

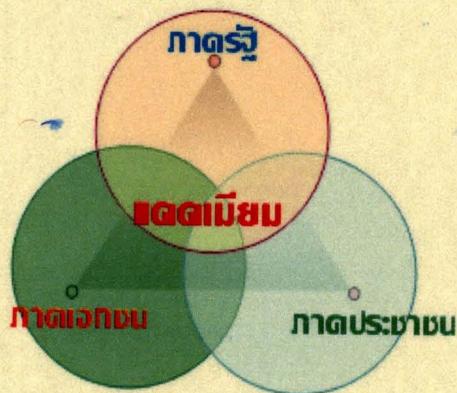


รายงานการวิจัย

ชุดโครงการ

การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน
และภาคประชาชน กรณีศึกษา ลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก

**Remediation of Natural Resources and Environment by
Building Active Participation between the General Public, Industry and
Government: Case Study: Mae Tao River Basin,
Mae Sod District, Tak Province**



ผศ.ดร. อัจฉราพร จำโสภา และคณะ
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

600252798

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

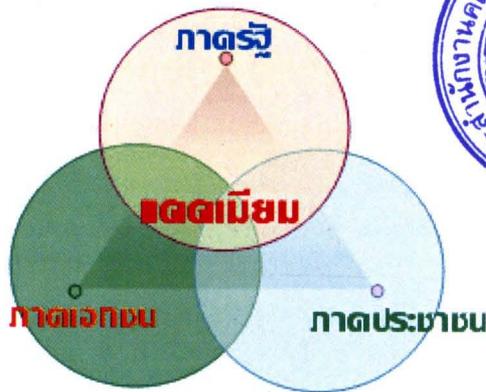


รายงานการวิจัย

ชุดโครงการ

การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน
และภาคประชาชน กรณีศึกษา ลุ่มน้ำแม่ตาบ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

**Remediation of Natural Resources and Environment by
Building Active Participation between the General Public, Industry and
Government: Case Study: Mae Tao River Basin,
Mae Sod District, Tak Province**



ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำโสภา และคณะ
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน กรณีศึกษา กลุ่มน้ำแม่ดาว-แม่กู อำเภอมะสอย จังหวัดตาก ได้รับ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2552 บัดนี้โครงการการวิจัยฯ ได้สำเร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ทางคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนอุดหนุน การวิจัย และให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย ทำให้การ ดำเนินการวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์และถูกต้องตามหลักการวิจัย

ขอขอบคุณคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความ อนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ตั้งของศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสถานที่ทำงาน ของคณะเจ้าหน้าที่และนักวิจัยในโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ในโครงการวิจัยทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมทำให้การ ดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ชื่อโครงการ การฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน กรณีศึกษา กลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

Remediation of natural resources and environment by building active participation between the general public, industry and government. Case study: Mae Tao river basin, Mae Sod district, Tak province, Thailand.

ชื่อคณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำ โสภากู ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1 และ 2
2. ศ.ดร. มาลียา เครือตราชู หัวหน้าโครงการวิจัยย่อยที่ 1
3. ผศ.ดร. สิทธิพงษ์ คิลกวมิช หัวหน้าโครงการวิจัยย่อยที่ 2
4. ผศ.ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1
5. ผศ. เกษม กุลประดิษฐ์ ผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 2
6. รศ.ดร. ประหยัด โภคจิตติคุณต์ ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 จำนวนเงิน 4,100,000.00 (สี่ล้านหนึ่งแสนบาทถ้วน) ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 30 พฤศจิกายน 2552 ถึง 30 พฤศจิกายน 2553

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์

1. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำ โสภากู

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1317 โทรสาร 02-441-9509-10

E-mail: enasp@mahidol.ac.th

2. หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1

ศ.ดร. มาลียา เครือตราชู

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

ถนนพระราม 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 02-201-5483, 02-2015484 โทรสาร 02-354-7166

E-mail: scmkt@mahidol.ac.th

3. หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2

ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ คิลกวนิช

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1229-30, 1218

โทรสาร 02-441-9509-10

E-mail: ensdl@mahidol.ac.th

4. ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1 และ 2

ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำโสภา

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1317 โทรสาร 02-441-9509-10

E-mail: enasp@mahidol.ac.th

5. ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1

ผศ.ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1319 โทรสาร 02-441-9509-10

E-mail: enbrp@mahidol.ac.th

6. ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 2

ผศ.เกษม กุลประดิษฐ์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1216 โทรสาร 02-441-9509-10

E-mail: enkkp@mahidol.ac.th

7. ผู้ร่วมวิจัยโครงการย่อยที่ 1

รศ.ดร.ประหยัด โภคจิตติกต์

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ถนนพระราม 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 02-201-5479, 02-201-5484

โทรสาร 02-354-7166

E-mail: scppg@mahidol.ac.th

โครงการพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อการวางแผนจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาว-แม่กุ มีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมข้อมูลปฐภูมิและทุติยภูมิทางด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ และข้อมูลสิ่งแวดล้อมชุมชนด้านต่างๆ เพิ่มเติมจากโครงการวิจัยในระยะที่ 1 ได้แก่ ข้อมูลด้านทรัพยากรดินและธรณีวิทยา ด้านทรัพยากรน้ำ ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้านเศรษฐกิจและสังคม และด้านสุขภาพ เพื่อนำมาจัดทำระบบฐานข้อมูล และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการวิเคราะห์และวางแผนการใช้พื้นที่ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน.

ผลการศึกษา พบว่า ข้อมูลที่รวบรวมได้มาจากหน่วยงานต่างๆ นั้น มีวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และช่วงเวลาในการศึกษาที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่ต้องการชี้แจงปัญหาและสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ดังนั้น ผลการศึกษาของแต่ละหน่วยงานจึงมีความขัดแย้งกันบ้าง นอกจากนี้ การบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงานก็มีค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ การดำเนินงานของโครงการนี้ จึงนำข้อมูลทุติยภูมิที่เป็นข้อมูลเชิงบรรยายมาจัดทำเป็นระบบฐานข้อมูล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างเป็นระบบ ประกอบกับข้อมูลปฐภูมิ โดยเฉพาะการตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ตะกอนดิน และน้ำ ที่โครงการนี้ได้ศึกษาเพิ่มเติม อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกิดการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง คือ ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ในการพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลร่วมกัน เพื่อให้เข้าใจสถานการณ์ของพื้นที่ ซึ่งนำไปสู่การลดความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้น และนำไปสู่การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแบบบูรณาการอย่างยั่งยืนต่อไป

จากผลการศึกษาข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้านการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ศึกษา ได้ถูกนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้เทคโนโลยีการฟื้นฟูที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเหมาะสมกับพื้นที่ โดยการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและระดับเรือนทดลอง พบว่า การใช้พืชบก พืชน้ำและจุลินทรีย์รวมทั้งวัสดุชีวมวล ทั้งที่เป็นเซลล์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตของสาหร่ายหางกระรอก สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน น้ำและตะกอนดินได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารตรึงโลหะหนัก (soil amendment) ประเภทต่างๆ สามารถลดการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของพืชได้รวมทั้งยังช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ด้วย และกรณีที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีความต้านทานแคดเมียมร่วมกับพืช พบว่าจุลินทรีย์ทั้ง 2 สายพันธุ์คือ *Ralstonia* sp. TAK1 และ *Arthrobacter* sp. TM6 สามารถสร้างสาร Indole-3-acetic acid ได้ นอกจากนี้ แบคทีเรียสองสายพันธุ์นี้ ยังช่วยทำให้แคดเมียมเคลื่อนที่หรือละลายออกมาจากดินได้ด้วย กล่าวโดยสรุปคือ เทคโนโลยีการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยวิธีทางชีวภาพ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ศึกษาได้

ABSTRACT

246840

Development of Database and Geographic Information System for Mae Tao- Mae Ku Watershed Management, Mae Sod District, Tak Province has its prime objective as to collect further primary and secondary data in term of environmental science covering cadmium contamination and five aspects of the environment from the previous project (Phase I) i.e. soil and geology, water resource, land use, local economy and society, and human health. These data will be transformed into database and geographical information system which can be applied for land zoning and other related problems solving with the participation of all stakeholders.

The research results show that collected data from various departments have reflected different aim, objective, and time of studies. Most of them reported situation and problem in the area so that there is some disagreeable result. Moreover, there is little attempt to integrate data of different departments. For this reason, this project systematically transforms secondary data or descriptive data as well as primary data in form of cadmium concentration in soil, sediment, and water into database and geographic information system. Stakeholders including public, private and people sectors are participated in the development of data and information management in order to understand real situation, lessen unexpected conflict, and lead to sustainable management of natural resource and environment.

According to the study of database and geographic information system (GIS) concerned with cadmium contamination in study area, the results were used to apply for consideration of environmental friendly remediation technology that suitable for study area. The study in laboratory and greenhouse level found that selected terrestrial and aquatic plants, cadmium resistant microorganisms, and biosorbents derived from dead cell and living cell of *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle could be used to reduce cadmium in soil, water, and sediment. In addition soil treated with various amendments lead to decrease cadmium accumulation in plants and enhance plant growth. In case of microorganisms, two strains of cadmium resistant exopolymer producing bacteria, *Ralstonia* sp. TAK1 and *Arthrobacter* sp. TM6 can produce Indole-3-acetic acid and enhanced the cadmium mobilization or solubility from soil.

From these results remediation technology that used living organisms and biosorbent can be considered as alternative technique to reduce cadmium in study area.

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ	iii
สารบัญเรื่อง	v
สารบัญตาราง	x
สารบัญรูปภาพ	xv
บทนำ	1
โครงการวิจัยย่อยที่ 1:	
บทคัดย่อ	1-1
บทที่ 1 บทนำ	1-3
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-3
1.2 วัตถุประสงค์	1-11
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1-11
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-11
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	1-14
2.1 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกและขยายพันธุ์พืชในเรือนเพาะชำ	1-14
2.1.1 การคัดเลือกชนิดพืช	1-14
2.1.2 การขยายพันธุ์พืชในเรือนเพาะชำ	1-14
2.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของพืชชนิดต่างๆ ในการลด	1-15
การสะสมแคดเมียมโดยใช้สาร ตรึงโลหะหนัก (soil amendment)	
2.2.1 การทดลองที่ 2.1 ประสิทธิภาพการตรึงแคดเมียมโดยใช้ปุ๋ย	1-15
โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) และปุ๋ยจี้วัว (cow manure) ในดิน โหระพา	
2.2.2 การทดลองที่ 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารตรึง	1-17
โลหะหนักไฮดรอกซีอะพาไทต์และปุ๋ยจี้วัวในดินอีหว่า	
2.2.3 การทดลองที่ 2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารตรึง	1-19
โลหะหนัก (ไดแคลเซียมฟอสเฟต และซีโอไลต์) ในการลดการสะสม Cd ใน	
กลุ่มพืชเศรษฐกิจ	

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
2.3 การทดลองที่ 3 การทดลองบำบัดแคดเมียมในน้ำและตะกอนดินโดยใช้พีชน้ำและพีชในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ไม่ใช่พืชท้องถิ่นในระดับห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง	1-20
2.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับพีชในกระบวนการบำบัดแคดเมียม	1-21
2.5 การทดลองที่ 5 การบำบัดแคดเมียมโดยการใช้ชีวมวลเป็นวัสดุในการดูดซับ (Biosorbents)	1-26
บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	1-28
3.1 การทดลองที่ 1 การคัดเลือกและขยายพันธุ์พีชในเรือนเพาะชำ	1-28
3.1.1 การคัดเลือกและขยายพันธุ์พีชในเรือนเพาะชำของพืชทั้ง 5 กลุ่ม	1-28
3.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของพืชชนิดต่างๆ ในการลดการสะสมแคดเมียมโดยใช้สารตรึงโลหะหนัก (soil amendment)	1-30
3.2.1 การทดลองที่ 2.1 ประสิทธิภาพการตรึงแคดเมียมโดยใช้ปุ๋ยโซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) และปุ๋ยขี้วัว (cow manure) ในต้นโหระพา	1-30
3.2.2 การทดลองที่ 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารตรึงโลหะหนักไฮดรอกซีอะพาไทต์และปุ๋ยขี้วัวในต้นยี่หระ	1-37
3.2.3 การทดลองที่ 2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารตรึงโลหะหนัก (ไดแคลเซียมฟอสเฟต และซีโอไลต์) ในการลดการสะสม Cd ในกลุ่มพืชเศรษฐกิจ	1-46
3.3 การทดลองที่ 3 การทดลองบำบัดแคดเมียมในน้ำและตะกอนดินโดยใช้พีชน้ำและพีชในพื้นที่ชุ่มน้ำที่ไม่ใช่พืชท้องถิ่นในระดับห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง	1-49
3.4 การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับพีชในกระบวนการบำบัดแคดเมียม	1-58
3.4.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสกุลของแบคทีเรียดักแด้แคดเมียมที่คัดแยกได้จากพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม	1-58

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 การเจริญและการสร้าง Exopolymers ของแบคทีเรียด้านทาน แคดเมียมที่ระยะเวลาต่างๆ	1-60
3.4.3 การสร้างสาร Indole-3-acetic acid (IAA) ในแบคทีเรียด้านทาน แคดเมียมที่สร้าง Exopolymers	1-63
3.4.4 ความสามารถของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมที่สร้าง Exopolymers ในการเคลื่อนที่ (Mobilization) แคดเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อน	1-64
3.4.5 ผลของความเป็นพิษของแคดเมียมต่อการเจริญของยี่ห่วยและ หญ้าแฝก	1-67
3.4.6 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมที่สร้าง Exopolymers ต่อการส่งเสริมยี่ห่วยและหญ้าแฝกในการดูดซับแคดเมียมจากดิน ในระดับเรือนทดลอง	1-72
3.5 การทดลองที่ 5 การบำบัดแคดเมียมโดยการใช้ชีวมวลเป็นวัสดุในการ ดูดซับ (Biosorbents)	1-77
3.5.1 การบำบัดแคดเมียมในน้ำโดยใช้วัสดุชีวมวล	1-77
3.5.2 การบำบัดแคดเมียมในตะกอนดินโดยใช้วัสดุชีวมวล	1-78
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	1-81
4.1 สรุปผลโครงการย่อยที่ 1	1-81
4.2 ข้อเสนอแนะโครงการย่อยที่ 1	1-84
โครงการย่อยที่ 2:	
บทคัดย่อ	2-1
บทที่ 1 บทนำ	2-3
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	2-3
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2-4
1.3 ขอบเขตของแผนงานวิจัย	2-4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2-5

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	2-6
2.1 การรวบรวมข้อมูลด้านปฐมภูมิ	2-6
2.1.1 การเก็บตัวอย่างดิน และการวิเคราะห์	2-6
2.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ (ผิวดิน) และการวิเคราะห์	2-9
2.1.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน และการวิเคราะห์	2-11
2.2 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ	2-11
2.3 การจัดทำระบบการจัดการข้อมูล	2-12
2.4 การจัดการประชุม	2-12
2.5 การรายงานผลการศึกษา	2-12
บทที่ 3 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	2-13
3.1 การรวบรวมข้อมูลทั้ง 5 ด้าน และการปรับปรุงระบบฐานข้อมูล	2-13
3.1.1 ข้อมูลด้านทรัพยากรดิน ธรณีวิทยาและการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2-18
3.1.2 ข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และตะกอนดิน	2-28
3.1.3 ข้อมูลด้านสังคมและเศรษฐกิจ	2-42
3.1.4 ข้อมูลด้านผลิต (พืชและสัตว์)	2-46
3.1.5 ข้อมูลด้านสุขภาพ	2-51
3.2 วิเคราะห์ข้อมูล ทางสถิติเพื่อหาลักษณะหรือรูปแบบของการ ปนเปื้อนหรือการแพร่กระจายของแคดเมียมในพื้นที่	2-55
3.2.1 ศึกษาเปรียบเทียบระดับความสัมพันธ์ของปริมาณแคดเมียมแต่ ละคู่ทรัพยากร (ดิน-ตะกอนดิน ตะกอนดิน – น้ำ และน้ำ –ดิน) ในกลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กุ	2-55
3.2.2 การวิเคราะห์รูปแบบการปนเปื้อนและแพร่กระจายแคดเมียม	2-61
3.3 การประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อถ่ายทอดผลการศึกษา และรวบรวม ข้อคิดเห็นจาก ทั้ง 3 ส่วน เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาในพื้นที่ร่วมกัน	2-65
3.2.1 การประชุมภาคประชาชน	2-65
3.2.2 การประชุมหน่วยงานภาครัฐและเอกชนในพื้นที่	2-69
3.2.3 การประชุมกลุ่มนักวิชาการ	2-72

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
3.4 การจัดทำเอกสารสื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นๆ	2-74
3.5 อภิปรายผลการวิจัยโครงการย่อยที่ 2	2-75
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	2-75
4.1 สรุปผลการวิจัย	2-77
4.2 ข้อเสนอแนะ	2-82
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก ฐานข้อมูลสารสนเทศของทุติยภูมิทั้ง 5 ด้าน	
ภาคผนวก ข โครงสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
ภาคผนวก ค รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุม	
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นในดิน น้ำ และตะกอนดิน	

สารบัญตาราง

หน้า

โครงการย่อยที่ 1:

ตารางที่ 1-1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินกลุ่มต่างๆ เมื่อเริ่มการทดลอง	1-31
ตารางที่ 1-2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินกลุ่มต่างๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (3 เดือน)	1-32
ตารางที่ 1-3	ปริมาณแคดเมียมในดินกลุ่มต่างๆ ในระยะเวลาการทดลอง 3 เดือน	1-33
ตารางที่ 1-4	อัตราการรอดและน้ำหนักแห้งของ <i>O. basilicum</i> ที่ปลูกในดินแคดเมียม (20 มก/กก) ที่เติมปุ๋ยชีวัว และปุ๋ยซิติเคดเป็นเวลา 3 เดือน	1-35
ตารางที่ 1-5	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน Cd/Zn และปุ๋ยชีวัวที่ใช้ปลูกต้นยี่หระ (<i>O. gratissimum</i>)	1-38
ตารางที่ 1-6	pH, EC, CEC และปริมาณ total และ extractable Cd และ Zn ในกลุ่มทดลองต่างๆ และกลุ่มควบคุมก่อนการปลูกพืช	1-39
ตารางที่ 1-7	ปริมาณ total และ extractable Cd และ Zn ในดินของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในระยะเวลา 3 เดือน	1-39
ตารางที่ 1-8	การเติบโตของ <i>O. gratissimum</i> ที่ปลูกในดิน Cd/Zn ที่เติมสารตรึงโลหะหนักเป็นเวลา 3 เดือน	1-41
ตารางที่ 1-9	การสะสม Cd และ Zn ใน <i>O. gratissimum</i> ที่ปลูกในดิน Cd/Zn ที่เติมสารตรึงโลหะหนักเป็นเวลา 3 เดือน	1-43
ตารางที่ 1-10	แสดงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่มีการปรับสภาพดิน	1-47
ตารางที่ 1-11	แสดงการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของพืช	1-48
ตารางที่ 1-12	การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในสารละลายแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลา 14 วัน	1-49
ตารางที่ 1-13	ปริมาณแคดเมียมในน้ำและส่วนต่างๆ ของพืชลอยน้ำเมื่อทดลองครบระยะเวลา 14 วัน	1-51
ตารางที่ 1-14	คุณสมบัติของตะกอนดินที่ใช้ในการทดลอง	1-52
ตารางที่ 1-15	การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในตะกอนดินเมื่อครบระยะเวลา 30 วัน	1-53

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 1-16	ปริมาณแคดเมียมในตะกอนดินและส่วนต่างๆของพืช โผล่พื้นน้ำเมื่อทดลองครบระยะเวลา 30 วัน	1-54
ตารางที่ 1-17	คุณสมบัติของตะกอนดินที่เก็บจากพื้นที่ศึกษา	1-56
ตารางที่ 1-18	ประสิทธิภาพการสะสมแคดเมียมของปื๋อปื๋น้ำ	1-56
ตารางที่ 1-19	ปริมาณ Exopolymers ที่สร้างจากแบคทีเรียด้านทานแคดเมียม	1-62
ตารางที่ 1-20	การส่งเสริมการเคลื่อนที่ของแคดเมียมออกจากดินโดยแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมที่สร้าง Exopolymers	1-65
ตารางที่ 1-21	ผลของแคดเมียมในดินต่อความสูงของต้นยี่หระ	1-69
ตารางที่ 1-22	ผลของแคดเมียมในดินต่อความสูงของต้นหญ้าแฝก	1-69
ตารางที่ 1-23	ผลของแคดเมียมในดินต่อการเจริญของยี่หระในรูปน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง	1-70
ตารางที่ 1-24	ผลของแคดเมียมในดินต่อการเจริญของหญ้าแฝกในรูปน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง	1-70
ตารางที่ 1-25	ปริมาณแคดเมียมในดินและส่วนต่างๆ ของต้นยี่หระ	1-73
ตารางที่ 1-26	ปริมาณแคดเมียมในดินและส่วนต่างๆ ของต้นหญ้าแฝก	1-73
ตารางที่ 1-27	Phytoextraction coefficient ของแคดเมียมในยี่หระและหญ้าแฝก	1-74
ตารางที่ 1-28	ค่า Translocation factor (TF) ของแคดเมียมในยี่หระและหญ้าแฝก	1-75
ตารางที่ 1-29	การเจริญเติบโตของต้นยี่หระที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม	1-76
ตารางที่ 1-30	การเจริญเติบโตของต้นหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม	1-76
ตารางที่ 1-31	ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำโดยวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆ	1-77
ตารางที่ 1-32	ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในตะกอนดินโดยวัสดุชีวมวลชนิดต่างๆ	1-78
ตารางที่ 1-33	คุณสมบัติของตะกอนดินที่เติมแคดเมียมกับตะกอนดินจากพื้นที่ศึกษา	1-79
โครงการย่อยที่ 2		
ตารางที่ 2-1	ข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง แบ่งตามประเภทของข้อมูล (รวบรวมถึงเดือนกันยายน 2553)	2-14

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 2-2	ข้อมูลเชิงบรรยายแบ่งตามประเด็นเนื้อหาของการศึกษา (รวบรวมถึงเดือนกันยายน 2553)	2-15
ตารางที่ 2-3	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียม ที่เกี่ยวกับทรัพยากรดิน ธรณีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2-19
ตารางที่ 2-4	เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในดิน ในปี 2550-2551 และ 2553	2-21
ตารางที่ 2-5	ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยา ปฐพีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2-27
ตารางที่ 2-6	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียม ที่เกี่ยวกับทรัพยากรน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน	2-29
ตารางที่ 2-7	เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในน้ำผิวดิน ในปี 2550-2551 และ 2553	2-31
ตารางที่ 2-8	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียม ที่เกี่ยวกับตะกอนดิน	2-33
ตารางที่ 2-9	เปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในตะกอนดิน ในปี 2550-2551 และ 2553	2-35
ตารางที่ 2-10	ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และตะกอนดิน	2-40
ตารางที่ 2-11	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียม ที่เกี่ยวกับด้านสังคมและเศรษฐกิจ	2-43
ตารางที่ 2-12	ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องเศรษฐกิจและสังคม	2-44
ตารางที่ 2-13	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมใน ด้านการผลิต (พืชและสัตว์)	2-47
ตารางที่ 2-14	ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับด้านการผลิต (พืชและสัตว์)	2-50
ตารางที่ 2-15	ข้อมูลทัศนคติที่เกี่ยวกับการศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมใน ด้านสุขภาพ	2-52
ตารางที่ 2-16	ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องด้านสุขภาพ	2-54
ตารางที่ 2-17	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ สหสัมพันธ์เพียร์สัน โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 15	2-57

สารบัญรูปภาพ

หน้า

โครงการย่อยที่ 1: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมในการบำบัดแคดเมียมในลุ่มน้ำแม่ตาจ จังหวัดตาก

รูปที่ 1-1	เทคโนโลยี phytoextraction และ phytostabilization	1-6
รูปที่ 1-2	การขยายพันธุ์ต้นโหระพาและต้นยี่ห่วย	1-28
รูปที่ 1-3	การขยายพันธุ์ต้นอ้อย	1-28
รูปที่ 1-4	การขยายพันธุ์ต้นหญ้าแฝก	1-29
รูปที่ 1-5	การเพาะกล้าไม้ต้นยูคา	1-29
รูปที่ 1-6	การเพาะกล้าไม้ต้นกระถินเทพา	1-30
รูปที่ 1-7	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (A) และที่สกัดได้ (B) ของดินกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองต่างๆ ในระยะเวลา 3 เดือน	1-34
รูปที่ 1-8	แสดงน้ำหนักแห้งของ <i>O. basilicum</i> ที่ปลูกในดินแคดเมียม (20 มก/กก) ที่เติมปุ๋ยจี้วัว และปุ๋ยซัลเฟตเป็นเวลา 3 เดือน	1-36
รูปที่ 1-9	ลักษณะภายนอกของพืชในกลุ่มทดลอง (ซ้าย) และกลุ่มควบคุม (ขวา)	1-50
รูปที่ 1-10	ลักษณะภายนอกของพืชในกลุ่มทดลอง (ซ้าย) และกลุ่มควบคุม (ขวา)	1-53
รูปที่ 1-11	การทดลองประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดแคดเมียมในตะกอนดิน	1-60
รูปที่ 1-12	ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง LB	1-58
รูปที่ 1-13	การเจริญของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว LB	1-61
รูปที่ 1-14	การสร้าง Exopolymers ของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมที่ระยะเวลาต่างๆ ในการเจริญ	1-62
รูปที่ 1-15	กราฟมาตรฐานสาร IAA	1-64
รูปที่ 1-16	กระบวนการเคลื่อนที่แคดเมียมออกจากอนุภาคดินโดย Exopolymers	1-66
รูปที่ 1-17	ต้นกล้ายี่ห่วยและหญ้าแฝกที่นำมาใช้ในการทดลอง	1-67
รูปที่ 1-18	การปลูกยี่ห่วยในดินที่มีแคดเมียมและไม่มีแคดเมียมในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	1-68

สารบัญรูปลภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-19	การปลูกหญ้าแฝกในดินที่มีแคะเมียมและไม่มีแคะเมียมในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	1-68
	โครงการวิจัยย่อยที่ 2: การพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวางแผนการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู จังหวัดตาก	
รูปที่ 2-1	การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณ ห้วยแม่ตา	2-7
รูปที่ 2-2	การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณ ห้วยแม่กู	2-7
รูปที่ 2-3	แสดงตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน	2-8
รูปที่ 2-4	การสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำ ฤดูแล้ง	2-9
รูปที่ 2-5	การสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำ ฤดูฝน	2-9
รูปที่ 2-6	แสดงตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ (ผิวดิน) และตะกอนดิน	2-10
รูปที่ 2-7	การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	2-11
รูปที่ 2-8	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2550-2551 (ฤดูแล้ง) กับการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2550	2-23
รูปที่ 2-9	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2553 (ฤดูแล้ง) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-24
รูปที่ 2-10	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2553 (ฤดูฝน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-25
รูปที่ 2-11	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2550-2551 (ฤดูแล้ง) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550	2-36
รูปที่ 2-12	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2553 (ฤดูแล้ง) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-37
รูปที่ 2-13	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2553 (ฤดูฝน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-38
รูปที่ 2-14	การนำเข้าข้อมูลทศนิยมของแต่ละคู่ทรัพยากร โดยใช้โปรแกรม Arcview 3.3	2-56
รูปที่ 2-15	แผนที่แสดงการชะล้างพังทลายของดินพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู	2-62
รูปที่ 2-16	แผนที่แสดงปริมาณแคะเมียมในดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู	2-63

สารบัญรูปร่างภาพ

หน้า

โครงการย่อยที่ 1: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมในการบำบัดแคดเมียมในลุ่มน้ำแม่ตาบ จังหวัดตาก

รูปที่ 1-1	เทคโนโลยี phytoextraction และ phytostabilization	1-6
รูปที่ 1-2	การขยายพันธุ์ต้นโหระพาและต้นยี่หระ	1-28
รูปที่ 1-3	การขยายพันธุ์ต้นอ้อย	1-28
รูปที่ 1-4	การขยายพันธุ์ต้นหญ้าแฝก	1-29
รูปที่ 1-5	การเพาะกล้าไม้ต้นยูคา	1-29
รูปที่ 1-6	การเพาะกล้าไม้ต้นกระถินเทพา	1-30
รูปที่ 1-7	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (A) และที่สกัดได้ (B) ของดินกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองต่างๆ ในระยะเวลา 3 เดือน	1-34
รูปที่ 1-8	แสดงน้ำหนักแห้งของ <i>O. basilicum</i> ที่ปลูกในดินแคดเมียม(20 มก/กก) ที่เติมปุ๋ยชีวัว และปุ๋ยซัลเฟตเป็นเวลา 3 เดือน	1-36
รูปที่ 1-9	ลักษณะภายนอกของพืชในกลุ่มทดลอง (ซ้าย) และกลุ่มควบคุม(ขวา)	1-50
รูปที่ 1-10	ลักษณะภายนอกของพืชในกลุ่มทดลอง (ซ้าย) และกลุ่มควบคุม (ขวา)	1-53
รูปที่ 1-11	การทดลองประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดแคดเมียมในตะกอนดิน	1-60
รูปที่ 1-12	ลักษณะ โคลินีของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง LB	1-58
รูปที่ 1-13	การเจริญของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว LB	1-61
รูปที่ 1-14	การสร้าง Exopolymers ของแบคทีเรียด้านทานแคดเมียมที่ระยะเวลาต่างๆ ในการเจริญ	1-62
รูปที่ 1-15	กราฟมาตรฐานสาร IAA	1-64
รูปที่ 1-16	กระบวนการเคลื่อนที่แคดเมียมออกมาจากอนุภาคดินโดย Exopolymers	1-66
รูปที่ 1-17	ต้นกล้วยยี่หระและหญ้าแฝกที่นำมาใช้ในการทดลอง	1-67
รูปที่ 1-18	การปลูกยี่หระในดินที่มีแคดเมียมและไม่มีแคดเมียมในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	1-68

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 1-19	การปลูกหญ้าแฝกในดินที่มีแคะเมียมและไม่มีแคะเมียมในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	1-68
	โครงการวิจัยย่อยที่ 2: การพัฒนาระบบการจัดการข้อมูลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการวางแผนการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู จังหวัดตาก	
รูปที่ 2-1	การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณ ห้วยแม่ตา	2-7
รูปที่ 2-2	การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณ ห้วยแม่กู	2-7
รูปที่ 2-3	แสดงตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน	2-8
รูปที่ 2-4	การสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำ ฤดูร้อน	2-9
รูปที่ 2-5	การสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำ ฤดูฝน	2-9
รูปที่ 2-6	แสดงตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ (ผิวดิน) และตะกอนดิน	2-10
รูปที่ 2-7	การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	2-11
รูปที่ 2-8	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2550-2551 (ฤดูร้อน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2550	2-23
รูปที่ 2-9	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2553 (ฤดูร้อน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-24
รูปที่ 2-10	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในดินปี 2553 (ฤดูฝน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-25
รูปที่ 2-11	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2550-2551 (ฤดูร้อน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2550	2-36
รูปที่ 2-12	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2553 (ฤดูร้อน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-37
รูปที่ 2-13	แผนที่แสดงการปนเปื้อนของแคะเมียมในตะกอนดินปี 2553 (ฤดูฝน) กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2552	2-38
รูปที่ 2-14	การนำเข้าข้อมูลหตุยภูมิของแต่ละคู่ทรัพยากร โดยใช้โปรแกรม Arcview 3.3	2-56
รูปที่ 2-15	แผนที่แสดงการชะล้างพังทลายของดินพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู	2-62
รูปที่ 2-16	แผนที่แสดงปริมาณแคะเมียมในดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตา-แม่กู	2-63

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 2-17	แผนที่แสดงระดับการปนเปื้อนแคดเมียมในการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ ลุ่มน้ำแม่ดาว-แม่กุ	2-64
รูปที่ 2-18	แผนที่แสดงผลตรวจระดับแคดเมียมจำแนกตามรายหมู่บ้าน พ.ศ 2547 บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาว-แม่กุ	2-65
รูปที่ 2-19	การประชุมกลุ่มภาคประชาชน	2-66
รูปที่ 2-20	การแบ่งกลุ่มย่อยการประชุมภาคประชาชนเพื่อ จัดทำZoning เบื้องต้น ร่วมกัน	2-68
รูปที่ 2-21	แสดงการจัดทำโซนนิ่งของภาคประชาชน โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม	2-69
รูปที่ 2-22	การประชุมหน่วยงานภาครัฐและเอกชนในพื้นที่	2-70
รูปที่ 2-23	แสดงการจัดทำโซนนิ่งเบื้องต้น โดยกลุ่มภาครัฐและเอกชนในพื้นที่	2-71
รูปที่ 2-24	การประชุมนักวิชาการ หน่วยงานส่วนกลางรวมถึงสถาบันการศึกษา	2-72