สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเจริญเติบโตของเศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้ภาคการผลิตมีการขยายการผลิตและปริมาณการผลิต ทั้งในด้านอุตสาหกรรม และด้านเกษตรกรรม ความต้องการใช้น้ำจึงมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินที่สามารถนำมาใช้ได้มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติและมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคจึงเริ่มมีบทบาทและความสำคัญในการตอบสนองความต้องการใช้น้ำมากขึ้น แต่ในช่วงระยะหลังได้มีการนำน้ำใต้ดินมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความหวั่นวิตกถึงผลกระทบที่จะเกิดกับปริมาณและคุณภาพของน้ำใต้ดิน การศึกษาและทำความเข้าใจถึงสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน จะช่วยให้สามารถวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น การประเมินศักยภาพของน้ำใต้ดิน การหาปริมาณการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน การเคลื่อนตัวของน้ำเค็มบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับน้ำใต้ดินได้ทำการแบ่งชั้นน้ำใต้ดินตามลักษณะของปริมาณน้ำในช่องว่างของเม็ดดินโดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้นใหญ่ พิจารณาตามปริมาณของน้ำในดิน คือ ชั้นน้ำไม่อิ่มตัว (Unsaturated zone) จะมีปริมาณน้ำไม่เต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และชั้นน้ำอิ่มตัว (Saturated zone) ซึ่งจะมีปริมาณน้ำเต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินอยู่ตลอดเวลา โดยชั้นน้ำไม่อิ่มตัวเป็นชั้นที่มีความสำคัญต่อการทำการเกษตรมาก เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ใกล้ผิวดิน และเป็นช่วงความลึกที่เกษตรกรมีศักยภาพในการสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการสูบมากนัก

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการให้ความสำคัญกับการเคลื่อนตัวของน้ำในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วยให้ทราบลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำชัดเจนมากขึ้นทั้งในด้านปริมาณการเติมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน และนอกจากนี้ชั้นน้ำไม่อิ่มตัวยังเป็นชั้นที่มีโอกาสในการปนเปื้อนได้ง่าย ลักษณะของชั้นน้ำไม่อิ่มตัวจะมีปริมาณน้ำและอากาศปนกันอยู่ในช่องว่างของเม็ดดิน ซึ่งสภาพการไหลของน้ำในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความพรุนของดิน ขนาดคละของดิน ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน เป็นต้น ดังนั้นในศึกษาโดยจำลองลักษณะทางกายภาพของชั้นน้ำไม่อิ่มตัวให้เหมือนกับสภาพความเป็นจริงจึงเป็นไปได้ยาก จึงได้มีการพัฒนาทฤษฎีการไหลโดยใช้สมการทาง

คณิตศาสตร์มาช่วยอธิบายพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของน้ำ แต่เนื่องจากในการคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มีค่าพารามิเตอร์มากมายที่ใช้ จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทำให้ในการศึกษาต้องใช้เวลาในการหาค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการคำนวณเป็นเวลานานและมีค่าใช้จ่ายในการศึกษาสูง

ในการศึกษาสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวนี้ ได้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์และแบบจำลองกายภาพในการศึกษาเปรียบเทียบในสภาพการไหลคงที่ควบคู่กัน โดยการสร้างแบบจำลองกายภาพจำลองสภาพการไหลในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ และทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำจากพฤติกรรมการเติมน้ำแบบต่าง ๆ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาคำนวณสภาพการไหลของน้ำควบคู่ไปด้วยและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อนำไปประเมินและศึกษาลักษณะของการเคลื่อนตัวของน้ำในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวของภาคสนามในสภาพการไหลไม่คงที่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำในสภาพการเติมน้ำแบบต่าง ๆ
2. หารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวของดินประเภทต่าง ๆ
3. พัฒนาการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว โดยการสร้างแบบจำลองทางกายภาพ จำเป็นที่จะต้องจำลองลักษณะสภาพของชั้นดินขึ้นมา ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปได้ยากในการจำลอง เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของดินในแต่ละพื้นที่และในแต่ละระดับความลึกมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษานี้ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการศึกษา เพื่อให้การศึกษาวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ในขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. การจำแนกชนิดของดินใช้วิธีการจำแนกระบบ Unified Soil Classification ซึ่งชนิดของดินที่ใช้ในการศึกษาทำการทดลองจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ SW(Sand well grade), SP(Sand poorly grade), CL(Clay low liquid limit), CH(Clay high liquid limit), ML(Mo low liquid limit) และ MH (Mo high liquid limit)

2. คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่จะวัดคือ กราฟความสัมพันธ์ดินและน้ำ (Soil-water characteristic curve) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ (Hydraulic conductivity; K) ซึ่งได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3. ขนาดของแบบจำลองกายภาพมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 20 เซนติเมตร และมีขนาดความสูง 60 เซนติเมตร กำหนดโดยการคำนวณจากค่าอัตราการซึมน้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

4. การศึกษาพิจารณาเฉพาะทิศทางการไหลในแนวดิ่งลง

5. การทดลองได้ศึกษาในสภาพการเติมน้ำกรณีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ อัตราการเติมน้ำคงที่ และเติมน้ำโดยมีระดับน้ำใต้ดิน

6. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นคือ HYDRUS-1D (version 3.0)

1.4 การศึกษาที่ผ่านมา

การศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในระยะหลังได้ให้ความสนใจกับการไหลผ่านในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวมากขึ้นและได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยในการศึกษาต่าง ๆ ได้มีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ในการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาได้จำแนกตามเนื้อหาของลักษณะการเตรียมการทดลอง คือทำการศึกษาในด้านคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน และด้านการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน

1.4.1 ด้านคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน

การพัฒนาแบบจำลองทางกายภาพในการศึกษาสภาพการไหลของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะทำการพัฒนาแบบจำลองโดยพิจารณาถึงคุณสมบัติของดิน เช่น ค่าความพรุนของดิน ค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน ค่าสัมประสิทธ์ความซึมน้ำของดิน เป็นต้น โดยส่วนมากการพัฒนาแบบจำลองกายภาพเพื่อหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินมักทำควบคู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินและพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ในการศึกษาหาค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ต่าง ๆ

Hillen (1980) สรุปว่าค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดิน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับสมบัติของทั้งดินและน้ำร่วมกัน สมบัติของดินซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลซึมของน้ำ คือ ความพรุนรวม การกระจายของขนาดของช่องว่าง และรูปทรงของช่องว่างของ

ดิน ลักษณะของการไหล ซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลซึมของน้ำ คือ ความหนาแน่นและความหนืด (Viscosity) ของน้ำ

Horn (1990) ได้เสนอแนะว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินตามกฎของ Darcy จะขึ้นอยู่กับค่า Potential ของน้ำ เนื้อดิน และโครงสร้างของดิน ดินภายใต้สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินอยู่ระหว่าง 10^{-9} และ 10^{-4} ซม./วินาที สำหรับดินเหนียวและดินทราย ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินยังขึ้นอยู่กับปริมาตรและความต่อเนื่องของช่องว่างภายในดินอีกด้วย

Boeker และ van Grandelle (1995) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อดินที่แตกต่างกันด้วย

Murray D. F., Ward W. G., และ Delwyn G. F. (1998) ได้ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลของคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของดินในชั้นไม่อิ่มตัวโดยการ ใช้คอมพิวเตอร์เก็บฐานข้อมูลจากการทดสอบตัวอย่างดินจำนวนมาก และใช้ในการคำนวณ คุณสมบัติทางชลศาสตร์ต่าง ๆ ฐานข้อมูลนี้สามารถใช้งานได้โดยบอกลักษณะของขนาดคละของดินที่ต้องการทราบค่า โปรแกรมจะทำการตรวจสอบกับฐานข้อมูล และคำนวณค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์

Hellel (1998) ได้ทำการเสนอแนะว่าการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำในห้องปฏิบัติการควรใช้ Permeameter แบบระดับน้ำคงที่ (Constant head) หรือ แบบระดับน้ำเปลี่ยนแปลง (Variable head) ตามวิธีของ Klute (1965) และในภาคสนามควรใช้วิธีของ Boersma (1965)

Burckhard และคณะ (2000) ทำการศึกษาถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำในชั้นดินไม่อิ่มตัว โดยแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงของน้ำในดิน กับค่า Water content หรือเรียกว่า Soil-water characteristic curve จากการศึกษาพบว่า ดินที่มีค่าแรงดึงของน้ำสูงจะช่วยให้น้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนน้อยกว่าดินที่มีค่าแรงดึงของน้ำต่ำ

Saxton K. E., Rawls W. J., Romberger J. S., และ Papendick R. I. (2002) ได้ทำการทดลองและศึกษาหาความสัมพันธ์ของ Soil-water potential และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น ซึ่งในการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวนมากแล้วนำมาทดลองและสร้าง Soil-water characteristic curve ของดินตามขนาดคละต่าง ๆ กัน

Chris และคณะ (2002) ได้พยายามหาค่าปรับแก้ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินในสนามมาทดลองในห้องทดลอง โดยการทดลองหาค่าอัตราการซึมในภาคสนาม แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยต่าง ๆ พบว่าเมื่อทำการบดอัดที่ดีและตรวจสอบค่าความหนาแน่นของดินที่ใกล้เคียงกันระหว่างพื้นที่สนามกับในห้องทดลอง จะให้ผลการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Hwang และ Hita (2002) ได้อ้างถึง U.S. Department of Energy พัฒนาเครื่องวัดความชื้นโดยใช้เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกวัดความดันในดิน โดยสามารถนำมาใช้วัดค่าความชื้นและส่งผ่านข้อมูลเก็บในกล่องบันทึกข้อมูลได้

Philippe และคณะ (2003) ศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของดินในแบบจำลอง 1 มิติ และ 2 มิติ โดยวิธีการวัดการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้การถ่ายภาพแล้วนำมาวิเคราะห์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำลงในแบบจำลองกายภาพ พื้นผิวบริเวณด้านบนของแบบจำลองมีการเคลื่อนตัวมากที่สุดและการเคลื่อนตัวจะน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไประดับหนึ่ง

Kodesová (2003) ได้หาค่ากราฟเก็บกักน้ำ (Water retention curve) โดยการประเมินจากค่าการเติมน้ำที่ผิวดิน และ Wetting front แล้วนำความสัมพันธ์ที่ได้มาคำนวณผลการเคลื่อนตัวของน้ำในดิน โดยนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองในห้องทดลองและในพื้นที่สนาม

1.4.2 ด้านการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน

การพัฒนาการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินได้มีการพยายามสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน โดยได้มีการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์และวิธีการในการคำนวณแบบต่าง ๆ เพื่อที่ให้ผลการคำนวณมีค่าที่ใกล้เคียงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด

Yiming และ Shu-Tung (1995) ได้ทำการศึกษาการเติมน้ำระหว่างฝนตกและหลังฝนตกลงในชั้นน้ำ โดยพยายามทำนายค่าของความดันของน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ และระดับของน้ำ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้ผลการทำนายสอดคล้องใกล้เคียงกัน

Hariprasad (2001) ได้ทำการทดลองสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณการไหลของน้ำผ่านชั้นน้ำไม่อิ่มตัว และทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าจากสมการของ van Genuchten (1980) ค่าพารามิเตอร์ α และ n มีผลต่อการเคลื่อนตัวของน้ำในบริเวณพื้นผิวดิน

Masaru และ Ben (2002) ได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการคำนวณการไหลของน้ำบนพื้นดินในแนวแกน 2 มิติ และการไหลของน้ำใต้ดินในแนวแกน 3 มิติร่วมกัน โดยการไหลบนพื้นดินได้ใช้สมการของ Saint-Venant ในการคำนวณ และการไหลของน้ำใต้ดินใช้สมการของ Richards ในการคำนวณ ซึ่งผลการคำนวณได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Smith and Woolhiser (1971) ซึ่งเป็นการทดลองการไหลของน้ำบนดินและใต้ดินในแนวแกนดิ่ง

Marco และ Bruno (2002) ทำการวิเคราะห์สมการของ Richards โดยใช้อนุกรมเทเลอร์ลำดับที่ 1 (First-order Taylor series) พบว่าการกำหนดค่าขอบเขตคงที่ของอัตราการไหลมีผลต่อ

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำมาก ในขณะที่ค่าขอบเขตคงที่ของระดับน้ำไม่ค่อยมีผลต่อการคำนวณทั้งการไหลแบบสม่ำเสมอและการไหลตามเวลา

Kei และคณะ (2003) ทำการศึกษาการไหลและการเคลื่อนตัวของสารละลายในชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองจากแบบจำลองทางกายภาพได้ค่าความดันและความชื้นสอดคล้องกัน แต่การคำนวณหาการเคลื่อนตัวของสารละลายในแบบจำลองกายภาพและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลแตกต่างกัน

Simunek (2005) ได้พัฒนาแบบจำลอง HYDRUS-1D โดยการเพิ่มการคำนวณการเคลื่อนตัวของสารละลาย และรูปแบบการแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง HYDRUS-1D

Brodsky และ Kodesova (2006) ใช้แบบจำลอง HYDRUS-1D ในการจำลองสภาพการเพาะปลูกเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินในบริเวณดินชั้นรากพืช (Root zone) แล้วนำมาทำแผนการเพาะปลูก จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำใต้ดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชั้นรากพืช

1.5 **แนวทางการศึกษา**

ในการศึกษาสภาพการไหลมีแนวทางการศึกษาโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การจำลองลักษณะการไหลโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ การศึกษาลักษณะการไหลโดยแบบจำลองกายภาพ และการรวบรวมข้อมูลวัดจริงในพื้นที่ภาคสนาม โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.5.1 การจำลองลักษณะการไหลโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

1.5.1.1 ศึกษาทฤษฎีและแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ โดยการรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณ

1.5.1.2 ทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน ทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน และ กราฟความสัมพันธ์ดินและน้ำ

1.5.1.3 หาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ โดยนำผลการทดลองค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน มาเทียบกับสมการที่ใช้ในการคำนวณ

1.5.1.4 จำลองลักษณะการไหลในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์จำลองสภาพการไหลในลักษณะต่าง ๆ

1.5.1.5 วิเคราะห์ผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองจากแบบจำลองกายภาพ

1.5.2 การศึกษาลักษณะการไหลโดยแบบจำลองกายภาพ

1.5.2.1 ศึกษาข้อมูลดิน โดยกำหนดวิธีการจำแนกดิน และชนิดของดินที่ใช้ในการศึกษาในแบบจำลองกายภาพ

1.5.2.2 ออกแบบการทดลอง และกำหนดเงื่อนไขการทดลองให้สอดคล้องกับการจำลองสภาพการไหลที่กำหนดในแบบจำลองคณิตศาสตร์

1.5.2.3 พัฒนาแบบจำลองทางกายภาพ ได้แก่ อุปกรณ์การจำลองสภาพการไหลและอุปกรณ์วัดค่าความชื้นในดิน

1.5.2.4 ศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยทำการทดลองและวัดข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากแบบจำลองกายภาพ

1.5.3 การรวบรวมข้อมูลจริงในพื้นที่ภาคสนาม

1.5.3.1 กำหนดวัตถุประสงค์ โดยกำหนดข้อมูลที่ต้องการวัดในพื้นที่สนาม ได้แก่ ข้อมูลความชื้นในพื้นดิน ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลฝน และข้อมูลการระเหย

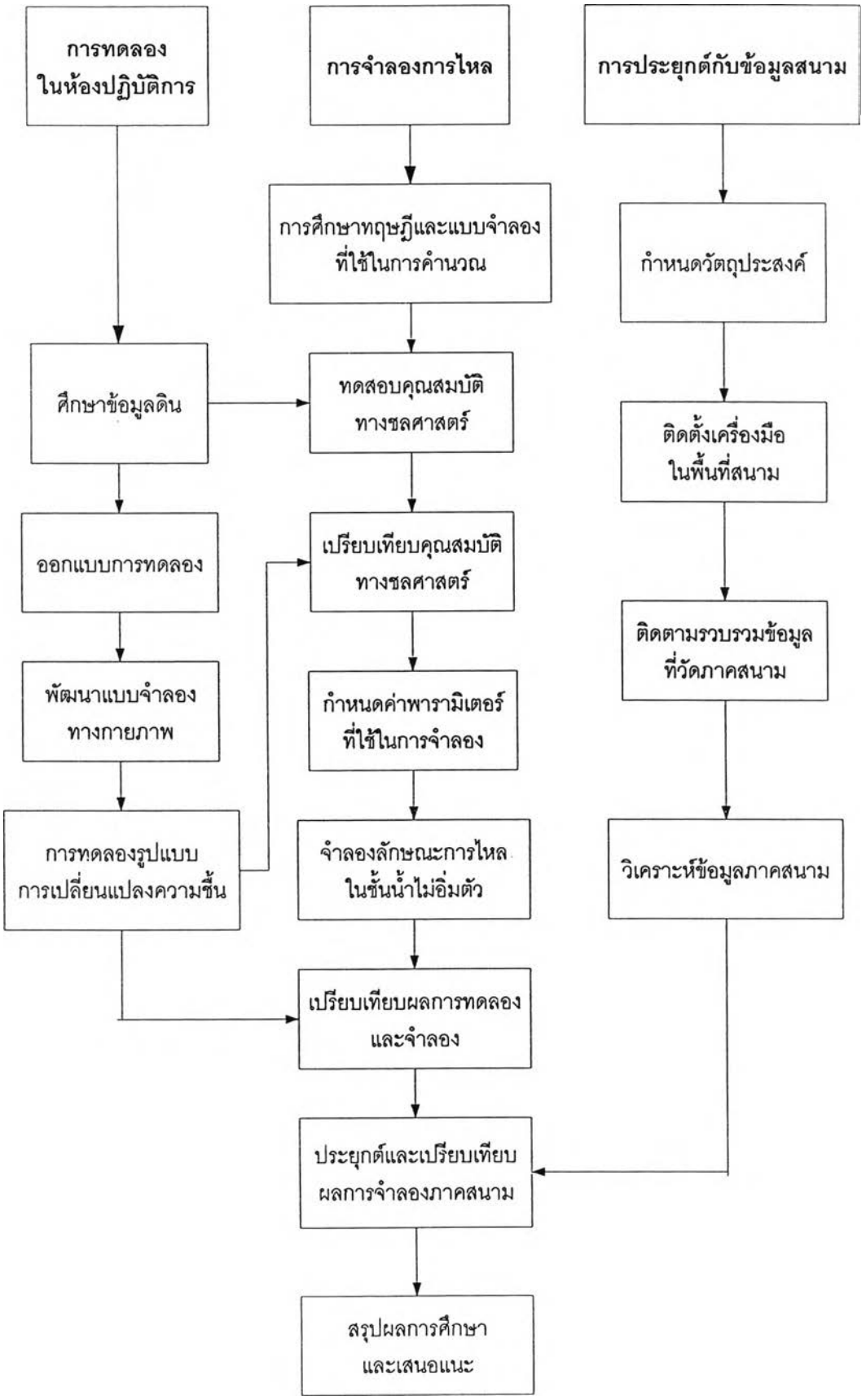
1.5.3.2 ติดตั้งเครื่องมือในพื้นที่สนาม ทำการติดตั้งเครื่องวัดความชื้น (Tensiometer) เพื่อวัดความชื้นในพื้นดิน และวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์

1.5.3.3 ติดตามรวบรวมข้อมูล ความชื้นในพื้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน ข้อมูลปริมาณฝน และข้อมูลการระเหย

1.5.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และลักษณะการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

1.5.4 เปรียบเทียบผลการศึกษา จากผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ กับผลการติดตามประยุกต์ใช้ข้อมูลวัดจริงการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณความชื้นในพื้นที่ภาคสนาม

1.5.5 สรุปผลการศึกษาและเสนอข้อเสนอแนะ รวมทั้งแนวทางในการพัฒนาและการนำไปประยุกต์ใช้ผลการศึกษา



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนในการศึกษา