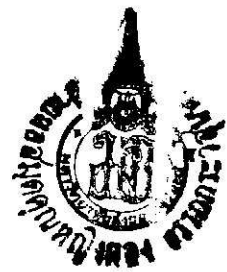


811433 18-36

รายงานวิจัย

เรื่อง



แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี

SOURCES OF LEAD TO THE PATTANI RIVER

สุวพล อารีย์กุล
กัญญาณี อุดตานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มีนาคม 2536

๓๓๓ - ๒๖๘

เลขที่	๑๐๑๐.๒๒ ๓๑๔	2536 ๕
เลขที่	๐19049	
เลขที่	1/0 ส.ย. 2537	

ทุนอุดหนุนการวิจัยจาก คณะกรรมการระดับชาติ

กระทรวงสาธารณสุข

โครงการวิจัย : แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี
สุรพล อารีย์กุล กัญญาณี อุดตานนท์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงแหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักซึ่งประกอบด้วย ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก แมงกานีส ในตะกอนอาหารน้ำ และน้ำในลำธาร และแม่น้ำสายหลักจากต้นน้ำลำธาร ในบริเวณจังหวัดยะลา จนถึงปากอ่าวปัตตานี นอกจากนั้นได้เก็บตัวอย่างดิน ตามความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อการศึกษาปริมาณโลหะหนักจากการเกษตร

ผลการศึกษาพบว่า แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี ที่มีนัยสำคัญสูงมาก ได้แก่ หนูเหมืองปิ่นเยาะ และหนูเหมืองถ้ำทะลุ อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา มูลดินทรายจากการทำเหมืองมากกว่า 100 ปี ได้แพร่กระจายสู่แม่น้ำปัตตานีทำให้ตะกอนมีปริมาณตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และสังกะสีสูงมาก โลหะหนักในน้ำที่สูงกว่ามาตรฐาน ได้แก่ สังกะสี และแคดเมียม ผลการตรวจสอบน้ำในระบบประปาของยะลา และปัตตานี พบว่าระบบประปามีค่าที่เก็บตัวอย่าง ผลัดน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำดื่ม การศึกษารูปแบบการละลายของโลหะหนักต่าง ๆ พบว่าโลหะหนักที่ถูกดูดซับโดยเหล็ก-แมงกานีสออกไซด์ และสารอินทรีย์มีส่วน 30-40 % โลหะหนักส่วนที่เหลือละลายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย และก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้

Project Title : Sources of Lead to the Pattani River
Investigator : Surapon Arrykul
Kalayani Kooptarnon

ABSTRACT

The main aim of this project is to investigate the source of lead in the Pattani river. Stream sediments , water and suspended solids were collected from the streams and main river. Soils were also sampled according to land uses. These sample were analyzed for Pb , As , Cd , Zn Cu , Fe and Mn spectrophotometrically.

The results reveal that the significant source of lead pollution in the Pattani river is intensive tin mining in Amphoe Bannangsata , Changwat Yala over a long period. In dry season , arsenic and cadmium content river water are higher than drinking water standards. One moment sampling of water from the public water systems of Pattani and Yala provinces has shown that they are safe to drink. The sequential extraction of stream sediments showed that metals were high in residual fraction(50-60%). The rest were bounded to Fe-Mn and organic fractions(30-40%) which are bioavailable and can be soluble under particular conditions.

สารบัญ

หน้า

รายการตาราง

รายการรูป

1	บทนำ	
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการศึกษา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3	ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5	กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
1.6	ข้อมูลของพื้นที่บริเวณที่ทำการศึกษา	5
1.7	การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำปัตตานี	5
2	การตรวจเอกสาร	
2.1	บทนำ	8
2.2	สภาวะทางเคมีของโลหะ (Metal Speciation)	9
2.3	สภาวะทางเคมีของโลหะในน้ำ	11
3	วิธีดำเนินการศึกษา	
3.1	แหล่งข้อมูล	12
3.2	วิธีการเก็บตัวอย่าง	13
3.3	การวิเคราะห์ตัวอย่าง	14
4	ผลการวิจัย	
4.1	ผลการศึกษาเบื้องต้น (Reconnaissance Survey)	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษาในชั้นรายละเอียด	36
4.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	36
4.4 ผลการศึกษาวิเคราะห์ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)	56
4.5 ผลการศึกษารูปแบบการละลาย (Speciation)	56
4.6 โลหะหนักในระบบประปาจังหวัดยะลา-ปัตตานี และแม่น้ำปัตตานี	89
5 วิจารณ์	
5.1 แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี	93
5.2 การเกิดมลพิษของโลหะพิจารณาจากสภาวะทางเคมีของโลหะ	96
5.3 การจัดการสิ่งแวดล้อมในลุ่มน้ำปัตตานี	97
6 สรุป	
6.1 สรุป	99
6.2 ข้อเสนอแนะ	100
7 เอกสารอ้างอิง	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1	18
4.1.1	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างตะกอนธารน้ำในแม่น้ำปัตตานี	19
4.1.2	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปัตตานี	20
4.2.1	คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2	37
4.2.2	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างตะกอนธารน้ำในแม่น้ำปัตตานี โดยวิธี Total Digestion	38
4.2.3	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปัตตานี ครั้งที่ 2	39
4.3.1	คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างดิน	47
4.3.2	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างดินในบริเวณจังหวัดยะลา-ปัตตานี โดยวิธี Total Digestion	48
4.4.1	คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย	57
4.4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่าง Suspended Solids ในแม่น้ำปัตตานี โดยวิธี Total Digestion	58
4.5.1	แสดงปริมาณของตะกั่วในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	66
4.5.2	แสดงปริมาณของสารหนูในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	69
4.5.3	แสดงปริมาณของทองแดงในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	72
4.5.4	แสดงปริมาณของสังกะสีในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.5.5	แสดงปริมาณของแคดเมียมในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	78
4.5.6	แสดงปริมาณของแมงกานีสในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	79
4.5.7	แสดงปริมาณของเหล็กในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Sequential Extraction	82
4.6	แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำปัตตานี และน้ำจากระบบประปา จังหวัดยะลา-ปัตตานี	90
4.6.1	คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	91

สารบาจรูป

รูปที่		หน้า
1.7	การำชีพประรายชนที่คินำในลุ่มน้ำปัตตานี	6
3.2	แผนที่แสดงสถานที่เก็บตัวอย่าง	13
4.1.1	การแพร่กระจายของตะกั่วในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	21
4.1.2	การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	22
4.1.3	การแพร่กระจายของแคดเมียมในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	23
4.1.4	การแพร่กระจายของทองแดงในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	24
4.1.5	การแพร่กระจายของสังกะสีในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	25
4.1.6	การแพร่กระจายของเหล็กในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	26
4.1.7	การแพร่กระจายของแมงกานีสในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	27
4.1.8	ระดับตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ในตะกอนธารน้ำจากเหมืองแร่	29
4.1.9	ความสัมพันธ์ระหว่างสารหนูและคาร์บอนเด	30
4.1.10	ความสัมพันธ์ระหว่างสารหนูกับซิลิเด	31
4.1.11	ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมกับซิลิเด	32
4.1.12	ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมกับคาร์บอนเด	33
4.1.13	ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วกับคาร์บอนเด	34
4.1.14	ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วกับซิลิเด	35
4.2.1	การแพร่กระจายของตะกั่วในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	40
4.2.2	การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	41
4.2.3	การแพร่กระจายของแคดเมียมในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	42
4.2.4	การแพร่กระจายของทองแดงในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	43
4.2.5	การแพร่กระจายของสังกะสีในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2.6	การแพร่กระจายของเหล็กในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	45
4.2.7	การแพร่กระจายของแมงกานีสในตะกอนธารน้ำ และน้ำ	46
4.3.1	ปริมาณตะกั่วในดิน	49
4.3.2	ปริมาณสารหนูในดิน	50
4.3.3	ปริมาณแคดเมียมในดิน	51
4.3.4	ปริมาณทองแดงในดิน	52
4.3.5	ปริมาณสังกะสีในดิน	53
4.3.6	ปริมาณเหล็กในดิน	54
4.3.7	ปริมาณแมงกานีสในดิน	55
4.4.1	ปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอย	59
4.4.2	ปริมาณสารหนูในตะกอนแขวนลอย	60
4.4.3	ปริมาณแคดเมียมในตะกอนแขวนลอย	61
4.4.4	ปริมาณทองแดงในตะกอนแขวนลอย	62
4.4.5	ปริมาณสังกะสีในตะกอนแขวนลอย	63
4.4.6	ปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอย	64
4.4.7	ปริมาณแมงกานีสในตะกอนแขวนลอย	65
4.5.1	สัดส่วนของตะกั่วใน species ต่างๆ	86
4.5.2	สัดส่วนของสารหนูใน species ต่างๆ	87
4.5.3	สัดส่วนของแคดเมียมใน species ต่างๆ	88
5.1	กองมูลดินทรายของเหมืองแร่ตะกั่ว	94
5.2	กองแร่ที่มีตะกั่วและสารหนูของเหมืองบิโนเยาะ	95

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ได้ทำการสำรวจหาปริมาณโลหะหนักในน้ำ จากบริเวณปากแม่น้ำ 17 สาย และคลองอีก 2 สาย ที่ระบายลงสู่อ่าวไทย ในระหว่างปี 2527-2529 โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมาตรวจวิเคราะห์ หากความเข้มข้นของสารแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ปรัต ตะกั่ว และสังกะสี (นันทนา และคณะ 2530) พบว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำบริเวณปากแม่น้ำสายต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ยกเว้นปริมาณของสารตะกั่วที่พบในบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำตราด แม่น้ำประแส และแม่น้ำปัตตานี ผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณของตะกั่วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.06-0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก/ล.) ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (0.05 มก/ล.) โดยแม่น้ำปัตตานี มีตะกั่วในน้ำ 0.11 มก/ล. ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานถึง 2 เท่า

ในปี 2530 Everaats และ Swennen (1987) จากสถาบันวิจัยทะเล แห่งประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้วิเคราะห์หาโลหะหนักซึ่งประกอบด้วยสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนและสัตว์หน้าดินจากปากอ่าวในสี่เดือนทะเล กุ้ง ปู หอย จากพื้นที่ชายฝั่ง 3 แห่งได้แก่ อ่าวปัตตานี อ่าวบ้านดอน และพื้นที่ชายฝั่ง Jeram ประเทศมาเลเซีย พบว่าปริมาณตะกั่ว และแคดเมียม ในดินตะกอน และสัตว์หน้าดิน บริเวณอ่าวปัตตานี มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนด สำหรับอ่าวปัตตานี มีผลการศึกษาดังนี้

ปริมาณแคดเมียมในสี่เดือนทะเล อยู่ในช่วง 0.7-2.4 มก/กก. กุ้ง 0.7 มก/กก. ในตะกอนปากอ่าวมีแคดเมียม 0.32-0.56 มก/กก.

ปริมาณตะกั่วในสี่เดือนทะเล อยู่ในช่วง 16.7-20.8 มก/กก. ในหอยสองฝา 12-18.4 มก/กก. และในสัตว์ทะเลอื่น ๆ อยู่ในช่วง 0.7-5.6 มก/กก. ตะกอนในปากอ่าวมีตะกั่วถึง 242 มก/กก.

ปริมาณสังกะสี ในสี่เดือนทะเล อยู่ในช่วง 68-147 มก/กก. กุ้ง 67-85 มก/กก. และปู 54-90 มก/กก. ปริมาณสังกะสีในตะกอน อยู่ในช่วง 100-250 มก/กก.

ปริมาณทองแดง ในกึ่งและปู อยู่ในช่วง 60 และ 140 มก/กก. ในไส้เดือนทะเล และหอยมีค่า 14.1-22.3 มก/กก. และ 4.8-17 มก/กก. ตามลำดับ

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังพบว่าน้ำจากใต้เขื่อนบางลาง มีสังกะสี 40-120 ไมโครกรัมต่อลิตร ทองแดง 30 ไมโครกรัมต่อลิตร แคดเมียม 3-10 ไมโครกรัมต่อลิตร และตะกั่ว 20-130 ไมโครกรัมต่อลิตร

ในปี 2532 ประพนอม ภูวนัตตริย รายงานว่า พบตะกั่วในน้ำในแม่น้ำปัตตานีร้อยละ 58.1 ของจำนวนตัวอย่างน้ำที่สำรวจโดยค่าสูงสุดที่พบเท่ากับ 15.1 มก/ล

ในปี 2535 คณะกรรมการระดับชาติ ได้ให้ทุนอุดหนุนแก่ผู้วิจัย เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษามีดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี โดยใช้ปริมาณโลหะหนักในตะกอน และในธารน้ำเป็นเครื่องมือ นอกจากนี้จะศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของโลหะหนัก ได้แก่ รูปแบบที่เป็นไอออนในสารละลาย รูปแบบของคาร์บอเนต รูปแบบของเหล็ก และแมงกานีสออกไซด์ และ รูปแบบของแร่ปฐมภูมิ (primary minerals) โลหะที่ศึกษาได้แก่ Cu , Pb , Zn , As , Cd , Fe , Mn และ Anions พวก Carbonates , Sulphates , Chloride และ pH

1.2.2 เสนอแนะมาตรการการจัดการสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

พื้นที่ที่ทำการศึกษาคือลุ่มน้ำปัตตานีซึ่งมีความยาวประมาณ 210 ก.ม. บริเวณต้นน้ำลำธารอยู่บริเวณชายแดนไทย-มาเลเซีย แม่น้ำไหลจากทางใต้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของจังหวัดยะลาไปออกสู่ปากอ่าวบริเวณจังหวัดปัตตานี(รูปที่ 1.3)

เนื่องจากกิจกรรมที่เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนัก ในแม่น้ำปัตตานีเกิดจากการทำเหมืองบริเวณต้นน้ำลำธาร การเกษตร การอุตสาหกรรม ของเสียจากชุมชน หรืออาจจะมีแหล่งที่มาแบบ ไร้จุดกำเนิด (Non-point Source) หรืออาจจะเป็น Mining Related Non-point Source การเก็บตัวอย่างเพื่อการวิจัยจะเป็นตะกอนธารน้ำ (Stream Sediment) และน้ำในแม่น้ำปัตตานี รวมทั้งเก็บตัวอย่างดิน ตามรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ถ้าโลหะหนักมีมากจนอาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของชุมชน ผู้วิจัยจะศึกษาปริมาณโลหะหนักจากระบบประปาของจังหวัดยะลา และปัตตานี เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการทำวิจัยต่อไป

การศึกษาถึงสภาวะทางเคมี (Speciation) ของโลหะหนักในตะกอนจะบอกให้เราทราบว่าสัดส่วนของโลหะหนักที่จะเข้าสู่ระบบนิเวศน์ มีเท่าใดโดยจะใช้วิธี การสกัดตามลำดับ (Sequential Extraction)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษามีดังนี้

- 1.4.1 เพื่อให้ทราบแหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี
- 1.4.2 เพื่อให้ทราบสภาวะทางเคมี (Speciation) ของโลหะหนัก
- 1.4.3 เพื่อให้ทราบถึงระดับการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในระบบประปาจังหวัดยะลา-ปัตตานี
- 1.4.4 เพื่อให้ทราบมาตรการการจัดการสิ่งแวดล้อม

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย

แหล่งที่มาของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ของเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial - Discharge) จากชุมชน (Municipal Discharge) จากการทำเหมือง (Mining Activity) จากดินหรือหินที่มีโลหะหนักสูงผิดปกติ (Geochemical Origin) และจาก Non-point Source

แหล่งที่มาของโลหะหนักที่มีจุดกำเนิดที่แน่นอน (Point Source) จะทำให้ตะกอนและน้ำในลำธารใกล้เคียง มีการปนเปื้อนของโลหะหนักสูงกว่าปกติและปริมาณโลหะหนักจะมีปริมาณลดลงไปเรื่อย ๆ ตามทิศทางการไหล และความเร็วของกระแสน้ำ ส่วนปริมาณโลหะหนักในน้ำจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการละลายของโลหะหนัก ค่า Redox Potential (Eh) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (Bacterial Activity)

สภาวะของโลหะหนักได้แก่ Ionic Form , Carbonate Form , Iron and Manganese Oxides Form , Organic Form และ Residual Form

นอกจากจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ Bioavailability แล้วยังสามารถใช้เป็นข้อวินิจฉัยถึงแหล่งที่มาของโลหะหนักได้ โดยที่โลหะหนักบริเวณใกล้ ๆ กับ Point Source ที่เป็นแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปของ Residual Form กล่าวคือ ยังมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก เนื่องจากเพิ่งจะถูกเคลื่อนย้ายจากแหล่งกำเนิดใหม่ ๆ ถ้าในน้ำมีคาร์บอเนตมาก โลหะหนักโดยเฉพาะตะกั่วจะอยู่ในรูปของ Carbonate Form เมื่อตะกอนเคลื่อนย้ายไกลออกไป จากแหล่งกำเนิด รูปแบบจะเปลี่ยนไปเป็น Iron and Manganese Oxide , Organic Form , Ionic Form ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะทางเคมีของน้ำในแม่น้ำ

ส่วนโลหะหนักจากชุมชน อุตสาหกรรม และการเกษตร จะอยู่ในรูปของ Organic Form และ Exchangeable Ion โลหะหนักจาก Non-point Source จะอยู่ในรูปของ Exchangeable Ion เป็นส่วนมาก และอาจจะอยู่ในรูปของ Organic ได้ ถ้ามีสารอินทรีย์มากพอ

1.6 ข้อมูลของพื้นที่บริเวณที่ทำการศึกษ

ลุ่มแม่น้ำปัตตานีครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดยะลา และปัตตานี โดยมีแม่น้ำปัตตานีเป็นแม่น้ำสายหลัก บริเวณเทือกเขาชายแดนไทย-มาเลเซีย และเป็นพื้นที่ของจังหวัดยะลาซึ่งเป็นที่สูง พื้นที่จะค่อย ๆ ลาดลงไปทางเหนือ ซึ่งเป็นจังหวัดปัตตานี และออกสู่อ่าวไทยบริเวณอ่าวปัตตานี ซึ่งปิดล้อมด้วยแหลมคาชี

จากข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดรายวัน ณ สถานีตรวจอากาศปัตตานี ตั้งแต่มกราคม 2531ถึง2534 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด อยู่ในเดือนเมษายนของทุกปี โดยมีค่าสูงสุด 35 °ซ ในเดือนเมษายน 2533 และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน อยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ หรือมีนาคมของทุกปี โดยมีค่าต่ำสุด 20.5 °ซ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2532

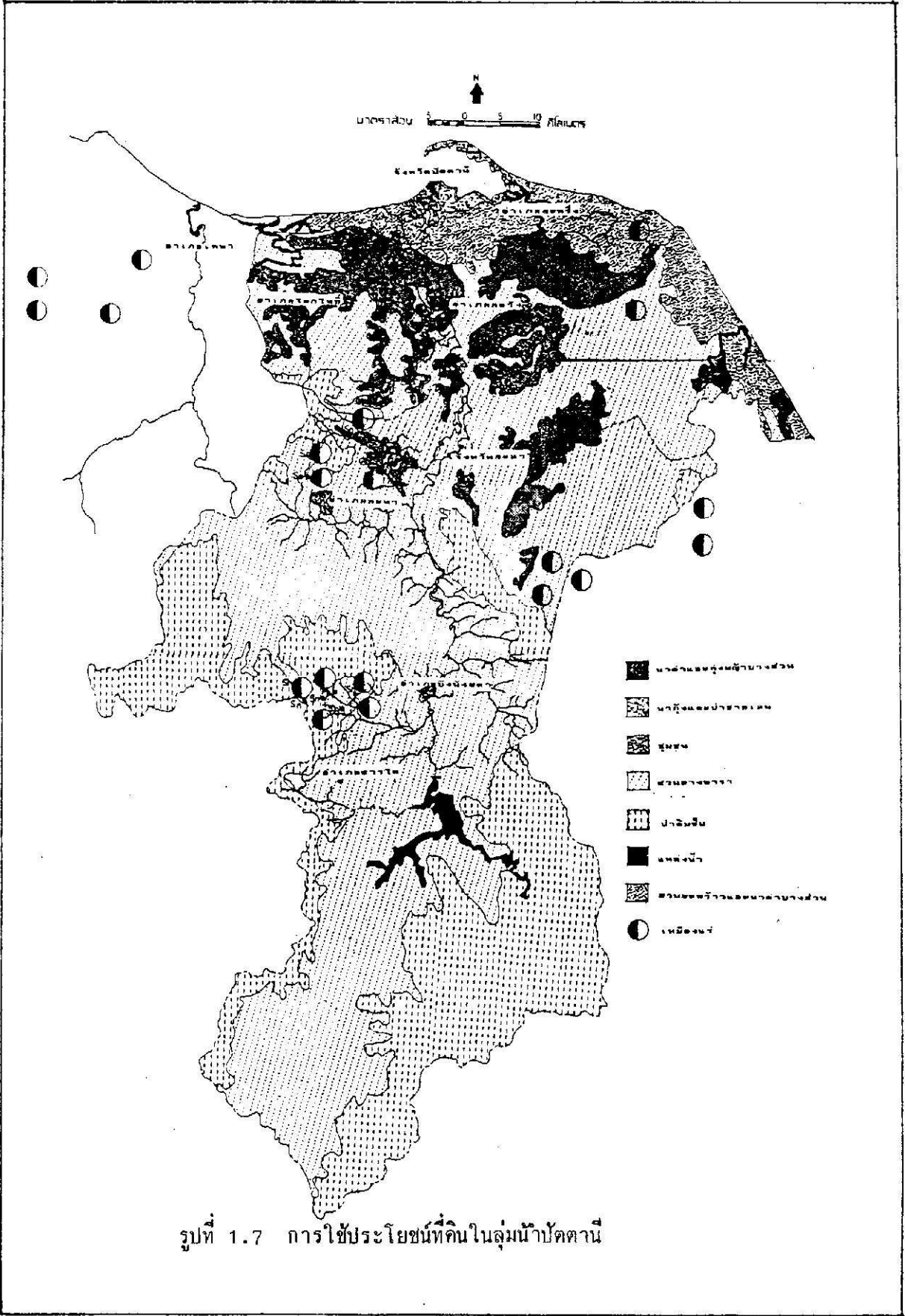
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2521 ถึง ธันวาคม 2534 ของสถานีตรวจอากาศปัตตานี แสดงช่วงแล้งในเดือนมกราคม ถึง มีนาคม จากนั้นปริมาณน้ำฝนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีปริมาณสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ประมาณ 1500 มม. โดยมีอากาศแห้งๆ เขตร้อนเกือบทุกปี ปริมาณน้ำฝนในปี 2535 เป็นรายเดือน(ปรียา วิริยานนท์: คิดต่อส่วนตัว) มีดังนี้

มค	กพ	มีค	เมษ	พฤษ	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ
12.7	7.9	11	21.4	64.6	105.5	128.3	106.4	145.3	221.3	385.7	234.5	23.3	3.8
3.9	7	0	0	79.7	182.8	59.8	93.9	71.3	269.6	284.8	220.1	18.3	0.5

(หน่วยเป็น มิลลิเมตร แถวบน สถานีบ่อทอง แถวล่าง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี)

1.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

บริเวณจังหวัดยะลาซึ่งเป็นต้นน้ำลำธาร มีป่าดิบชื้นบริเวณเทือกเขาชายแดนไทย-มาเลเซีย ส่วนที่เหลือเป็นส่วนยางเกือบหนึ่งล้านไร่ และมีสวนผลไม้จำพวกทุเรียนและลองกองแทรกอยู่บ้างในส่วนยาง



รูปที่ 1.7 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำปัตตานี

บริเวณจังหวัดปัตตานีมีสวนยาง ทุเรียน และทุ้งหญ้า บริเวณใกล้อำเภอปัตตานีมีสวนมะพร้าว และ บริเวณป่าชายเลนมีนาเกลือที่เพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังมีเขตอุตสาหกรรม บริเวณปากแม่น้ำปัตตานี เป็นอุตสาหกรรมปลาทู และอาหารทะเล

อำเภอบังนังस्ता จังหวัดยะลา มีเมืองแร่ที่มีประวัติการทำเหมืองดีบุกมากกว่า 100 ปีมีแร่ตะกั่ว และ สสารหนู เป็นเพื่อนแร่ ในช่วงหลายปีมานี้ มีเหมืองหินอ่อนและหินปูน เปิดทำการในบริเวณใกล้ ๆ กับเหมืองดีบุกหลายเหมือง นอกจากนี้ยังมีเหมืองดีบุกอีกหลายแห่งในลุ่มน้ำปัตตานี ยะหริ่ง และ เทพา (รูปที่ 1.7)

2. การตรวจเอกสาร

2.1 บทนำ

รายงานเกี่ยวกับโลหะหนักในตะกอน และน้ำในลำธาร มีอยู่ในเอกสารทั่วไป Castaing และคณะ (1986) Ramaworthy และ Rust (1978) และ Rule (1986) ศึกษาโลหะหนักในตะกอนธารน้ำที่เกิดจากอุตสาหกรรม โลหะหนักเหล่านี้ประกอบด้วย Cu , Pb , Zn , Ni , Cd , Hg , Co , Cr , Fe และ Mn Reece และคณะ (1978) และ Yim (1981) รายงานเกี่ยวกับปริมาณของ Cu , Pb , Zn , Cd , Sr , As , W , Fe และ Mn ในตะกอนธารน้ำที่เกิดจากการทำเหมือง Montei และ Foster (1991) รายงานว่ามี Cu , Pb , Zn , Cd และ Ag สูงในตะกอนธารน้ำใกล้ ๆ กับกองขยะ

ของเสียที่ปล่อยออกจากเหมืองแร่ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ตะกอน มูลแร่ และน้ำที่เป็นกรด (Acid mine Water) แร่ในธรรมชาติจะอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อมีการทำเหมืองจะทำให้แร่สัมผัสกับอากาศและน้ำโดยตรง ทำให้เกิดการละลายเอาโลหะหนักจากแร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

Funk et al. (1975) รายงานว่าแม่น้ำ Coeur D'Alene ของรัฐ Idaho มีโลหะหนักในน้ำจากการทำเหมือง ได้แก่ สังกะสี (28 มก/ล.) แคดเมียม (0.35 มก/ล.) ตะกั่ว (2.8 มก/ล.) ซึ่งทำให้สาหร่ายสูญหายไปจากแม่น้ำนี้ (Barlett et al., 1974)

เหมืองแร่ที่ทิ้งมูลแร่ Arsenopyrite ($FeAsS$) Pyrite (FeS_2) และโลหะซัลไฟด์อื่น ๆ ลงในแม่น้ำ Belle Fourche และ Whitewood Creek ในรัฐ South Dakota มีประมาณ 100 ล้านตัน (Marron , 1978) พบว่าปริมาณสารหนูในตะกอนธารน้ำ ห่างไปทางท้ายน้ำ 25 กิโลเมตร มีค่าสูงถึง 5400 มก/ล.

ผลกระทบต่อการทำเหมืองแร่ดีบุก และ wolfram ในเกาะที่สมาเนีย ออสเตรเลีย พบโลหะหนักปนเปื้อนในแม่น้ำหลายชนิด ได้แก่ Cd , Cu , Fe , Pb , Mn และ กรดกำมะถัน ทำให้ไม่สามารถนำน้ำมาใช้บริโภคได้ (Tyler et al., 1973)

ในประเทศไทย พบว่าผลกระทบจากการทำเหมืองดีบุก และวุลแฟรม บริเวณอำเภอรัตนัญญ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนู ทั้งในดิน และในน้ำ จนทำให้มีผู้ป่วยจากพิษสารหนูเป็นจำนวนมาก (ณรงค์ ฒ เชียงใหม่ , อารี สุวรรณงณี , 2530)

โลหะหนักที่มีแหล่งกำเนิดจาก Non-point Source ได้แก่ การเกษตรกรรมโดยมีโลหะหนักที่มาจากยาฆ่าแมลงและยาฆ่าหญ้าในสมัยก่อน รวมทั้งปุ๋ยฟอสเฟตบางแหล่งอาจมีโลหะหนักปนเปื้อน ตลอดจนการใช้น้ำมันเบนซินที่มีการเติมสารตะกั่วเพื่อเพิ่มออกเทน และการใช้สี ยาแผนโบราณ อาจจะเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักได้

2.2 สภาวะทางเคมีของโลหะ (Metal Speciation)

สภาวะทางเคมีของโลหะ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ หรือสารประกอบใด ๆ ในสภาวะทางเคมีต่าง ๆ กัน เช่น สารละลาย สารประกอบอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์ โดยความเข้มข้นของธาตุ หรือ สารประกอบในรูปแบบต่าง ๆ (Speciation Concentration) มีค่าเท่ากับความเข้มข้นรวมของธาตุนั้น (Bulk Concentration) (Salomons et al., 1984)

2.2.1 สภาวะทางเคมีของโลหะหนักในน้ำ (Metal Speciation in Aquatic System)

Elder (1988) ได้จำแนก สภาวะทางเคมีของโลหะในน้ำดังนี้

- Dissolved Fraction ส่วนที่เป็นสารละลายในน้ำ
- Exchangeable Fraction อยู่ในสภาวะของโลหะที่ถูกดูดซับ กับอนุภาคเล็ก ๆ จับตัวกันไม่แน่นพร้อมที่จะออกไปเป็นสารละลาย
- Carbonate Fraction โลหะอยู่ร่วมกับอนุภาคคาร์บอเนต
- Iron - Manganese Fraction โลหะถูกดูดซับกับเหล็ก และแมงกานีส
- Organic Fraction โลหะถูกดูดซับกับสารอินทรีย์

2.2.2 สภาวะทางเคมีของโลหะในดินตะกอน (Metal Speciation Sediment)

Elder (1988) ได้จำแนก สภาวะทางเคมีของโลหะในตะกอนธาาน้ำเป็น 5 กลุ่ม

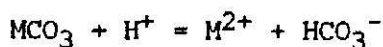
- Exchangeable Fraction

เป็นโลหะที่ถูกดูดซับ (Adsorb) กับแร่ดิน (Clay) เป็นการแลกเปลี่ยน Ion โดยประจุของ Clay ขึ้นอยู่กับ H^+ ของตะกอน ค่าประจุลบจะต่ำในดินกรด และสูงในดินที่เป็นเบส ประจุบวกของโลหะหนึ่งจะถูกแทนที่ โดยประจุบวกของโลหะอื่นที่มี Ionic Potential สูงกว่าหรือกล่าวได้ว่า มีความสัมพันธ์กับ Ionic Potential และ pH ของน้ำซึ่งมีผลต่อการดูดซับบนผิวของแร่ดิน

- Carbonate Fraction

โลหะจะอยู่ในรูปของ Carbonate เช่นตะกั่วคาร์บอเนต ($PbCO_3$) และสังกะสีคาร์บอเนต ($ZnCO_3$) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโลหะจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำในดิน

ตามสมการ



เมื่อ $M =$ โลหะที่มีวาเลนซ์ 2

ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวา เมื่อมีความเป็นกรดมากขึ้น และจะไปทางซ้ายเมื่อความเป็นด่างมากขึ้น

- Iron and Manganese Oxide Fraction

กลุ่มโลหะที่ดูดซับกับเหล็ก และแมงกานีสออกไซด์ โดยที่ออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง Speciation ใน Aquatic System มาก เนื่องจากพื้นผิวของเหล็ก และแมงกานีสออกไซด์ มีความสามารถในการดูดซับสูง (Strong Sorptive Capacity) Jemme (1968) ชี้ให้เห็นว่า อิทธิพลของพื้นผิวของเหล็ก-แมงกานีสออกไซด์ มีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักมาก Stumm et al. (1981) พบว่า แมงกานีสออกไซด์มีประจุเป็นลบในสภาพน้ำที่ถึงไปเหล็กเป็นได้ทั้งบวก และลบ จึงดูดซับโลหะหนักที่มีประจุบวกได้ Gibbs (1973) พบว่า Cu , Cr และ Ni ถูกจับโดย Hydrous Iron-Manganese Oxide ถึง 50 % ของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในแม่น้ำอเมซอน และแม่น้ำยูคอน

- Organic Fraction

กลุ่มโลหะที่ดูดซับกับสารอินทรีย์ (Humus) จะมีประจุเป็นลบคล้าย ๆ กับแร่ดิน (Clay) (Nyle , 1984) นอกจากนั้นสารอินทรีย์ยังจับโลหะได้โดยแบบ Chelation ภายใต้สภาวะ Oxidation สารอินทรีย์จะสลายตัวปลดปล่อยโลหะเข้าสู่สภาวะสารละลายได้

- Residual Fraction

โลหะในสภาวะ Residual Fraction เป็นแร่ปฐมภูมิที่เป็นสารประกอบเหมือนกับแหล่งกำเนิดโดยที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีใด ๆ เช่น ตะกั่ว และสังกะสีอยู่ในรูป PbS และ ZnS แคดเมียมอาจจะเป็น Solid Solution ในผลึกแร่ (Zn,Cd)S สารหนูอยู่ในรูป FeAsS เป็นต้น

2.3 สภาวะทางเคมีของโลหะในน้ำ

โลหะจะอยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble Phase) เมื่อ pH และ Eh ต่ำ (Reducing Environment) มีตะกอนแขวนลอยน้อย (Low Particulate Load) และมีสารอินทรีย์ละลายในน้ำมาก

ถ้า pH เพิ่ม และกระแสน้ำไหลแรง (High Hydraulic Energy) ตะกอนแขวนลอยจะมีมาก โลหะจะอยู่ใน Suspended Solid Phase

ในตะกอนธรรมชาติที่มีสารอินทรีย์มาก ถ้าสภาวะเปลี่ยนไปเป็นสภาวะที่ pH และ Eh สูงขึ้น โลหะจะละลายออกมาในน้ำ

ในน้ำที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ สัตว์น้ำจะสะสมโลหะหนักอยู่ในตัวมันเอง การสลายตะกอนดินในตัวสัตว์น้ำ จะทำให้โลหะออกมาในสภาพสารละลายได้เช่นกัน

โลหะในตะกอนธรรมชาติจะเกิดร่วม กับสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตในท้องถิ่น (Elder , 1988)

3. วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 แหล่งข้อมูล

พื้นที่ทำการศึกษายู่บริเวณจังหวัดยะลา และปัตตานี โดยศึกษาตะกอนธารน้ำตามแม่น้ำปัตตานี น้ำ สารแขวนลอย น้ำในระบบประปา และตัวอย่างดินในลุ่มน้ำ นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างจากกองมูลแร่ บริเวณต้นน้ำธาราค้วย

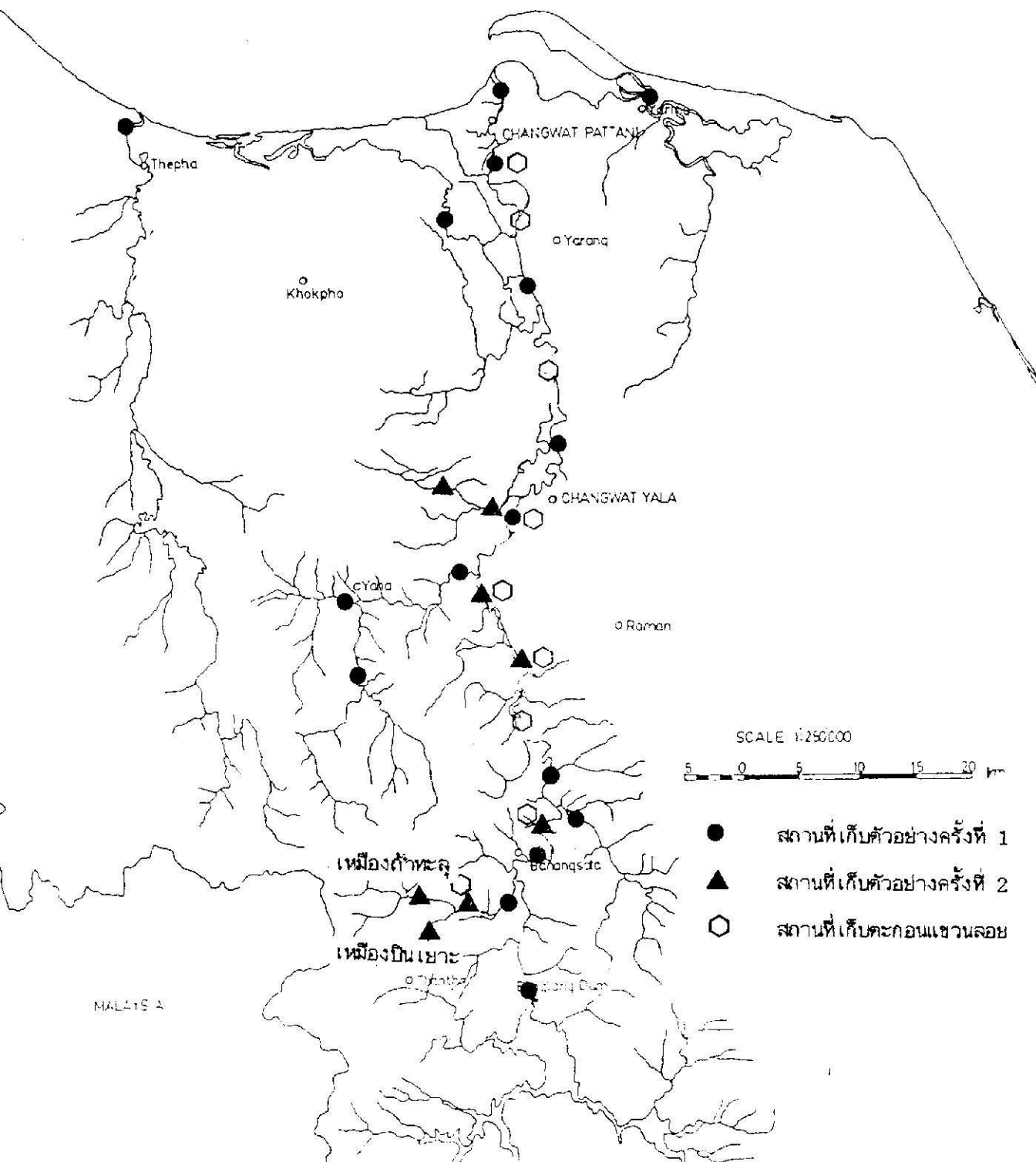
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างใช้วิธีการของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530) ตัวอย่างดิน เก็บโดยใช้ grab และเก็บน้ำโดยกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ ในบริเวณปากอ่าวและช่วงที่น้ำลึกจะใช้เรือ ในบริเวณที่น้ำตื้นจะใช้พลั่วตัก ตัวอย่างน้ำจะเก็บในขวด polyethelene น้ำที่ใช้วิเคราะห์โลหะหนัก จะ acidified ด้วย กรดไนตริก 2 cc ต่อลิตร น้ำที่ใช้วิเคราะห์ anion จะแช่ในน้ำแข็งและวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง ดังนี้

(1) เก็บตัวอย่างในช่วงหน้าแล้ง ระหว่างวันที่ 3-5 มีนาคม 2535 โดยเก็บตัวอย่างตะกอนธารน้ำ และตัวอย่างน้ำในลุ่มน้ำปัตตานีจำนวน 14 สถานี และได้เก็บตัวอย่างจากปากแม่น้ำยะหริ่งและปากแม่น้ำเทพา ซึ่งเป็นลุ่มน้ำใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบด้วย(ดูรูปที่ 3.2)

(2) เก็บตัวอย่างน้ำ และตะกอนธารน้ำ เพิ่มเติมในระหว่างวันที่ 28-30 กรกฎาคม 2535 จำนวน 14 ตัวอย่าง เป็นระยะเวลาที่ฝนทิ้งช่วง(ดูรูปที่ 4.2.1)

(3) เก็บตัวอย่างดินตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อครอบคลุมลุ่มน้ำปัตตานี ได้แก่ ดินสวนยาง ดินนาค้า ดินสวนมะพร้าว และดินจากนาทุ่ง รวมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ในระหว่างวันที่ 3-4 ตุลาคม 2535 (ดูรูปที่ 4.3.1)



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงสถานที่เก็บตัวอย่าง

(4) เก็บตัวอย่างในช่วงหน้าฝนระหว่างวันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2535 โดยเก็บเฉพาะ ตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปัตตานี (Suspended Solid) รวม 9 ตัวอย่าง และได้เก็บตัวอย่างจากถัง ตกตะกอนของระบบประปา จังหวัดยะลา และปัตตานี รวม 2 ตัวอย่าง นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนเข้าระบบประปา และน้ำที่ไต่ผ่านระบบประปาแล้ว อีก 4 ตัวอย่าง ในวันที่ 21 พฤศจิกายน

(5) เก็บตัวอย่างน้ำเข้า-ออกของระบบประปา จังหวัดยะลา-ปัตตานี และน้ำในแม่น้ำปัตตานี อีก 4 ตัวอย่างในวันที่ 12 มกราคม 2536

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ตะกอนแขวนลอย ตะกอนอาหารน้ำ ได้ปฏิบัติตามวิธีมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป และตามเอกสารอ้างอิงที่ใช้กันมาก ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับสิ่งแวดล้อม สำหรับตัวอย่างดิน ได้ใช้ตัวอย่างมาตรฐาน JG-1 ของ Geological survey of Japan ส่วนตัวอย่างน้ำได้เตรียมมาตรฐานที่ระดับครึ่งหนึ่งของเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2530)

3.3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

นำตัวอย่างน้ำที่ได้รับการทำให้เป็นกรด (Acidified) ด้วย HNO_3 กรองและวิเคราะห์ด้วย Inductively Couple Plasma (ICP : Perkin - Elmer Plasma 1000) เพื่อหาปริมาณ Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Cd และ As

ตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งจะได้รับการแช่แข็ง โดยไม่เติมกรดในภาคนามเพื่อวิเคราะห์หา Anion พวก Chloride , Carbonate และ Sulphate

3.3.2 การวิเคราะห์ดิน และตะกอนธาาน้ำ

นำตัวอย่างตะกอนที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 ไมครอน (80 เมช) ประมาณ 5 กรัม ไปย่อยสลายด้วยกรด HNO_3/HCl (1:3) บน Hot Plate ที่อุณหภูมิ 90°C จนแห้ง เติมกรด HNO_3 เข้มข้น 10 ml และน้ำกลั่น 10 ml คนให้เข้ากัน อุณหภูมิ 10 นาที กรองใช้ 5 % HNO_3 ล้างตะกอน ปรับปริมาตรให้เท่ากับ 50 ml นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หา Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Cd, และ As ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS : GBC-902)

3.3.3 การวิเคราะห์ด้วย Sequential Extraction

เทคนิค Sequential Extraction เพื่อศึกษา Speciation ของโลหะต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธีการของ Teisser et al. (1987) โดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง 80 เมช อบแห้งจำนวนตัวอย่างละ 5 กรัม

(1) Exchangeable Species

สกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย Sodium Acetate 1 โมลาร์ ที่ pH 8.2 จำนวน 25 ml ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(2) Carbonate Species

นำตะกอนที่เหลือ (Residue) จาก (1) มาสกัดด้วยสารละลาย Sodium Acetate 1 โมลาร์ (ปรับ pH ให้เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก) จำนวน 25 ml ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

(3) Fe-Mn Oxide Species

นำ Residue จาก ข้อ (2) สกัดด้วยสารละลาย 0.04 โมลาร์ Hydroxylamine Hydrochloride (ในสารละลายของกรดอะซิติก 25 %) จำนวน 25 ml ที่ อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สารละลายส่วนนี้จะสกัดจากเหล็ก และแมงกานีสออกไซด์

(4) Organic Species

นำ Residue จาก ข้อ (3) มาย่อยสลายด้วยสารละลายผสมของ 0.02 โมลาร์ HNO_3 6 ml กับ 35 % H_2O_2 (pH = 2) 10 ml ที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เติมกรด 35 % H_2O_2 เพิ่มอีก 6 ml สะกัดต่อที่อุณหภูมิ 85 °C อีก 2 ชั่วโมง ทิ้งให้อุณหภูมิลดลง เท่ากับอุณหภูมิห้อง เติมสารละลาย 3.2 โมลาร์ Ammonium Acetate (ใน 20 % V/V HNO_3) 10 ml ผสมเข้าด้วยกัน สารละลายส่วนนี้จะเป็นสารสกัด จากสารอินทรีย์

(5) Residual Species

นำ Residue จาก ข้อ (4) มาย่อยด้วยกรดเกลือ และไนตริก อัตราส่วน 1:3 โดยผสมกรดเกลือ 18 ml กับกรดไนตริก 6 ml บน Hot Plate จนแห้งทิ้งให้อุณหภูมิลดลงจน เท่าอุณหภูมิห้อง เติม 50 % HNO_3 15 ml ลู่นไฟอ่อน ๆ ประมาณ 2 ชั่วโมง กวองและล้างตะกอน ด้วย 5 % HNO_3 สารละลายที่ได้เป็นสารละลายของโลหะใน Residual Species ซึ่งจะเป็นกลุ่ม โลหะที่อยู่ในรูป Sulphides และ Oxides

นำสารละลายที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 วิเคราะห์หาปริมาณ Cu , Pb , Zn , Fe , Mn , Cd และ As ด้วย AAS ถ้าปริมาณโลหะใดมีค่าต่ำมาก จนไม่สามารถวิเคราะห์ ด้วย AAS ได้จะใช้ ICP วิเคราะห์แทน

4. ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างครั้งแรกในหน้าแล้ง เพื่อลดแหล่งที่มาจาก Non-point Source ให้มากที่สุด เนื่องจาก Contribution จาก Non-point Source จะมาจากตอนที่ฝนตกมากที่สุด ในช่วงแรกจะเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมตลอดความยาวของลำน้ำ หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในชั้นรายละเอียดย โดยมิผลการวิเคราะห์ทางเคมี ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น (Reconnaissance Survey)

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างในตะกอนธารน้ำในแม่น้ำปัตตานี จำนวน 14 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำยะหริ่ง และแม่น้ำเทพา (ตารางที่ 4.1) ในวันที่ 3-5 มีนาคม 2535 ได้ผลว่า

4.1.1 โลหะหนักในตะกอนธารน้ำ

บริเวณบ้านกาไสต (P2 คลองไอร่อกือโงะ) มีตะกั่วถึง 3333 ppm. สารหนู 200 ppm. แคดเมียม 9 ppm. นอกจากนี้ยังมี ทองแดง 385 ppm. สังกะสี 718 ppm. และมีปริมาณเหล็ก และแมงกานีสสูงมากล่าธารสายนี้ไหลมาจากหมู่เหมืองบินเยาะ และเหมืองถ้ำทะลุ ปริมาณโลหะหนักในตะกอนบริเวณนี้ เกิดจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในบริเวณดังกล่าว โดยที่แหล่งแร่แหล่งนี้มีแร่ Arsenopyrite (FeAsS) Chalcopyrite (CuFeS_2) Galena (PbS) และ Sphalerite (ZnS) เกิดร่วมกันอยู่ด้วย

ตำแหน่งที่อยู่ถัดลงไปได้แก่ P5 ซึ่งอยู่ห่างจาก P2 ประมาณ 20 กิโลเมตร ปริมาณโลหะหนักลดลงเกือบกึ่งหนึ่งของ P2 โดยมีตะกั่ว 1148 ppm. สารหนู 112 ppm. แคดเมียม 1.4 ppm. ทองแดง 134 ppm. สังกะสี 302 ppm. (ดูรูปที่ 4.1.1-4.1.8)

ตารางที่ 4.1 คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1

- P1 เป็นจุดเก็บใต้เขื่อนบางลาง ห่างประมาณ 500 เมตร
- P2 บริเวณบ้านกาโสด (คลองไอร์กือโงะ) เป็นลำธารที่ไหลมาจาก อำเภอธารโต ผ่านหมู่เหมือง ถ้ำทะลุ และหมู่เหมืองปิ่นเขาชะ
- P3 เป็นลำธารที่ไหลมาจากอำเภอบันนังสตา
- P4 เป็นลำธารที่ไหลมาจากนิคมสร้างตนเองกือลอง (คลองกือลอง)
- P5 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านกูวา
- P6 เป็นตัวอย่างที่เก็บบริเวณบ้านปะแต ในลำคลองซึ่งไหลผ่าน อำเภอยะหา ลงสู่แม่น้ำปัตตานี
- P7 เป็นลำธารสายเดียวกันกับ P6 ที่ไหลผ่าน อำเภอยะหา
- P8 เป็นตัวอย่างบริเวณบ้านลาตี ในลำธารที่ไหลผ่าน P6 และ P7 ใกล้เคียงแม่น้ำปัตตานี
- P9 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านสะเตง ประมาณ 1 กิโลเมตร ก่อนถึงตัวเมือง ยะลา
- P10 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านควนปะตี ประมาณ 2 กิโลเมตร ห่างจากตัวเมือง ยะลา
- P11 เป็นบริเวณบ้านท่ากูโบ เป็นทางน้ำที่แยกจากแม่น้ำปัตตานี สมทบกับลำน้ำเล็ก ๆ ไหลไปทาง อำเภอหนองจิก
- P12 เป็นตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บ้านบาชาแอ อำเภอยะรัง
- P13 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บ้านโรงอ่าง ประมาณ 1 กิโลเมตร ก่อนถึงตัวเมืองปัตตานี
- P14 ตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำปัตตานี
- T1 ตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำเทพา
- Y1 ตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำยะหริ่ง

ตาราง 4.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างตะกอนธาณำน้ำในแม่น้ำปัตตานี

เก็บตัวอย่าง ตะกอนท้องน้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 3-5 มีนาคม พ.ศ.2535

Sample	Sequential Extraction/ppm.						
	Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn
P1	62.08	12.76	-	19.55	137.85	18343.01	198.87
P2	3333.16	200.36	9.07	385.86	718.35	59768.01	2808.28
P3	11.41	2.08	-	1.58	14.28	62370.78	143.55
P4	15.84	9.11	-	1.14	18.23	4830.74	165.92
P5	1148.73	112.39	1.44	134.02	302.27	6356.36	1885.56
P6	9.9	4.13	-	1.38	12.46	29233.74	93.85
P7	7.1	1.87	-	-	3.33	4961.30	224.05
P8	15.22	3.97	-	2.06	30.72	4826.90	240.89
P9	32.17	17.51	-	4.66	31.83	119.34	433.94
P10	92.33	12.43	-	10.26	45.3	4458.29	351.08
P11	116.56	88.78	0.14	10.34	73.24	5233.92	453.57
P12	23.26	30.08	-	1.01	24.34	10020.85	683.90
P13	190.72	72.33	0.08	23.85	103.87	9849.61	559.68
P14	110.41	27.71	-	17.98	72.04	21767.77	394.63
T1	46.27	49.20	-	15.17	72.04	5368.31	378.97
Y1	21.76	5.20	-	1.47	39.03	5471.99	213.15

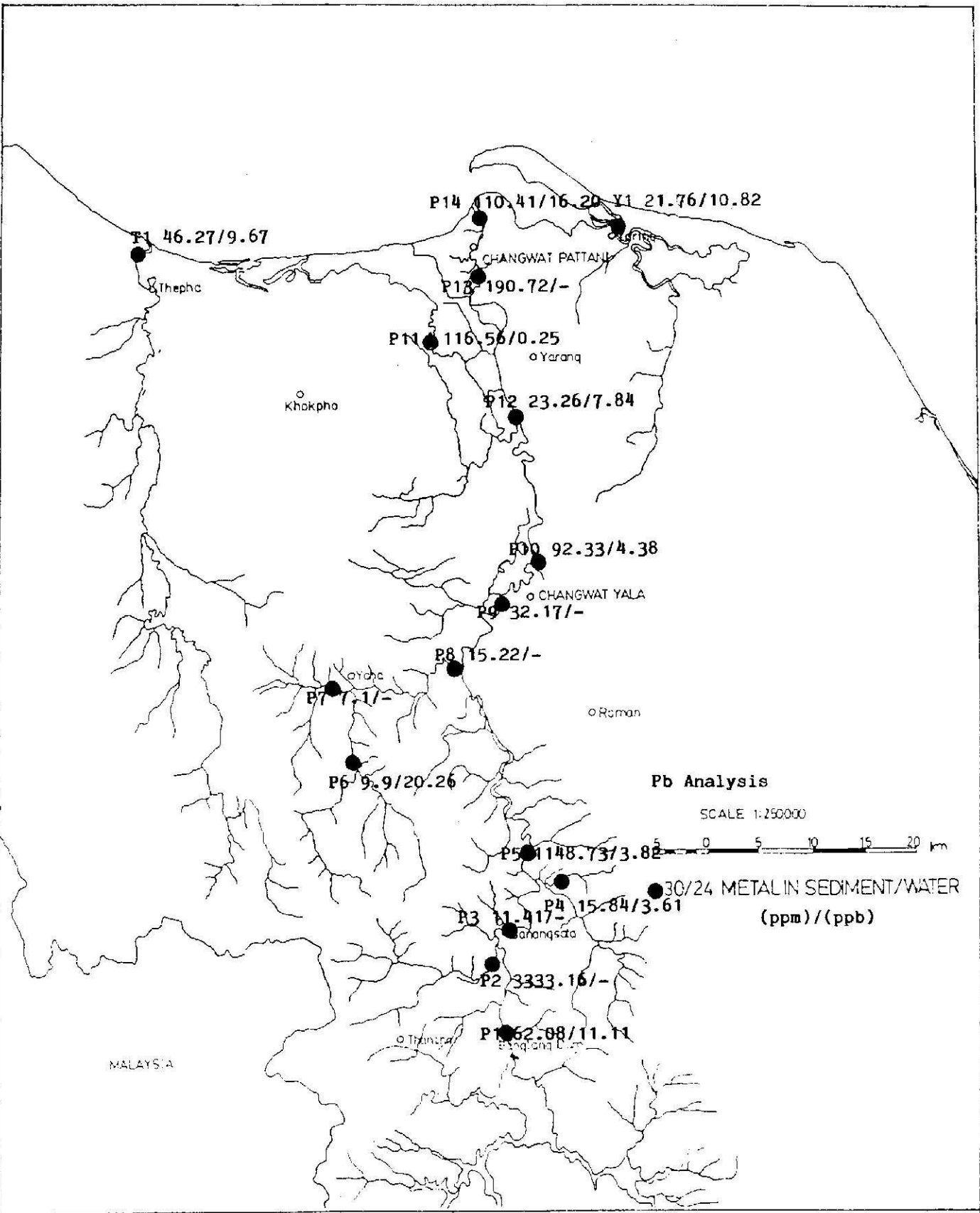
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิตตานี

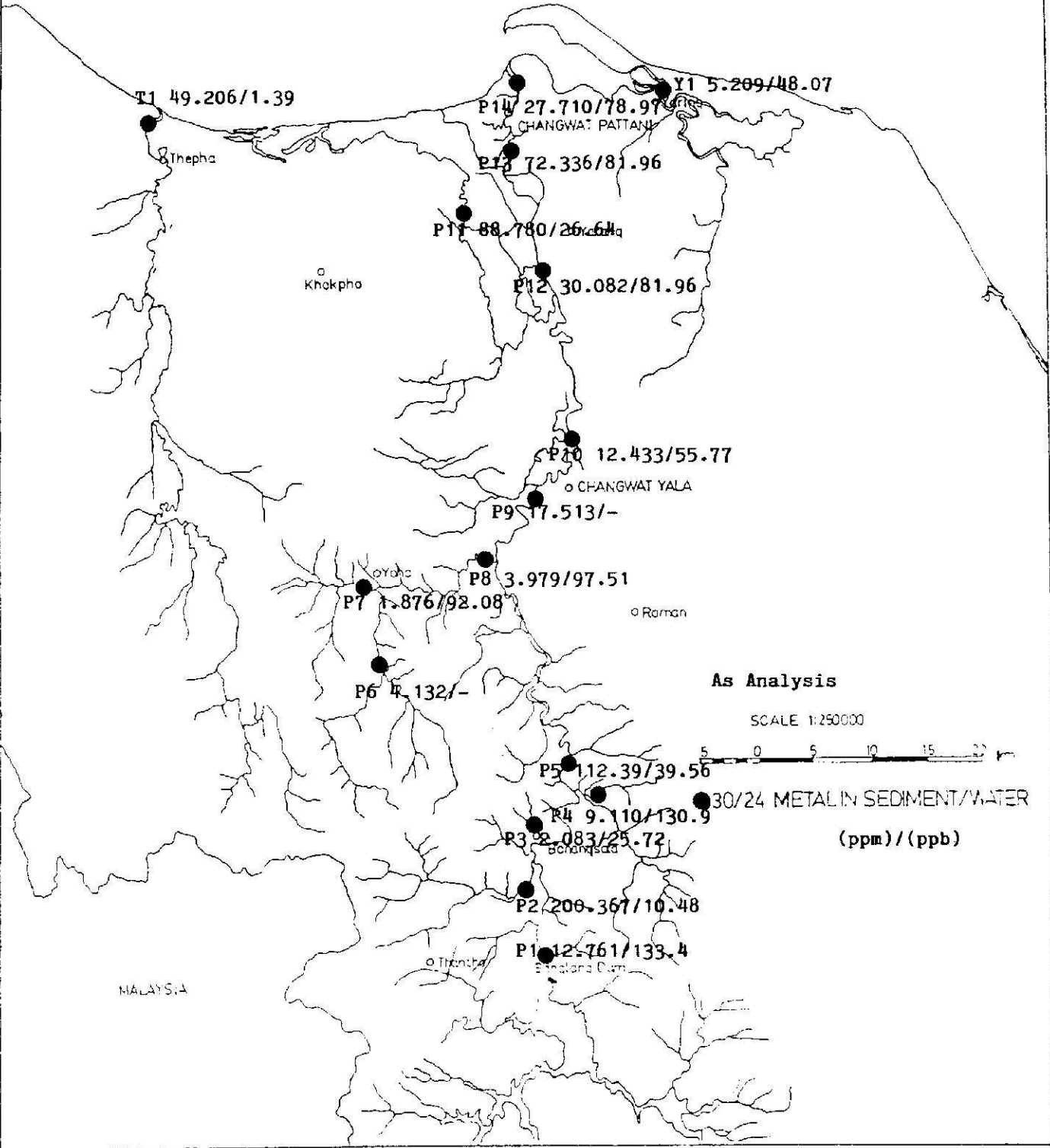
เก็บตัวอย่าง น้ำ ครั้งที่ 1 วันที่ 3-5 มีนาคม พ.ศ.2535

Sample	Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP)								Standard Method		
	ppb.								ppm.		
	Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
P1	11.11	133.4	42.08	-	-	1615	78.84	6.4	3.63	-	10
P2	-	10.48	39.46	-	-	588.3	410.1	7.8	3.49	-	30
P3	-	25.72	40.48	-	-	533.8	205.4	7.0	4.08	-	32
P4	3.61	130.9	38.54	-	-	447.7	4.59	6.9	4.05	-	10
P5	3.82	39.56	39.71	-	-	572.9	29.96	7.0	3.58	-	10
P6	20.26	-	41.44	-	-	919.6	31.68	7.4	3.93	-	14
P7	-	92.08	38.38	-	-	1804	59.86	7.2	3.12	-	8
P8	-	97.51	42.44	-	-	973.6	60.36	7.0	3.46	-	12
P9	-	-	42.59	-	-	1414	129.0	7.3	3.78	-	10
P10	4.38	55.77	41.40	-	-	971.0	69.36	7.0	4.11	-	10
P11	0.25	26.64	40.55	-	-	697.6	40.70	7.2	2.07	-	10
P12	7.84	39.67	39.17	-	-	832.5	79.70	7.4	1.50	-	8
P13	-	81.96	38.33	-	-	697.4	42.08	7.4	2.10	20.23	11
P14	16.20	78.97	39.81	-	-	2992	168.1	7.1	0.59	13825	14
T1	9.67	1.39	41.69	-	-	244.1	-	7.8	6.84	8981	24
Y1	10.82	48.07	39.87	-	-	133.3	8.06	7.9	4.15	11057	18

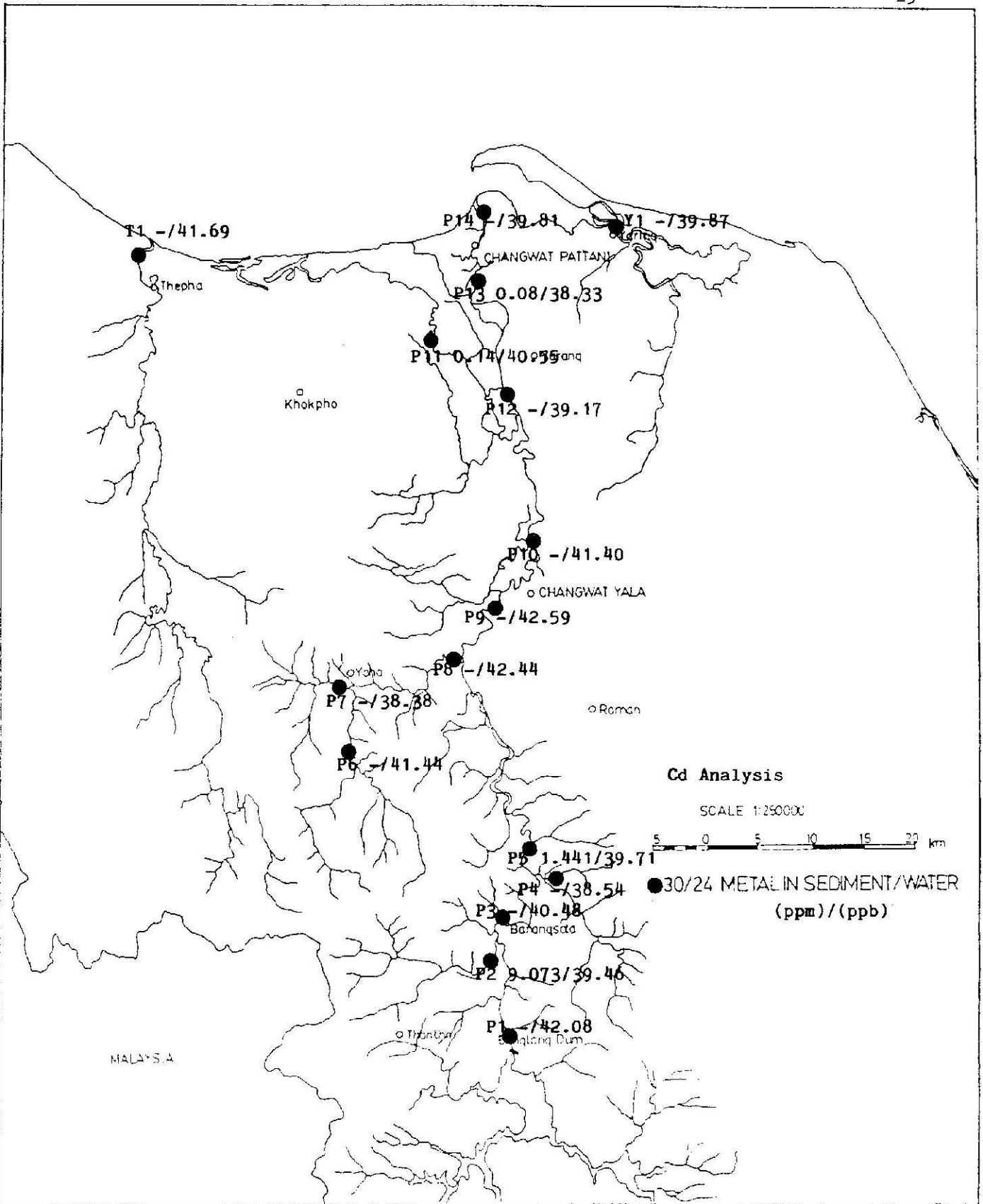
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้



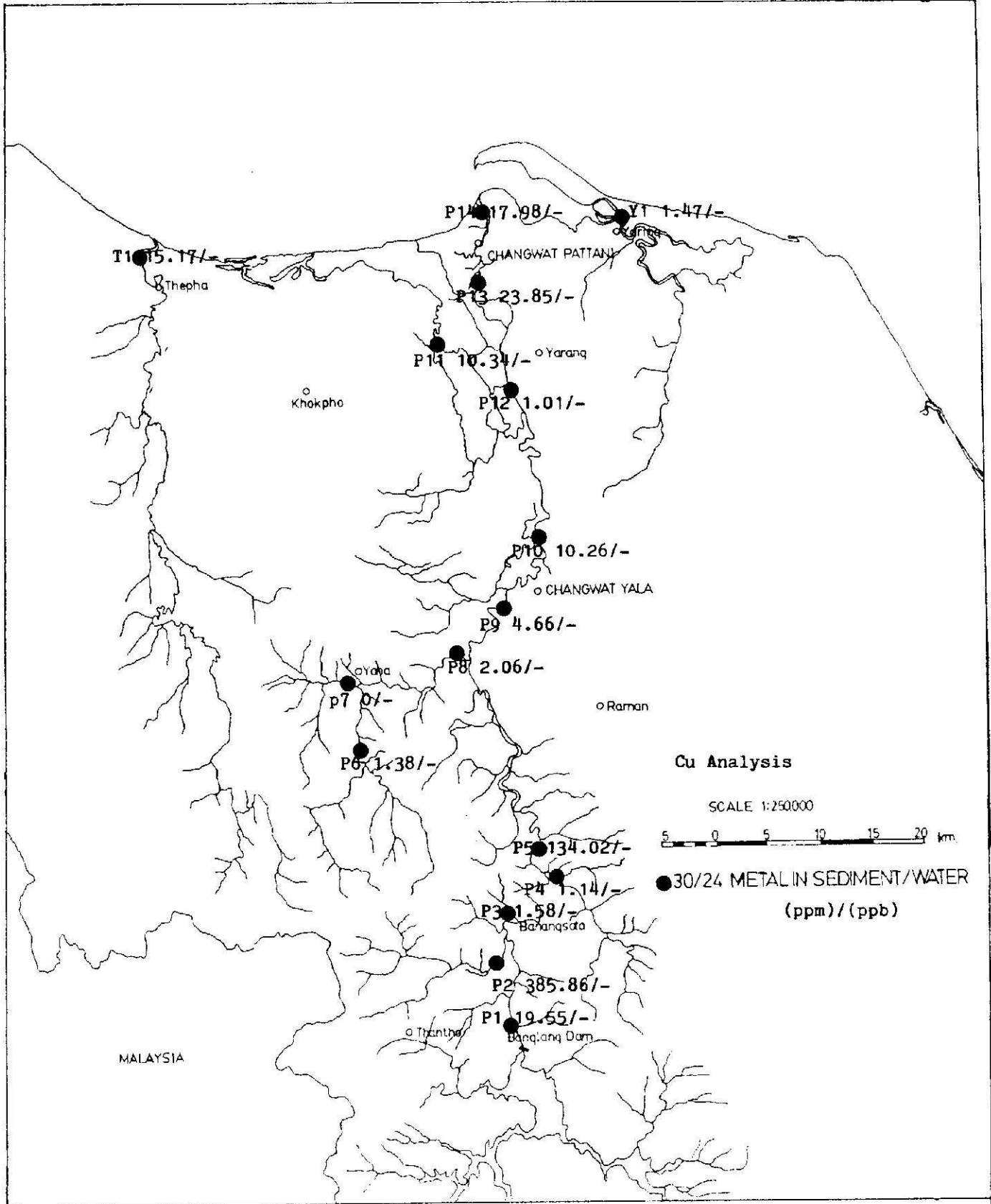
4.1.1 การแพร่กระจายของตะกั่วในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



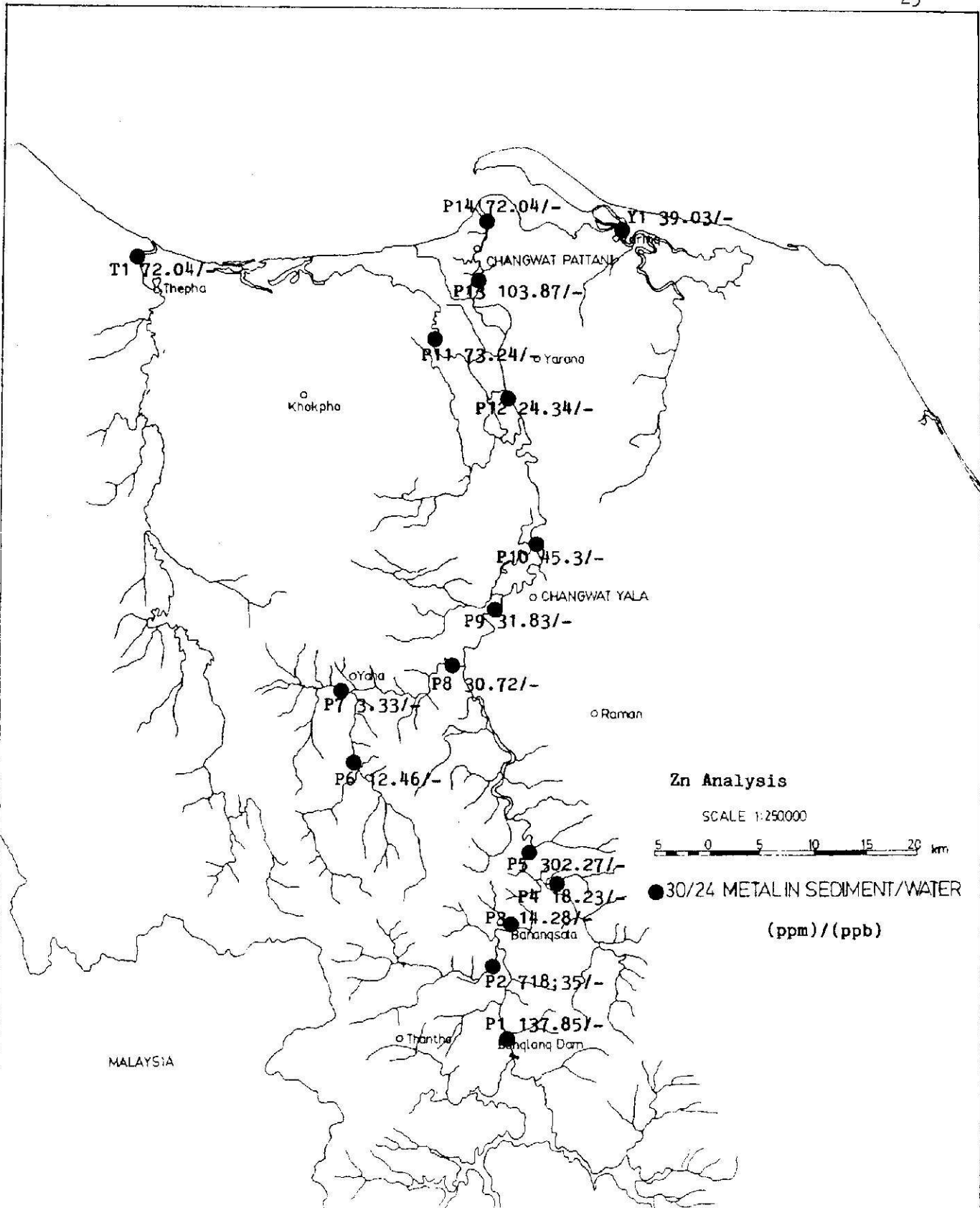
4.1.2 การแพร่กระจายของสารพิษในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



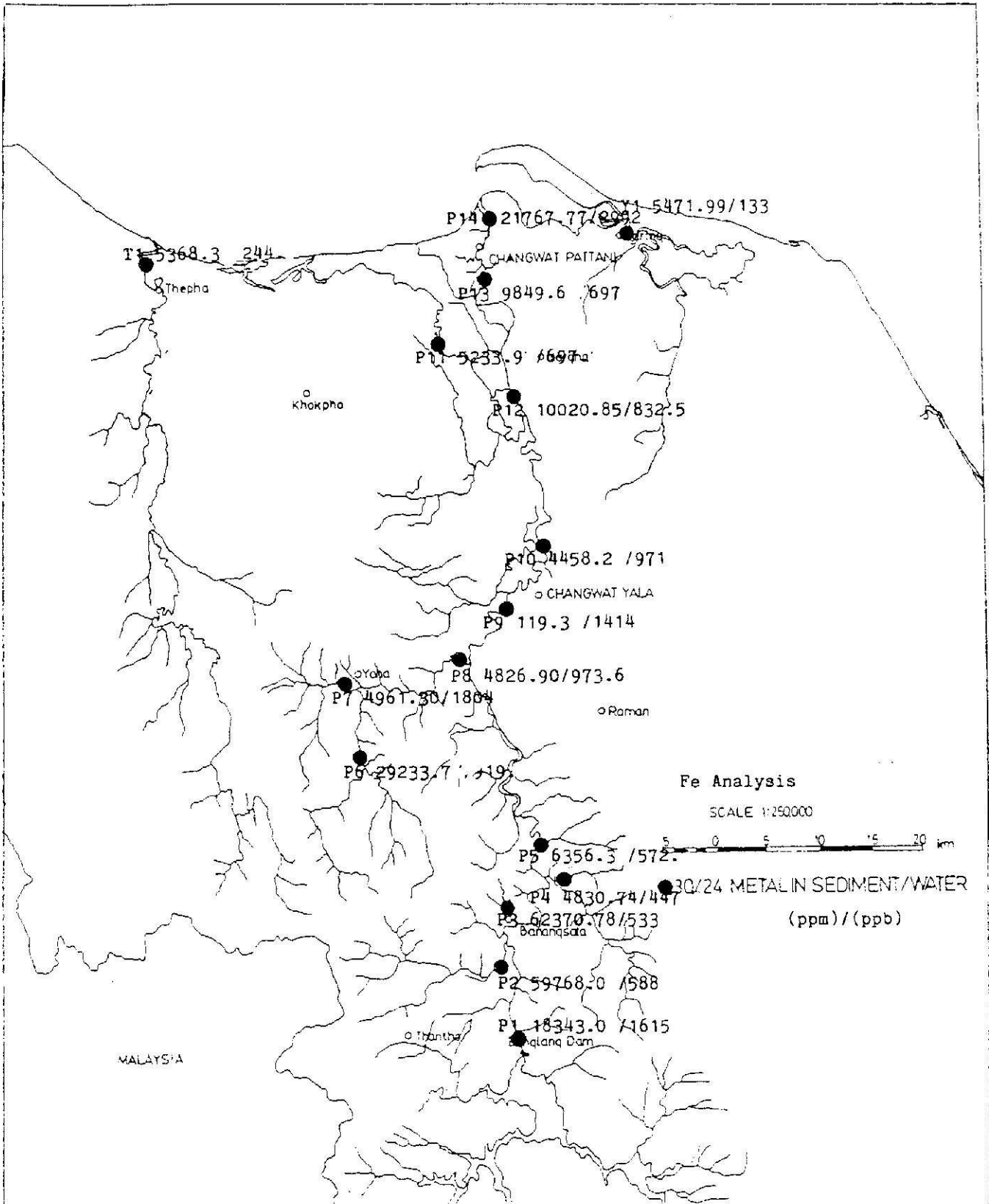
4.1.3 การแพร่กระจายของแคดเมียมในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



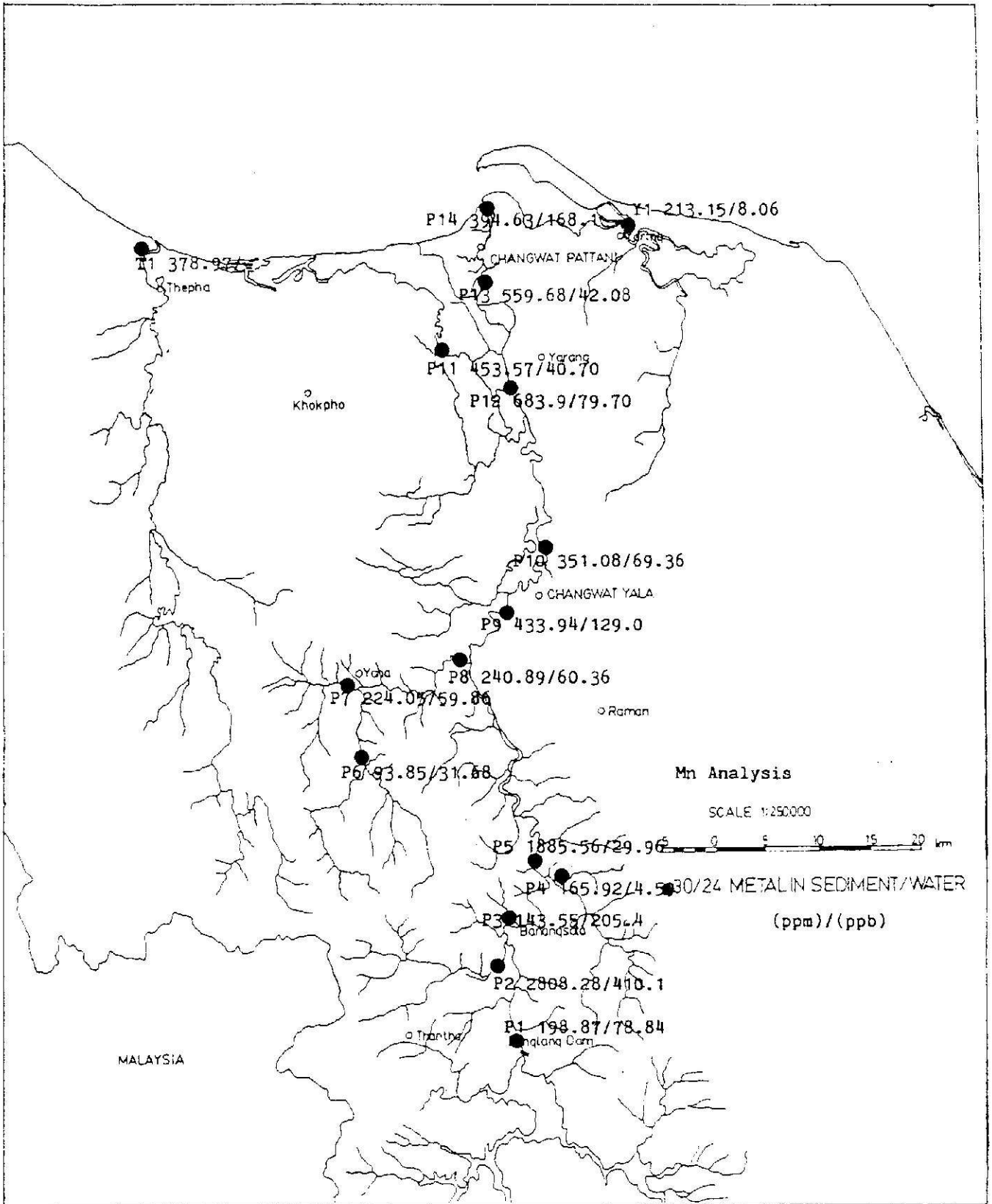
4.1.4 การแพร่กระจายของทองแดงในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



4.1.5 การแพร่กระจายของสังกะสีในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



รูปที่ 4.1.6 การแพร่กระจายของเหล็กในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



รูปที่ 4.1.7 การแพร่กระจายของแมงกานีสในตะกอนธารน้ำ และน้ำ

ในช่วงกลาง ๆ ของแม่น้ำซึ่งความลาดชันสูงกระแสน้ำไหลแรง ปริมาณโลหะหนักลดลง และกลับไ้มีมากขึ้นอีก เมื่อเข้าสู่บริเวณจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นที่ราบความลาดชันน้อยลง ได้แก่ P11 , P13 , P14 ปริมาณตะกั่วจะลดลงเหลือประมาณ 100 ppm. แคดเมียมวิเคราะห์ไม่ได้ ส่วนสารหนู พบเฉพาะบริเวณบ้านโรงอ่าง (P13) ปริมาณสังกะสีอยู่ในระดับ 70-100 ppm. ดินตะกอนบริเวณปาก น้ำเทพา (T1) มีตะกั่ว 46 ppm. สารหนู 49 ppm. ในขณะที่ปากแม่น้ำยะหริ่ง มีตะกั่ว 21 ppm. และ สารหนู 5 ppm. และวัดค่าแคดเมียมไม่ได้

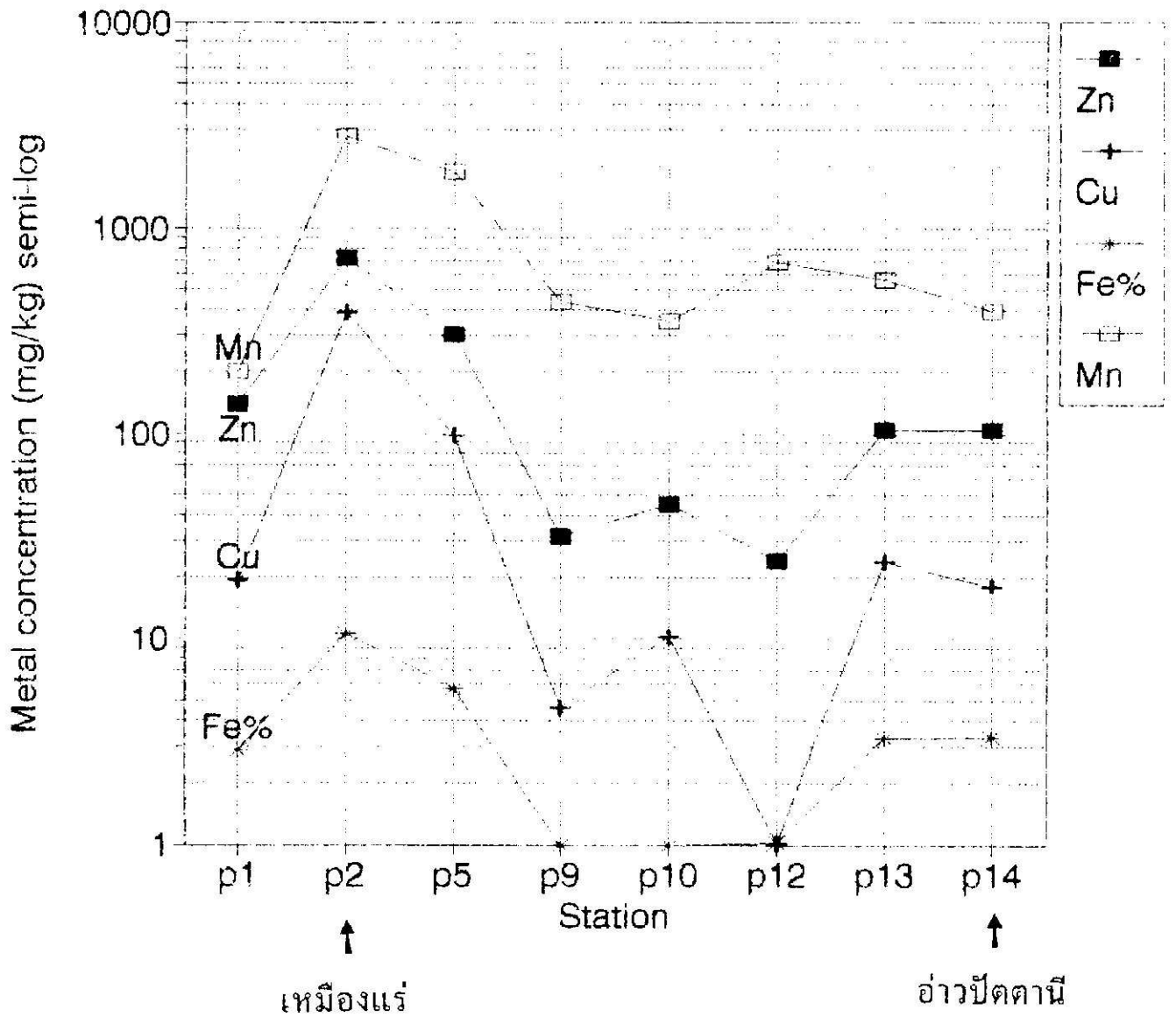
ส่วนบริเวณใต้เขื่อนบางลาง ซึ่งเป็นบริเวณประตูระบายน้ำของเขื่อน (P1) มีตะกั่ว 62 ppm. และมีสารหนู 12.7 ppm.

บริเวณ P3 , P4 , P 6 , P7 , P8 เป็นตัวอย่างที่เก็บในลำธารที่ไหลลงสู่แม่น้ำ ปัตตานี และมีโลหะ Pb , As , Cd , Cu , Zn ค่า (ดูตารางที่ 4.1.1)

4.1.2 โลหะหนักในน้ำ

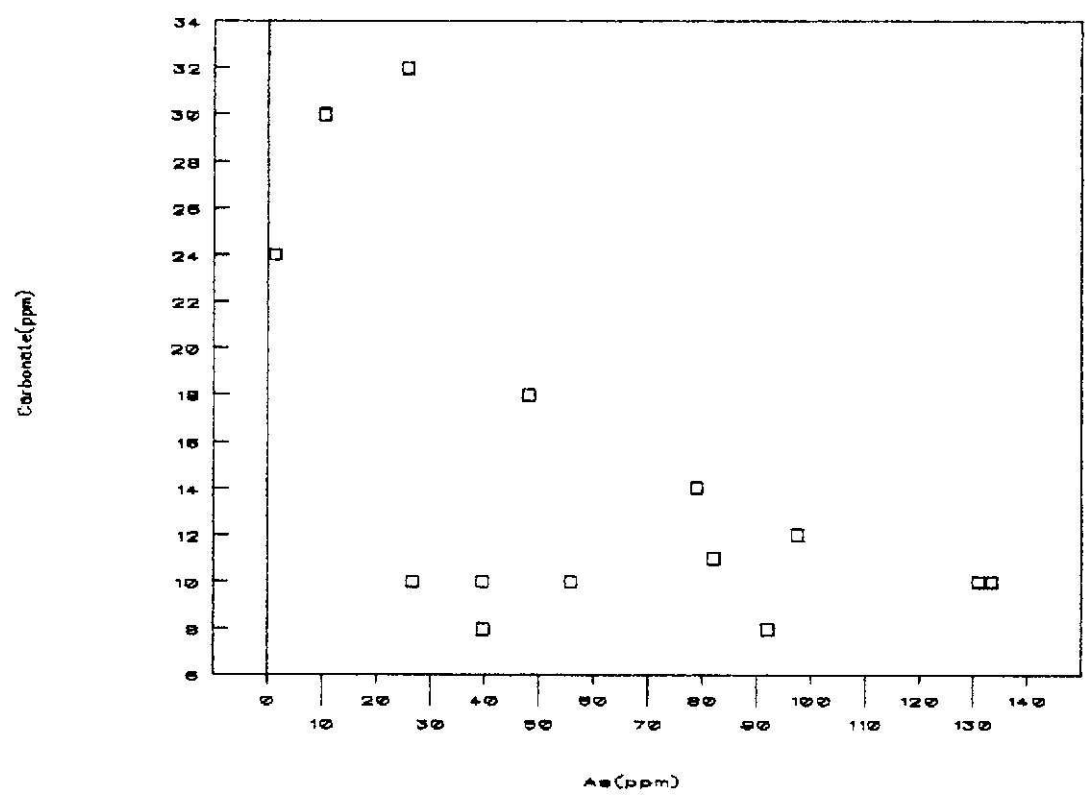
ถูกควบคุมด้วย pH และกลุ่ม Anions ได้แก่ SO_4^{2-} , Cl^- และ HCO_3^- ค่า pH ตลอดลำน้ำประมาณ 7 บริเวณที่มีโลหะหนักในดินตะกอนสูง (P2 , P5) แต่มีค่าตะกั่วต่ำมากจนเกือบ จะวัดไม่ได้ และสถานีอื่น ๆ ก็มีค่าตะกั่วต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 50 ppb. ทั้งหมด ส่วนสถานีที่มีสารหนู เกินค่ามาตรฐาน (50 ppb.) ได้แก่ บริเวณใต้เขื่อนบางลาง และบริเวณจังหวัดปัตตานีปริมาณสารหนู ในแม่น้ำยะหริ่ง 48 ppb.ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานในขณะที่แคดเมียมมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน 40 ppb. ปากแม่น้ำเทพามีปริมาณ Sulphate สูงที่สุด (6.84 ppm.) (ตารางที่ 4.1.2) แผนที่แสดงผลการ วิเคราะห์ตะกอนธารน้ำ และน้ำ แสดงไว้ในรูปที่ 4.1.1-4.1.7

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักและ Anions พบว่า สารหนูแปรผัน กลับกับปริมาณคาร์บอเนต แคดเมียมแปรผันตรงกับซิลิเฟต และตะกั่วแปรผันกลับกับคาร์บอเนต และพอจะ สรุปได้ว่าโลหะหนักจะละลายได้ยากในน้ำที่มีคาร์บอเนตสูง (ดูรูปที่ 4.1.9-4.1.14)



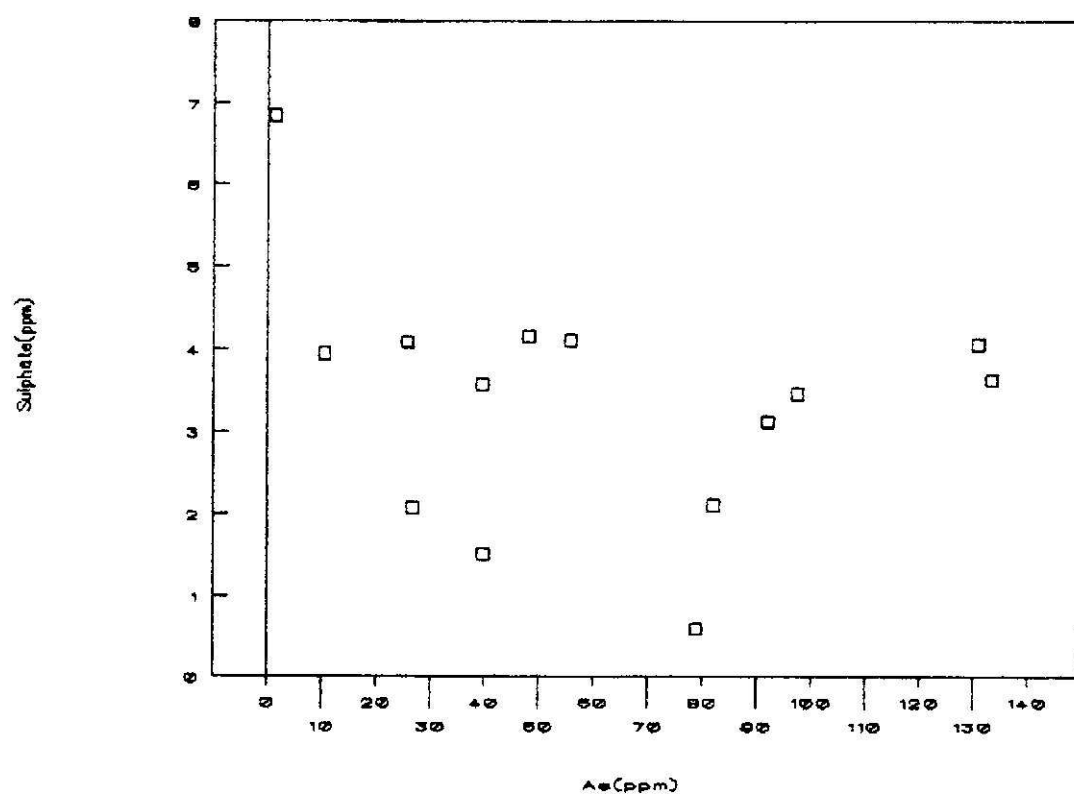
รูปที่ 4.1.8 ระดับตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม
ในตะกอนธรรณำจากเหมืองแร่

CORRELATION BETWEEN As AND CARBONATE



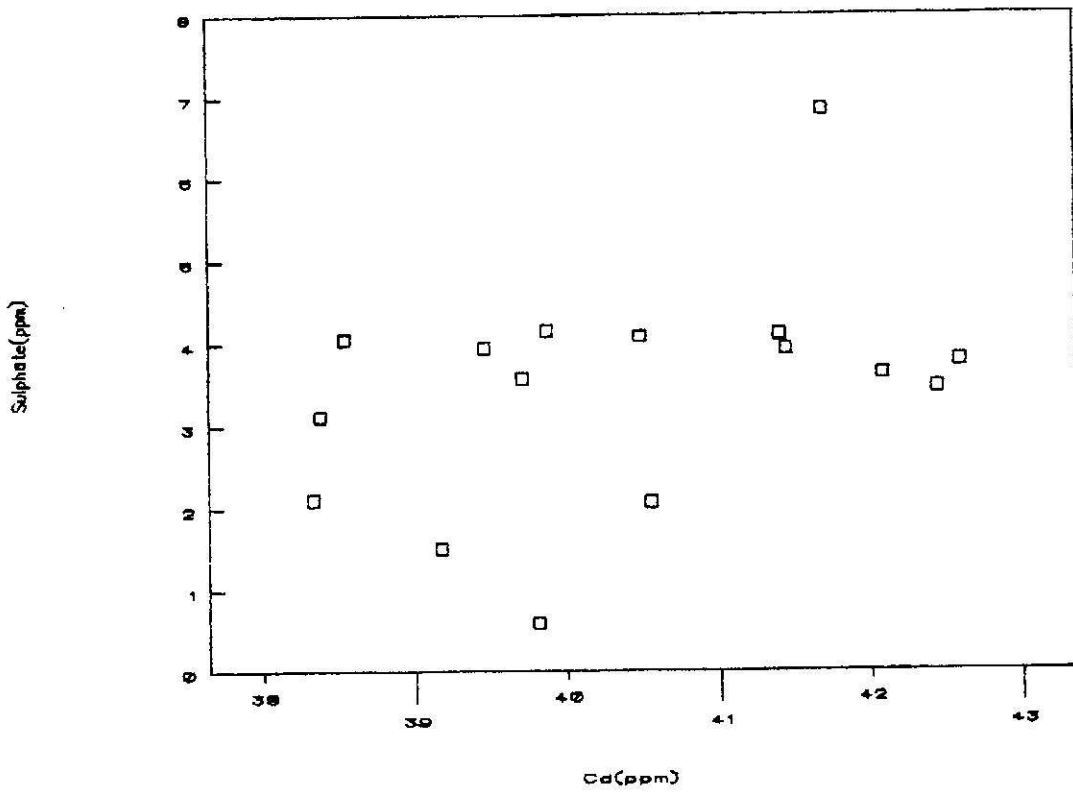
รูปที่ 4.1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหนูกับคาร์บอเนต

CORRELATION BETWEEN As AND SULPHATE



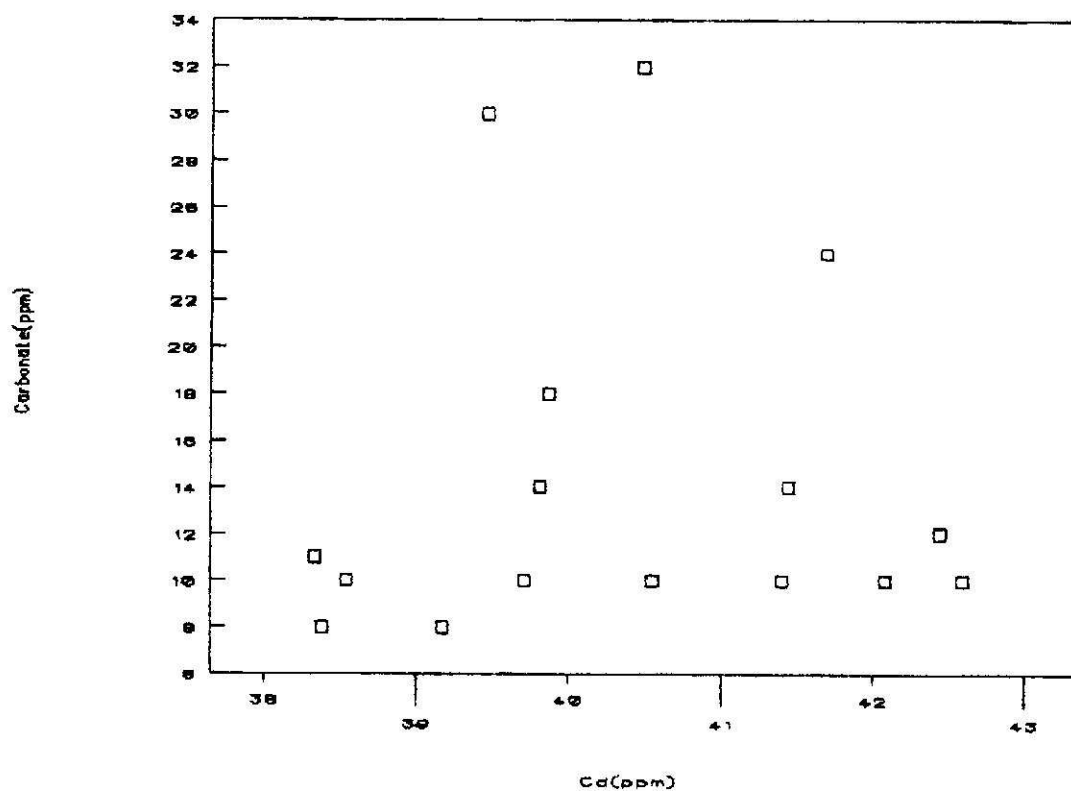
รูปที่ 4.1.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสารหนูกับซัลเฟต

CORRELATION BETWEEN Cd AND SULPHATE



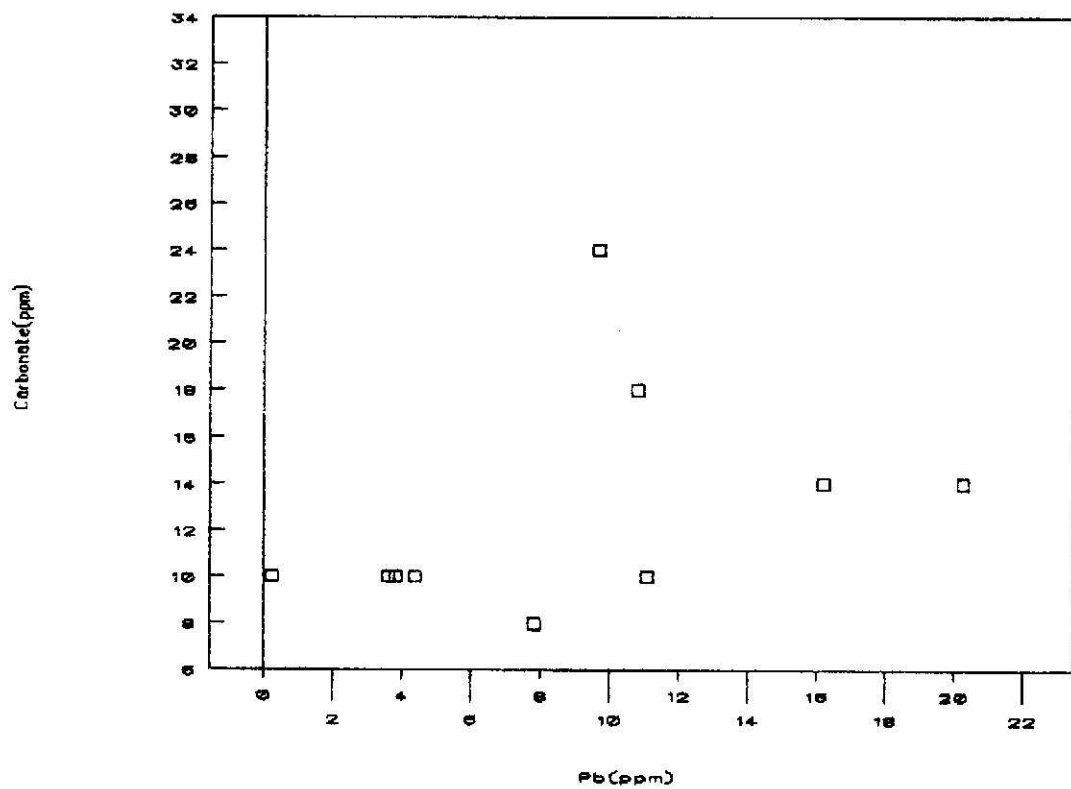
รูปที่ 4.1.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมกับซัลเฟต

CORRELATION BETWEEN Cd AND CARBONATE



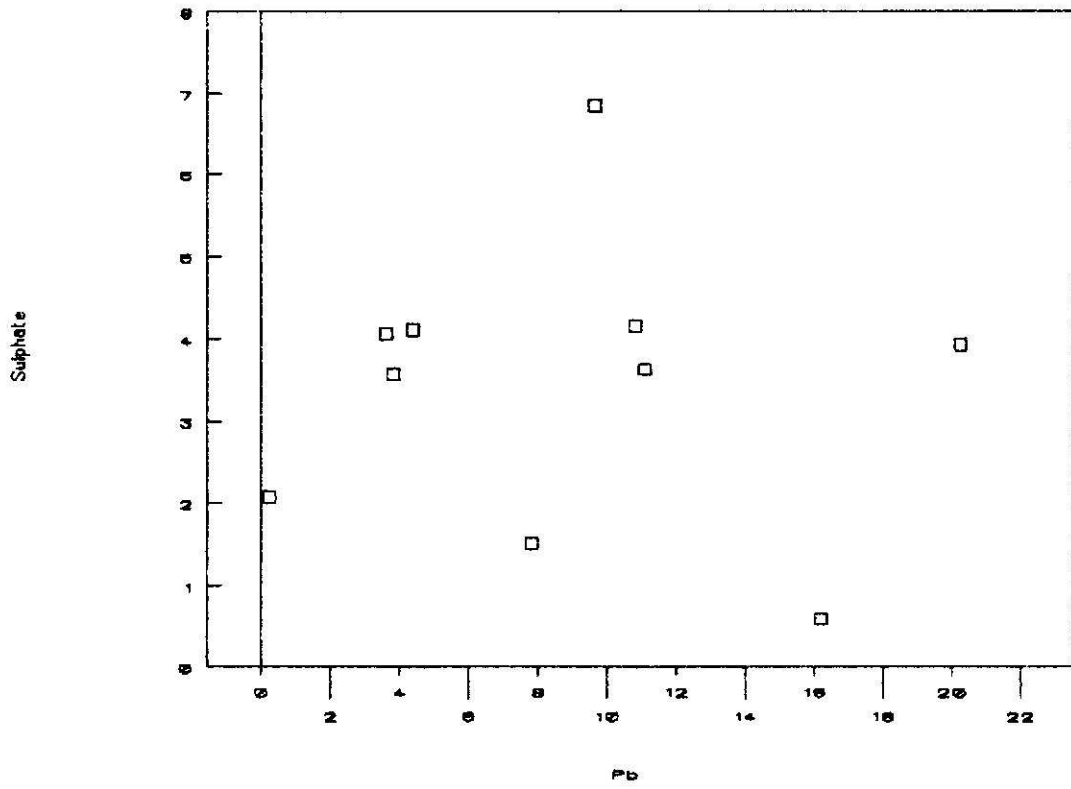
รูปที่ 4.1.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมกับคาร์บอเนต

CORRELATION BETWEEN Pb AND Carbonate



รูปที่ 4.1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วกับคาร์บอเนต

CORRELATION BETWEEN LEAD AND SULPHATE



รูปที่ 4.1.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกั่วกับซัลเฟต

4.2 การศึกษาในชั้นรายละเอียด

ในการศึกษาชั้นรายละเอียด ได้ทำการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติม จากลุ่มคลองที่อยู่เหนือหมู่เหมือง บริเวณกองมูลแร่เก็บตัวอย่างเพิ่มเติมตามลำแม่น้ำปัดตานีจนถึงบริเวณจังหวัดยะลา (ตารางที่ 4.2.1) โดยเก็บตัวอย่างในช่วง 28-30 กรกฎาคม 2535 ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.2.2 พบว่า ปริมาณตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม ในกองมูลดินทรายจากการทำเหมือง บริเวณริมฝั่งลำธารที่ไหลลงสู่แม่น้ำปัดตานีสูงมาก มีตะกั่ว 0.25-1.5 % สังกะสี 0.17-0.57 % แคดเมียม 6.4-33.6 ppm. และมีทองแดง กับสังกะสีสูงมาก ตะกอนในแม่น้ำปัดตานี ที่เก็บเพิ่มเติมเป็นข้อมูลแสดงอย่างชัดเจนถึงการแพร่กระจายของโลหะหนักจากกองมูลแร่เหล่านี้ (ดูรูปที่ 4.2.1 ถึง 4.2.7)

ปริมาณโลหะหนักในน้ำใกล้เคียงกับกองมูลแร่สูงมาก จากข้อมูลของ Anions เช่น SO_4^{2-} และ HCO_3^- ซึ่งแตกต่างจากการเก็บตัวอย่างในช่วงหน้าแล้งมาก ทำให้เชื่อว่า Seasonal Variation

ของโลหะหนักในน้ำจะมีมาก (ตารางที่ 4.2.3) การแพร่กระจายของโลหะหนัก แสดงไว้ในรูปที่ 4.2.1-4.2.7

4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

คณะผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างดินตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการเก็บดินในสวนยางบริเวณต้นน้ำลำธาร ของจังหวัดยะลา นาข้าว สวนมะพร้าว และนาทุ่ง เพื่อการศึกษาว่ามีโลหะหนักจากการเกษตรหรือไม่ และมีโลหะหนักในนาทุ่ง บริเวณปากอ่าวในปริมาณเท่าใด (ตารางที่ 4.3.1)

ตารางที่ 4.2.1 คาอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2

- FP บริเวณลาคลองบิเยะ บ้านคลองน้ำใส เป็นลาคลองที่มาจากหมู่เหมืองบิเยะ
- FP0 บริเวณลาคลองน้ำใส ห่างจากจุดเก็บ FP ประมาณ 2.5 กิโลเมตร
- FP1 เป็นตัวอย่างที่เก็บในคลองน้ำขุน บริเวณบ้านกาไสศ
- FP2 เป็นตัวอย่างที่เก็บในคลองน้ำขุน บริเวณบ้านคลองน้ำขุน ห่างจากจุดเก็บ FP1 ประมาณ 4 กิโลเมตร
- FP3 เป็นตัวอย่างที่เก็บในคลองถ้ำกระแซง บริเวณบ้านถ้ำกระแซง เป็นลาคลองสายย่อยที่ไหลมารวมตัวกับลาคลองน้ำขุน
- FP4 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านยือราบัน อำเภอบันนังสตา
- FP5 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านทานบ อำเภอบันนังสตา
- FP6 เป็นตัวอย่างที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านปรง อำเภอบันนังสตา
- FP7 เป็นตัวอย่างที่เก็บในลำธาร บริเวณบ้านสี่แยกท่าสาบ อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ที่ไหลมารวมกับแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านท่าสาบ
- FP8 เป็นตัวอย่างที่เก็บในลำธารสายเดียวกันกับจุด FP7 ห่างออกไปประมาณ 5 กิโลเมตร บริเวณบ้านตาสา
- S1 เป็นตัวอย่างที่เก็บในลำธาร ด้านใต้เมืองแว่ถ้ำทะเล ที่ไหลผ่านหมู่เหมือง บริเวณบ้านถ้ำทะเล
- N1 เป็นตัวอย่างที่เก็บในลำธาร ด้านเหนือเมืองแว่ถ้ำทะเล ห่างจากจุดเก็บ S1 ประมาณ 1 กิโลเมตร
- SS1 เป็นตัวอย่างที่เก็บบริเวณด้านใต้ของกองซีแ้ว ภายในเมืองแว่ถ้ำทะเล
- SN1 เป็นตัวอย่างที่เก็บบริเวณด้านเหนือของกองซีแ้ว ภายในเมืองแว่ถ้ำทะเล

ตาราง 4.2.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างตะกอนธาวน้ำในแม่น้ำโคตธานี (ครั้งที่ 2)

โดยวิธี HNO_3/HCl Digestion

เก็บตัวอย่าง ตะกอนท้องน้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 28-30 กรกฎาคม พ.ศ.2535

Sample	HNO_3/HCl Digestion/ppm.						
	Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn
FP	143.25	162.14	0.91	25.96	102.19	18451	3165
FP0	449.15	609.04	2.35	236.08	97.21	45951	3389
FP1	3416.62	2087.72	33.36	593.04	2654.58	88712	3760
FP2	3787.62	2429.43	43.97	674.20	2274.29	89080	3402
FP3	11.16	1.00	1.59	1.06	54.79	6773	289
FP4	2377.73	1062.58	3.74	213.87	633.66	75092	6272
FP5	883.46	446.89	1.16	83.16	248.95	28858	2637
FP6	167.45	110.73	0.21	26.28	88.80	15161	630
FP7	20.84	10.00	1.53	0.27	16.11	7914	170
FP8	15.82	4.00	0.75	2.65	13.79	3472	52
S1	7776.73	2697.92	8.20	462.09	924.53	67239	2008
N1	2474.51	1721.60	10.73	320.14	1343.35	43975	1145
SS1	34760.20	5835.19	6.41	928.26	1037.01	57423	14898
SN1	15336.90	5737.56	33.61	1755.07	3847.93	91656	1774

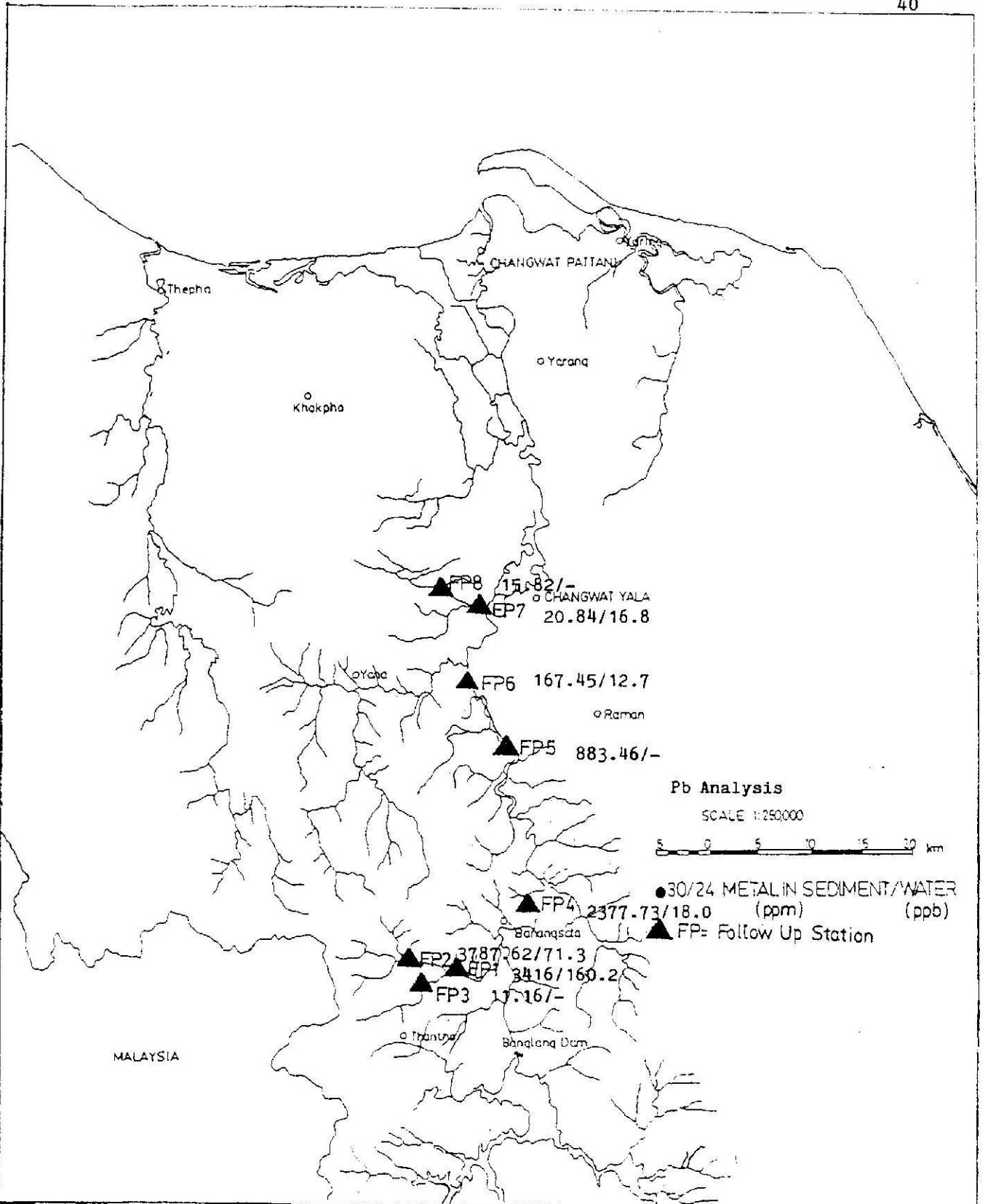
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.2.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำปิตคาณิ

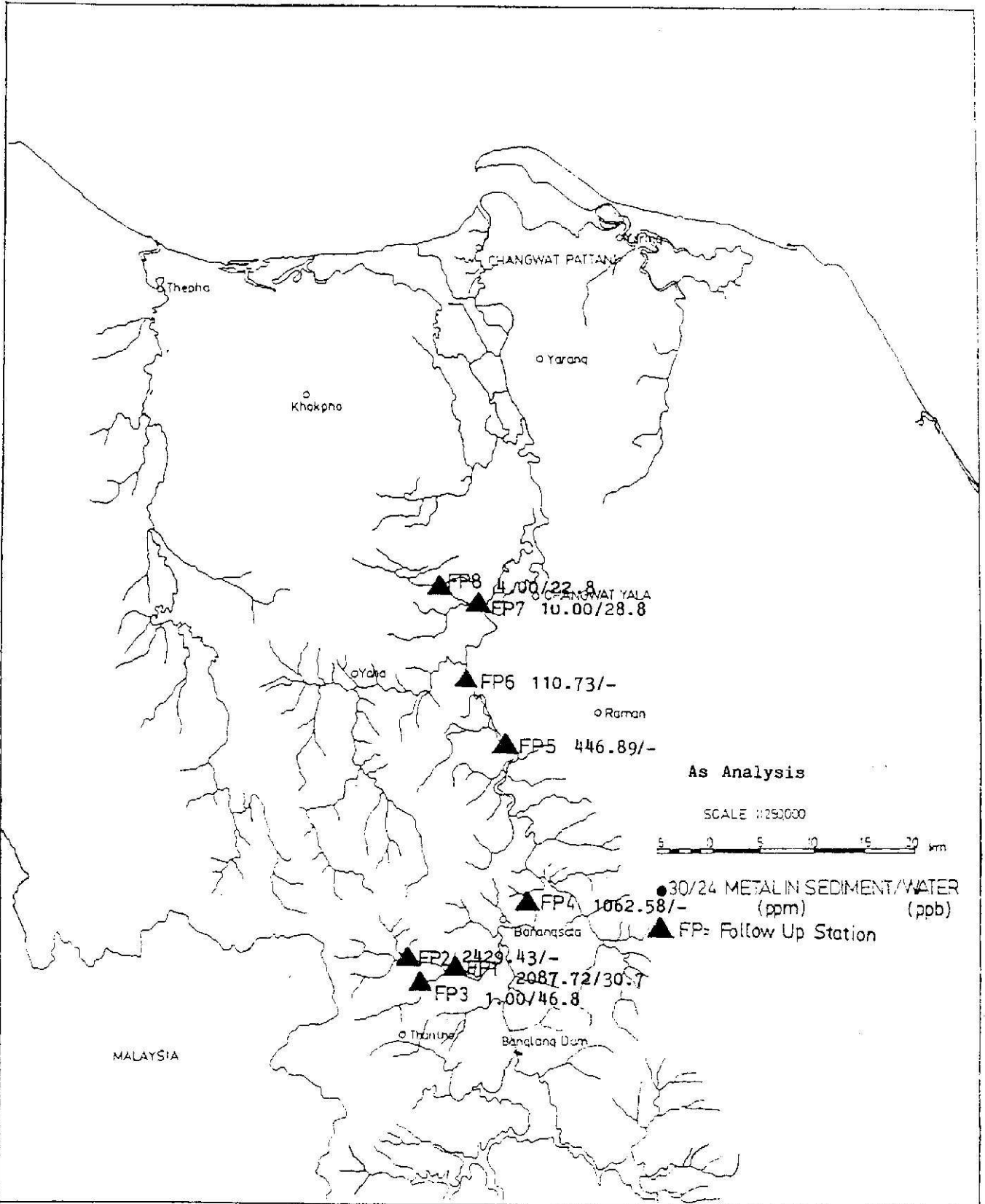
เก็บตัวอย่าง น้ำ ครั้งที่ 2 วันที่ 28-30 กรกฎาคม พ.ศ.2535

Sample	Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP)								Standard Method		
	ppb.								ppm.		
	Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
FP	8.4	5.2	-	1.0	-	23.1	41.5	6.5	17.6	-	44
FP0	51.7	36.6	-	15.1	14.4	874.4	312.8	6.7	18.5	-	24
FP1	160.2	30.7	0.12	22.4	169.7	1773	712.3	7.1	16.0	-	16
FP2	71.3	-	0.06	20.3	190.2	1496	737.1	6.9	20.5	-	16
FP3	-	46.8	1.01	1.6	-	264.1	33.7	7.9	16.7	-	20
FP4	18.0	-	-	6.2	18.1	1035	182.8	7.3	19.7	-	14
FP5	-	-	-	2.2	-	783.7	85.6	7.2	17.3	-	10
FP6	12.7	-	-	4.2	-	999.6	105.1	7.1	18.2	-	10
FP7	16.8	28.2	-	3.0	-	2798	60.1	7.3	18.3	-	8
FP8	-	22.8	2.41	3.0	-	2044	60.1	7.2	19.5	-	8
S1	74.0	82.6	1.30	19.8	382.4	1435	1135	6.8	19.5	-	28
N1	106.5	144.4	4.85	17.8	440.2	1436	827.3	6.8	22.2	-	24

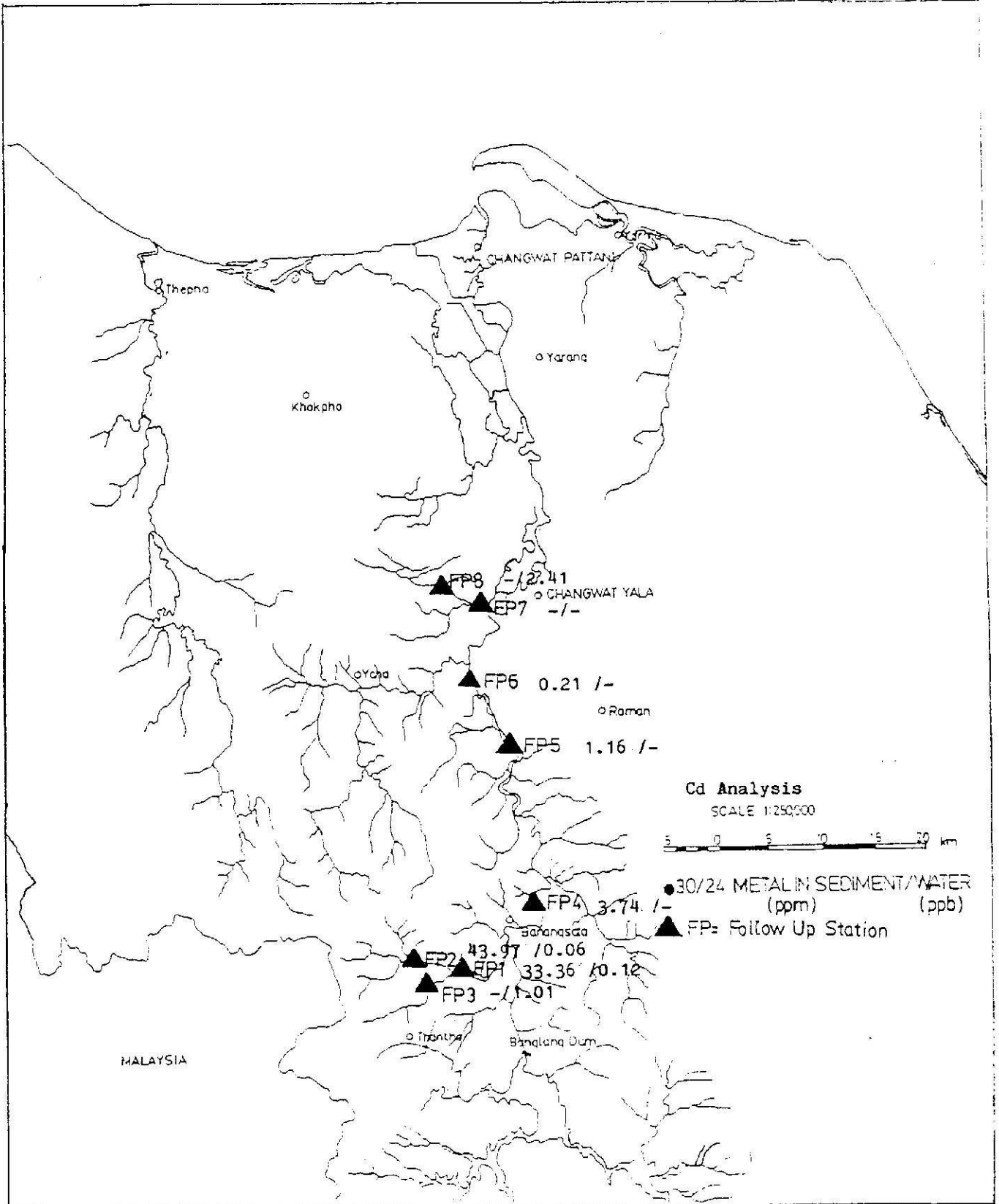
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้



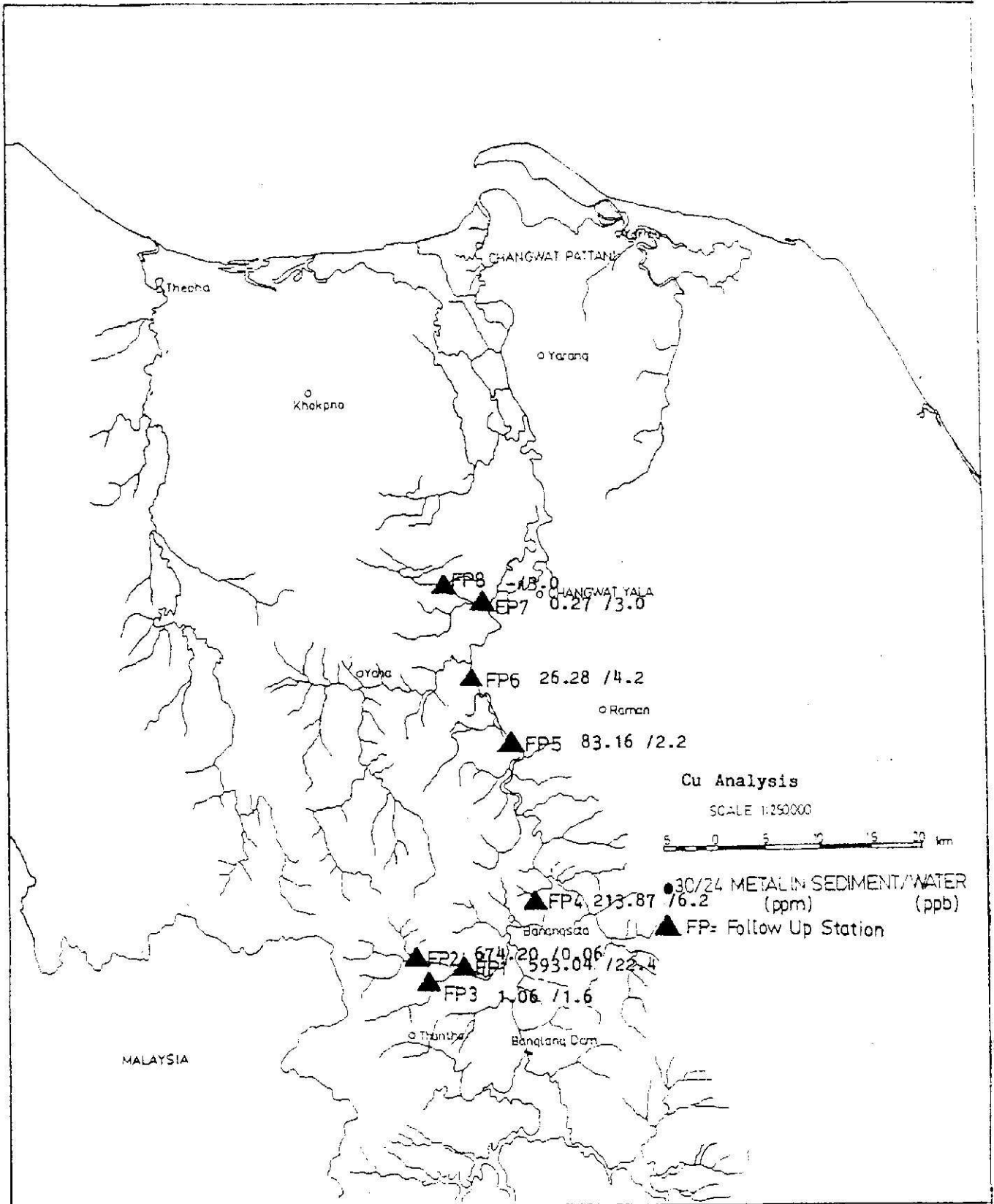
รูปที่ 4.2.1 การแพร่กระจายของตะกั่วในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



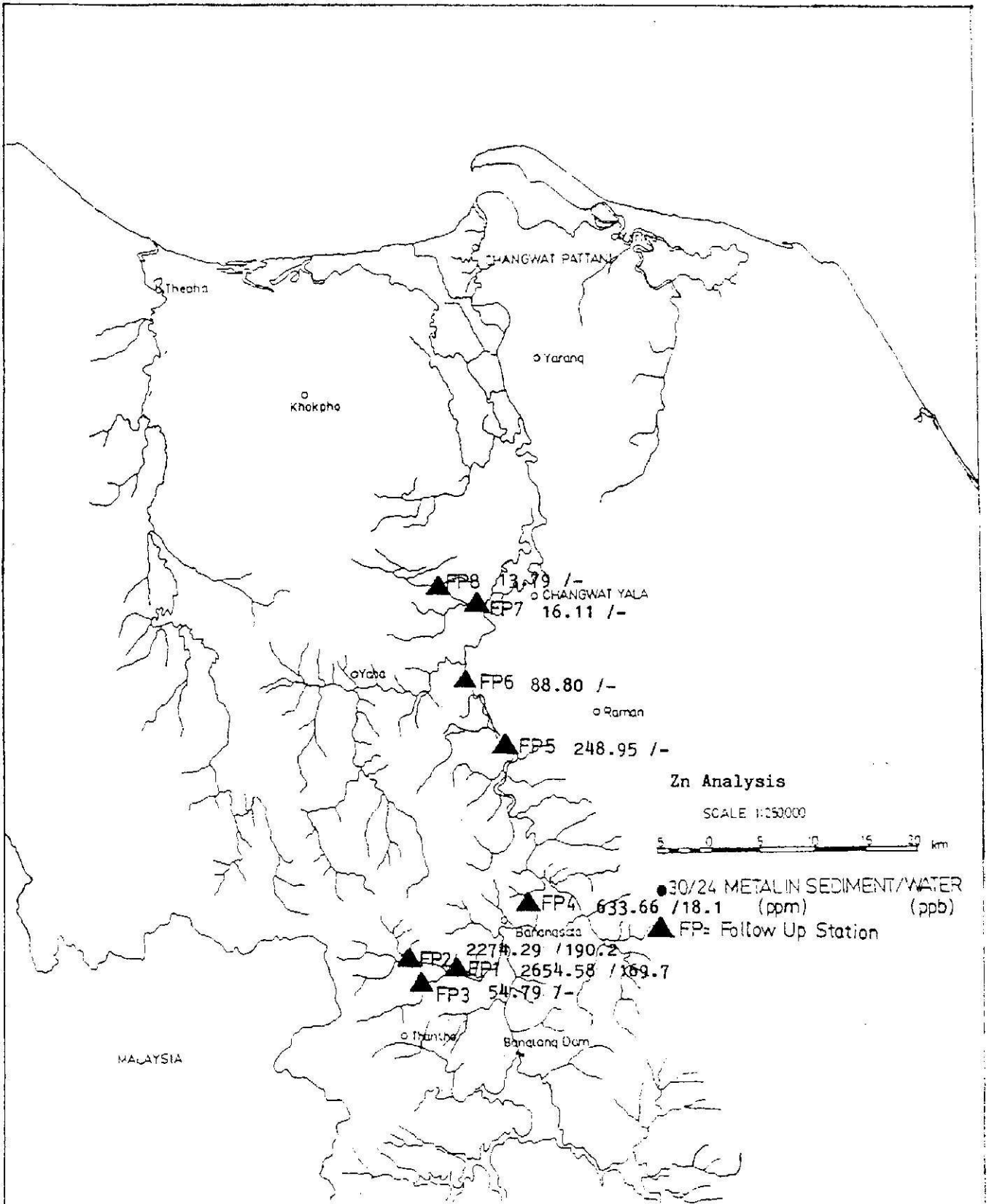
รูปที่ 4.2.2 การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



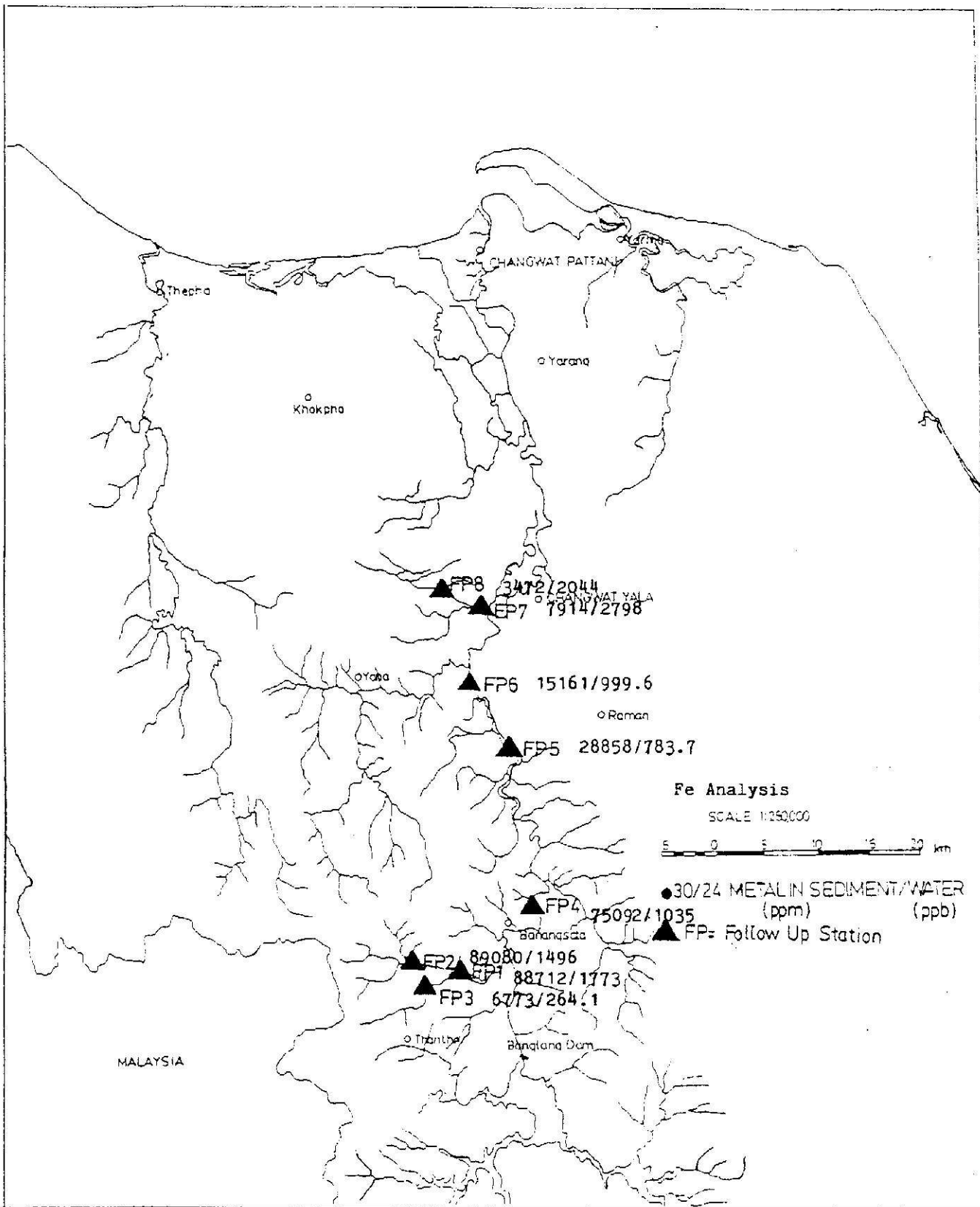
รูปที่ 4.2.3 การแพร่กระจายของแคดเมียมในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



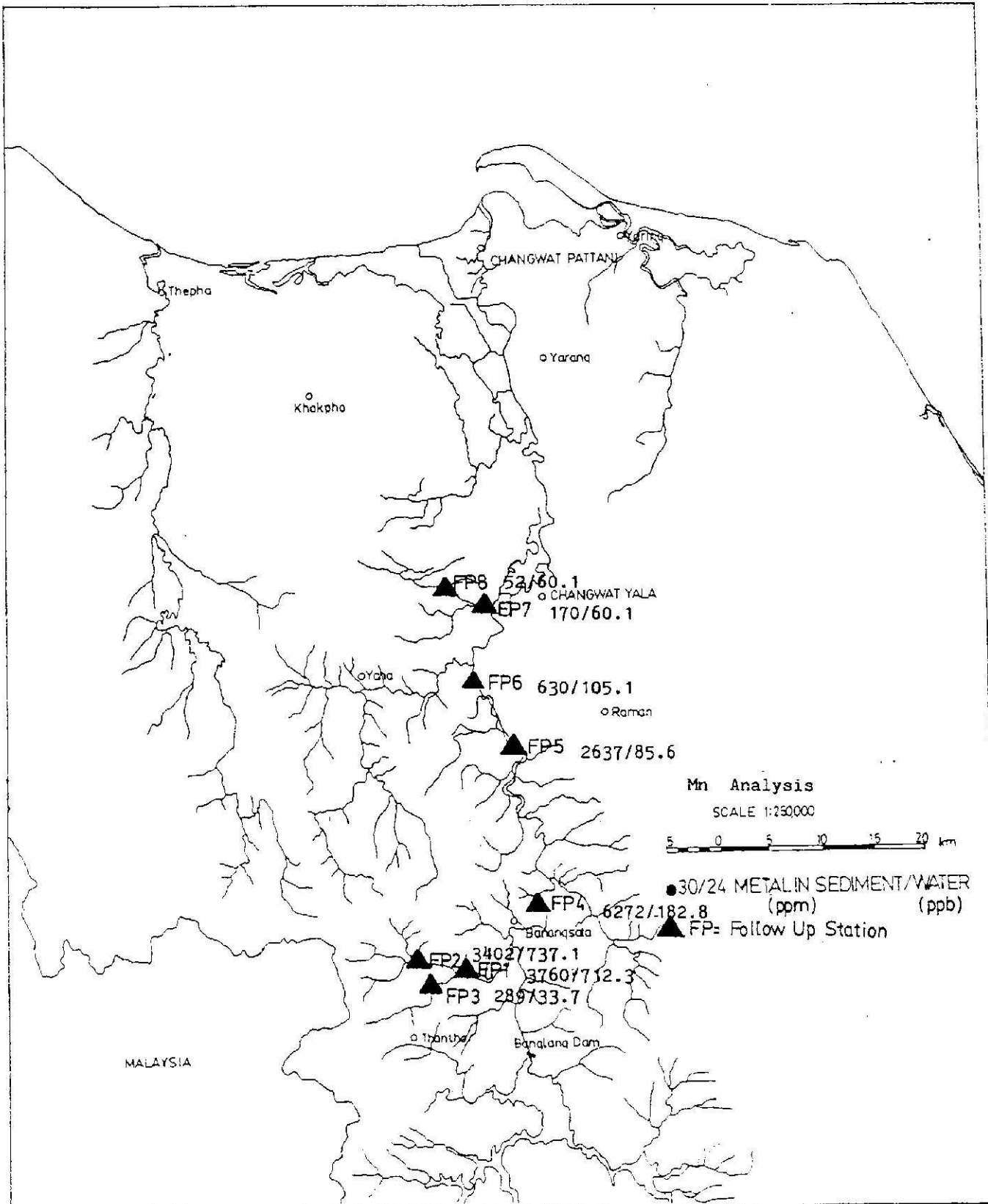
รูปที่ 4.2.4 การแพร่กระจายของทองแดงในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



รูปที่ 4.2.5 การแพร่กระจายของสังกะสีในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



รูปที่ 4.2.6 การแพร่กระจายของเหล็กในตะกอนธารน้ำ และน้ำ



รูปที่ 4.2.7 การแพร่กระจายของแมงกานีสในตะกอนธารน้ำ และน้ำ

ตารางที่ 4.3.1 คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างดิน

- S1 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านกล้วย จังหวัดยะลา
- S2 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านปือฐู จังหวัดยะลา
- S3 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านคูแบ จังหวัดยะลา
- S4 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านทานบ จังหวัดยะลา
- S5 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านปรง จังหวัดยะลา
- S6 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านเขาตุม จังหวัดยะลา
- S7 เป็นตัวอย่างดินสวนยาง บริเวณบ้านรือแยะ จังหวัดยะลา
- S8 เป็นตัวอย่างดินนาค้า บริเวณบ้านตะไต้ะ จังหวัดยะลา
- S9 เป็นตัวอย่างดินนาค้า บริเวณบ้านต้นหยง จังหวัดปัตตานี
- S10 เป็นตัวอย่างดินสวนมะพร้าว บริเวณบ้านรูสะมิแล จังหวัดปัตตานี
- S11 เป็นตัวอย่างดินนาทุ่ง บริเวณบ้านดี จังหวัดปัตตานี
- S12 เป็นตัวอย่างดินนาทุ่ง บริเวณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

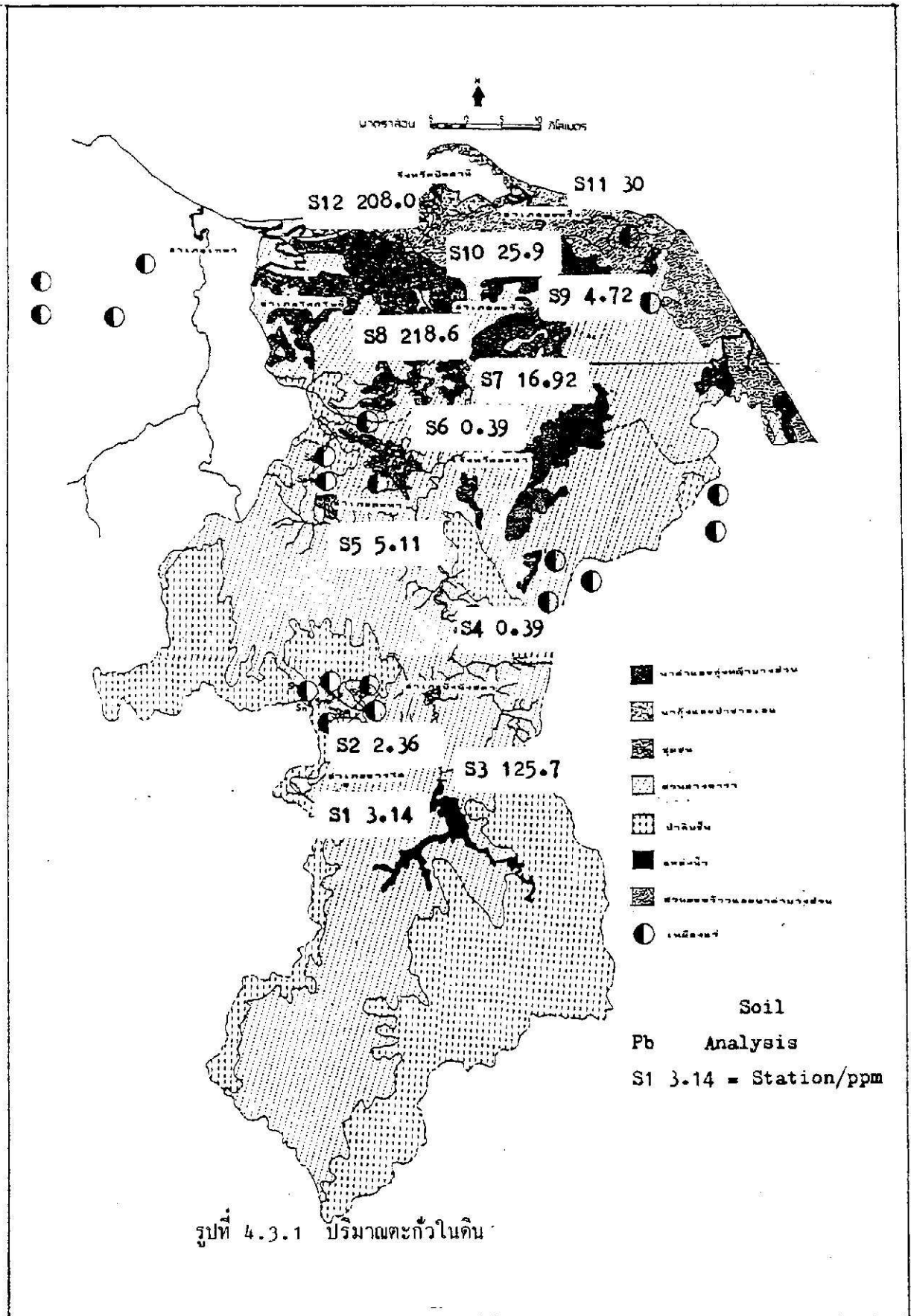
ตาราง 4.3.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างดิน ในบริเวณจังหวัด ปัตตานี-ยะลา

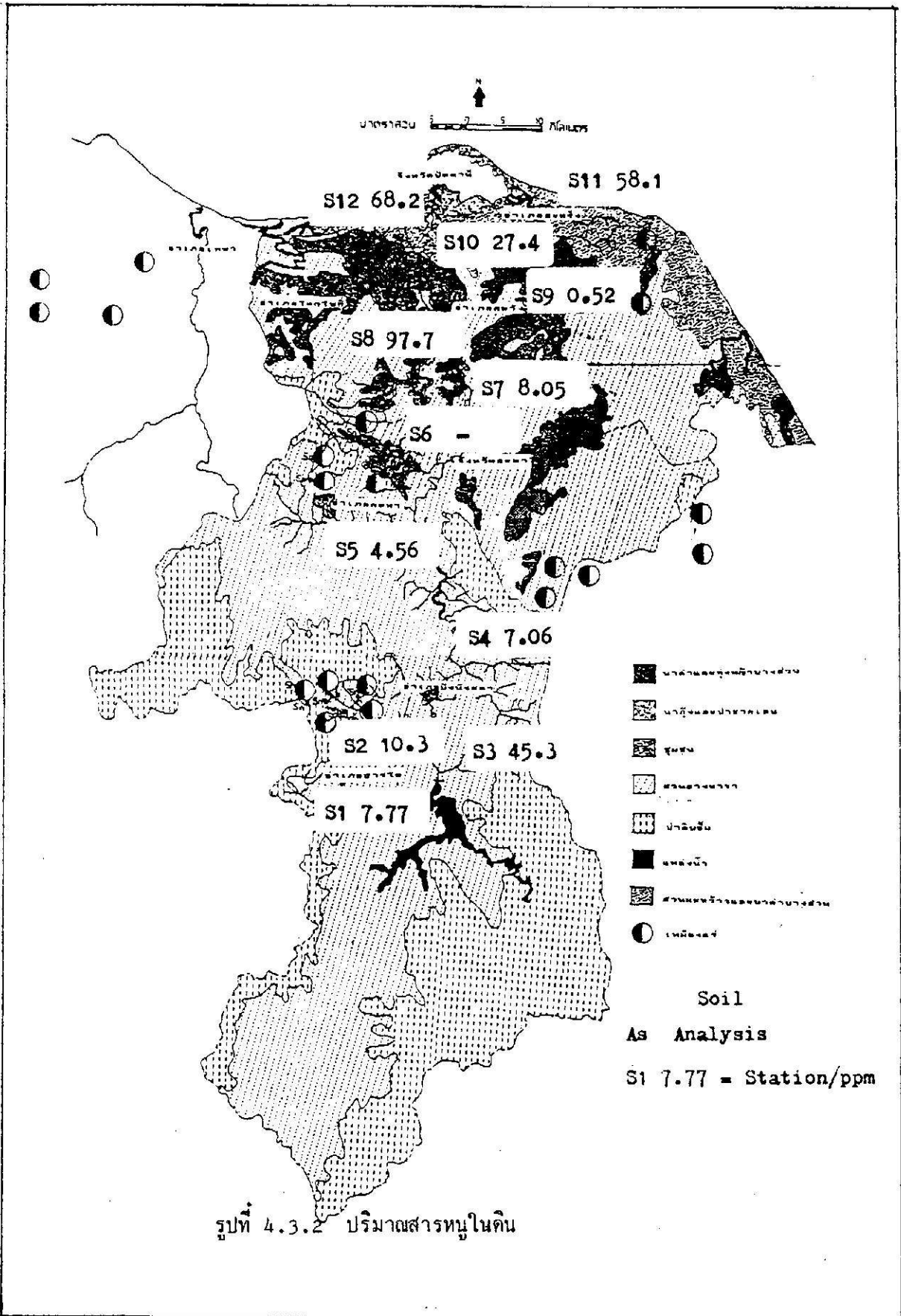
โดยวิธี HNO_3/HCl Digestion

เก็บตัวอย่าง ดิน ครั้งที่ 3 วันที่ 3-4 ตุลาคม พ.ศ. 2535

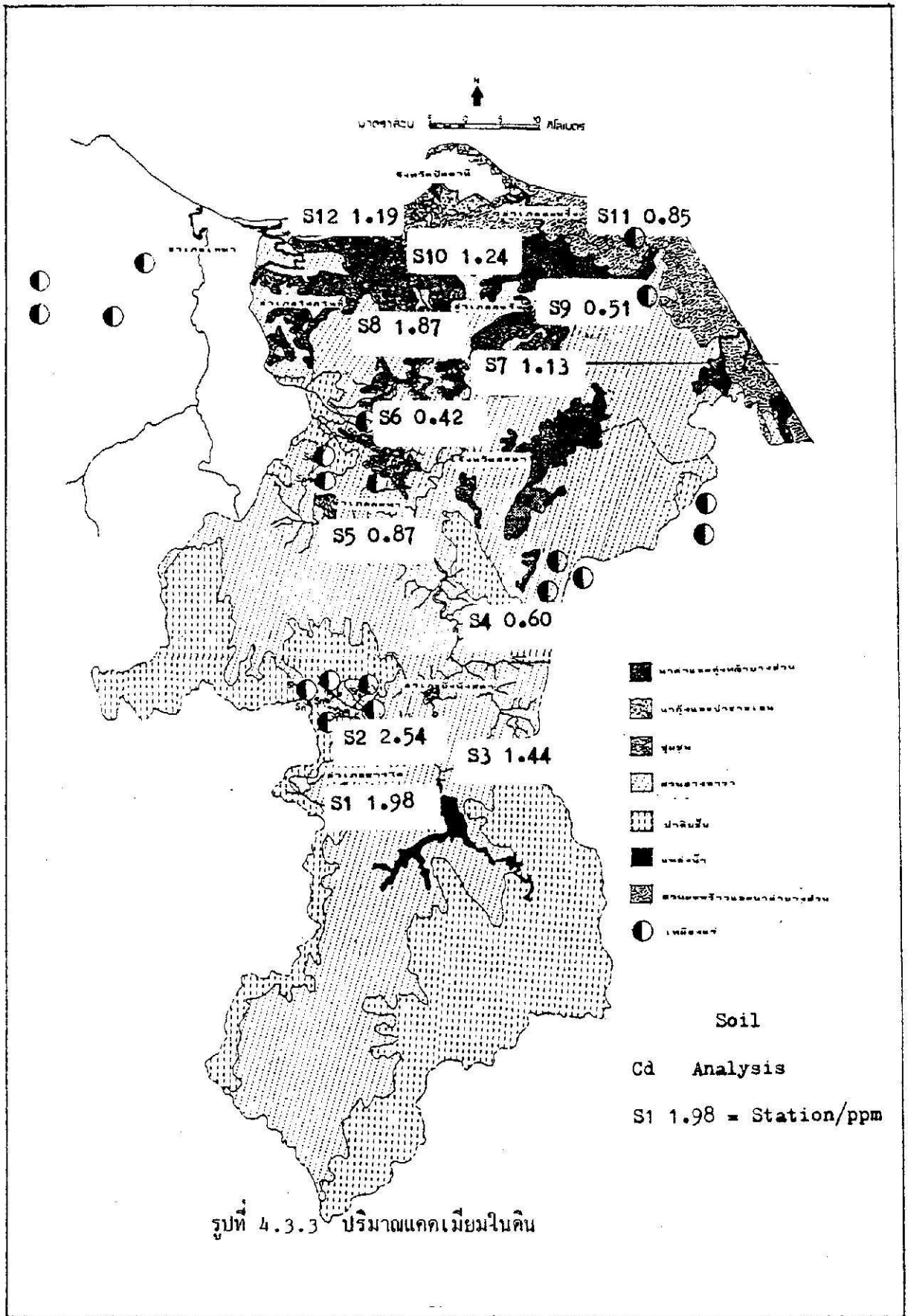
Sample	HNO_3/HCl Digestion pm.	Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP)/ppm.					
		Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe
S1	3.14	7.77	1.98	17.05	11.09	843.04	31.27
S2	2.36	10.37	2.54	34.47	33.59	991.27	9.43
S3	125.70	45.33	1.44	13.43	34.52	628.06	19.24
S4	0.39	7.06	0.60	0.38	1.49	257.51	0.88
S5	5.11	4.56	0.87	2.62	5.34	290.06	2.75
S6	0.39	-	0.42	1.08	1.14	163.17	0.66
S7	16.92	8.05	1.13	6.59	15.75	489.86	3.39
S8	218.65	97.73	1.87	22.22	34.66	752.68	6.73
S9	4.72	0.52	0.51	3.82	5.22	183.77	1.32
S10	25.98	27.40	1.24	5.55	20.77	516.07	6.07
S11	30.00	58.18	0.85	9.67	24.80	668.21	2.42
S12	208.05	68.28	1.19	28.00	56.23	1592.32	17.01

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

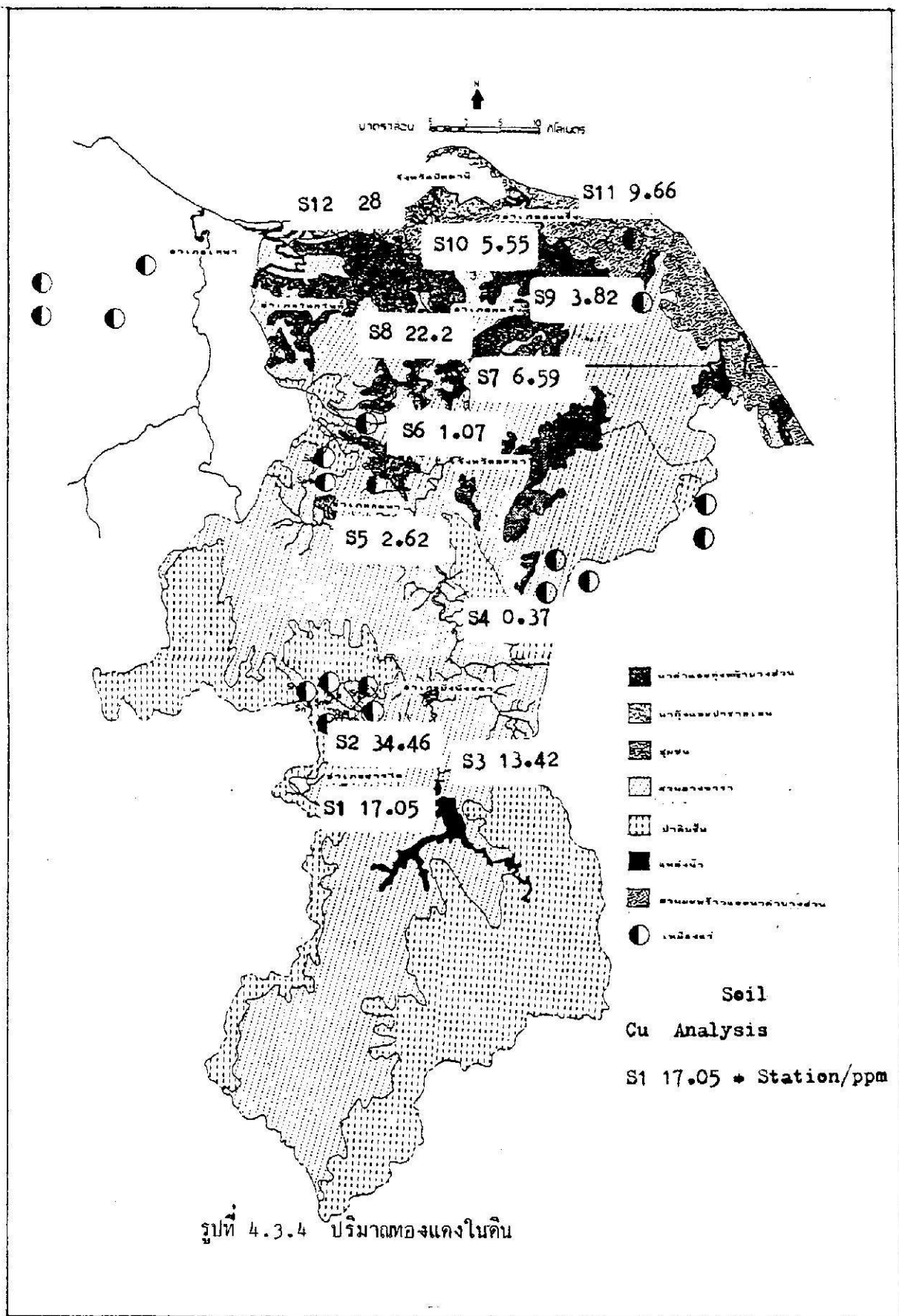


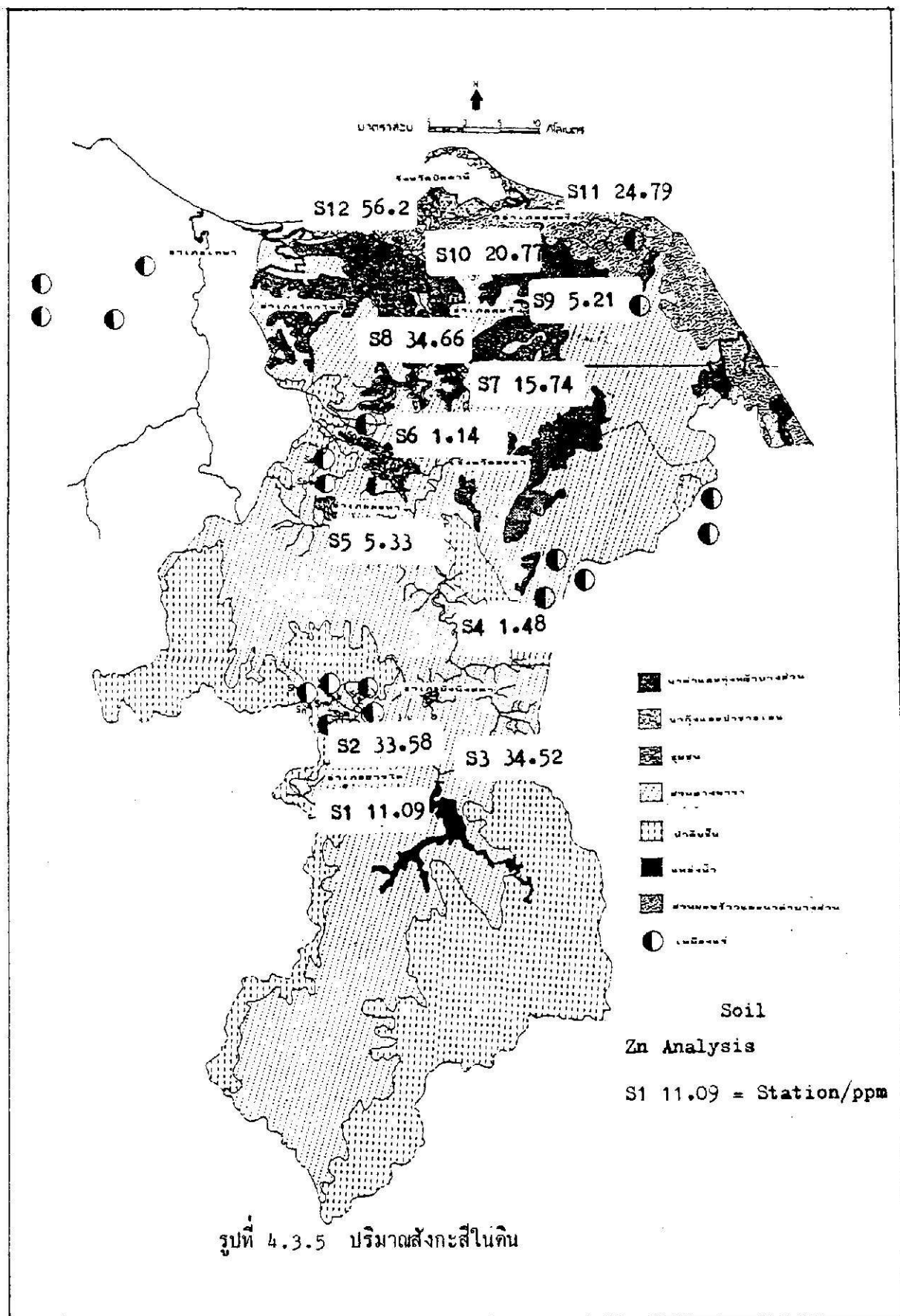


รูปที่ 4.3.2 ปริมาณสารหนูในดิน

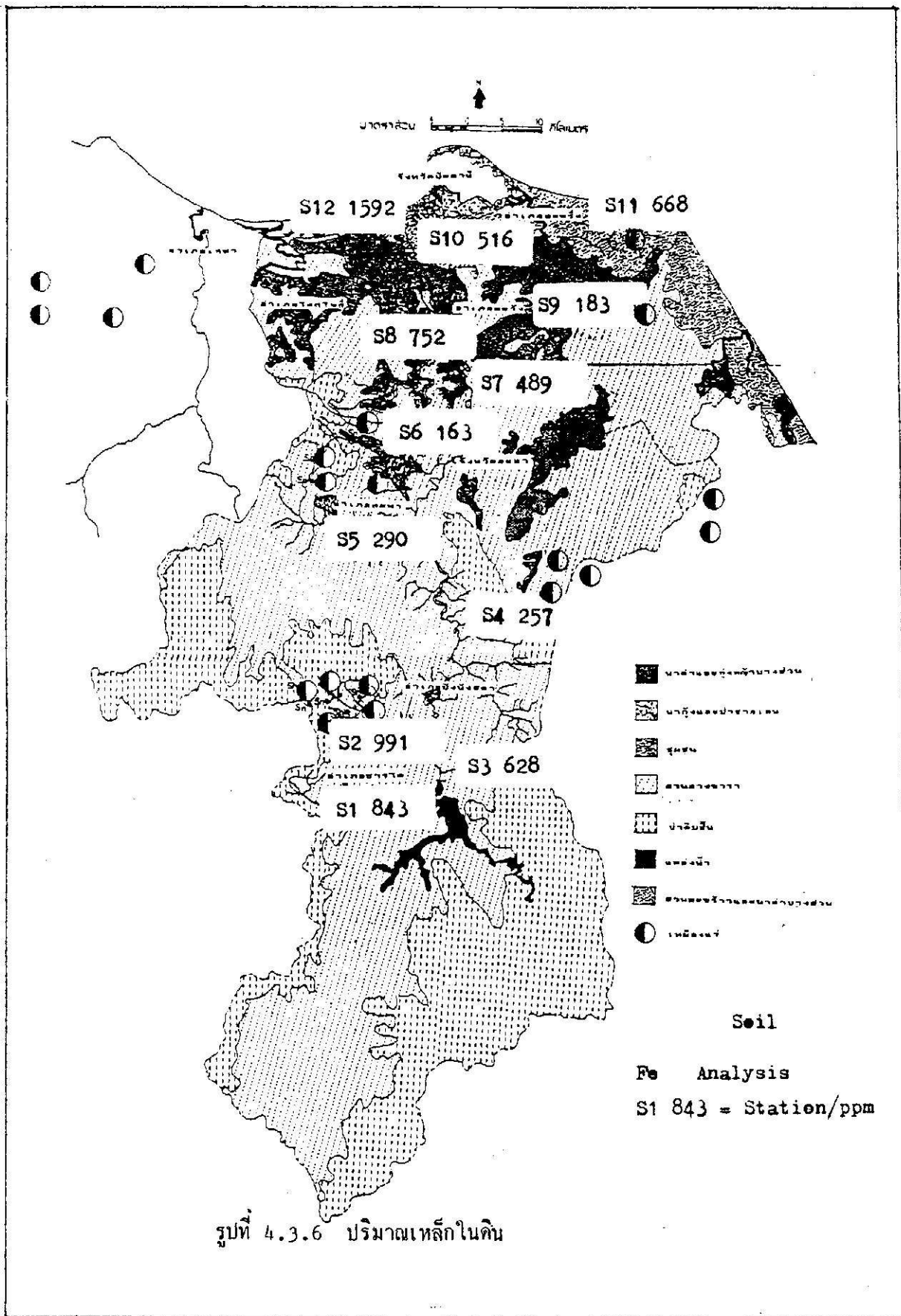


รูปที่ 4.3.3 ปริมาณแคดเมียมในดิน

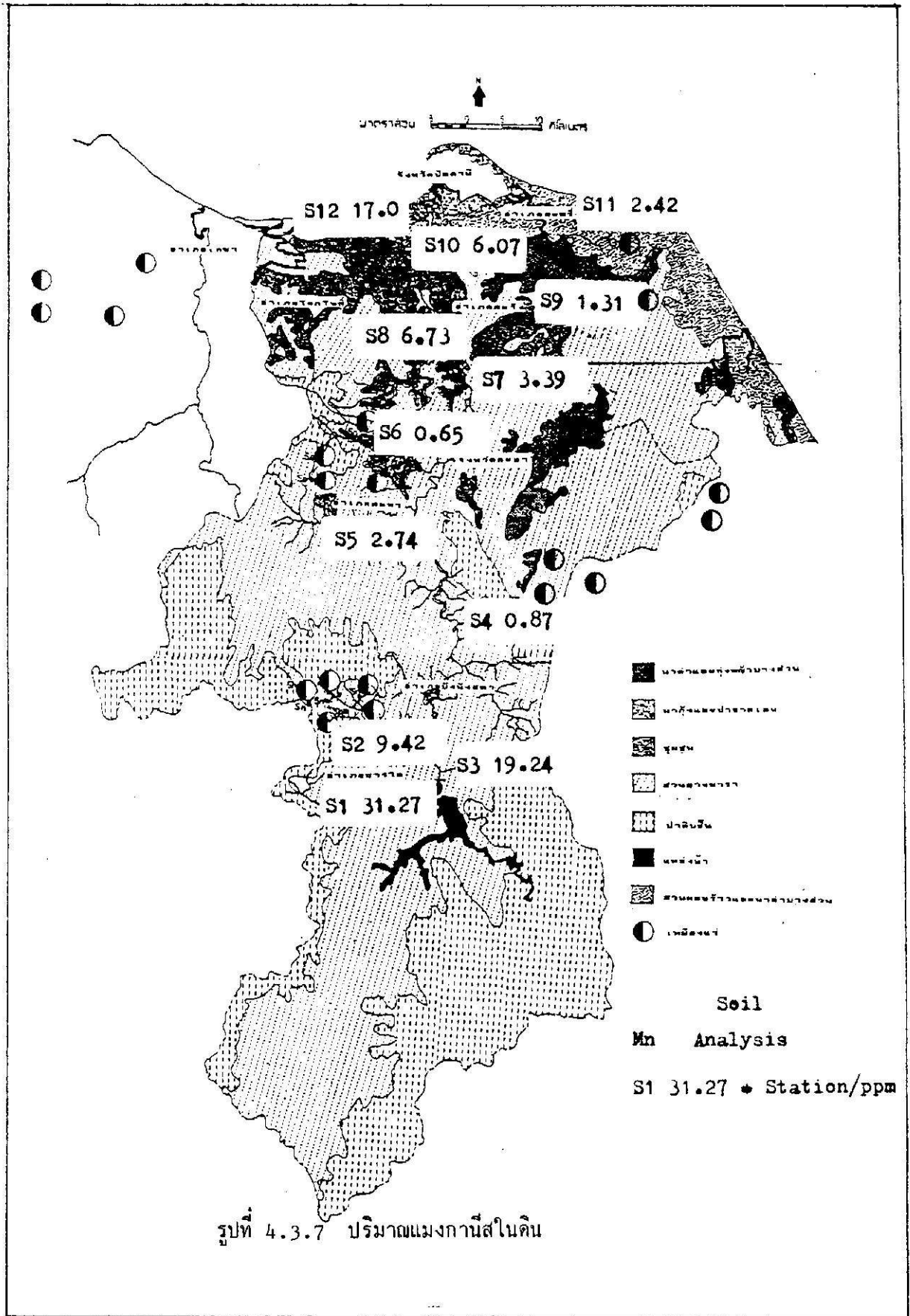




รูปที่ 4.3.5 ปริมาณสังกะสีในดิน



รูปที่ 4.3.6 ปริมาณเหล็กในดิน



รูปที่ 4.3.7 ปริมาณแมงกานีสในดิน

ผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3.2 ปริมาณโลหะหนักในส่วนยางบริเวณต้นน้ำลำธารของจังหวัดยะลาอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก บริเวณ S3 มีตะกั่วสูงขึ้นมาเล็กน้อย คือมีปริมาณตะกั่ว 125.7 ppm. และสารหนู 45 ppm. ตะกั่วและสารหนูมีมากในนาคำ บ้านตะโกะ จังหวัดยะลา และนาถุ้งบริเวณอ่าวปัตตานี ปริมาณโลหะหนักในดินแสดงไว้ในรูปที่ 4.3.1-4.3.3

4.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บตะกอนแขวนลอยในช่วงที่ฝนตกหนัก (21-22 พฤศจิกายน 2536) ในลำน้ำปัตตานี 9 ตัวอย่าง และเก็บจากถังตกตะกอนของการประปาจังหวัดยะลา และปัตตานี อีกสองตัวอย่าง (ตารางที่ 4.4.1) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.4.2 พบว่าปริมาณตะกั่วสูงตลอดลำน้ำ ปริมาณสารหนู สูงในตอนต้นน้ำ และพบว่าตะกอนจากถังตกตะกอนของการประปาจังหวัดยะลา และปัตตานี มีสารหนู และตะกั่วสูง ส่วนแคดเมียมมีปริมาณต่ำจนไม่สามารถจะวิเคราะห์ได้ Pattern ของ Profile ของโลหะหนักใน Suspended Solids กับตะกอนธรรมชาติมีความคล้ายคลึงกัน คือ มีค่าสูงในช่วงต้นน้ำลำธารและปริมาณลดลงไปตามระยะทางจนถึงปากอ่าว (ดูรูปที่ 4.4.1-4.4.7)

4.5 ผลการศึกษารูปแบบการละลาย (Speciation)

การศึกษารูปแบบการละลาย Speciation ของโลหะต่าง ๆ โดยวิธี Sequential Extraction ของตัวอย่าง P1 ถึง P14 และ T1 , Y1 ได้ผลว่า

4.5.1 ตะกั่ว

ตะกั่วในดินตะกอนจะอยู่ในรูปของ Residual Species ในช่วง 50-60 % ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วละลายค่อนข้างยาก และน้ำมีค่า pH ค่อนข้างเป็นด่าง

ตารางที่ 4.4.1 คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย

W1	บริเวณบ้านกาไสย จังหวัดยะลา
W2	บริเวณบ้านป่าหวัง จังหวัดยะลา
W3	บริเวณบ้านท่านบ จังหวัดยะลา
W4	บริเวณบ้านสะแอ จังหวัดยะลา
W5	บริเวณบ้านปรุง จังหวัดยะลา
W6	บริเวณบ้านสะเตง จังหวัดยะลา
W7	บริเวณชลประทานจังหวัดปัตตานี
W8	บริเวณบ้านกรือแซะ จังหวัดปัตตานี
W9	บริเวณบ้านตะลุไมะ จังหวัดปัตตานี
Pattani	เป็นตัวอย่างที่เก็บในถังตกตะกอน ของการประปา จังหวัดปัตตานี
Yala	เป็นตัวอย่างที่เก็บในถังตกตะกอน ของการประปา จังหวัดยะลา

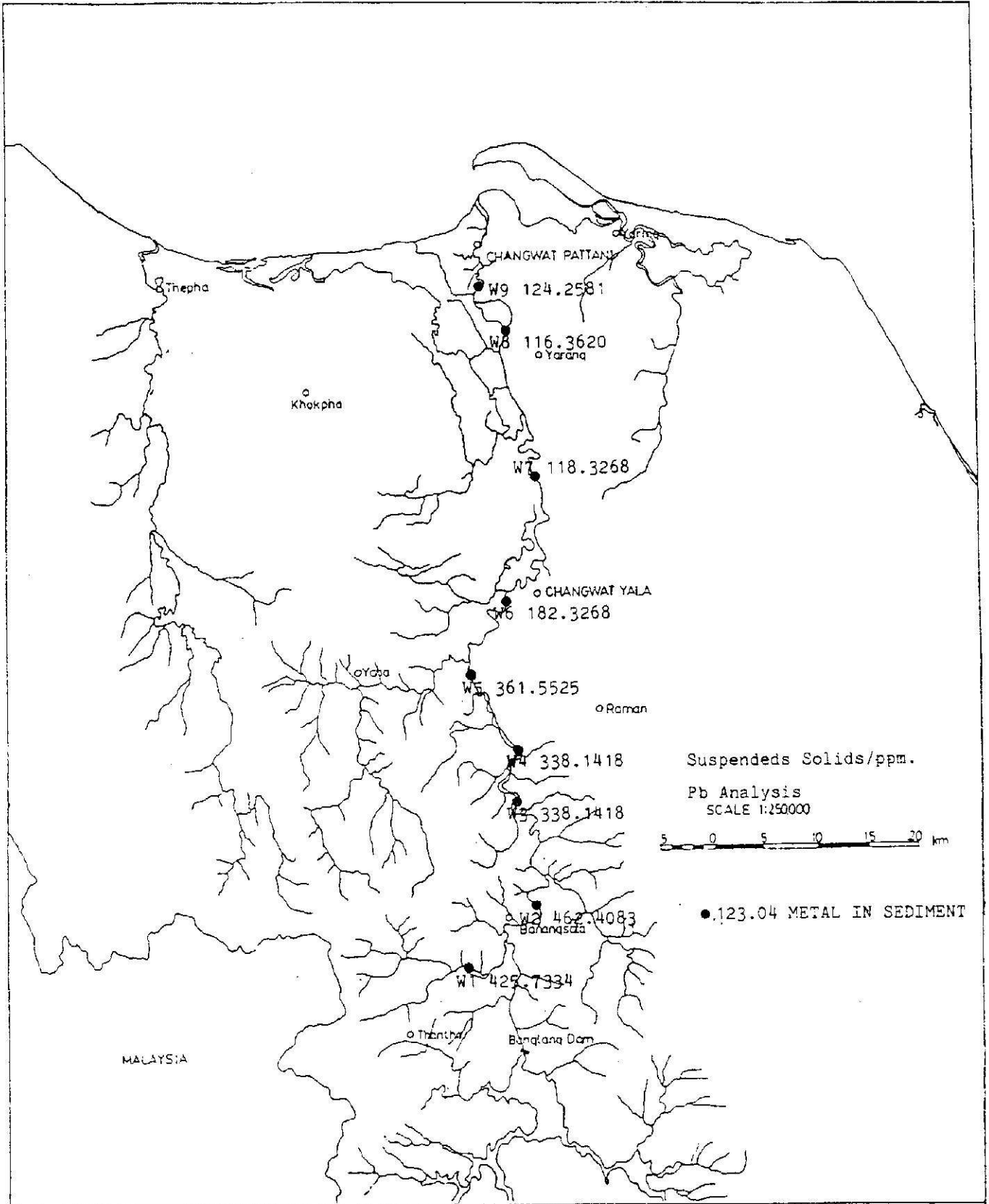
ตาราง 4.4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ตัวอย่าง Suspendeds Solids ในแม่น้ำปัตตานี

โดยวิธี HNO_3/HCl Digestion

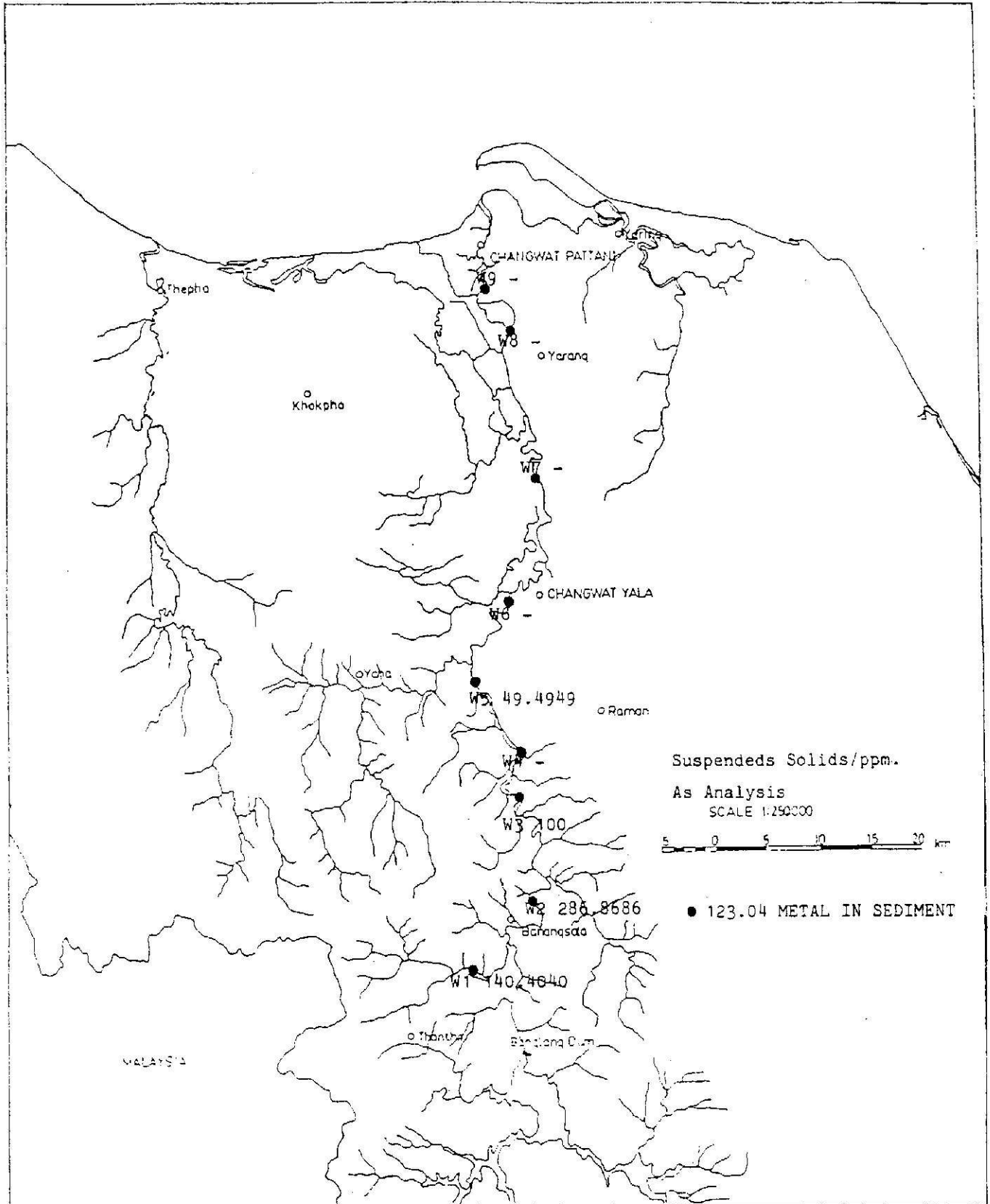
เก็บตัวอย่าง Suspendeds Solids ครั้งที่ 4 วันที่ 21-22 พฤศจิกายน พ.ศ.2535

Sample	Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP/ppm.)		HNO_3/HCl Digestion/ppm.				
	As	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn
W1	140.40	-	425.73	88.10	483.92	17737.81	1162.07
W2	286.86	0.29	462.40	76.08	297.08	24158.73	1050.40
W3	100	4.35	338.14	37.47	229.32	23712.84	648.45
W4	193.19	6.48	338.14	29.74	208.39	32452.43	737.24
W5	49.49	9.54	361.55	40.04	252.78	34827.58	1116.25
W6	171.11	6.24	182.38	32.60	167.72	26923.30	961.50
W7	162.98	5.24	188.32	13.72	69.41	24961.35	1144.75
W8	166.03	4.67	116.36	20.02	65.15	23712.84	1083.66
W9	174.09	6.06	124.35	42.62	61.07	26120.68	1095.12
Pattani	40	16.59	240.12	41.53	182.37	43864.44	1274.33
Yala	141.01	22.38	328.37	66.36	238.57	43507.72	1357.18

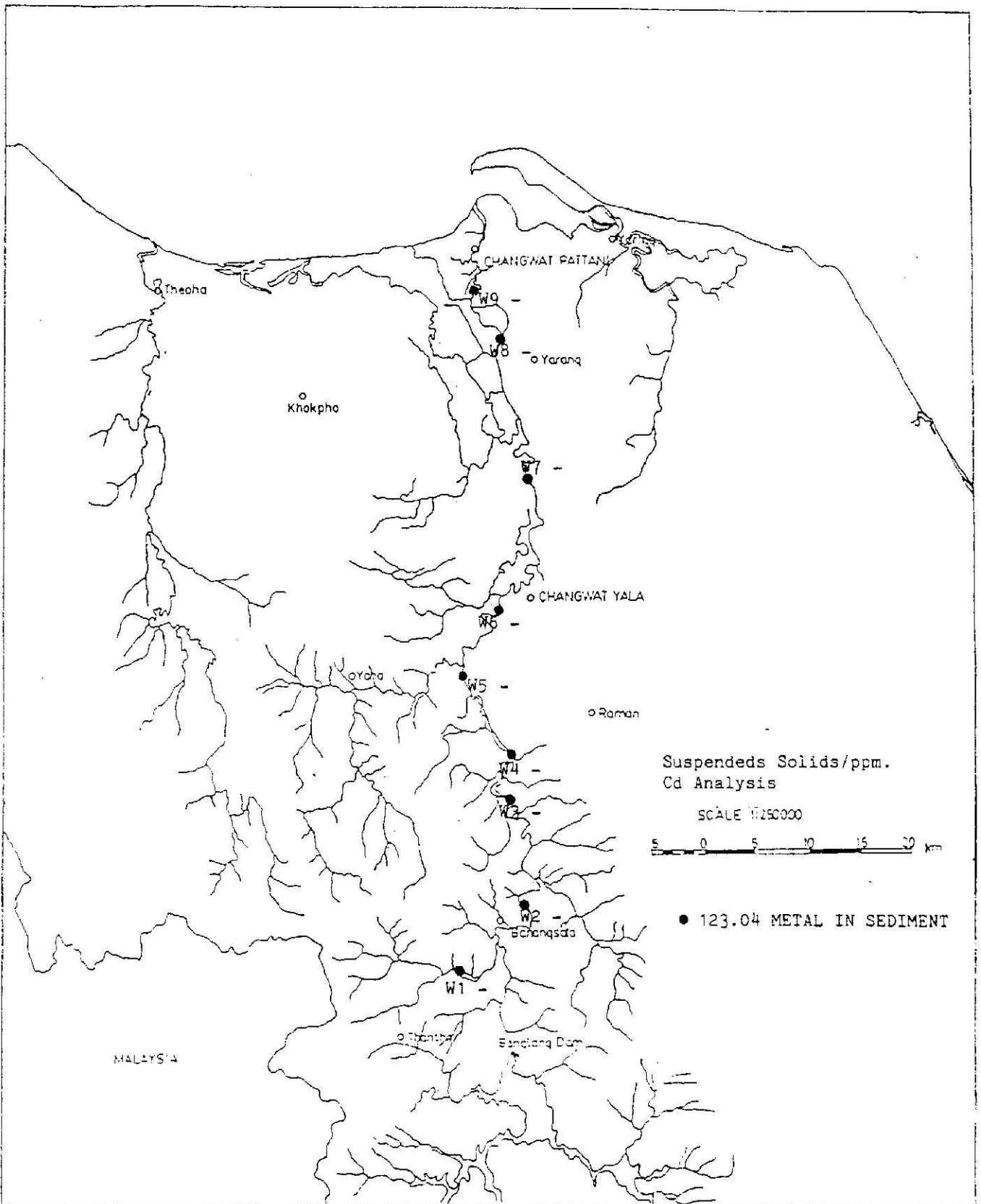
หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้



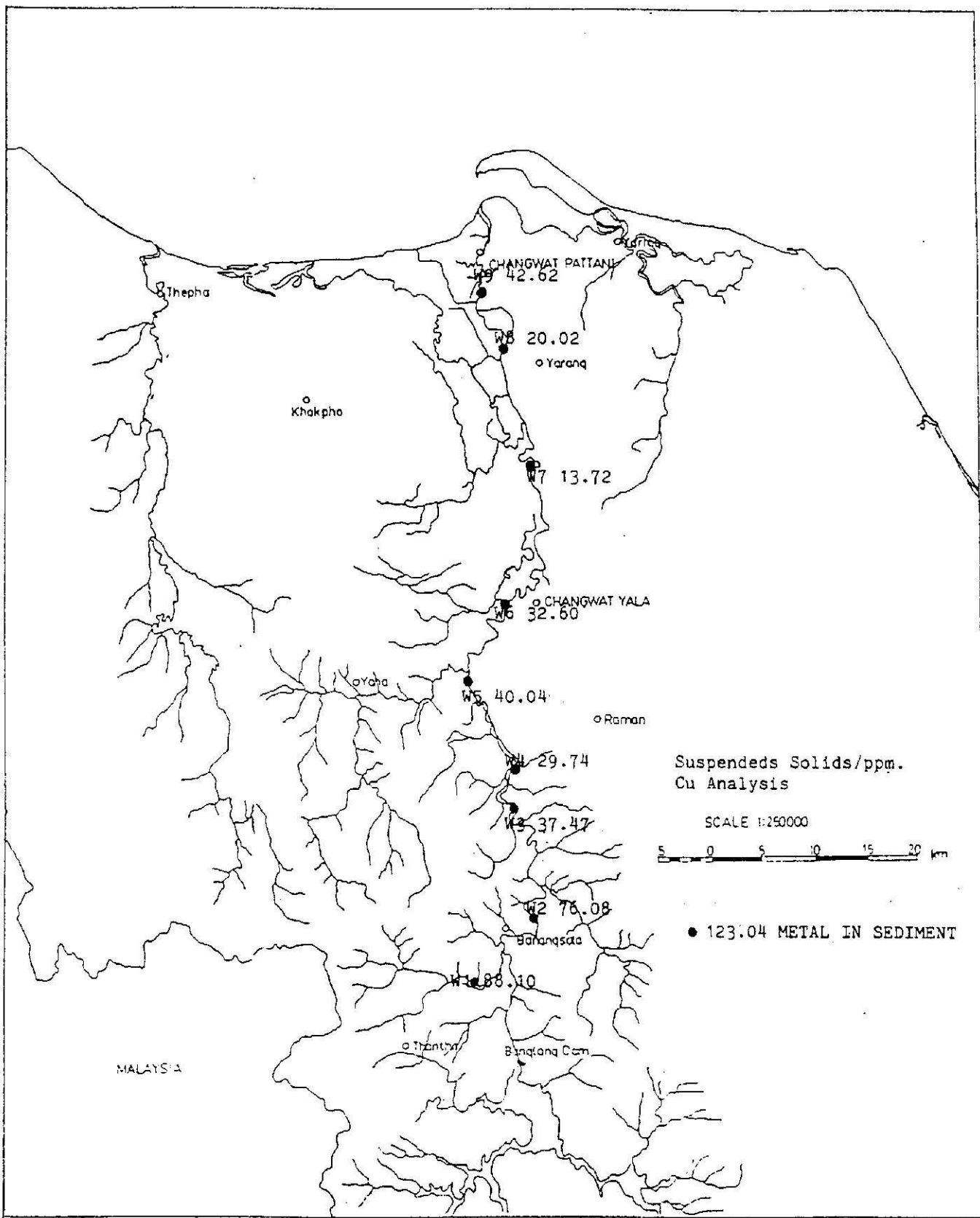
รูปที่ 4.4.1 ปริมาณตะกั่วในตะกอนแขวนลอย



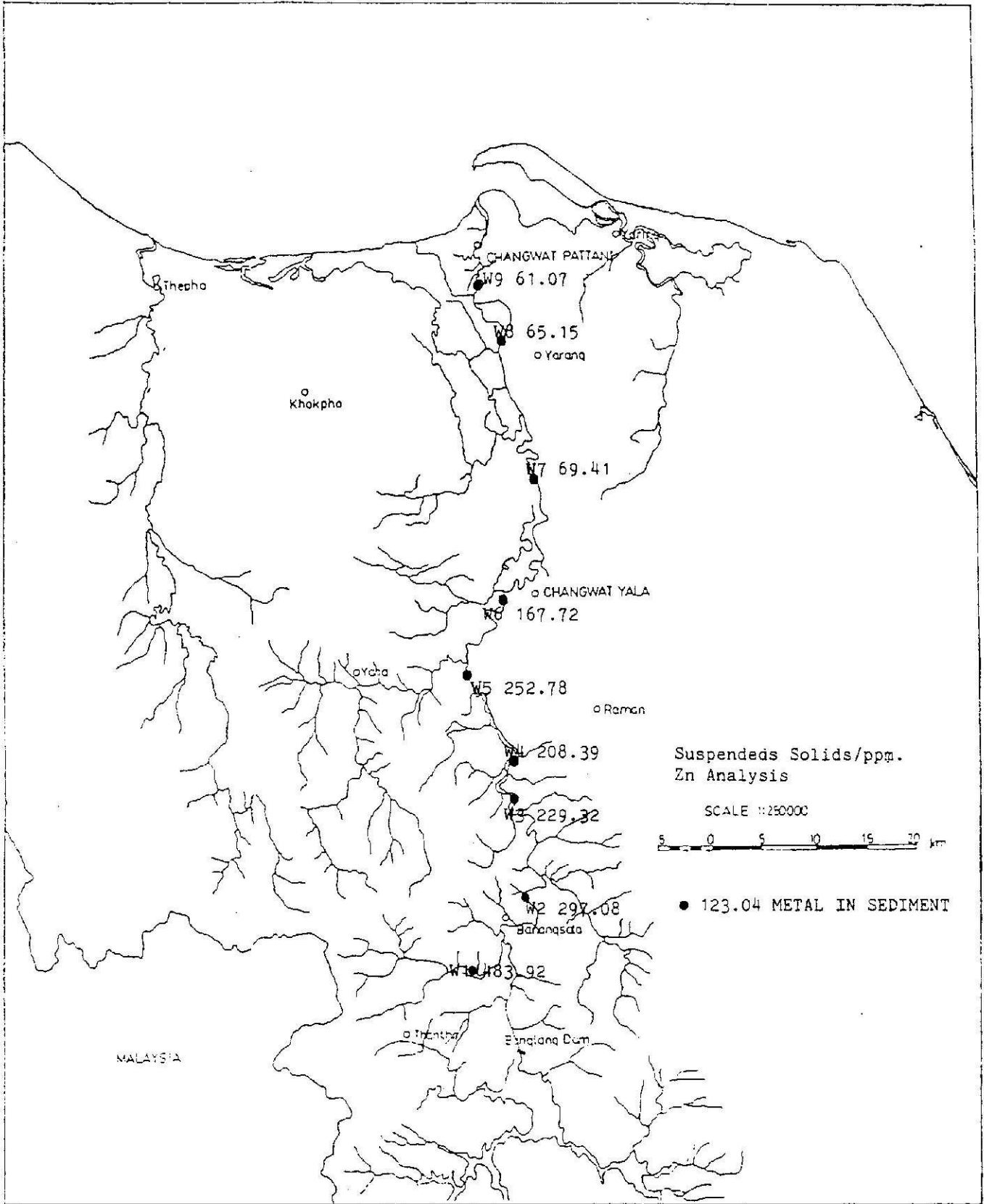
รูปที่ 4.4.2 ปริมาณสารหนูในตะกอนแขวนลอย



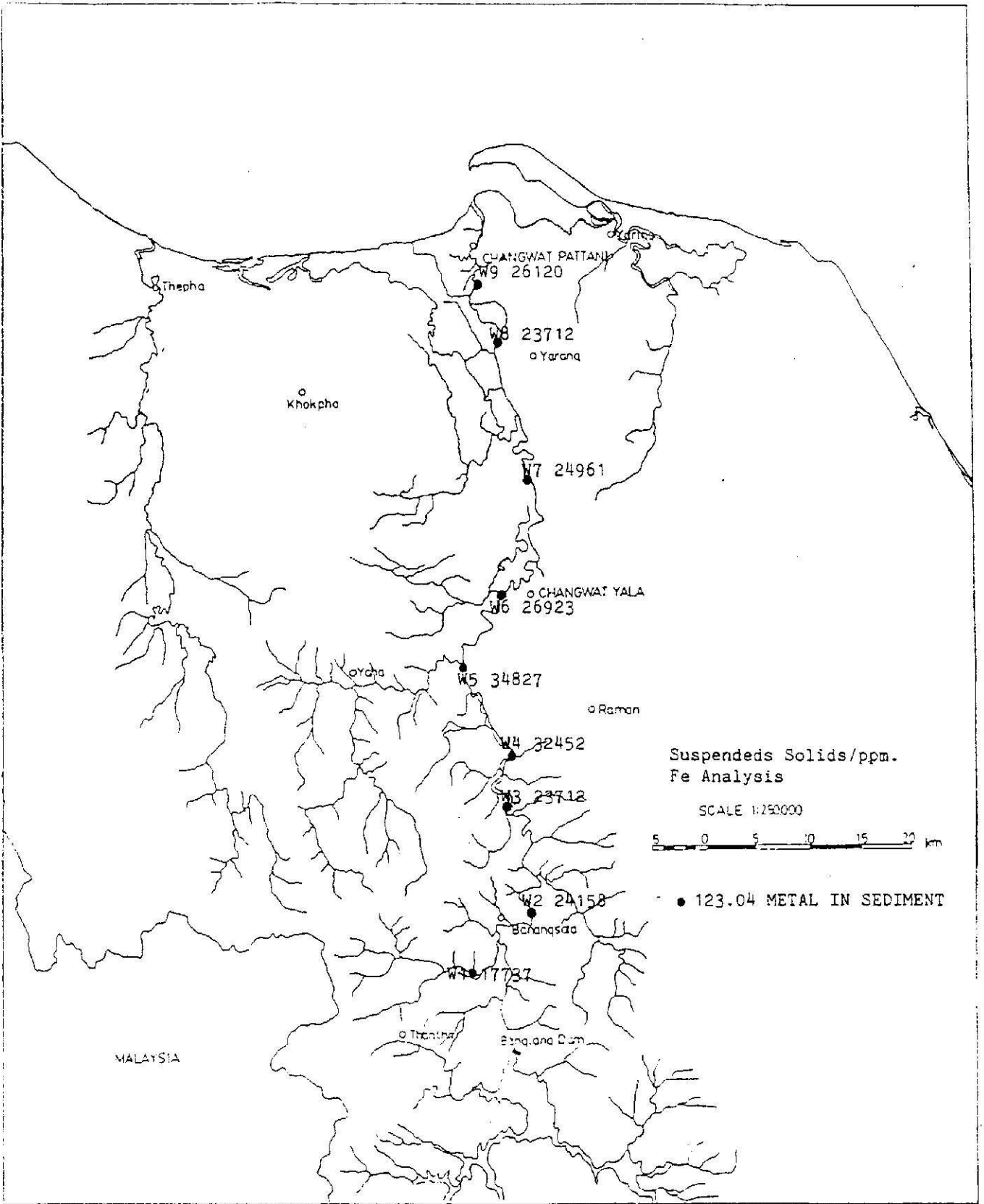
รูปที่ 4.4.3 ปริมาณแคดเมียมในตะกอนแขวนลอย



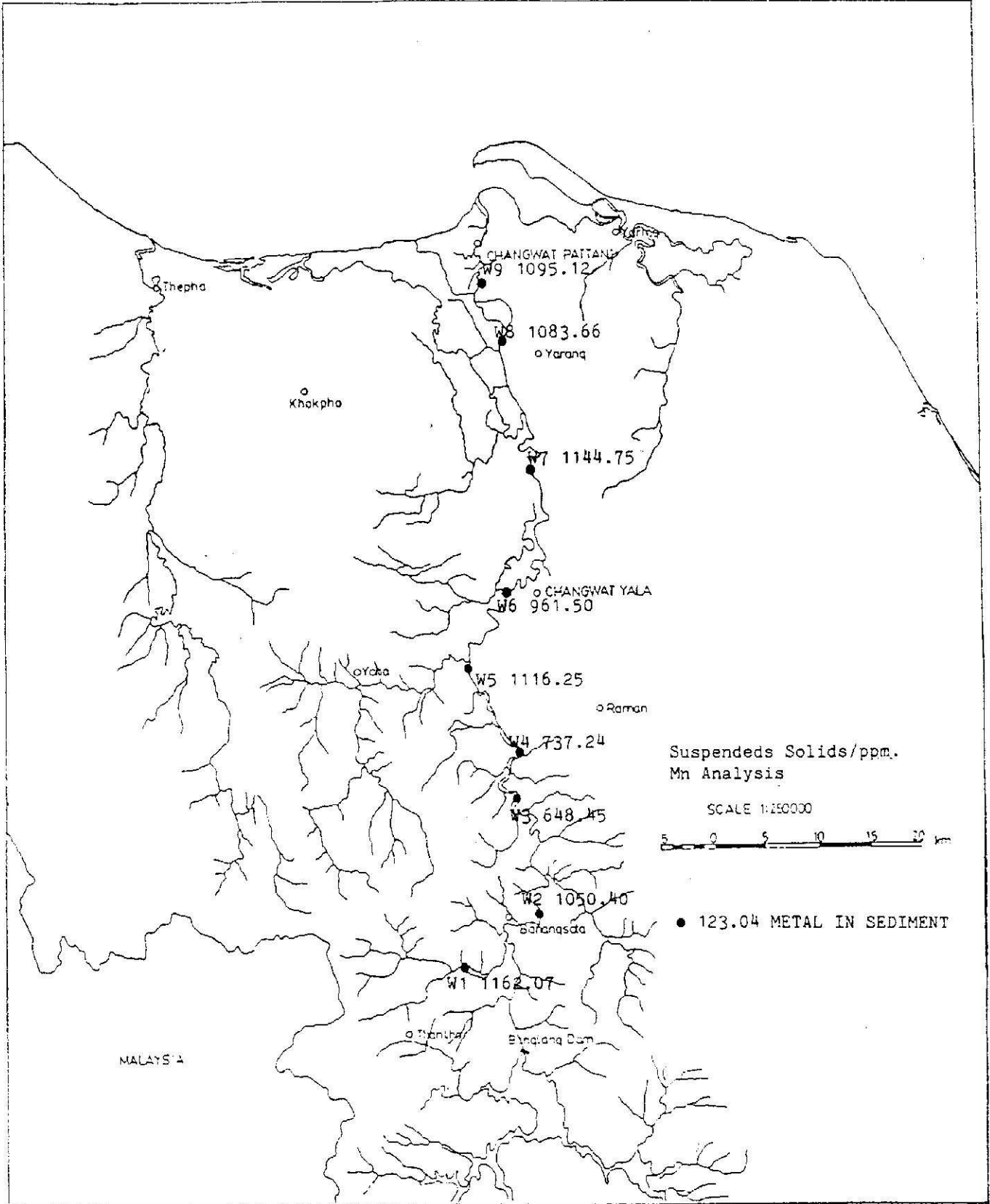
รูปที่ 4.4.4 ปริมาณทองแดงในตะกอนแขวนลอย



รูปที่ 4.4.5 ปริมาณสิ่งก่ในตะกอนแขวนลอย



รูปที่ 4.4.6 ปริมาณเหล็กในตะกอนแขวนลอย



รูปที่ 4.4.7 ปริมาณแมงกานีสในตะกอนแขวนลอย

ตาราง 4.5.1 แสดงปริมาณค่าของตะกั่วในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี

Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	-	5.65	15.31	0.57	40.55	62.08
	%	-	9.11	24.67	0.91	65.31	100 %
P2	ppm.	-	93.46	534.56	300.25	2395.89	3333
	%	-	2.80	16.30	9.01	71.88	100 %
P3	ppm.	-	5.16	1.36	0.67	4.22	11.41
	%	-	45.22	11.91	5.87	36.99	100 %
P4	ppm.	-	4.62	1.01	0.40	9.81	15.84
	%	-	29.17	6.38	2.53	61.93	100 %
P5	ppm.	-	28.28	230.15	61.18	829.12	1148
	%	-	24.5	20.03	5.32	72.18	100 %

ตารางที่ 4.5.1 (ต่อ)

P6	ppm.	-	3.73	0.65	0.25	5.27	9.90
	%	-	37.68	6.57	2.52	53.23	100 %
P7	ppm.	-	3.32	0.71	0.60	2.47	7.10
	%	-	46.76	10	8.45	34.79	100 %
P8	ppm.	-	3.52	0.82	0.72	10.16	15.22
	%	-	23.13	5.39	4.73	66.75	100 %
P9	ppm.	-	3.08	6.61	2.61	19.87	32.17
	%	-	9.57	20.55	8.11	61.77	100 %
P10	ppm.	-	11.57	24.36	8.86	47.54	92.33
	%	-	12.53	26.38	9.59	51.49	100 %
P11	ppm.	-	7.47	19.28	16.11	73.70	116.56
	%	-	6.41	16.54	13.82	63.23	100 %

ตารางที่ 4.5.1 (ต่อ)

P12	ppm.	-	2.74	7.41	0.34	12.77	23.26
	%	-	11.78	31.86	1.47	54.90	100 %
P13	ppm.	-	22.69	34.63	18.95	114.45	190.72
	%	-	11.89	18.16	9.94	60.01	100 %
P14	ppm.	-	6.32	19.95	11.56	72.58	110.41
	%	-	5.72	18.07	10.47	65.74	100 %
T1	ppm.	-	5.30	2.87	2.90	35.20	46.27
	%	-	11.45	6.20	6.27	76.08	100 %
Y1	ppm.	-	4.36	3.13	0	14.27	21.76
	%	-	20.04	14.39	-	65.58	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.5.2 แสดงปริมาณค่าของสารทุกชนิดและ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี
Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	-	-	0.09	0.29	12.37	12.76
	%	-	-	0.75	2.28	96.96	100 %
P2	ppm.	-	-	0.08	0.36	199.92	200.37
	%	-	-	0.04	0.18	99.77	100 %
P3	ppm.	-	-	0.04	0.16	1.86	2.08
	%	-	-	2.31	7.93	89.74	100 %
P4	ppm.	-	-	0.05	0.18	8.86	9.11
	%	-	-	0.61	2.06	97.32	100 %
P5	ppm.	-	-	0.41	0.18	111.79	112.39
	%	-	-	0.36	0.16	99.46	100 %

ตารางที่ 4.5.2 (ต่อ)

P6	ppm.	-	-	-	0.46	3.66	4.13
	%	-	-	-	11.23	88.76	100 %
P7	ppm.	-	-	0.0006	0.32	1.55	1.87
	%	-	-	0.03	17.06	82.90	100 %
P8	ppm.	-	-	0.13	0.34	3.49	3.97
	%	-	-	3.49	8.57	87.92	100 %
P9	ppm.	-	-	0.06	0.31	17.14	17.51
	%	-	-	0.35	1.77	97.87	100 %
P10	ppm.	-	-	-	0.15	12.28	12.43
	%	-	-	-	1.23	98.77	100 %
P11	ppm.	-	-	0.26	0.22	88.30	88.78
	%	-	-	0.28	0.24	99.46	100 %

ตารางที่ 4.5.2 (ต่อ)

P12	ppm.	-	-	0.08	0.41	29.59	30.08
	%	-	-	0.28	1.35	98.37	100 %
P13	ppm.	-	-	0.21	0.21	71.93	72.34
	%	-	-	0.28	0.28	99.44	100 %
P14	ppm.	-	-	-	0.22	27.48	27.71
	%	-	-	-	0.81	99.19	100 %
T1	ppm.	-	-	0.48	0.19	48.54	49.21
	%	-	-	0.97	0.38	98.64	100 %
Y1	ppm.	-	-	0.008	-	5.19	5.20
	%	-	-	0.15	-	99.84	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.5.3 แสดงปริมาณค่าของทองแดงในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี
Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	-	-	-	12.85	6.7	19.55
	%	-	-	-	65.73	34.27	100 %
P2	ppm.	-	12.39	-	92.66	280.81	385.86
	%	-	3.21	-	24.01	72.78	100 %
P3	ppm.	-	-	-	1.58	-	1.58
	%	-	-	-	100	-	100 %
P4	ppm.	-	-	-	-	1.14	1.14
	%	-	-	-	-	100	100 %
P5	ppm.	-	-	-	4.06	93.27	97.33
	%	-	-	-	4.17	95.83	100 %

ตารางที่ 4.5.3 (ต่อ)

P6	ppm.	-	-	-	1.38	-	1.38
	%	-	-	-	100	-	100 %
P7	ppm.	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	- %
P8	ppm.	-	-	-	2.06	-	2.06
	%	-	-	-	100	-	100 %
P9	ppm.	-	-	-	1.75	2.91	4.66
	%	-	-	-	37.56	62.44	100 %
P10	ppm.	-	-	-	2.58	7.68	10.26
	%	-	-	-	25.15	74.85	100 %
P11	ppm.	-	-	-	4.78	5.56	10.34
	%	-	-	-	46.23	53.77	100 %

ตารางที่ 4.5.3 (ต่อ)

P12	ppm.	-	-	-	-	1.01	1.01
	%	-	-	-	-	100	100 %
P13	ppm.	-	-	-	7.24	16.61	23.85
	%	-	-	-	30.36	69.64	100 %
P14	ppm.	-	-	-	4.25	13.73	17.98
	%	-	-	-	23.64	76.36	100 %
T1	ppm.	-	-	-	3.1	12.07	15.17
	%	-	-	-	20.44	79.56	100 %
Y1	ppm.	-	-	-	-	1.47	1.47
	%	-	-	-	-	100	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.5.4 แสดงปริมาณค่าของสังกะสีในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี

Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	-	6.88	17.23	16.82	96.92	137.85
	%	-	4.99	12.49	12.20	70.30	100 %
P2	ppm.	-	57.76	128.29	151.63	380.67	718.35
	%	-	8.04	17.85	21.10	52.99	100 %
P3	ppm.	-	2.5	2.12	2.24	7.42	14.28
	%	-	17.51	14.84	15.69	51.96	100 %
P4	ppm.	-	1.05	1.08	1.98	14.12	18.23
	%	-	5.76	5.93	10.86	77.45	100 %
P5	ppm.	-	3.64	38.79	10.51	249.33	302.27
	%	-	1.20	12.83	3.47	82.48	100 %

ตารางที่ 4.5.4 (ต่อ)

P6	ppm.	-	0.65	2.95	3.96	4.9	12.46
	%	-	5.22	23.67	31.78	39.33	100 %
P7	ppm.	-	-	-	1.54	1.79	3.33
	%	-	-	-	46.25	53.75	100 %
P8	ppm.	-	3.55	16.8	2.84	7.53	30.72
	%	-	11.55	54.69	9.25	24.51	100 %
P9	ppm.	-	0.69	5.05	2.48	23.61	31.83
	%	-	2.17	15.86	7.79	74.18	100 %
P10	ppm.	-	2.69	8.69	3.27	30.65	45.3
	%	-	5.94	19.18	7.22	67.66	100 %
P11	ppm.	-	6.95	10.26	8.36	47.67	73.24
	%	-	9.49	14.01	11.46	65.09	100 %

ตารางที่ 4.5.4 (ต่อ)

P12	ppm.	-	2.93	9.97	1.41	10.03	24.34
	%	-	12.04	40.96	5.79	41.21	100 %
P13	ppm.	-	5.16	13.65	10.02	75.04	103.87
	%	-	4.97	13.14	9.65	72.24	100 %
P14	ppm.	-	4.26	15.04	17.68	67.3	104.28
	%	-	4.09	14.42	16.95	64.54	100 %
T1	ppm.	-	3.51	9.9	10.17	48.46	72.04
	%	-	4.87	13.74	14.12	67.27	100 %
Y1	ppm.	-	3.33	9.47	4.53	21.7	39.03
	%	-	8.53	24.26	11.61	55.60	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.5.5 แสดงปริมาณค่าของแคดเมียมในแต่ละ Fraction ที่ได้จากกาวิเคราะห์โดยวิธี
Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P2	ppm.	0.09	1.59	1.87	1.14	4.39	9.07
	%	0.96	17.52	20.63	12.57	48.32	100 %
P5	ppm.	-	0.19	0.33	-	0.90	1.44
	%	-	13.81	23.25	-	62.94	100 %
P11	ppm.	-	0.14	-	-	-	0.14
	%	-	100	-	-	-	100 %
P13	ppm.	-	0.08	-	-	-	0.08
	%	-	100	-	-	-	100 %

หมายเหตุ Fraction ของสถานีเก็บตัวอย่าง อื่น ๆ วัตถุประสงค์

ตาราง 4.5.6 แสดงปริมาณค่าของแมงกานีสในแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี

Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	4.92	12.77	39.66	20.87	120.65	198.87
	%	2.47	6.43	19.94	10.49	60.67	100 %
P2	ppm.	1.98	282.24	1070.98	539.37	913.71	280.28
	%	0.07	10.05	38.14	19.21	32.53	100 %
P3	ppm.	8.00	81.2	29.84	3.57	20.94	143.55
	%	5.57	56.57	20.79	2.49	14.58	100 %
P4	ppm.	3.58	4.03	5.21	1.45	151.65	165.92
	%	2.16	2.43	3.14	0.87	91.40	100 %
P5	ppm.	1.13	123.42	1287.69	79.22	393.4	1885.6
	%	0.06	6.55	68.32	4.20	20.87	100 %

ตารางที่ 4.5.6 (ต่อ)

P6	ppm.	21.34	33.98	16.57	1.02	20.94	93.85
	%	22.74	36.21	17.65	1.09	22.31	100 %
P7	ppm.	1.34	1	3.44	-	218.27	224.05
	%	0.59	0.45	1.54	-	97.42	100 %
P8	ppm.	5.29	47.3	25.22	0.64	162.44	240.89
	%	2.20	19.64	10.47	0.26	67.43	100 %
P9	ppm.	6.20	38.32	77.58	205.82	106.22	433.94
	%	1.43	8.83	17.87	47.41	24.46	100 %
P10	ppm.	34.18	31.83	31.56	146.86	106.65	351.08
	%	9.73	9.07	8.99	41.83	30.38	100 %
P11	ppm.	74.20	125.58	69.1	9.03	175.66	453.57
	%	16.36	27.69	15.23	1.99	38.73	100 %

ตารางที่ 4.5.6 (ต่อ)

P12	ppm.	4.07	54.9	287.06	199.85	138.02	683.9
	%	0.60	8.03	41.97	29.22	20.18	100 %
P13	ppm.	109.38	31.59	200.69	98.22	199.2	559.68
	%	19.56	5.65	35.90	17.57	21.32	100 %
P14	ppm.	10.58	93.85	103.33	75.2	111.67	394.63
	%	2.68	23.78	26.18	19.06	28.30	100 %
T1	ppm.	7.10	77.5	86.37	85.04	122.96	378.97
	%	1.87	20.45	22.79	22.44	32.45	100 %
Y1	ppm.	6.30	46.73	31.21	18.5	110.41	213.15
	%	2.96	21.92	14.64	8.68	51.80	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตาราง 4.5.7 แสดงปริมาณค่าของเหล็กในตะกอนแต่ละ Fraction ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี
Sequential Extraction

Sample	Unit	Fraction 1 Exchangeable	Fraction 2 Carbonate	Fraction 3 Fe-Mn	Fraction 4 Organic	Fraction 5 Residual	Total
P1	ppm.	-	140	2480	890	25100	28610
	%	-	0.49	8.67	3.11	87.73	100 %
P2	ppm.	-	70	1940	250	105370	107630
	%	-	0.07	1.80	0.23	97.90	100 %
P3	ppm.	-	130	1100	42	4870	6140
	%	-	2.11	17.91	0.68	79.30	100 %
P4	ppm.	-	140	1180	37	8680	10040
	%	-	1.39	11.75	0.37	86.45	100 %
P5	ppm.	-	70	1540	19	55680	57309
	%	-	0.12	2.69	0.03	97.158	100 %

ตารางที่ 4.5.7 (ต่อ)

P6	ppm.	-	180	910	27	4600	5717
	%	-	3.15	15.92	0.47	80.46	100 %
P7	ppm.	-	50	20	-	3360	3430
	%	-	1.46	0.58	-	97.96	100 %
P8	ppm.	-	70	640	19	5080	5809
	%	-	1.21	11.02	0.33	87.45	100 %
P9	ppm.	-	60	910	31	8160	9161
	%	-	0.66	9.93	0.34	89.07	100 %
P10	ppm.	-	170	1990	96	6020	8276
	%	-	2.05	24.05	1.16	72.74	100 %
P11	ppm.	-	540	4020	670	22960	28190
	%	-	1.92	14.26	2.38	81.45	100 %

ตารางที่ 4.5.7 (ต่อ)

P12	ppm.	-	30	650	13	9610	10303
	%	-	0.29	6.31	0.13	93.27	100 %
P13	ppm.	-	150	3530	902	2800	32582
	%	-	0.46	10.84	2.77	85.94	100 %
P14	ppm.	-	1390	2380	871	28520	33167
	%	-	4.19	7.18	2.63	86.00	100 %
T1	ppm.	-	2140	1740	1100	29420	34400
	%	-	6.22	5.06	3.20	85.52	100 %
Y1	ppm.	-	1380	1690	799	5840	9709
	%	-	14.21	17.41	8.23	60.15	100 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตะกั่วกระจายอยู่ในทุก Fraction ยกเว้น Exchangeable Fraction มีมากใน Residual Fraction , Fe-Mn Fraction และ Carbonate Fraction ตามลำดับ บริเวณ P2 และ P5 ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการทำเหมืองมาก (ตารางที่ 4.5.1) มีตะกั่วในรูปของ Residual Fraction มากเป็นพิเศษ (ประมาณ 70 %) ปริมาณตะกั่วใน Fraction 5 ซึ่งเป็น Organic Species มีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ ไปทางปากอ่าวปัตตานี ปริมาณตะกั่วที่กระจายในแต่ละ Fraction ของปากแม่น้ำเทพา และยะหริ่ง มีความคล้ายคลึงกันกับแม่น้ำปัตตานี (รูปที่ 4.5.1)

4.5.2 สารหนู

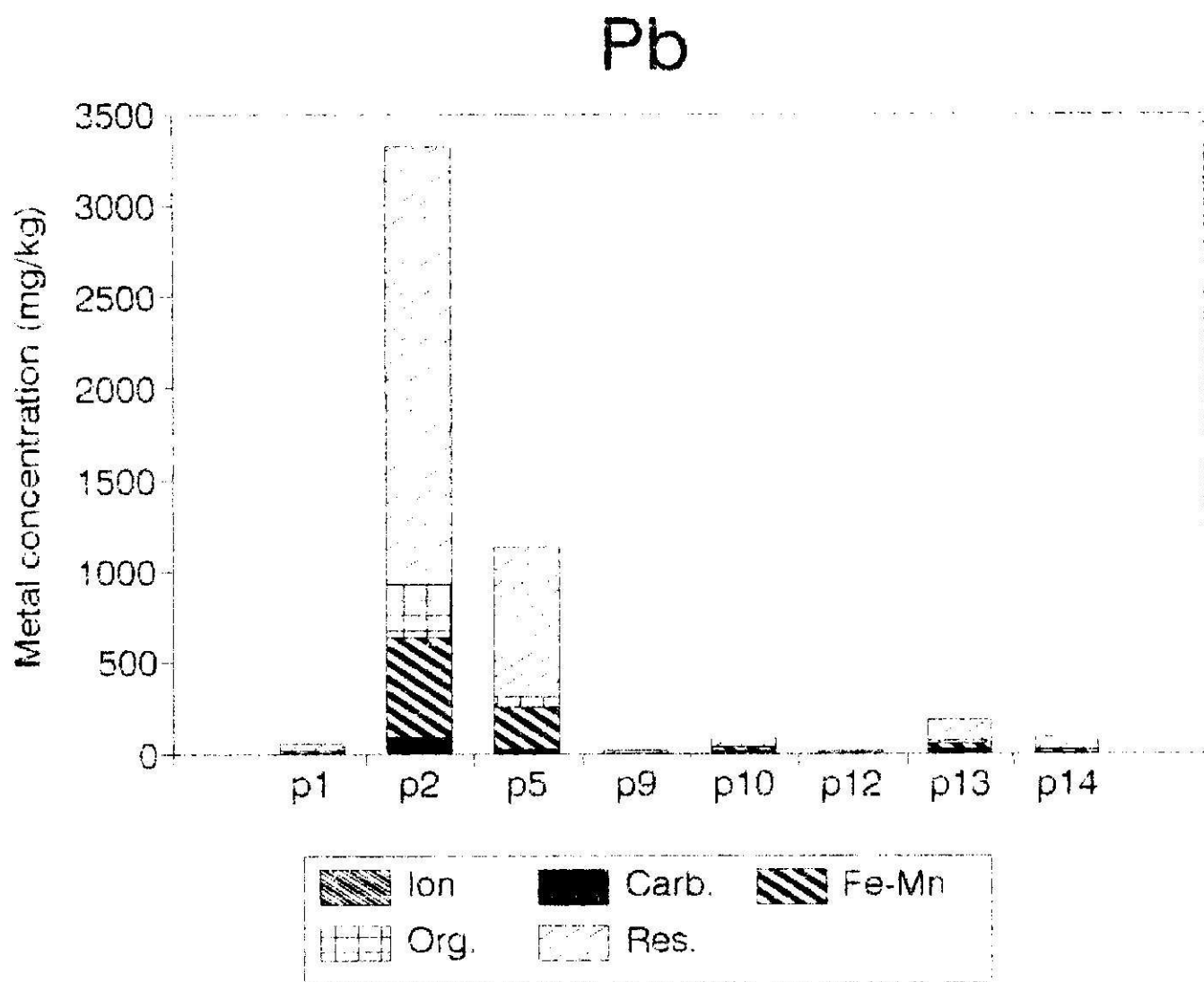
สารหนูอยู่ในรูป Residual Fraction มากกว่า 90 % ทุกสถานี ร่องลงมาเป็น Organic และ Fe-Mn Species ตามลำดับบริเวณปากแม่น้ำเทพาและยะหริ่งมีสารหนูใน Residual Species เกือบ 100 % (ตารางที่ 4.5.2 รูปที่ 4.5.2)

4.5.3 แคดเมียม

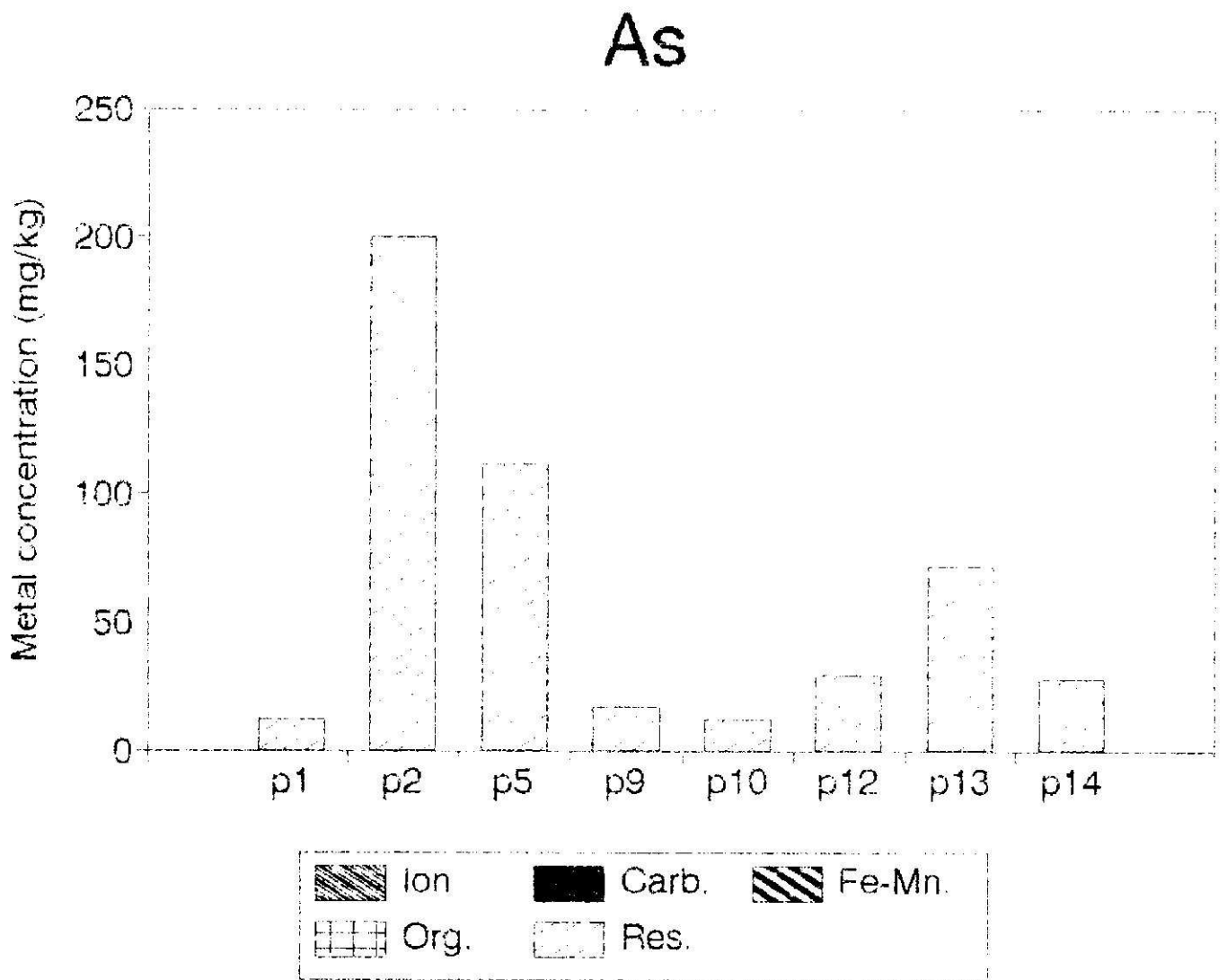
แคดเมียมวิเคราะห์ได้ในสถานี P2 และ P5 ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งแร่โดยตรง มีปริมาณใน Residual fraction 48 และ 60 % ตามลำดับ ร่องลงมาเป็น Fe-Mn และ Carbonate species ในสถานี P2 วัตถุประสงค์แคดเมียมได้บ้างเล็กน้อย

4.5.4 ทองแดง

ปริมาณทองแดงมีความสัมพันธ์กับแหล่งแร่อย่างชัดเจนทองแดงมีมากในสถานี P2 , P5 ซึ่งเกิดจากแหล่งแร่โดยตรงสถานีอื่น ๆ พบทองแดงน้อยมาก บริเวณแหล่งแร่อ่าวปัตตานี และปากแม่น้ำเทพา พบทองแดงในรูปของ Residual Species เป็นส่วนใหญ่ Organic Species เป็นส่วนน้อย (ตารางที่ 4.5.3)

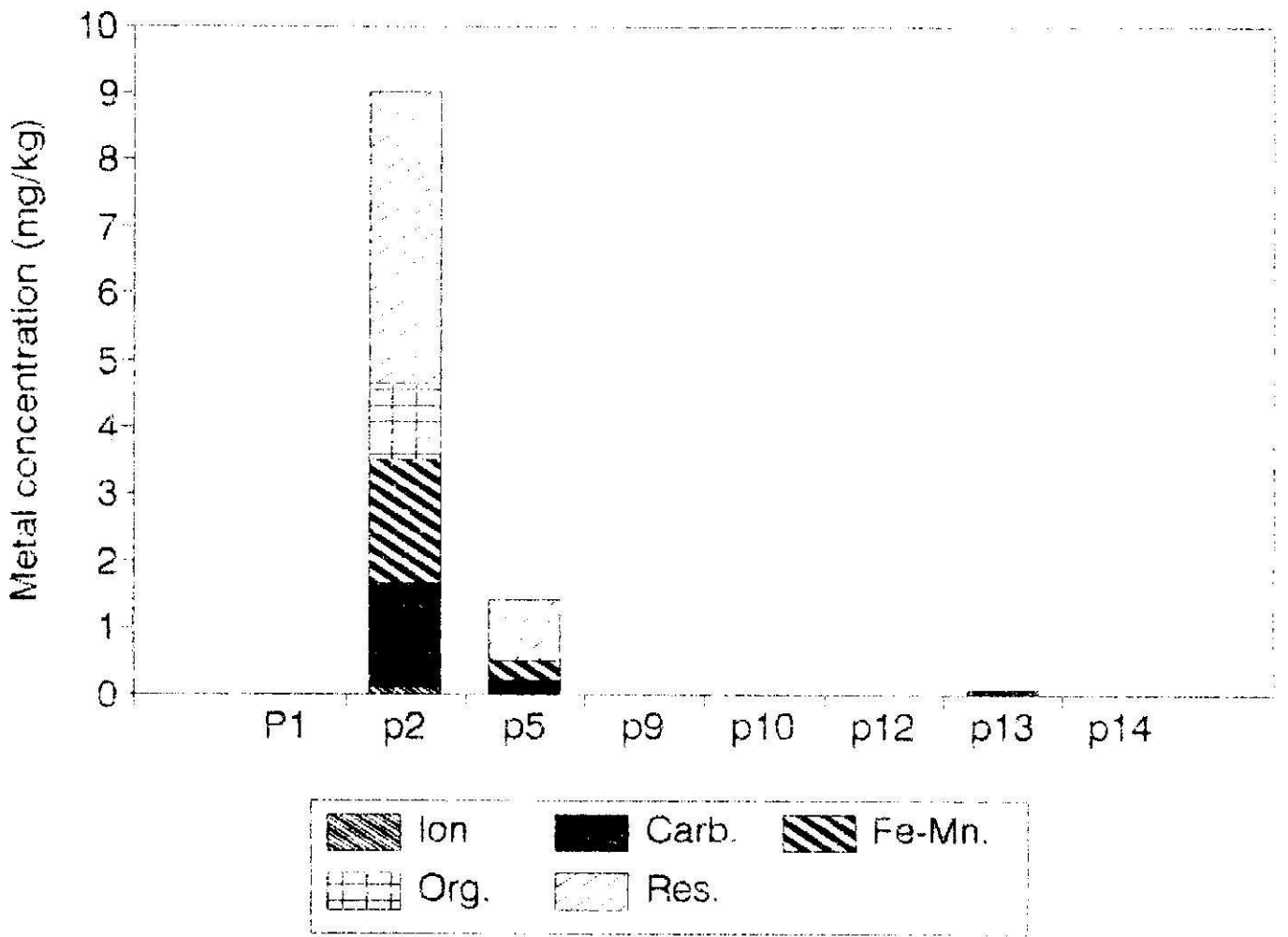


รูปที่ 4.5.1 สัดส่วนของตะกั่ว species ต่างๆ



รูปที่ 4.5.2 สัดส่วนของสารหนูตาม species ต่างๆ

Cd



รูปที่ 4.5.3 สัดส่วนของแคดเมียมใน species ต่างๆ

4.5.5 สังกะสี

สังกะสีอยู่ในรูปของ Residual Species กว่า 50-60 % และมีกระจายอยู่ในเกือบทุก Fraction ยกเว้น Exchangeable Species นอกจากนี้ในรูปของ Residual Species แล้ว สังกะสีจะอยู่ใน Fe-Mn Form ในช่วงต้นน้ำลำธาร และสังกะสีในรูปของ Organic มีมากขึ้นไปทางปากอ่าวปัตตานี สังกะสีในปากแม่น้ำเทพา และยะหริ่งก็มี Pattern คล้ายกัน (ตารางที่ 4.5.4)

4.5.6 แมงกานีส

แมงกานีสมีกระจายอยู่ในทุก Fraction ส่วนใหญ่จะอยู่ใน Fe-Mn Fraction และ Residual Fraction ตามลำดับ บริเวณใกล้ ๆ กับปากอ่าวปัตตานี แมงกานีสใน Organic Fraction จะมากขึ้น เช่นเดียวกับที่ปากแม่น้ำยะหริ่ง และเทพา (ตารางที่ 4.5.6)

4.5.7 เหล็ก

เหล็กอยู่ใน Form ของ Residual Fraction กว่า 80 % ของทุกสถานี รองลงมา เป็น Fe-Mn Fraction และไม่พบเลยใน Exchangeable Fraction (ตารางที่ 4.5.7) เหล็กใน Organic และ Carbonate Fraction จะมากขึ้นไปทางปากอ่าว

4.6 โลหะหนักในระบบประปาจังหวัดยะลา-ปัตตานี และแม่น้ำปัตตานี

ผลจากการเก็บตัวอย่างตะกอน จากฝั่งตลิ่งตะกอนของการประปายะลา พบว่ามีสารหนู 141 ppm. และ มีตะกั่ว 328 ppm. ส่วนตะกอนในระบบประปาปัตตานี มีสารหนู 40 ppm. ตะกั่ว 240 ppm. แคดเมียมมีน้อยมากวิเคราะห์ไม่ได้ (ตารางที่ 4.4.2)

ตาราง 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำปัตตานี และน้ำจากระบบประปา
จังหวัดยะลา-ปัตตานี
เก็บตัวอย่างน้ำ ครั้งที่ 5 วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2536

Sample	Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP) ppb.							
	Pb	As	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn	pH
PW2	-	11.41	1.32	-	5.18	185	230	6.2
PW5	-	-	1.03	-	-	459	28.26	6.5
PW9	5.22	-	-	-	-	639	63.97	6.9
PW10	3.61	9.82	0.66	-	-	909	52.72	6.5
PW11	8.14	36.74	-	5.72	9.63	158	9.20	6.6
PW12	9.09	-	-	-	-	645	71.27	6.5
PW13	10.28	43.56	0.64	-	29.03	591	47.01	7.3
PW22	-	13.55	-	-	2.13	243	34.23	7.9
YW11	15.44	32.84	1.85	14.12	42.42	1593	244	7.1
YW22	-	13.99	1.44	3.11	6.72	131	42.50	7.5
YW	-	-	-	-	-	326	59.79	7.7
TW	-	-	3.32	-	-	221	71.36	7.5

หมายเหตุ เครื่องหมาย - หมายถึง วัดค่าไม่ได้

ตารางที่ 4.6.1 คำอธิบายสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ

- PW2 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านกาโสด จังหวัดยะลา
- PW5 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านท่านบ จังหวัดยะลา
- PW9 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านสะเตง จังหวัดยะลา
- PW10 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดยะลา
- PW11 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณบ้านบาซาแอ จังหวัดปัตตานี
- PW12 ตัวอย่างน้ำที่เก็บในแม่น้ำปัตตานี บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี
- PW13 ตัวอย่างน้ำที่เก็บก่อนเข้าระบบประปาจังหวัดปัตตานี
- PW22 ตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบประปาจังหวัดปัตตานี
- YW11 ตัวอย่างน้ำที่เก็บก่อนเข้าระบบประปาจังหวัดยะลา
- YW22 ตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบประปาจังหวัดยะลา
- YW ตัวอย่างน้ำที่เก็บในปากแม่น้ำยะหริ่ง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี
- YW ตัวอย่างน้ำที่เก็บในปากแม่น้ำเทพา อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา

จากการวิเคราะห์น้ำดิบ และน้ำที่บำบัดแล้ว จากระบบประปายะลา และปัตตานี ในการเก็บตัวอย่างวันที่ 12 มกราคม 2536 พบว่าปริมาณโลหะหนักต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม (ตารางที่ 4.6) อย่างไรก็ตามควรจะทำการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลด้วย เนื่องจากช่วงที่เก็บตัวอย่างฝนยังคงอยู่มาก Dilution Factor ค่อนข้างสูง และน้ำค่อนข้างเป็นด่าง การติดตามตรวจสอบ และควบคุมอย่างสม่ำเสมอทุกฤดูกาล จะทำให้มีความมั่นใจในระบบประปามากขึ้น เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแหล่งที่มาของตะกั่ว จึงไม่ได้เน้นที่ระบบประปา

ผลจากการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ในวันที่ 12 มกราคม 2536 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในหน้าฝน พบว่าโลหะหนักทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลในหน้าแล้ง ที่พบว่ามีแคดเมียม และสารหนูสูงกว่ามาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารหนูในน้ำก่อนเข้าระบบประปาของยะลา และปัตตานี อยู่ในช่วง 30-40 ppb. ซึ่งมีคุณภาพเกือบเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม

5. วิจารณ์

5.1 แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปัดตานี

ผลการศึกษาปริมาณตะกั่ว และโลหะหนักที่เกี่ยวข้องในตะกอนธารน้ำ พบว่าตะกั่ว สวารหนู แคล-เมียม ทองแดง และสังกะสี มีมากในบริเวณธารน้ำใกล้กับหมู่เหมืองบิโนเยาะ และหมู่เหมืองถ้ำทะลุ ในบริเวณอำเภอฮารโต จังหวัดยะลา ซึ่งเป็นบริเวณต้นน้ำลำธารของแม่น้ำปัดตานี ปริมาณโลหะจะลดลงในช่วงกลางแม่น้ำ (จังหวัดยะลา) และมากขึ้นในบริเวณใกล้กับอ่าวปัดตานี ปริมาณโลหะที่ลดลงในช่วงกลางคาดว่า เนื่องจากมีตะกอนจากธารน้ำอื่น ๆ เข้ามาเจือจาง และเนื่องจากความลาดชันของแม่น้ำในช่วงนี้สูงกว่าช่วงอื่น ๆ ตะกอนละเอียดมีน้อย

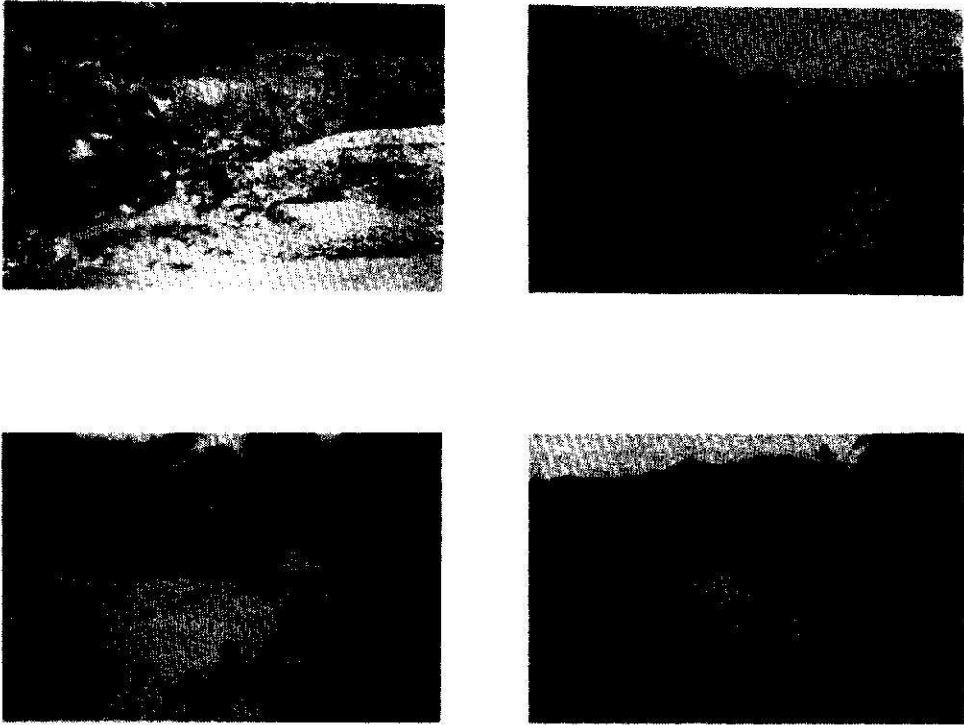
แหล่งแร่ที่เป็นต้นกำเนิดของตะกอนเหล่านี้มีแร่ดีบุก (SnO_2) Galena (PbS) Arsenopyrite (FeAsS) Chalcopyrite (CuFeS_2) Sphalerite (ZnS) และ Pyrite (FeS_2) ส่วนของแร่เหล่านี้ไม่แน่นอน จากการสังเกตพบว่า Pyrite (FeS_2) มีปริมาณมากที่สุด

ตะกอนบริเวณใต้เขื่อนบางลาง มีโลหะหนักค่อนข้างมาก เนื่องจากมีการทำเหมืองมาก่อนที่จะมีการกักเก็บน้ำ

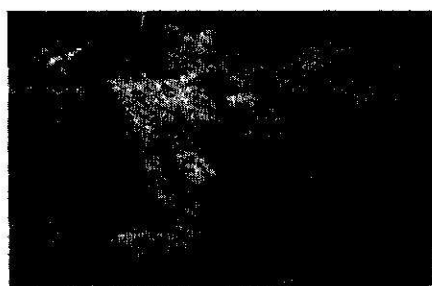
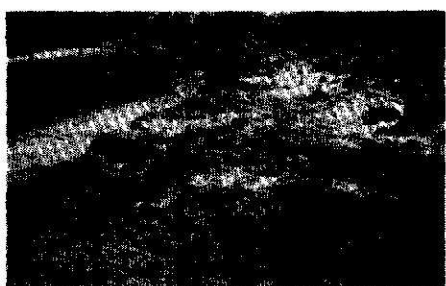
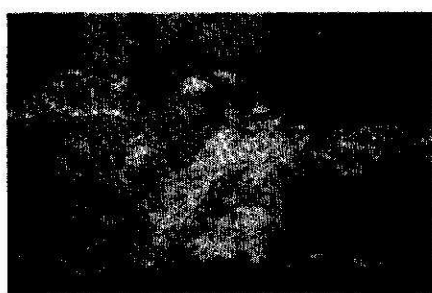
ปริมาณโลหะหนักในน้ำมีตะกั่วต่ำกว่ามาตรฐาน คาดว่าเนื่องจากมี pH ค่อนข้างเป็นด่าง และมีอนุภาคไบคาร์บอเนต ที่ทำให้ตะกั่วตกตะกอนได้ง่าย สวารหนู และแคลเมียมในน้ำมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำดื่มในช่วงหน้าแล้ง ส่วนหน้าฝนปริมาณโลหะหนักลดลงต่ำกว่าเกณฑ์

ปริมาณโลหะหนักในดินในลุ่มน้ำปัดตานี สวนยาง และห้องนา มีค่าไม่สูงนัก แต่ตัวอย่างจากนาทุ่งที่ทำกันบริเวณปากอ่าวมีค่าสวารหนู และตะกั่วค่อนข้างสูง

ผลการศึกษาพอจะสรุปได้ว่า แหล่งที่มาของตะกั่ว และโลหะหนักที่เกี่ยวข้องที่มีนัยสำคัญ มาจากการทำเหมืองในบริเวณต้นน้ำลำธารของอำเภอบังนังสตา และอำเภอฮารโต ซึ่งได้แก่หมู่เหมืองบิโนเยาะ และหมู่เหมืองถ้ำทะลุ นอกจากนั้นยังมีการทำเหมืองในบริเวณลุ่มน้ำใกล้เคียงกันอีก ได้แก่ ลุ่มน้ำยะหริ่ง และ เทพา เหตุผลที่คิดว่าแหล่งที่มาของตะกั่วมาจาก Point Source อย่างมีนัยสำคัญ มีดังนี้



รูปที่ 5.1 กองมูลสัตว์ที่ปนทรายที่มีสารหนูและตะกั่วมากของเหมืองถ่านหิน



รูปที่ 5.2 กองแร่ที่มีสารทึบและตะกั่วมากของเหมืองบินเขาชะ

- (1) มีโลหะหนักสูงมากในลำธารที่ไหลมาจากเหมืองเหล่านี้ และปริมาณค่อย ๆ ลดลงไปจนถึงจังหวัดยะลา และบริเวณปากอ่าวปัตตานี
- (2) มีการทิ้งมูลดินทรายจากการทำเหมืองลงไปในลำธาร หรือกองทิ้งไว้ข้างลำธาร (รูปที่ 5.1-5.4)
- (3) ผลจากการศึกษาพบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่เป็น Residual Species ซึ่งยังคงรูปแบบของสารประกอบที่มาจากแหล่งแร่เดิมเมื่อห่างจาก Source มากขึ้นโลหะหนักจะอยู่ใน Fe-Mn Fraction มากขึ้น เมื่อผ่านชุมชนจนถึงปากอ่าวโลหะหนักจะอยู่ใน Organic Species มากขึ้น
- (4) โลหะหนักจาก Non-point Source คาดว่ามีน้อยมากหรือน้อยมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ดิน ยืนยันว่ามีโลหะหนักตกค้างจากการเกษตรน้อยมาก

5.2 การเกิดมลพิษของโลหะ ศึกษาจากสภาวะทางเคมีของโลหะ

จากข้อมูล Speciation ของโลหะ และการศึกษาอนุภาค Sulphate Carbonate Chloride และ pH ในน้ำพบว่า แม้น้ำหน้าแล้งอนุภาค Carbonate ยังคงค่อนข้างมาก pH ค่อนข้างเป็นด่าง สภาวะเช่นนี้ทำให้โลหะละลายได้ยากขึ้น โลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในแบบ Residual Fraction อย่างไรก็ตาม ตะกั่วในรูปแบบของ Fe-Mn Fraction มีค่อนข้างมาก และในช่วงปากอ่าวสัดส่วนในรูปแบบของ Organic มีมากขึ้นเมื่อไปถึงอ่าวปัตตานี Fraction ดังกล่าว ละลายได้ง่ายเมื่อ pH เป็นกรด หรือเข้าสู่ Food Chain ได้ง่าย สัตว์ทะเลพวก Benthos จะสะสมโลหะหนักโดยการกินเม็ดตะกอนเหล่านี้

แคดเมียมเป็นโลหะที่ละลายน้ำได้ง่าย และอยู่ใน Soluble Form ได้นานถึงแม้จะมีรายงานว่า มีแคดเมียมในปุ๋ยฟอสเฟต แต่แคดเมียมที่ตกค้างในดินมีน้อย และการวิเคราะห์มูลดินทราย ในบริเวณเหมืองแร่ พบแคดเมียม 6-33 ppm ในน้ำ ช่วงหน้าแล้งมีแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพในการใช้น้ำดื่มโดยตรง

สารหนู มีปริมาณค่อนข้างสูงในมูลดินทราย จากเหมืองแร่ แต่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ Residual Species และ Fe-Mn Species สารหนูในนาุ้งบริเวณป่าชายเลนมีปริมาณค่อนข้างสูงซึ่งทำให้เข้าสู่ Food Chain ได้ง่ายเช่นกัน สารหนูที่ละลายในน้ำบางสถานี มีปริมาณใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำดื่ม ในบางสถานะ สารหนูจะละลายได้มาก ถ้ามีสภาวะทางเคมีที่เหมาะสม เช่น ความเป็นกรดมากขึ้น หรือปริมาณ Sulphate มากขึ้น

5.3 การจัดการสิ่งแวดล้อมในลุ่มน้ำปัตตานี

เนื่องจากเราได้ทราบแหล่งที่มาของตะกั่ว และโลหะหนักที่เกี่ยวข้องว่ามาจากการทำเหมืองเป็นเวลานานกว่า 50 ปี มูลดินทรายจากการทำเหมือง ถูกทิ้งไว้ในบริเวณต้นลำธาร โดยไม่มีบ่อเก็บซึ่งทำให้ตะกอนเหล่านี้ถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำปัตตานี และผสมปนเปไปกับกรวดทรายริมแม่น้ำ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ตะกอนจะเข้าสู่เรือสวนไร่นาที่น้ำท่วมถึงได้ ดังนั้นควรมีมาตรการการจัดการสิ่งแวดล้อม ในระยะสั้น และระยะยาว ดังนี้

(1) มาตรการระยะสั้น

- ให้ความมุ่งแก่ประชาชนสองฝั่งแม่น้ำว่า การบริโภคน้ำจากแม่น้ำและบ่อน้ำตื้น อาจได้รับอันตรายจากโลหะหนัก
- สสำรวจบ่อน้ำตื้นที่ชาวบ้านใช้บริโภค ว่ามีโลหะหนักเกินมาตรฐานหรือไม่ บ่อน้ำที่เกินมาตรฐานควรจะประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบ และห้ามดื่มจากบ่อ
- สสำรวจน้ำจากระบบประปาชนบทตามหมู่บ้านต่าง ๆ ว่ามีโลหะหนักเกินมาตรฐานหรือไม่ ถ้าเกินต้องปรับปรุงระบบให้สามารถลดปริมาณโลหะหนักจนต่ำกว่ามาตรฐานได้
- บริเวณที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมาก รัฐควรมีจัดหาน้ำสะอาดให้เพียงพอ โดยการให้เงินสนับสนุน และดำเนินที่สะอาดที่อยู่ใกล้เคียงมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

(2) มาตรการระยะยาว

- ให้กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ศึกษาและวางแผนการควบคุมมลพิษจากมลพิษอันตรายที่เกิดจากการทำเหมือง
- ศึกษาการแพร่กระจายของโลหะหนัก ในอาหารท้องถิ่น
- ศึกษาผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพของประชาชนในลุ่มน้ำ เช่น โรคที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก และระดับสติปัญญาของเด็กในบริเวณนี้
- ให้มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากโลหะหนักในลุ่มน้ำปัตตานี

6 สรุป

6.1 สรุป

ผลการวิเคราะห์โลหะหนักจากการเก็บตัวอย่าง ดินตะกอนฐานน้ำ น้ำ สารแขวนลอย ดิน (ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน) และน้ำในระบบประปา สรุปได้ว่า

(1) แหล่งที่มาของตะกั่วในแม่น้ำปิตตานีที่มีนัยสำคัญได้แก่ การทำเหมืองในบริเวณอำเภอปังปิ้ง สตา จังหวัดยะลา เป็นแหล่งเดียวที่มีตะกั่ว สารหนู ทองแดง และสังกะสี เป็นเพื่อนแร่

(2) แหล่งที่มาของตะกั่ว และโลหะหนักที่เกี่ยวข้องจาก Non-point Source มีน้อยมากหรือนับมีนัยสำคัญ

(3) รูปแบบของโลหะหนัก ที่จะแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมี 30-40 % อยู่ในรูปของ Organic Form , Fe-Mn Form และ Carbonate Form บาง การละลายจะขึ้นอยู่กับ pH ความเข้มข้นของอนุมูลต่าง ๆ และ Redox-Potential ของน้ำ ดังนั้นจึงควรมีระบบการติดตามตรวจสอบอยู่เสมอ

(4) ปริมาณแคดเมียม และสารหนู มีความสัมพันธ์กับฤดูกาล ในช่วงหน้าแล้ง จะมีปริมาณเกินมาตรฐานน้ำดื่ม โลหะจะละลายได้ยากในน้ำที่มีอนุมูลคาร์บอเนตสูง

(5) ถึงแม้ว่าตะกอนจากถังตกตะกอนของระบบประปาจากยะลา และปิตตานีจะมีโลหะหนักค่อนข้างสูงแต่โลหะหนักในน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว ยังอยู่ในเกณฑ์ที่บริโภคได้ อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว

6.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาต่อ

- (1) ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพและระดับสติปัญญา ของประชาชนในลุ่มน้ำปัตตานี ซึ่งอาจจะดำเนินการโดย กระทรวงสาธารณสุข และนักวิชาการจากมหาวิทยาลัย
- (2) ศึกษาการจัดการกองมูลแวมบริเวศน์น้ำลาธาร และตะกอนบริเวณสองฝั่งที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมาก ดำเนินการโดยกรมทรัพยากรธรณี และกรมควบคุมมลพิษ
- (3) ศึกษาพฤติกรรมการบริโภคน้ำและอาหารทะเล เป็นโครงการวิจัยประเภทกำหนดเรื่อง
- (4) ศึกษาการสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) และในห่วงโซ่อาหาร เป็นโครงการวิจัยประเภทกำหนดเรื่อง

องค์กรที่เกี่ยวข้องได้แก่ กรมการปกครอง กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี และควรมีการร่วมกันดำเนินการดังต่อไปนี้

- การประกาศเป็นเขตควบคุมมลพิษ
- การจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อลดและขจัดมลพิษ
- การจัดตั้งองค์กรเอกชน เพื่อดูแลตนเอง

7 เอกสารอ้างอิง

- ประนอม ภูวนิตศรัย 2532. ความเข้มข้นตะกั่วในแม่น้ำของประเทศไทย รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 27 บทความที่ 225 หน้า 333.
- นันทนา สันตติวุฒิ นพรัตน์ สุรพฤกษ์ มีทนา อังสุประเสริฐ 1987. ปริมาณโลหะหนักในน้ำบริเวณปากแม่น้ำรอบอ่าวไทย วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม 10(3):43-58
- ณรงค์ ฒ เชียงใหม่ 2534 ปริมาณสารหนูในแหล่งน้ำ พืชผัก ผลไม้ และเส้นไหม ต. วอนพิบูลย์ จ. นครศรีธรรมราช ว. สงขลานครินทร์ 13(1-2):59-68.
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 2530 คู่มือการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก หน้า 13-14
- อารี สุวรรณผลดี 2531 การแพร่กระจายของสารหนูในสภาพแวดล้อม อ. วอนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 154 หน้า
- Bartlett, Larry, Rabe F.W., and Funk W.H., 1974. Effects of copper, zinc, and cadmium on *Selenastrum capricornutum*: Water research, 8(3):179-185.
- Castaing P.R., Assor J.M., Jounneau and Weber O. 1986. Heavy metal origin and concentration in the sediments of the Pointe a Pitre Bay (Guadeloupe-Lesser Antilles); Environmental Geology, 8(4):174-184.
- Elder J.F., 1988. Metal Biogeochemistry in Surface Water System, U.S.G.S. Circular : 1030.
- Everaat J.M., Swennen C., 1987. Heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) in some benthic invertebrate species and in sediment from three coastal areas in Thailand and Malaysia. J. Sci. Soc. Thailand 13:(189-203).
- Funk W.H. and others, 1975. An integrated study on the impact of metallic trace element pollution in the Coeur D'Alen-Spokane Rivers-Lake drainage system: Water Resources Center Completion Report, OWRT, Title II, Project C-4145, WSU, UIO, 332p.

- Mantei E.J. and Foster M.V. 1991. Heavy metals in stream sediments: Effects of Human Activities, *Environmental Geology*, 18(2):95-104.
- Marron D.C., 1987. Floodplain storage of metal contaminated sediments down stream of of a gold mine at Lead, South Dakota. In Averett R.C. and McKnight D.M., eds., *Chemical quality of water and the hydrologic cycle*: Lewis Publishers, Chelsea, Mich. p. 193-209.
- Purves D., 1985. *Trace - Element Contamination of the Environment*. Elsevier(Amsterdam), 243 pp.
- Ramaworthy S. and Rust B.R., 1978. Heavy metal exchange process in sediment water systems. 2(3):165-172.
- Reece D.E., Felky J.R. and Wai C.M., 1978. Heavy metal pollution in the sediments of the Coeur d' Alene River, Idaho. *Environmental Geology*, 2(5):289-293.
- Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M., 1979. Sequential extraction procedure for the separation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* (51(7):844-851.
- Tyler P.A., Buckney R.T., 1973. Pollution of Tasmanian river by mine effluent - chemical evidence: *Internationale Revue Gesamten Hydrobiologie*. 58(6):873-883.