บทที่ 6
บทสรุป ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการซึมของความชื้นผ่านตัวกลางพรุนแบบอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวภายใต้สถานะไม่คงตัวในสองมิติของสมการริชาร์ดซึ่งอยู่ในรูปแบบมาตรฐานของหัวน้ำ จากการเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมสามจุดต่อซึ่งสะดวกต่อการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้สามารถนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี เช่นในปัญหาการซึมในพระสถูปเจดีย์

ในการวิเคราะห์ปัญหาวิศวกรรมใดๆ สิ่งหนึ่งที่จำเป็นต้องทราบคือสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายปรากฏการณ์ของปัญหานั้น ซึ่งในบทที่ 2 ได้แสดงการประดิษฐ์สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับปัญหาการซึมของความชื้นในสองมิติซึ่งประกอบไปด้วยสมการเชิงอนุรักษ์มวลและสมการจากกฎของดาร์ซี ต่อมาในบทที่ 3 ได้อธิบายถึงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการซึมของความชื้นในสองมิติ รวมถึงวิธีการสร้างความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเพื่อแก้ปัญหาการซึมของความชื้นในสองมิติภายใต้สถานะไม่คงตัว และวิธีการแก้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการซึมของความชื้นซึ่งเป็นระบบสมการแบบไม่เชิงเส้น ในช่วงท้ายของบทที่ 3 ยังได้เพิ่มในส่วนของการวิเคราะห์ปัญหาการซึมในโดเมนสามมิติที่มีความสมมาตรของรูปร่างรอบแกน ซึ่งถูกจำลองให้สะดวกในพิกัดทรงกระบอก โดยที่คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุพรุนนั้นไม่ขึ้นกับมุม θ ซึ่งทำให้หัวน้ำเป็นฟังก์ชันของ r และ z เท่านั้น ดังนั้นโดเมนสามมิติจึงถูกนำเสนอด้วยเอลิเมนต์ที่หมุนเป็นวงรอบแกนสมมาตร และทำให้สามารถที่จะวิเคราะห์ในลักษณะปัญหาสองมิติ

ระบบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในบทที่ 3 นี้ สามารถนำมาประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ปัญหาการซึมของความชื้นได้ โดยรายละเอียดของโปรแกรม ขั้นตอนการทำงาน รวมทั้งลักษณะของไฟล์ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการซึมได้ถูกแสดงไว้ในบทที่ 4 และในบทที่ 5 ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยนำโปรแกรมดังกล่าวไปใช้วิเคราะห์ปัญหาการซึมของความชื้นที่มีผลเฉลยเปรียบเทียบ ซึ่งอาจเป็นผลเฉลยแม่นตรง ผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ ผลการทดลอง หรือผลการคำนวณ เพื่อ

เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น จากการเปรียบเทียบได้ผลสรุปว่าการใช้กริดที่มีความละเอียดเพื่อที่จะจับแนวความชื้นที่มีความเปลี่ยนแปลงสูงอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังใช้ช่วงเวลาขนาดเล็กเพื่อป้องกันความไม่เสถียรของผลเฉลย ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำช่วยยืนยันถึงประสิทธิภาพของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นซึ่งนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

6.2 ปัญหาที่พบในขณะทำวิทยานิพนธ์

ปัญหาที่พบในขณะทำวิทยานิพนธ์ได้แก่ การศึกษาและทำความเข้าใจทฤษฎีของวัสดุพรุน การจัดการความไม่เชิงเส้นของระบบสมการ รวมถึงขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเพื่อแก้ปัญหาการซึมของความชื้นในสองมิติภายใต้สถานะไม่คงตัว เนื่องจากขั้นตอนดังกล่าวมีความซับซ้อนและเป็นส่วนสำคัญในการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ปัญหาที่สำคัญอีกปัญหาหนึ่งคือการแก้ระบบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากระบบสมการที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นระบบสมการแบบไม่เชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาการซึมของความชื้นที่มีขนาดใหญ่นั้นจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลของระบบสมการที่ประดิษฐ์ขึ้นจำนวนมาก รวมทั้งเวลาในการแก้ระบบสมการด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาภายใต้สถานะไม่คงตัวยิ่งทำให้จำเป็นต้องใช้เวลาและหน่วยความจำมากยิ่งขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยในอนาคตนั้นสามารถนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้เป็นต้นแบบ โดยอาจนำวิธีแก้ระบบสมการแบบอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นมาใช้แก้ระบบสมการภายใต้สถานะไม่คงตัว หรืออาจนำวิธีการคำนวณแบบแยกกัน (split method) มาใช้ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนสมการที่จำเป็นต้องคำนวณลงได้ นอกจากนั้นอาจเพิ่มสมการเชิงอนุพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น สมการเชิงอนุรักษ์พลังงาน (energy equation) เพื่อทำให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีสถานะที่ใกล้เคียงกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริง หรือเพิ่มสมการการส่งผ่านของมลภาวะ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของมลภาวะชนิดต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับความชื้น ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายในโบราณวัตถุและโบราณสถานต่างๆ