บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

5.1.1.1 ขนาดอนุภาคของดิน

ขนาดอนุภาคของดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียวมีค่าเฉลี่ย 40.3±26.2, 32.9±17.2 และ 26.8±14.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่ในดินพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นดินทรายกระจายอยู่มากที่สุด เมื่อพิจารณาตามประเภทเนื้อดินพบว่าส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) คือ มีส่วนผสมของดินทรายมากกว่าดินชนิดอื่น รองลงมาเป็นดินเนื้อกลาง (medium-textured soils) ดินร่วน (Loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay Loam) ที่เหลือเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay), ดินเหนียว (Clay), ดินร่วนเหนียว (Clay Loam), ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam), ดินทรายร่วน (Loamy Sand), ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam), ดินทราย (Sand) และทรายแป้ง (Silt) ตามลำดับ

ขนาดอนุภาคของดินมีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรม พบว่า พื้นที่ปลูกข้าว (Pad) นากุ้ง (Shr) ส่วนใหญ่จะทำในบริเวณที่มีขนาดอนุภาคละเอียด ส่วนพื้นที่สวนผสม (Mix) สวนยางพารา (Rub) สวนปาล์ม (Pal) ที่ต้องการการระบายน้ำในดินที่ดีพอสมควร จะพบว่ามีดินอนุภาคหยาบกระจายอยู่ในพื้นที่ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาตามลักษณะของธรณีสัณฐานของดิน (Landform) จะเห็นว่าขนาดอนุภาคของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุต้นกำเนิดดิน โดยเฉพาะดินทราย และดินทรายแป้ง พบว่าบริเวณที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (ES) เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณอนุภาคดินทรายมากที่สุด และที่ราบตะกอนทะเลสาบ (LP) มีปริมาณดินทรายแป้งสูง นอกจากนี้พบว่าที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง (FF) มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ที่พบว่า ขนาดอนุภาคดินทราย (Sand) ขนาดอนุภาคดินเหนียว (Clay) มีอิทธิพลต่อลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ และขนาดอนุภาคของดินทราย ดินทรายแป้ง มีการเปลี่ยนแปลงตามธรณีสัณฐานของดิน ($P < 0.05$)

5.1.1.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน

ค่า pH ของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าเฉลี่ย 5.3± 0.7 โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกลาง บริเวณที่มีค่าเป็นกรดสูงได้แก่ ตอนบนและตอนกลางของพื้นที่ทะเลสาบสงขลา และลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีผลต่อค่า pH ของดินในพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีค่า pH สูงสุดคือ พื้นที่นากุ้ง (Shr) ส่วนพื้นที่ป่าไม้ (For) มีค่า pH ต่ำสุด ดังนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอาจจะส่งผลถึงคุณสมบัติทางเคมีในดิน ทำให้ ค่า pH ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้ พบว่า ค่า pH ของดินตามธรณีสัณฐาน (Landform) มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ซึ่งพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินมีอิทธิพลต่อค่า pH ของดินในพื้นที่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.1.1.3 อินทรียวัตถุของดิน

อินทรียวัตถุในดิน มีค่าเฉลี่ย 1.4± 0.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ บริเวณที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงคือ บริเวณตอนบน ตอนกลางทั้งทางด้านฝั่งตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยพื้นที่นาข้าว (Pad) มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด และพื้นที่ป่าไม้ (For) มีปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในพื้นที่รองลงมา ส่วนพื้นที่สวนปาล์ม (Pal) มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยที่สุด โดยพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่จะมีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างต่ำ อาจเกิดจากการทำกิจกรรมทางการเกษตรที่มีส่วนในการลดปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ยกเว้นพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุจากซากตอซัง นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ธรณีสัณฐานของดินแบบที่ราบตะกอนทะเลสาบ (LP) มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง และบริเวณธรณีสัณฐานของดินแบบบริเวณที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (ES) จะมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำสุด จากการศึกษาอิทธิพลของอินทรียวัตถุกับธรณีสัณฐานของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้สถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ($P < 0.05$) พบว่าปัจจัยทั้งสองไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณอินทรียวัตถุในพื้นที่

5.1.2 ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

5.1.2.1 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ย 20.0±37.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างสูง คือ พื้นที่บริเวณรอบทะเลสาบตอนบน

และ บางส่วนของ อ.บางกล่ำ ที่ติดกับทะเลสาบสงขลาตอนล่าง และกระจายอยู่บางจุดของ อ.หาดใหญ่ อ.นาหม่อม และ อ.สะเดา โดยปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use) เช่น พื้นที่สวนปาล์ม (Pal) และนากุ้ง (Shr) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างสูง อาจมาจากการใส่ปุ๋ย เพื่อปรับปรุงดินในการทำเกษตรกรรมในพื้นที่ และกระบวนใส่ปุ๋ยเพื่อปรับน้ำในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ พบว่าพื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ (Other) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุด และธรณีสัณฐานของดินแบบที่ราบตะกอนทะเลสาบ (LP) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด ส่วนธรณีสัณฐานของดินแบบลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ (LT) มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุด และผลการศึกษาโดยใช้สถิติแบบ TWO Factorial ANOVA พบว่า ธรณีสัณฐานของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีอิทธิพลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินในพื้นที่ ($P < 0.05$)

5.1.2.2 ไนเทรต-ไนโตรเจนของดิน

ไนเทรต-ไนโตรเจนในดินมีค่าเฉลี่ย 2.4±4.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ บริเวณที่มีความเข้มข้นของไนเทรต-ไนโตรเจนสูง คือ บริเวณตอนกลางของทะเลสาบสงขลา โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของไนเทรต-ไนโตรเจนมากที่สุด คือ นาข้าว (Pad) และพื้นที่สวนปาล์ม (Pal) มีปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนในดินต่ำที่สุด นอกจากนี้ พบว่า ธรณีสัณฐานของดินที่มีปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนสูงที่สุดคือ ที่ราบตะกอนทะเลสาบ (LP) และมีการกระจายตัวสูง ทั้งนี้ ปริมาณฟอสฟอรัสในดินตามธรณีสัณฐานของดินมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในธรณีสัณฐานของดิน และจากการศึกษาพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินและธรณีสัณฐานของดินมีอิทธิพลต่อปริมาณของไนเทรต-ไนโตรเจนของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้สถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ($P < 0.05$)

5.1.2.3 แอมโมเนีย-ไนโตรเจนของดิน

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในดินมีค่าเฉลี่ย 32.7±38.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยพบว่าตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงกว่าบริเวณอื่น การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบป่าไม้ (For) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมา คือ สวนผสม (Mix) นาข้าว (Pad) และสวนยางพารา (Rub) ตามลำดับ โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในพื้นที่เกษตรกรรมดังกล่าวเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการใส่ปุ๋ยในพื้นที่ นอกจากนี้การศึกษาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนตามธรณีสัณฐานของดิน พบว่า ลานตะพักลำน้ำ

ระดับต่ำ (LT) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงที่สุด และบริเวณที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (ES) มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำที่สุด และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดอนุภาค ดังนั้น การใช้ประโยชน์ที่ดินและธรณีสัณฐานของดินจึงมีอิทธิพลต่อปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของดินในพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ($P < 0.05$)

5.1.2.4 อนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดของดิน

อนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 35.1±39.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีการแพร่กระจายใกล้เคียงกับการแพร่กระจายของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำมีปริมาณของอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าบริเวณอื่น การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบป่าไม้ (For) มีปริมาณเฉลี่ยอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด และสวนปาล์ม (Pal) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำที่สุด การศึกษาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดตามธรณีสัณฐานของดิน พบว่าที่ราบตะกอนทะเลสาบ (LP) มีปริมาณเฉลี่ยของอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด นอกจากนี้ พบว่า ปริมาณอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมดในดินจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และขนาดอนุภาคของดิน โดยดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีปริมาณอินทรียวัตถุ และมีปริมาณอนินทรียไนโตรเจนค่อนข้างสูง และการใช้ประโยชน์ที่ดินและธรณีสัณฐานของดินมีอิทธิพลต่อปริมาณอนินทรียไนโตรเจนของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสถิติแบบ TWO Factorial ANOVA ($P < 0.05$)

5.1.2 ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพและเคมี

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติโดยใช้สถิติแบบ Correlation coefficients พบว่า ค่า pH จะแปรผกผันกับปริมาณอินทรียวัตถุ ($P < 0.01$) และแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ดินทรายแป้ง ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ($P < 0.01$) และพบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของดินขนาดเล็ก ($P < 0.01$) และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน และปริมาณอนินทรียไนโตรเจนทั้งหมด ($P < 0.05$)

5.1.3 พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบ

5.1.3.1 พื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจน

การศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพของการชะพาไนโตรเจนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า พื้นที่ที่มีศักยภาพชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสูงมากมีพื้นที่ประมาณ 87.8 ตร.กม. พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่ทะเลสาบสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก มีพื้นที่ประมาณ 1,520.9, 2,460.2, 2,731.3 และ 227.7 ตร.กม. ตามลำดับ ทั้งนี้ ศักยภาพการชะพาไนโตรเจนในพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางจนถึงต่ำ และพบว่า พื้นที่ที่มีการชะพาสูงอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำติดกับทะเลน้อยและทางตอนล่างของพื้นที่ติดกับทะเลสาบตอนล่าง

การศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสูงมากมีพื้นที่ประมาณ 96.8 ตร.กม. พื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาฟอสฟอรัสลงสู่ทะเลสาบสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก มีพื้นที่ประมาณ 1,233.1, 4,293.9, 1,382.4 และ 21.7 ตร.กม. ตามลำดับ ทั้งนี้ พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีศักยภาพการชะพาของฟอสฟอรัสอยู่ในระดับปานกลางเป็นส่วนใหญ่ และพื้นที่ที่มีศักยภาพการชะพาสูงอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำติดกับทะเลน้อย และทางตอนล่างของพื้นที่ติดกับทะเลสาบตอนล่าง คล้ายคลึงกับศักยภาพการชะพาไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินและธรณีสัณฐานของดินมีอิทธิพลต่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของดินในพื้นที่ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย มีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติบางประการของดินเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เกิดการชะพาธาตุอาหารจากดินลงสู่แหล่งน้ำ และแม้ว่าผลการศึกษาจะพบว่าศักยภาพของการชะพาธาตุอาหารอยู่ในระดับปานกลางจนถึงต่ำ แต่การศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นได้ว่าการแพร่กระจายของธาตุอาหารในดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีลักษณะคล้ายคลึงกับการแพร่กระจายของธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะ, 2548 ก) และการ

แพร่กระจายของธาตุอาหารในตะกอน (ยุทธนา บัวแก้ว, 2548 และ วิเชียร จาฏุพจน์ และคณะ, 2537) ดังนั้นเป็นไปได้ว่าปริมาณธาตุอาหารในทะเลสาบสงขลาบางส่วนอาจจะถูกชะพาจากพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษแบบไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่นอน (Non-point sources) ซึ่งยังขาดการดูแลเอาใจใส่อย่างจริงจังทั้งในส่วนภาครัฐและเกษตรกรเอง นอกจากนี้บริเวณทะเลสาบตอนบนและตอนล่าง มีการแพร่กระจายของปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างสูง ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดินจึงเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสู่การจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ

ดังนั้น สิ่งที่น่าสนใจศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง คือ

5.2.1 การศึกษาศักยภาพการเกิดการชะพาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่

การศึกษาศักยภาพการเกิดการชะพาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในการศึกษานี้ เป็นเพียงการประเมินภาพรวมเบื้องต้นโดยผู้ศึกษาเองร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาศักยภาพการชะพาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพื้นที่ ทั้งนี้ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรจะต้องมีการให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (Weight of factor) โดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ผลการศึกษา หรือผลการประเมินมีความสมบูรณ์มากขึ้น

5.2.2 การศึกษาโดยใช้โมเดลคณิตศาสตร์ (Non-point source pollution model: NSP Model)

แม้ว่าผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารในดินต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลายังไม่ปรากฏมากนัก แต่จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอาจส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่นั้นๆ แตกต่างกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงเนื่องจากการเกิดกษัยการของดิน การสูญเสียจากน้ำไหลบ่าหน้าดิน และการถูกชะละลาย ดังนั้น น่าจะมีการนำโมเดลคณิตศาสตร์ (Non-point source pollution model: NSP Model) (Leon, *et al*. 2000) มาใช้ในการศึกษา เพื่อให้สามารถคาดการณ์ปริมาณมลสารที่ลงสู่แหล่งน้ำ และนำไปสู่การจัดการทรัพยากรดินและน้ำอย่างเป็นระบบ

5.2.3 การศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในพื้นที่

เนื่องจากในการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อปริมาณธาตุอาหารในดินแตกต่างกันด้วย ดังนั้น ควรมีการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่นั้นๆ เพื่อนำไปสู่การจัดการพื้นที่อย่างเหมาะสม และช่วยลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้