-1.234300	-7.634300	-10.221900	19.215400
-13.137800	-8.215500	0.583900	-15.944400	-6.173900	-2.904600	-12.200900	16.168400
-12.781100	-12.250600	-2.452000	-12.997800	-10.418100	3.308400	-11.560200	11.090400
-9.960900	-14.610400	-6.964000	-9.111800	-13.844800	9.507700	-9.344700	7.324000
-4.967300	-14.834400	-10.640900	-6.591100	-17.335300	13.921300	-7.225200	6.552000
0.436000	-14.805800	-11.227600	-5.368600	-21.264500	16.418300	-6.729900	7.325400
5.241200	-15.600500	-7.819800	-4.257400	-25.126900	17.797300	-7.611600	6.853600
8.063200	-18.011500	-1.611700	-2.762400	-27.320900	18.897100	-8.781900	4.028900
7.989900	-20.843100	5.453600	-1.401100	-27.376200	19.964700	-8.661100	-0.915000
6.027600	-22.088500	12.430200	-0.841200	-26.211900	20.783900	-6.289700	-5.405900
3.328700	-21.090800	18.782400	-0.562200	-24.507600	20.496400	-2.228500	-6.406700
1.421700	-19.173600	23.136000	0.229300	-22.556700	18.924200	2.049400	-3.230200
0.538300	-17.379300	24.647400	0.885000	-20.356700	16.127500	4.515200	2.240300
-0.232400	-16.603600	23.040700	1.439900	-18.360900	11.510800	4.685000	7.113100
-1.405900	-16.923600	19.116100	2.627300	-16.935800	5.193700	2.850400	8.941400
-2.583200	-16.835700	13.392800	5.362500	-16.383100	-1.678900	0.713100	7.467100
-3.490900	-15.171200	6.075800	9.700100	-16.360100	-8.029200	-0.949000	3.157800
-3.560700	-11.543500	-1.959000	14.532300	-16.721000	-13.213700	-1.699800	-2.403300
-2.732700	-6.584100	-8.918500	17.959800	-16.910600	-15.972700	-0.096400	-7.381500
-1.620400	-0.881100	-13.642600	18.654100	-15.564800	-14.678600	3.639100	-9.609400
-0.527300	4.438200	-16.299700	16.572700	-12.462000	-9.042000	8.361300	-8.092900
-0.252700	7.749500	-17.665700	13.417100	-7.808400	-0.261000	12.201700	-3.389300
-0.469000	8.844300	-18.784500	10.395100	-2.610400	8.997200	12.988600	1.986500
0.314400	8.938800	-19.926600	8.373200	2.373600	15.815800	9.651900	5.775600
3.370700	9.114600	-19.565600	7.021900	6.579700	17.989900	3.984300	6.450000

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกจากการตรวจวัดโดยใช้ 3 หัววัด

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก ต้องการข้อมูลเพียงความเร็วในแนวตั้ง คือ UD1, UD2 และ UD3 เท่านั้นแต่ข้อมูลที่เหลือคือ NS1, EW1, NS2 และ EW2 สามารถนำไปใช้ในการการศึกษาค่าคาบอิทธิพลหลัก (Predominant Period) โดยวิธี H/V Spectrum Ratio ได้โดยการตรวจวัดไปพร้อมกัน

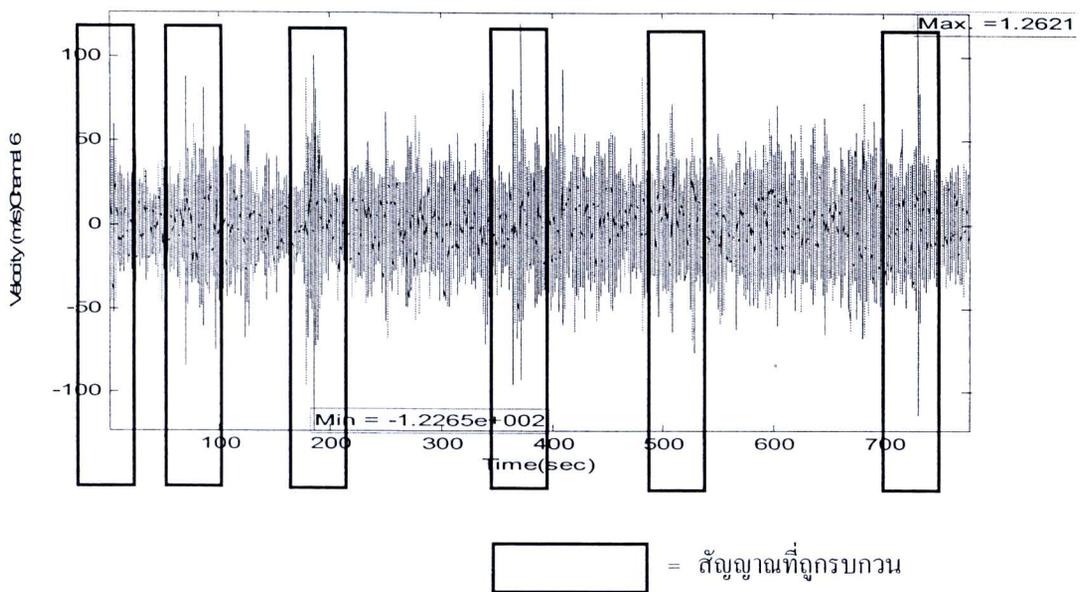
#### 5.1.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉือนตามความลึก

1. ข้อมูลการตรวจวัดที่ได้ จะได้ข้อมูลทั้งหมด 120,000 ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้มาแบ่งเป็นส่วนส่วนละ  $2^{12} = 4096$  data = 40.96 วินาที เพื่อให้สามารถใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ได้ ซึ่งจะได้ทั้งหมด 29 ส่วน ซึ่งในที่นี้ต้องทำทั้ง 6 ไฟล์ที่บันทึกข้อมูลไว้

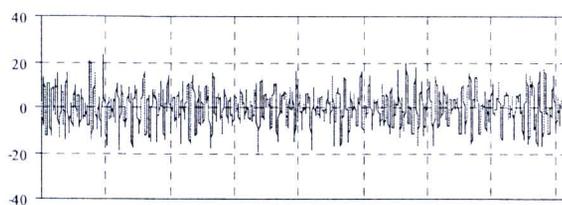
2. นำข้อมูลทั้งหมด 29 ส่วน มาตัดส่วนของสัญญาณที่ถูกรบกวนจากแหล่งภายนอก เช่น จากยานพาหนะหรือคนเดินรบกวนออก ดังรูปที่ 5.8 แสดงถึงสัญญาณในการตรวจวัดครั้งที่ 1 รัศมี

50 ม. และมีตำแหน่งการตรวจวัดคือ หัววัดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง 0 (UD1) หัววัดที่ 2 อยู่ที่ตำแหน่ง 11 (UD2) และหัววัดที่ 3 อยู่ที่ตำแหน่ง 9 (UD3) โดยดัดภาพเป็นสัญญาณของ UD2 สำหรับข้อมูลในส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมีทั้งหมด 19 ส่วนและข้อมูลในส่วนที่สัญญาณรบกวนมีทั้งหมด 10 ส่วน

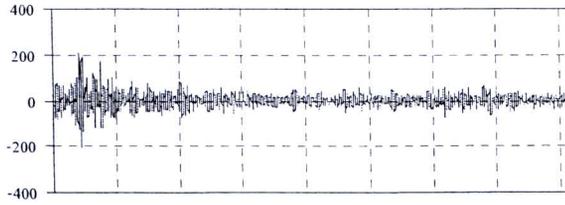
โดยวิธีการการตัดสัญญาณที่รบกวนออก พิจารณาจากค่าสูงสุดของความเร็วในช่วงที่วัดได้ ว่าเกินจากข้อมูลส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 5.9 แสดงส่วนที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมีค่าความเร็วสูงสุดไม่เกิน 40 ไมโครเมตรต่อวินาที สำหรับส่วนของสัญญาณรบกวนมีค่าความเร็วสูงสุดเกินกว่า 40 ไมโครเมตรต่อวินาที ซึ่งแสดงใน รูปที่ 5.10



รูปที่ 5.8 สัญญาณในการตรวจวัดมีความยาวข้อมูล 20 นาที (120,000 data)

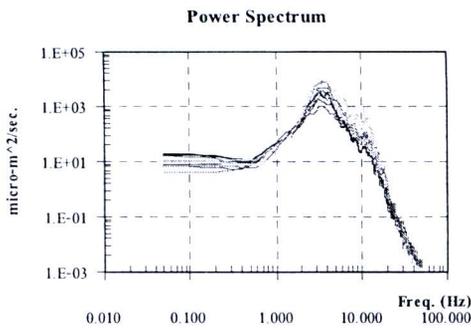


รูปที่ 5.9 ข้อมูลที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

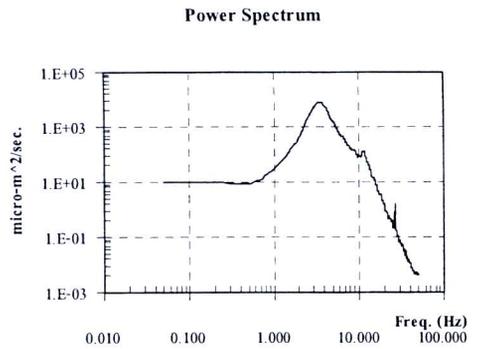


รูปที่ 5.10 ข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน

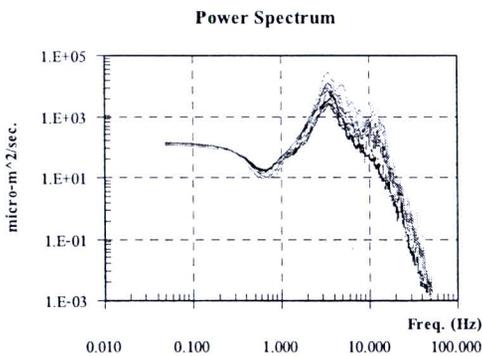
3. จากข้อมูลที่ได้ตัดสัญญาณออกแล้วนำมาหา Power Spectrum และ Cross Power Spectrum ของแต่ละส่วนที่แบ่งออกมา สำหรับรัศมี 50 ม. จะมีชุดข้อมูล 0-9, 0-10 , 0-11 สำหรับรัศมี 25 ม. จะมีชุดข้อมูล 0-5, 0-6, 0-7 และสำหรับรัศมี 12.50 ม. จะมีชุดข้อมูล 0-1, 0-2, 0-3



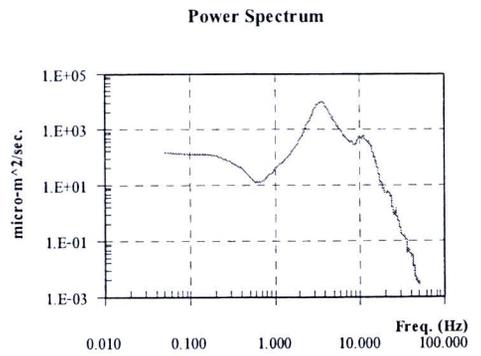
Power Spectrum จุด 0



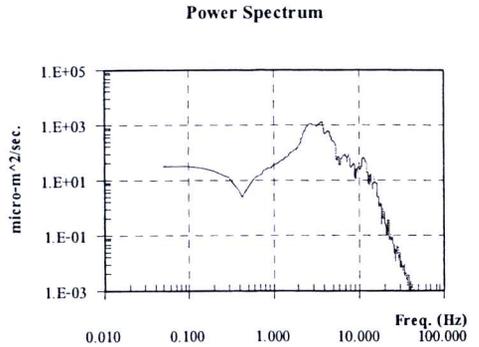
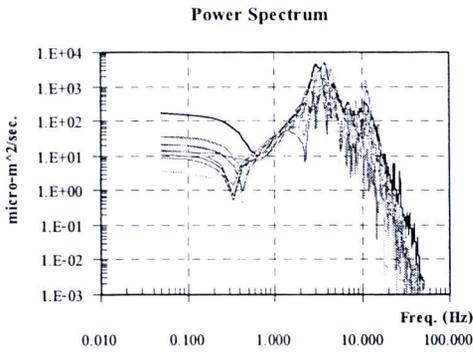
Average Power Spectrum จุด 0



Power Spectrum จุด 9



Average Power Spectrum จุด 9



Cross Power Spectrum จุด 0-9

Average Cross Power Spectrum จุด 0-9

รูปที่ 5.11 Power Spectrum และ Cross Power Spectrum ของจุด 0-9

จากรูปที่ 5.11 แสดง ถึงขั้นตอนการหา Power Spectrum และ Cross Power Spectrum ของจุด 0-9 โดยสุดท้ายผลที่ได้จะนำมาเฉลี่ยในแต่ละส่วนที่แบ่งไว้ได้เป็น Average Power Spectrum และ Average Cross Power Spectrum การหาค่าดังกล่าวต้องทำทั้งหมดทุกชุดข้อมูล ซึ่งสุดท้ายข้อมูลทั้งหมดมีดังนี้

สำหรับรัศมี 50 ม.

- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 9, Average Cross Power Spectrum จุด 0-9
- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 10, Average Cross Power Spectrum จุด 0-10
- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 11, Average Cross Power Spectrum จุด 0-11

สำหรับรัศมี 25 ม.

- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 5, Average Cross Power Spectrum จุด 0-5
- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 6, Average Cross Power Spectrum จุด 0-6
- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 7, Average Cross Power Spectrum จุด 0-7

สำหรับรัศมี 12.50 ม.

- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 1, Average Cross Power Spectrum จุด 0-1

- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 2, Average Cross Power Spectrum จุด 0-2

- ค่า Average Power Spectrum จุด 0, Average Power Spectrum จุด 3, Average Cross Power Spectrum จุด 0-3

4. จาก Average Power Spectrum และ Average Cross Power Spectrum ของแต่ละชุดข้อมูล ใช้สมการ 5.2 คำนวณหาค่า SPAC coefficient

$$\rho(\omega; r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\text{real}[S_{CX}(\omega; r, \theta)]}{\sqrt{S_C(\omega; 0, 0) \cdot S_X(\omega; r, \theta)}} d\theta \quad (5.2)$$

ซึ่ง  $\text{real}[.]$  = ส่วนของจำนวนจริงของจำนวนเชิงซ้อน

$S_C(\omega; 0, 0)$  = The power spectrum ของจุด C(0, 0)

$S_X(\omega; r, \theta)$  = The power spectrum ของจุด X(r,  $\theta$ )

$S_{CX}(\omega; r, \theta)$  = The cross spectrum ระหว่าง  $u(t; \omega, 0, 0)$  และ  $u(t; \omega, r, \theta)$

ตัวอย่างการคำนวณ SPAC coefficient ของรัศมี 50 ม.

จากข้อมูลข้อ 3 กำหนดให้

ชุดข้อมูล 0-9

-  $S_{00}$  = Average Power Spectrum จุด 0

-  $S_9$  = Average Power Spectrum จุด 9

-  $S_{0-9}$  = จำนวนจริง ของ Average Cross Power Spectrum จุด 0-9

ชุดข้อมูล 0-10

-  $S_{01}$  = Average Power Spectrum จุด 0

-  $S_{10}$  = Average Power Spectrum จุด 10

-  $S_{0-10}$  = จำนวนจริง ของ Average Cross Power Spectrum จุด 0-10

ชุดข้อมูล 0-11

-  $S_{02}$  = Average Power Spectrum จุด 0

-  $S_{11}$  = Average Power Spectrum จุด 11

-  $S_{0-11}$  = จำนวนจริง ของ Average Cross Power Spectrum จุด 0-11

สมการ 5.3 เมื่อมุมของแต่ละชุดข้อมูล คือ 120 องศา =  $\frac{2\pi}{3}$  ได้ว่า

$$\rho(\omega; r) = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{2\pi}{3} \frac{S_{0-9}}{S_{00} \times S_9} + \frac{2\pi}{3} \frac{S_{0-10}}{S_{01} \times S_{10}} + \frac{2\pi}{3} \frac{S_{0-11}}{S_{02} \times S_{11}} \right) \quad (5.3)$$

$$\rho(\omega; r) = \frac{1}{2\pi} \times \frac{2\pi}{3} \left( \frac{S_{0-9}}{S_{00} \times S_9} + \frac{S_{0-10}}{S_{01} \times S_{10}} + \frac{S_{0-11}}{S_{02} \times S_{11}} \right) \quad (5.4)$$

$$\rho(\omega; r) = \frac{1}{3} \left( \frac{S_{0-9}}{S_{00} \times S_9} + \frac{S_{0-10}}{S_{01} \times S_{10}} + \frac{S_{0-11}}{S_{02} \times S_{11}} \right) \quad (5.5)$$

กำหนดให้

$$\text{SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-9} = \frac{S_{0-9}}{S_{00} \times S_9}$$

$$\text{SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-10} = \frac{S_{0-10}}{S_{01} \times S_{10}}$$

$$\text{SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-11} = \frac{S_{0-11}}{S_{02} \times S_{11}}$$

จากสมการ 5.5 แสดงให้เห็นว่า SPAC coefficient ของการวัดรูปแบบนี้ เป็นค่าเฉลี่ยของ SPAC coefficient (Average SPAC coefficient) ของแต่ละชุดข้อมูลจำนวน 3 ชุดข้อมูล

จากการหา SPAC coefficient ดังที่แสดงในเบื้องต้น ทำให้ได้ข้อมูลแสดงในรูปที่ 5.12 โดยข้อมูลทั้งหมดมีดังนี้

สำหรับรัศมี 50 ม. (Average SPAC coefficient รัศมี 50 ม.)

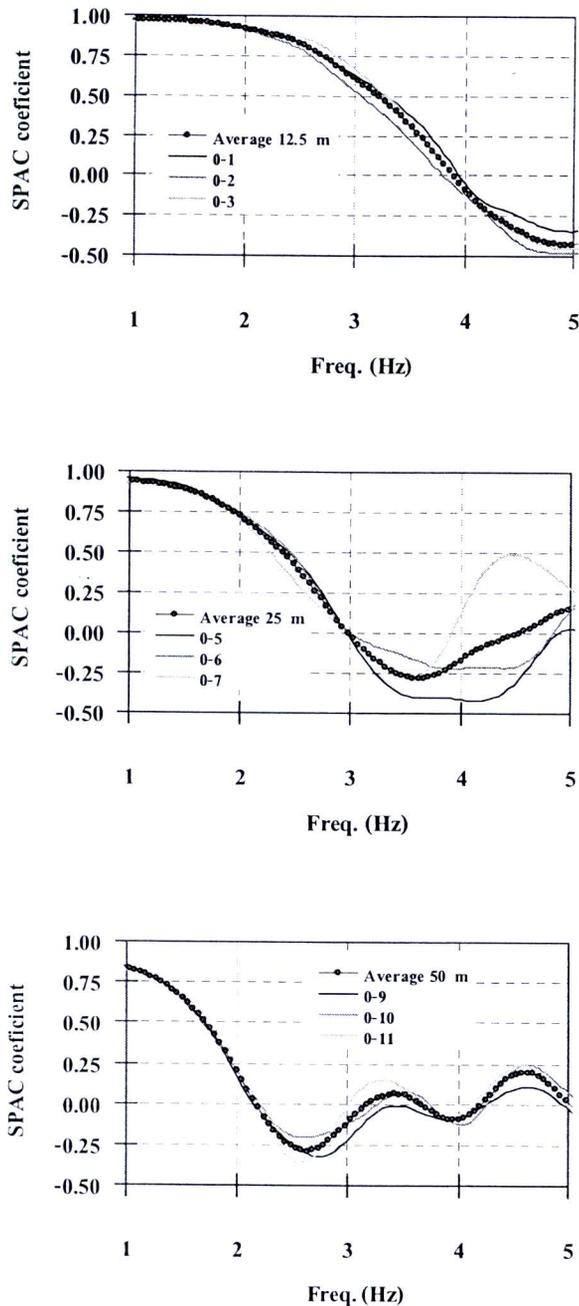
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-9
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-10
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-11

สำหรับรัศมี 25 ม. (Average SPAC coefficient รัศมี 25 ม.)

- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-5
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-6
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-7

สำหรับรัศมี 12.50 ม. (Average SPAC coefficient รัศมี 12.5 ม.)

- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-1
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-2
- SPAC coefficient ของชุดข้อมูล 0-3



รูปที่ 5.12 SPAC Coefficient ของรัศมี 50 ม., รัศมี 25 ม. และรัศมี 12.5 ม.

5. กำหนด Dispersion Curve ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Phase Velocity ( $c(\omega)$ ) และความถี่ โดยรูปที่ 5.14 แสดงการกำหนด Dispersion Curve โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จาก SPAC Coefficient และ The Bessel function of the first kind with zero order ซึ่งกำหนดให้  $S_1, S_2, S_3$  เป็นค่าของ SPAC Coefficient โดยมี  $F_1, F_2, F_3$  เป็นความถี่ของ SPAC Coefficient ดังกล่าวตามลำดับ จากค่า  $S_1$  หาค่า  $X_1$  ได้โดยค่า  $S_1$  ของ SPAC Coefficient

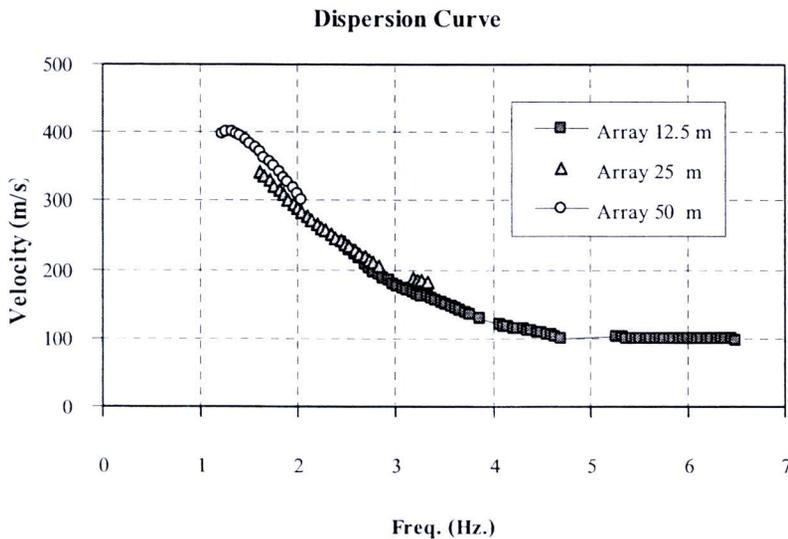
มีค่าเท่ากับ  $J_1$  ของ The Bessel function of the first kind with zero order ค่า  $X_1$  คือคู่อันดับของ  $J_1$  สำหรับค่า  $X_2$  และ  $X_3$  หาค่าได้จากวิธีเดียวกับ  $X_1$

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ค่า  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  แล้ว จึงใช้สมการ

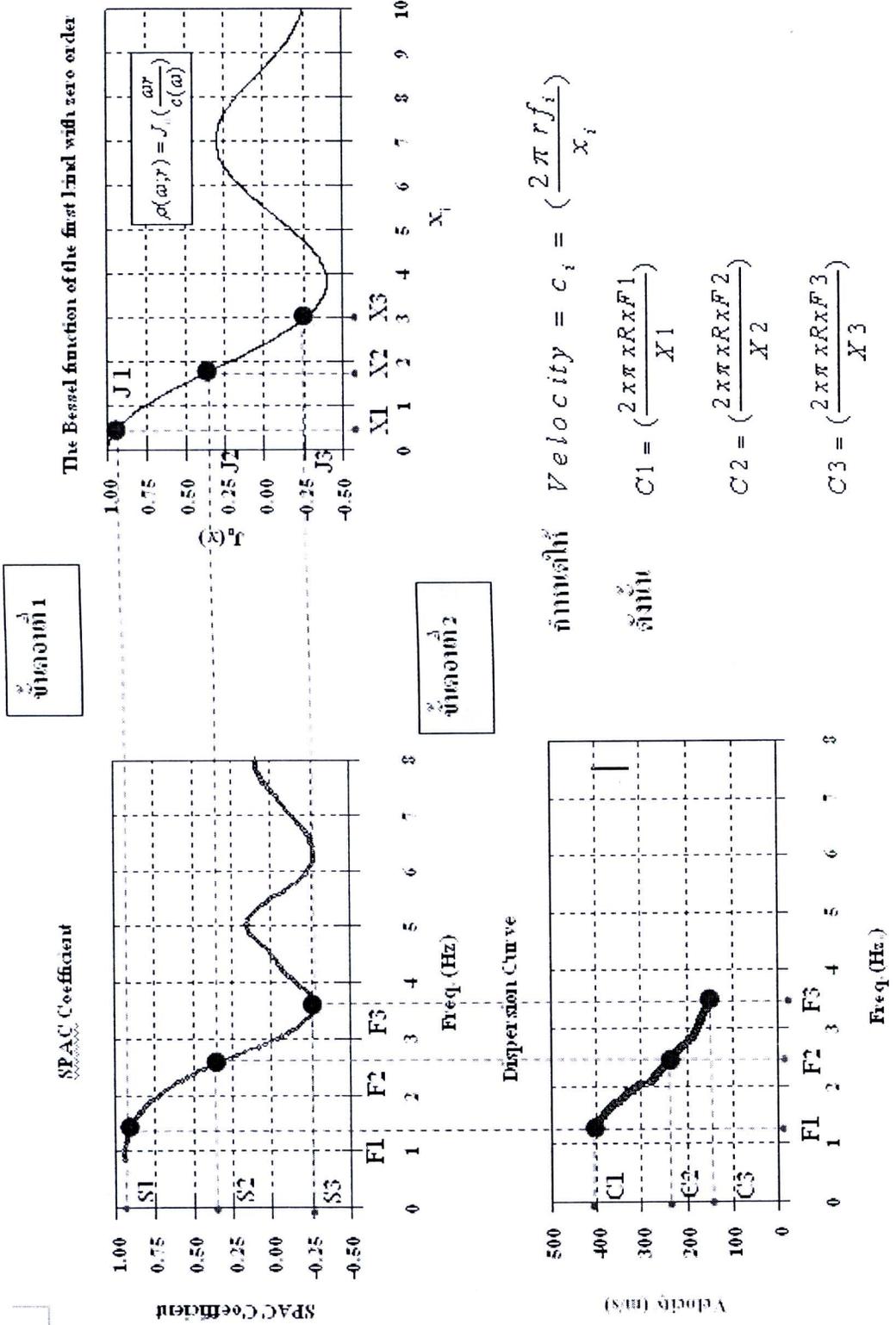
$$Velocity = c_i = \left( \frac{2\pi r f_i}{x_i} \right)$$

เมื่อแทนค่า จะได้  $C1 = \left( \frac{2x\pi x R x F1}{X1} \right)$ ,  $C2 = \left( \frac{2x\pi x R x F2}{X2} \right)$  และ  $C3 = \left( \frac{2x\pi x R x F3}{X3} \right)$

Dispersion Curve ของจุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คำนวณได้จาก 3 รัศมีแสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 Dispersion Curve ของจุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 การคำนวณ Dispersion Curve โดยใช้ Bessel function of the first kind with zero order



```

# Example input file
# Shear Wave Velocity Profiles
# Layer      Iteration Number
# Thickness  1      2      3      4      5      6
.....
10000.0      9.1      222.3      145.3      101.0      106.3
10000.0      9.3      226.9      146.0      101.7      105.3
10000.0      9.5      227.6      146.3      104.1      102.9
10000.0      9.6      227.6      147.1      105.9      111.3
10000.0      10.1      227.6      148.6      119.7      106.3
10000.0      10.4      227.6      150.9      122.9      144.3
10000.0      10.8      227.6      154.0      145.7      162.4
10000.0      11.3      227.6      155.0      166.0      172.3
10000.0      11.6      227.6      162.6      182.9      192.6
10000.0      13.6      227.6      167.9      201.3      202.7
10000.0      13.2      227.6      173.3      215.0      217.3
10000.0      14.0      227.6      179.6      225.3      235.3
10000.0      15.0      227.6      185.9      231.0      240.4
10000.0      16.2      227.6      192.4      235.3      251.2
10000.0      17.3      227.6      195.9      235.9      261.9
10000.0      19.0      227.6      205.3      251.3      272.6
10000.0      20.3      227.6      212.0      262.7      282.3
10000.0      22.7      227.6      215.4      312.3      294.0
10000.0      24.9      227.6      224.7      322.3      304.3
10000.0      27.3      227.6      230.9      321.7      315.6
10000.0      29.3      227.6      226.3      329.9      326.4
10000.0      32.3      227.6      232.6      347.4      337.2
10000.0      35.3      227.6      245.1      354.3      347.9
10000.0      39.3      227.6      259.4      366.6      355.3
10000.0      42.3      227.6      255.3      366.3      365.0
10000.0      46.7      227.6      262.4      371.9      375.3
10000.0      52.3      227.6      265.0      376.9      385.4
10000.0      57.3      227.6      272.2      381.3      395.3
10000.0      59.3      227.6      273.3      381.3      395.3
10000.0      64.3      227.6      285.7      385.7      413.4
10000.0      69.3      227.6      294.3      384.3      427.6
10000.0      74.3      227.6      295.3      386.3      436.4
10000.0      76.3      227.6      291.6      395.3      444.9
10000.0      85.3      227.6      294.3      402.7      459.2
10000.0      89.3      227.6      297.7      402.4      462.1
10000.0      96.3      227.6      300.3      407.9      463.3
10000.0      103.3      227.6      303.6      412.3      476.0
RMS Error  49.60  13.60  7.05  4.74  1.45  0.45
    
```

รูปในการวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการ  
คำนวณย้อนกลับ โปรแกรมจะหยุด  
วิเคราะห์เมื่อ  
RMS Error < 1

```

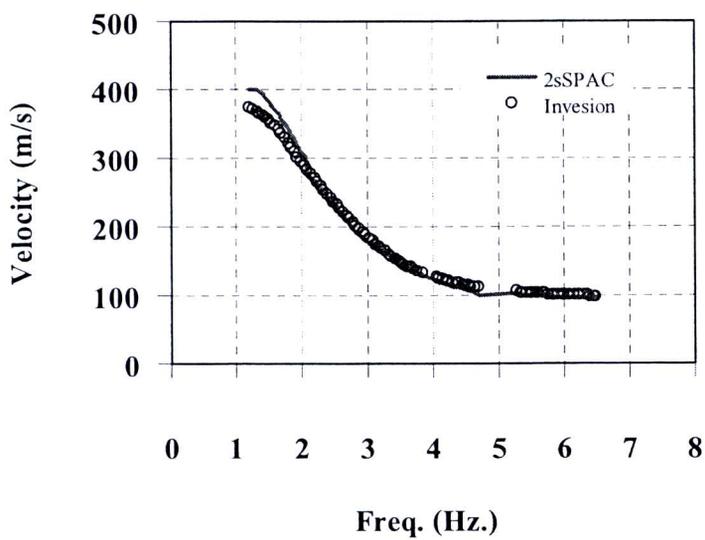
# Final Shear Wave Velocity Profile
# Depth to      Layer      Shear Wave      Standard
# Top of Layer  Thickness  Velocity         Deviation
.....
10000.0      10000.0      106.3      4.1
10000.0      10000.0      105.3      2.6
10000.0      10000.0      102.9      1.4
10000.0      10000.0      111.3      1.1
10000.0      10000.0      106.3      1.1
10000.0      10000.0      144.3      1.1
10000.0      10000.0      162.4      1.1
10000.0      10000.0      172.3      1.1
10000.0      10000.0      192.6      1.1
10000.0      10000.0      202.7      1.1
10000.0      10000.0      217.3      1.1
10000.0      10000.0      235.3      1.1
10000.0      10000.0      240.4      1.1
10000.0      10000.0      251.2      1.1
10000.0      10000.0      261.9      1.1
10000.0      10000.0      272.6      1.1
10000.0      10000.0      282.3      1.1
10000.0      10000.0      294.0      1.1
10000.0      10000.0      304.3      1.1
10000.0      10000.0      315.6      1.1
10000.0      10000.0      326.4      1.1
10000.0      10000.0      337.2      1.1
10000.0      10000.0      347.9      1.1
10000.0      10000.0      355.3      1.1
10000.0      10000.0      365.0      1.1
10000.0      10000.0      375.3      1.1
10000.0      10000.0      385.4      1.1
10000.0      10000.0      395.3      1.1
10000.0      10000.0      402.7      1.1
10000.0      10000.0      402.4      1.1
10000.0      10000.0      407.9      1.1
10000.0      10000.0      412.3      1.1
10000.0      10000.0      427.6      1.1
10000.0      10000.0      436.4      1.1
10000.0      10000.0      444.9      1.1
10000.0      10000.0      459.2      1.1
10000.0      10000.0      462.1      1.1
10000.0      10000.0      463.3      1.1
10000.0      10000.0      476.0      1.1
    
```

รูปที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Swami

#	Frequency (Hz)	Experimental Phase Velocity	Theoretical Phase Velocity	Residual Phase Velocity
1.122	399.06	400.04	-2.98	
1.127	400.04	399.07	0.97	
1.132	399.40	395.71	3.69	
1.137	396.66	391.62	5.04	
1.142	393.69	387.26	6.43	
1.146	393.69	381.69	11.99	
1.151	393.19	378.47	7.72	
1.156	377.02	368.04	9.97	
1.161	370.21	359.82	10.39	
1.166	363.71	351.15	12.56	
1.171	356.74	342.26	14.48	
1.176	349.51	333.77	15.74	
1.181	342.12	325.42	16.70	
1.186	334.49	317.40	17.09	
1.190	326.28	309.74	16.54	
1.195	318.09	302.41	15.68	
2.000	309.67	295.29	14.38	
2.005	301.62	288.61	13.01	
2.010	277.25	282.77	-4.52	
2.015	271.72	278.71	-6.99	
2.020	266.22	269.45	-3.23	
2.025	261.24	263.28	-2.04	
2.030	256.26	257.20	-0.94	
2.034	251.64	251.22	0.42	
2.039	244.04	245.29	-1.25	
2.044	239.29	239.52	-0.23	
2.049	234.22	233.74	0.48	
2.054	229.17	228.05	0.12	
2.059	224.65	222.46	2.19	
2.064	219.04	216.66	2.38	
2.069	209.42	211.66	-2.24	
2.074	202.23	206.47	-4.24	
2.079	196.55	201.42	-4.87	
2.084	191.59	196.54	-4.95	
2.089	186.66	191.82	-5.16	
2.094	182.61	187.27	-4.66	
2.099	179.40	182.86	-3.46	
3.000	176.12	178.69	-2.57	
3.005	173.07	174.64	-1.57	
3.010	170.21	170.78	-0.57	
3.015	167.41	167.10	0.31	
3.020	164.79	163.86	1.13	
3.025	162.11	160.28	1.83	
3.030	159.40	157.06	2.34	
3.035	156.67	154.06	2.61	
3.040	153.69	151.26	2.43	
3.045	151.12	148.69	2.43	
3.050	148.27	146.35	1.92	
3.055	145.59	144.27	1.32	
3.060	142.78	142.42	0.36	
3.065	139.96	140.81	-0.85	
3.070	137.06	139.41	-2.35	
3.075	134.15	138.14	-3.99	
3.080	131.92	137.07	-5.15	
3.085	129.99	136.24	-6.25	
3.090	128.13	135.61	-7.48	
3.095	126.54	135.11	-8.57	
4.000	125.66	134.76	-9.10	
4.005	124.57	134.57	-9.99	
4.010	123.76	134.42	-10.66	
4.015	123.02	134.39	-11.37	
4.020	122.43	134.48	-12.05	
4.025	121.99	134.67	-12.68	
4.030	121.66	134.94	-13.28	
4.035	121.43	135.27	-13.84	
4.040	121.29	135.65	-14.36	
4.045	121.23	136.07	-14.84	
4.050	121.23	136.52	-15.29	
4.055	121.29	137.00	-15.71	
4.060	121.40	137.50	-16.10	
4.065	121.56	138.02	-16.46	
4.070	121.76	138.56	-16.80	
4.075	122.01	139.11	-17.10	
4.080	122.30	139.67	-17.37	
4.085	122.63	140.24	-17.61	
4.090	123.00	140.81	-17.81	
4.095	123.41	141.39	-17.98	
4.100	123.86	141.97	-18.11	
4.105	124.34	142.55	-18.21	
4.110	124.85	143.13	-18.28	
4.115	125.38	143.71	-18.33	
4.120	125.93	144.29	-18.36	
4.125	126.50	144.86	-18.36	
4.130	127.09	145.43	-18.34	
4.135	127.69	146.00	-18.31	
4.140	128.30	146.56	-18.26	
4.145	128.92	147.12	-18.19	
4.150	129.55	147.67	-18.12	
4.155	130.19	148.22	-18.03	
4.160	130.84	148.76	-17.92	
4.165	131.49	149.29	-17.79	
4.170	132.15	149.81	-17.64	
4.175	132.81	150.32	-17.47	
4.180	133.48	150.82	-17.28	
4.185	134.15	151.31	-17.07	
4.190	134.83	151.79	-16.84	
4.195	135.51	152.26	-16.59	
4.200	136.19	152.72	-16.32	
4.205	136.87	153.17	-16.03	
4.210	137.55	153.61	-15.72	
4.215	138.23	154.04	-15.39	
4.220	138.90	154.46	-15.03	
4.225	139.57	154.87	-14.65	
4.230	140.24	155.27	-14.25	
4.235	140.90	155.66	-13.82	
4.240	141.56	156.04	-13.37	
4.245	142.21	156.41	-12.90	
4.250	142.86	156.77	-12.41	
4.255	143.50	157.12	-11.90	
4.260	144.14	157.46	-11.37	
4.265	144.77	157.79	-10.82	
4.270	145.39	158.11	-10.25	
4.275	146.00	158.42	-9.66	
4.280	146.60	158.72	-9.05	
4.285	147.19	159.01	-8.42	
4.290	147.77	159.29	-7.77	
4.295	148.34	159.56	-7.10	
4.300	148.90	159.82	-6.41	
4.305	149.45	160.07	-5.70	
4.310	150.00	160.31	-4.97	
4.315	150.53	160.54	-4.22	
4.320	151.15	160.76	-3.45	
4.325	151.75	160.97	-2.66	
4.330	152.34	161.17	-1.85	
4.335	152.91	161.36	-1.02	
4.340	153.47	161.53	-0.17	
4.345	154.02	161.69	0.70	
4.350	154.56	161.84	1.51	
4.355	155.09	161.97	2.26	
4.360	155.70	162.09	2.95	
4.365	156.29	162.19	3.58	
4.370	156.86	162.28	4.15	
4.375	157.41	162.35	4.66	
4.380	157.94	162.40	5.11	
4.385	158.55	162.44	5.50	
4.390	159.14	162.47	5.83	
4.395	159.71	162.48	6.10	
4.400	160.26	162.48	6.31	
4.405	160.79	162.46	6.46	
4.410	161.30	162.42	6.55	
4.415	161.79	162.36	6.58	
4.420	162.26	162.28	6.55	
4.425	162.71	162.18	6.46	
4.430	163.14	162.06	6.31	
4.435	163.55	161.92	6.10	
4.440	163.94	161.76	5.83	
4.445	164.31	161.58	5.50	
4.450	164.66	161.38	5.15	
4.455	165.00	161.16	4.78	
4.460	165.32	160.92	4.38	
4.465	165.62	160.66	3.95	
4.470	165.90	160.39	3.49	
4.475	166.16	160.10	3.00	
4.480	166.40	159.79	2.48	
4.485	166.62	159.46	1.93	
4.490	166.82	159.11	1.35	
4.495	167.00	158.74	0.74	
4.500	167.16	158.35	0.11	
4.505	167.30	157.94	-0.52	
4.510	167.42	157.51	-1.15	
4.515	167.52	157.06	-1.76	
4.520	167.60	156.59	-2.35	
4.525	167.66	156.10	-2.92	
4.530	167.70	155.59	-3.47	
4.535	167.72	155.06	-4.00	
4.540	167.72	154.51	-4.51	
4.545	167.70	153.94	-5.00	
4.550	167.66	153.35	-5.47	
4.555	167.60	152.74	-5.92	
4.560	167.52	152.11	-6.35	
4.565	167.41	151.46	-6.76	
4.570	167.28	150.79	-7.14	
4.575	167.13	150.10	-7.50	
4.580	166.96	149.39	-7.83	
4.585	166.77	148.66	-8.14	
4.590	166.56	147.91	-8.42	
4.595	166.33	147.14	-8.68	
4.600	166.08	146.35	-8.91	
4.605	165.81	145.54	-9.12	
4.610	165.52	144.71	-9.30	
4.615	165.21	143.86	-9.45	
4.620	164.88	142.99	-9.57	
4.625	164.53	142.10	-9.66	
4.630	164.16	141.19	-9.72	
4.635	163.77	140.26	-9.75	
4.640	163.36	139.31	-9.75	
4.645	162.93	138.34	-9.72	
4.650	162.48	137.35	-9.66	
4.655	162.01	136.34	-9.57	
4.660	161.52	135.31	-9.45	
4.665	161.01	134.26	-9.30	
4.670	160.48	133.19	-9.12	
4.675	159.93	132.10	-8.91	
4.680	159.36	130.99	-8.68	
4.685	158.77	129.86	-8.42	
4.690	158.16	128.71	-8.13	
4.695	157.53	127.54	-7.81	
4.700	156.88	126.35	-7.46	
4.705	156.21	125.14	-7.08	
4.710	155.52	123.91	-6.67	
4.715	154.81	122.66	-6.23	
4.720	154.08	121.39	-5.76	
4.725	153.33	120.10	-5.27	
4.730	152.56	118.79	-4.75	
4.735	151.77	117.46	-4.20	
4.740	150.96	116.11	-3.62	
4.745	150.13	114.74	-3.01	
4.750	149.28	113.35	-2.38	
4.755	148.41	111.94	-1.73	
4.760	147.52	110.51	-1.06	
4.765	146.61	109.06	-0.37	
4.770	145.68	107.59	0.34	
4.775	144.73	106.10	1.07	
4.780	143.76	104.59	1.79	
4.785	142.77	103.06	2.50	
4.790	141.76	101.51	3.19	
4.795	140.73	99.94	3.86	
4.800	139.68	98.35	4.51	
4.805	138.61	96.74	5.14	
4.810	137.52	95.11	5.75	
4.815	136.41	93.46	6.34	
4.820	135.28	91.79	6.91	
4.825	134.13	90.10	7.46	
4.830	132.96	88.39	8.00	
4.835	131.77	86.66	8.51	
4.840	130.56	84.91	9.00	
4.845	129.33	83.14	9.47	
4.850	128.08	81.35	9.92	
4.855	126.81	79.54	10.35	
4.860	125.52	77.71	10.76	
4.865	124.21	75.86	11.15	
4.870	122.88	73.99	11.52	
4.875	121.53	72.10	11.87	
4.880	120.16	70.19	12.20	
4.885	118.77	68.26	12.51	
4.890	117.36	66.31	12.80	
4.895	115.93	64.34	13.07	
4.900	114.48	62.35	13.32	
4.905	113.01	60.34	13.55	
4.910	111.52	58.31	13.76	
4.915	110.01	56.26	13.95	
4.920	108.48	54.19	14.12	
4.925	106.93	52.10	14.27	
4.930	105.36	50.00	14.40	
4.935	103.77	47.88	14.51	
4.940	102.16	45.74	14.60	
4.945	100.53	43.58	14.67	
4.950	98.88	41.40	14.72	
4.955	97.21	39.20	14.75	
4.960	95.52	36.98	14.76	
4.965	93.81	34.74	14.75	
4.970	92.08	32.48	14.72	
4.975	90.33	30.20	14.67	
4.980	88.56	27.90	14.60	
4.985	86.77	25.58	14.51	
4.990	84.96	23.24	14.40	
4.995	83.13	20.88	14.27	
5.000	81.28	18.50	14.12	

Dispersion Curve โดยวิธี  
2sSPAC เปรียบเทียบ  
Dispersion Curve โดยวิธีการ  
คำนวณย้อนกลับของ  
โปรแกรม Swami

รูปที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรม Swami (ต่อ)



รูปที่ 5.17 Dispersion Curve ที่ได้จาก วิธี 2sSPAC เปรียบเทียบกับโปรแกรม Swami

## 5.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของชั้นดินบริเวณที่ตั้งโดยการวัด Microtremor บนพื้นดิน แบบ 1 จุด

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะบริเวณที่ตั้งของชั้นดินด้วยการตรวจวัด ในส่วนแรกคือผลการตรวจวัดด้วยวิธีการวัดการสั่นไหวในระดับต่ำ หรือ Microtremor บนพื้นดิน แบบ 1 จุด (Single-Point Microtremor Observation) โดยได้ดำเนินการศึกษารวมทั้งหมด 100 ตำแหน่ง ผลที่วิเคราะห์คือค่าคาบการตอบสนองหลักของชั้นดิน หรือ Predominant period ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 และได้มีการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากงานวิจัยก่อนหน้าซึ่งดำเนินการในลักษณะเดียวกัน คือ Srisoros (2003) โดยที่ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 5.18 ข้อมูลในตารางที่ 5.2 แสดงตำแหน่งที่ตรวจวัด ค่า Predominant period ที่วิเคราะห์ได้ รวมทั้งค่าจากงานของ Srisoros (2003) ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันซึ่งแสดงเป็นระยะทางที่ห่างกันเพื่อเปรียบเทียบไว้ อย่างไรก็ตาม พบว่าข้อมูลจากหลายตำแหน่ง ไม่ปรากฏค่า Predominant period ที่ชัดเจน ซึ่งสำหรับผลจากการวัด 100 ตำแหน่งของงานวิจัยนี้พบว่า มีถึง 48 ตำแหน่ง ที่ไม่สามารถหาค่า Predominant period ได้ และเพื่อเปรียบเทียบกับผลจาก Srisoros (2003) ข้อมูลที่ไม่สามารถระบุค่าได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ได้ถูกตัดออกและเสนอผลเฉพาะตำแหน่งที่หาค่าได้ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งพบว่า ค่า Predominant period มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย (ไม่เกิน 15%) หากตำแหน่งของการตรวจวัดใกล้เคียงกัน (ห่างกันไม่เกิน 50 เมตร) แต่ผลจะมีความแตกต่างกันได้มากหากตำแหน่งตรวจวัดไม่ตรงกัน (หรือห่างกันหลายร้อยเมตร) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบค่า Predominant period ที่ค่อนข้างต่ำกว่าผลจาก Srisoros (2003) ซึ่งในงานวิจัยนั้นแสดงค่า Predominant period ที่ใกล้เคียงกับหรือมากกว่า 1 วินาที อยู่หลายตำแหน่ง ซึ่งผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่า ค่า Predominant period ของดินอ่อนบริเวณ กทม.และปริมณฑล มีค่าในช่วง 0.8-1.2 วินาที ซึ่งสำหรับจังหวัดเชียงใหม่ที่ตั้งอยู่บริเวณชั้นดินที่แข็งกว่า ค่า Predominant period ควรจะมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นตามลักษณะที่พบในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจวัด Microtremor บนพื้นดิน แบบ 1 จุด รวม 100 ตำแหน่ง

No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
1	ค่ายกาวิละ	18-46-36.0	99-00-29.0	0.49	0.51	CD13	452
					0.70	CE05	471
					0.52	CC19	418
2	วัดศรีโฆง	18-47-46.0	99-00-05.1	0.71	0.73	CD09	745
					0.37	CD10	1847
					0.59	CE12	950
					0.38	CD07	784
3	วัดฟ้าฮ่าม	18-48-13.9	99-00-20.2	0.54	NO PEAK	CC20	166
4	פורס เชียงใหม่	18-41-39.5	98-55-39.6	0.54	NO PEAK	CC06	1208
5	บ้านพักนักกีฬา	18-50-17.5	98-57-54.5	NO PEAK	NO PEAK	CB03	800
6	ข้างมหาวิทยาลัย คอนโดร้าง	18-49-00.5	98-57-40.2	0.53	NO PEAK	CE01	940
7	ติด อบต. สุเทพ	18-46-37.7	98-57-09.9	0.76	NO PEAK	CC01	1800
8	หอประชุม มช	18-47-34.8	98-57-54.6	NO PEAK	NO PEAK	CE04	195
9	วัดสวนดอก	18-47-20.5	98-58-05.5	1.28	NO PEAK	CE04	356
10	วัดโลกโมฬี	18-47-46.7	98-58-57.5	0.93	NO PEAK	CD27	160
11	วัดพระสิงห์	18-47-17.7	98-58-54.8	NO PEAK	NO PEAK	CD28	186
12	วัดหมื่นสาร	18-46-38.8	98-59-03.6	NO PEAK	NO PEAK	CD21	277
					0.82	CD19	292
13	ใกล้ ROMANA CM	18-46-15.5	98-59-13.0	NO PEAK	0.79	CD18	493
					0.82	CD19	580
					0.76	CB21	463
14	วัดชัยมงคล	18-46-51.4	99-00-16.2	0.63	0.52	CC19	338
15	วัดบุพพาราม	18-47-17.5	98-59-53.6	0.73	1.10	CD12	
					NO PEAK	CA06	117
					NO PEAK	CD11	221
16	วัดป่าแพ่ง	18-48-14.8	98-59-59.0	Error	0.38	CD07	196

No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
17	วัดเจดีย์หลวง	18-47-14.0	98-59-15.6	NO PEAK	NO PEAK	CA03	70
18	คณะวิศวกรรม	18-47-42.2	98-57-07.8	0.47	0.39	CA02	24
19	บ้านสวนคอร์ท	18-47-38.5	98-58-36.3	NO PEAK	NO PEAK	CB22	397
20	พณิชยการเชียงใหม่	18-47-00.2	98-59-37.5	NO PEAK	NO PEAK	CD24	560
21	ฟิเอสคอนโด	18-47-36.6	99-01-32.6	NO PEAK	0.40	CE09	600
22	ราชภัฏเชียงใหม่	18-48-28.8	98-59-07.3	0.85	NO PEAK	CD03	270
					NO PEAK	CB01	610
23	ริมน้ำแม่จัน	18-47-59.6	98-57-35.2	0.21	NO PEAK	CD30	640
24	ริเวอร์ไซด์คอนโด	18-45-55.5	99-00-18.0	0.46	0.70	CD14	250
25	โรงแรมธารินทร์	18-48-19.5	98-58-09.0	0.26	0.85	CE14	425
					1.10	CD02	650
26	โรงแรมสุเมต	18-47-29.6	98-59-25.4	NO PEAK	NO PEAK	CD25	230
27	วิทยาลัยพลศึกษาเชียงใหม่	18-47-57.3	98-59-19.6	NO PEAK	0.98	CD05	420
					0.93	CD06	580
28	วิทยาลัยฟอีสเทิน	18-46-15.7	98-58-33.3	NO PEAK	NO PEAK	CC02	450
					NO PEAK	CC08	750
29	ศรีธนาพานิช	18-47-53.0	98-58-21.0	NO PEAK	NO PEAK	CB22	360
30	ศรีพัฒน์	18-47-21.4	98-58-29.8	NO PEAK	NO PEAK	CD29	400
31	อาเขตอิน	18-48-05.9	99-00-56.8	0.38	0.69	CE10	180
32	อาคารคณะมนุษยศาสตร์	18-48-12.5	98-57-00.8	0.37	0.32	CE03	140
33	อาคารเรียนคณะแพทย์	18-47-24.0	98-58-21.6	NO PEAK	NO PEAK	CD29	120
34	อาคารคณะวิทยาศาสตร์ 40 ปี	18-48-04.9	98-57-22.1	NO PEAK	0.32	CE03	780
					NO PEAK	CE02	910
35	อาเอสคอนโด	18-47-07.0	99-01-24.0	NO PEAK	0.71	CA10	700
					0.59	CA14	500
					0.40	CE09	460

No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
36	อิมพีเรียลแมนนิ่ง	18-46-58.8	98-59-52.8	NO PEAK	NO PEAK	CD11	320
					1.10	CD12	310
37	อุดมวิทยยา	18-48-50.4	98-56-40.0	NO PEAK	NO PEAK	CE15	200
38	เอสเคเคแมนชั่น	18-48-33.0	98-59-33.8	0.47	0.35	CD04	300
39	ลานจอดรถ	18-47.749	98- 58.462	NO PEAK	NO PEAK	CB22	180
40	บ้านพักคณะแพทย์ มช	18-47.597	98-58.171	NO PEAK	NO PEAK	CD29	370
					NO PEAK	CE04	464
41	บ้านพักคณะแพทย์ มช	18-47.464	98-58.104	NO PEAK	NO PEAK	CD29	400
					NO PEAK	CE04	400
42	ชอยคริวตันแก้ว	18-47.250	98-58.261	NO PEAK	NO PEAK	CD29	400
					NO PEAK	CE04	400
43	บ้านพักตรงข้ามเทคนิคการแพทย์ มช	18-47.177	98-58.526	NO PEAK	NO PEAK	CD29	650
					NO PEAK	CA05	620
44	บ้านพักตรงข้ามเทคนิคการแพทย์ มช	18-47.177	98-58.526	NO PEAK	NO PEAK	CD29	650
					NO PEAK	CA05	620
45	รอบคูเมือง ถ. สนามกีฬา	18-47.861	98-59.366	NO PEAK	0.93	CD06	375
46	ถ. สนามกีฬา	18-47.840	98-59.447	0.35	0.93	CD06	235
47	ถ. สิทธิวงษ์	18-47.565	98-59.714	0.35	0.73	CD09	200
48	ชอยใกล้กับเอทีคอมพิวเตอร์	18-47.656	98-59.828	0.41	0.73	CD09	350
49	ถ. คชสาร 3	18-47.134	98-59.643	0.40	NO PEAK	CD11	540
50	ควงกลม เชียงใหม่ ใกล้คูเมือง	18-47.059	98-59.630	0.66	NO PEAK	CD11	580
51	ชอยเยื้องกับโรงแรมณีนาราค	18-46.824	98-59.822	0.66	0.93	CD16	150
52	ชอยมีหอพัก ใกล้คูเมือง	18-46.780	98-59.499	NO PEAK	0.73	CD20	400
53	ข้างโรงงาน,โรงเรียนอนุบาล ใกล้คูเมือง	18-46.778	98-59.330	NO PEAK	NO PEAK	CD21	580
54	รพ. สวนปรุง	18-46.809	98-58.771	NO PEAK	NO PEAK	CA05	250
					NO PEAK	CD22	360

No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
55	ใกล้ร้านสะดวกแสงเดือน	18-47.921	98-57.758	0.4	NO PEAK	CD30	300
				NO PEAK	NO PEAK	CD30	300
56	หน้า อบต.สันผีเสื้อ อ.เมือง	18-49.634	98-59.886	0.57	NO PEAK	CC22	550
				NO PEAK	NO PEAK	CC22	550
57	ใกล้บ้านเอื้ออาทรป่าตัน	18-49.788	98-58.807	0.76	NO PEAK	CB03	1500
				0.7	NO PEAK	CB03	1500
58	วัดคัมภีร์	18-47.572	98-58.893	0.82	NO PEAK	CD28	460
59	SR Land	18-49.753	99-03.238	0.76	NO PEAK	CB13	450
				0.6	NO PEAK	CB13	450
60	บ้านพักบ. พีวีเอฟ อ.แมริม	18-56.175	98-55.968	0.21	NO PEAK	CB05	2800
61	สะพานข้ามแม่น้ำปิง	18-51.859	98-58.158	NO PEAK	NO PEAK	CB04	2400
					0.26	CC23	2420
					0.39	CC24	2000
62	ที่พักริมทางหลวง	18-51.364	98-58.102	NO PEAK	NO PEAK	CB03	1700
					0.39	CC24	1700
63	วัดเจดีย์หลวง	18-47.257	98-59.254	NO PEAK	NO PEAK	CA03	70
					NO PEAK	CA04	120
64	วัดช้างมั้น	18-48.966	99-23.973	0.79	NO PEAK	CD25	335
65	วัดพระสิงห์	18-47.326	98-58.867	0.93	NO PEAK	CD28	80
66	สนามบอลราชมงคล	18-48.723	98-57.354	0.4	NO PEAK	CE01	600
					NO PEAK	CE15	1100
67	วัดคูเม่า	18-48.161	98-59.312	0.85	0.98	CD05	20
68	วัดโลกโมฬี	18-47.779	98-58.995	0.73	NO PEAK	CD27	160
69	วัดช้างยืน	18-47.787	98-59.359	NO PEAK	0.61	CD26	370
70	วัดเจ็ดยอด	18-48.506	98-58.321	0.73	0.85	CE14	30

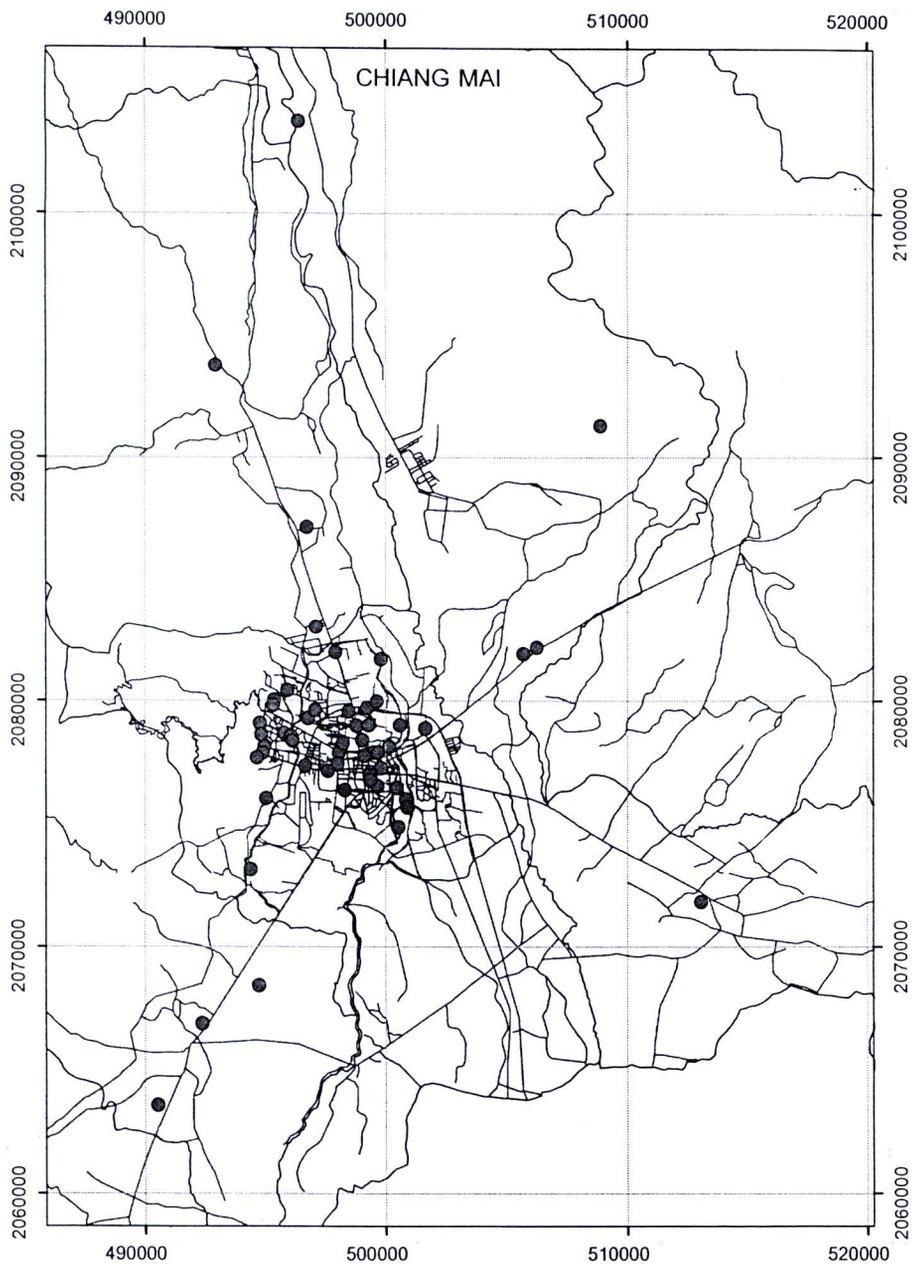
No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
71	ดวงกมล เชียงใหม่	18-47.049	98-59.639	0.68	0.93	CD16	316
					NO PEAK	CD24	576
72	คณะวิศวกรรมโยธา ม.เชียงใหม่	18-47.651	98-57.08	0.41	0.39	CA02	310
73	ศาลากลาง	18-50.444	98-58.339	0.73	NO PEAK	CB03	240
74	ตะวันแดงสาธิตแสงเดือน	18-47.915	98-57.792	0.51	NO PEAK	CD30	321
75	รร.ปรีณศรีร้อยล์	18-47.94	99-0.439	NO PEAK	0.59	CE12	518
					0.50	CE13	641
					NO PEAK	CC20	780
76	วัดเจดีย์หลวง	18-48.053	98-57.049	0.85	NO PEAK	CA04	100
77	คณะเศรษฐศาสตร์ ม.เชียงใหม่	18-47.246	98-59.187	0.44	0.39	CA02	590
78	ภาคสวนแก้ว	18-47.749	98-58.627	NO PEAK	NO PEAK	CB22	350
79	โปลีเทคนิคลานนา	18-48.786	98-59.789	0.27	0.73	CD08	530
					0.35	CD04	600
80	รร.คอนแก้ว อ.แมริม	18-52.668	98-58.13	0.27	NO PEAK	CB04	1300
					0.26	CC23	1400
81	สถานทูตจีน	18-46.826	98-59.033	1.00	NO PEAK	CD21	50
82	ร้านแก้วปาสาด	18-47.546	98-56.946	0.15	0.39	CA02	650
83	รร.สันผักหวาน	18-42.519	98-56.991	0.13	NO PEAK	CC05	1400
84	ต.สันพระนอน	18-45.082	98-56.792	0.85	NO PEAK	CC03	2000
85	รร.สันทรายหลวง	18-50.761	99-2.593	NO PEAK	0.62	CB09	3000
86	ม.แม่ใจ	18-53.743	99-0.389	NO PEAK	NO PEAK	CB08	600
87	รร.ยุพราชวิทยาลัย	18-47.504	98-59.297	NO PEAK	NO PEAK	CD25	200
88	เวียงกุมกาม	18-44.403	98-57.992	NO PEAK	NO PEAK	CC03	950
89	ราชมงคลล้านนา	18-48.697	98-57.33	0.39	NO PEAK	CE01	450
90	รร.บ้านห้วยฮัก	18-54.925	99-5.059	0.35			
91	รร.บ้านหลักป็น	18-49.991	99-3.557	0.73	NO PEAK	CB13	400

No.	Site Location	Location		Predominant Period (s)		Siroros' site	
		N	E	This study	Siroros	Ref. name	Distance (m)
92	สนามกอล์ฟ ยิมคาน่า	18-46.45	99-0.519	0.60	0.7	CE05	380
					0.51	CD13	500
93	รร.สันกำแพงวิทยาคม	18-44.367	99-7.432	0.24	NO PEAK	CC16	2200
94	รร.บ้านศรีงาม อ.สันทราย	19-1.676	98-57.922	0.25			
95	สามแยก รร.สันทรายพิทยาคม	18-55.22	98-59.638	NO PEAK	NO PEAK	CB07	300
96	สามแยกแมริม (บ้านอรวิ)	18-54.492	98-56.969	NO PEAK	NO PEAK	CB05	750
97	ม.นอร์ทเชียงใหม่	18-39.886	98-54.614	0.68	NO PEAK	CC06	2700
98	สถาบันวิจัยข้าว อ.สันป่าตอง	18-36.54	98-54.161	NO PEAK			
99	บ้านถนุกัทร แมนชั่น	18-48.26	98-59.606	0.39	0.35	CD04	500
					0.98	CD05	500
100	รร.แมริม	18-54.923	98-56.24	NO PEAK	NO PEAK	CB05	750

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลการตรวจวัด Microtremor บนพื้นดิน แบบ 1 จุด กับงานวิจัยของ Siroros (2003)

No.	Site Location	Predominant Period (s)		Siroros' site		B/A
		This study (A)	Siroros (B)	Ref. name	Distance (m)	
1	ค่ายกาวิละ	0.49	0.51	CD13	452	1.041
			0.70	CE05	471	1.429
			0.52	CC19	418	1.061
2	วัดศรีโคง	0.71	0.73	CD09	745	1.028
			0.37	CD10	1847	0.521
			0.59	CE12	950	0.831
			0.38	CD07	784	0.535
14	วัดชัยมงคล	0.63	0.52	CC19	338	0.825
15	วัดบุพพาราม	0.73	1.10	CD12		1.507
18	คณะวิศวกรรมช	0.47	0.39	CA02	24	0.830
24	ริเวอร์ไซด์คอนโด	0.46	0.70	CD14	250	1.522
25	โรงแรมธารินทร์	0.26	0.85	CE14	425	3.269
			1.10	CD02	650	4.231
31	อาเขตอิน	0.38	0.69	CE10	180	1.816
32	อาคารคณะมนุษยศาสตร์	0.37	0.32	CE03	140	0.865
38	เอสเคเคแมนชั่น	0.47	0.35	CD04	300	0.745
46	ถ. สนามกีฬา	0.35	0.93	CD06	235	2.657
47	ถ. สิทธิวงศ์	0.35	0.73	CD09	200	2.086
48	ซอยใกล้กับเอทีคอมพิวเตอร์	0.41	0.73	CD09	350	1.780
51	ซอยเชื่อมกับโรงแรมมณีนารากร	0.66	0.93	CD16	150	1.409
67	วัดคูเผ่า	0.85	0.98	CD05	20	1.153
70	วัดเจ็ดยอด	0.73	0.85	CE14	30	1.164
71	ดวงกมล เชียงใหม่	0.68	0.93	CD16	316	1.368
72	วิศวกรรมโยธา ม.เชียงใหม่	0.41	0.39	CA02	310	0.951
77	คณะเศรษฐศาสตร์ ม.เชียงใหม่	0.44	0.39	CA02	590	0.886
79	โปลีเทคนิคลานนา	0.27	0.73	CD08	530	2.704
			0.35	CD04	600	1.296

80	รร.ดอนแก้ว อ.แม่วัง	0.27	0.26	CC23	1400	0.963
82	ร้านแก้วพลาสติก	0.15	0.39	CA02	650	2.600
92	สนามกอล์ฟ	0.60	0.7	CE05	380	1.167
			0.51	CD13	500	0.850
99	บ้านฉัตร แมนชั่น	0.39	0.35	CD04	500	0.897
			0.98	CD05	500	2.513

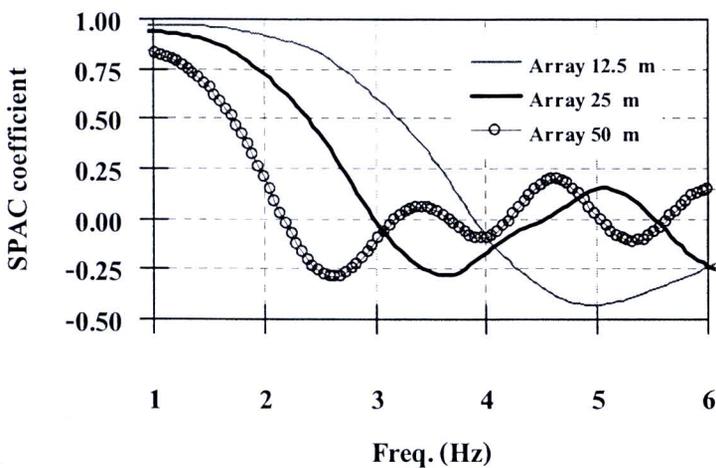


รูปที่ 5.18 ตำแหน่งการตรวจวัด Microtremor บนพื้นดิน แบบ 1 จุด

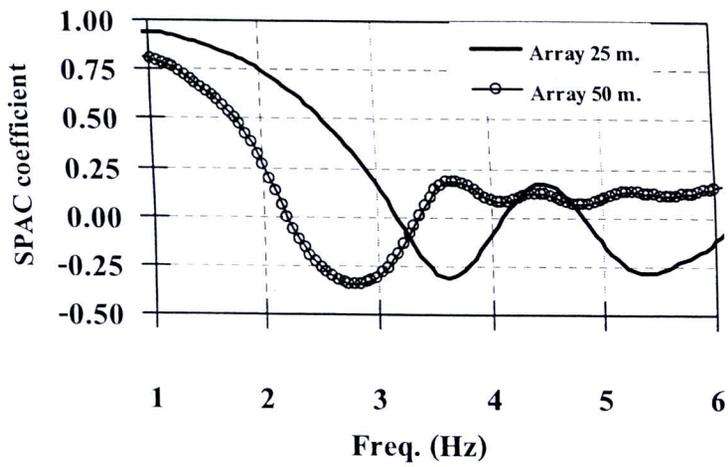
### 5.3 ผลการศึกษาความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก โดยวิธี 2sSPAC

งานวิจัยในส่วนนี้ ได้ดำเนินการศึกษาการตรวจวัดเพื่อหาค่าความเร็วคลื่นเฉือน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินระดับการสั่นสะเทือนของพื้นดินเนื่องจากแผ่นดินไหวที่มีผลเฉพาะที่บริเวณที่ตั้ง โดยในขั้นตอนแรกเป็นการพัฒนากระบวนการวิจัยและตรวจสอบความถูกต้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีทั้งการสำรวจโดยการเจาะหลุมทดสอบและการตรวจวัดแบบ Array Microtremor โดยเริ่มศึกษากับ 4 บริเวณ คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี, กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี (ร.ร. เทศบาล 5)

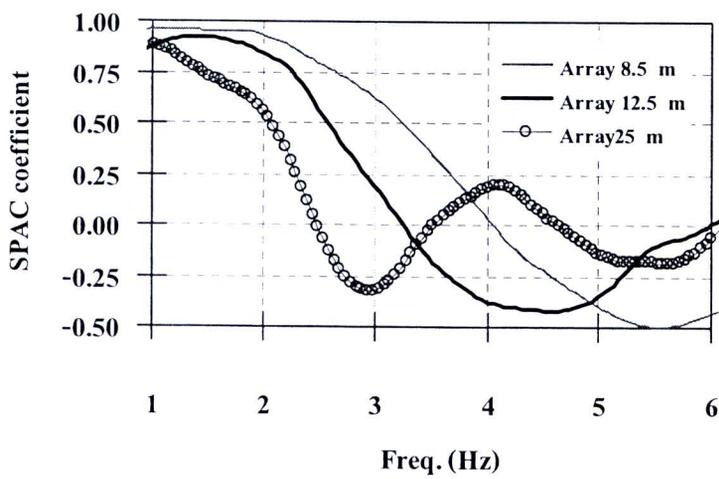
ผลการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึก สำหรับความสัมพันธ์ของค่า SPAC Coefficient กับความถี่ในบริเวณต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 23 ถึง 26 ส่วน Dispersion Curve ของความเร็วคลื่นกับความถี่แสดงรวมในรูปที่ 27 และค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกแสดงในรูปที่ 28 ถึง 31 และเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นเฉือนกับงานวิจัยก่อนหน้า คือ การตรวจวัดแบบ Array Microtremor และวิเคราะห์โดยวิธี FK (Arai and Yamazaki, 2002) และการวัดโดยตรงในหลุมเจาะแบบดาวน์โฮล (จิตติ และ อาณัติ 2552) จากผลการวิเคราะห์หาค่าความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกโดยวิธี 2sSPAC และคำนวณค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยในช่วงความลึก 30 ม. แรก เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดโดยตรงแบบดาวน์โฮลสามารถจัดกลุ่มประเภทชั้นดินได้ ตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program ฉบับปี ค.ศ. 2003 (NEHRP 2003) ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.3 และผลการศึกษาและเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.4 โดยพบว่าการจัดกลุ่มประเภทชั้นดินของทั้ง 4 สถานที่ที่ทดสอบได้ผลออกมาตรงกับวิธีวัดโดยตรงแบบดาวน์โฮล ซึ่งผลคือสำหรับตำแหน่งสำรวจในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา จัดเป็นชั้นดินกลุ่ม E และอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี จัดเป็นชั้นดินกลุ่ม D



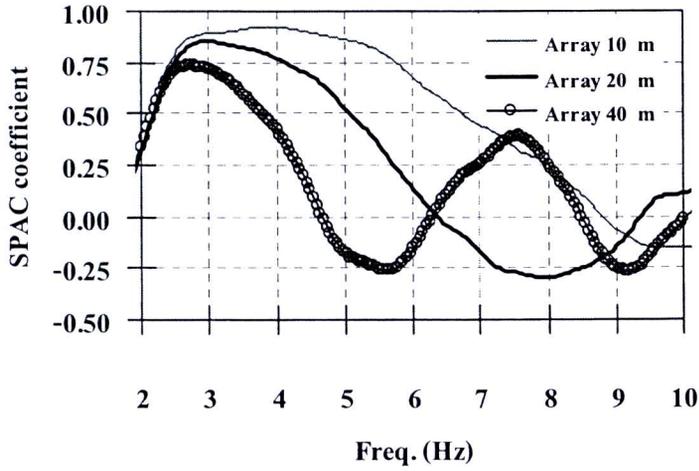
รูปที่ 5.19 SPAC Coefficient บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



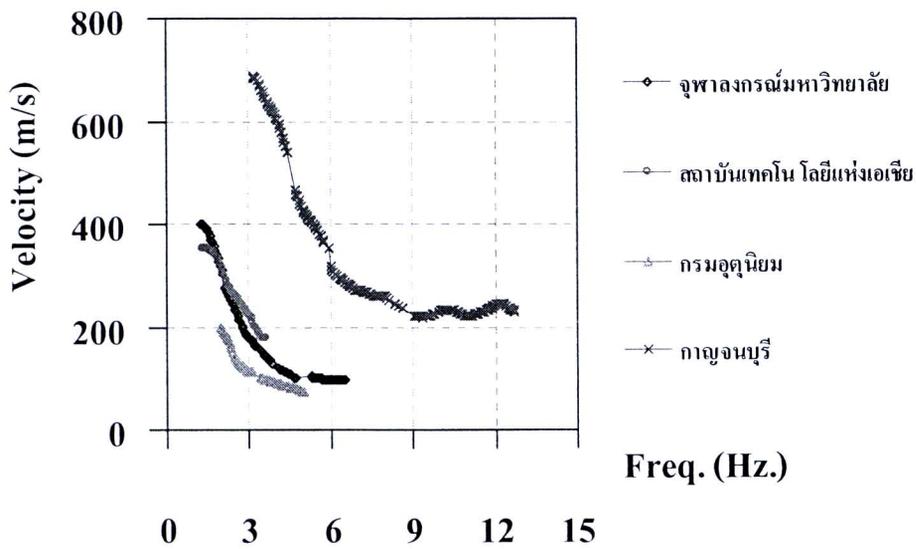
รูปที่ 5.20 SPAC Coefficient บริเวณสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย



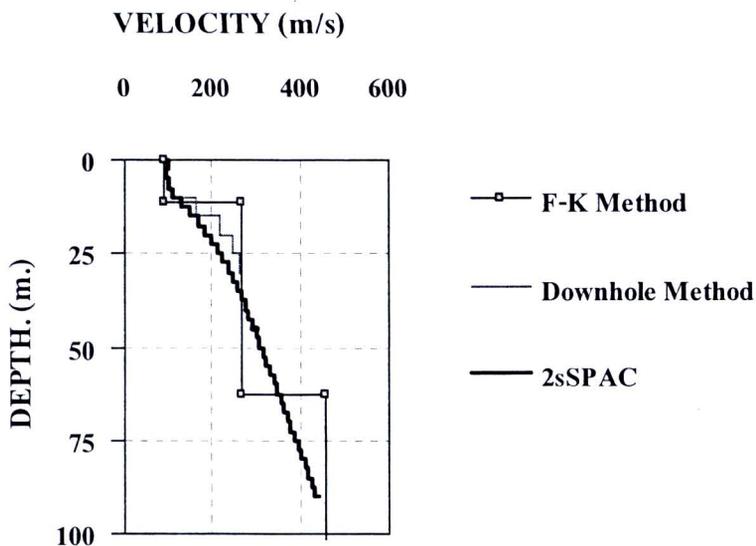
รูปที่ 5.21 SPAC Coefficient บริเวณกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา



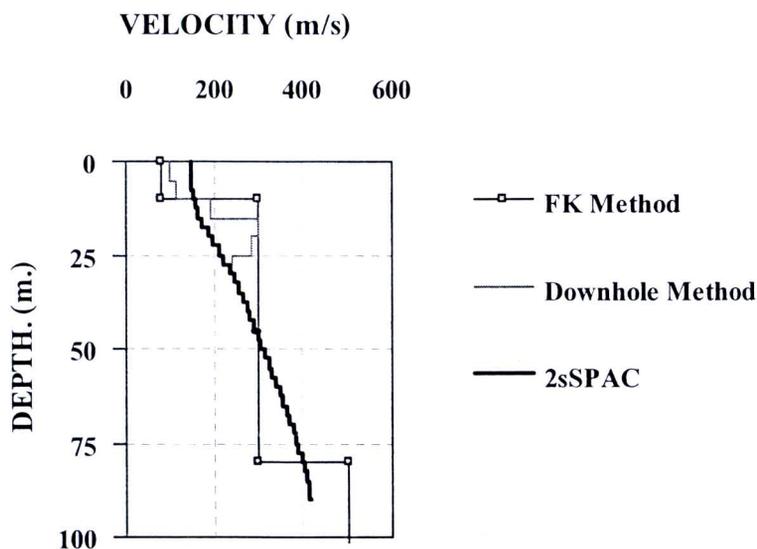
รูปที่ 5.22 SPAC Coefficient บริเวณ อ. เมือง จ. กาญจนบุรี



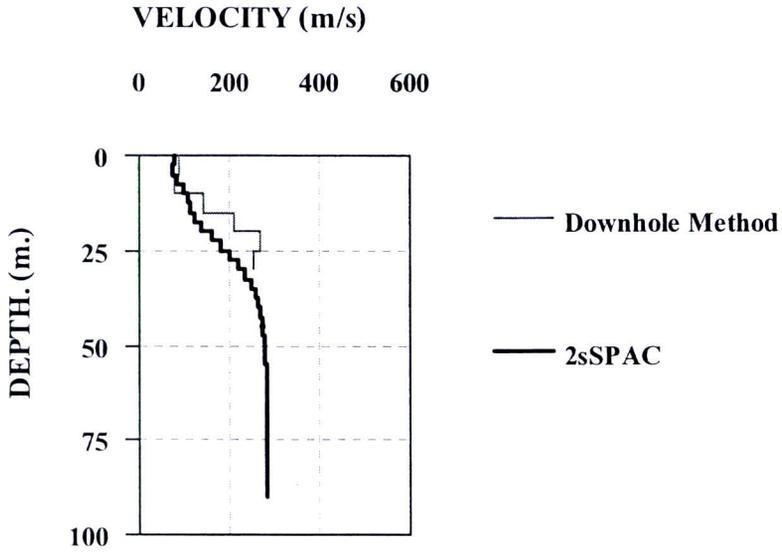
รูปที่ 5.23 Dispersion Curve รวมสำหรับแต่ละบริเวณ



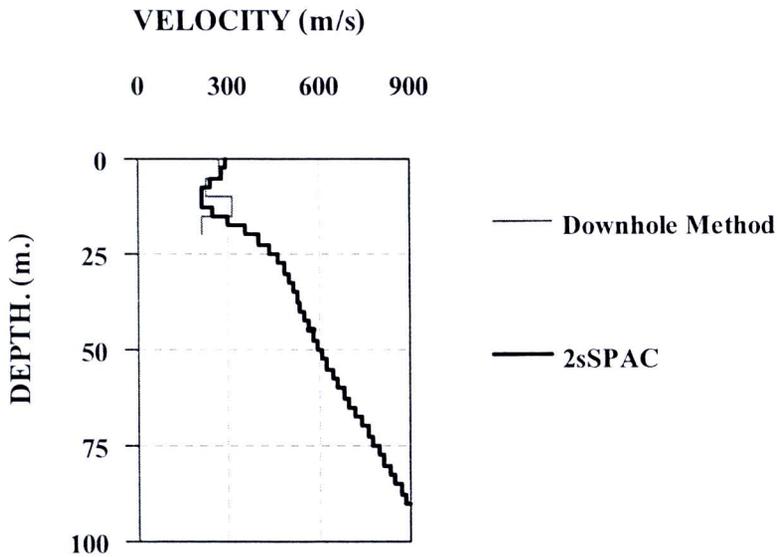
รูปที่ 5.24 ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.25 ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกบริเวณสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย



รูปที่ 5.26 ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกบริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา



รูปที่ 5.27 ความเร็วคลื่นเฉือนตามความลึกบริเวณ อ. เมือง จ. กาญจนบุรี

ตารางที่ 5.3 การจำแนกประเภทของดินตามข้อกำหนดของ National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)

Soil Class	Soil Type	Shear Wave Velocity (m/s)
A	Hard Rock	$V_s > 1500$
B	Rock	$760 < V_s \leq 1500$
C	Very dense soil and soft rock	$360 < V_s \leq 760$
D	Dense/Stiff soil	$180 < V_s \leq 360$
E	Loose/Soft soil	$180 < V_s$

ตารางที่ 5.4 ค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ความลึก 30 ม. แรก โดยวิธี 2sSPAC เปรียบเทียบการทดสอบดาวนโฮล

สถานที่	Shear Wave Velocity (m/s)		Soil Class		% แตกต่าง
	2sSPAC	Downhole	2sSPAC	Downhole	
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	142	157	E	E	10.56 %
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	174	174	E	E	-
กรมอุตุนิยมวิทยา	117	141	E	E	21.55 %
อ. เมือง จ.กาญจนบุรี (รร. เทศบาล 5)	300	257	D	D	14.33 %

จากนั้น การวิจัยได้ประยุกต์วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับที่ศึกษาตามวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยการศึกษาได้วางแผนขอบเขตการศึกษาไว้เฉพาะในเขตเมืองจังหวัดเชียงใหม่เท่านั้น แต่ระหว่างการดำเนินการวิจัยพบว่า ได้สามารถพัฒนากระบวนการสำรวจที่มีประสิทธิภาพ จึงได้ขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยของประเทศ ทำให้ได้เป็นการสำรวจในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย กาญจนบุรี และ กรุงเทพมหานคร<sup>2</sup> โดยทำการสำรวจจำนวน 30 บริเวณในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 25 บริเวณในจังหวัดเชียงราย จำนวน 16 บริเวณในจังหวัดกาญจนบุรี และ จำนวน 4 บริเวณในกรุงเทพมหานคร ตารางที่ 5.5 ถึง 5.8 แสดงรายละเอียดของบริเวณที่ดำเนินการศึกษา ที่แสดงตำแหน่ง พิกัด วิธีที่ใช้สำรวจและรัศมีของการวัดในแต่ละบริเวณ ความหมายของวิธีตรวจวัดคือ 2sSPAC หมายถึงการตรวจวัดที่มีการวางหัววัดครบรูปวงกลมที่ใช้

<sup>2</sup> สำหรับพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและกรุงเทพมหานคร ดำเนินการร่วมกับการสนับสนุนจาก ทุนวิจัยประเภททั่วไป ปีงบประมาณ 2552

กับพื้นที่โล่งกว้าง และ Linear หมายถึงการตรวจวัดที่มีการวางห้ววัดเป็นแนวเส้นตรงที่ใช้กับพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดของบริเวณที่ดำเนินการศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่

No.	Site Location	GPS (UTM)		Observation	
		N	E	Technique	Radius (m)
1	ดวงกมล เชียงใหม่	499366	2076776	Linear	19, 38
2	วิศวกรรมโยธา มช.	494872	2077887	Linear	12.5, 25, 50
3	ศาลากลาง	497084	2083037	2sSPAC	12.5, 25, 50
4	ตะวันแดงสาดแสงเดือน	496123	2078373	2sSPAC	12.5, 25, 50
5	รร.ปรีณทร์รอยัล	500771	2078419	2sSPAC	12.5, 25, 50
6	วัดเจติย์หลวง	494818	2078628	Linear	11.75,23.5,47
7	คณะเศรษฐศาสตร์ มช.	497589	2077140	Linear	12.5, 25, 50
8	กาดสวนแก้ว	497589	2078067	Linear	12.5, 25, 50
9	โปลีเทคนิคลานนา	499630	2079979	2sSPAC	12.5, 25, 50
10	รร.ดอนแก้ว อ.แม่ริม	496718	2087138	2sSPAC	12.5, 25, 50
11	สถานทูตจีน	498302	2076365	2sSPAC	11.25,22.5,45
12	ร้านแก้วพลาสติก ไกล่ มช.	494637	2077693	Linear	12.5, 25, 50
13	รร.สันผักหวาน	494713	2068424	2sSPAC	7.5, 15, 30
14	ด.สันพระนอน	494365	2073150	2sSPAC	12.5, 25, 50
15	รร.สันทรายหลวง	504552	2083621	2sSPAC	8.75,17.5,35
16	ม.แม่ใจ	500683	2089119	2sSPAC	10.5, 21, 42
17	รร.ยุพราชวิทยาลัย	498765	2077615	2sSPAC	12.5, 25, 50
18	เวียงกุมกาม	496473	2071897	2sSPAC	12.5, 25, 50
19	ม.ราชมงคลล้านนา	495312	2079816	2sSPAC	7.5, 15, 30
20	รร.บ้านห้วยฮัก	508878	2091301	2sSPAC	12.5, 25, 50
21	รร.บ้านหลักป็น	506245	2082202	2sSPAC	12.5, 25, 50
22	สนามกอล์ฟ ยิมคาน่า	500912	2075672	2sSPAC	12.5, 25, 50
23	รร.สันกำแพงวิทยาคม	513055	2071835	2sSPAC	12.5, 25, 50
24	รร.บ้านศรีงาม อ.สันทราย	496356	2103748	2sSPAC	7.5, 15, 30
25	สามแยก รร.สันทรายพิทยาคม	499365	2091843	2sSPAC	12.5, 25, 50

26	สามแยกแมริม (บ้านอรวี)	494202	2090501	2sSPAC	12.5, 25, 50
27	ม.นอร์ทเชียงใหม่	490535	2063571	2sSPAC	10, 20, 40
28	สถาบันวิจัยข้าวอ.สันป่าตอง	489735	2057401	2sSPAC	12.5, 25, 50
29	บ้านฉกัทร แมนชั่น ไกล้ม. ราชภัฏ	499308	2079009	Linear	9.25,18.5,37
30	รร.แมริม	498666	2091295	Linear	12.5, 25, 50

ตารางที่ 5.6 รายละเอียดของบริเวณที่ดำเนินการศึกษาในจังหวัดเชียงราย

No.	Site Location	GPS (UTM)		Observe Type	
		N	E	Technique	Radius (m)
1	ศาลจังหวัดเชียงราย	587124	2201424	Linear	39
2	บ้านแป้นเกร็ด	585840	2199252	Linear	24
3	อบต.ธารทอง	575180	2179820	2sSPAC	12.5, 25, 50
4	หมวดการทางเก่า	588665	2202328	2sSPAC	7.5, 15, 30
5	สนามฝึก รด.	585978	2202907	2sSPAC	12.5, 25
6	อาชีวะศึกษาเชียงราย	586609	2200755	Linear	19.5
7	เทคนิคเชียงราย	587527	2201461	Linear	30
8	น้ำลัด	585377	2203911	2sSPAC	7.5, 15, 30
9	เกาะโรงแรมดุสิต	586978	2202323	2sSPAC	10, 20, 40
10	อปพร. เชียงราย	586173	2201598	Linear	25
11	โรงแรมเพชรสยาม	587645	2200478	2sSPAC	12.5, 25, 50
12	กรมโยธาธิการ เชียงราย	591141	2203596	2sSPAC	7.5, 15, 30
13	รร.อนุบาลแม่จัน อ.แม่จัน	589325	2227741	2sSPAC	10, 20, 40
14	รร.แม่สายประสิทธิ์ศาสตร์ อ.แม่สาย	592026	2258827	2sSPAC	12.5, 25, 50
15	อาชาแลนด์ อ.เชียงแสน	609434	2238023	2sSPAC	12.5, 25, 50
16	ทะเลสาบเชียงแสน อ.เชียง แสน	609967	2238482	Linear	47
17	รร.อนุบาลเชียงของ อ.เชียง ของ	646707	2240205	2sSPAC	12.5, 25, 50
18	สถานีอนามัย บ.ทุ่งอ่างเต็น อ.เชียงของ	649015	2233220	Linear	20

19	มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่	589180	2209156	2sSPAC	12.5, 25, 50
20	ศูนย์วิทยุการบินเชียงใหม่	592007	2206777	2sSPAC	12.5, 25, 50
21	ไซโลเก็บข้าวโพด อ.พาน	578801	2161122	2sSPAC	7, 14, 28
22	ราชมงคลเชียงใหม่	576317	2176570	2sSPAC	12.5, 25, 50
23	โรงพยาบาลพาน	578020	2158446	Linear	10, 25
24	สนามกีฬากลางเชียงใหม่	591430	2202242	2sSPAC	12.5, 25, 50
25	โรงแรมลิตเติ้ลดัก	587114	2198156	2sSPAC	12.5, 25, 50

ตารางที่ 5.7 รายละเอียดของบริเวณที่ดำเนินการศึกษาในจังหวัดกาญจนบุรี

No.	Site Location	Location (UTM)		Observe Type	
		N	E	Technique	Radius (m)
1	ต.ท่าเรือพระแท่น	582318	1547682	2sSPAC	12.5, 25, 50
2	ร.ร.วัดวังศาลา	574201	1542634	2sSPAC	12.5, 25, 50
3	ศาลากลางจังหวัด	559295	1548046	2sSPAC	12.5, 25, 50
4	ร.ร.วัดบ้านยาง	555137	1550047	2sSPAC	12.5, 25, 50
5	ร.ร.หนองพังตรุราษฎร์ รังสรรค์	572782	1537978	2sSPAC	12.5, 25, 50
6	สวนหลวง ร.9 ต.ท่าเรือ	581500	1542257	2sSPAC	12.5, 25, 50
7	ด้านหลังโลตัส ท่ามะกา	582732	1538207	2sSPAC	12.5, 25, 50
8	ร.ร.ท่าม่วงราษฎร์บำรุง	569188	1543315	2sSPAC	12.5, 25, 50
9	สนามกีฬาท่าม่วง	567953	1545257	2sSPAC	12.5, 25, 50
10	วัดบ้านทองท่าล้อ	561219	1546526	2sSPAC	12.5, 25, 50
11	หน่วยปฏิบัติการพิเศษ	557831	1547775	2sSPAC	11.25,22.5,45
12	ที่จอดรถสะพานข้ามแม่น้ำ แคว	556685	1550102	2sSPAC	12.5, 25, 50
13	สนามกีฬาสืบบัว	554526	1552992	2sSPAC	12.5, 25, 50
14	สนง.เทศบาล ต.ปากแพรก	558975	1551982	2sSPAC	11.25,22.5,45
15	กองบังคับการตำรวจภูธร กาญจนบุรี	556132	1551666	2sSPAC	12.5, 25, 50
16	ร.ร.เทศบาล 5	557717	1549657	2sSPAC	10, 20, 40

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดของบริเวณที่ดำเนินการศึกษาในกรุงเทพมหานคร

No.	Site Location	Location (UTM)		Observe Type	
		N	E	Technique	Radius (m)
1	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (สนามฟุตบอล)	1555967	673491	2sSPAC	25, 50
2	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สนามรักบี้ ประตูดใหญ่)	1519329	665439	2sSPAC	12.5, 25, 50
3	กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา (สนามด้านหน้า)	1511477	673583	2sSPAC	8.5,12.5,25
4	ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (สนามรักบี้ ข้าง SIIT)	1555974	673749	2sSPAC	12.5, 25, 50

ผลการศึกษาของแต่ละจังหวัด ในรูปของค่าความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตร ผลเปรียบเทียบกับค่าการวัดตรงจากหลุมสำรวจ (จิตติ และ อาณัติ, 2552) และผลการจำแนกชั้นดินตาม NEHRP จากการสำรวจแบบ 2sSAC และผลการหาค่าคาบอทธิพลหลักจากการสำรวจแบบ H/V

โดยผลการสำรวจในจังหวัดเชียงใหม่ มี 2 บริเวณที่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ ในจังหวัดเชียงใหม่มี 3 บริเวณที่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ ตารางที่ 5.9 ถึง 5.12 แสดงผลการศึกษาของบริเวณที่ดำเนินการสำรวจ

ตารางที่ 5.9 ผลการศึกษาของบริเวณสำรวจในจังหวัดเชียงใหม่

No.	Site Location	Vs30 (m/s)	Vs (m/s)*	Soil Class	Predominant Period (s)
		2sSPAC	Downhole		
1	ดวงกมล เชียงใหม่	311	-	D	No Clear Peak
2	วิศวกรรมโยธา มช.	518	368	C	0.41,0.43
3	ศาลากลาง	368	-	C	No Clear Peak
4	ตะวันแดงสาตแสงเดือน	295	-	D	No Clear Peak
5	รร.ปรินทร์รอยัล	226	-	D	No Clear Peak
6	วัดเจดีย์หลวง	322	326	D	No Clear Peak
7	คณะเศรษฐศาสตร์ มช.	318	-	D	0.38, 0.45
8	กาดสวนแก้ว	293	-	D	No Clear Peak
9	โปลีเทคนิคลานนา	261	-	D	No Clear Peak

10	รร.ดอนแก้ว อ.แมริม	456	-	C	No Clear Peak
11	สถานทูตจีน	336	-	D	No Clear Peak
12	ร้านแก้วพลาสติก ไกล่ มช.	N.A.	-	N.A.	No Clear Peak
13	รร.สันผักหวาน	355	-	D	No Clear Peak
14	ต.สันพระนอน	388	-	C	No Clear Peak
15	รร.สันทรายหลวง	308	-	D	No Clear Peak
16	ม.แม่ใจ	333	-	D	No Clear Peak
17	รร.ยุพราชวิทยาลัย	319	-	D	No Clear Peak
18	เวียงกุมกาม	334	-	D	No Clear Peak
19	ม.ราชมงคลล้านนา	319	274	D	No Clear Peak
20	รร.บ้านห้วยฮัก	556	-	C	No Clear Peak
21	รร.บ้านหลักป็น	299	-	D	No Clear Peak
22	สนามกอล์ฟ อ.เมือง	228	-	D	No Clear Peak
23	รร.สันกำแพงวิทยาคม	311	-	D	No Clear Peak
24	รร.บ้านศรีงาม อ.สันทราย	300	-	D	No Clear Peak
25	สามแยก รร.สันทรายพิทยาคม	427	-	C	No Clear Peak
26	สามแยกแมริม (บ้านอรวิ)	347	-	D	No Clear Peak
27	ม.นอร์ทเชียงใหม่	396	-	C	No Clear Peak
28	สถาบันวิจัยข้าว อ.สันป่าตอง	N.A.	-	N.A.	No Clear Peak
29	บ้านฉัตร แมนชั่น ไกล่ ม.ราชภัฏ	231	-	D	0.39
30	รร.แมริม	425	-	C	No Clear Peak

(\* ความลึกของหลุมสำรวจ downhole ประมาณ 20 เมตร)

ตารางที่ 5.10 ผลการศึกษาของบริเวณสำรวจในจังหวัดเชียงราย

No.	Site Location	Vs30 (m/s) 2sSPAC	Vs (m/s)* Downhole	Soil Class	Predominant Period (s)
1	ศาลจังหวัดเชียงราย	558	-	C	0.28
2	บ้านแป้นเกร็ด	N.A.	-	N.A.	0.13
3	อบต.ธารทอง	296	-	D	0.33

4	หมวดการทางเก่า	238	-	D	0.49
5	สนามฝึก รด.	272	-	D	0.26
6	อาชีวะศึกษาเชียงราย	344	-	D	0.34
7	เทคนิคเชียงราย	326	-	D	0.35
8	น้ำลัด	256	-	D	0.28
9	เกาะโรงแรมดุสิต	237	-	D	0.29
10	อปพร. เชียงราย	N.A.	-	N.A.	0.31
11	โรงแรมเพชรสยาม	266	-	D	0.45
12	กรมโยธาธิการ เชียงราย	208	188	D	0.64
13	รร.อนุบาลแม่จัน อ.แม่จัน	229	-	D	0.64
14	รร.แม่สายประสิทธิ์ศาสตร์ อ.แม่สาย	335	-	D	0.41
15	อาชาแลนด์ อ.เชียงแสน	313	-	D	0.37
16	ทะเลสาบเชียงแสน อ.เชียงแสน	N.A.	-	N.A.	0.32
17	รร.อนุบาลเชียงของ อ.เชียงของ	467	-	C	0.15
18	สถานีอนามัย บ.ทุ่งอ่างเต็น อ.เชียงของ	345	-	D	0.32
19	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	312	-	D	0.28
20	ศูนย์วิทยุการบินเชียงราย	246	-	D	0.47
21	ไซโลเก็บข้าวโพด อ.พาน	285	-	D	0.73
22	ราชมงคลเชียงราย	432	-	C	0.16
23	โรงพยาบาลพาน	225	-	D	0.64
24	สนามกีฬากลางเชียงราย	235	-	D	0.51
25	โรงแรมลิตเติ้ลดัก	292	-	D	0.38

(\* ความลึกของหลุมสำรวจ downhole ประมาณ 13 เมตร และจุดสำรวจห่างกันประมาณ 200 เมตร)

ตารางที่ 5.11 ผลการศึกษาของบริเวณสำรวจในจังหวัดกาญจนบุรี

No.	Site Location	Vs30 (m/s) 2sSPAC	Vs (m/s) Downhole	Soil Class	Predominant Period (s)
1	ต.ท่าเรือพระแท่น	351	-	D	0.60
2	รร.วัดวังศาลา	339	-	D	0.64
3	ศาลากลางจังหวัด	338	-	D	0.35
4	รร.วัดบ้านยาง	278	-	D	0.32
5	รร.หนองพังตรุราษฎร์รังสรรค์	351	-	D	NOT CLEAR PEAK
6	สวนหลวง ร.9	300	-	D	0.79
7	โลดส์ ท่ามะกา	335	-	D	0.79
8	รร.ท่าม่วงราษฎร์บำรุง	275	-	D	0.64
9	สนามกีฬาท่าม่วง	341	-	D	0.54
10	วัดบ้านทองท่าล้อ	270	-	D	0.49
11	หน่วยปฏิบัติการพิเศษ	264	-	D	0.41
12	ที่จอดรถสะพานข้ามแม่น้ำแคว	263	-	D	0.34
13	สนามกีฬากลีสบิว	415	-	C	0.32
14	สนง.เทศบาล ต.ปากแพรก	Vs>726	-	C OR B	NOT CLEAR PEAK
15	กองบังคับการตำรวจภูธร กาญจนบุรี	310	-	D	0.33
16	รร.เทศบาล 5	301	257	D	0.40

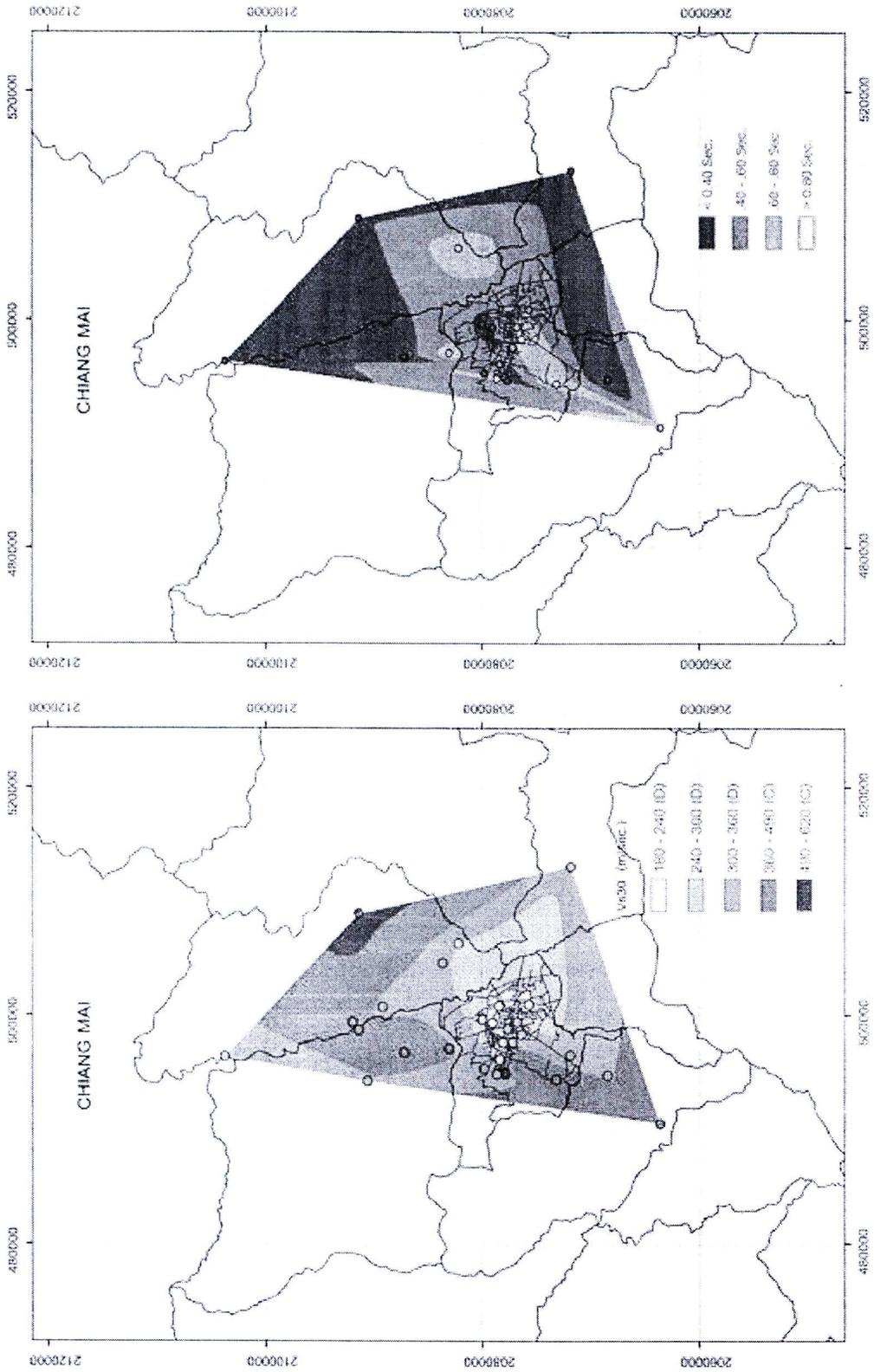
(\* ความลึกของหลุมสำรวจ downhole ประมาณ 18 เมตร และจุดสำรวจห่างกันประมาณ 600 ม.)

ตารางที่ 5.12 ผลการศึกษาของบริเวณสำรวจในกรุงเทพมหานคร

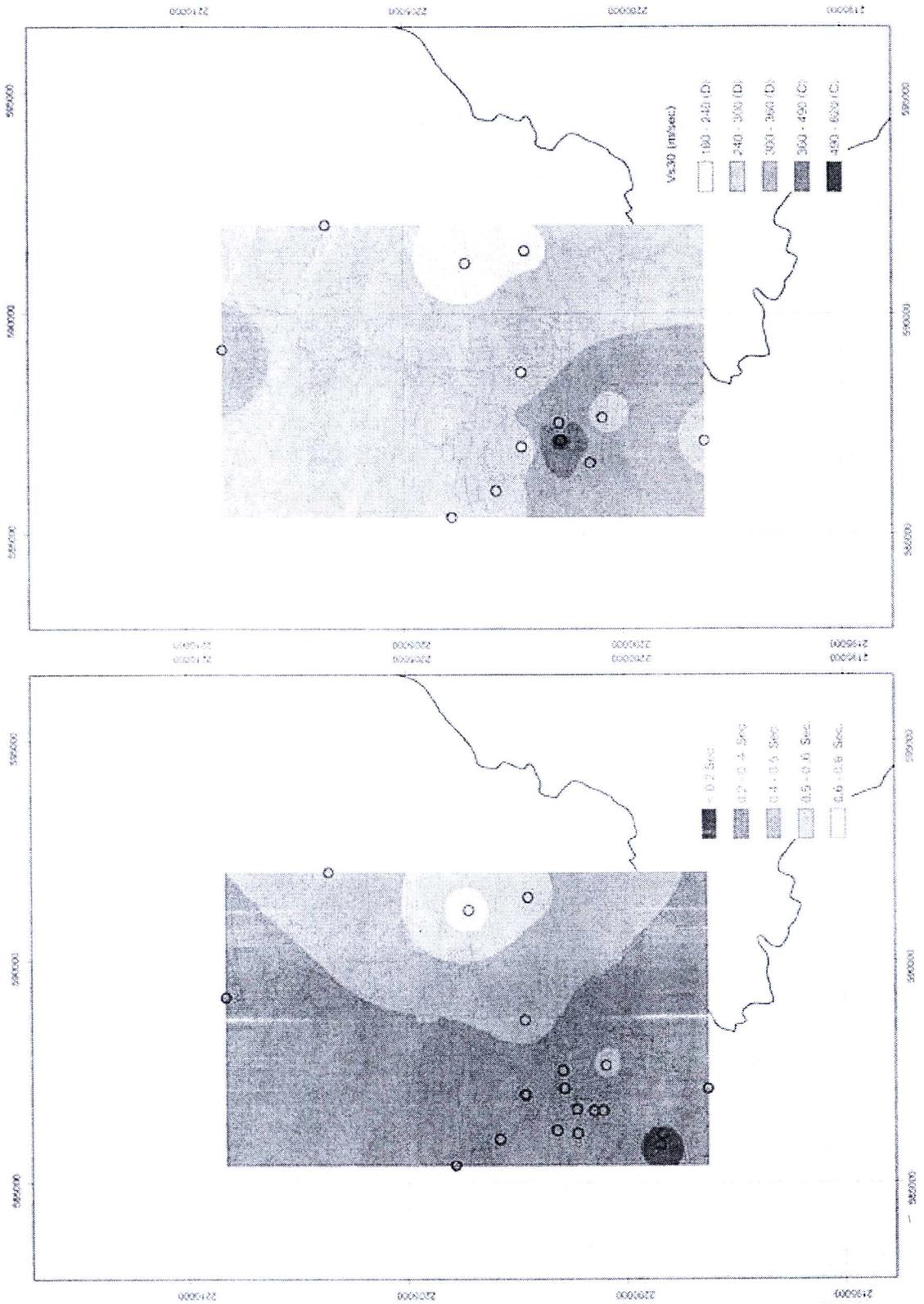
No.	Site Location	Vs30 (m/s) 2sSPAC	Vs (m/s) Downhole	Soil Class	Predominant Period (s)
1	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	174	174 *	E	0.64 - 0.85
2	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	142	157 *	E	0.76
3	กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	117	141 *	E	0.66
4	ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต	121	129 **	E	0.73

(\* ความลึกของหลุมสำรวจ downhole ประมาณ 30 เมตร)

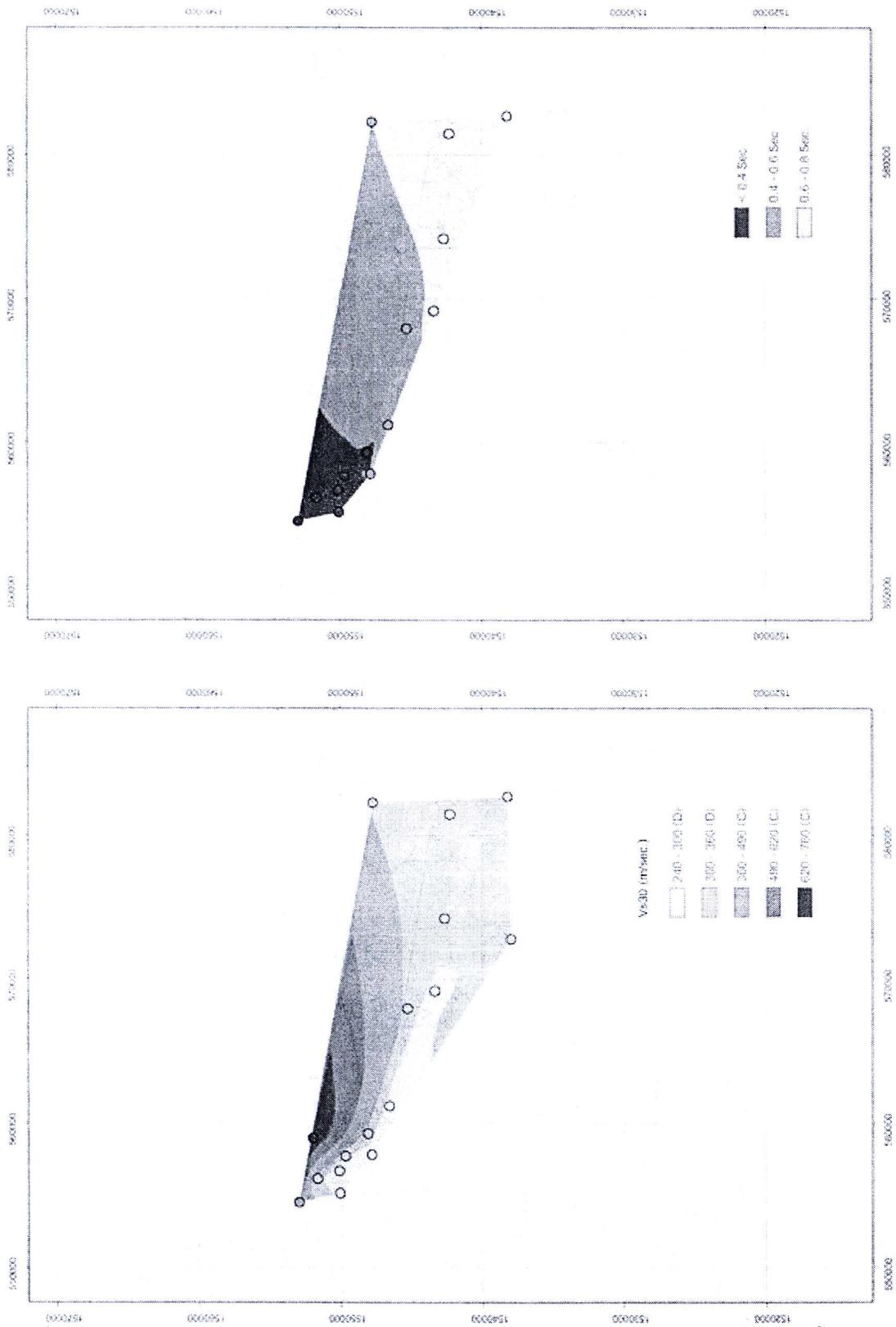
ผลการศึกษาของค่าคาบอิทธิพลหลักและความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยที่ระดับความลึก 30 เมตรของแต่ละจังหวัด แสดงในรูปของค่าของแต่ละบริเวณตามพิภพตัดรูปที่ 5.28 ถึง 5.30 และแสดงในเชิงการเปรียบเทียบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างผลของค่าคาบอิทธิพลหลักและความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ย ซึ่งพบแนวโน้มว่า บริเวณที่มีคาบอิทธิพลหลักต่ำจะมีความเร็วคลื่นเฉือนสูง แสดงถึงเป็นบริเวณชั้นดินแข็ง ในทางกลับกัน บริเวณที่เป็นดินอ่อนมีผลค่าคาบอิทธิพลหลักสูงและความเร็วคลื่นเฉือนต่ำ



รูปที่ 5.28 (ก) คาบอิทธิพลหลัก (ข) ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยลึก 30 ม. สำหรับพื้นที่ศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่

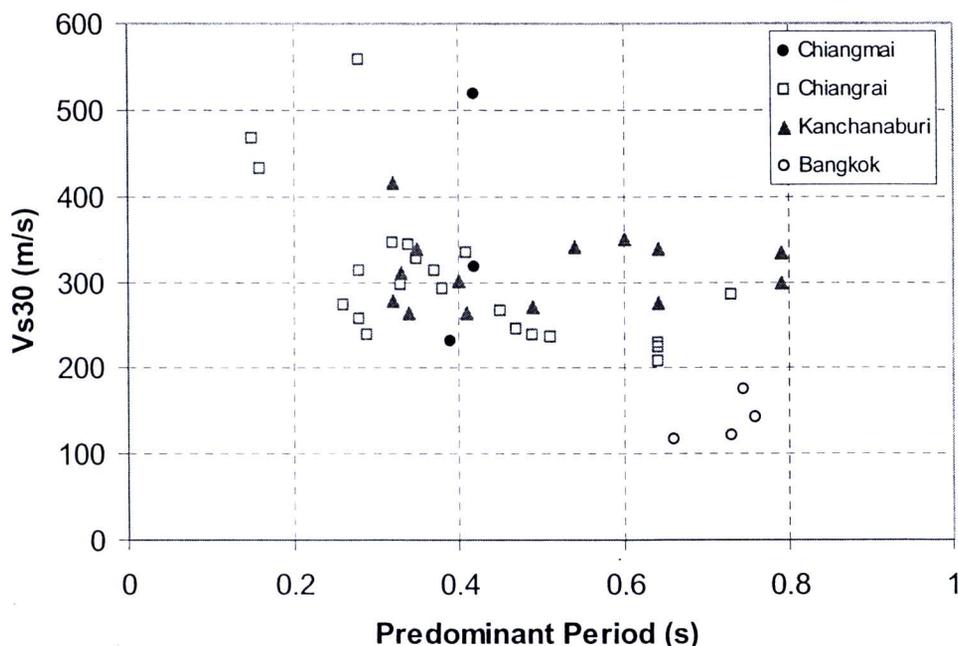


รูปที่ 5.29 (ก) คาบอิทธิพลหลัก (ข) ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยลึก 30 ม. สำหรับพื้นที่ศึกษาในจังหวัดเชียงราย



รูปที่ 5.30 (ก) คาบอิทธิพลหลัก (ข) ความเร็วคลื่นเฉือนเฉลี่ยลึก 30 ม. สำหรับพื้นที่ศึกษาในจังหวัดกาญจนบุรี

ความสัมพันธ์ระหว่างคาบอิทธิพลหลักและความเร็วคลื่นเฉือนของแต่ละบริเวณศึกษาแสดงดังรูปที่ 5.31 โดยสามารถพบแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ชัดเจนถึงค่าความเร็วคลื่นเฉือนที่แปรผกผันกับค่าคาบอิทธิพลหลัก



รูปที่ 5.31 ความความสัมพันธ์ระหว่างคาบอิทธิพลหลักและความเร็วคลื่นเฉือนของแต่ละบริเวณศึกษา

จากข้อมูลความเร็วคลื่นเฉือนของบริเวณที่ศึกษา เมื่อนำมาใช้จำแนกชั้นดินตามข้อกำหนดของ NEHRP (2003) ได้ผลดังตารางข้อมูลข้างต้น และเมื่อนำมาแสดงรวมกันสำหรับพื้นที่ทั้งหมดที่ศึกษาได้ดังรูปที่ 5.32 ซึ่งแสดงถึงลักษณะของชั้นดินที่บริเวณที่ศึกษา โดยบริเวณที่ศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และกาญจนบุรี พื้นที่ราบในเขตอำเภอเมืองส่วนใหญ่จำแนกเป็น ชั้นดินประเภท D (ดินแข็ง) บางส่วนจำแนกเป็นชั้นดินประเภท C (ดินแข็งมาก กึ่งหิน) สำหรับบริเวณใกล้เชิงเขาและไม่พบ ชั้นดินประเภท E (ดินอ่อน) ส่วนผลการศึกษาในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลพบว่าทุกบริเวณจำแนกเป็น ชั้นดินประเภท E (ดินอ่อน)

