



รายงานฉบับสมบูรณ์

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชน
อำเภอเมืองอุดรธานี
ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง

โดย เอกสิทธิ์ โสมิตสกุลชัย และคณะ

ตุลาคม 2560

รายงานฉบับสมบูรณ์

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี
ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง

คณะผู้วิจัย	สังกัด
เอกสิทธิ์ โหมสิตสกุลชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ยุทธนา ตาละลักษมณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถาพร เตมีพัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ธัญธร ออกะลา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

Executive Summary

1. คำนำ

อุดรธานีเป็นเมืองที่มีความสำคัญในฐานะที่เป็นเมืองหลักด้านเศรษฐกิจการค้าชายแดนกับ สปป. ลาว และเป็นศูนย์กลางด้านการคมนาคมและการขนส่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ USAID, 2556) พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียงมีความเสี่ยงจากอุทกภัยทั้งที่เกิดจากฝนที่ตกในพื้นที่และเป็นพื้นที่รับน้ำหลากจากพื้นที่สูงทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ยิ่งไปกว่านั้นอุทกภัยมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปและคาดเดาได้ยากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทั้งจากการพัฒนาของจังหวัดโดยแรงขับเคลื่อนทางด้านเศรษฐกิจและสังคม และ สถานการณ์ที่ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันโดยอิทธิพลจากภาวะโลกร้อน

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีทั้งในปัจจุบัน และ คาดการณ์ผลกระทบต่อน้ำท่วมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการดำเนินงาน ดังนี้ (1) เพื่อประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน (2) เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อภาวะน้ำท่วมในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี (3) เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะน้ำท่วมในพื้นที่กรณีศึกษาด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

2. เครื่องมือและวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดอุดรธานีตั้งอยู่บนที่ราบสูงในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นดินแดนที่มีอารยธรรมเก่าแก่แห่งหนึ่งของโลก อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร 564 กม.ตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 มีพื้นที่จังหวัด 11,730.302 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 2.29 ของพื้นที่ประเทศ จัดอยู่ในลำดับที่ 11 ของประเทศเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับ 4 ใน 19 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่โดยทั่วไปของจังหวัดอุดรธานีเป็นพื้นที่ราบสูง บางส่วนเป็นพื้นที่สูง ภูเขา พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และที่ราบลุ่ม มีที่ตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูด 17 องศาเหนือ และลองจิจูด 103 องศาตะวันออก

พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาที่สำคัญของลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 3,933 ตารางกิโลเมตร ลำห้วยหลวง เป็นลำห้วยธรรมชาติขนาดใหญ่และเป็นคลองระบายน้ำทำหน้าที่ระบายน้ำจากท้ายเขื่อนห้วยหลวง ผ่านด้านทิศเหนือของเทศบาลนครอุดรธานี ไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย ลำห้วยที่น้ำไหลผ่านเขตเทศบาลนครอุดรธานี ได้แก่ ลำห้วยหมากแข้ง ลำห้วยริน-โสกคู่ ห้วยดาน ห้วยมั่ง และห้วยหลวง โดยมีลำห้วยที่ไหลผ่านเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี 2 สาย คือ ห้วยหมากแข้ง และห้วยมั่ง ซึ่งเป็นเส้นทางระบายน้ำธรรมชาติออกจากตัวเมือง และในเขตเมืองมีอ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง คือ หนองประจักษ์ศิลปาคม และหนองสิม

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย (1) พื้นที่ศึกษาผลกระทบจากน้ำท่วมเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี พิจารณาพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานีและเทศบาลที่มีพื้นที่ติดกัน ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่ในภายในถนนวงแหวนรอบเมืองและพื้นที่รอบนอกถนนวงแหวนรอบเมือง (2) พื้นที่รับน้ำฝน (ขอบเขตการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา) พิจารณาครอบคลุมพื้นที่สูงทางทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของตัวเมืองอุดรธานี โดยจะใช้แนวเส้นปันน้ำในการแบ่งพื้นที่และพิจารณาตามทิศทางการไหลของน้ำ จนบรรจบกับห้วยหลวง

พื้นที่ศึกษาเป็นเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี ครอบคลุมพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่เทศบาลใกล้เคียง พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบเชิงเขา มีความสูงไม่มากนัก มีลักษณะค่อนข้างแบนราบ มีสภาพพื้นที่เป็นแอ่งลาดเทจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เทศบาลนครอุดรธานีมีพื้นที่ขนาด 47.70 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ ตำบลหนองบัว ตำบลบ้านจั่น ตำบลบ้านเลื่อม ตำบลหนองขอนกว้าง ตำบลหมากแข้ง และบางส่วนของตำบลนาดี โดยแบ่งออกเป็น 101 ชุมชน

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง มีเป้าหมายที่จะฉายภาพของภาวะน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในอนาคต 30 ปี จากสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วย การขยายตัวของชุมชนเมือง และความแปรปรวนของฝน และ ทำการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการศึกษาภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่ผ่านมา การวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมหลาก/สภาพน้ำท่วมขังในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพื้นที่วิกฤติจากภาวะน้ำท่วมหลาก/น้ำท่วมขังในสภาพปัจจุบัน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต

ในส่วนของการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นการวิเคราะห์ขอบเขตชุมชนเมืองในปัจจุบันและการประเมินการเติบโตของเมืองในอนาคต โดยขอบเขตชุมชนเมืองจำแนกพื้นที่อาคารและสิ่งก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 พ.ศ.2549 พ.ศ.2558 เป็นข้อมูลสภาพพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างด้วยเทคนิค Tasselled Cap Transformation (TC) และการฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปีข้างหน้าในรูปของระดับความทึบน้ำของพื้นผิว (imperviousness) ผลการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ส่วนการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคต เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณฝนที่ตกเป็นหลักโดยพิจารณาข้อมูลจากสถิติเหตุการณ์พายุฝนในอดีต

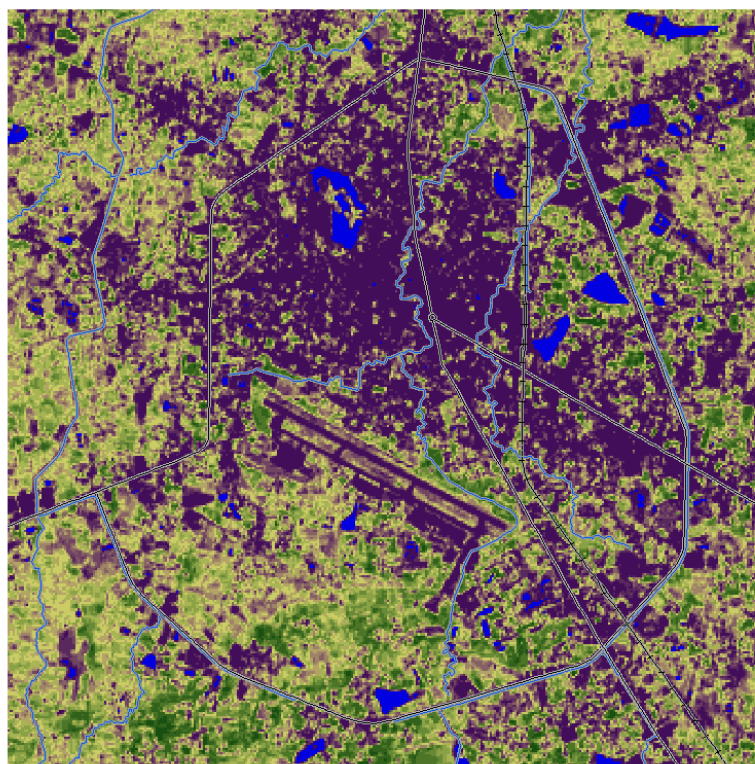
การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือ เพื่อฉายภาพอนาคตที่อาจเป็นไปได้ของสภาพน้ำท่วมโดยใช้ผลศึกษาพื้นที่ชุมชนและปริมาณฝนร่วมกันเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการแบบจำลอง ภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง HEC-HMS โดยพิจารณาสองปัจจัยหลักที่มีผลต่อน้ำท่วม และ มีการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนได้ในอนาคต ได้แก่ สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน และ ปริมาณน้ำฝน การกำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) เป็นสถานการณ์สภาพพื้นที่ 4 สถานการณ์ และ ปริมาณฝน 7 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร่วมกันได้เป็นจำนวน 28 สถานการณ์

3. ผลและวิจารณ์

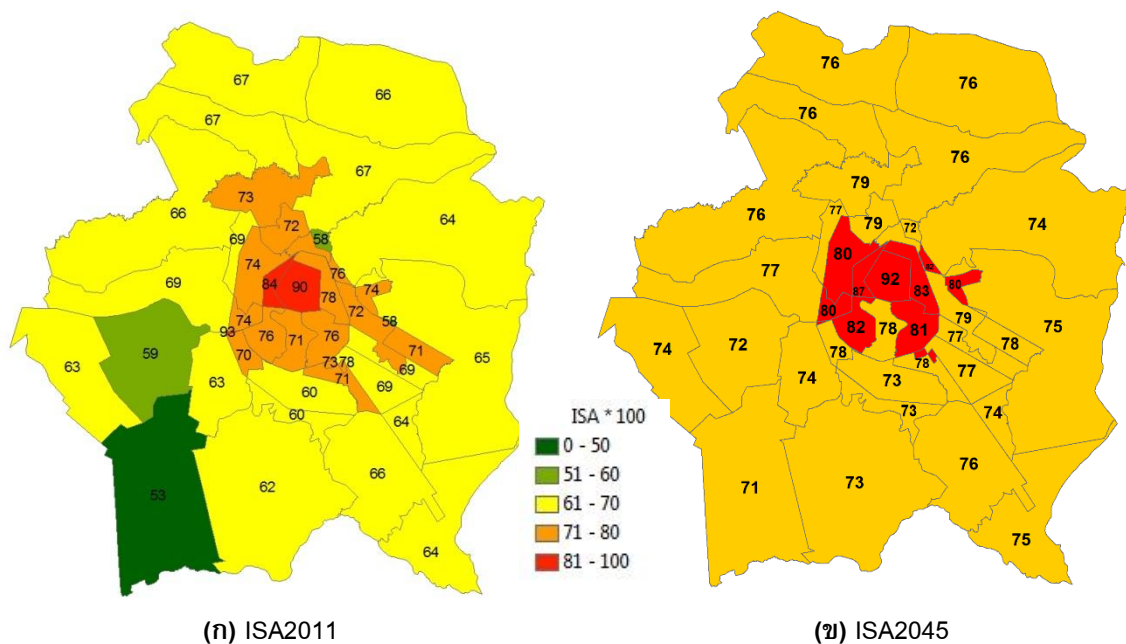
3.1 การศึกษาพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี

การศึกษาพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จำแนกพื้นที่อาคารและสิ่งก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 พ.ศ.2549 พ.ศ.2558 เป็นข้อมูลสภาพพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างด้วยเทคนิค Tasselled Cap Transformation (TC) และฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปีข้างหน้าในรูปของระดับความทึบน้ำของพื้นผิว (imperviousness)

สภาพความหนาแน่นของชุมชน พื้นที่ชุมชนมีแนวโน้มหนาแน่นเพิ่มขึ้นในพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี รอบ ๆ ถนนวงแหวน และตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมือง โดยในอดีตในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2538 - พ.ศ.2549) ความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดขอนแก่นและสกลนคร ส่วนในช่วง 10 ปีหลัง (พ.ศ.2549 / 2552 / 2554) มีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดหนองคาย ส่วนพื้นที่ในเขตเทศบาลนคร สภาพในปัจจุบันมีอาคารสิ่งก่อสร้างเกือบเต็มพื้นที่แล้ว ยกเว้นทางทิศตะวันตกเฉียงใต้บริเวณสนามบินอุดรธานี ความหนาแน่นชุมชนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่เทศบาลนครเป็นสิ่งก่อสร้างทางดิ่ง (เช่น อาคารสูง) ซึ่งแยกความแตกต่างได้ค่อนข้างจำกัดจากภาพถ่ายดาวเทียมมุมสูง



รูปที่ 2 พื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในปัจจุบัน (พ.ศ. 2558)
จำแนกจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 (28/10/2015)

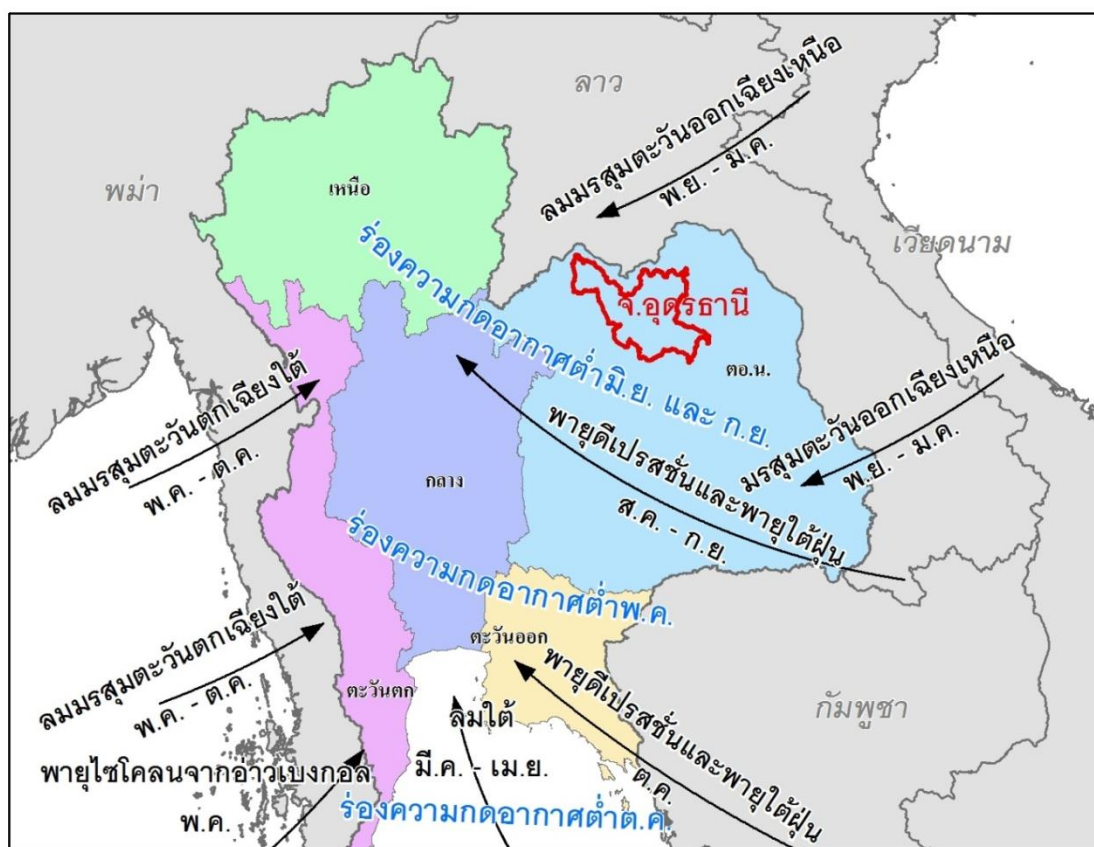


รูปที่ 3 แผนที่การทำนายเขตพื้นที่น้ำท่วม (ค่า ISA ในสเกล 0-100) พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ปี พ.ศ. 2588 (2045) โดยการใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554 (2011) เป็นฐานในการทำนาย

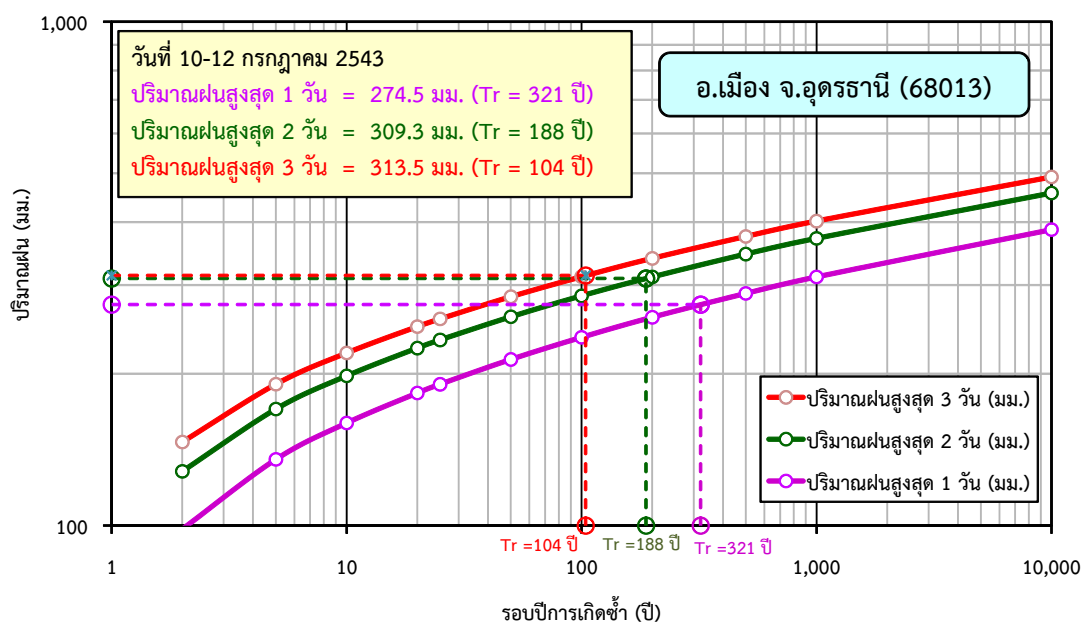
ในอนาคต 30 ปี (พ.ศ.2588) คาดว่าทุกพื้นที่จะมีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครมีความหนาแน่นใกล้เคียงเข้าสู่จุดอิ่มตัว พื้นที่ด้านนอกกรอบถนนวงแหวนมีความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นอีกใกล้เคียงกับพื้นที่เทศบาลนครในปัจจุบัน ส่วนพื้นที่อยู่ไกลออกไปความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมืองคล้ายกับแนวโน้มในอดีต

การศึกษาทำความเข้าใจพายุฝนในพื้นที่อุดรธานีมีความสำคัญในลำดับต้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนป้องกันและเตรียมการรับมือภาวะน้ำท่วม พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียงตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำมรสุมและพายุหมุนเขตร้อน ที่ส่งผลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ (รูปที่ 4) ประกอบด้วย ร่องความกดอากาศต่ำช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน พายุหมุนเขตร้อนโดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ปริมาณฝนลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม

จากการศึกษาสถิติข้อมูลฝนระหว่าง พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ.2556 พบว่า ปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่
ช่วงเวลารอคอย 1 วัน ถึง 3 วัน เป็นวันที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 โดยปริมาณฝน
สะสมที่ช่วงเวลารอคอย 1 วัน ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร ที่ช่วงเวลารอคอย 2 วัน 309.3 มิลลิเมตร
และ ที่ช่วงเวลารอคอย 3 วัน 313.5 มิลลิเมตร ส่วนพายุโซนร้อน "อุซางิ" ในวันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มี
ปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลารอคอย 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร



รูปที่ 4 ทิศทางมรสุมและพายุลมหนาวที่มียธิพลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 5 ปริมาณฝนและความถี่ของการเกิดของฝน
ที่มีระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ที่ อ.เมือง จ.อุดรธานี

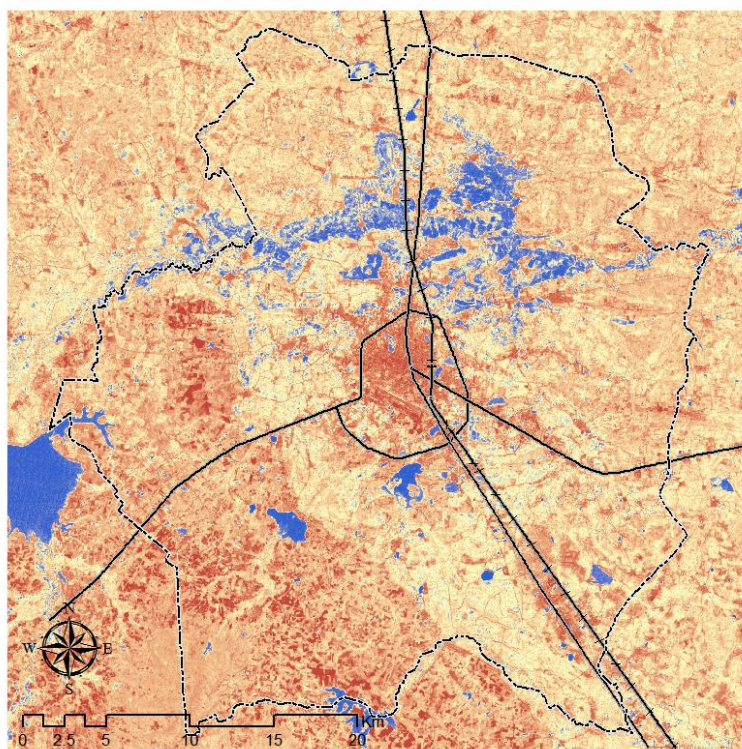
การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ (frequency analysis) ของการเกิดฝนใช้ข้อมูลปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่ระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ของสถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) ได้ทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล (Gumbel distribution) (รูปที่ 5) เมื่อพิจารณาปริมาณฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 ที่ระยะเวลาการตก 1 วัน ถึง 3 วัน พบว่า ปริมาณฝนสะสมที่ตกระยะเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 321 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.3115% ปริมาณฝนสะสมที่ตกระยะเวลา 48 ชั่วโมง (2 วัน) มีปริมาณสูงสุด 309.3 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 188 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.531% ปริมาณฝนสะสมที่ตกเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (3 วัน) มีปริมาณสูงสุด 313.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 104 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.9615%

การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ (Probable Maximum Precipitation, PMP) ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง ได้ทำการศึกษาพายุฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในเขตพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (2556) ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน สำหรับพื้นที่ระบายน้ำผ่านเทศบาลนครอุดรธานี มีปริมาณเท่ากับ 835 1007 และ 1153 มิลลิเมตรตามลำดับ

3.3 สถานการณ์น้ำท่วม และการฉายภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

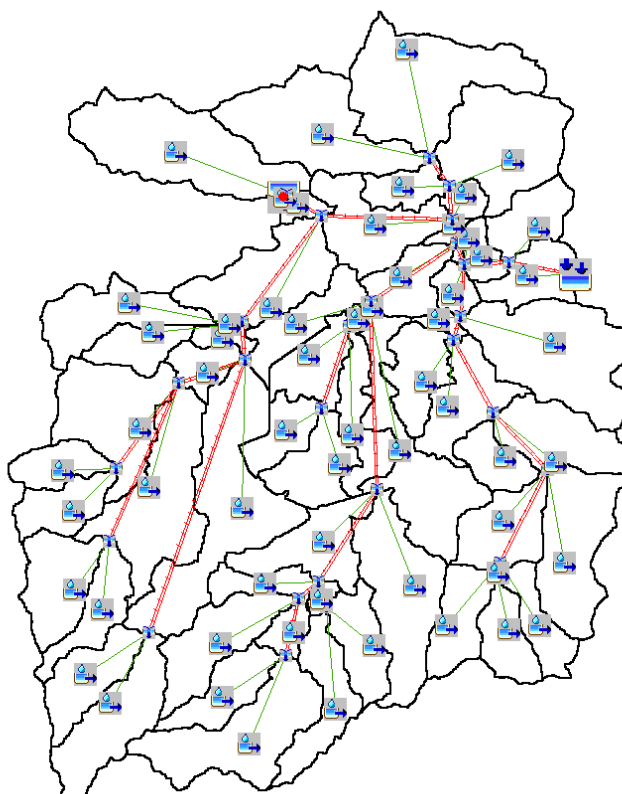
สำหรับสถานการณ์น้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ส่วนหนึ่งได้ศึกษาทบทวนข้อมูลน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในอดีต ศึกษาความเสียหายรวมถึงแผนการแก้ไขปัญหา จากข้อมูล/รายงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อีกส่วนหนึ่งเป็นการใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือ เพื่อฉายภาพอนาคตที่อาจเป็นไปได้ของสภาพน้ำท่วมโดยใช้ผลศึกษาพื้นที่ชุมชนและปริมาณฝนร่วมกันเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการแบบจำลอง

เนื่องจากตัวเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ราบ และมีลำห้วยไหลผ่านหลายสาย ในทุกครั้งที่ฝนตก แม้ไม่มากนักก็จะเกิดน้ำท่วมขังเป็นประจำ เช่น เมื่อปี พ.ศ.2513 พ.ศ.2529 พ.ศ.2543 และพ.ศ.2544 ซึ่งเกิดอุทกภัยใหญ่ของตัวเมืองอุดรธานี ในปี พ.ศ.2543 สาเหตุจากอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่าน ประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ทำให้เกิดน้ำท่วมขังตั้งแต่วันที่ 11 กรกฎาคม 2543 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.50-1.00 เมตร มูลค่าความเสียหายประมาณ 59 ล้านบาท ในปี พ.ศ.2544 ครั้งที่ 1 เนื่องจากอิทธิพลของพายุโซนร้อนอุซาริ ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ทำให้เกิดน้ำท่วมขังเป็นพื้นที่กว้าง มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.50-1.20 เมตร เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2544 และครั้งที่ 2 เนื่องจากเกิดฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำห้วยรินในเขตอำเภอหนองแสง และอำเภอหนองวัวซอ ในวันที่ 5 กันยายน 2544 ทำให้น้ำป่าไหลเข้าท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่วันที่ 7 กันยายน 2544 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.20-1.00 เมตร



รูปที่ 6 พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 19 กันยายน 2544

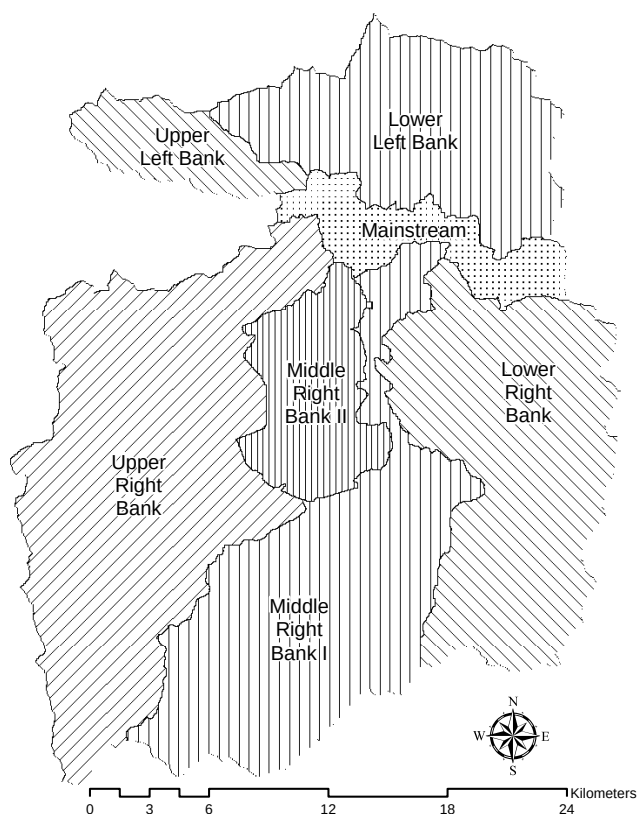
สถานการณ์น้ำท่วมในปัจจุบันในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 เป็นต้นมาได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี โดยมีการขุดคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งยังไม่เกิดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี แต่จะพบในพื้นที่ห้วยหลวงที่ติดกับถนนมิตรภาพและริมตลิ่งของลำน้ำห้วยหลวง สำหรับในเขตเทศบาลนครอุดรธานีจะมีปัญหาน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ระบายน้ำลงท่อระบายน้ำไม่ทัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่และการถมที่เพื่อก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร จึงกีดขวางทางน้ำที่ไหลลงทางระบายน้ำ



รูปที่ 7 การกำหนดลุ่มน้ำย่อยและประเมินพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์
ของลุ่มน้ำย่อยสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS

ภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง HEC-HMS โดยพิจารณาสองปัจจัยหลักที่มีผลต่อน้ำท่วม และ มีการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนได้ในอนาคต ได้แก่ สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน และ ปริมาณน้ำฝน

สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมในอนาคตของอำเภอเมืองอุดรธานีมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากการขยายตัวของชุมชน การขยายตัวของชุมชนนี้เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอาคารและสิ่งก่อสร้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาในมุมมองทางอุทกวิทยาเป็นการเพิ่มของพื้นผิวที่บ้น้ำ (impervious surface) ที่ทำให้การซึมของน้ำลงดินลดลง ซึ่งมีผลให้ส่วนเกินของฝน (rainfall excess) ที่ทำให้เกินน้ำท่าผิวดินมีปริมาณมากขึ้น สำหรับปริมาณฝนในอนาคต การศึกษาได้เลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถี่ (frequency analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (probable maximum precipitation, PMP) แทนการใช้ข้อมูลฝนที่จำลองจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งมีข้อจำกัดในการจำลองการเกิดฝนจากพายุโซนร้อน (tropical cyclone) (Treenberth, 2011) อันเป็นสาเหตุหลักอันหนึ่งของการเกิดพายุฝนในพื้นที่ศึกษา การกำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) เป็นสถานการณ์สภาพพื้นที่ 4 สถานการณ์ และ ปริมาณฝน 7 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร่วมกันได้เป็นจำนวน 28 สถานการณ์ โดยแบ่งพิจารณาผลลัพธ์ ออกเป็น 7 โซน (รูปที่ 8)

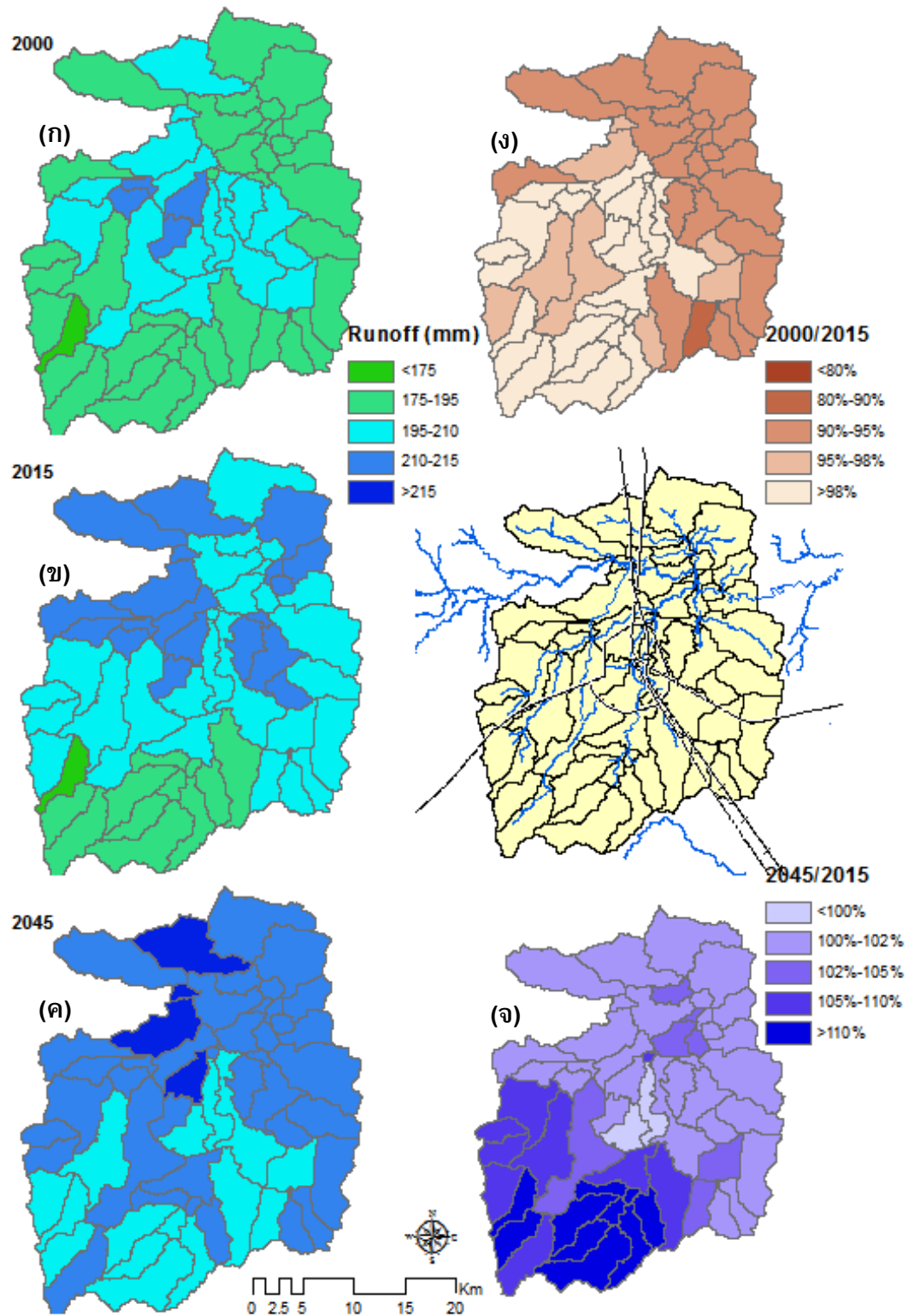


รูปที่ 8 การกำหนดพื้นที่ระบายน้ำลงสู่ห้วยหลวงในช่วงระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแรกับประตูระบายน้ำสามพร้าว

การเรียกชื่อโซนเป็นพื้นที่ฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของทางน้ำ กำหนดโดยหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำในทางน้ำ ส่วนพื้นที่ตอนบน ตอนกลาง ตอนล่าง เรียกตามทิศทางการไหลของน้ำจากต้นน้ำไปยังท้ายน้ำ ประกอบด้วย (1) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนล่าง (LB: lower left bank) (2) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนบน (LB2: upper left bank) (3) พื้นที่ระบายน้ำลำน้ำสายหลัก (Main: main stream area) (4) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนล่าง (RB1: lower right bank) (5) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนกลางส่วนที่ 1 ถนนวงแหวนด้านตะวันออก (RB21: middle right bank - eastern ring road) (6) พื้นที่ระบายน้ำตอนกลางส่วนที่ 2 เทศบาลนครอุดรธานี (RB22: middle right bank - municipal area) (7) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนบน ถนนวงแหวนด้านตะวันตก (RB3: upper right bank - west ring road)

จากผลการจำลองเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมดในภาพรวม พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากส่วนเกินของน้ำฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณฝนที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวเนื่องจากการขยายตัวของชุมชน

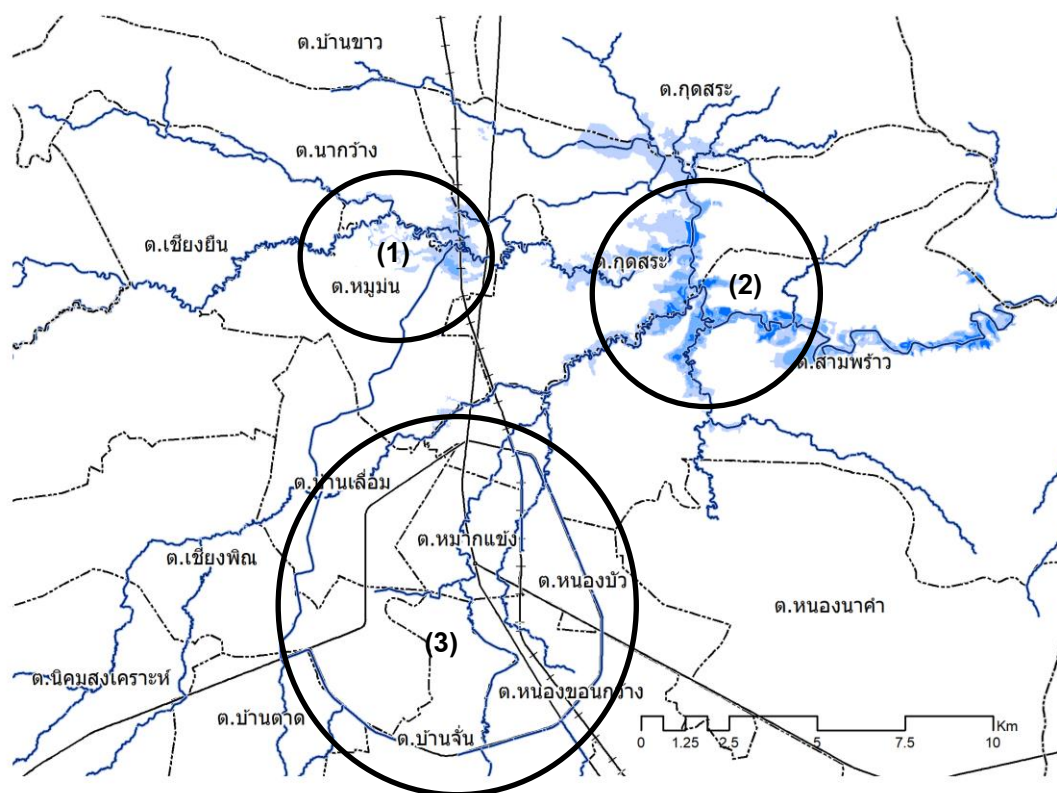
พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาของห้วยหลวงรอบถนนวงแหวน (RB1, RB21, RB3) มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงสุด และ เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตมากที่สุดโดยเฉพาะพื้นที่ทางทิศตะวันออก (RB21) ส่วนพื้นที่ระบายน้ำจากเทศบาลนครอุดรธานี (RB22) เป็นพื้นที่ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตน้อย เนื่องจาก เป็นพื้นที่ที่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างหนาแน่นอยู่แล้วในปัจจุบัน จึงทำให้ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้นตามรอบปีการเกิดซ้ำมีอิทธิพลต่อความรุนแรงของน้ำท่วมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ในอนาคต



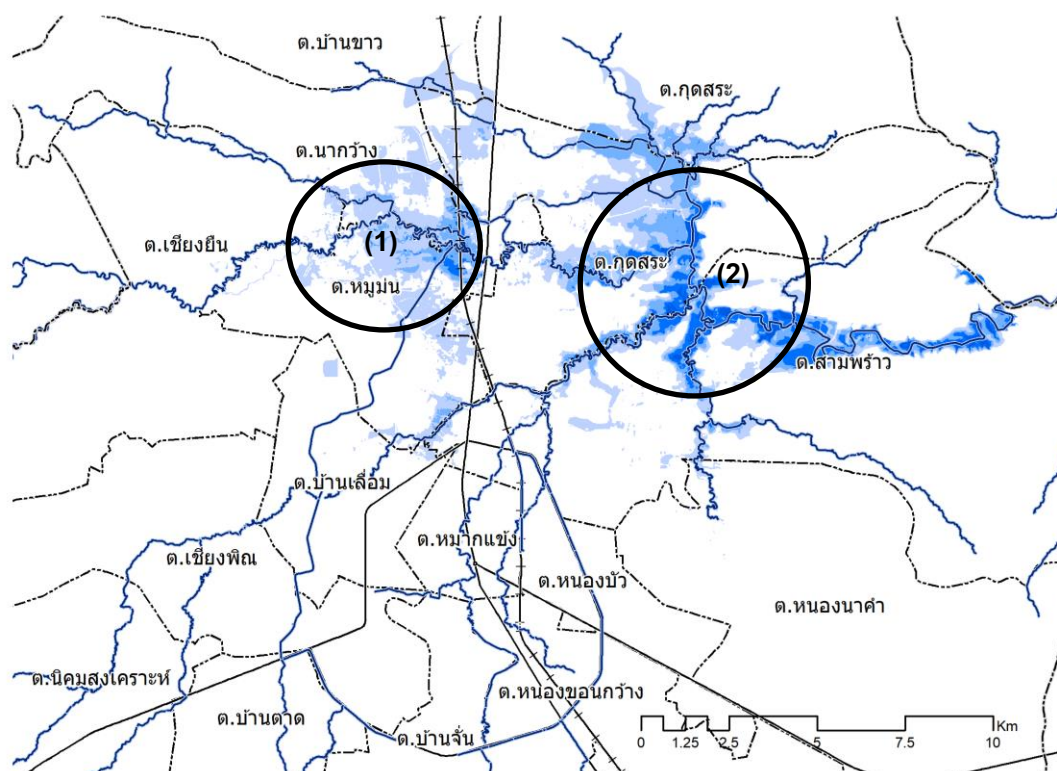
รูปที่ 7 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมง
รอบการเกิด 100 ปี (236.3 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี
(ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.2588 (2045)
และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด เป็นการวิเคราะห์จากผลต่างของปริมาตรสุทธิน้ำท่าที่ไหลเข้า กับไหลออกจากพื้นที่แอ่งที่พิจารณา โดยใช้หลักการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing) ด้วยวิธี Modified Puls (เอกสิทธิ์, 2547) อัตราน้ำไหลเข้า (inflow) วิเคราะห์จากกราฟ น้ำท่าจากส่วนเกินของน้ำฝน ส่วนอัตราน้ำไหลออก (outflow) ได้จากการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหล ของน้ำลอดใต้สะพานในสภาพน้ำน้อย และ ไหลล้นข้ามถนนในสภาพน้ำมาก

พื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมขัง มี 3 จุด ได้แก่ (1) พื้นที่ระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแร่งกับ ถนนอุดรธานี-หนองคาย (2) พื้นที่แอ่งประตูระบายน้ำสามพร้าว พิจารณาตามแนวห้วยหลวงจากแนวถนน อุดรธานี-หนองคาย (ทางหลวงหมายเลข 2) ถึงแนวถนนสายสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง และ (3) พื้นที่เทศบาล นครอุดรธานี ที่ปิดล้อมด้วยถนนวงแหวนรอบเมือง พื้นที่สองจุดแรกเป็นแนวห้วยหลวงแต่มีแนวถนนกีด ขวางทางน้ำ เมื่อมีน้ำหลากในปริมาณมากมีผลให้เกิดน้ำท่วมขังเนื่องจากน้ำระบายไม่ทัน แนวถนนมี พฤติกรรมทางชลศาสตร์คล้ายกับฝายน้ำล้น ส่วนพื้นที่ปิดล้อมของเทศบาลนครอุดรธานี การไหลออกจาก พื้นที่ที่ถูกจำกัดด้วยความสามารถในการระบายน้ำออกของเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 9 พื้นที่น้ำท่วมขังจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 1



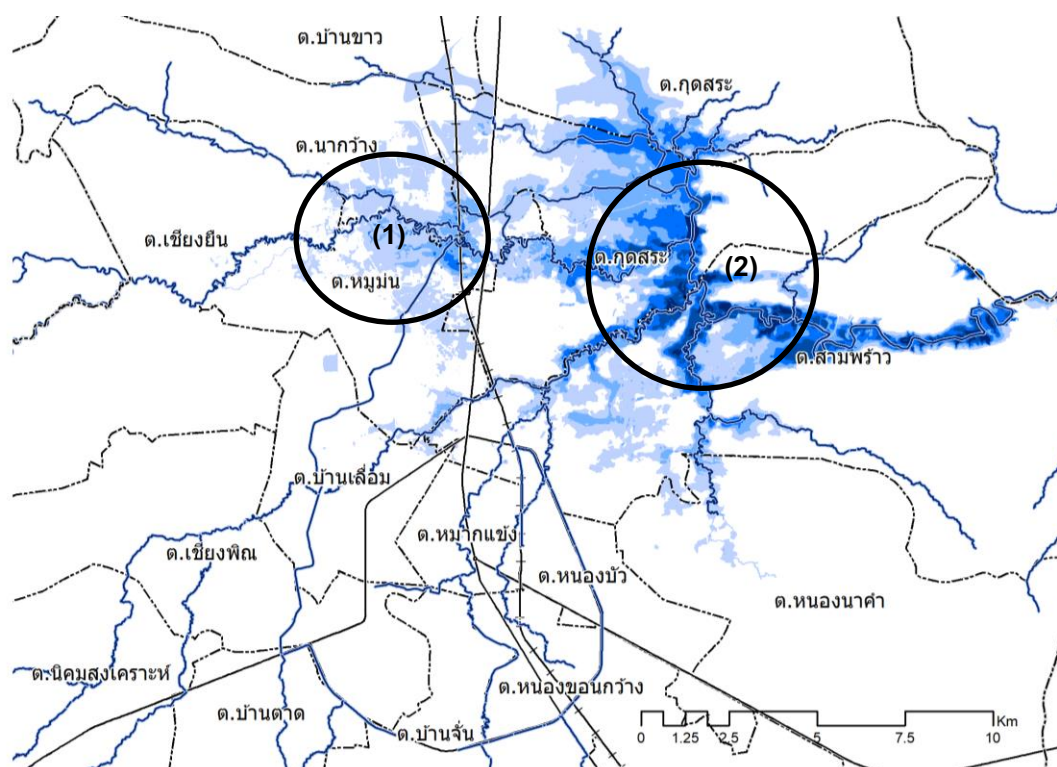
รูปที่ 10 พื้นที่น้ำท่วมขังจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมสูงสุดช่วยให้แบ่งความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

(1) ระดับ 1 - ฝนตกที่มีรอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่า 100 ปี หรือ ปริมาณฝนไม่เกิน 200 มิลลิเมตรต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่น้อยกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ปัจจุบันได้มีการออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมแล้ว ดังนั้น พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังไม่มากนัก ถ้าหากไม่มีปริมาณน้ำจากเขื่อนห้วยหลวงไหลมาเพิ่ม พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายไม่เกิน 6 ชั่วโมง หากระบบระบายน้ำทำงานได้อย่างเต็มความสามารถ

(2) ระดับ 2 - ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำน้อยกว่า 10000 ปี ปริมาณไม่เกิน 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบาย 6-10 ชั่วโมง

(3) ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำมากกว่า 10000 ปี ปริมาณมากกว่า 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาก พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายนานกว่า 10 ชั่วโมง และถ้ามีน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนห้วยหลวงเพิ่มเติม จะขยายพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากยิ่งขึ้นอีก



รูปที่ 11 พื้นที่น้ำท่วมซึ่งจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 3

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง มีเป้าหมายที่จะฉายภาพของภาวะน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในอนาคต 30 ปี จากสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วย การขยายตัวของชุมชนเมือง และความแปรปรวนของฝน และ ทำการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนการประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่ผ่านมา การวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมหลาก/สภาพน้ำท่วมขังในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพื้นที่วิกฤติจากภาวะน้ำท่วมหลาก/น้ำท่วมขังในสภาพปัจจุบัน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต ในส่วนของการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นการวิเคราะห์ขอบเขตชุมชนเมืองในปัจจุบัน การประเมินการเติบโตของเมืองในอนาคต ผลการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองชลศาสตร์/อุทกวิทยา ส่วนการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคต จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณฝนที่ตกเป็นหลัก โดยพิจารณาข้อมูลจากสถิติเหตุการณ์พายุฝนในอดีต การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เป็นการจำลองสถานการณ์ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองพายุฝน แบบจำลองอุทกวิทยา ซึ่งเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า และการแบบจำลองชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำ

สภาพความหนาแน่นของชุมชน พื้นที่ชุมชนมีแนวโน้มหนาแน่นเพิ่มขึ้นในพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี รอบ ๆ ถนนวงแหวน และตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมือง โดยในอดีตในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2538 - พ.ศ.2549) ความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดขอนแก่นและสกลนคร ส่วนในช่วง 10 ปีหลัง (พ.ศ.2549 / 2552 / 2554) มีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดหนองคาย ส่วนพื้นที่ในเขตเทศบาลนคร สภาพในปัจจุบันมีอาคารสิ่งก่อสร้างเกือบเต็มพื้นที่แล้ว ยกเว้นทางทิศตะวันตกเฉียงใต้บริเวณสนามบินอุดรธานี ความหนาแน่นชุมชนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่เทศบาลนครเป็นสิ่งก่อสร้างทางดิ่ง (เช่น อาคารสูง) ซึ่งแยกความแตกต่างได้ค่อนข้างจำกัดจากภาพถ่ายดาวเทียมมุมสูง ในอนาคต 30 ปี (พ.ศ.2588) คาดว่าทุกพื้นที่ที่จะมีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับพื้นที่อำเภอเมืองอิมตัว พื้นที่ด้านนอกถนนวงแหวนมีความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นอีกใกล้เคียงกับพื้นที่เทศบาลนครในปัจจุบัน ส่วนพื้นที่อยู่ไกลออกไปความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมืองคล้ายกับแนวโน้มในอดีต

จากการศึกษาข้อมูลฝน พบว่า ปริมาณฝนสะสมสูงสุดระหว่าง พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ.2556 ปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ถึง 3 วัน เป็นฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 โดยปริมาณฝนสะสมที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 321 ปี ที่ช่วงเวลาการตก 2 วัน 309.3 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 188 ปี และ ที่ช่วงเวลาการตก 3 วัน 313.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 104 ปี พายุโซนร้อน "อุซางิ" วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลาการตก 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน สำหรับพื้นที่ระบายน้ำผ่านเทศบาลนครอุดรธานี มีปริมาณเท่ากับ 835 1007 และ 1153 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง HEC-HMS โดยพิจารณาสองปัจจัยหลักที่มีผลต่อน้ำท่วม และ มีการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนได้ในอนาคต ได้แก่ สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน และ ปริมาณน้ำฝน การกำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) เป็น

สถานการณ์สภาพพื้นที่ 4 สถานการณ์ และ ปริมาณฝน 7 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร่วมกันได้เป็นจำนวน 28 สถานการณ์ จากผลการจำลองเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมดในภาพรวม พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากส่วนเกินของน้ำฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณฝนที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวเนื่องจากการขยายตัวของชุมชน พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาของห้วยหลวงรอบถนนวงแหวน มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงสุด และเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตมากที่สุดโดยเฉพาะพื้นที่ทางทิศตะวันออก ส่วนพื้นที่ระบายน้ำจากเทศบาลนครอุดรธานี เป็นพื้นที่ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตน้อย เนื่องจาก เป็นพื้นที่ที่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างหนาแน่นอยู่แล้วในปัจจุบัน จึงทำให้ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้นตามรอบปีการเกิดซ้ำมีอิทธิพลต่อความรุนแรงของน้ำท่วมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ในอนาคต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมสูงสุดช่วยให้แบ่งความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้ (1) ระดับ 1 - ฝนตกที่มีรอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่า 100 ปี หรือ ปริมาณฝนไม่เกิน 200 มิลลิเมตรต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่น้อยกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ปัจจุบันได้มีการออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมแล้ว ดังนั้น พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังไม่มากนัก ถ้าหากไม่มีปริมาณน้ำจากเขื่อนห้วยหลวงไหลมาเพิ่ม พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายไม่เกิน 6 ชั่วโมง หากระบบระบายน้ำทำงานได้อย่างเต็มความสามารถ (2) ระดับ 2 - ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำน้อยกว่า 10000 ปี ปริมาณไม่เกิน 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบาย 6-10 ชั่วโมง (3) ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำมากกว่า 10000 ปี ปริมาณมากกว่า 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาก พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายนานกว่า 10 ชั่วโมง และถ้ามีน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนห้วยหลวงเพิ่มเติม จะขยายพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากยิ่งขึ้นอีก

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG5730012
ชื่อโครงการ: การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี
ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง
ชื่อนักวิจัย: เอกสิทธิ์ โสมิตสกุลชัย¹, ยุทธนา ตาละลักษมณ์¹,
ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์¹, สถาพร เตมีพัฒน์พงษ์¹,
ธัญธร ออวะลา¹
¹มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
email address: ekasit.k@ku.th
ระยะเวลาโครงการ: กันยายน 2557 ถึง สิงหาคม 2559

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง มีเป้าหมายที่จะฉายภาพของภาวะน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในอนาคต 30 ปี จากสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วยการขยายตัวของชุมชนเมืองและความแปรปรวนของฝน และการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

การศึกษาพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จำแนกพื้นที่อาคารและสิ่งก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat ย้อนหลัง 20 ปี และฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปีข้างหน้า ในส่วนของการฝนในพื้นที่เมืองอุดรธานี ได้ศึกษาปริมาณน้ำฝนและพายุจากข้อมูลสถิติ วิเคราะห์แจกแจงความถี่ของการเกิดฝนสูงสุดและศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

สำหรับสถานการณ์น้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ส่วนหนึ่งได้ศึกษาทบทวนข้อมูลน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในอดีต สภาพความเสียหายรวมถึงแผนการแก้ไขปัญหา จากข้อมูล/รายงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อีกส่วนหนึ่งเป็นการใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือ เพื่อฉายภาพอนาคตที่อาจเป็นไปได้ของสภาพน้ำท่วมโดยใช้ผลศึกษาพื้นที่ชุมชนและปริมาณฝนร่วมกันเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการแบบจำลอง

คำหลัก : น้ำท่วม, การจัดการน้ำ, การเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

Abstract

Project Code: RDG5730012

Project Title: Assessment of Urban Flood in Udon Thani City under Changing Environment

Investigators: Ekasit Kositsakulchai¹, Yutthana Talaluxmana¹,
Chaiyapong Theprasit¹, Sathaporn Temeepattanapongsa¹,
Thundorn Okwala¹
¹Kasetsart University

email address: ekasit.k@ku.th

Project Duration: September 2014 - August 2016

To assess the future urban flooding in Udon Thani City under the changing environment, this research projected the flooding situation for the next 30 years. Urban growth and rainfall variability, two main factors affecting surface runoff, were taken into consideration. The study of was relied on scenario-based simulations with computer model.

The urban area of Udon Thani city and its growth in the past 20 years were classified from Landsat images. The classified data were used for projection of urban surface density in the next 30 years. The analyses of rainfall in Udon Thani city included statistical analysis of recorded rainfall and storms, frequency analysis of rainfall, and analysis of probable maximum precipitation (PMP).

With regarding to flooding study, the previous flooding events were reviewed using information from the concerned agencies, including flood damages and flood protection plans. To understand the future situation, simulation modeling was selected as tool for projecting the future flooding in the Udon Thani City by integrating the results from the projection of urban growth and the analysis of rainfall.

Keywords: flood, water management, urbanization, climate change

สารบัญ

Executive Summary	i
บทคัดย่อ	xix
Abstract	xx
สารบัญ	xxi
สารบัญรูป	xxii
สารบัญตาราง	xxiv
1. บทนำ	1
ก. ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
ข. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
2. เครื่องมือและวิธีการ	3
2.1 พื้นที่ศึกษา	3
ก. ขอบเขตและที่ตั้ง	3
ข. ปริมาณฝน	5
ค. ปริมาณน้ำท่า	7
2.2 เครื่องมือและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
ก. แบบจำลองทางอุทกวิทยา HEC-HMS และ HEC-GeoHMS	11
ข. ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT	13
ค. ข้อมูล DEM และการวิเคราะห์โครงข่ายลำน้ำ	17
ง. การวิเคราะห์น้ำท่วมตามแนวทางของ NRCS	23
จ. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก	28
ฉ. การวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านสะพาน (Bridge Hydraulics)	30
2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
3. ผลและวิจารณ์	36
3.1 พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี	36
ก. พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา	36
ข. ภาพฉายความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต	39
ค. สรุปผลการฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปี (พ.ศ. 2588)	49
3.2 ฝนในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี	50
ก. การศึกษาพายุฝน	51
ข. สถิติปริมาณฝน	52
ค. การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ของการเกิดฝน	54
ง. การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้	56
จ. สรุปการศึกษาข้อมูลฝน	58
3.3 สถานการณ์น้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี	59
ก. สถานการณ์น้ำท่วมในอดีต	59

ข. สภาพน้ำท่วมและความเสียหาย	62
ค. สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี	63
ง. การดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมของจังหวัดอุดรธานี	63
3.4 ภายฉายอนาคตสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี	65
ก. การจำลองสถานการณ์น้ำท่วม	65
ข. ปริมาณน้ำท่าจากพายุฝน 24 ชั่วโมง	69
ค. ปริมาตรน้ำท่วมขังสูงสุด	86
4. สรุปและข้อเสนอแนะ	98
5. เอกสารอ้างอิง	100

สารบัญรูป

รูปที่ 2-1	อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี	4
รูปที่ 2-2	การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 6 สถานี	10
รูปที่ 2-3	เว็บไซต์หน่วยงาน US Army Corps of Engineers (www.hec.usace.army.mil)	12
รูปที่ 2-4	ผังแสดงช่วงเวลาปฏิบัติการของดาวเทียม Landsat	14
รูปที่ 2-5	ขอบเขตพื้นที่การวิเคราะห์ด้วยข้อมูล DEM ความละเอียด 30 เมตร	18
รูปที่ 2-6	การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาจากข้อมูล DEM	19
รูปที่ 2-7	การกำหนดโครงข่ายลำน้ำจากข้อมูล DEM	20
รูปที่ 2-8	ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำย่อยจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล DEM	21
รูปที่ 2-9	การกำหนดลุ่มน้ำย่อยและประเมินพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์ ของลุ่มน้ำย่อยสำหรับ แบบจำลอง HEC-HMS	22
รูปที่ 2-10	SCS 24-hr Rainfall Distribution	23
รูปที่ 2-11	ลักษณะรูปตัดทางน้ำที่ตำแหน่งสะพาน (USACE, 2016)	30
รูปที่ 2-12	รูปตัดตามยาวของฝื่อน้ำขณะไหลลอดสะพาน (USACE, 1995)	31
รูปที่ 2-13	สัมประสิทธิ์การไหล (Cd) (USACE, 1995)	32
รูปที่ 2-14	ลักษณะการไหลผ่านสะพานแบบน้ำไหลลอดประตูน้ำ	33
รูปที่ 2-15	ลักษณะการไหลผ่านสะพานแบบน้ำไหลลอดประตูน้ำ กรณีทำนน้ำสูง	33
รูปที่ 2-16	ลักษณะการไหลผ่านสะพาน แบบน้ำไหลลอดประตูน้ำและไหลข้ามฝาย	33
รูปที่ 3-1	พื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในปัจจุบัน (พ.ศ. 2558) จำแนกจาก ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 (28/10/2015)	37
รูปที่ 3-2	การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนครอุดรธานี พ.ศ. 2538, พ.ศ. 2549 และ พ.ศ. 2558	38
รูปที่ 3-3	ขอบเขตพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา	41

รูปที่ 3-4	แผนที่การประเมินพื้นที่น้ำท่วมในอดีต	44
รูปที่ 3-5	แผนที่การประเมินพื้นที่น้ำท่วมในอดีต เฉลี่ยตาม 41 พื้นที่ศึกษาย่อย	45
รูปที่ 3-6	ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความถี่น้ำรายปี	47
รูปที่ 3-7	แผนที่การทำนายเขตพื้นที่น้ำ (ค่า ISA ในสเกล 0-100) ในปี พ.ศ. 2588 (2045) โดยการ ใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554 (2011) เป็นฐานในการทำนาย	48
รูปที่ 3-8	ทิศทางมรสุมและพายุหมุนเขตร้อนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา	50
รูปที่ 3-9	ปริมาณฝนสะสมในปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2544 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย	52
รูปที่ 3-10	ปริมาณฝนและความถี่ของการเกิดของฝน ที่มีระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ที่ อ. เมือง จ.อุดรธานี	55
รูปที่ 3-11	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของพื้นที่ อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง	57
รูปที่ 3-12	พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 14 กรกฎาคม 2543	60
รูปที่ 3-13	พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 16 กันยายน 2543	60
รูปที่ 3-14	พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 19 กันยายน 2544	61
รูปที่ 3-15	ค่า Curve Number เฉลี่ยตามหน่วยวิเคราะห์ จากข้อมูลดินและพื้นที่ผิวกคลุมดิน	68
รูปที่ 3-16	การกำหนดพื้นที่ระบายน้ำลงสู่ห้วยหลวงในช่วงระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแรกกับประตูระบายน้ำ สามพร้าว	69
รูปที่ 3-17	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงระยะเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 2 ปี (98.3 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))	79
รูปที่ 3-18	ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงระยะเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 10 ปี (159.7 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))	80
รูปที่ 3-19	ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงระยะเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 25 ปี (190.6 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))	81
รูปที่ 3-20	ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงระยะเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 100 ปี (236.3 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))	82
รูปที่ 3-21	ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงระยะเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 500 ปี (289.9 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.	

	2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ)).....	83
รูปที่ 3-22	ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 10000 ปี (386.6 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ)).....	84
รูปที่ 3-23	การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมง ที่ PMP (835.0 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ)).....	85
รูปที่ 3-24	กราฟน้ำหลากผ่านแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย.....	90
รูปที่ 3-25	กราฟน้ำหลากผ่านแนวถนนสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง	92
รูปที่ 3-26	กราฟน้ำหลากผ่านพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี	94
รูปที่ 3-27	พื้นที่น้ำท่วมขังจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 1	95
รูปที่ 3-28	พื้นที่น้ำท่วมขังจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 2	96
รูปที่ 3-29	พื้นที่น้ำท่วมขังจำแนกจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 (กันยายน 2544)	96
รูปที่ 3-30	พื้นที่น้ำท่วมขังจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 3	97

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง	6
ตารางที่ 2-2	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา	7
ตารางที่ 2-3	รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปีที่รวบรวมได้ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง	8
ตารางที่ 2-4	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง	9
ตารางที่ 2-5	สรุปรายละเอียดช่วงระยะเวลาที่ดาวเทียม Landsat สํารวจข้อมูลและตัวรับรู้	13
ตารางที่ 2-6	ช่วงเวลาปฏิบัติการของดาวเทียม Landsat.....	14
ตารางที่ 2-7	คุณลักษณะของตัวรับรู้ Multispectral Scanner (MSS)	15
ตารางที่ 2-8	คุณลักษณะของตัวรับรู้ Thematic Mapper (TM)	15
ตารางที่ 2-9	คุณลักษณะของตัวรับรู้ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).....	15
ตารางที่ 2-10	คุณลักษณะของตัวรับรู้ Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS).....	16
ตารางที่ 2-11	ค่า Curve Number ของพื้นที่เมือง สำหรับ AMC II.....	25
ตารางที่ 2-12	ลักษณะของกลุ่มดินตามศักยภาพของการทำให้เกิดน้ำผิวดิน.....	26

ตารางที่ 2-13	ค่า Curve Number กรณีสภาพความชื้นในดินชนิด II (AMC II) เปรียบเทียบกับชนิด I (AMC I) และชนิด III (AMC III)	26
ตารางที่ 2-14	โคออดิเนตของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไม่มีหน่วยของ SCS	28
ตารางที่ 3-1	รายละเอียดพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา	42
ตารางที่ 3-2	พายุที่ทำให้เกิดปริมาณฝนสะสม 3 วันสูงสุด 10 อันดับแรกของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย	51
ตารางที่ 3-3	สถิติปริมาณฝนสูงสุด ที่มีระยะเวลาตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน	53
ตารางที่ 3-4	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของอำเภอเมืองอุดรธานี	54
ตารางที่ 3-5	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของอำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง	57
ตารางที่ 3-6	ปริมาณฝนในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงในเขตเมืองอุดรธานี	67
ตารางที่ 3-7	สถานการณ์จำลองที่ได้จากการไขว้สถานการณ์น้ำฝน กับสภาพพื้นผิวปกคลุมดิน จำนวน 28 สถานการณ์	67
ตารางที่ 3-8	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมด	70
ตารางที่ 3-9	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนล่าง	72
ตารางที่ 3-10	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนบน	73
ตารางที่ 3-11	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำลงลำน้ำสายหลัก	74
ตารางที่ 3-12	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนล่าง	75
ตารางที่ 3-13	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนกลางส่วนที่ 1 ถนนวงแหวนด้านตะวันออก	76
ตารางที่ 3-14	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำตอนกลางส่วนที่ 2 เทศบาลนครอุดรธานี	77
ตารางที่ 3-15	ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนบน ถนนวงแหวนด้านตะวันตก	78
ตารางที่ 3-16	ปริมาตรน้ำท่วมขังสูงสุด และ ระดับน้ำท่วมขัง ปี 2588 (2045)	88
ตารางที่ 3-17	ปริมาตรน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่แอ่งระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแรกกับถนนอุดรธานี-หนองคาย	89
ตารางที่ 3-18	ปริมาตรน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่แอ่งประตูระบายน้ำสามพร้าว	91
ตารางที่ 3-19	ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี	93

1. บทนำ

ก. ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

อุดรธานีเป็นเมืองที่มีความสำคัญในฐานะที่เป็นเมืองหลักด้านเศรษฐกิจการค้าชายแดนกับ สปป. ลาว และเป็นศูนย์กลางด้านการคมนาคมและการขนส่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ USAID, 2556) พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียงมีความเสี่ยงจากอุทกภัยทั้งที่เกิดจากฝนที่ตกในพื้นที่และเป็นพื้นที่รับน้ำหลากจากพื้นที่สูงทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ยิ่งไปกว่านั้นอุทกภัยมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปและคาดเดาได้ยากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทั้งจากการพัฒนาของจังหวัดโดยแรงขับเคลื่อนทางด้านเศรษฐกิจและสังคม และ สถานการณ์ที่ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันโดยอิทธิพลจากภาวะโลกร้อน

ถึงแม้ว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนจะเป็นที่ยอมรับในระดับสากล แต่การตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงฝนจากข้อมูลที่บันทึกไว้ ยืนยันแนวโน้มได้ยาก เนื่องจาก มีระยะเวลาการบันทึกไม่นานและข้อมูลมีความแปรปรวนสูง ภาวะโลกร้อนดูเหมือนจะมีผลให้ความเข้มข้นมากขึ้น (rainfall intensity) ในขณะที่ การเพิ่มหรือลดลงของปริมาณฝนโดยรวมผันแปรต่างกันไปตามภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก (Chiew et al., 2008)

สำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการน้ำท่วมขังในเขตเมือง Wu และคณะ (2012) ได้ทำการประเมินปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการน้ำท่วมขังในเขตมหานครเซี่ยงไฮ้ ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิว การก่อสร้างขยายระบบระบายน้ำในเมือง และ ความแปรปรวนของฝน นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงจุดสนใจของงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่วมขังในเขตเมือง 3 แนวทาง (Wu et al., 2012) กล่าวคือ (1) การประเมินความเสี่ยงของน้ำท่วมขังในรูปของความเสียหายที่เกิดขึ้น (Quan, 2014a) (2) การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ขอบเขตและความรุนแรงของน้ำท่วมขังโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Chen et al., 2009) หรือ ใช้จำลองการไหลแบบ 1 มิติ ร่วมกับ แบบ 2 มิติ (Hsu et al., 2000; Schmitt et al., 2004) (3) การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน ต่อความเสี่ยงของน้ำท่วมขัง (Quan et al., 2010) ซึ่งบางครั้งอาจรวมถึงการใช้ข้อมูลภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Wu et al., 2013)

การจำลองน้ำท่วมขังอาจจัดแบ่งได้ตามมิติของแบบจำลอง (Sander, 2007) นับได้ตั้งแต่แบบจำลองแบบศูนย์มิติ (0D) ที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณการไหลจากโค้งน้ำท่า (rating curve) แบบจำลองหนึ่งมิติ (1D) ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ HEC-RAS, MIKE11 แบบจำลองสองมิติ (2D) ที่หาคำตอบสมการ shallow-water แบบจำลองสามมิติ (3D) ที่หาคำตอบสมการ Navier-Stokes และท้ายสุดเป็นแบบจำลองลูกผสม เช่น การใช้แบบจำลองแบบ 1 มิติ ร่วมกับ แบบ 2 มิติ (Hsu et al., 2000; Schmitt et al., 2004)

งานวิจัยนี้เป็นการใช้แบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่และข้อมูลที่มี สำหรับประเมินผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคตต่อภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนเมืองอำเภออุดรธานี

ข. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีทั้งในปัจจุบัน และ คาดการณ์ผลกระทบต่อน้ำท่วมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการดำเนินงาน ดังนี้

1. เพื่อประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน
2. เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อน้ำท่วมในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี
3. เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อน้ำท่วมในพื้นที่กรณีศึกษาด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

2. เครื่องมือและวิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

ก. ขอบเขตและที่ตั้ง

1. ที่ตั้ง

จังหวัดอุดรธานีตั้งอยู่บนที่ราบสูงในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นดินแดนที่มีอารยธรรมเก่าแก่แห่งหนึ่งของโลก ห่างจากกรุงเทพมหานครตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 ระยะทาง 564 กิโลเมตร มีพื้นที่ขนาด 11,730.302 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,331,438.75 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.29 ของพื้นที่ประเทศ โดยจัดอยู่ในลำดับที่ 11 ของประเทศ เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับ 4 ใน 19 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองจากจังหวัดนครราชสีมา อุบลราชธานี และชัยภูมิ พื้นที่โดยทั่วไปของจังหวัดอุดรธานีเป็นพื้นที่ราบสูง บางส่วนเป็นพื้นที่สูง ภูเขา พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และที่ราบลุ่ม มีที่ตั้งอยู่ที่พิกัด เส้นรุ้ง (ละติจูด) 17 องศาเหนือ และเส้นแวง (ลองจิจูด) 103 องศาตะวันออก

2. อาณาเขตติดต่อ

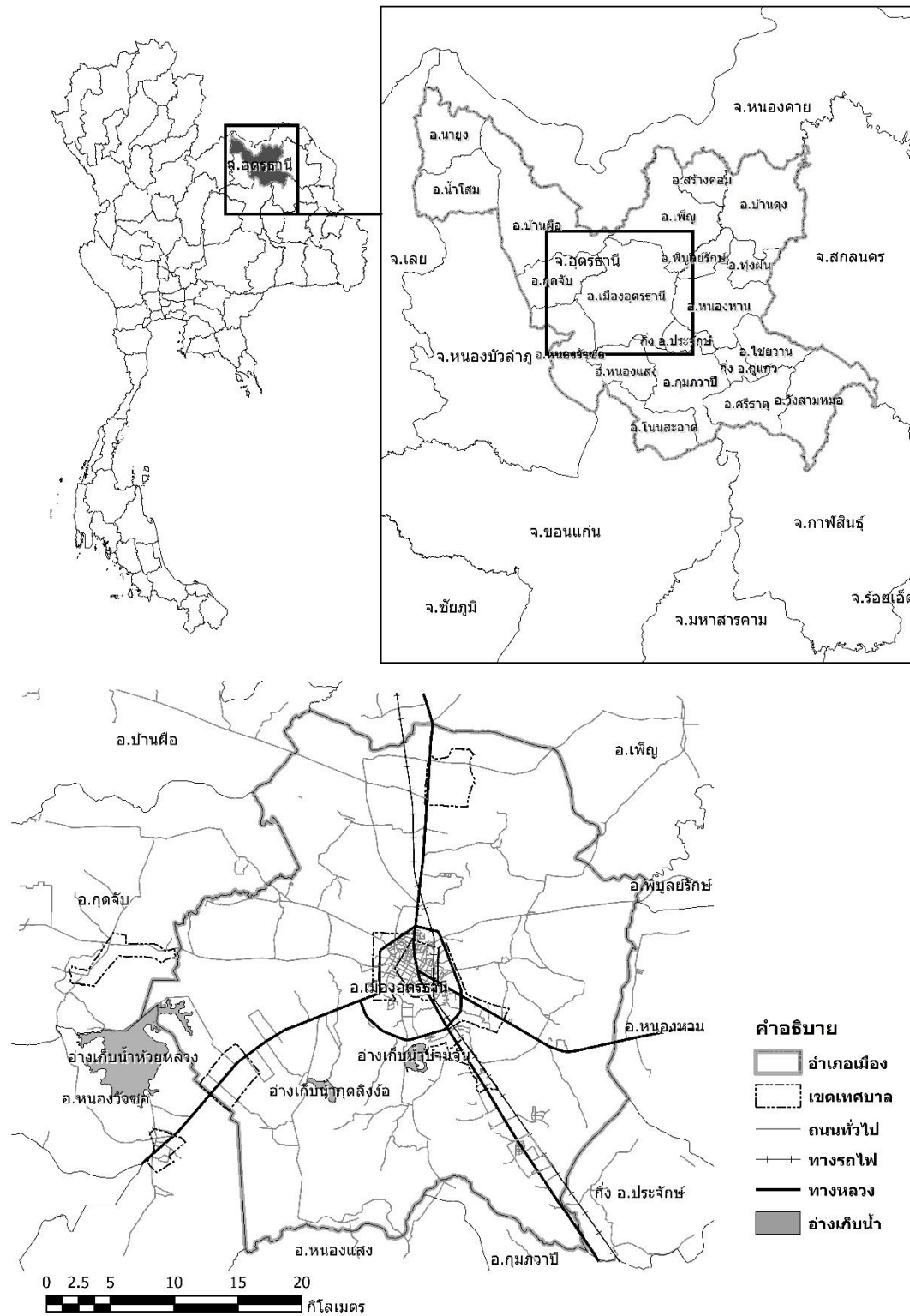
จังหวัดอุดรธานี มีอาณาเขตติดกับจังหวัดอื่น ๆ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดกับ จังหวัดหนองคาย
ทิศใต้	ติดกับ จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดกาฬสินธุ์
ทิศตะวันออก	ติดกับ จังหวัดสกลนคร และจังหวัดกาฬสินธุ์
ทิศตะวันตก	ติดกับ จังหวัดเลย และจังหวัดหนองบัวลำภู

3. หน่วยการปกครอง

จังหวัดอุดรธานี แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 20 อำเภอ 156 ตำบล 1,880 หมู่บ้าน (ในเขตเทศบาลและนอกเขตเทศบาล) หน่วยงานบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ประกอบด้วยองค์การบริหารส่วนจังหวัด 1 แห่ง เทศบาลนคร 1 แห่ง เทศบาลเมือง 3 แห่ง เทศบาลตำบล 49 แห่ง และองค์การบริหารส่วนตำบล 127 แห่ง (จังหวัดอุดรธานี, 2557)

จังหวัดอุดรธานี มีจำนวนประชากรทั้งสิ้นจำนวน 1,548,719 คน จำนวนครัวเรือน 411,868 ครัวเรือน เป็นชาย 773,214 คน (ร้อยละ 49.93) เป็นหญิง 775,505 คน (ร้อยละ 50.07) ความหนาแน่นประชากร 131.657 คน ต่อตารางกิโลเมตร และมีจำนวนประชากรที่อยู่ในเขตเทศบาลจำนวนทั้งสิ้น 493,141 คน แยกเป็นชาย 243,315 คน และหญิง 249,826 คน (จังหวัดอุดรธานี, 2557)



รูปที่ 2-1 อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี

4. ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย (1) พื้นที่ศึกษาผลกระทบจากน้ำท่วมเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี พิจารณาพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานีและเทศบาลที่มีพื้นที่ติดกัน ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่ภายในถนนวงแหวนรอบเมืองและพื้นที่รอบนอกถนนวงแหวนรอบเมือง (2) พื้นที่รับน้ำฝน (ขอบเขตการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยา) จะพิจารณาครอบคลุมพื้นที่สูงทางทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของตัวเมืองอุดรธานี โดยจะใช้แนวเส้นปันน้ำในการแบ่งพื้นที่และพิจารณาตามทิศทางการไหลของน้ำ จนบรรจบกับห้วยหลวง

พื้นที่ศึกษาเป็นเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี ครอบคลุมพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่เทศบาลใกล้เคียง พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบเชิงเขา มีความสูงไม่มากนัก มีลักษณะค่อนข้างแบนราบ มีสภาพพื้นที่เป็นแอ่งลาดเทจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เทศบาลนครอุดรธานีมีพื้นที่ขนาด 47.70 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ ตำบลหนองบัว ตำบลบ้านจั่น ตำบลบ้านเลื่อม ตำบลหนองขอนกว้าง ตำบลหมากแข้ง และบางส่วนของตำบลนาดี โดยแบ่งออกเป็น 101 ชุมชน

พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาที่สำคัญของลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 3,933 ตารางกิโลเมตร ลำห้วยหลวง เป็นลำห้วยธรรมชาติขนาดใหญ่และเป็นคลองระบายน้ำทำหน้าที่ระบายน้ำจากท้ายเขื่อนห้วยหลวง ผ่านด้านทิศเหนือของเทศบาลนครอุดรธานี ไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย ลำห้วยที่น้ำไหลผ่านเขตเทศบาลนครอุดรธานี ได้แก่ ลำห้วยหมากแข้ง ลำห้วยริน-โสกคู่ ห้วยดาน ห้วยมั่ง และห้วยหลวง โดยมีลำห้วยที่ไหลผ่านเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี 2 สาย คือ ห้วยหมากแข้ง และห้วยมั่ง ซึ่งเป็นเส้นทางระบายน้ำธรรมชาติออกจากตัวเมือง และในเขตเมืองมีอ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง คือ หนองประจักษ์ศิลปาคม และหนองสิม

ข. ปริมาณฝน

จังหวัดอุดรธานีจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม ได้ประเมินปริมาณน้ำฝนของจังหวัดอุดรธานีว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เฉลี่ยตลอดปี 1,498.7 มิลลิเมตร มีฝนตก 21 วัน ฝนตกสูงสุดใน 24 ชั่วโมงเคยวัดได้ 247.0 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2417 และเมื่อพิจารณาปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำห้วยหลวงสามารถแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง ได้ดังตารางที่ 2-1 และผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ดังแสดงได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดห้วยน้ำฝั้นที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

สถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	ช่วงสถิติปีข้อมูล	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)										ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)					
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.- เม.ย.)	รายปี	
1. อ.เมือง จ.หนองคาย	30013	2495 - 2556	85.02	235.19	262.12	259.59	320.96	288.18	79.56	12.93	4.12	6.59	16.34	34.45	1,445.59	159.44	1,605.03	
2. อ.โพนพิสัย จ.หนองคาย	30022	2495 - 2553	88.38	259.21	372.58	350.58	442.19	324.07	76.99	7.41	1.81	6.50	19.14	32.07	1,825.60	155.31	1,980.91	
3. อ.ศรีเชียงใหม่ จ.หนองคาย	30082	2509 - 2556	83.05	224.12	263.54	284.59	320.88	286.56	75.99	8.32	1.86	5.34	11.39	32.26	1,455.68	142.22	1,597.90	
4. ท่าแร่บายน้ำห้วยวังซู อ.เมือง จ.หนองคาย	30090	2497 - 2544	72.69	208.68	262.89	241.58	296.06	255.09	74.12	16.00	4.04	5.67	10.99	25.59	1,338.42	134.79	1,473.21	
5. อ.โซ่พิสัย จ.หนองคาย	30242	2526 - 2553	80.50	224.32	249.09	421.79	490.96	295.11	70.18	6.51	1.66	4.64	11.80	22.17	1,951.44	127.29	2,078.74	
6. อ.เมือง จ.อุดรธานี	68013	2495 - 2556	76.57	201.32	227.29	212.05	288.04	261.06	85.30	10.66	3.49	5.50	20.18	40.55	1,275.05	156.96	1,432.01	
7. อ.เพ็ญ จ.อุดรธานี	68022	2495 - 2556	90.05	232.34	271.32	278.18	343.40	287.06	92.56	8.81	3.22	4.00	12.09	35.00	1,504.86	153.17	1,658.04	
8. อ.หนองหาน จ.อุดรธานี	68032	2496 - 2556	59.60	188.94	243.03	225.99	263.77	226.58	74.62	8.83	1.29	1.78	12.80	29.71	1,222.93	114.01	1,336.94	
9. อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี	68052	2495 - 2555	60.93	156.62	199.39	193.08	258.77	212.40	71.60	6.44	1.74	2.18	9.67	27.33	1,091.88	108.28	1,200.16	
10. อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	68062	2497 - 2556	61.94	201.71	214.41	227.11	255.45	257.72	75.61	7.40	2.99	5.78	11.48	33.17	1,232.01	122.77	1,354.78	
11. นิคมสร้างตนเองเชิงพิณ อ.เมือง จ.อุดรธานี	68082	2504 - 2556	56.81	161.86	177.72	185.12	234.26	204.85	88.72	10.00	1.92	6.04	15.41	33.83	1,052.54	123.99	1,176.53	
12. อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี	68212	2517 - 2556	77.76	222.35	273.08	312.25	397.97	255.73	74.95	8.17	2.69	7.98	17.88	31.94	1,536.33	146.41	1,682.74	
13. อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68232	2517 - 2556	61.63	191.12	193.22	185.16	260.61	246.69	83.21	9.18	1.48	6.13	12.78	27.34	1,160.01	118.53	1,278.54	
14. อ.กุดจับ จ.อุดรธานี	68242	2517 - 2554	55.03	183.68	208.39	213.93	273.73	263.59	64.83	9.27	0.00	2.11	9.76	17.98	1,208.14	94.15	1,302.29	
15. อ.โนนสะอาด จ.อุดรธานี	68252	2517 - 2555	49.52	137.27	153.38	180.53	220.25	205.12	89.16	7.12	2.87	7.10	9.55	21.02	985.72	97.19	1,082.91	
16. อ.สร้างคอม จ.อุดรธานี	68372	2523 - 2555	70.62	220.94	291.10	320.14	391.43	258.78	67.72	12.31	2.49	3.67	16.98	30.81	1,261.09	127.86	1,388.95	
17. อ.ไชยวาน จ.อุดรธานี	68402	2529 - 2556	63.43	173.90	220.29	237.98	295.16	262.72	71.05	10.12	2.84	3.05	4.69	13.11	25.99	1,012.47	121.33	1,133.80
18. ห้วยหลวง (KH - 53) อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68430	2531 - 2544	66.84	195.76	190.68	172.58	201.82	192.39	59.24	7.66	3.05	4.69	13.11	25.99	1,012.47	121.33	1,133.80	
19. อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู	75012	2495 - 2555	66.41	154.99	169.19	157.65	191.34	199.98	71.62	7.18	2.78	4.65	11.09	20.67	944.77	112.77	1,057.54	
20. อ.ศรีบุญเรือง จ.หนองบัวลำภู	75022	2518 - 2555	67.83	161.87	140.11	143.91	177.56	233.27	105.91	12.58	5.05	4.08	13.12	33.30	962.64	135.95	1,098.59	
21. อ.นาแก จ.หนองบัวลำภู	75032	2514 - 2555	72.07	134.63	170.24	145.96	201.99	244.35	100.54	12.19	1.39	6.72	14.37	20.54	997.73	127.28	1,125.01	
22. อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	75042	2517 - 2556	78.97	204.45	231.71	223.59	299.37	314.70	106.98	13.74	3.01	6.39	13.29	43.45	1,380.80	158.85	1,539.64	
23. อ.โนนสัง จ.หนองบัวลำภู	75052	2501 - 2556	51.84	146.06	143.88	160.93	206.38	243.21	102.16	7.15	2.94	1.83	13.24	22.18	1,002.62	99.19	1,101.81	
24. นิคมสร้างตนเองโนนสัง จ.หนองบัวลำภู	75062	2513 - 2556	81.31	153.30	151.21	164.58	219.45	206.55	98.16	13.52	2.62	4.20	13.57	26.82	993.25	142.04	1,135.28	
25. แม่น้ำโขงที่บ้านโพธิ์พิสัย จ.หนองคาย	020116	2513 - 2555	96.19	240.03	353.49	370.49	421.74	282.20	73.10	14.09	3.33	9.84	19.42	37.43	1,741.05	180.30	1,921.35	
26. ห้วยขวาง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	022011	2516 - 2555	68.32	194.22	226.45	229.24	280.53	234.55	77.96	13.51	3.64	7.93	15.82	41.05	1,242.95	150.27	1,393.22	
27. ยอดหัวยาง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	022012	2516 - 2540	72.15	129.20	216.15	207.85	247.17	217.73	75.66	6.59	6.18	8.27	14.88	41.66	1,093.77	149.72	1,243.49	
28. หนองนาคำ อ.เมือง จ.อุดรธานี	022101	2513 - 2555	71.69	186.57	222.41	211.72	262.32	219.92	78.37	9.47	3.08	5.09	16.03	38.80	1,181.31	144.15	1,325.46	
เฉลี่ย			70.97	190.17	232.08	232.79	287.98	249.29	80.92	9.90	2.77	5.43	13.81	30.74	1,273.24	133.62	1,406.86	
สูงสุด			96.19	259.21	449.09	421.79	490.96	324.07	106.98	16.00	6.18	9.84	20.18	43.45	1,951.44	180.30	2,078.74	
ต่ำสุด			49.52	129.20	140.11	143.91	177.56	192.39	59.24	6.44	0.00	1.78	9.55	17.98	944.77	94.15	1,057.54	

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน

ตารางที่ 2-2 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

ชื่อสถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	ช่วงปีสถิติข้อมูล	ช่วงเวลา	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ (มม.)										
				2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
1. อ.เมือง จ.อุดรธานี	68013	2495 - 2556	1 วัน	98.3	135.3	159.7	183.2	190.6	213.6	236.3	259.0	288.9	311.5	386.6
			2 วัน	128.1	170.2	198.2	225.0	233.5	259.6	285.6	311.5	345.7	371.5	457.2
			3 วัน	146.4	190.7	220.0	248.2	257.1	284.6	311.8	339.0	374.9	402.0	491.9
2. อ.เพ็ญ จ.อุดรธานี	68022	2495 - 2556	1 วัน	112.0	158.7	189.5	219.2	228.5	257.5	286.2	314.8	352.6	381.1	475.9
			2 วัน	144.6	196.1	230.1	262.8	273.2	305.1	336.8	368.4	410.0	441.5	546.1
			3 วัน	168.4	223.2	259.5	294.2	305.3	339.3	373.0	406.6	451.0	484.5	595.8
3. อ.หนองหาน จ.อุดรธานี	68032	2496 - 2555	1 วัน	92.8	118.2	135.1	151.2	156.3	172.1	187.8	203.4	224.0	239.6	291.3
			2 วัน	122.6	158.1	181.6	204.2	211.3	233.4	255.3	277.1	305.8	327.5	399.7
			3 วัน	141.9	182.0	208.6	234.1	242.2	267.2	291.9	316.5	349.1	373.6	455.3
4. อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี	68212	2517 - 2556	1 วัน	109.6	156.4	187.4	217.1	226.6	255.6	284.5	313.2	351.1	379.7	474.8
			2 วัน	139.4	193.7	229.7	264.2	275.2	308.9	342.4	375.7	419.7	453.0	563.4
			3 วัน	165.5	223.1	261.2	297.7	309.3	345.0	380.5	415.8	462.4	497.6	614.5
5. อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68232	2517 - 2556	1 วัน	90.1	121.5	142.3	162.3	168.6	188.1	207.5	226.8	252.2	271.5	335.3
			2 วัน	110.1	147.2	171.7	195.2	202.7	225.7	248.5	271.3	301.3	324.0	399.3
			3 วัน	128.4	172.3	201.4	229.2	238.1	265.3	292.3	319.3	354.8	381.7	470.8
6. อ.สร้างคอม จ.อุดรธานี	68372	2523 - 2556	1 วัน	96.9	131.8	154.8	177.0	184.0	205.7	227.1	248.5	276.8	298.1	369.0
			2 วัน	133.9	181.7	213.4	243.8	253.4	283.1	312.6	342.0	380.7	410.0	507.2
			3 วัน	160.3	222.5	263.7	303.2	315.8	354.4	392.7	430.9	481.3	519.3	645.7
7. อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	75042	2517 - 2556	1 วัน	86.6	110.2	125.8	140.7	145.5	160.1	174.6	189.0	208.1	222.5	270.4
			2 วัน	116.7	152.9	176.8	199.8	207.1	229.5	251.8	274.0	303.3	325.4	398.9
			3 วัน	139.5	186.7	217.9	247.9	257.4	286.6	315.7	344.7	382.9	411.8	507.6

ค. ปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี ได้รวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 6 สถานี ดังรายชื่อสถานีในตารางที่ 2-3 และค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีดังในตารางที่ 2-4 ข้อมูลที่รวบรวมได้มีค่าช่วงพิสัยของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน 7.03 – 18.82 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร และในกรณีที่พิจารณาเฉพาะสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง จำนวน 2 สถานีพบว่า มีค่าช่วงพิสัยของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน 7.03 – 7.06 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร นอกจากนี้ได้แสดงการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียงไว้ในรูปที่ 2-2 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำท่ามากในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และมีค่าน้อยในเดือนธันวาคมถึงเมษายน

**ตารางที่ 2-3 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปีที่รวบรวมได้ในพื้นที่ศึกษาและ
ข้างเคียง**

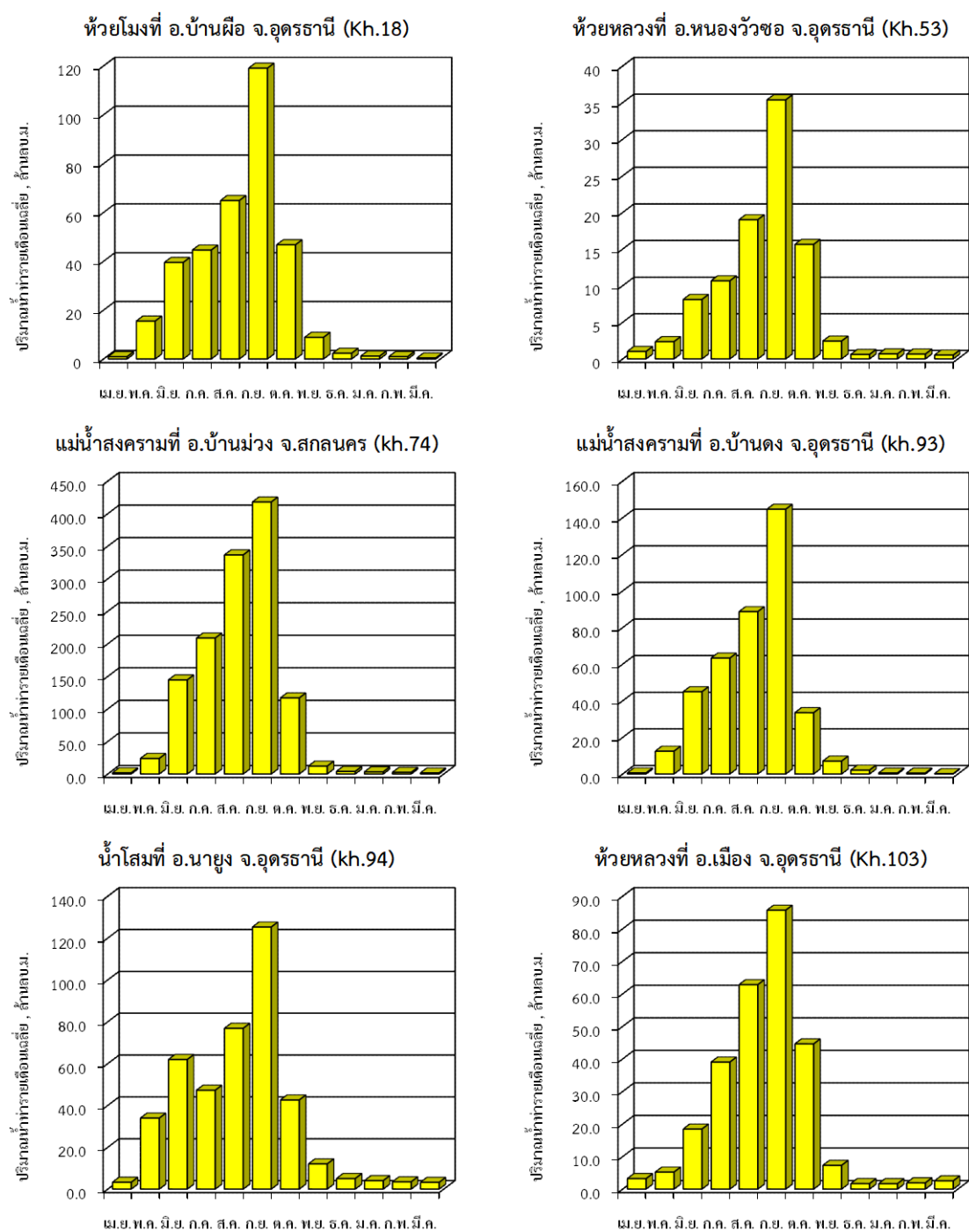
สถานีวัดน้ำท่า	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ตำแหน่ง		ช่วงสถิติ ปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายปี (ล้าน ลบ.ม.)		
			ละติจูด	ลองจิจูด		เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1. ห้วยโมงที่บ้านนาอ่าง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	Kh.18	1,307.0	17-34-39	102-20-19	2500 - 2555	344.73	893.92	86.25
2. ห้วยหลวงที่บ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	Kh.53	436.0	17-15-53	102-35-48	2513 - 2555	97.02	227.60	14.86
3. แม่น้ำสงครามที่บ้านท่าห้วยหลัง อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร	Kh.74	2,145.0	17-49-05	103-23-00	2527 - 2555	1,272.91	2,213.20	450.66
4. แม่น้ำสงครามที่บ้านโคกคำไหล อ.บ้านดง จ.อุดรธานี	Kh.93	707.0	17-33-22	103-20-20	2540 - 2555	398.18	684.60	146.77
5. น้ำโสมที่บ้านวังเลา อ.นาูง จ.อุดรธานี	Kh.94	869.0	17-58-04	102-14-46	2541 - 2549	418.62	572.70	235.05
6. ห้วยหลวงที่บ้านโนนตูม อ.เมือง จ.อุดรธานี	Kh.103	1,235.0	17-28-51	102-48-00	2547 - 2555	273.99	438.64	104.99

ที่มา: กรมชลประทาน

ตารางที่ 2-4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

สถานีวัดน้ำท่า	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงสถิติปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้านลบ.ม.)										ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)			Yield (ลิตร/ไร่/ตร.กม.)		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.)		ฤดูแล้ง (พ.ย.- เม.ย.)	รายปี
1. ห้วยโสมที่บ้านนาอ่าง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	Kh.18	1,307.0	2500 - 2555	0.91	15.48	39.49	44.58	64.86	119.03	46.73	8.84	2.32	1.16	0.95	0.39	330.17	14.56	344.73	8.36
2. ห้วยหลวงที่บ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	Kh.53	436.0	2513 - 2555	1.01	2.35	8.11	10.66	19.00	35.36	15.63	2.43	0.60	0.68	0.65	0.52	91.13	5.89	97.02	7.06
3. แม่น้ำสงครามที่บ้านท่าห้วยหลัง อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร	Kh.74	2,145.0	2527 - 2555	1.73	23.82	144.47	208.78	336.48	417.76	116.77	12.07	3.85	3.20	2.44	1.55	1,248.07	24.83	1,272.91	18.82
4. แม่น้ำสงครามที่บ้านโคกคำโหล อ.บ้านดง จ.อุดรธานี	Kh.93	707.0	2540 - 2555	0.55	12.45	44.92	63.28	88.67	144.59	33.46	7.03	2.10	0.50	0.47	0.16	387.37	10.81	398.18	17.86
5. น้ำโสมที่บ้านวังเลา อ.นาแก จ.อุดรธานี	Kh.94	869.0	2541 - 2549	3.24	33.91	61.91	47.22	76.83	125.24	42.56	12.01	5.02	4.01	3.46	3.20	387.67	30.94	418.62	15.28
6. ห้วยหลวงที่บ้านโนนตูม อ.เมือง จ.อุดรธานี	Kh.103	1,235.0	2547 - 2555	3.21	5.22	18.43	39.01	62.80	85.67	44.60	7.28	1.67	1.65	1.91	2.53	255.73	18.25	273.99	7.03
เฉลี่ย				1.78	15.54	52.89	68.92	108.11	154.61	49.96	8.28	2.59	1.87	1.65	1.39	450.02	17.55	467.57	12.40
				3.24	33.91	144.47	208.78	336.48	417.76	116.77	12.07	5.02	4.01	3.46	3.20	1,248.07	30.94	1,272.91	18.82
ต่ำสุด				0.55	2.35	8.11	10.66	19.00	35.36	15.63	2.43	0.60	0.50	0.47	0.16	91.13	5.89	97.02	7.03

ที่มา: กรมชลประทาน



รูปที่ 2-2 การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 6 สถานี

2.2 เครื่องมือและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

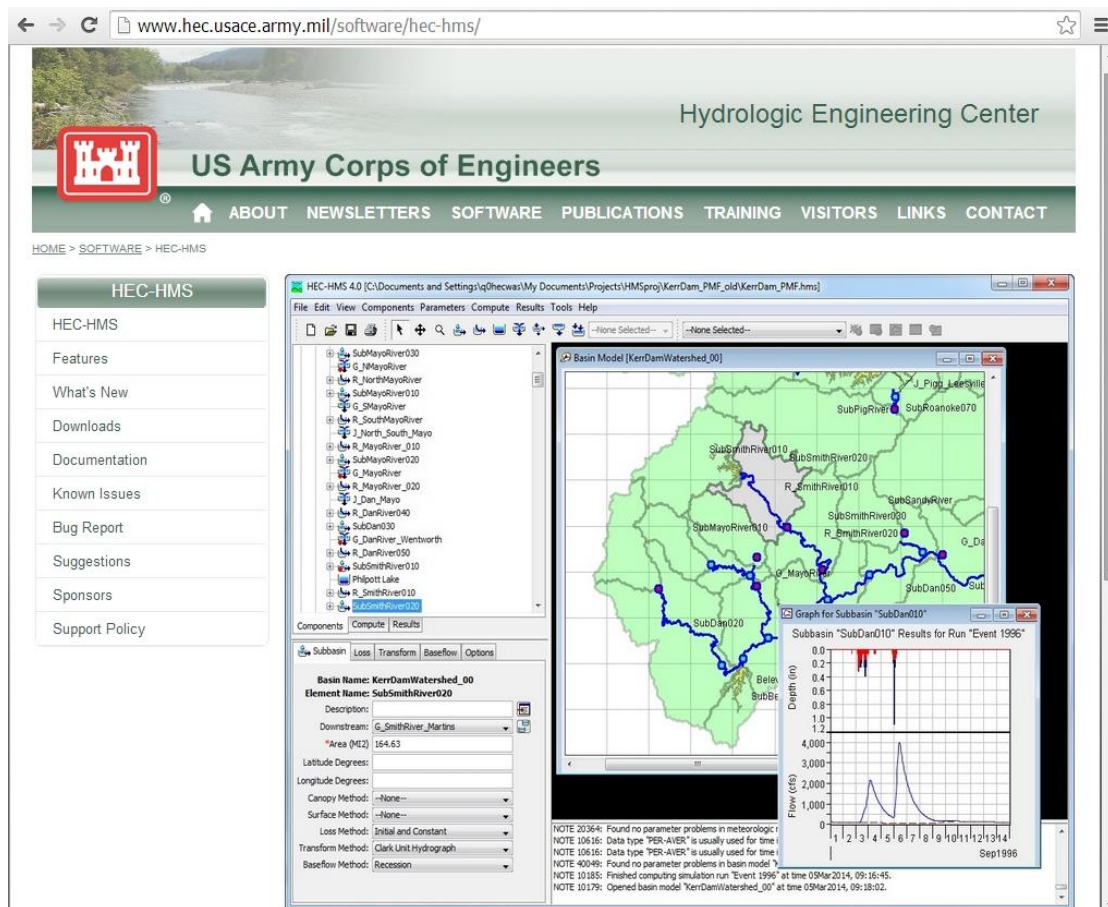
ก. แบบจำลองทางอุทกวิทยา HEC-HMS และ HEC-GeoHMS

Hydrologic Engineering Center (HEC) เป็นหน่วยงานในสังกัด U.S. Army Corps of Engineers (USACE) ทำงานทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับอุทกวิทยาของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ชลศาสตร์ของแม่น้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอน สถิติทางอุทกวิทยาและการวิเคราะห์ความเสี่ยง การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำ การวิเคราะห์การวางแผน การจัดการควบคุมน้ำตามเวลาจริง (real time) แบบจำลองที่หน่วยงาน HEC ได้วิจัยและพัฒนาอยู่จำนวนมาก ซึ่งได้รับความนิยมทั้งหน่วยงานของรัฐและสถาบันการศึกษา แบบจำลองที่ได้เป็นที่รู้จัก อาทิ HEC-HMS, HEC-RAS และ HEC-ResSim

แบบจำลอง HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) (USACE, 2000, USACE, 2015a, USACE, 2015b) เป็นแบบจำลองสำหรับจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาของระบบลุ่มน้ำ ซอฟต์แวร์ประกอบด้วย โมดูลการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาแบบดั้งเดิมหลายอย่าง เช่น กระบวนการซึมผ่านผิวดิน กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย และการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก รวมทั้งมีการเพิ่มเติมกระบวนการที่จำเป็นสำหรับการจำลองแบบต่อเนื่อง ได้แก่ การคายระเหย การละลายหิมะ และปริมาณความชื้นในดิน นอกจากนี้ แบบจำลองยังมีความสามารถขั้นสูงในการจำลองน้ำท่าแบบกริด

ซอฟต์แวร์มีสภาพแวดล้อมการทำงานแบบบูรณาการอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วย ฐานข้อมูล เครื่องมือการนำเข้าข้อมูล เครื่องมือการคำนวณ เครื่องมือการรายงานผล ส่วนติดต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ช่วยให้ผู้ใช้ทำงานระหว่างส่วนต่าง ๆ ของซอฟต์แวร์ร่วมกันอย่างราบรื่น ผลการจำลองจะถูกเก็บไว้ในระบบการจัดเก็บข้อมูลใน HEC-DSS (Data Storage System) และสามารถนำไปใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์อื่น ๆ

โปรแกรม HEC-GeoHMS (USACE, 2013) เป็นส่วนเพิ่มเติม(extension) ของแบบจำลองระบบอุทกวิทยา โปรแกรมนี้ใช้เครื่องมือ Spatial Analyst ในการพัฒนา ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศเชิงตัวเลข (digital terrain data) นั้น HEC-GeoHMS ทำการแปลงข้อมูลเส้นทางการระบายน้ำ (drainage path) และขอบเขตลุ่มน้ำ (watershed boundary) เป็นโครงสร้างข้อมูลทางอุทกวิทยาที่แสดงถึงโครงข่ายการระบายน้ำ (drainage network) โปรแกรมช่วยให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ลักษณะของลุ่มน้ำ สามารถวิเคราะห์เชิงพื้นที่ และสามารถกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและเส้นทางน้ำได้ ส่วนการติดต่อใช้งาน HEC-GeoHMS ทำงานผ่าน เมนู เครื่องมือ ปุ่ม ช่วยให้ผู้ใช้สามารถจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าทางอุทกวิทยาสำหรับ HEC-HMS ได้สะดวก



รูปที่ 2-3 เว็บไซต์หน่วยงาน US Army Corps of Engineers (www.hec.usace.army.mil)

ข. ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT

การสำรวจระยะไกล (remote sensing) เป็นศาสตร์และศิลป์ของการได้มาซึ่งสารสนเทศเกี่ยวกับวัตถุพื้นที่หรือปรากฏการณ์ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย การสำรวจระยะไกลเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบสามส่วน (สมพร, 2543) กล่าวคือ (1) ระบบบันทึกข้อมูลชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลจากวัตถุหรือพื้นที่เป้าหมาย (2) พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า และ (3) การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลภาพที่บันทึกด้วยสายตาและด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อเอาข้อมูลที่ได้ออกมาใช้ประโยชน์

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautic and Space Administration, NASA) ได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรพิภพดวงแรกของโลก ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) ขึ้นโคจรรอบโลกเป็นผลสำเร็จ เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2515 (ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT-1) และได้ส่ง LANDSAT-2 เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2518 LANDSAT-3 เมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2521 LANDSAT-4 เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2525 LANDSAT-5 เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2527 (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2538) วันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2542 ดาวเทียม LANDSAT-7 ได้ถูกส่งขึ้นปฏิบัติงาน เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2557 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา ยังจรวดปล่อยดาวเทียมดวงล่าสุด Landsat 8 ขึ้นสู่อวกาศ (ตารางที่ 2-6 และ รูปที่ 2-4) สรุปรายละเอียดช่วงระยะเวลาที่ดาวเทียม Landsat สำรวจข้อมูลและตัวรับรู้ใน (ตารางที่ 2-5)

ตารางที่ 2-5 สรุปรายละเอียดช่วงระยะเวลาที่ดาวเทียม Landsat สำรวจข้อมูลและตัวรับรู้

Satellite Name	Sensor	Availability
Landsat 1,2,3	MSS	1972-1983
Landsat 4,5	TM	1982-2013
Landsat 7	ETM+	1999 -
Landsat 8	OLI/TIRS	2013 -

อุปกรณ์ระบบการบันทึกภาพ หรือ ตัวรับรู้ ของ LANDSAT-1, 2 และ 3 เรียกว่า MSS (Multispectral Scanner) มีจำนวน 4 ช่วงคลื่น (band) ครอบคลุมพื้นที่ 170 กม (แนวเหนือ-ใต้) x 185 กม.(แนวตะวันออก-ตะวันตก) (ตารางที่ 2-7)

ดาวเทียม LANDSAT-4 และ 5 มีระบบการบันทึกภาพ 2 ระบบ คือ ระบบกวาดหลายช่วงคลื่น MSS จำนวน 4 ช่วงคลื่น (เรียกชื่อจาก MSS ของ LANDSAT 1-3) และระบบ TM (Thematic Mapper) จำนวน 7 ช่วงคลื่น มีขนาด pixel 30 ม. (ยกเว้น band 6 มีขนาด 120 ม.) ครอบคลุมพื้นที่ 170 กม (แนวเหนือ-ใต้) x 183 กม.(แนวตะวันออก-ตะวันตก) (ตารางที่ 2-8)

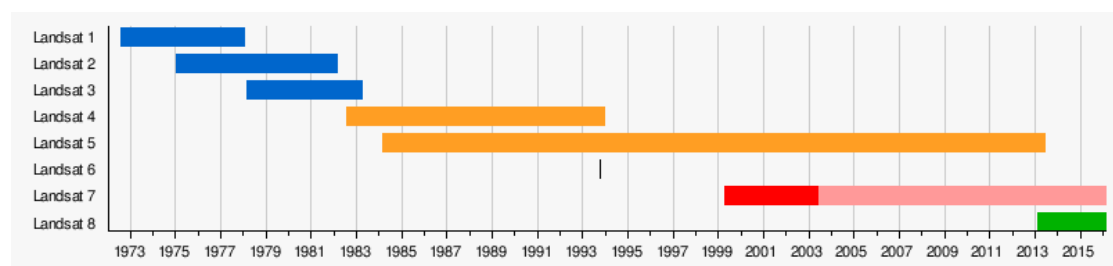
ระบบบันทึกข้อมูล ETM+ (Enhance Thematic Plus) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับ LANDSAT 7 เพื่อทดแทน LANDSAT 6 ที่ไม่ประสบความสำเร็จในการส่งขึ้นสู่อวกาศ 8 ช่วงคลื่น band 1-5 มีขนาด pixel 30 ม. band 6 ขนาด 60 ม. band 8 (panchromatic) ขนาด 15 ม. ครอบคลุมพื้นที่ 170 กม (แนวเหนือ-ใต้) x 183 กม.(แนวตะวันออก-ตะวันตก) (ตารางที่ 2-9)

ตารางที่ 2-6 ช่วงเวลาปฏิบัติการของดาวเทียม Landsat

Instrument	Launched	Terminated	Duration
Landsat 1	July 23, 1972	January 6, 1978	2 years, 11 months and 15 days
Landsat 2	January 22, 1975	February 25, 1982	2 years, 10 months and 17 days
Landsat 3	March 5, 1978	March 31, 1983	5 years and 26 days
Landsat 4	July 16, 1982	December 14, 1993	11 years, 4 months and 28 days
Landsat 5	March 1, 1984	June 5, 2013	29 years, 3 months and 4 days
Landsat 6	October 5, 1993	October 5, 1993	0 days ^{1/}
Landsat 7	April 15, 1999	Still active ^{2/}	
Landsat 8	February 11, 2013	Still active	

1/ Landsat 6 failed at launch on October 5, 1993

2/ Operating with scan line corrector disabled since May 2003



รูปที่ 2-4 ผังแสดงช่วงเวลาปฏิบัติการของดาวเทียม Landsat

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_program

ตารางที่ 2-7 คุณลักษณะของตัวรับรู้ Multispectral Scanner (MSS)

Landsat 1-3	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 4	Band 1	0.5-0.6	60*
Band 5	Band 2	0.6-0.7	60*
Band 6	Band 3	0.7-0.8	60*
Band 7	Band 4	0.8-1.1	60*

* Original MSS pixel size was 79 x 57 meters; production systems now resample the data to 60 meters.

ตารางที่ 2-8 คุณลักษณะของตัวรับรู้ Thematic Mapper (TM)

Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1	0.45-0.52	30
Band 2	0.52-0.60	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.76-0.90	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.40-12.50	120
Band 7	2.08-2.35	30

ตารางที่ 2-9 คุณลักษณะของตัวรับรู้ Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

Landsat 7	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1	0.45-0.52	30
Band 2	0.52-0.60	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.77-0.90	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.40-12.50	60
Band 7	2.09-2.35	30
Band 8	0.52-0.90	15

ตารางที่ 2-10 **คุณลักษณะของตัวรับรู้ Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)**

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - NIR	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - TIRS 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - TIRS 2	11.50 - 12.51	100

ดาวเทียม Landsat8 ประกอบด้วยตัวรับรู้ Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) รวม 9 ช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่น 1 ถึง 7 และ 9 มีขนาด pixel 30 ม. แบนด์ที่ 1 (ultra-blue) เป็นช่วงคลื่นที่เพิ่มใหม่สำหรับการสำรวจชายฝั่ง และ aerosol แบนด์ที่ 9 ให้สำรวจเมฆ cirrus แบนด์ที่ 8 (panchromatic) ขนาด 15 ม. แบนด์ที่ 10 และ 11 เป็นช่วงคลื่นความร้อนมีขนาด 100 ม. ครอบคลุมพื้นที่ 170 กม.(แนวเหนือ-ใต้) x 183 กม.(แนวตะวันออก-ตะวันตก) (ตารางที่ 2-10)

โดยข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม และ แผนที่จาก Google จะนำไปใช้วิเคราะห์ทำความเข้าใจพื้นที่ รวมถึงวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมในอดีต-ปัจจุบัน และนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองอุทกวิทยา เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวที่บ้น้ำ (Impervious surface) ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดข้อมูลภาพพื้นโลกจากอดีตถึงปัจจุบันของ Landsat ได้จาก <http://earthexplorer.usgs.gov/> หรือ <https://landsatlook.usgs.gov/> หรือ <http://glovis.usgs.gov/>

ค. ข้อมูล DEM และการวิเคราะห์โครงข่ายลำน้ำ

ค.1 ข้อมูล DEM

แบบจำลองระดับเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นข้อมูลที่บอกค่าระดับความสูงของภูมิประเทศ โดยจัดเก็บในรูปแบบของตารางกริด แหล่งข้อมูล DEM เป็นข้อมูลที่จัดทำโดยหน่วยงานสากลที่ใช้ข้อมูลดาวเทียมมาจัดทำ อาทิ SRTM DEM, ASTER GDEM ส่วนข้อมูล DEM ของหน่วยงานราชการไทย ได้แก่ ข้อมูล DEM ที่ให้บริการโดยกรมพัฒนาที่ดิน หรือ ให้บริการโดยกรมแผนที่ทหาร

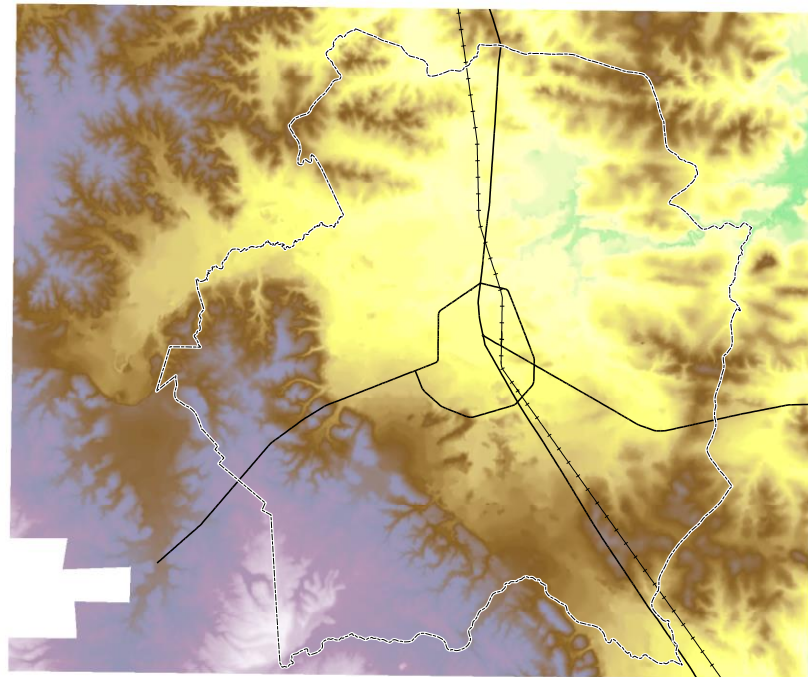
ข้อมูล SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างองค์การ NASA และ National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) เพื่อสำรวจและทำแผนที่ลักษณะภูมิประเทศของโลกในสามมิติ โดยสำรวจจากกระสวยอวกาศ Endeavour ในช่วงวันที่ 11-22 February 2000 เป็นเวลา 11 วัน ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่โลก ข้อมูล SRTM DEM แบ่งตามความละเอียดทางราบเป็น 2 ชนิด คือ (1) 1-arc-sec SRTM DEM มีความละเอียดทางราบ 30 เมตร และ (2) 3-arc-sec SRTM DEM มีความละเอียดทางราบ 90 เมตร สามารถดาวน์โหลดข้อมูล SRTM DEM ความละเอียดทางราบ 90 เมตร ได้จากเว็บไซต์ srtm.csi.cgiar.org

ข้อมูล ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างองค์การ NASA และ Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) ของประเทศญี่ปุ่น โดยญี่ปุ่นสร้าง ASTER และ NASA ปล่องส่งโคจรจากกระสวยอวกาศ ข้อมูล ASTER GDEM มีความละเอียดทางราบ 30 เมตร สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็บไซต์ gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/ หรือ gdex.cr.usgs.gov/gdex/

ข้อมูล DEM ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Ministry of Agriculture and Cooperatives Digital Elevation Model, MOAC DEM) มีความละเอียดทางราบ 5 เมตร ดูรายละเอียดและขอบริการข้อมูลได้ที่ iddservice.org

ข้อมูล DEM ของกรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม (Royal Thai Surveying Department Digital Elevation Model, RTSD DEM) มีความละเอียดทางราบ 30 เมตร จากกรมแผนที่ทหาร ดูรายละเอียดและขอบริการข้อมูลได้ที่ rtsd.mi.th

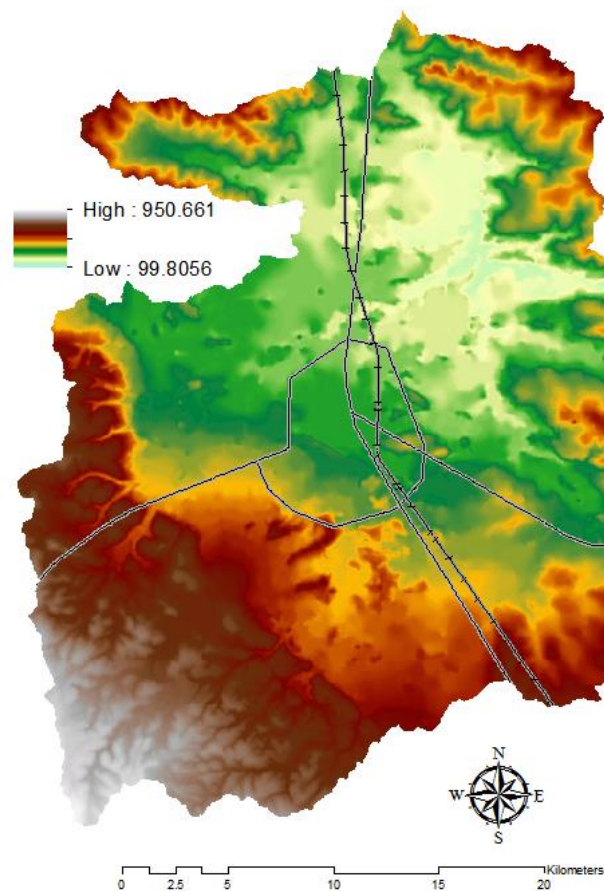
ในรูปที่ 2-5 แสดงขอบเขตพื้นที่การวิเคราะห์ด้วยข้อมูล DEM ความละเอียด 30 เมตร ที่ได้จากการแปลงข้อมูลเส้น contour จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน โดยเลือกใช้ความละเอียดกริดที่ 30 เมตร ในการประเมิน เนื่องจาก มีความละเอียดเหมาะสมกับขนาดพื้นที่ ใช้เวลาและทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ไม่มากเกินไป



รูปที่ 2-5 ขอบเขตพื้นที่การวิเคราะห์ด้วยข้อมูล DEM ความละเอียด 30 เมตร

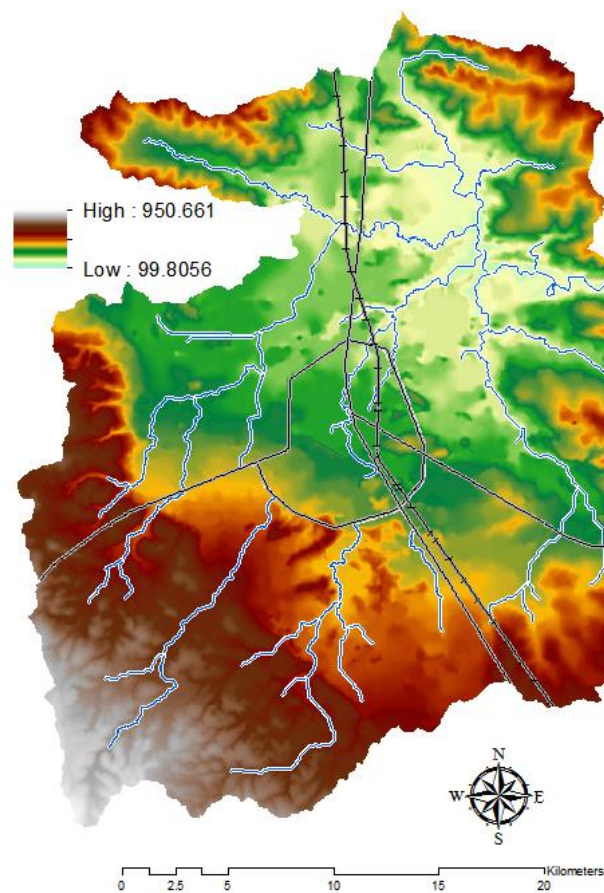
ค.2 การวิเคราะห์ข้อมูล DEM

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบจำลองระดับเชิงเลข (DEM) ด้วยโปรแกรม HEC-GeoHMS (USACE, 2013) แสดงใน(รูปที่ 2-6) ถึงรูปที่ 2-9 ประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 2-6) การกำหนดโครงข่ายลำน้ำ (รูปที่ 2-7) การกำหนดขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำย่อย (รูปที่ 2-8) และ ประเมินพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์ของกลุ่มน้ำย่อยสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS (รูปที่ 2-9)



รูปที่ 2-6 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาจากข้อมูล DEM

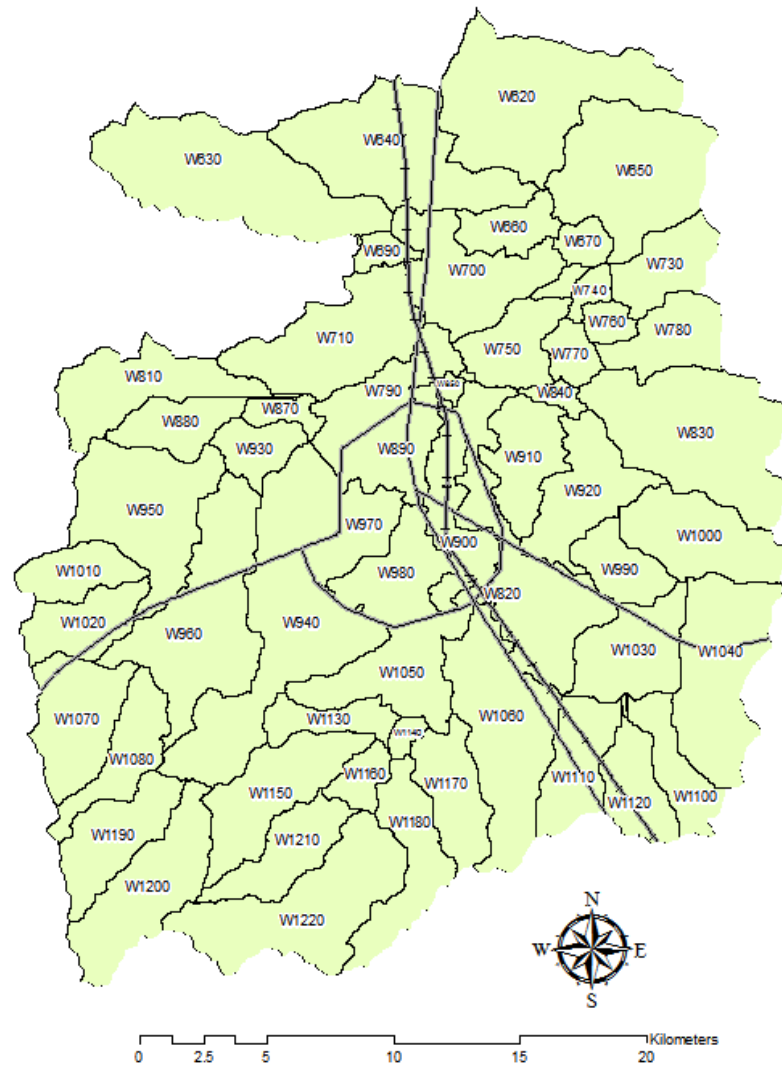
การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาจากข้อมูล DEM โดย HEC-GeoHMS (รูปที่ 2-6) โดยพิจารณาจากของเขตของสันปันน้ำ (drainage divide) ของพื้นที่ระบายน้ำของลำน้ำที่ไหลผ่านเขตชุมชนเมืองเทศบาลนครอุดรธานีและเทศบาลรอบถนนวงแหวน น้ำท่าในลุ่มน้ำมีทิศทางการไหลของน้ำท่าเป็นไปตามแนวตะวันตกเฉียงใต้ไปยังตะวันออกเฉียงเหนือ ทางต้นน้ำด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้แบ่งด้วยสันปันน้ำ ส่วนท้ายน้ำแบ่งด้วยทางน้ำหลักคือห้วยหลวง



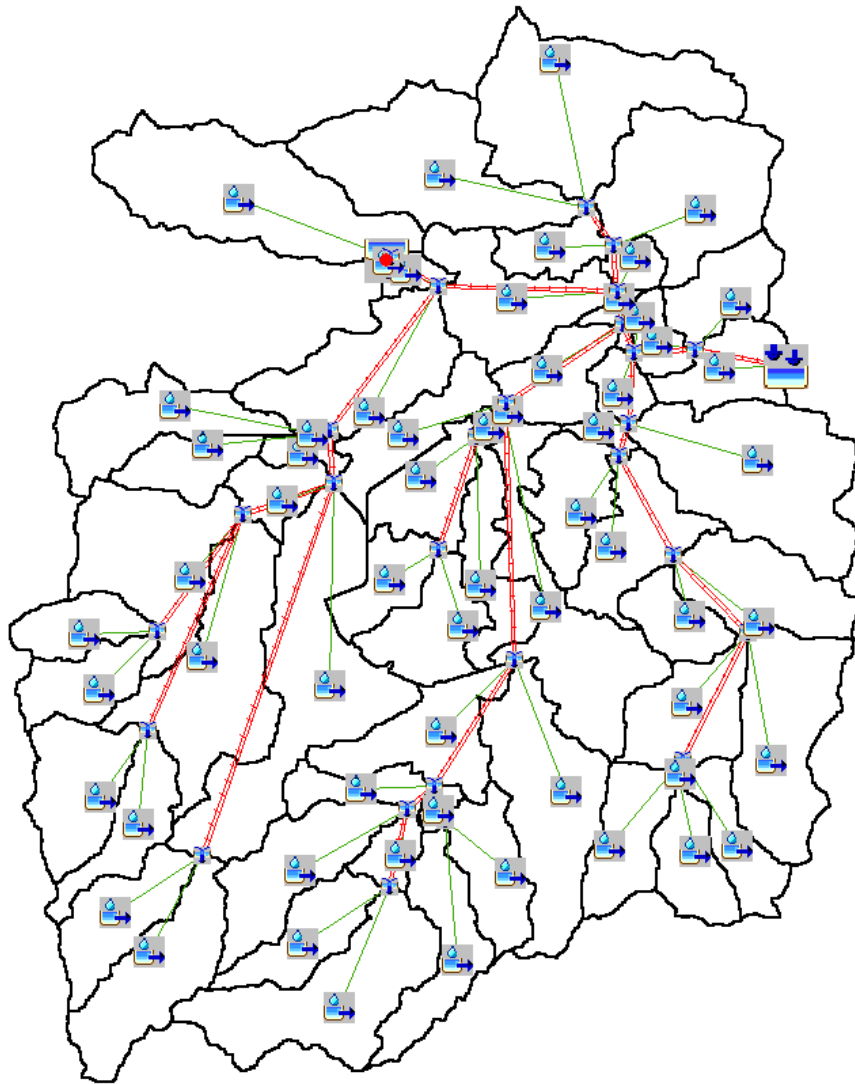
รูปที่ 2-7 การกำหนดโครงข่ายลำน้ำจากข้อมูล DEM

การกำหนดโครงข่ายลำน้ำ (รูปที่ 2-7) และ การกำหนดขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำย่อยจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล DEM โดย HEC-GeoHMS (รูปที่ 2-8) ผลการกำหนดโครงข่ายลำน้ำและพื้นที่ระบายน้ำย่อยในเขตพื้นที่ลาดชันมีความใกล้เคียงกับทางน้ำธรรมชาติ ในขณะที่พื้นที่ราบหรือในเขตเมืองผลการวิเคราะห์จากข้อมูล DEM ยังมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจาก มีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางน้ำและมีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางน้ำ (อาทิ ถนน ทางรถไฟ สิ่งก่อสร้าง) จึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่ง DEM ด้วยการปรับแก้เพิ่ม (fencing) หรือลด (burning) ระดับข้อมูลบางตำแหน่ง ก่อนการประมวลผล ซึ่งเทคนิคนี้สามารถเพิ่มความถูกต้องทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์ให้กับแบบจำลอง (อิศเรศและเอกสิทธิ์, 2555, 2556, อิศเรศ, 2556, เอกสิทธิ์, 2557)

นอกจากนี้ การกำหนดพื้นที่ย่อยหรือหน่วยระบายน้ำ (drainage unit) รวมถึงความหนาแน่นของโครงข่ายทางน้ำ สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการกำหนดเกณฑ์ของขนาดพื้นที่รับน้ำเล็กสุดที่สามารถนับเป็นหน่วยระบายน้ำ



รูปที่ 2-8 ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำย่อยจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล DEM



รูปที่ 2-9 การกำหนดลุ่มน้ำย่อยและประเมินพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์
ของลุ่มน้ำย่อยสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS

นอกจากการเตรียมข้อมูลลุ่มน้ำและกำหนดโครงข่ายลำน้ำแล้ว โปรแกรม HEC-GeoHMS ยังมีโมดูล
สำหรับช่วยในการประเมินพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา/ชลศาสตร์ของลุ่มน้ำย่อยสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้า
แบบจำลอง HEC-HMS (รูปที่ 2-9)

จากผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล DEM สามารถช่วยจัดเตรียมข้อมูล
พารามิเตอร์ลุ่มน้ำสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS ได้ อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับ
ความละเอียดของ DEM รวมถึงต้องการใช้ข้อมูลเส้นทางน้ำ/สิ่งกีดขวางเพื่อประกอบการปรับแก้

ง. การวิเคราะห์น้ำท่วมตามแนวทางของ NRCS

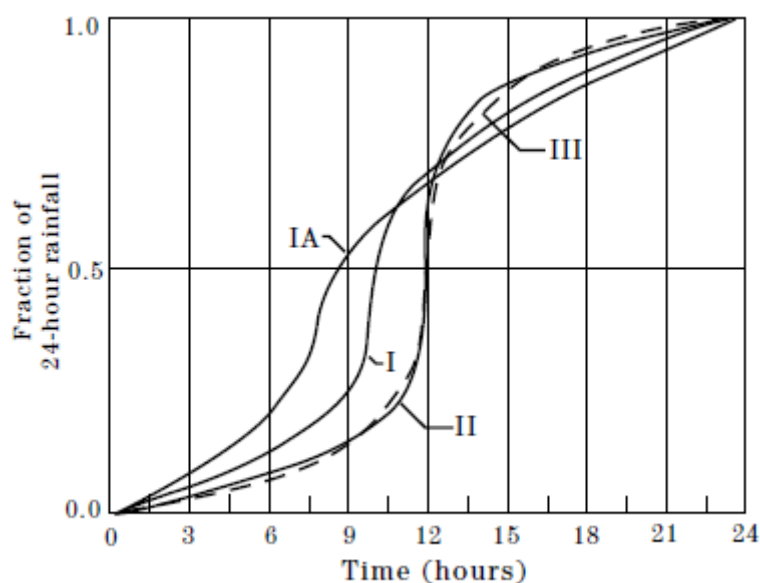
การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตเมืองวิเคราะห์ตามแนวทางตามคู่มือ Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55 หรือเรียกว่า วิธี TR-55 (NRCS, 1986) ของ NRCS (Natural Resource Conservation Service) หรือเดิม SCS

Component	Process	Method
Subbasin	Loss Method	SCS Curve Number
Subbasin	Transform Method	SCS Unit Hydrograph
Subbasin	Baseflow Method	- None -
River	Route Method	SCS Lag time

รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จาก (NRCS, 1986)

ง.1 พายุฝนออกแบบ (Design Storm)

การกระจายฝนในรอบ 24 ชั่วโมงใช้แนวทางวิเคราะห์ของ SCS โดยพิจารณาเลือกใช้การกระจาย Type II (รูปที่ 2-10) รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จาก (NRCS, 1986) หรือ (Chow et al., 1988)



รูปที่ 2-10 SCS 24-hr Rainfall Distribution

ที่มา: (NRCS, 1986)

ง.2 วิธี NRCS Curve Number

หน่วยงาน US Natural Resources Conservation Service หรือ NRCS (ซึ่งเดิมคือ Soil Conservation Service หรือ SCS) ได้พัฒนาวิธีประมาณปริมาณน้ำฝนสุทธิ (net rainfall) หรือ ส่วนเกินของน้ำฝน (rainfall excess) ที่ทำให้เกิดน้ำท่าผิวดิน (direct runoff) โดยเรียกวิธีนี้ว่า วิธีหมายเลขโค้งน้ำท่า (Curve Number หรือ CN) ซึ่งประมาณปริมาณน้ำฝนสุทธิ (Q) จาก ปริมาณน้ำฝนเป็นรายวัน (P) ปริมาณศักยภาพในการดูดซับน้ำของพื้นที่ (S) และ ปริมาณน้ำที่สูญหายไปเมื่อฝนเริ่มตก (I_a) ตามสมการ

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - I_a)^2}{(P + S - I_a)}, & P \geq I_a \\ 0, & P < I_a \end{cases} \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดยที่

Q = ปริมาณน้ำฝนสุทธิ หรือ ส่วนเกินของน้ำฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่าผิวดิน หน่วยเป็น [mm]

P = ปริมาณน้ำฝนรายวัน หน่วยเป็น [mm]

S = ปริมาณศักยภาพในการดูดซับน้ำของพื้นที่ จากสมการ $S = 25.4 \times (1000/CN - 10)$ หน่วยเป็น [mm]

CN = Curve Number โดยค่าของ CN นั้นขึ้นอยู่กับ สภาพดิน ลักษณะการใช้ที่ดิน และความชื้นในดินในช่วงก่อนหน้า (Antecedent Moisture Condition, AMC) โดยสภาพดินสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ A, B, C และ D ตามอัตราการซึมซึ่งบอกถึงศักยภาพในการทำให้เกิดน้ำผิวดิน ดังแสดงในตารางที่ 2-12

I_a = ปริมาณน้ำที่สูญหายไปเมื่อฝนเริ่มตก (initial abstraction) หน่วยเป็น [mm]

ทั้งนี้ SCS ได้แนะนำค่าการซึมเริ่มต้น $I_a = 0.2 \cdot S$ ดังนั้น สมการข้างต้นจึงเป็น

$$Q = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{(P + 0.8 \cdot S)}, \quad P > 0.2 \cdot S \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

ในตารางที่ 2-11 เป็นตัวอย่างค่า Curve Number ของพื้นที่เมืองที่เลือกโดยใช้ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดิน (land use or cover) และสภาพทางอุทกวิทยา (hydrologic condition) โดยค่า CN ในตารางเป็นกรณีของสภาพความชื้นในดินปานกลาง (Antecedent Moisture Condition, AMC II)

ตารางที่ 2-13 แสดงค่า Curve Number (CN) ของสภาพความชื้นในดินชนิด II (AMC II) เปรียบเทียบกับชนิดที่ I (AMC I) และชนิดที่ III (AMC III) ซึ่งจะพิจารณาปรับใช้ในกรณีสภาพความชื้นในดินก่อนฝนตกแห้งหรือชื้นมากตามลำดับ การประยุกต์ใช้งานวิธีหมายเลขโค้งน้ำท่าสามารถหาค่า CN ของสภาพความชื้นในดินชนิด II หรือ CN_{II} ได้จากตาราง (ดังตัวอย่างในตารางที่ 2-11) หากดินค่อนข้างแห้งมาก จะปรับค่าไปใช้ CN_I โดยเทียบค่าจากตารางที่ 2-13 หรือตามสมการ และในทำนองเดียวกัน หากดินค่อนข้างชื้นมาก จะปรับค่าไปใช้ CN_{III}

ตารางที่ 2-11 ค่า Curve Number ของพื้นที่เมือง สำหรับ AMC II

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ^{2/}	A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/} :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ^{5/}		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c).					

¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.25$.

² The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition. CN's for other combinations of conditions may be computed using figure 2-3 or 2-4.

³ CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.

⁴ Composite CN's for natural desert landscaping should be computed using figures 2-3 or 2-4 based on the impervious area percentage (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

⁵ Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using figure 2-3 or 2-4 based on the degree of development (impervious area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.

ที่มา: (NRCS, 1986)

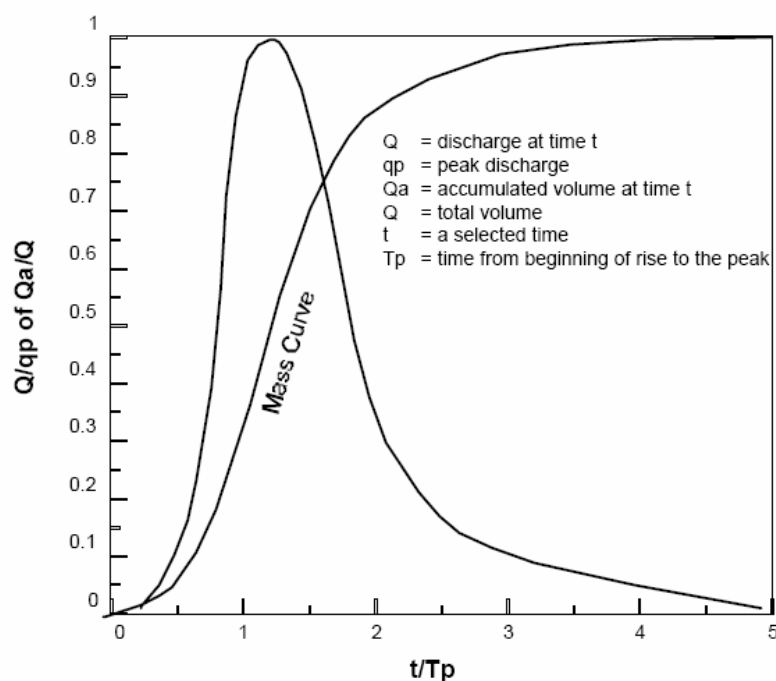
ตารางที่ 2-12 ลักษณะของกลุ่มดินตามศักยภาพของการทำให้เกิดน้ำผิวดิน

กลุ่มดิน	ลักษณะของกลุ่มดิน
กลุ่ม A	เป็นสภาพดินที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดน้ำผิวดินต่ำ มีอัตราการซึมสูง ดินเป็นดินประเภทกรวด หรือทรายที่มีการระบายน้ำดีมาก
กลุ่ม B	เป็นดินที่มีอัตราการซึมปานกลาง
กลุ่ม C	เป็นดินที่มีอัตราการซึมต่ำ ดินมีเนื้อค่อนข้างละเอียด
กลุ่ม D	เป็นสภาพดินที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดน้ำผิวดินสูง ดินมีอัตราการซึมต่ำมาก เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีชั้นน้ำใต้ดินตื้น

ตารางที่ 2-13 ค่า Curve Number กรณีสภาพความชื้นในดินชนิด II (AMC II)
เปรียบเทียบกับชนิด I (AMC I) และชนิด III (AMC III)

	CN for AMC II	Corresponding CNs	
		AMC I	AMC III
AMC I เป็นลักษณะดินที่มีศักยภาพที่จะทำให้ เกิน runoff น้อย ดินเป็นดินแห้ง			
AMC II เป็นลักษณะดินที่มีความชื้นในดินปาน กลาง	100 95 90	100 87 78	100 98 96
AMC III เป็นลักษณะดินที่มีศักยภาพที่จะทำให้ runoff มาก ดินเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำอันเนื่องจาก ปริมาณน้ำฝนในช่วงก่อนหน้านี้	85 80 75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5	70 63 57 51 45 40 35 31 26 22 18 15 12 9 6 4 2	94 91 88 85 82 78 74 70 65 60 55 50 43 37 30 22 13
$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 \cdot CN_{II}}$			
$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 \cdot CN_{II}}$			

ง.3 การสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยวิธีของ SCS



ภาพที่ 2-1 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติของ SCS (dimensionless unit hydrograph) และโค้งปริมาณน้ำสะสม (mass curve)

ที่มา: McCuen et al., 2002 อ้างโดย เอกสิทธิ์ (2547)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ SCS เป็นกราฟน้ำท่าแบบไม่มีหน่วย (Dimensionless hydrograph) โดยแกน x เป็นอัตราส่วน t/T_p และ แกน y เป็นอัตราส่วน q/q_p ดังแสดงในตารางที่ 2-14

- q_p : ค่า direct runoff ที่มีค่าสูงสุด ประเมินได้จาก

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p}$$

สมการที่ 2.3

โดยที่

- q_p : ปริมาณ direct runoff สูงสุด, $m^3 \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1}$ (หรือ cfs/in)
- T_p : ช่วงเวลาเป็นชั่วโมง ตั้งแต่ Direct runoff เริ่มเกิดจนมีค่าสูงสุด
- A : พื้นที่ลุ่มน้ำ, ตร. กม. (หรือ ตร.ไมล์)
- C : 2.08 (483.4 สำหรับระบบอังกฤษ)

- T_p : ช่วงเวลาดังแต่เริ่มเกิด direct runoff จนกระทั่งมีค่าสูงสุด ประเมินได้จาก

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

สมการที่ 2.4

โดยที่

- t_r : ระยะเวลาการตกของฝน (duration)
- t_p : basin lag หรือ lag time ประมาณ เท่ากับ $0.6 \times t_c$ (t_c คือ time of concentration ของพื้นที่ลุ่มน้ำ)

ตารางที่ 2-14 โคออดิเนตของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไม่มีหน่วยของ SCS

t/T_p	q/q_p	t/T_p	q/q_p
0	0	1.6	0.56
0.1	0.015	1.8	0.42
0.2	0.075	2.0	0.32
0.3	0.16	2.2	0.24
0.4	0.28	2.4	0.18
0.5	0.43	2.6	0.13
0.6	0.60	2.8	0.098
0.7	0.77	3.0	0.075
0.8	0.89	3.5	0.036
0.9	0.97	4.0	0.018
1.0	1.00	4.5	0.009
1.1	0.98	5.0	0.004
1.2	0.92		
1.3	0.84		
1.4	0.75		
1.5	0.66		

จ. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก (flood routing) เป็นวิธีการที่จะใช้ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นน้ำหลาก โดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตามเวลาและสถานที่ไปพร้อมๆ กัน ซึ่งเป็นวิธีที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงของขนาดคลื่นน้ำหลาก และเวลาที่ปริมาณน้ำสูงสุดใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

กระบวนการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำทำได้สองแนวทาง คือ การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวโดยหลักการทางอุทกวิทยา (hydrologic routing) และ การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวโดยหลักการทางชลศาสตร์ (hydraulic routing) การวิเคราะห์แนวทางแรกจะใช้สมการต่อเนื่อง (continuity equation) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ (storage) กับอัตราการไหลในการวิเคราะห์ ส่วน แนวทางหลังจะใช้สมการต่อเนื่อง (continuity equation) ร่วมกับสมการโมเมนตัม (momentum equation)

จ.1 สมการการเคลื่อนตัวของน้ำ (routing equation)

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำใช้สมการต่อเนื่องของมวล (continuity of mass) ดังสมการที่ 2-5

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad \text{สมการที่ 2-5}$$

โดยที่ I คือ อัตราการไหลเข้า และ O คืออัตราการไหลออก ในช่วงเวลา dt และ S เป็นปริมาตรเก็บกัก (storage) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของอ่างเก็บน้ำ หรือของลำน้ำ ซึ่งในกรณีคิดที่ที่ละช่วงเวลาสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I - O \quad \text{สมการที่ 2-6}$$

จาก อัตราไหลเข้าและไหลออกจากปริมาตรเก็บกักที่เวลา t_1 และ t_2 สมการที่ 2-5 จะเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราไหลเข้าและไหลออกดังสมการที่ 2-7

$$\frac{(S_2 - S_1)}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot (I_1 + I_2) - \frac{1}{2} \cdot (O_1 + O_2) \quad \text{สมการที่ 2-7}$$

จ.2 วิธี Modified Puls

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากโดยวิธีของ Puls ใช้ สมการที่ 2-7 นำมาจัดรูปใหม่โดยให้เทอมที่ทราบค่าอยู่ด้านซ้ายของสมการ และเทอมไม่ทราบค่าอยู่ด้านขวา จะได้สมการที่ 2-8

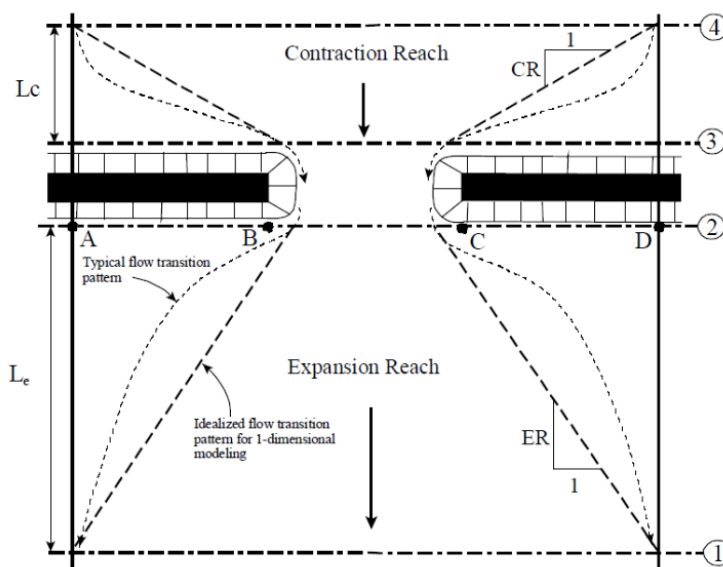
$$\frac{1}{2} \cdot (I_1 + I_2) \cdot \Delta t + \left(S_1 - \frac{1}{2} \cdot O_1 \cdot \Delta t \right) = \left(S_2 + \frac{1}{2} \cdot O_2 \cdot \Delta t \right) \quad \text{สมการที่ 2-8}$$

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากเมื่อแทนเทอมที่ทราบค่าลงในสมการที่ 2-8 ด้านซ้ายมือจะสามารถหาค่าของ $\left(S_2 + \frac{1}{2} \cdot O_2 \cdot \Delta t \right)$ ได้ จากนั้น ค่าของ O_2 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง Storage และ Outflow

วิธี Modified Puls เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการคำนวณกระทำโดย นำ $2/\Delta t$ คูณสมการที่ 2-8 จะได้สมการที่ 2-9

$$(I_1 + I_2) + \left(\frac{2 \cdot S_1}{\Delta t} - O_1 \right) = \left(\frac{2 \cdot S_2}{\Delta t} + O_2 \right) \quad \text{สมการที่ 2-9}$$

จ. การวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านสะพาน (Bridge Hydraulics)



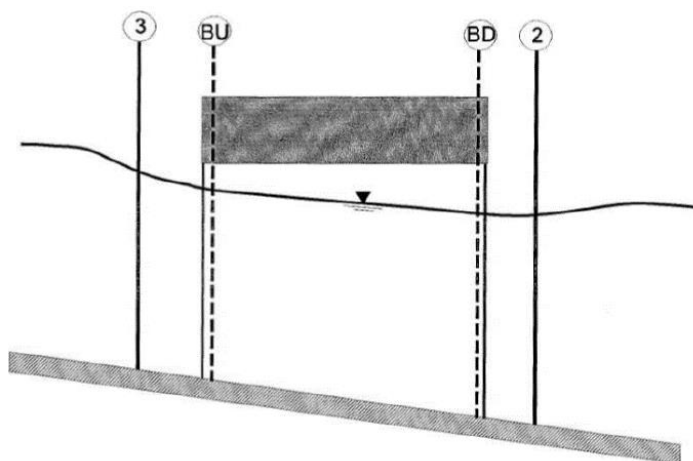
รูปที่ 2-11 ลักษณะรูปตัดทางน้ำที่ตำแหน่งสะพาน (USACE, 2016)

การวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านหน้าตัดทางน้ำที่มีสะพานขวางแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีน้ำน้อย และ กรณีน้ำมาก โดยขณะที่เกิดน้ำหลากผ่านทางน้ำจะเป็นการวิเคราะห์กรณีน้ำมากเป็นส่วนใหญ่ การคำนวณการไหลของน้ำผ่านหน้าตัดทางน้ำที่เป็นสะพาน แบ่งหน้าตัดการวิเคราะห์เป็น 4 ส่วน (รูปที่ 2-11) ดังนี้

(1) หน้าตัดที่ 1 เป็นตำแหน่งด้านท้ายน้ำที่มีระยะห่างจากสะพานมากพอที่สะพานไม่มีอิทธิพลต่อการไหล (2) หน้าตัดที่ 2 เป็นตำแหน่งติดกับสะพานด้านท้ายน้ำ (BD) (3) หน้าตัดที่ 3 เป็นตำแหน่งติดกับสะพานด้านเหนือน้ำ (BU) (4) หน้าตัดที่ 4 เป็นตำแหน่งด้านเหนือน้ำที่การไหลของน้ำยังไม่ถูกรบกวนจากสะพาน เส้นทางการไหล (flow lines) ยังเป็นแนวขนานกัน ระยะระหว่าง (3)-(4) อย่างน้อยเท่ากับความกว้างของหน้าตัดทางน้ำ

จ.1 การคำนวณการไหลกรณีน้ำน้อย

สภาพการไหลกรณีน้ำน้อย เป็นการไหลลอดใต้สะพาน โดยสภาพการไหลขณะลอดใต้สะพานอาจเป็นการไหลแบบ subcritical flow (Class A low flow), แบบ subcritical กับ supercritical flow (Class B low flow) หรือ แบบ supercritical flow (Class C low flow) การวิเคราะห์การไหลทำได้หลายวิธี อาทิ สมการพลังงาน (energy equation by standard step method) สมดุลโมเมนตัม (momentum balance) หรือ สมการของ Yarnell (USACE, 1995)



รูปที่ 2-12 รูปตัดตามยาวของฝายน้ำล้นลอดสะพาน (USACE, 1995)

ในการวิเคราะห์พิจารณาทางน้ำที่ละช่วงจากท้ายน้ำขึ้นไป ได้แก่ หน้าตัด 2 และ BD, หน้าตัด BD และ BU, หน้าตัด BU และ 3 (รูปที่ 2-12) รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จาก (USACE, 1995) หรือ (USACE, 2016)

จ.2 การคำนวณการไหลกรณีน้ำมาก

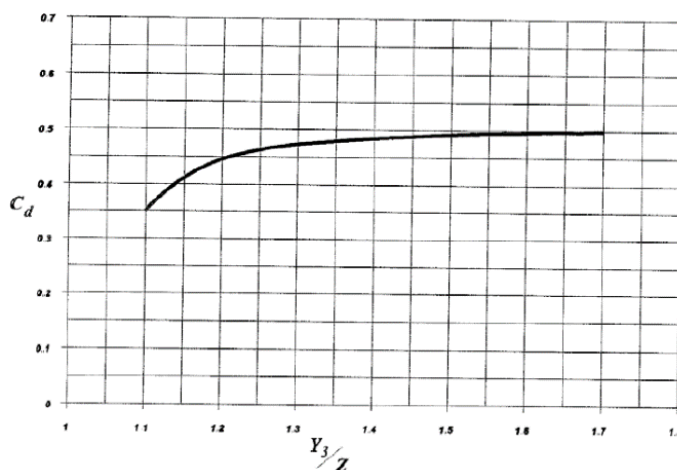
สภาพการไหลกรณีน้ำมาก เป็นการไหลที่ระดับน้ำสูงถึงระดับท้องคานของสะพาน การวิเคราะห์การไหลใช้สมการเช่นเดียวกับน้ำไหลลอดประตูน้ำ ซึ่งอาจเป็นกรณีท้ายน้ำไม่มีอิทธิพลต่อการไหล (สมการที่ 2-10) หรือ ท้ายน้ำมีระดับสูงมีอิทธิพลต่อการไหล (submerged flow) (สมการที่ 2-11) กรณีน้ำไหลล้นข้ามสะพาน การวิเคราะห์การไหลใช้สมการของน้ำไหลข้ามฝาย (สมการที่ 2-12)

1. การคำนวณการไหลแบบน้ำไหลลอดประตูน้ำ (รูปที่ 2-14)

$$Q = C_d A_{BU} \left[2g \left(Y_3 + \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{สมการที่ 2-10}$$

โดยที่

- Q = อัตราไหลผ่านช่องเปิดสะพาน
- C_d = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ตามรูปที่ 2-13
- A_{BU} = พื้นที่ของหน้าตัด BU
- Y_3 = ความลึกน้ำที่หน้าตัด 3
- Z = ความกว้างของช่องเปิดที่หน้าตัด BU



รูปที่ 2-13 สัมประสิทธิ์การไหล (C_d) (USACE, 1995)

กรณีท่ายน้ำสูง (submerged flow) (รูปที่ 2-15) ใช้สมการ

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

สมการที่ 2-11

โดยที่

Q = อัตราไหลผ่านช่องเปิดสะพาน

C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล มีค่า 0.8

H = ผลต่างของพลังงานระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำ

A = พื้นที่ของหน้าตัด BU

2. การคำนวณการไหลแบบน้ำไหลข้ามฝาย (รูปที่ 2-16)

$$Q = CLH^{3/2}$$

สมการที่ 2-12

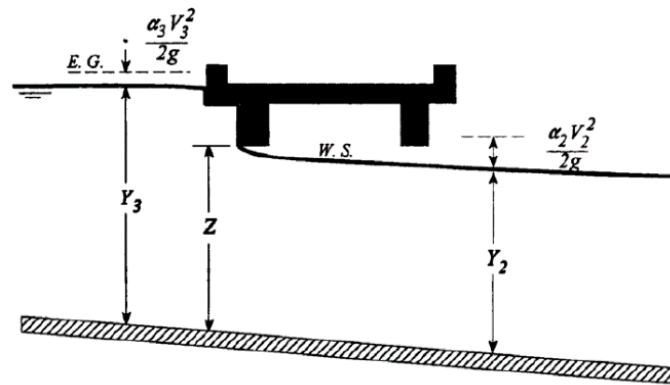
โดยที่

Q = อัตราไหลผ่านสันฝาย

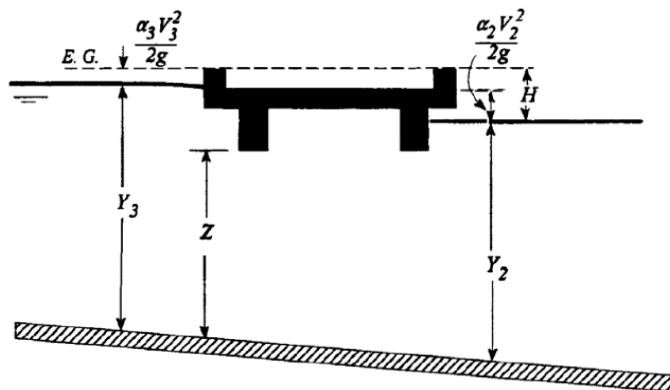
C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ของการไหลผ่านฝาย

L = ความยาวสันฝาย

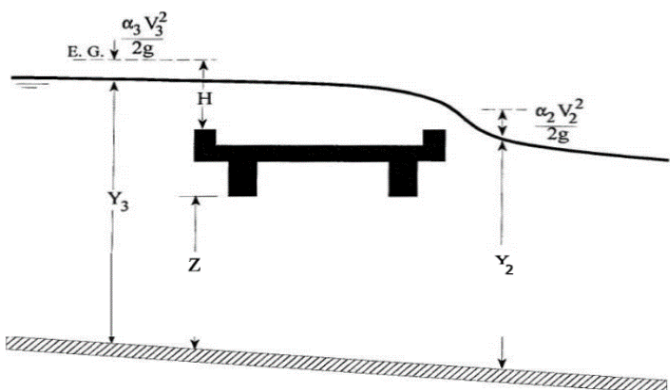
H = ผลต่างของระดับพลังงานด้านเหนือน้ำกับระดับสันฝาย (ระดับถนน)



รูปที่ 2-14 ลักษณะการไหลผ่านสะพานแบบน้ำไหลลอดประตูน้ำ



รูปที่ 2-15 ลักษณะการไหลผ่านสะพานแบบน้ำไหลลอดประตูน้ำ กรณีทำน้ำสูง



รูปที่ 2-16 ลักษณะการไหลผ่านสะพาน แบบน้ำไหลลอดประตูน้ำและไหลข้ามฝาย
ที่มา : (USACE, 1995)

2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ประกอบด้วย การประเมินภาวน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคตที่กระทบต่อภาวน้ำท่วมในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี และ การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวน้ำท่วมในพื้นที่การศึกษาด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

1. การประเมินภาวน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน

- การรวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่ผ่านมา ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ชุมชนในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี, ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมจากภาพถ่ายดาวเทียม (GISTDA), ข้อมูลแผนที่จาก Google และ การรวบรวมและศึกษาบทวนผลการศึกษาในพื้นที่ที่ผ่านมา

- การวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมหลาก/สภาพน้ำท่วมขังในปัจจุบัน โดยพิจารณาปัจจัยดังนี้ สาเหตุของน้ำท่วม, ที่มาน้ำส่วนเกิน, ทิศทางการหลากของน้ำ พิจารณาข้อมูล ระดับภูมิประเทศ แนวท่อระบายน้ำ ทางน้ำธรรมชาติ สิ่งก่อสร้างขวางกั้นทางน้ำ และ จุดกั้นน้ำ / จุดรับน้ำ / สถานีสูบน้ำ

- การวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติจากภาวน้ำท่วมหลาก/น้ำท่วมขังในสภาพปัจจุบัน

2. การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคตที่กระทบต่อภาวน้ำท่วมในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต ประกอบด้วย การขยายตัวของชุมชนเมือง และการประเมินการเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และนำผลไปคาดการณ์พื้นที่วิกฤติจากภาวน้ำท่วมหลาก/น้ำท่วมขังในอนาคต

- การทำนายการเติบโตของเมืองในอนาคต - การวิเคราะห์ขอบเขตชุมชนเมืองในปัจจุบัน จากข้อมูล GIS และแปลจากภาพถ่ายจากดาวเทียม การประเมินการเติบโตของเมืองในอนาคตโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ ข้อมูลดาวเทียม ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยพิจารณาการเพิ่มขึ้นของประชากร และแผนพัฒนาเมืองในอนาคต อาทิ การเข้าประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asean Economic Community : AEC) การเข้าร่วมเป็นอนุภาคลุ่มแม่น้ำโขง (Greater Mekong Sub Region Service Complex) โครงการพัฒนาระบบคมนาคมและการขนส่ง ได้แก่ การขยายสนามบินนานาชาติอุดรธานี การสร้างรถไฟรางคู่ การสร้างรถไฟความเร็วสูง การสร้างถนนวงแหวนรอบที่ 2 การจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industrial Estate) เป็นต้น (จังหวัดอุดรธานี, 2557) ผลการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองชลศาสตร์/อุทกวิทยา โดยจะพิจารณาเน้นที่การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวน้ำที่ไม่ได้ (imprevious surface)

- การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ในระยะที่ 1 ของโครงการวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์เฉพาะปริมาณฝนที่ตกในเขตเมืองเป็นหลัก การศึกษาในระยะต่อไปจะพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อความแปรปรวนของปริมาณฝน รวมถึงความถี่ในการเกิดฝน

ในรูปของโค้ง IDF (Intensity-Duration-Frequency Curve) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ออกแบบระบบระบายน้ำในเมือง

3. การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่อภาวะน้ำท่วม

การจำลองพายุฝน โดยการจำลองพายุฝนพิจารณาแบบทั้งแบบ deterministic และ แบบ probabilistic โดยพิจารณาเหตุการณ์พายุฝนในอดีตสำหรับจำลองรูปแบบและการกระจายของฝน ใช้เทคนิคเคลื่อนย้ายพายุฝน และ ใช้หลักการทางสถิติสำหรับการประเมินความน่าจะเป็นของการเกิดพายุฝน

การจำลองอุทกวิทยาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า โดยพิจารณาแบบจำลองชนิดเหตุการณ์เดี่ยว (event-based model) ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพายุฝนทีละลูก ทั้งนี้แบบจำลองจะต้องสามารถจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่เป็นชุมชนเมืองได้ด้วย

การวิเคราะห์ทางศาสตร์ของระบบระบายน้ำในพื้นที่กรณีศึกษา การเลือกพื้นที่เป็นกรณีศึกษาสำหรับประเมินผลกระทบทางศาสตร์จากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงและความถี่ของน้ำท่วมซ้ำ การเก็บข้อมูลละเอียดสำหรับแบบจำลองศาสตร์ประกอบด้วย ขอบเขตพื้นที่ระบายน้ำ สภาพการใช้ที่ดิน ข้อมูลแหล่งน้ำธรรมชาติ ข้อมูลทางน้ำธรรมชาติและท่อระบายน้ำ (แนวทางน้ำ, รูปตัดตามยาว, รูปตัดขวาง, สภาพพื้นผิว)

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง มีดังนี้ (1) การพัฒนาแบบจำลอง/การทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น (2) การจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าในอยู่ในรูปแบบที่แบบจำลองแต่ละชนิดกำหนด (pre-processing) (3) การกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง (model-parameter estimation) (4) การทวนสอบผลลัพธ์ จากนั้นจึงนำแบบจำลองไปใช้จำลองสถานการณ์ตามที่กำหนด และ ทำการจัดการผลลัพธ์หลังการจำลองสถานการณ์ (post-processing)

การจำลองสถานการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่อภาวะน้ำท่วม โดยการจำลองพายุฝน และ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า พิจารณาครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา ส่วนการจำลองศาสตร์ของระบบระบายน้ำ พิจารณาครอบคลุมเฉพาะพื้นที่กรณีศึกษาเท่านั้น สถานการณ์สมมุติ (scenarios) สำหรับการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ (1) การจำลองสภาพปัจจุบันเป็นกรณีฐาน (base simulation) (2) การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/การขยายตัวของเมือง (land use change simulation) (3) การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change simulation) (4) การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงร่วมกัน (combined-change simulation)

3. ผลและวิจารณ์

เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ การศึกษาพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี การศึกษาฝนในพื้นที่ การศึกษาสถานการณ์น้ำท่วม และการฉายภาพอนาคตสภาพน้ำท่วม

การศึกษาพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จำแนกพื้นที่อาคารและสิ่งก่อสร้างโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat ย้อนหลัง 20 ปี และฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปีข้างหน้าในส่วนของการฝนในพื้นที่เมืองอุดรธานี ได้ศึกษาปริมาณน้ำฝนและพายุจากข้อมูลสถิติ วิเคราะห์แจกแจงความถี่ของการเกิดฝนสูงสุดและศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

สำหรับสถานการณ์น้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ส่วนหนึ่งได้ศึกษาทบทวนข้อมูลน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในอดีต สภาพความเสียหายรวมถึงแผนการแก้ไขปัญหา จากข้อมูล/รายงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอีกส่วนหนึ่งเป็นการใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือ เพื่อฉายภาพอนาคตที่อาจเป็นไปได้ของสภาพน้ำท่วมโดยใช้ผลศึกษาพื้นที่ชุมชนและปริมาณฝนร่วมกันเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการแบบจำลอง

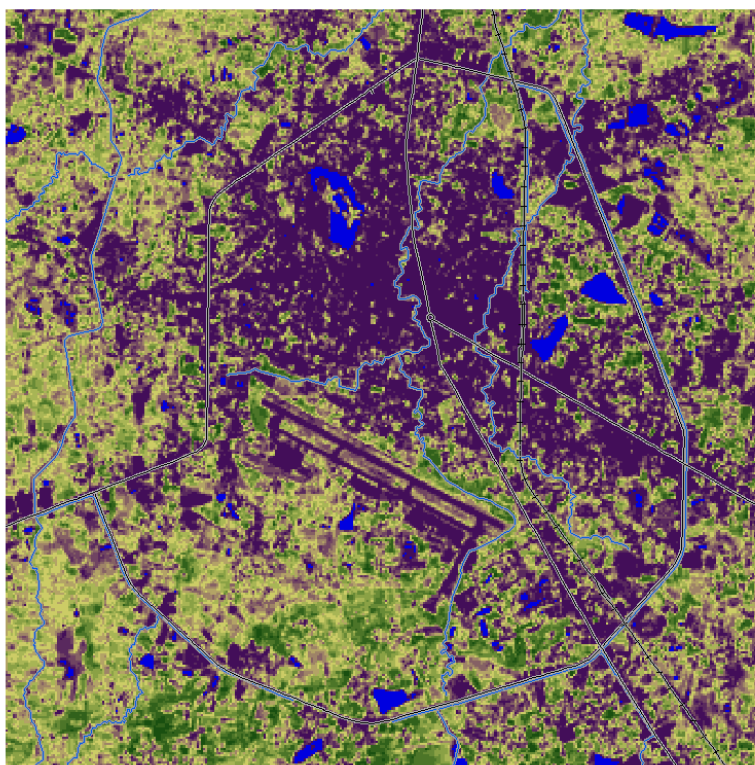
3.1 พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี

เทศบาลนครอุดรธานีเดิมเป็นเทศบาลเมืองอุดรธานี จัดตั้งขึ้นตามพระราชกฤษฎีกา จัดตั้งเทศบาลเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2479 เมื่อวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2479 มีพื้นที่ 5.60 ตารางกิโลเมตร ขยายเขตครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2495 มีพื้นที่ 8.30 ตารางกิโลเมตร ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2536 มีพื้นที่ 47.70 ตารางกิโลเมตร ยกฐานะเป็นเทศบาลนครอุดรธานี ตามพระราชกฤษฎีกาการจัดตั้งเทศบาลนครอุดรธานี พ.ศ. 2538 เมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2538

ก. พื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา

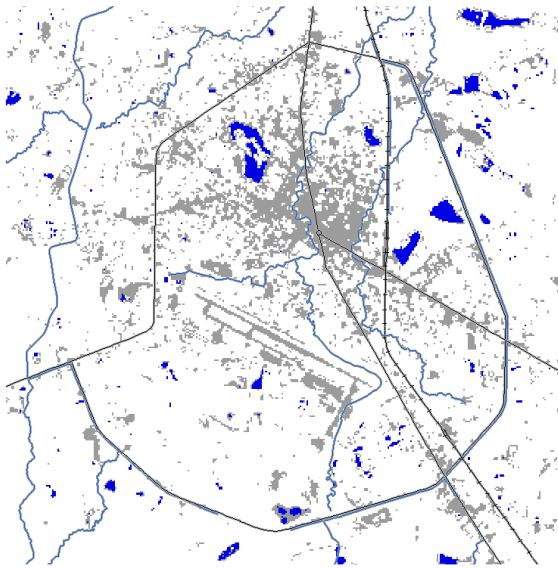
สภาพความหนาแน่นของชุมชนในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีใช้การแปลงผลข้อมูลดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 พ.ศ.2549 พ.ศ.2558 เป็นข้อมูลสภาพพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างด้วยเทคนิค Tasseled Cap Transformation (TC) (Baig et al., 2014) ได้ผลลัพธ์เป็นชุดข้อมูลใหม่เป็น 3 ชุดหลัก ประกอบด้วย ความสว่างของพื้นผิว (brightness, TC1) ความหนาแน่นของพืชพรรณ (greenness, TC2) และ ระดับความชื้น (wetness, TC3) จากนั้นได้ทำการขยายความชัดเจน (enhancement) ของพื้นผิวดินและสิ่งก่อสร้างด้วยการคำนวณค่า normal difference ระหว่างชุดข้อมูล brightness กับชุดข้อมูล greenness ตามสมการ $(TC1-TC2)/(TC1+TC2)$

ในรูปที่ 3-1 แสดงพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างโดยบริเวณที่มีความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างมาก จะแสดงผลเป็นสีม่วงเข้ม และสีอ่อนลงตามความหนาแน่นที่ลดลง ส่วนที่เป็นสีเขียวเข้มแสดงถึงความหนาแน่นของพืชพรรณ ในรูปที่ 3-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนครอุดรธานี พ.ศ. 2538, พ.ศ. 2549 และ พ.ศ. 2558

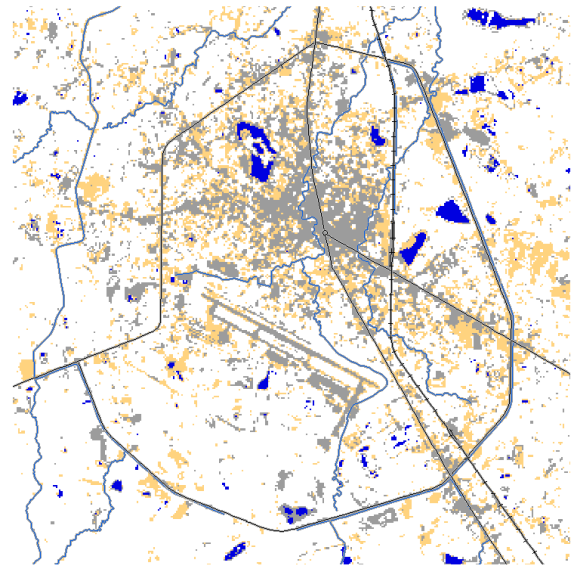


รูปที่ 3-1 พื้นที่ตั้งอาคารและสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในปัจจุบัน (พ.ศ. 2558)
จำแนกจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 (28/10/2015)

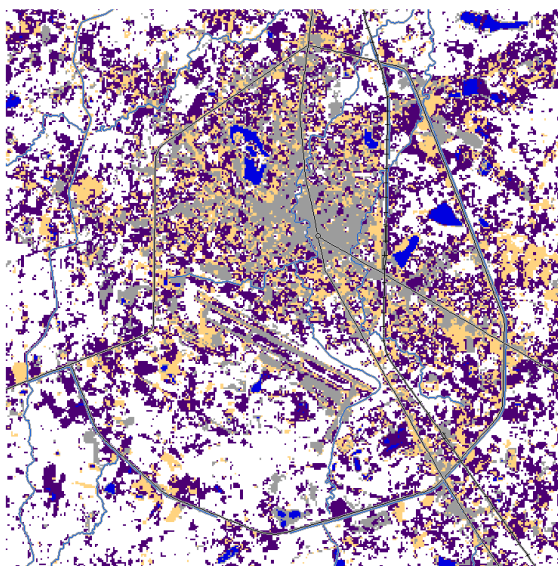
การเปลี่ยนแปลงสภาพความหนาแน่นของชุมชน พื้นที่ชุมชนมีแนวโน้มหนาแน่นเพิ่มขึ้นในพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี รอบ ๆ ถนนวงแหวน และตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมือง โดยในอดีตในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2538 - พ.ศ.2549) ความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดขอนแก่นและสกลนคร ส่วนในช่วง 10 ปีหลัง (พ.ศ.2549 - 2558) มีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดหนองคาย ส่วนพื้นที่ในเขตเทศบาลนคร สภาพในปัจจุบันมีอาคารสิ่งก่อสร้างเกือบเต็มพื้นที่แล้ว ยกเว้นทางทิศตะวันตกเฉียงใต้บริเวณสนามบินอุดรธานี ความหนาแน่นชุมชนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่เทศบาลนครเป็นสิ่งก่อสร้างทางตั้ง (เช่น อาคารสูง) ซึ่งแยกความแตกต่างได้ค่อนข้างจำกัดจากภาพถ่ายดาวเทียมมุมสูง



เมืองอุดรธานี พ.ศ.2538



เมืองอุดรธานี พ.ศ.2549



เมืองอุดรธานี พ.ศ.2558

รูปที่ 3-2 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ตั้งอาคาร
และสิ่งก่อสร้างในเขตเทศบาลนคร
อุดรธานี พ.ศ. 2538, พ.ศ. 2549 และ
พ.ศ. 2558

- ปี 2538 จำแนกจากข้อมูล Landsat 5 (21/10/1995)
- ปี 2549 จำแนกจากข้อมูล Landsat 5 (04/11/2006)
- ปี 2558 จำแนกจากข้อมูล Landsat 8 (28/10/2015)

ข. ภาพฉายความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต

การวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต มีเป้าหมายเพื่อให้ได้ข้อมูลและแผนที่การเปลี่ยนแปลงของสภาพชุมชนเมืองในอนาคต สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดินด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา

การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองถือเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่ง ที่ทำให้สภาพแวดล้อมของพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ในการประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการศึกษาในครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีการทำนายการเติบโตของเมือง และ/หรือ การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาในอนาคต

1. การประเมินเขตพื้นผิวน้ำในอดีต

ในการศึกษาครั้งนี้ การประเมินหาค่าระดับความทึบน้ำของพื้นผิว (imperviousness) อาศัยหลักการการสำรวจระยะไกล โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) ซึ่งได้ให้นิยามของ ค่าดัชนีพื้นผิวน้ำ (Impervious Surface Area, ISA) ว่าคือ สัดส่วน (fraction) ของ pixel ที่พื้นผิวใน pixel นั้นไม่มีการระเหยของน้ำ และการซึมลงของน้ำฝน ("Impervious surface area (ISA) constitutes the fraction of a pixel for which the surface can neither evaporate water nor permit rainwater to penetrate.")

นอกจากนี้วิธีการนี้ยังอยู่ภายใต้สมมติฐานที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ว่า สัดส่วนของพื้นผิวน้ำมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการปกคลุมของพืช (Ridd, 1995) ดังนั้นการประเมินค่า ISA ในพื้นที่เขตเมือง (urban area) หรือพื้นที่ที่ถูกพัฒนา (developed area) แล้ว สามารถประมาณหาได้จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 (Carlson and Arthur, 2000)

$$ISA = 1 - Fr \quad (1)$$

โดยที่

ISA = ดัชนีพื้นผิวน้ำ (Impervious Surface Area) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 \leq ISA \leq 1$

Fr = สัดส่วนพืชปกคลุม (Fraction of Vegetation Cover) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 \leq Fr \leq 1$ และสามารถประมาณหาได้จากสมการที่ 2 (Carlson and Ripley, 1997)

$$Fr = (N^*)^2 \quad (2)$$

N^* = ค่าดัชนี NDVI ที่ได้รับการปรับสเกล (Scaled NDVI) ซึ่งสามารถประมาณหาได้จากสมการที่ 3 (Carlson and Ripley, 1997)

$$N^* = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

NDVI = ค่าดัชนี Normalized Difference Vegetation Index ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า TOA Reflectance ของคลื่นแสงสีแดง (RED หรือ LANDSAT 5-TM Band 3) และย่านใกล้อินฟราเรด (NIR หรือ LANDSAT 5-TM Band 4) ตามสมการที่ 4

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

$NDVI_{max}$ = ค่าดัชนี NDVI สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเต็มที่ (Fully Covered Vegetation) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.8 (Gillies et al., 2003)

$NDVI_{min}$ = ค่าดัชนี NDVI สำหรับพื้นดินเปล่า (Bare Soil) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 (Gillies et al., 2003)

2. การทำนายการขยายตัวของพื้นที่น้ำในอนาคต

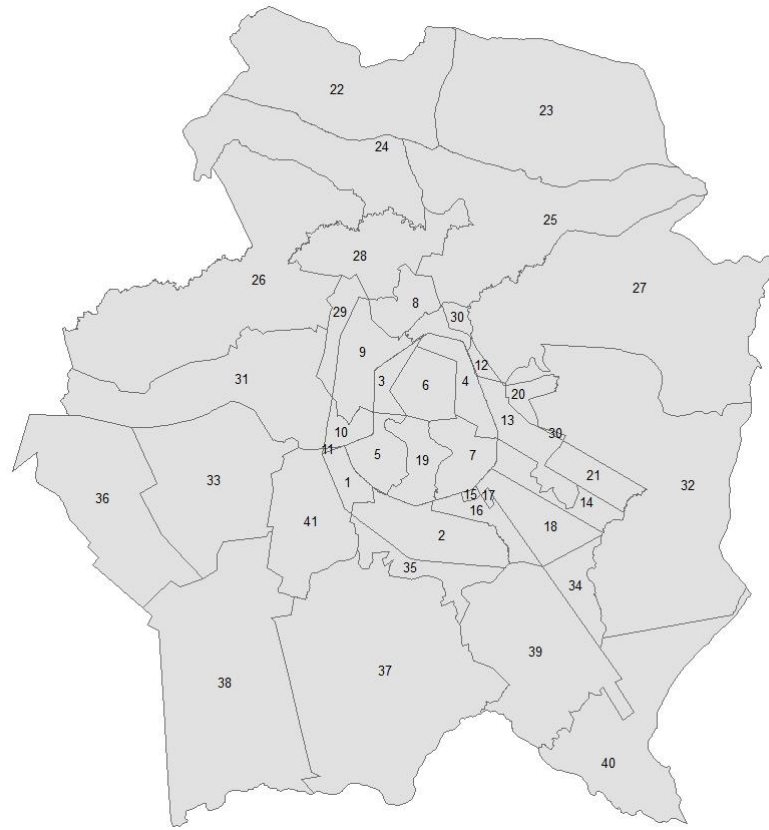
ในการทำนายเขตพื้นที่น้ำในอนาคตได้เลือกการทำนายโดยการประยุกต์ใช้สมการถดถอย (regression) ที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลในอดีต เพื่อทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นรายปี เมื่อทราบค่า ISA ของพื้นที่ใด ๆ โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าวได้มาจากค่า ISA ที่ประเมินได้ และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า ISA รายปีจากการเทียบผลการประเมินค่า ISA ในหลายช่วงเวลาที่ทำการศึกษา แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของระยะห่างระหว่างช่วงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมในอดีตทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้ (พ.ศ. 2538, 2549, 2552 และ 2554) มีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่ได้ จะการทำนายค่า ISA ในลักษณะแบบปีต่อปีสะสมไปเรื่อย ๆ จนถึงปีที่ต้องการทราบค่า ISA สำหรับวิธีการหาสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้

1) ภายหลังจากการประเมินค่า ISA ในแต่ละ pixel ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา ตามวิธีการในหัวข้อ 2.2 แล้ว ข้อมูลค่า ISA ในแต่ละ pixel จะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ โดยใช้เครื่องมือ zonal statistics เพื่อเป็นตัวแทนค่า ISA ของพื้นที่ย่อย (sub area) ภายในเขตพื้นที่ศึกษา

2) จากนั้นข้อมูลค่า ISA เฉลี่ยของพื้นที่ย่อยแต่ละพื้นที่ ในหลายช่วงเวลา จะถูกนำมาวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีของพื้นที่นั้น ภายในระยะห่างของช่วงเวลา 2 ช่วงที่พิจารณา

3) จากนั้นข้อมูลค่า ISA เฉลี่ยของพื้นที่ย่อยและอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี ของทุก ๆ พื้นที่ย่อย และทุก ๆ ช่วงเวลาที่พิจารณา จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ร่วมกัน เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ซึ่งเป็นตัวแทนของทั้งพื้นที่ ระหว่างค่า ISA เฉลี่ยและอัตราการเปลี่ยนแปลง ISA รายปี ที่จะใช้เป็นแบบจำลองอย่างง่าย เพื่อเป็นเครื่องมือการทำนายการเปลี่ยนแปลง ISA ของพื้นที่ศึกษาในอนาคต

สำหรับขอบเขตพื้นที่ย่อยเพื่อการวิเคราะห์ค่า ISA ภายในพื้นที่ศึกษา หรือ เขตอำเภอเมืองทั้งหมด ในขั้นต้นนี้ จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ ตามขอบเขตตำบลเป็นหลัก แต่จะมีการมุ่งเน้นความสนใจเป็นพิเศษในเขตผังเมืองรวมอุดรธานี ปีพ.ศ. 2553 ซึ่งครอบคลุมบริเวณเขตเทศบาลนครเมืองอุดรธานีและพื้นที่โดยรอบ โดยในกรณีนี้ที่ผู้วิจัยจะพิจารณาร่วมกับขอบเขตองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ซึ่งประกอบด้วย เทศบาลนคร เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล และองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) ที่มีอาณาเขตติดต่อกับเทศบาลนครอุดรธานีร่วมด้วย ซึ่งจากเกณฑ์การแบ่งแยกดังกล่าว จะมีการแยกพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองอุดรธานีได้ 41 พื้นที่ย่อย ดังแสดงรายละเอียดของขอบเขตการปกครองของแต่ละพื้นที่ในรูปที่ 3-3 และตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-3 ขอบเขตพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา

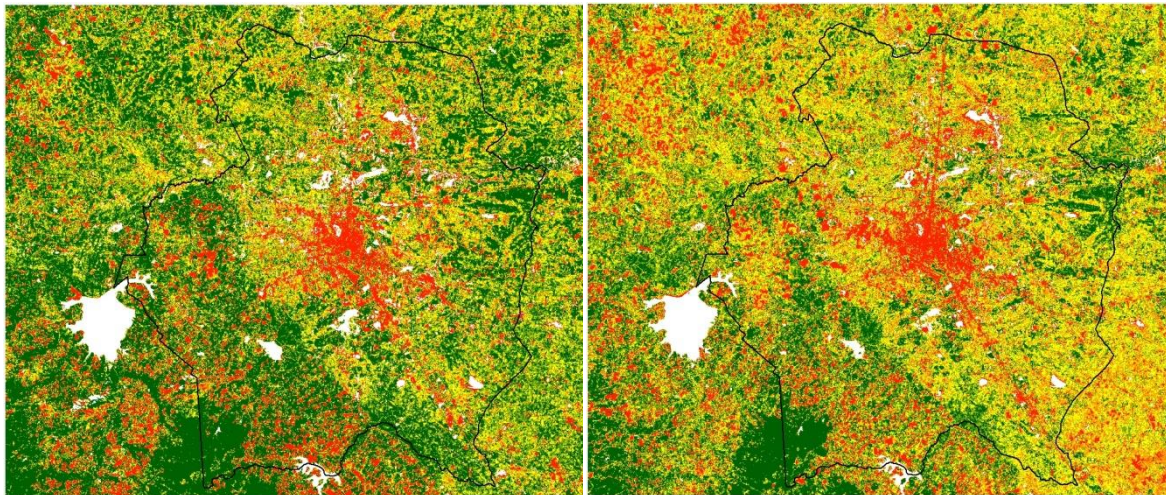
ที่	องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น	ตำบล	พื้นที่โดยประมาณ (ตร.ม.)
1	อบต.นาดี	ต.นาดี	4,466,528
2	อบต.นาดี	ต.บ้านจั่น	17,922,735
3	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.บ้านเลื่อม	3,925,429
4	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หนองบัว	7,416,426
5	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.เชียงพิณ	8,081,462
6	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หมากแข้ง	9,761,348
7	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หนองขอนกว้าง	9,748,686
8	เทศบาลเมืองหนองสาโรง	ต.หมู่ม่น	7,534,080
9	เทศบาลเมืองหนองสาโรง	ต.บ้านเลื่อม	12,569,738
10	เทศบาลเมืองหนองสาโรง	ต.เชียงพิณ	3,828,104
11	เทศบาลเมืองหนองสาโรง	ต.นาดี	124,129
12	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.สามพร้าว	1,306,237
13	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองบัว	13,087,960
14	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองขอนกว้าง	7,541,325
15	อบต.บ้านจั่น	ต.บ้านจั่น	466,384
16	เทศบาลตำบลบ้านจั่น	ต.บ้านจั่น	6,277,892
17	เทศบาลตำบลบ้านจั่น	ต.หนองขอนกว้าง	386,440
18	อบต.บ้านจั่น	ต.หนองขอนกว้าง	12,637,559
19	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.บ้านจั่น	8,594,418
20	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองนาคำ	3,429,082
21	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองนาคำ	7,619,885
22	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านขาว	51,334,241
23	นอกเขตผังเมือง	ต.นาข่า	71,623,913
24	นอกเขตผังเมือง	ต.นาแก	34,423,986
25	นอกเขตผังเมือง	ต.กุดสระ	58,514,059
26	นอกเขตผังเมือง	ต.เชียงยืน	82,488,852
27	นอกเขตผังเมือง	ต.สามพร้าว	97,116,861
28	นอกเขตผังเมือง	ต.หมู่ม่น	22,733,162
29	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านเลื่อม	5,710,578
30	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองบัว	1,995,343
31	นอกเขตผังเมือง	ต.เชียงพิณ	45,385,944
32	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองนาคำ	99,271,886
33	นอกเขตผังเมือง	ต.นิคมสงเคราะห์	45,405,316
34	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองขอนกว้าง	7,753,688
35	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านจั่น	9,913,897
36	นอกเขตผังเมือง	ต.โคกสะอาด	44,973,873
37	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านดาด	96,260,541
38	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองไฮ	82,937,916
39	นอกเขตผังเมือง	ต.โนนสูง	47,156,975
40	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองไผ่	43,266,834
41	นอกเขตผังเมือง	ต.นาดี	24,310,747

3. แผนการประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วมในอดีต

จากผลการประเมินค่า ISA โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) สามารถแสดงแผนที่การประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วม ในปีพ.ศ. 2538, 2549, 2552, และ 2554 (ค.ศ. 1995, 2006, 2009, และ 2011) ในสเกล 0 - 100 พร้อมด้วยขอบเขตอำเภอเมืองอุดรธานี ได้ดังรูปที่ 3-4

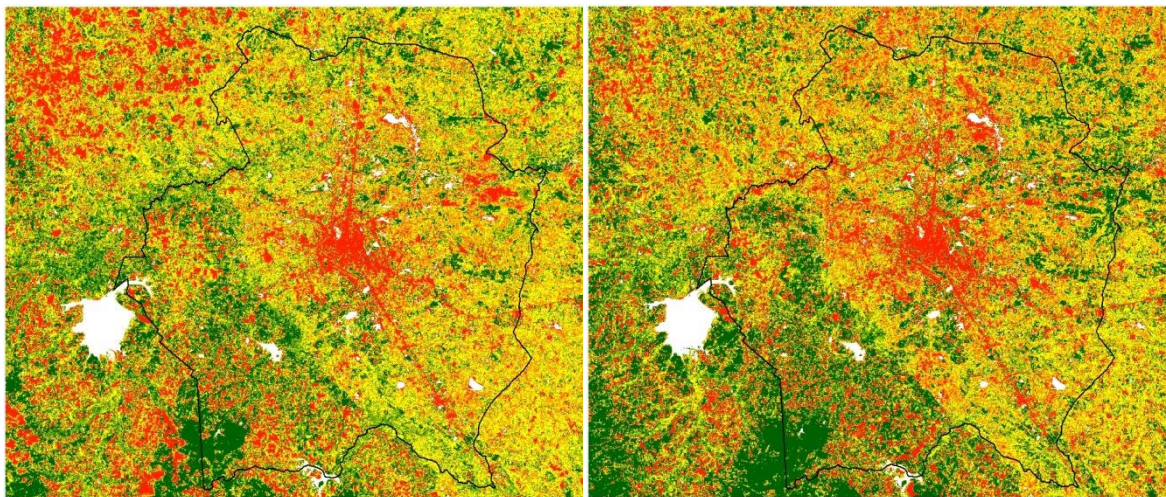
จากรูปที่ 3-4 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า Runoff Curve Number (CN) มาตรฐาน พบว่า ค่า ISA ในสเกล 0-100 มีความสอดคล้อง และสามารถเทียบเคียงได้กับค่า CN ได้เป็นอย่างดี (Carlson, 2004; Chow et al., 1988) โดยใน Pixel ที่อยู่ในพื้นที่เขตเมือง (urban area) หรือพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา (developed area) เป็นชุมชนหนาแน่น จะมีแนวโน้มให้ค่า ISA อยู่ระหว่าง 80-100 และจะมีค่าลดลงตามความหนาแน่นของชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการพัฒนา ลดลงต่อไปยังพื้นที่การเกษตร และพื้นที่ป่าไม้ที่มีพืชปกคลุมค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งมีค่า ISA ไม่เกิน 50 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำค่า ISA ที่คำนวณได้ ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) ไปใช้แทนค่า CN ในแบบจำลองอุทกวิทยาได้ โดยหลีกเลี่ยงขั้นตอนการแยกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (landuse classification) แบบทั่วไป ทำให้ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการกำหนดค่า CN ให้กับการใช้ที่ดินแต่ละประเภทลงได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากหลายช่วงเวลา (รูปที่ 3-4) พบว่า ในช่วง 16 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2554 เขตชุมชนเมืองหนาแน่น (สีแดง) มีการเจริญเติบโต และขยายตัวอย่างสังเกตได้ โดยพื้นที่ ๆ เคยมีพืชปกคลุมหนาแน่น (สีเขียวเข้ม) ถูกแปรสภาพกลายเป็นพื้นที่ที่มีความทึบน้ำมากขึ้น ที่อาจเป็นได้ทั้ง พื้นที่การเกษตร ชุมชนชนบท หรือสิ่งปลูกสร้าง (สีเขียวอ่อน และเหลือง) และสิ่งที่สังเกตได้อย่างชัดเจน คือ การเจริญเติบโตของเขตชุมชนเมืองหนาแน่น (สีแดง) มีทิศทางไปตามแนวเส้นทางคมนาคมสายหลัก เช่น ทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ทางหลวงหมายเลข 22 (อุดรธานี – นครพนม) และ ทางหลวงหมายเลข 210 (อุดรธานี – หนองบัวลำภู) โดยการขยายตัวของเขตชุมชนหนาแน่น (สีแดง) ที่สังเกตได้ นี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิเคราะห์ของมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและ USAID, 2556)



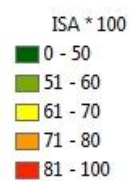
(ก) 21 ต.ค. 2538 (ค.ศ. 1995)

(ข) 19 ต.ค. 2549 (ค.ศ. 2006)

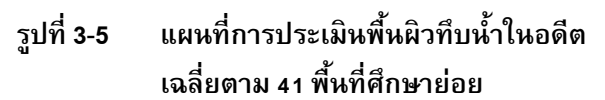
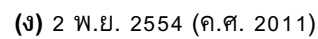
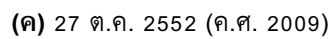
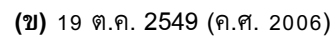
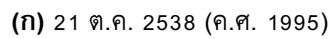


(ค) 27 ต.ค. 2552 (ค.ศ. 2009)

(ง) 2 พ.ย. 2554 (ค.ศ. 2011)



รูปที่ 3-4 แผนที่การประเมินพื้นที่น้ำท่วมในอดีต

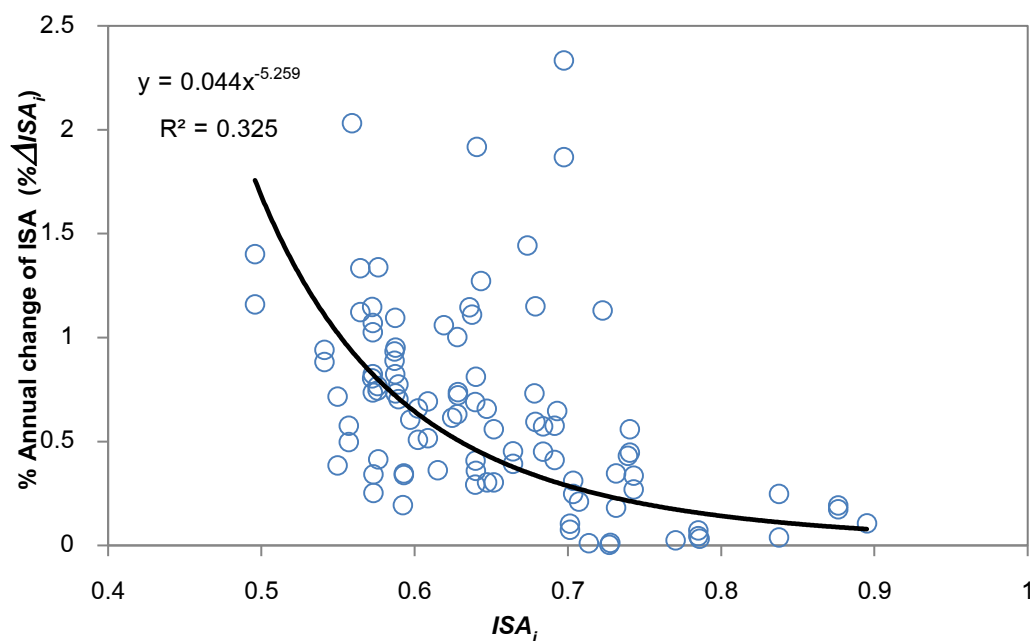


4. แผนที่ทำนายเขตพื้นที่น้ำในอนาคต

เมื่อนำผลการประเมินเขตพื้นที่น้ำ ในปีพ.ศ. 2538, 2549, 2552 และ 2554 มาทำการวิเคราะห์ Zonal Statistics จะได้ผลการวิเคราะห์ค่า ISA เฉลี่ยเชิงพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ย่อย ในแต่ละช่วงเวลา (รูปที่ 3-5) ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ในทุก ๆ ช่วงเวลา พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีและบริเวณโดยรอบ เป็นพื้นที่ที่มีคุณสมบัติความทึบน้ำสูงที่สุด มีค่า ISA > 0.70 โดยมีค่าสูงมากในพื้นที่ตำบลหมากแข้ง ทั้งตำบล (ISA = 0.87-0.90) และพื้นที่ตำบลบ้านเลื่อมที่อยู่ในเขตเทศบาลนคร (ISA = 0.83-0.86) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพจริงเป็นพื้นที่ของสวนราชการ พื้นที่เชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ รวมทั้งพื้นที่ชุมชนที่อยู่อาศัย อยู่ร่วมกันอย่างหนาแน่น ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า CN อีกครั้งแสดงค่าอยู่ในช่วง $77 < CN < 95$ สำหรับตำบลที่มีระดับความทึบน้ำค่าค่อนข้างต่ำที่สุดในเขตอำเภอเมือง ได้แก่ พื้นที่ตำบลหนองไฮ (ISA = 0.49-0.59) เนื่องจากมีพื้นที่ป่าค่อนข้างมาก และตำบลนิคมสงเคราะห์ (ISA = 0.55-0.59) ที่มีพื้นที่การเกษตรค่อนข้างมาก

จากผลการวิเคราะห์ Zonal Statistics ของค่า ISA ในหลายช่วงเวลา (รูปที่ 3-5) ทำให้สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีของพื้นที่นั้นๆ ในระยะห่าง 2 ช่วงเวลาที่พิจารณาได้ โดยเมื่อนำชุดข้อมูลดังกล่าว ของช่วงปีพ.ศ. 2538, 2549 และ 2552 (โดยยกเว้นการใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554) มาวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ร่วมกันทั้งหมดตามรูปที่ 3-6 ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าอัตราการเปลี่ยนแปลง ISA รายปีของพื้นที่ย่อยใดๆ ในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในสมการที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้ และถ้าต้องการทราบค่า ISA ของพื้นที่ใดๆ ในพื้นที่ศึกษา ในปีต่อๆ ไป ก็สามารถคำนวณหาได้โดยการประยุกต์ใช้สมการที่ 7

ในรูปที่ 3-7 แสดงแผนที่ทำนายเขตพื้นที่น้ำ (ค่า ISA ในสเกล 0-100) ในปีพ.ศ. 2588 (ค.ศ. 2045) โดยการใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554 เป็นฐานในการทำนาย



รูปที่ 3-6 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความทึบน้ำรายปี

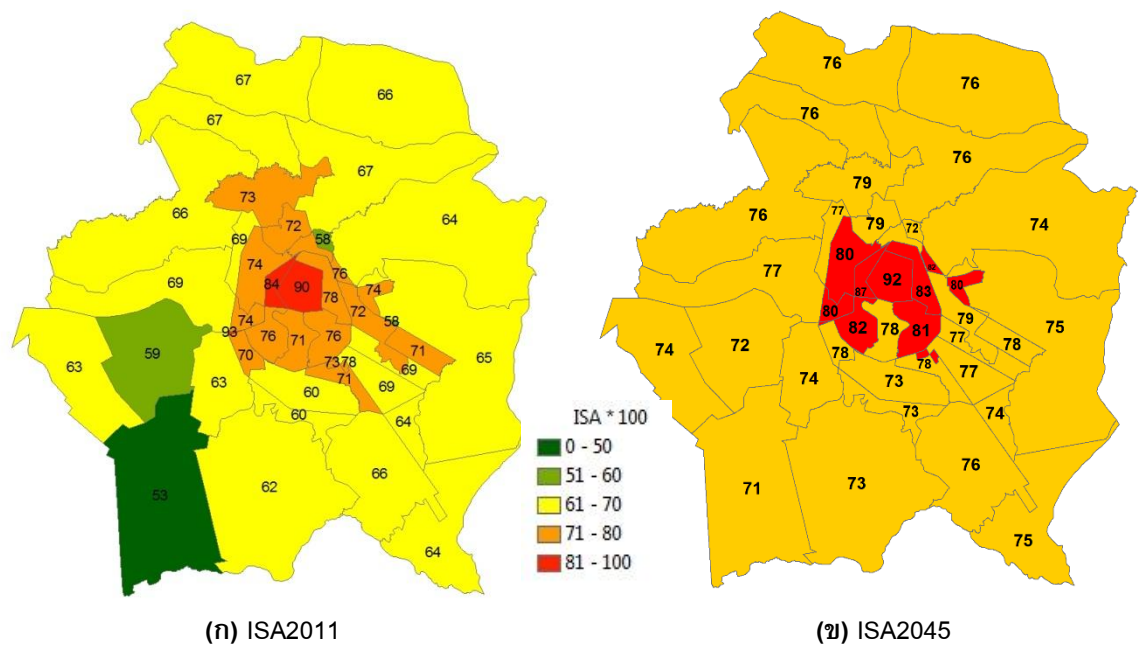
$$\% \Delta ISA_i = \frac{0.044}{(ISA_i)^{5.259}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} ISA_{i+1} &= ISA_i \left(1 + \frac{\% \Delta ISA_i}{100} \right) \\ &\vdots \\ ISA_n &= ISA_{n-1} \left(1 + \frac{\% \Delta ISA_{n-1}}{100} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

โดยที่

ISA_i = ดัชนีพื้นที่ผิวทึบน้ำ (Impervious Surface Area, $0 \leq ISA \leq 1$) ของปีฐานเริ่มการทำนาย

ISA_{i+1} = ดัชนีพื้นที่ผิวทึบน้ำของปีถัดไป จนกระทั่งถึงปีทำนาย n ที่ต้องการ



รูปที่ 3-7 แผนที่การทำนายเขตพื้นที่น้ำท่วม (ค่า ISA ในสเกล 0-100) ในปี พ.ศ. 2588 (2045) โดย
การใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554 (2011) เป็นฐานในการทำนาย

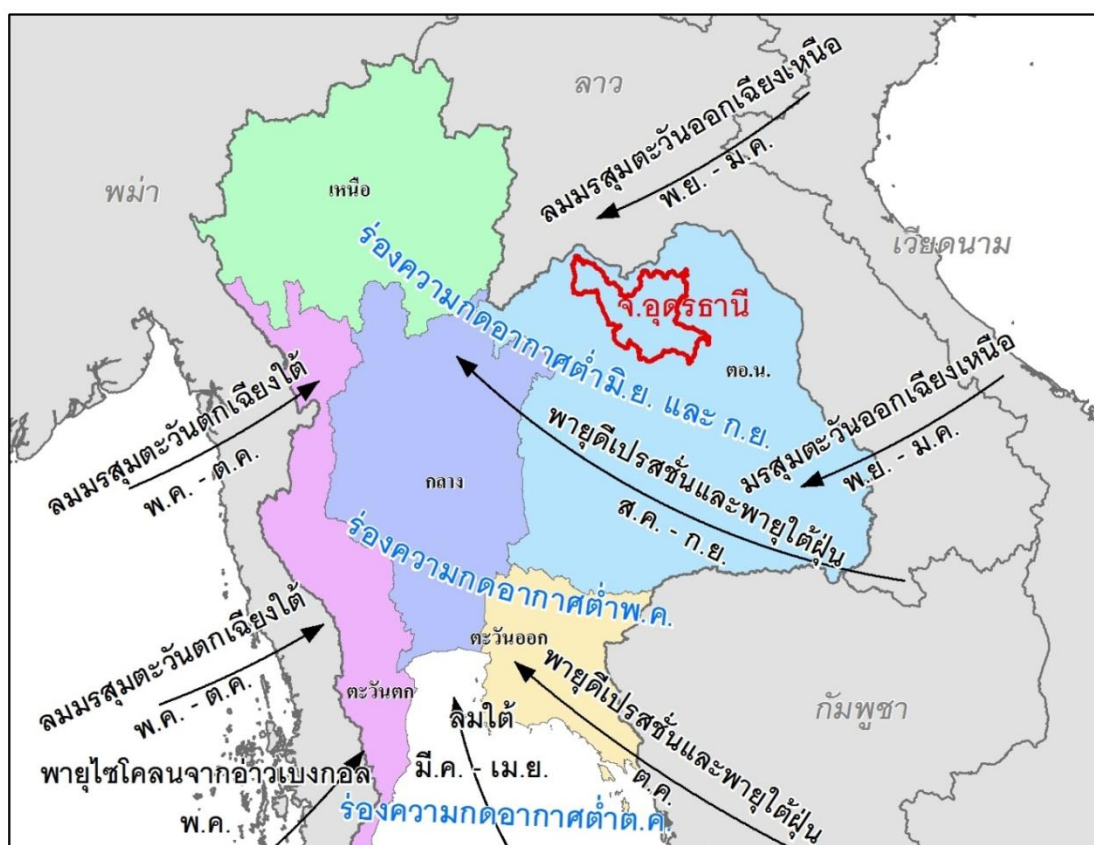
ค. สรุปผลการฉายภาพอนาคตความหนาแน่นของชุมชนในอนาคต 30 ปี (พ.ศ. 2588)

การวิเคราะห์เพื่อการคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคตของการศึกษาในครั้งนี้ได้ปรับเป้าหมายมาวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่น้ำของพื้นที่ศึกษา แทนการคาดการณ์การขยายขอบเขตของชุมชนเมือง เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) และความละเอียดของช่วงคลื่น (spectral resolution) ไม่มากเพียงพอที่จะทำการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างละเอียดเพียงพอที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้

ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาลู่ทางเลือกวิธีการอื่นๆ เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ให้ได้มาซึ่งข้อมูลนำเข้าที่แบบจำลองอุทกวิทยาต้องการ ซึ่งวิธีการที่ได้เลือกในงานศึกษาครั้งนี้ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งเพิ่งได้รับการเสนอโดย Carlson and Arthur (2000) ซึ่งอาจยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนัก และอาจมีความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ภายใต้ข้อสมมติฐานและนิยามที่กำหนดขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบวิธีการดังกล่าวเพื่อใช้ในการประเมินค่าดัชนีพื้นที่ที่เปียกน้ำ (Impervious Surface Area, ISA) ของอำเภอเมืองอุดรธานี ซึ่งมีทั้งพื้นที่ส่วนที่เป็นพื้นที่เมือง พื้นที่ชนบท พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม ค่า ISA ที่ประเมินได้มีความสอดคล้องเป็นไปในแนวทางเดียวกับค่า Runoff Curve Number (CN)

3.2 ฝนในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

การศึกษาทำความเข้าใจพายุฝนในพื้นที่อุดรธานีมีความสำคัญในลำดับต้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนป้องกันและเตรียมการรับมือภาวะน้ำท่วม พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียงตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำมรสุมและพายุหมุนเขตร้อน ที่ส่งผลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ (รูปที่ 3-8) ประกอบด้วย ร่องความกดอากาศต่ำช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน พายุหมุนเขตร้อนโดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ปริมาณฝนลดลงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม



รูปที่ 3-8 ทิศทางมรสุมและพายุหมุนเขตร้อนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา

ก. การศึกษาพายุฝน

จากการรวบรวมข้อมูลพายุจากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า จากเส้นทางพายุหมุนเขตร้อนจากแหล่งกำเนิดมหาสมุทรแปซิฟิกที่เข้าสู่ประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2494-2556 ที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย มีจำนวนทั้งสิ้น 129 ลูก มีพายุที่พัดผ่านจังหวัดอุดรธานี จำนวน 33 ลูก พบว่า พายุโซนร้อน "อุซางิ" วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศ จังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลา 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ซึ่งยังมีปริมาณฝนน้อยกว่าพายุสูงสุด 10 อันดับแรกของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย รายละเอียดพายุแต่ละลูก แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 พายุที่ทำให้เกิดปริมาณฝนสะสม 3 วันสูงสุด 10 อันดับแรกของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย

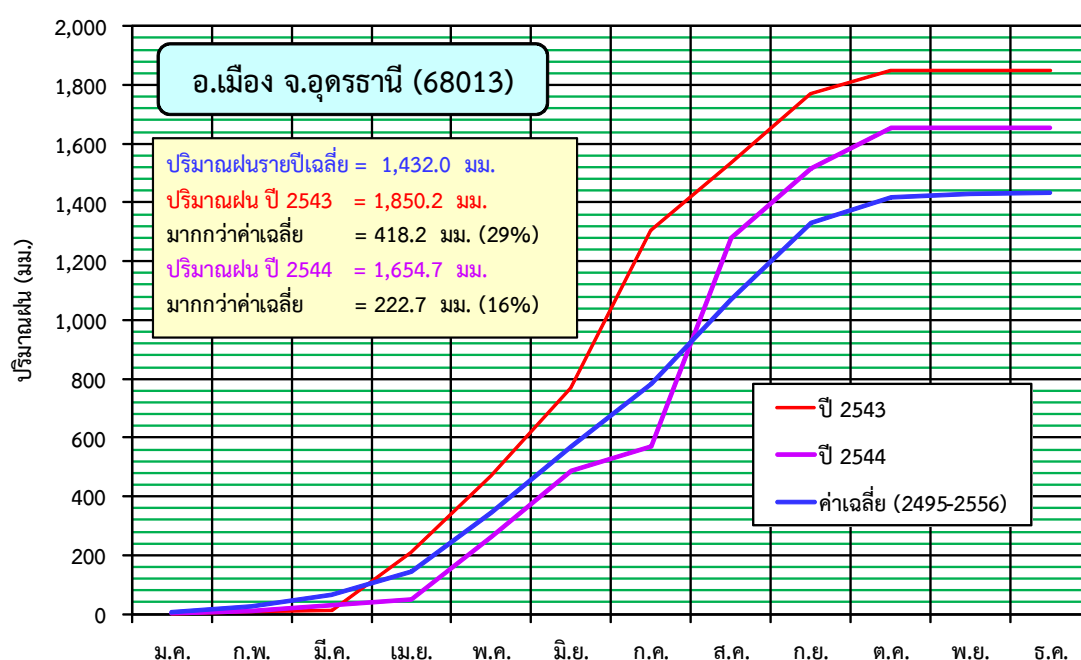
ลำดับ	ชื่อพายุ	ช่วงเวลา 3 วัน ที่เกิดฝนสูงสุด	สถานีที่วัดฝนได้สูงสุด			ปริมาณฝนที่วัดได้สูงสุด ช่วงเวลา 3 วัน (มิลลิเมตร)
			รหัส	อำเภอ	จังหวัด	
1	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	10 - 12 ก.ย. 2548	13582	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	801.10
2	พายุดีเปรสชัน	14 - 16 ส.ค. 2517	11230	นาคู	กาฬสินธุ์	647.60
3	พายุดีเปรสชัน	2 - 4 ต.ค. 2503	66032	คลองใหญ่	ตราด	739.30
4	พายุโซนร้อน "อีรา" (IRA)	2 - 4 ต.ค. 2533	22230	องค์กรักษ์	นครนายก	645.90
5	พายุดีเปรสชัน	3 - 5 มิ.ย. 2515	67192	โขงเจียม	อุบลราชธานี	591.90
6	พายุดีเปรสชัน	7 - 9 ต.ค. 2517	09102	สัดหับ	ชลบุรี	513.20
7	พายุโซนร้อน "เวอร์นัน" (VERNON)	10 - 12 มิ.ย. 2527	70180	ปากท่า	อุดรดิษฐ์	505.00
8	พายุไต้ฝุ่น ELSIE (7217)	5 - 7 ก.ย. 2515	60360	บางปลาเ้า	สุพรรณบุรี	491.70
9	พายุไต้ฝุ่น VAE (5218)	21 - 23 ต.ค. 2495	06032	แหลมสิงห์	จันทบุรี	482.80
10	พายุไต้ฝุ่น TILDA (6419)	21 - 23 ก.ย. 2507	49052	อาจสามารถ	ร้อยเอ็ด	464.20

ข. สถิติปริมาณฝน

สถิติปริมาณฝนจังหวัดอุดรธานีจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม ได้ประเมินปริมาณน้ำฝนของจังหวัดอุดรธานีว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เฉลี่ยตลอดปี 1,498.7 มิลลิเมตร มีจำนวนวันที่ฝนตก 21 วัน

จากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดระหว่าง พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ.2556 (ตารางที่ 3-3) ปริมาณฝนที่ตกระยะเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) มีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร ปริมาณฝนที่ตกระยะเวลา 48 ชั่วโมง (2 วัน) มีปริมาณสูงสุด 309 มิลลิเมตร ปริมาณฝนที่ตกเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (3 วัน) มีปริมาณสูงสุด 313.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 ซึ่งได้รับอิทธิพลร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่าน ประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ปริมาณฝนสูงสุดลำดับรองลงมา ได้แก่ วันที่ 9-10 สิงหาคม 2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่อำเภอเมืองอุดรธานี ช่วงเวลา 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อน "อูซางิ" ลำดับที่ 3 ได้แก่ วันที่ 15-17 สิงหาคม 2517 มีปริมาณฝนสูงสุดที่อำเภอเมืองอุดรธานี ช่วงเวลา 3 วัน เท่ากับ 308.30 มิลลิเมตร ได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย



รูปที่ 3-9 ปริมาณฝนสะสมในปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2544 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3-3 สถิติปริมาณฝนสูงสุด ที่มีระยะเวลาตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน

Year	Maxrain 1 Day (mm.)	Maxrain 2 Day (mm.)	Maxrain 3 Day (mm.)	Year	Maxrain 1 Day (mm.)	Maxrain 2 Day (mm.)	Maxrain 3 Day (mm.)
2495	155.00	192.90	225.10	2526	121.30	193.20	194.10
2496	111.20	122.60	125.90	2527	63.50	75.70	92.10
2497	79.10	109.90	120.20	2528	98.70	98.90	103.80
2498	85.50	138.80	142.20	2529	88.20	140.30	215.20
2499	76.10	116.90	116.90	2530	118.00	128.10	128.60
2500	71.40	108.30	154.30	2531	158.30	186.20	202.80
2501	83.50	126.90	137.90	2532	83.90	123.10	136.60
2502	105.60	108.90	148.60	2533	73.30	96.40	126.80
2503	98.90	150.30	169.90	2534	120.60	133.10	191.90
2504	122.80	143.50	154.30	2535	56.30	90.50	125.90
2505	96.40	126.60	129.00	2536	55.50	99.50	102.90
2506	125.10	142.40	142.40	2537	103.60	154.40	172.60
2507	72.60	94.60	145.80	2538	127.00	159.90	169.70
2508	105.40	120.20	161.20	2539	72.20	115.70	151.00
2509	74.60	119.20	148.90	2540	75.70	111.00	131.10
2510	153.60	212.40	225.20	2541	72.70	111.50	112.50
2511	89.20	133.70	136.20	2542	106.00	143.60	173.10
2512	83.10	124.30	146.80	2543	274.50	309.30	313.50
2513	120.90	172.60	233.30	2544	192.60	275.20	309.30
2514	106.30	123.70	133.80	2545	92.60	129.60	167.60
2515	53.60	61.40	75.30	2546	94.80	142.50	163.10
2516	143.30	143.30	164.00	2547	59.20	92.60	93.40
2517	247.00	287.40	308.30	2548	79.20	119.50	122.40
2518	102.20	129.50	130.90	2549	118.10	161.20	166.20
2519	116.60	132.90	141.00	2550	93.40	108.40	116.40
2520	112.40	115.00	115.00	2551	87.70	123.10	143.00
2521	166.20	182.40	197.70	2552	144.70	172.80	172.80
2522	78.20	97.60	115.70	2553	93.90	103.90	120.00
2523	146.00	175.40	193.40	2554	139.70	178.50	191.10
2524	62.10	96.30	134.80	2555	64.20	64.20	74.20
2525	64.10	64.10	90.40	2556	83.90	110.20	140.70
Mean					105.18	135.90	154.66
Max					274.50	309.30	313.50
Min					53.60	61.40	74.20
Standard Deviation					41.81	47.73	50.11
Skew					1.88	1.65	1.42

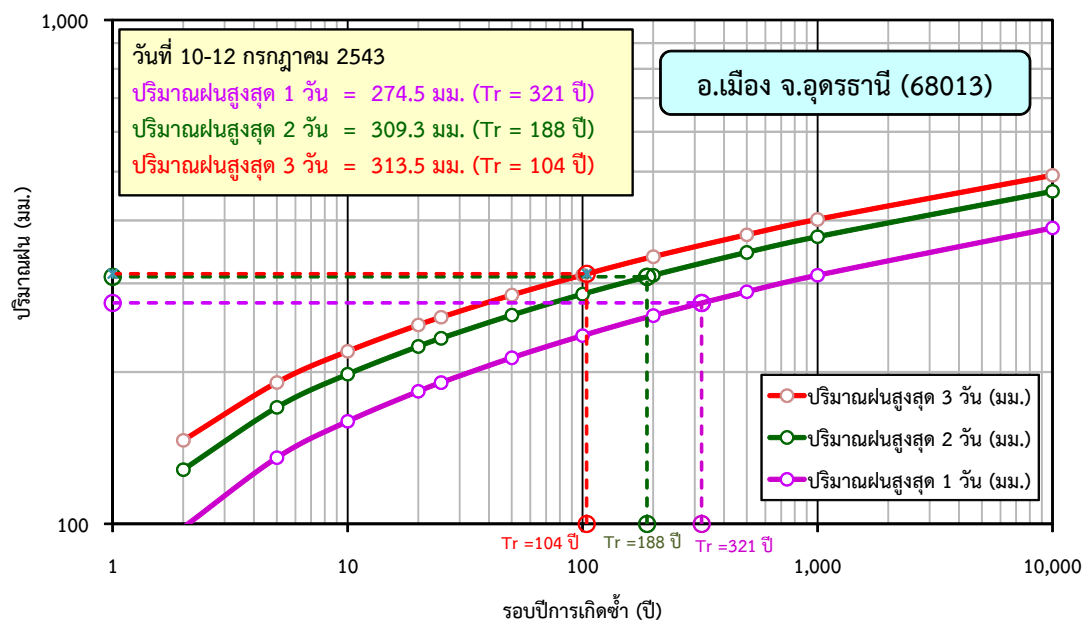
ค. การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ของการเกิดฝน

การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ (frequency analysis) ของการเกิดฝนใช้ข้อมูลปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่ระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ของสถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) ได้ทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล (Gumbel distribution) ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3-4 และรูปที่ 3-10 แสดงปริมาณฝนสะสมที่ระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ที่มีรอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี ถึง 10,000 ปี

จากรูปที่ 3-10 เมื่อพิจารณาปริมาณฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 ที่ระยะเวลาการตก 1 วัน ถึง 3 วัน พบว่า ปริมาณฝนสะสมที่ตกระยะเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 321 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.3115% ปริมาณฝนสะสมที่ตกระยะเวลา 48 ชั่วโมง (2 วัน) มีปริมาณสูงสุด 309.3 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 188 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.531% ปริมาณฝนสะสมที่ตกเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง (3 วัน) มีปริมาณสูงสุด 313.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 104 ปี หรือ มีโอกาสที่มีปริมาณฝนมากกว่านี้ เท่ากับ 0.9615%

ตารางที่ 3-4 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของอำเภอเมืองอุดรธานี

รอบปีการเกิด (ปี)	โอกาสการเกิด (%)	ช่วงเวลาฝน		
		1 วัน	2 วัน	3 วัน
2	50	98.32	128.07	146.43
5	20	135.27	170.25	190.71
10	10	159.73	198.18	220.03
20	5	183.20	224.97	248.15
25	4	190.64	233.46	257.07
50	2	213.57	259.64	284.56
100	1	236.33	285.63	311.83
200	0.5	259.01	311.52	339.01
500	0.2	288.93	345.67	374.87
1,000	0.1	311.54	371.49	401.97
10,000	0.01	386.62	457.20	491.95



รูปที่ 3-10 ปริมาณฝนและความถี่ของการเกิดของฝน
ที่มีระยะเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ที่ อ.เมือง จ.อุดรธานี

ง. การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation, PMP) ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง ได้ทำการศึกษาพายุฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในเขตพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (2556) ทั้งกรณีจากพายุฝนที่เคลื่อนเข้าสู่อำเภอเมืองอุดรธานีจริง และกรณีทำการเคลื่อนย้ายพายุฝนที่มีโอกาสส่งผลให้เกิดปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

ในการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือก วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จากทั้งหมด 8 วิธี ตามการแบ่งของ World Meteorological Organization (2009) เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทย และทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษากับผลการศึกษาเดิมของกลุ่มน้ำโขงซึ่งศึกษาโดย US Army Corps of Engineers (1970) ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา ประกอบด้วย

1. การทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน (Storm Maximization)

การประเมิน PMP ในพื้นที่เฉพาะเจาะจงหรือพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษา (Local Method) โดยใช้ข้อมูลพายุฝนที่เกิด ณ พื้นที่นั้น ๆ ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีข้อมูลพายุฝนที่ยาวนานการทำพายุฝนมากที่สุด (Storm Maximization) คือ การปรับพายุฝนขนาดใหญ่ที่เคยเกิดขึ้นให้มีค่าสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ใช้วิธีการปรับปริมาณฝนมากที่สุดด้วยปริมาณความชื้น (Moisture Maximization) เป็นการทำให้พายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิด โดยการปรับแก้ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ของวันที่เกิดพายุฝน ณ ตำแหน่งที่เกิด และทำการเปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ นำมาหาค่าอัตราส่วน (r_1) การปรับแก้ (ไชยาพงษ์, 2557)

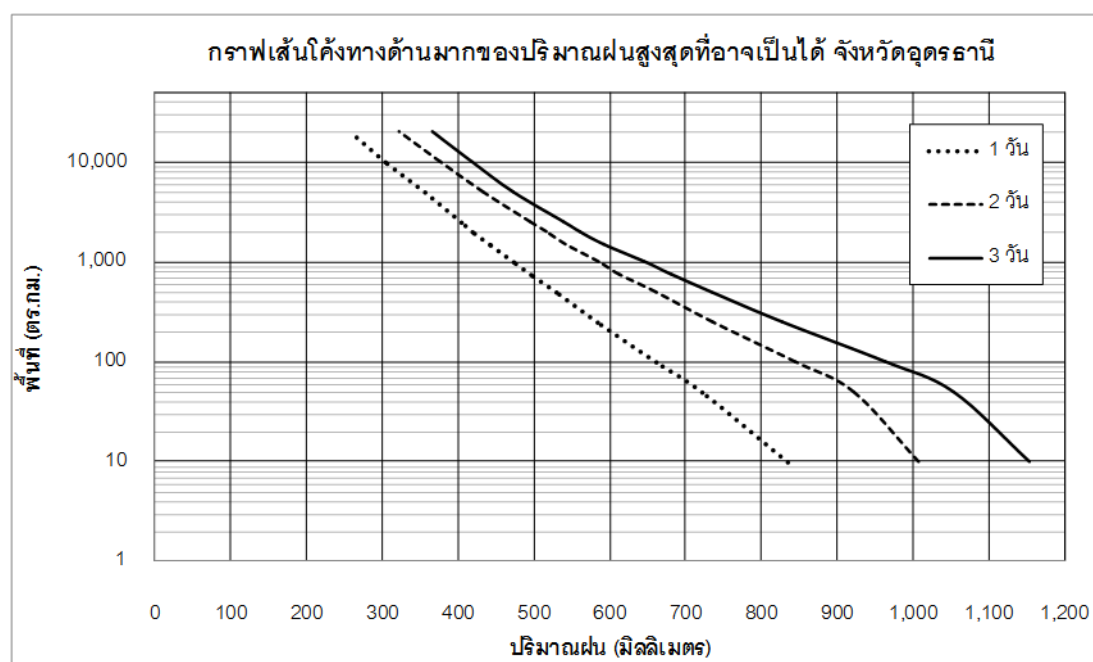
2. การเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition)

สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลพายุฝนหรือมีน้อย จึงจำเป็นต้องทำการเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition) คือ การเคลื่อนย้ายพายุฝนจากบริเวณที่เกิดมายังพื้นที่ที่ศึกษา ภายใต้รูปแบบและลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน การเคลื่อนย้ายพายุฝนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเคลื่อนย้ายพายุฝนโดยตรง คือ การนำเอาพายุฝนจากบริเวณอื่นมาใช้ในพื้นที่ศึกษาโดยตรงไม่ต้องมีการปรับแก้ และการเคลื่อนย้ายพายุฝนด้วยวิธีการปรับแก้ ซึ่งพิจารณาปรับแก้ตาม WMO (2009) การเคลื่อนย้ายพายุฝนโดยวิธีการปรับแก้ เป็นวิธีที่ใช้กันมากเนื่องจากให้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ในการเคลื่อนย้ายพายุฝนมีตัวแปรที่สำคัญที่ต้องพิจารณาปรับแก้ ได้แก่ ความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง สิ่งกีดขวาง ละติจูด ระยะห่างจากทะเล สภาพภูมิประเทศ ความเร็วลม และฤดูกาล (WMO, 2009)

จากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุด สำหรับช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน พายุสูงสุด 10 อันดับแรก และค่าปรับแก้สำหรับพายุสูงสุด 10 อันดับแรก ทำการย้ายพายุฝนมาที่ตำแหน่งอำเภอเมืองอุดรธานี จากนั้นดำเนินการสร้างเส้นโค้งทางด้านมากเพื่อทำให้เป็นค่าสูงสุด แสดงปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของอำเภอเมืองอุดรธานี ไว้ในรูปที่ 3-11 และตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่าง ๆ ของ
อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง

พื้นที่ ตร.กม.	1 วัน	2 วัน	3 วัน
10	835	1007	1153
50	722	922	1053
100	661	844	964
250	585	736	828
500	530	661	735
750	497	613	681
1,000	474	586	647
1,500	443	542	591
2,000	420	516	559
2,500	405	495	539
5,000	356	434	471
10,000	305	377	417
20,000	258	323	366



รูปที่ 3-11 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่าง ๆ
ของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง

จ. สรุปการศึกษาข้อมูลฝน

จากการศึกษาข้อมูลฝน พบว่า ปริมาณฝนสะสมสูงสุดระหว่าง พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ.2556 ปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ถึง 3 วัน เป็นฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 โดยปริมาณฝนสะสมที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 321 ปี ที่ช่วงเวลาการตก 2 วัน 309.3 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 188 ปี และ ที่ช่วงเวลาการตก 3 วัน 313.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 104 ปี พายุโซนร้อน "อูซางิ" วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลาการตก 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน สำหรับพื้นที่ระบายน้ำผ่านเทศบาลนครอุดรธานี (ประมาณ 10 ตารางกิโลเมตร) มีปริมาณเท่ากับ 835 1007 และ 1153 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3.3 สถานการณ์น้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีมีลำน้ำห้วยหลวงเป็นลำน้ำสายหลักไหลผ่านพื้นที่ โดยมีปริมาณน้ำจากพื้นที่รับน้ำตอนบนของห้วยหลวงประมาณ 1,000 ตร.กม. ก่อนไหลผ่านพื้นที่เมืองทางทิศเหนือของเทศบาลนครอุดรธานี ปัจจุบันมีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงคอยช่วยเก็บกักน้ำและบรรเทาอุทกภัย แต่ก็ยังประสบปัญหาน้ำท่วมเกือบทุกปี เนื่องจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ซึ่งมีความจุที่ระดับเก็บกัก 113 ล้าน ลบ.ม. แต่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย 234 ล้าน ลบ.ม./ปี มากกว่าปริมาณที่อ่างเก็บน้ำสามารถรองรับได้ ซึ่งเกิดจากปริมาณฝนเฉลี่ย 1,460 มม./ปี

ก. สถานการณ์น้ำท่วมในอดีต

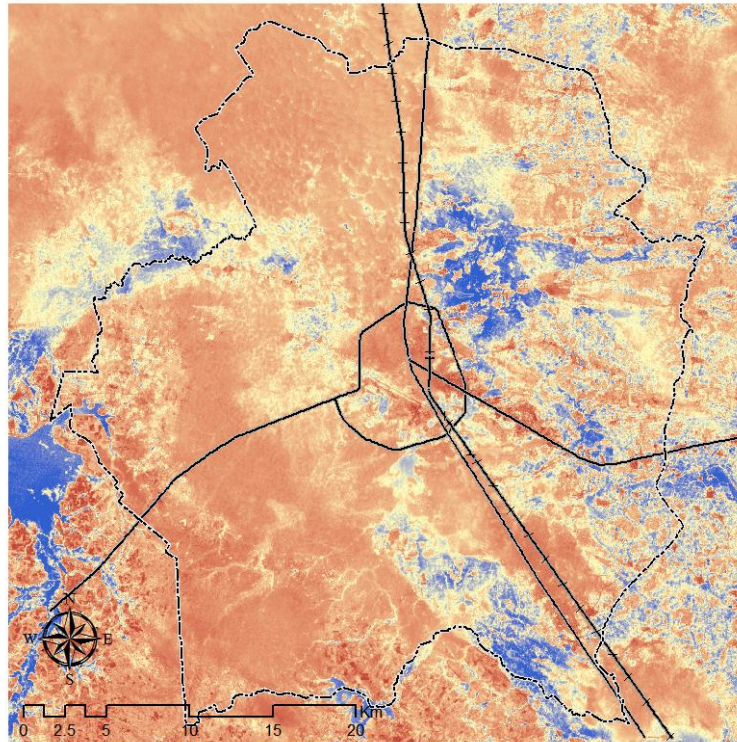
การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณฝนในปีที่เกิดน้ำท่วมที่สำคัญเมื่อพิจารณาทั้งในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงซึ่งอำเภอเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ จากการรวบรวมและทบทวนข้อมูลพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยมีปีที่เกิดน้ำท่วมที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

1) น้ำท่วมปี พ.ศ. 2543 ลุ่มน้ำห้วยหลวงได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านประเทศลาวและประเทศพม่า ประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้พายุฝนตกหนักในพื้นที่ในเดือนกรกฎาคม ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่ง และไหลบ่าเข้าท่วมอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี น้ำท่วมสูงโดยเฉลี่ย 0.5 – 1.0 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 9 วัน รวมมูลค่าความเสียหาย 1,505 ล้านบาท

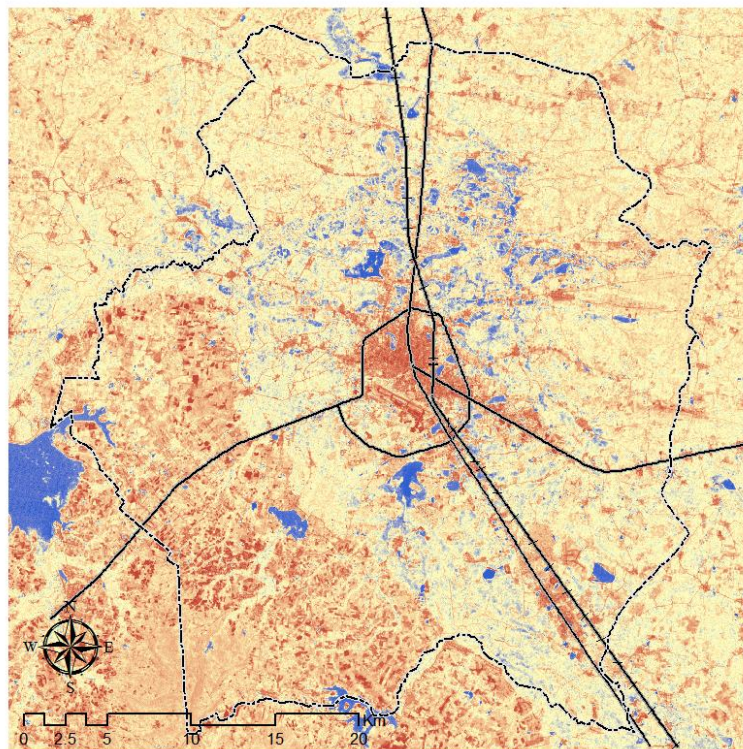
โดยในปี 2543 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,850.2 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2495-2556) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 29 และเมื่อทำการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 536.3 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 13 ปี และปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 313.5 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 103 ปี

2) น้ำท่วมปี พ.ศ. 2544 เกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำห้วยหลวง 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อน “อูซางิ” วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 ทำให้เกิดพายุฝนตกหนักในพื้นที่ ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่งและท่วมขัง โดยน้ำท่วมขังสูงเฉลี่ย 0.5-1.2 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 7 วัน และครั้งที่ 2 เกิดฝนตกหนักในบริเวณต้นของห้วยน้ำรินและห้วยคาน ในเขตอำเภอหนองแสง และอำเภอหนองวัวซอ ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลาก เข้าท่วมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี และบริเวณใกล้เคียง โดยน้ำท่วมสูงเฉลี่ย 0.2-1.0 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 8 วัน รวมมูลค่าความเสียหาย 1,067 ล้านบาท

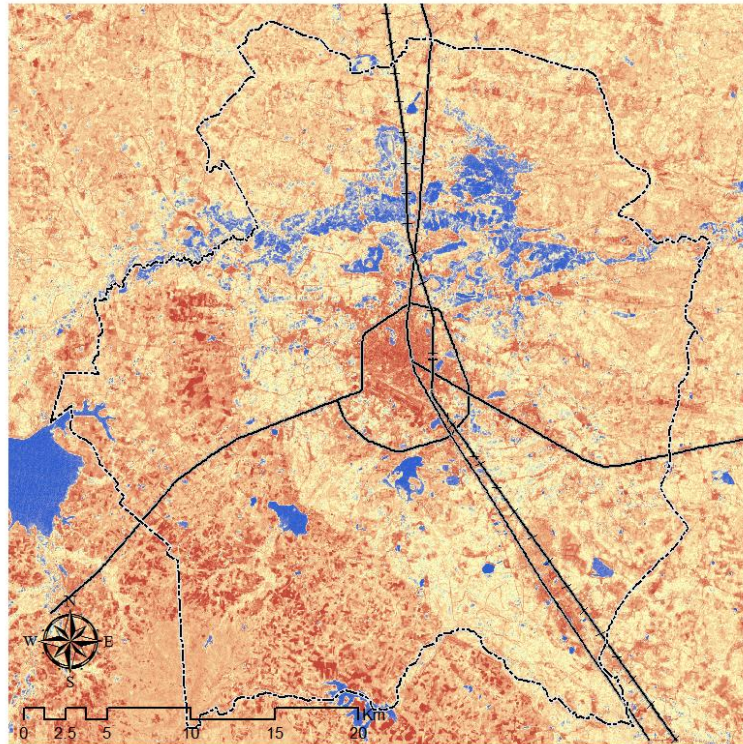
โดยในปี 2544 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,654.7 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2495-2556) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 16 และเมื่อทำการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 709.5 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 93 ปี และปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 309.3 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 93 ปี



รูปที่ 3-12 พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 14 กรกฎาคม 2543
หมายเหตุ: พื้นที่ด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือของอำเภอเมืองอุดรธานีมีเมฆปกคลุมบางส่วน (แสดงผลเป็นสี
ส้มเข้ม)



รูปที่ 3-13 พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 16 กันยายน 2543



รูปที่ 3-14 พื้นที่น้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี วันที่ 19 กันยายน 2544

ข. สภาพน้ำท่วมและความเสียหาย

เนื่องจากตัวเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ราบ และมีลำห้วยไหลผ่านหลายสาย ในทุกครั้งที่ฝนตก แม้ไม่มากนักก็จะเกิดน้ำท่วมขังเป็นประจำ เช่น เมื่อปี พ.ศ.2513 พ.ศ.2529 พ.ศ.2543 และพ.ศ.2544 ซึ่งเกิดอุทกภัยใหญ่ของตัวเมืองอุดรธานี

ในปี พ.ศ.2543 สาเหตุจากอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และสภาพเมียนมา ประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี วัดปริมาณฝนสูงสุด 274.5 มม. (สถานีอุตุนิยมวิทยาอุดรธานี) ทำให้เกิดน้ำท่วมขังตั้งแต่วันที่ 11 กรกฎาคม 2543 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.50-1.00 เมตร มูลค่าความเสียหายประมาณ 59 ล้านบาท

ในปี พ.ศ.2544 ครั้งที่ 1 เนื่องจากอิทธิพลของพายุโซนร้อนอูซางิ ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี วัดปริมาณฝนสูงสุด 240.1 มม. (สถานีโครงการชลประทานอุดรธานี) ทำให้เกิดน้ำท่วมขังเป็นพื้นที่กว้าง มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.50-1.20 เมตร เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2544 และครั้งที่ 2 เนื่องจากเกิดฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำห้วยรินในเขตอำเภอหนองแสง และอำเภอหนองวัวซอ ในวันที่ 5 กันยายน 2544 วัดปริมาณฝนสูงสุด 104.3 มม. (สถานีอ่างเก็บน้ำกุดลิงง้อ) ทำให้น้ำป่าไหลเข้าท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่วันที่ 7 กันยายน 2544 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.20-1.00 เมตร

สถานการณ์น้ำท่วมในปัจจุบันในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 ที่ได้เริ่มดำเนินการแก้ไขปัญหาหน้าท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี โดยมีการขุดคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งยังไม่เกิดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี แต่จะพบในพื้นที่ห้วยหลวงที่ติดกับถนนมิตรภาพและริมตลิ่งของลำน้ำห้วยหลวง สำหรับในเขตเทศบาลนครอุดรธานีจะมีปัญหาน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ระบายน้ำลงท่อระบายน้ำไม่ทัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่และการถมที่เพื่อก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร จึงกีดขวางทางน้ำที่ไหลลงทางระบายน้ำ ดังนั้นจะต้องมีการปรับปรุงกฎระเบียบ พร้อมทั้งปรับปรุงขนาดของทางระบายน้ำ/ท่อระบายน้ำ ควบคู่กันไป

จากรายงานการติดตามพื้นที่น้ำท่วมปี พ.ศ.2557 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2557) บริเวณบางส่วนของจังหวัดบึงกาฬ สกลนคร หนองคาย และอุดรธานี พบว่า พื้นที่น้ำท่วมขังส่วนใหญ่เป็นบริเวณพื้นที่ราบต่ำ และพื้นที่ลุ่มการเกษตร บริเวณริมแม่น้ำสายหลักและลำน้ำย่อย โดยในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภาวน้ำท่วม 257 ไร่ บ้านเรือนถูกน้ำท่วม 6 หลังคาเรือน

แต่เนื่องจากลำห้วยหมากแข้ง ซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่มีปริมาณน้ำมาก และมีเส้นทางไหลผ่านตัวเทศบาลนครอุดรธานี และห้วยริน ซึ่งเป็นลำน้ำที่มีปริมาณน้ำทำให้เกิดน้ำท่วมใน ปี 2544 ยังไม่ได้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งกรมชลประทานได้วางแผนก่อสร้างไว้ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยริน อ่างเก็บน้ำห้วยเซียงอินทร์ อ่างเก็บน้ำห้วยกอนพิลา และอ่างเก็บน้ำห้วยโตนช้าง หากมีการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 แห่งจะสามารถบริหารจัดการน้ำจากต้นน้ำช่วยชะลอน้ำไว้ได้ อีกทั้งยังสามารถกักเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้งด้วย ซึ่งสภาพปัจจุบันจังหวัดอุดรธานียังประสบปัญหาด้านภัยแล้ง

ค. สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในช่วงปี 2543/2544 มีสาเหตุสามประการ คือ

(1) ปริมาณฝนตกมากกว่าฝนเฉลี่ยในรอบ 48 ปี (พ.ศ.2495-พ.ศ.2542) ในปี 2543 มีปริมาณฝนมากกว่าฝนเฉลี่ย 18.67% และมีปริมาณฝน 1 วัน สูงสุดวัดได้ 200.0 มม. ในวันที่ 11 กรกฎาคม 2543 ฝนในปี 2544 มีปริมาณฝนตกถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2544 มากกว่าฝนเฉลี่ย 40.22% หรือมากกว่าปี 2543 เท่ากับ 21.55% และปริมาณฝน 1 วันสูงสุดวัดได้ 240.1 มม. ในวันที่ 10 สิงหาคม 2544

(2) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านมีปริมาณมากและเคลื่อนตัวเร็ว เมื่อเกิดฝนตกหนักในพื้นที่อำเภอหนองแสง อำเภอหนองวัวซอ และอำเภอเมือง ทำให้ปริมาณน้ำในลำห้วยสำคัญต่างๆ มีปริมาณน้ำสูงขึ้น และน้ำได้ไหลอย่างรวดเร็วลงอ่างเก็บน้ำต่างๆ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยสามพาด อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง อ่างเก็บน้ำกุดลิงจ้อ และอ่างเก็บน้ำบ้านจั่น อ่างเก็บน้ำไม่มีการบริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบเมื่อมีฝนตกหนักจึงไม่สามารถช่วยชะลอการระบายน้ำไม่ให้ไหลเข้าตัวเมืองอุดรธานีได้

(3) การพัฒนาเมืองและการขยายตัวของชุมชน ทั้งที่เป็นสิ่งก่อสร้างของภาครัฐและเอกชน กีดขวางการไหลทางน้ำตามธรรมชาติ เมื่อน้ำระบายได้ช้าจึงทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นและท่วมขังเป็นเวลานาน ถึงแม้จะมีฝนจะตกลงมาไม่มาก

สภาพน้ำท่วมในปัจจุบันในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่ปี 2544 ที่ได้เริ่มดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี โดยมีการขุดคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ยังไม่พบปัญหาน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานีเหมือนในอดีตที่ผ่านมา

ง. การดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมของจังหวัดอุดรธานี

คณะกรรมการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภัยจังหวัดอุดรธานี (2544) ได้กำหนดแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมภัยจังหวัดอุดรธานี โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

(1) การควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขตเทศบาลนครอุดรธานี

การควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลจากลุ่มน้ำห้วยหมาก และลุ่มน้ำห้วยริน ไม่ให้เข้าเขตเทศบาลนครอุดรธานี และสามารถควบคุมได้ โดยการปรับปรุงระบบระบายน้ำ ซึ่งเดิมไม่มีประตูระบายน้ำตามจุดต่างๆ ที่น้ำไหลผ่านเข้าเมือง

- ปรับปรุงช่องทางการไหลของน้ำทั้งหมด จากเดิมที่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ ให้น้ำสามารถไหลได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยการก่อสร้างและปรับปรุงสะพาน ท่อลอด ท่อเหลี่ยม และอื่นๆ เช่น บริเวณสี่แยกถนนเลี้ยวเมืองไปจังหวัดขอนแก่น (สี่แยกขอนแก่น) จากเดิมมีท่อเหลี่ยมลอดถนน ก่อสร้างใหม่ให้เป็นสะพาน และบริเวณสี่แยกถนนเลี้ยวเมืองไปจังหวัดสกลนคร (สี่แยกวิทยาลัยสันตพล) จากเดิมมีท่อเหลี่ยมลอดถนน ก่อสร้างใหม่ให้เป็นสะพาน

- ก่อสร้างและปรับปรุงระบบผันน้ำพร้อมอาคารประกอบ ด้านทิศตะวันออกของตัวเมืองก่อสร้างและปรับปรุงคลองระบายน้ำพร้อมอาคารประกอบ เพื่อรองรับน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำบ้านจั่นให้ไหลขนานไปกับถนนเลี้ยวเมืองลงสู่ลำห้วยมั่ง

- ด้านทิศตะวันตกของเมืองผืนน้ำอ้อมเมืองไม่ให้เข้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี บริเวณสามแยกถนนเลี้ยวเมืองไปจังหวัดหนองบัวลำภู (สามแยกบ้านดอนอีไช) ก่อสร้างและขุดคลองระบายน้ำพร้อมอาคารประกอบ เพื่อผันน้ำส่วนเกินจากลุ่มน้ำห้วยรินลงสู่ห้วยดาน จากห้วยดานลงสู่อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และจากอ่างเก็บน้ำหนองสำโรงลงสู่ห้วยหลวงต่อไป

(2) การระบายน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

เมื่อมีการควบคุมปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำห้วยหมากแข้ง และลุ่มน้ำห้วยริน หรือน้ำป่าไม่ให้ไหลผ่านเข้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี และผันน้ำส่วนเกินเหล่านี้ออกจากเมืองแล้ว ภายในตัวเมืองจะมีการระบายน้ำเฉพาะน้ำฝน และน้ำที่ใช้ในพื้นที่เขตเมืองเท่านั้น โดยการขุดลอกห้วยต่างๆ ที่ไหลผ่านตัวเมือง ปรับปรุงสิ่งกีดขวางทางน้ำ และก่อสร้าง หรือปรับปรุงระบบระบายน้ำให้สามารถระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนก่อสร้างสถานีสูบน้ำถาวรบริเวณปากห้วยหมากแข้ง เพื่อสูบน้ำออกจากตัวเมืองได้ในกรณีที่น้ำในลำห้วยหลวงเอ่อล้นตลิ่ง และหนุนเข้าตามลำห้วยสาขาต่างๆ ได้ดำเนินการขุดลอกห้วยริน ห้วยหมากแข้ง ห้วยมั่ง และห้วยสาขา ปรับปรุงสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำในห้วยหมากแข้ง และห้วยมั่ง ปรับปรุงระบบระบายน้ำภายในตัวเมือง และก่อสร้างสถานีสูบน้ำถาวรในเขตเทศบาลนครอุดรธานี รวม 12 แห่ง

3.4 ภาพฉายอนาคตสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี

ภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง HEC-HMS โดยพิจารณาสองปัจจัยหลักที่มีผลต่อน้ำท่วม และ มีการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนได้ในอนาคต ได้แก่ สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน และ ปริมาณน้ำฝน

สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในอนาคตของอำเภอเมืองอุดรธานีมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากการขยายตัวของชุมชน การขยายตัวของชุมชนนี้เห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของอาคารและสิ่งก่อสร้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาในมุมมองทางอุทกวิทยาเป็นการเพิ่มของพื้นผิวที่เปียกน้ำ (impervious surface) ที่ทำให้การซึมของน้ำลงดินลดลง ซึ่งมีผลให้ส่วนเกินของฝน (rainfall excess) ที่ทำให้เกิดน้ำท่าผิวดินมีปริมาณมากขึ้น

สำหรับปริมาณฝนในอนาคต การศึกษาได้เลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถี่ (frequency analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (probable maximum precipitation, PMP) แทนการใช้ข้อมูลฝนที่จำลองจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งมีข้อจำกัดในการจำลองการเกิดฝนจากพายุโซนร้อน (tropical cyclone) (Treenberth, 2011) อันเป็นสาเหตุหลักอันหนึ่งของการเกิดพายุฝนในพื้นที่ศึกษา

การวิเคราะห์ความถี่เป็นเทคนิคดั้งเดิมทางอุทกวิทยาที่ใช้หลักการความน่าจะเป็นสำหรับพิจารณาความแปรปรวนและความไม่แน่นอนของปริมาณน้ำฝน ซึ่งผลการวิเคราะห์ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วม ส่วนการวิเคราะห์ PMP โดยทั่วไปแล้วจะวิเคราะห์ร่วมกับน้ำหลากสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (probable maximum flood, PMF) สำหรับใช้เป็นเกณฑ์การออกแบบอาคารระบายน้ำของเขื่อนขนาดใหญ่ที่ต้องการปลอดภัยสูงสุด ปริมาณฝนจากการวิเคราะห์ PMP นี้ถือเป็นขีดบนสุดของปริมาณฝนโดยพิจารณาจากปัจจัยทางกายภาพ

ก. การจำลองสถานการณ์น้ำท่วม

การจำลองทางอุทกวิทยาหรือความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า เป็นข้อมูลหลักสำหรับการศึกษาน้ำท่วมแบบจำลองอุทกวิทยาเป็นจุดกลางของงานทำหน้าที่แปลงปริมาณฝนเป็นน้ำท่าและวิเคราะห์ความเร็วในการไหลผ่านพื้นที่รับน้ำลงสู่ทางน้ำ โดยสภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินเป็นข้อมูลหลักที่สำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อทั้งปริมาณน้ำท่าและความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่รับน้ำ

การกำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) เป็นสถานการณ์สภาพพื้นที่ 4 สถานการณ์ และ ปริมาณฝน 7 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร่วมกันได้เป็นจำนวน 28 สถานการณ์ (ตารางที่ 3-7)

สภาพของพื้นผิวปกคลุมดิน จำนวน 4 สถานการณ์ (รูปที่ 3-15) เป็นค่า Curve Number ที่คำนวณเฉลี่ยตามหน่วยวิเคราะห์จากข้อมูลดินและพื้นผิวปกคลุมดิน ประกอบด้วย

- CN2Y2000 เป็นค่า Curve Number ของสภาพพื้นผิวในปี 2543 ซึ่งตรงกับปีที่เกิดอุทกภัยในจังหวัดอุดรธานี
- CN2Y2011 เป็นค่า Curve Number ของสภาพพื้นผิวในปี 2554 ซึ่งตรงกับปีที่เกิดอุทกภัยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลาง
- CN2Y2015 เป็นค่า Curve Number ของสภาพพื้นผิวในปี 2558 ซึ่งเป็นปีปัจจุบันในการวิเคราะห์ ใช้เป็นฐานอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบ

- CN2Y2045 เป็นค่า Curve Number ของสภาพพื้นผิวในปี 2588 ซึ่งใช้ข้อมูลการฉายภาพอนาคต 30 ปี จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นชุมชนในรูปของพื้นที่ที่น้ำ (ISA)

สภาวะฝน จำนวน 7 สถานการณ์ (ตารางที่ 3-6) ประกอบด้วย

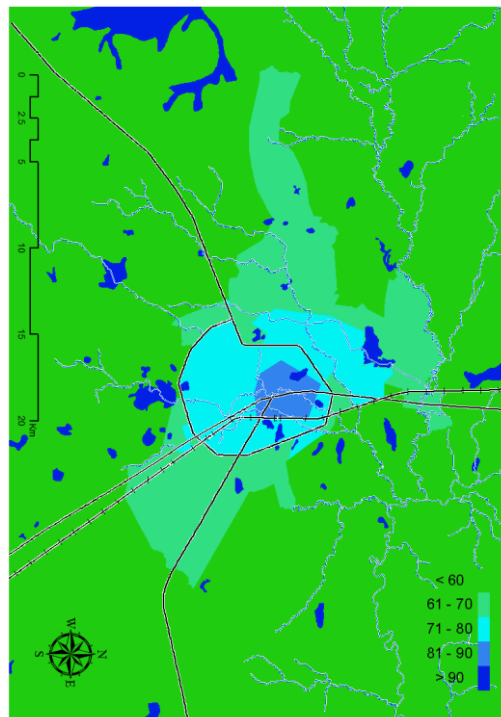
- R098 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี เท่ากับ 98.3 มิลลิเมตร
- R159 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี เท่ากับ 159.7 มิลลิเมตร
- R190 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 25 ปี เท่ากับ 190.6 มิลลิเมตร
- R236 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี เท่ากับ 236.3 มิลลิเมตร
ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฝนที่ทำให้เกิดอุทกภัยในปี พ.ศ.2543 และ พ.ศ. 2544
- R289 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 500 ปี เท่ากับ 288.9 มิลลิเมตร
- R386 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10000 ปี เท่ากับ 386.6 มิลลิเมตร
- R835 เป็นปริมาณฝนสะสม ช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมงสูงสุดที่อาจเกิดได้สำหรับพื้นที่ระบายน้ำขนาด 10 ตารางกิโลเมตร เท่ากับ 835.0 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3-6 ปริมาณฝนในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงในเขตเมืองอุดรธานี

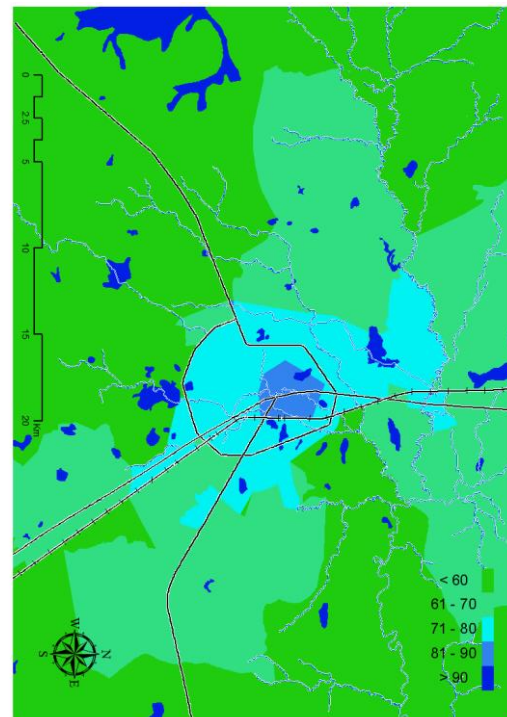
Return Period	24-hr Rainfall (mm)	Remark
2	98.3	
10	159.7	
25	190.6	
100	236.3	~ Rainfall in 2543/2544
500	288.9	
10000	386.6	
PMP	835.0	Drainage area 10 km2

ตารางที่ 3-7 สถานการณ์จำลองที่ได้จากการใช้สถานการณ์น้ำฝน กับสภาพพื้นผิวปกคลุมดิน
จำนวน 28 สถานการณ์

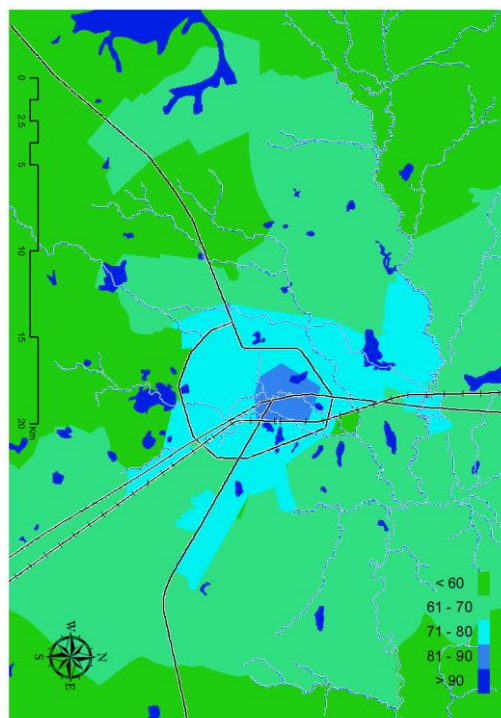
	CN2Y2000	CN2Y2011	CN2Y2015	CN2Y2045
R098	CN2Y2000R098	CN2Y2011R098	CN2Y2015R098	CN2Y2045R098
R159	CN2Y2000R159	CN2Y2011R159	CN2Y2015R159	CN2Y2045R159
R190	CN2Y2000R190	CN2Y2011R190	CN2Y2015R190	CN2Y2045R190
R236	CN2Y2000R236	CN2Y2011R236	CN2Y2015R236	CN2Y2045R236
R289	CN2Y2000R289	CN2Y2011R289	CN2Y2015R289	CN2Y2045R289
R386	CN2Y2000R386	CN2Y2011R386	CN2Y2015R386	CN2Y2045R386
R835	CN2Y2000R835	CN2Y2011R835	CN2Y2015R835	CN2Y2045R835



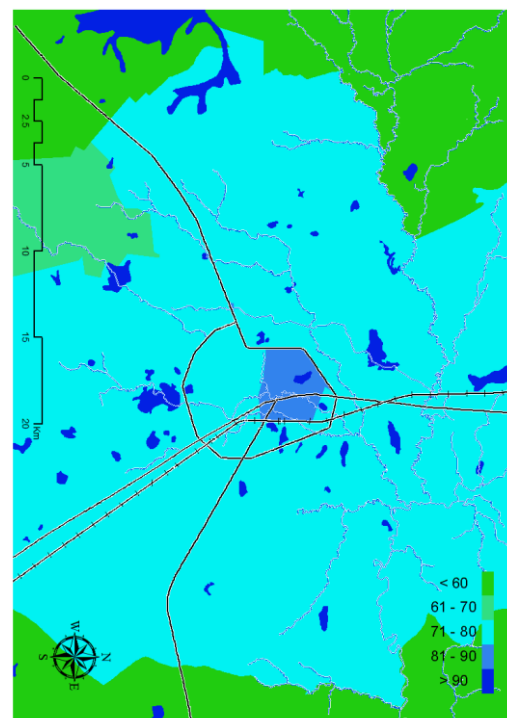
2000



2011



2015

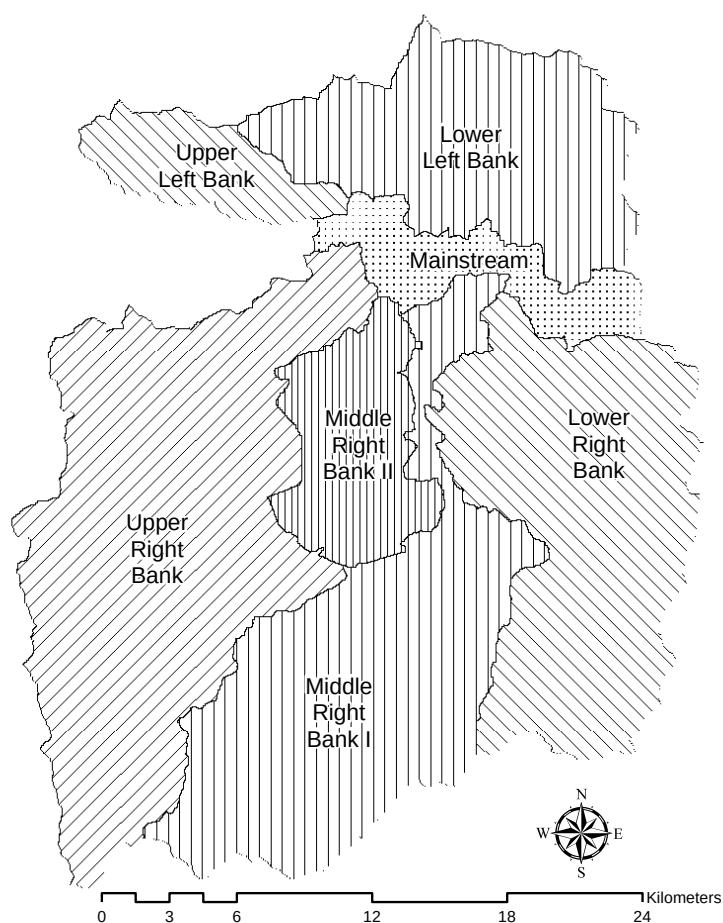


2045

รูปที่ 3-15 ค่า Curve Number เฉลี่ยตามหน่วยวิเคราะห์ จากข้อมูลดินและพื้นที่ปกคลุมดิน

ข. ปริมาณน้ำท่าจากพายุฝน 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์สมมุติ ได้เลือกสถานการณ์ CN2Y2015R236 เป็นสถานการณ์อ้างอิงซึ่งเป็นสภาพพื้นผิวปี 2558 (2015) และปริมาณฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับฝนสูงสุดใน 24 ชั่วโมงที่ตกในปี 2543 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมดแสดงใน ตารางที่ 3-8 และแสดงการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015) เป็น ปริมาตรและร้อยละ นอกจากนี้ได้แยกพิจารณาผลลัพธ์โดยรวมพื้นที่ระบายน้ำย่อย ออกเป็น 7 โซน (รูปที่ 3-16)



รูปที่ 3-16 การกำหนดพื้นที่ระบายน้ำลงสู่ห้วยหลวงในช่วงระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแร่กับประตูระบายน้ำสามพร้าว

หมายเหตุ:

LB: lower left bank, LB2: upper left bank, Main: main stream area, RB1: lower right bank,

RB21: middle right bank (east ring road), RB22: middle right bank (municipal area),

RB3: upper right bank (west ring road)

ตารางที่ 3-8 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมด

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	52.49	98.29	122.18	158.07	199.88	278.36	642.97
2011	56.32	103.20	127.45	163.74	205.89	284.78	650.17
2015	57.78	105.07	129.45	165.89	208.17	287.22	652.89
2045	62.73	111.37	136.20	173.13	215.83	295.40	662.04
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-5.29	-6.78	-7.27	-7.82	-8.28	-8.86	-9.92
2011	-1.46	-1.87	-2.00	-2.15	-2.28	-2.43	-2.72
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	4.95	6.30	6.74	7.24	7.66	8.19	9.15
<u>Change in Percent</u>							
2000	-9.16%	-6.45%	-5.62%	-4.71%	-3.98%	-3.09%	-1.52%
2011	-2.53%	-1.78%	-1.55%	-1.30%	-1.09%	-0.85%	-0.42%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	8.57%	5.99%	5.21%	4.37%	3.68%	2.85%	1.40%

การเรียกชื่อโซนเป็นพื้นที่ฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของทางน้ำ กำหนดโดยหันหน้าตามทิศทางการไหลของน้ำในทางน้ำ ส่วนพื้นที่ตอนบน ตอนกลาง ตอนล่าง เรียกตามทิศทางการไหลของน้ำจากต้นน้ำไปยังท้ายน้ำ ประกอบด้วย

- (1) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนล่าง (LB: lower left bank) (ตารางที่ 3-9)
- (2) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนบน (LB2: upper left bank) (ตารางที่ 3-10)
- (3) พื้นที่ระบายน้ำลำน้ำสายหลัก (Main: main stream area) (ตารางที่ 3-11)
- (4) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนล่าง (RB1: lower right bank) (ตารางที่ 3-12)
- (5) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนกลางส่วนที่ 1 ถนนวงแหวนด้านตะวันออก (RB21: middle right bank - eastern ring road) (ตารางที่ 3-13)
- (6) พื้นที่ระบายน้ำตอนกลางส่วนที่ 2 เทศบาลนครอุดรธานี (RB22: middle right bank - municipal area) (ตารางที่ 3-14)
- (7) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนบน ถนนวงแหวนด้านตะวันตก (RB3: upper right bank - west ring road) (ตารางที่ 3-15)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมดในภาพรวม โดยพิจารณาผลลัพธ์การจำลองสถานการณ์ทั้ง 28 กรณี (ตารางที่ 3-8) พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากส่วนเกินของน้ำฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณฝนที่เพิ่มมากขึ้น จากปริมาณฝนช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมง ที่มีรอบการเกิด 2 ปี จนถึง ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเกิดได้ (PMP) และปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวเนื่องจากการขยายตัวของชุมชน จากสภาพพื้นผิวในอดีตย้อนหลัง 20 ปี ใน พ.ศ. 2543 (2000) 2554 (2011) สภาพปัจจุบัน พ.ศ.2558 (2015) จนถึงสภาพอนาคต 30 ปี พ.ศ.2588 (2045)

แต่เมื่อเทียบเป็นร้อยละของน้ำท่าที่เพิ่มขึ้น พบว่า โดยอัตราเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าในกรณีของฝนที่รอบการเกิด 2 ปี 10 ปี 25 ปี มีอัตรา เพิ่มขึ้นมากกว่า 5% ซึ่งสูงกว่ากรณีฝนที่มีรอบการเกิดที่ยาวนานกว่า ตั้งแต่รอบการเกิด 100 ปี 500 ปี 1000 ปี จนถึงปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเกิดได้ (PMP) มีอัตราเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 5%

เมื่อพิจารณาแยกในแต่ละโซนโดยแบ่งเป็นกลุ่มโซนฝั่งซ้าย และ ฝั่งขวาของห้วยหลวง กลุ่มพื้นที่โซนฝั่งซ้ายของห้วยหลวง ได้แก่ (1) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนล่าง (LB: lower left bank) (ตารางที่ 3-9) (2) พื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนบน (LB2: upper left bank) (ตารางที่ 3-10) (3) พื้นที่ระบายน้ำลำน้ำสายหลัก (Main: main stream area) (ตารางที่ 3-11) ลักษณะพื้นที่ระบายน้ำของกลุ่มโซนฝั่งซ้ายของห้วยหลวง มีพื้นที่ขนาดเล็ก มีที่ตั้งห่างจากเขตเทศบาลนครอุดรธานีที่เป็นเขตชุมชน จึงมีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนไม่สูงนักเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าทั้งหมด และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในอนาคตเพิ่มขึ้นไม่มาก (น้อยกว่า 4%)

ส่วนกลุ่มพื้นที่ฝั่งขวาของห้วยหลวงประกอบด้วย 4 โซน ดังนี้

- พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนล่าง (RB1: lower right bank) (ตารางที่ 3-12) พื้นที่นี้มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าทั้งหมด เนื่องจากมีพื้นที่ระบายน้ำขนาดใหญ่ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในอนาคตไม่มากนัก (น้อยกว่า 4%) เนื่องจาก มีที่ตั้งห่างจากพื้นที่ชุมชนเขตเทศบาล

- พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนกลางส่วนที่ 1 ถนนวงแหวนด้านตะวันออก (RB21: middle right bank - eastern ring road) (ตารางที่ 3-13) มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงเช่นกัน เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตมากที่สุด โดยมีอัตราเพิ่มประมาณ 20% ในกรณีฝนที่มีรอบการเกิด 2 ปี และมีอัตราเพิ่มมากกว่า 10% ในกรณีฝนที่มีรอบการเกิดระหว่าง 10 ถึง 100 ปี

- พื้นที่ระบายน้ำตอนกลางส่วนที่ 2 เทศบาลนครอุดรธานี (RB22: middle right bank - municipal area) (ตารางที่ 3-14) เป็นพื้นที่ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตน้อย (น้อยกว่า 1%) เนื่องจาก เป็นพื้นที่ที่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างหนาแน่นอยู่แล้วในปัจจุบัน จึงทำให้ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

- พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนบน ถนนวงแหวนด้านตะวันตก (RB3: upper right bank - west ring road) (ตารางที่ 3-15) มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงเช่นกัน พื้นที่นี้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตสูงสุดอันดับสอง โดยมีอัตราเพิ่มประมาณ 10% ในกรณีฝนที่มีรอบการเกิด 2 ปี และมีอัตราเพิ่มมากกว่า 5% ในกรณีฝนที่มีรอบการเกิดระหว่าง 10 ถึง 100 ปี

ตารางที่ 3-9 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนล่าง

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	7.32	13.75	17.10	22.14	28.00	39.00	90.09
2011	8.64	15.43	18.90	24.06	30.03	41.17	92.50
2015	8.71	15.51	18.99	24.16	30.13	41.28	92.62
2045	8.98	15.83	19.32	24.50	30.49	41.65	93.02
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-1.39	-1.76	-1.88	-2.02	-2.13	-2.27	-2.53
2011	-0.07	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.26	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.40
<u>Change in Percent</u>							
2000	-15.96%	-11.36%	-9.92%	-8.36%	-7.07%	-5.50%	-2.73%
2011	-0.82%	-0.57%	-0.49%	-0.41%	-0.35%	-0.27%	-0.13%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	3.02%	2.02%	1.73%	1.43%	1.19%	0.91%	0.43%

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งซ้ายตอนบน

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	2.23	4.20	5.22	6.76	8.54	11.90	27.49
2011	2.65	4.73	5.79	7.36	9.19	12.59	28.25
2015	2.65	4.73	5.79	7.36	9.19	12.59	28.25
2045	2.72	4.81	5.88	7.46	9.28	12.69	28.36
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.42	-0.53	-0.57	-0.61	-0.64	-0.68	-0.76
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.07	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11
<u>Change in Percent</u>							
2000	-15.78%	-11.23%	-9.80%	-8.26%	-6.99%	-5.43%	-2.69%
2011	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	2.69%	1.80%	1.54%	1.27%	1.06%	0.81%	0.39%

ตารางที่ 3-11 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำลงลำน้ำสายหลัก

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	2.50	4.70	5.85	7.57	9.58	13.34	30.84
2011	2.75	5.01	6.18	7.93	9.95	13.74	31.28
2015	2.95	5.27	6.45	8.22	10.27	14.08	31.66
2045	3.05	5.40	6.59	8.36	10.41	14.23	31.83
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.45	-0.57	-0.61	-0.65	-0.69	-0.74	-0.82
2011	-0.20	-0.26	-0.28	-0.30	-0.32	-0.34	-0.38
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.17
<u>Change in Percent</u>							
2000	-15.13%	-10.80%	-9.44%	-7.96%	-6.74%	-5.25%	-2.60%
2011	-6.83%	-4.89%	-4.29%	-3.61%	-3.07%	-2.39%	-1.19%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	3.62%	2.43%	2.09%	1.72%	1.43%	1.10%	0.52%

ตารางที่ 3-12 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนล่าง

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	10.27	19.35	24.09	31.21	39.52	55.12	127.62
2011	11.43	20.86	25.71	32.97	41.39	57.13	129.88
2015	12.10	21.70	26.61	33.93	42.40	58.21	131.08
2045	12.53	22.22	27.16	34.51	43.01	58.84	131.77
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-1.83	-2.35	-2.53	-2.72	-2.88	-3.09	-3.46
2011	-0.67	-0.84	-0.90	-0.96	-1.01	-1.08	-1.20
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.43	0.52	0.55	0.58	0.60	0.63	0.69
<u>Change in Percent</u>							
2000	-15.11%	-10.84%	-9.49%	-8.01%	-6.80%	-5.30%	-2.64%
2011	-5.51%	-3.88%	-3.37%	-2.83%	-2.39%	-1.85%	-0.91%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	3.55%	2.39%	2.06%	1.70%	1.42%	1.09%	0.52%

ตารางที่ 3-13 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนกลางส่วนที่ 1 ถนนวงแหวนด้านตะวันออก

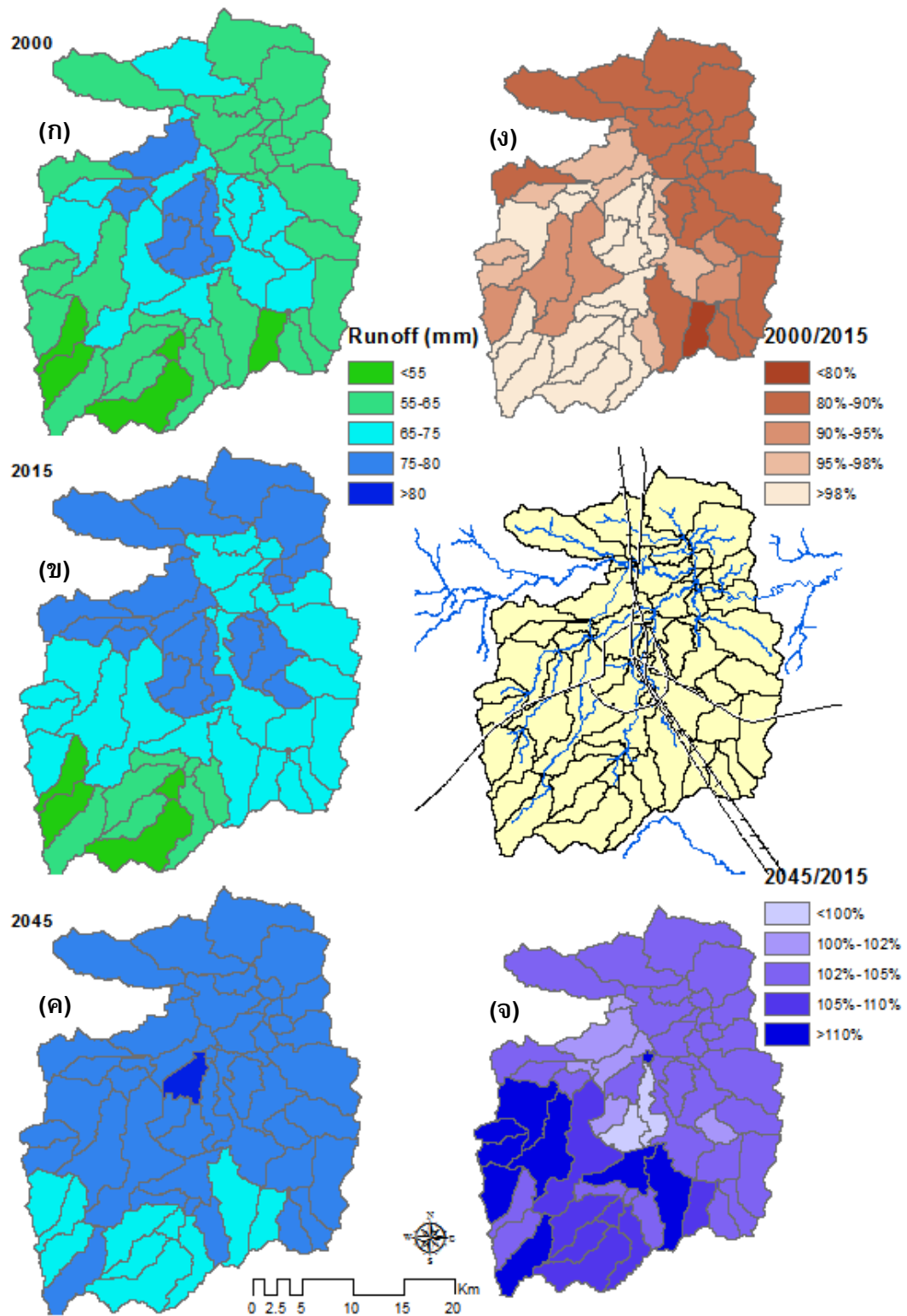
Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	10.50	20.06	25.09	32.68	41.56	58.27	136.26
2011	10.84	20.51	25.58	33.22	42.13	58.90	136.99
2015	10.95	20.65	25.73	33.37	42.30	59.07	137.18
2045	13.17	23.55	28.86	36.76	45.91	62.96	141.59
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.44	-0.59	-0.64	-0.70	-0.74	-0.81	-0.92
2011	-0.11	-0.14	-0.15	-0.16	-0.17	-0.18	-0.19
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	2.22	2.90	3.13	3.39	3.61	3.89	4.41
<u>Change in Percent</u>							
2000	-4.06%	-2.85%	-2.48%	-2.08%	-1.76%	-1.36%	-0.67%
2011	-1.01%	-0.67%	-0.57%	-0.47%	-0.39%	-0.30%	-0.14%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	20.29%	14.04%	12.16%	10.15%	8.53%	6.58%	3.21%

ตารางที่ 3-14 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำตอนกลางส่วนที่ 2 เทศบาลนครอุดรธานี

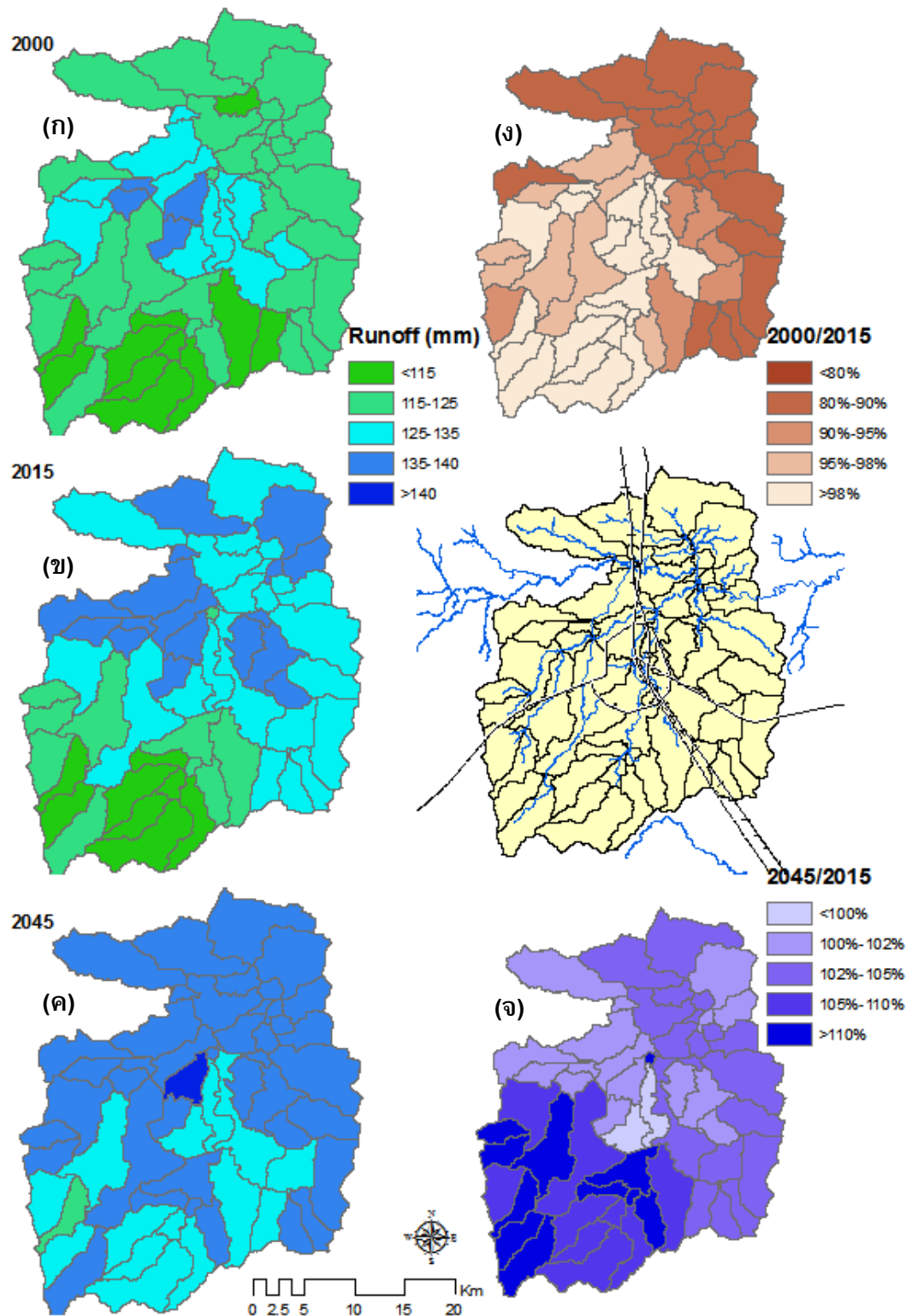
Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	4.33	7.72	9.45	12.04	15.03	20.60	46.27
2011	4.36	7.76	9.50	12.08	15.07	20.64	46.33
2015	4.36	7.76	9.50	12.08	15.07	20.65	46.33
2045	4.42	7.83	9.57	12.16	15.15	20.73	46.42
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
<u>Change in Percent</u>							
2000	-0.78%	-0.53%	-0.46%	-0.38%	-0.32%	-0.25%	-0.12%
2011	-0.05%	-0.04%	-0.03%	-0.03%	-0.02%	-0.02%	-0.01%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	1.34%	0.90%	0.77%	0.64%	0.53%	0.41%	0.20%

ตารางที่ 3-15 ข้อมูลน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับผลอ้างอิงในปี 2558 (2015)
ของพื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาตอนบน ถนนวงแหวนด้านตะวันตก

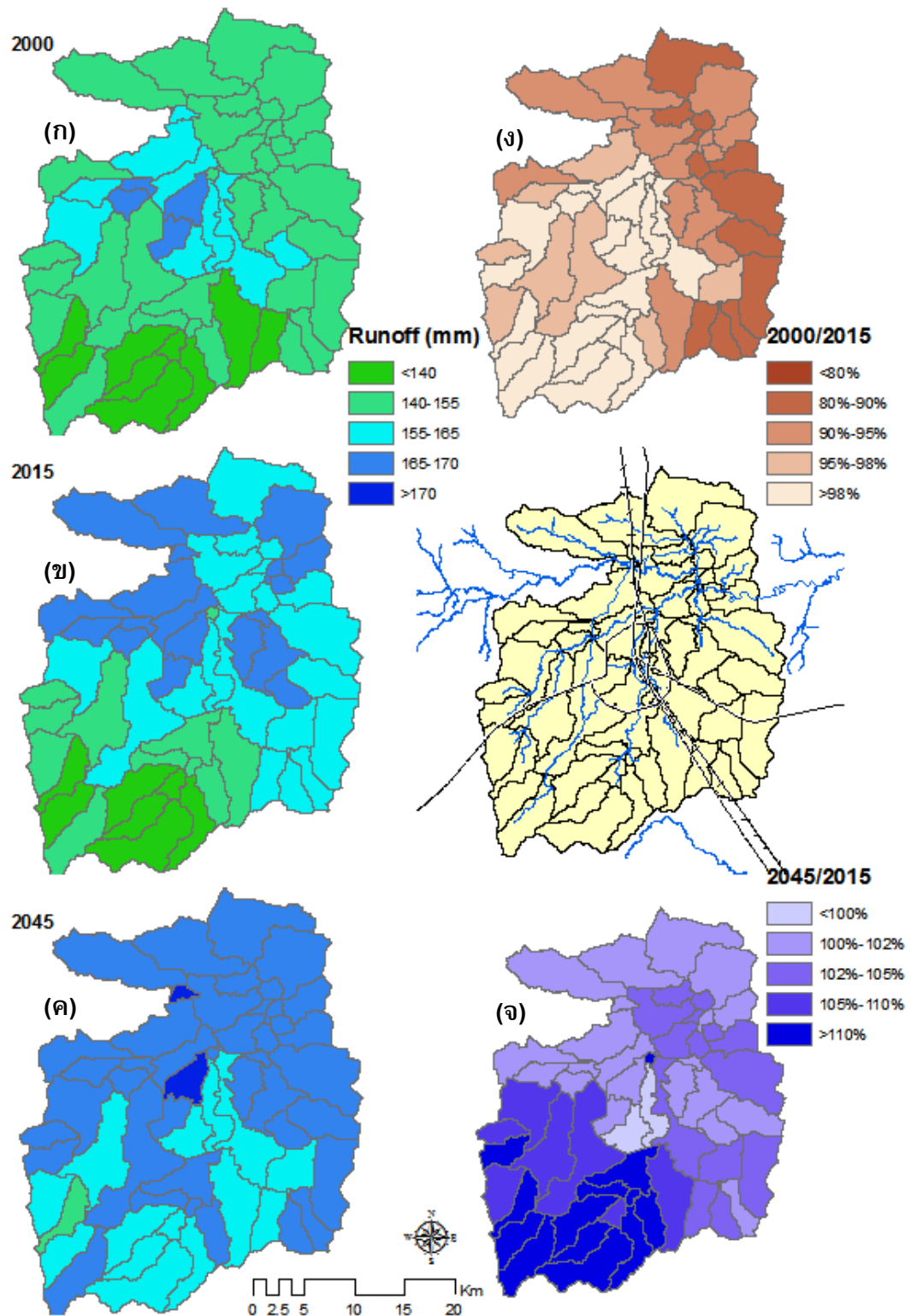
Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Runoff Volume (million m3)</u>							
2000	15.33	28.52	35.38	45.68	57.66	80.13	184.40
2011	15.65	28.91	35.80	46.12	58.13	80.62	184.94
2015	16.06	29.45	36.38	46.76	58.80	81.35	185.77
2045	17.86	31.74	38.83	49.37	61.57	84.30	189.06
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.73	-0.93	-1.00	-1.08	-1.14	-1.22	-1.37
2011	-0.41	-0.54	-0.58	-0.63	-0.68	-0.73	-0.83
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	1.80	2.28	2.44	2.62	2.77	2.95	3.29
<u>Change in Percent</u>							
2000	-4.53%	-3.17%	-2.75%	-2.31%	-1.94%	-1.50%	-0.74%
2011	-2.55%	-1.83%	-1.61%	-1.36%	-1.15%	-0.90%	-0.45%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	11.22%	7.75%	6.71%	5.60%	4.70%	3.63%	1.77%



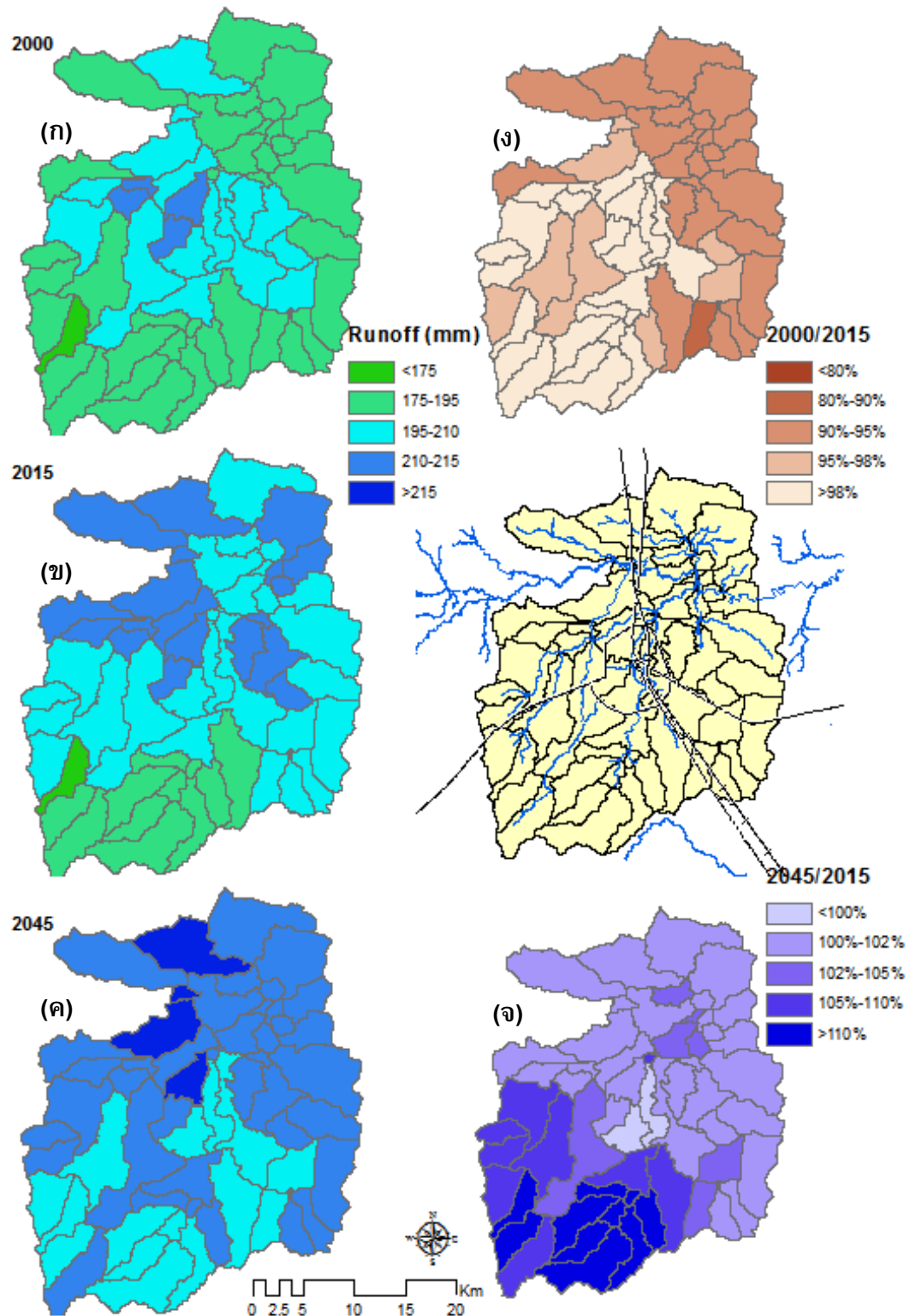
รูปที่ 3-17 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 2 ปี (98.3 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นที่ปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



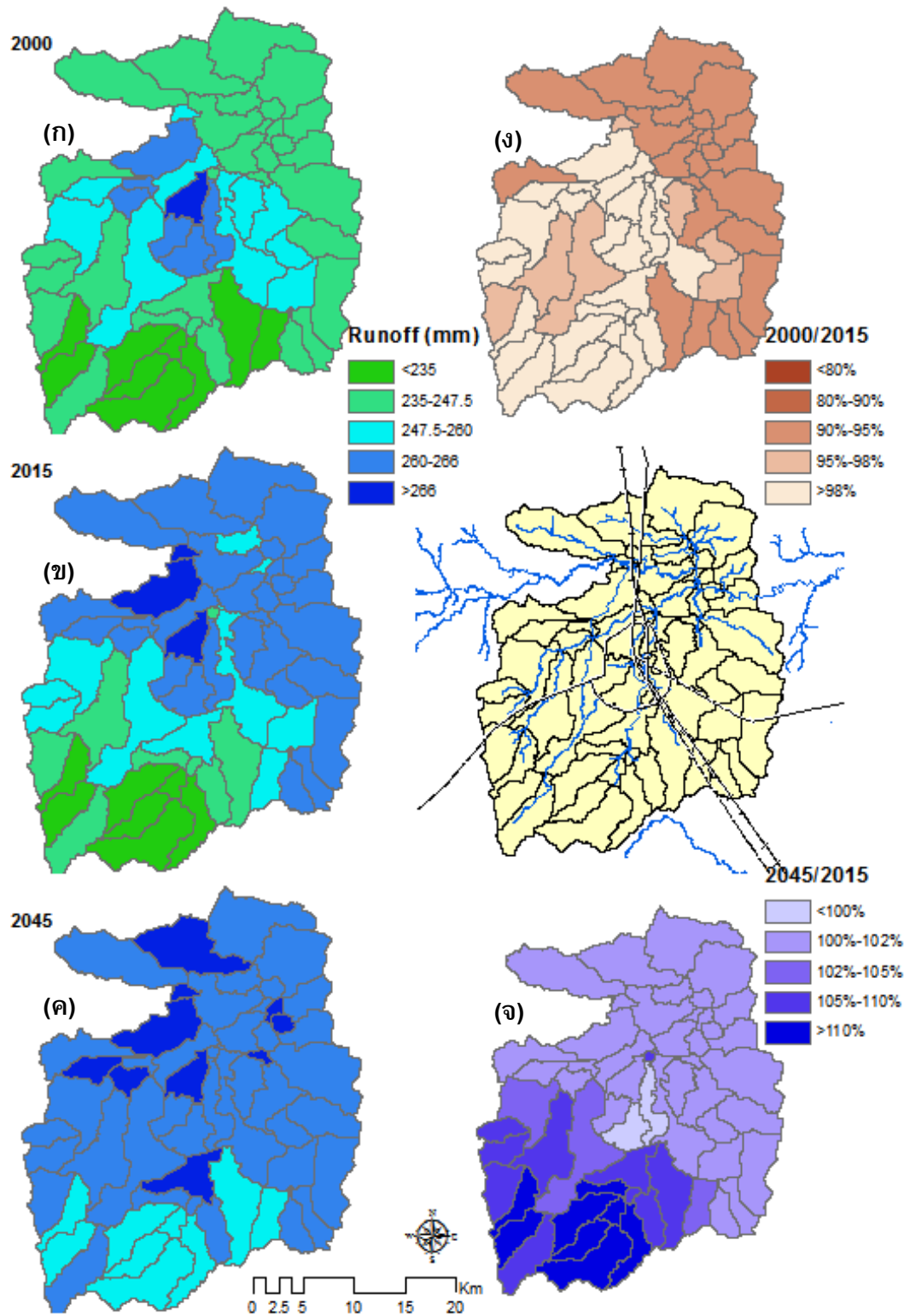
รูปที่ 3-18 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 10 ปี (159.7 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



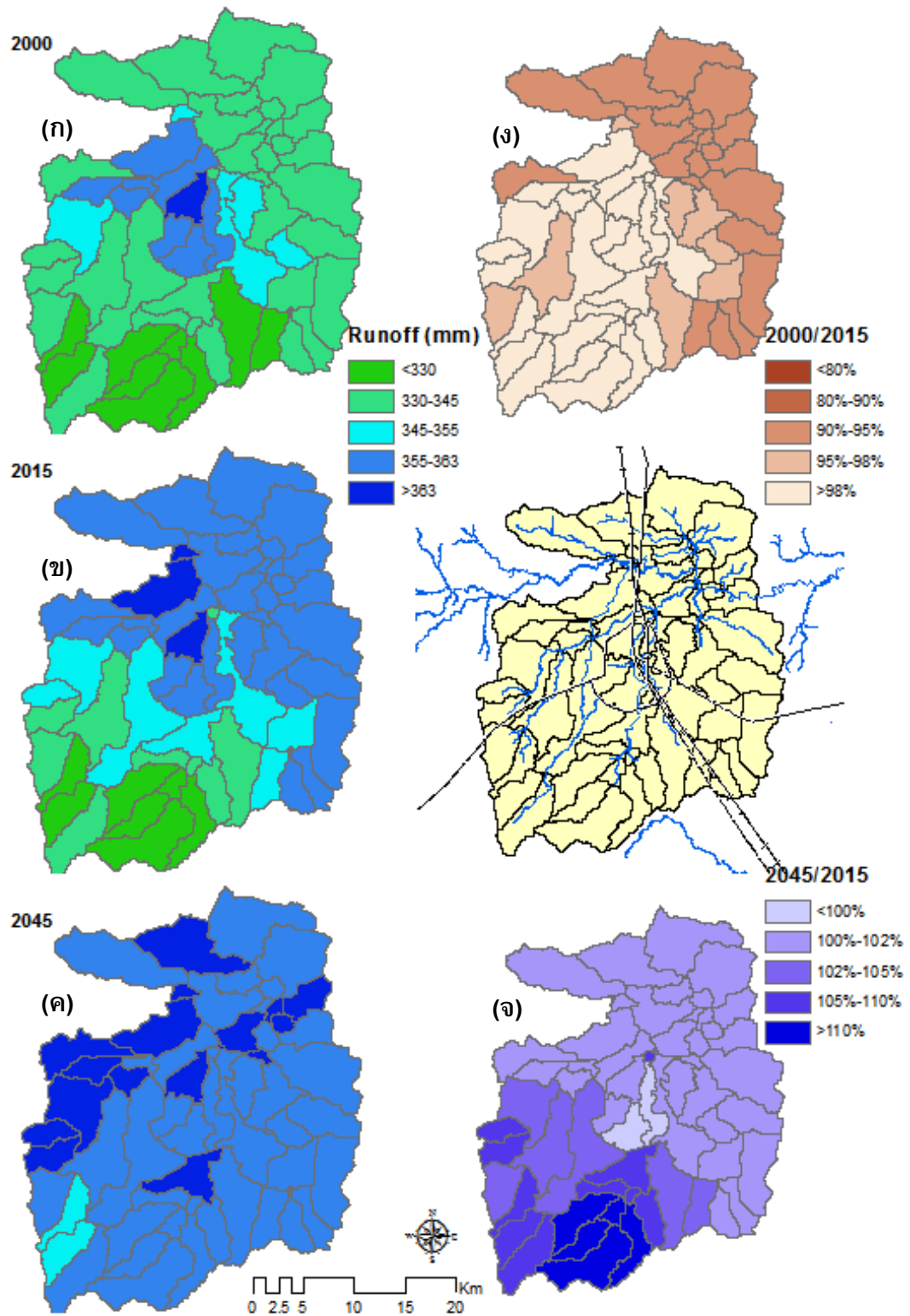
รูปที่ 3-19 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 25 ปี (190.6 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



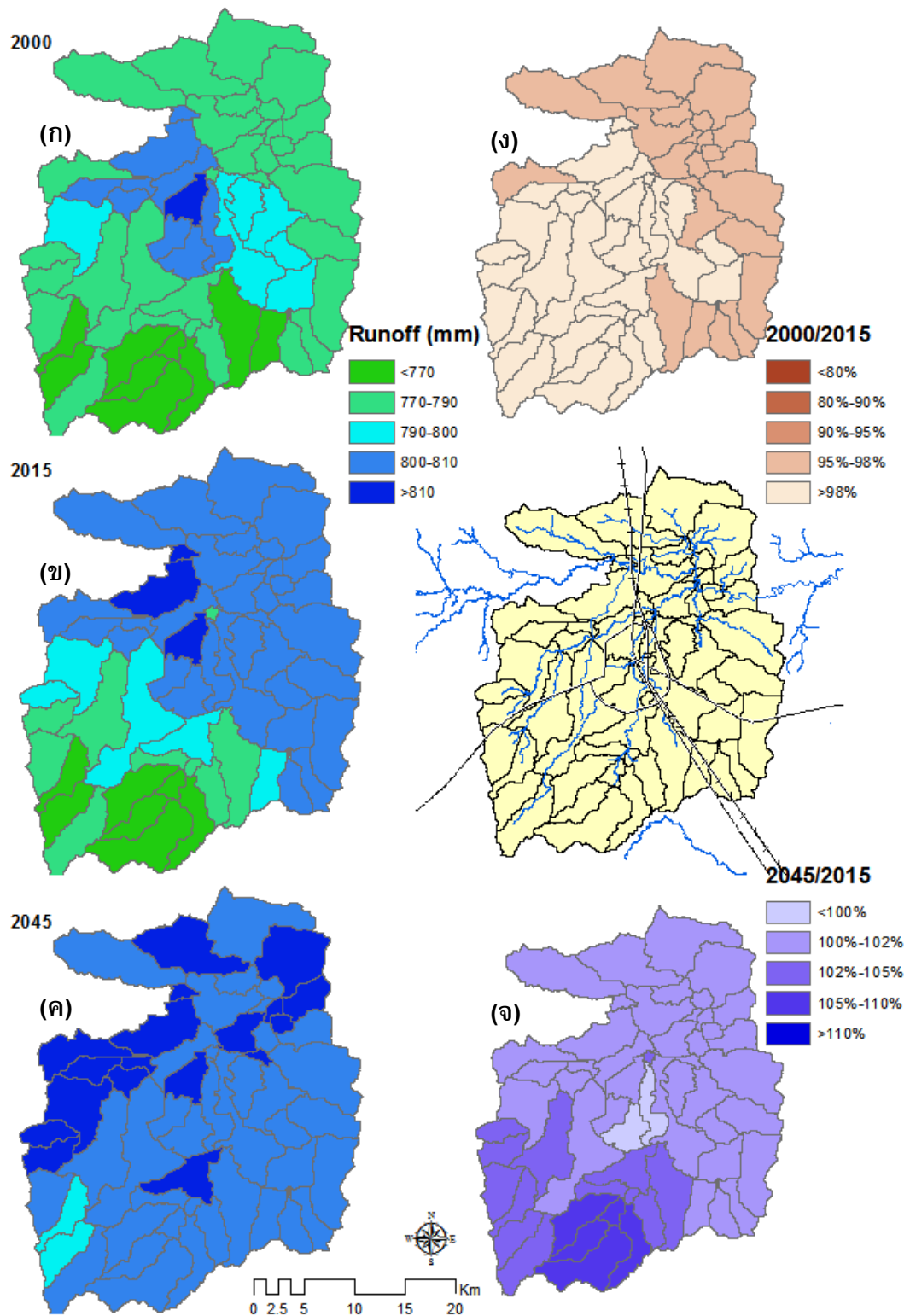
รูปที่ 3-20 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 100 ปี (236.3 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



รูปที่ 3-21 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 500 ปี (289.9 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ. 2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



รูปที่ 3-22 ปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลารตก 24 ชั่วโมง รอบการเกิด 10000 ปี (386.6 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))



รูปที่ 3-23 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนช่วงเวลาการตก 24 ชั่วโมง ที่ PMP (835.0 มิลลิเมตร) ของสภาพพื้นผิวปี (ก) พ.ศ. 2543 (2000) (ข) พ.ศ.2558 (2015) และ (ค) พ.ศ.2588 (2045) และการเปรียบเทียบเป็นร้อยละเทียบกับปี พ.ศ.2558 (2015) (รูป (ง) และ รูป (จ))

ค. ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด เป็นการวิเคราะห์จากผลต่างของปริมาตรสุทธิน้ำท่าที่ไหลเข้า กับไหลออกจากพื้นที่แอ่งที่พิจารณา โดยใช้หลักการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ (reservoir routing) ด้วยวิธี Modified Puls (เอกสิทธิ์, 2547) อัตราน้ำไหลเข้า (inflow) วิเคราะห์จากกราฟ น้ำท่าจากส่วนเกินของน้ำฝน ส่วนอัตราน้ำไหลออก (outflow) ได้จากการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ของการไหล ของน้ำลอดใต้สะพานในสภาพน้ำน้อย และ ไหลล้นข้ามถนนในสภาพน้ำมาก

พื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมขัง มี 3 จุด ได้แก่ (1) พื้นที่ระหว่างประตูระบายน้ำทุ่งแรกกับ ถนนอุดรธานี-หนองคาย (ตารางที่ 3-17 และ รูปที่ 3-24) (2) พื้นที่แอ่งประตูระบายน้ำสามพร้าว พิจารณา ตามแนวห้วยหลวงจากแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย (ทางหลวงหมายเลข 2) ถึงแนวถนนสายสามพร้าว-วัด ศรีอินแปลง (ตารางที่ 3-18 และ รูปที่ 3-25) และ (3) พื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี ที่ปิดล้อมด้วยถนนวงแหวน รอบเมือง (ตารางที่ 3-19 และ รูปที่ 3-26) พื้นที่สองจุดแรกเป็นแนวห้วยหลวงแต่มีแนวถนนกีดขวางทางน้ำ เมื่อมีน้ำหลากในปริมาณมากมีผลให้เกิดน้ำท่วมขังเนื่องจากน้ำระบายไม่ทัน แนวถนนมีพฤติกรรมทางชล ศาสตร์คล้ายกับฝายน้ำล้น ส่วนพื้นที่ปิดล้อมของเทศบาลนครอุดรธานี การไหลออกจากพื้นที่ถูกจำกัดด้วย ความสามารถในการระบายน้ำออกของเครื่องสูบน้ำ

ข้อมูลในตารางที่ 3-16 สรุปผลการวิเคราะห์อนาคต ปี 2588 (2045) ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด และ ประมาณค่าระดับน้ำท่วมขังสูงสุดโดยอ้างอิงกับค่าระดับของข้อมูล DEM ส่วนในตารางที่ 3-17 ตารางที่ 3-18 และ ตารางที่ 3-19 เป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดของการจำลอง 28 สถานการณ์ การเปลี่ยนแปลงเชิง ปริมาตร และ เป็นร้อยละ ในรูปที่ 3-24 รูปที่ 3-25 และ รูปที่ 3-26 แสดงกราฟน้ำท่าไหลเข้า และกราฟน้ำท่า ไหลออกของ 3 จุดที่วิเคราะห์ โดยแสดงเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าของปี พ.ศ. 2558 (2015) กับ ปี พ.ศ. 2588 (2045) ที่เกิดจากฝนที่มีรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี 100 ปี 10000 ปี และ PMP

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด พบว่า ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นตามรอบปีการเกิดซ้ำ สูงมีผลกระทบโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด และมีอิทธิพลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพ พื้นที่ในอนาคต โดยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ต่อปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดจะเห็นได้ในกรณี ฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำไม่สูงนัก

จากการวิเคราะห์กราฟน้ำท่าหลากผ่านจุดที่ 1 แนวถนนอุดรธานี-หนองคาย (รูปที่ 3-24) และจุดที่ 2 (รูปที่ 3-25) แนวถนนสายสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง สามารถแปลผลได้ในลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ในรูปมี กราฟ 2 เส้น ประกอบด้วย กราฟน้ำท่าไหลเข้า (inflow hydrograph) แสดงเป็นเส้นทึบ และ กราฟน้ำท่าไหล ออก (outflow hydrograph) แสดงเป็นเส้นประ

ถ้าหากอัตราไหลสูงสุดของกราฟน้ำท่าไหลออก (peak discharge) มีค่าใกล้เคียงกับ ส่วนยอดกราฟน้ำท่า ไหลเข้า แสดงว่า น้ำได้ท่วมเต็มปริมาตรของพื้นที่ลุ่มหรือแอ่งแล้วและน้ำไหลออกได้เต็มที่ใกล้เคียงน้ำที่ไหล เข้า ซึ่งเป็นกรณีที่ปริมาณฝนสูง หรือ พื้นที่แอ่งมีขนาดเล็ก (น้ำหลากผ่านจุดที่ 1) ถ้าหากพื้นที่แอ่งครอบคลุม พื้นที่กว้างทำให้มีความจุมาก จะเห็นว่าส่วนยอดของกราฟน้ำท่าไหลออกจะอยู่ต่ำกว่าส่วนยอดของกราฟ น้ำท่าไหลเข้า (น้ำหลากผ่านจุดที่ 2)

แต่ในกรณีจุดที่ 3 พื้นที่ปิดล้อมเทศบาลนครอุดรธานี (รูปที่ 3-26) ปริมาณน้ำไหลออกถูกจำกัดการไหลด้วยความสามารถในการระบายน้ำของเครื่องสูบน้ำ ระดับน้ำท่วมขังจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณน้ำที่สะสมในพื้นที่ปิดล้อม ระยะเวลาที่น้ำท่วมขังดูได้จากระยะเวลาที่ฐานของกราฟน้ำท่าไหลออก ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้นตามรอบปีการเกิดซ้ำมีอิทธิพลต่อระยะเวลาที่ต้องใช้ระบายน้ำท่วมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ในอนาคต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมสูงสุดช่วยให้แบ่งความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

(1) ระดับ 1 - ฝนตกที่มีรอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่า 100 ปี หรือ ปริมาณฝนไม่เกิน 200 มิลลิเมตรต่อวัน (รูปที่ 3-27) เป็นปริมาณฝนที่น้อยกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตช่วงปี 2543/44 สภาพปัจจุบันได้มีการออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมแล้ว ดังนั้น พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังไม่มากนัก ถ้าหากไม่มีปริมาณน้ำจากเขื่อนห้วยหลวงไหลมาเพิ่ม พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายไม่เกิน 6 ชั่วโมง หากระบบระบายน้ำทำงานได้อย่างเต็มความสามารถ

(2) ระดับ 2 - ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำน้อยกว่า 10000 ปี ปริมาณไม่เกิน 400 มิลลิเมตร ต่อวัน (รูปที่ 3-28) เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น ซึ่งมีขอบเขตใกล้เคียงกับพื้นที่น้ำท่วมขังจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมเดือนกันยายน พ.ศ.2544 (รูปที่ 3-29) พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบาย 6-10 ชั่วโมง

(3) ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำมากกว่า 10000 ปี ปริมาณมากกว่า 400 มิลลิเมตร ต่อวัน (รูปที่ 3-30) เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาก พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบายนานกว่า 10 ชั่วโมง และถ้ามีน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนห้วยหลวงเพิ่มเติม จะขยายพื้นที่ได้รับผลกระทบมากยิ่งขึ้นอีก

ตารางที่ 3-16 ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุด และ ระดับน้ำท่วมขัง ปี 2588 (2045)

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
Runoff Volume (million m3)							
Zone1	2.27	4.50	5.66	7.30	7.91	8.85	12.92
Zone2	21.13	28.80	32.40	37.64	42.44	51.52	96.45
Zone3	0.29	0.70	1.35	2.55	4.12	7.41	24.54
Water Level (m*)							
Zone1	169.10	169.66	169.88	170.13	170.21	170.33	170.75
Zone2	167.38	167.74	167.88	168.06	168.21	168.47	169.34

* Assumed datum based on DEM data

หมายเหตุ:

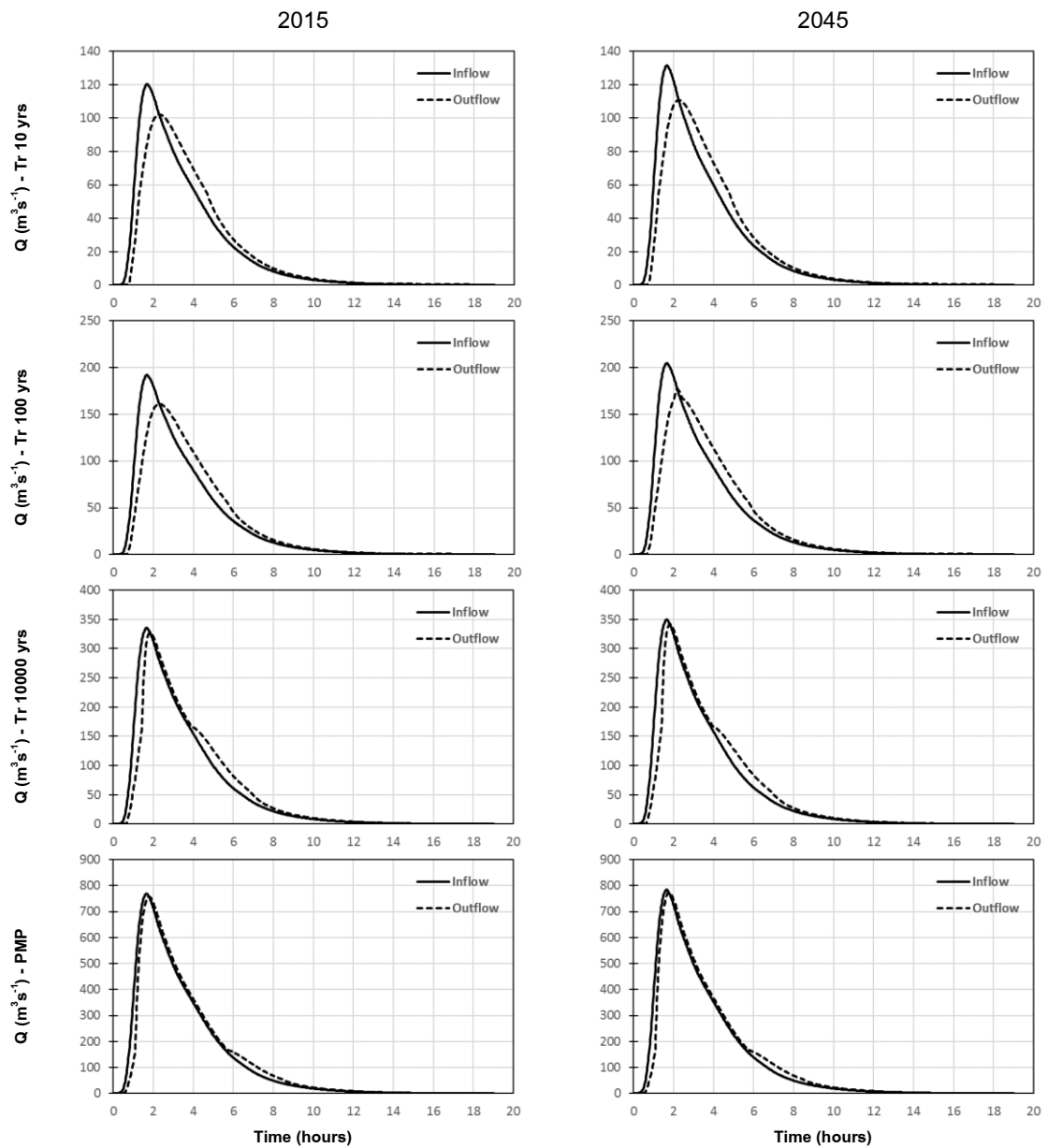
Zone1 : พื้นที่แอ่งระหว่างประตูปรับน้ำทุ่งแรกกับแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย

Zone2 : พื้นที่แอ่งประตูปรับน้ำสามพร้าว (จากแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย (ทางหลวงหมายเลข 2) ถึงแนวถนนสายสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง)

Zone3 : พื้นที่เทศบาลนครปิดล้อมด้วยแนวถนนวงแหวน

ตารางที่ 3-17 ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่แอ่งระหว่างประตุน้ำทุ่งแร่กับถนน
อุดรธานี-หนองคาย

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Max Flood Volume (million m3)</u>							
2000	1.88	3.95	5.06	6.75	7.72	8.67	12.74
2011	1.93	4.03	5.15	6.84	7.75	8.69	12.76
2015	1.97	4.08	5.21	6.91	7.77	8.72	12.78
2045	2.27	4.50	5.66	7.30	7.91	8.85	12.92
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.09	-0.14	-0.15	-0.16	-0.05	-0.04	-0.04
2011	-0.04	-0.06	-0.06	-0.07	-0.02	-0.02	-0.02
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.30	0.41	0.44	0.39	0.14	0.13	0.14
<u>Change in Percent</u>							
2000	-4.48%	-3.41%	-2.90%	-2.38%	-0.60%	-0.48%	-0.35%
2011	-1.97%	-1.43%	-1.24%	-1.01%	-0.28%	-0.24%	-0.17%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	15.45%	10.13%	8.52%	5.63%	1.78%	1.53%	1.12%



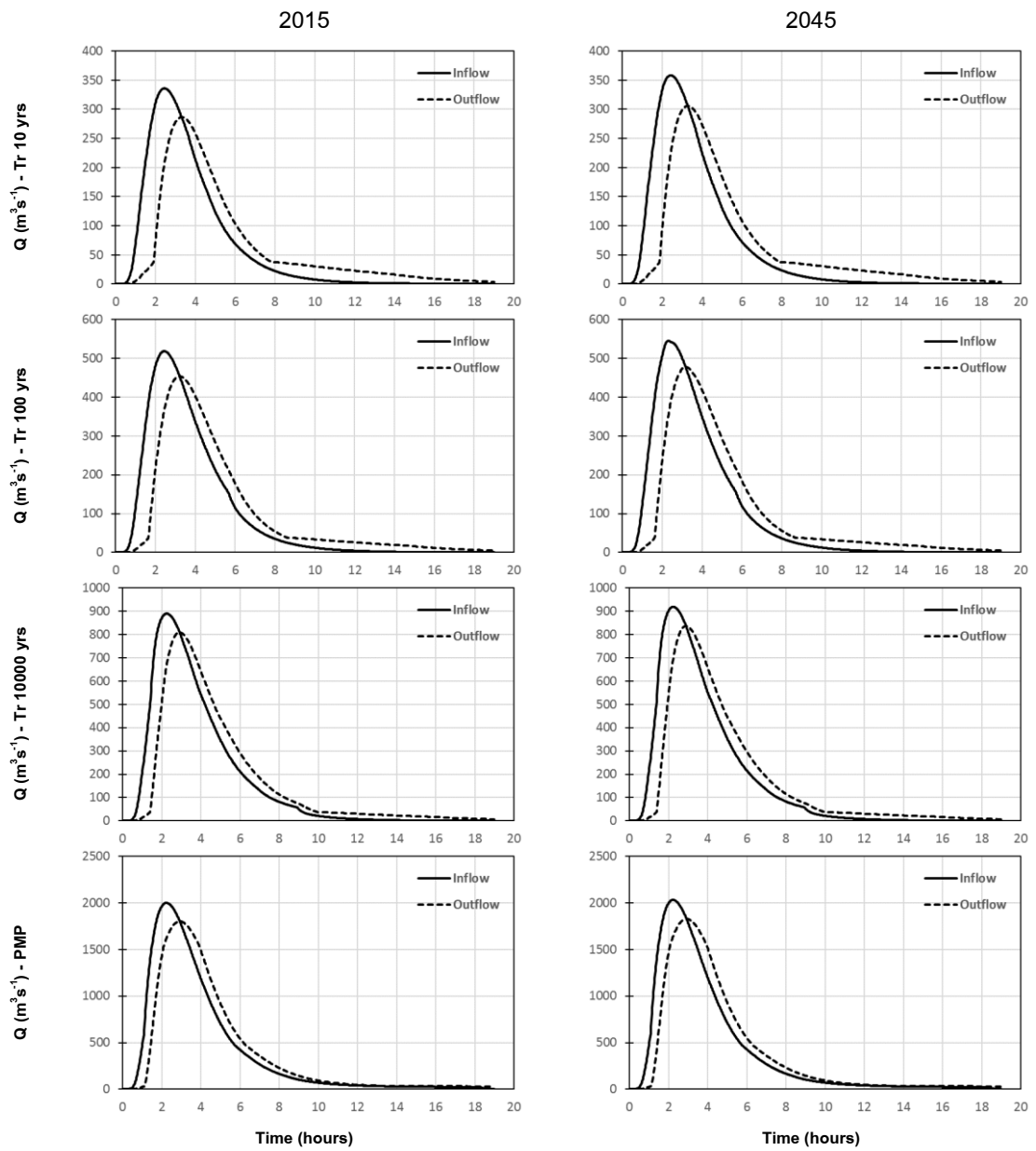
รูปที่ 3-24 กราฟน้ำหลากผ่านแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย

ตารางที่ 3-18 ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่แอ่งประตุน้ำสามพร้าว

Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Max Flood Volume (million m3)</u>							
2000	19.37	26.78	30.25	35.42	40.50	49.48	93.39
2011	20.02	27.52	31.04	36.26	41.21	50.23	94.51
2015	20.24	27.77	31.31	36.54	41.45	50.48	94.89
2045	21.13	28.80	32.40	37.64	42.44	51.52	96.45
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	-0.87	-1.00	-1.05	-1.12	-0.94	-1.00	-1.50
2011	-0.22	-0.25	-0.27	-0.28	-0.24	-0.25	-0.37
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.90	1.03	1.10	1.10	1.00	1.04	1.57
<u>Change in Percent</u>							
2000	-4.31%	-3.58%	-3.36%	-3.07%	-2.27%	-1.98%	-1.58%
2011	-1.08%	-0.90%	-0.85%	-0.77%	-0.57%	-0.50%	-0.40%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	4.43%	3.70%	3.51%	3.02%	2.41%	2.07%	1.65%

หมายเหตุ:

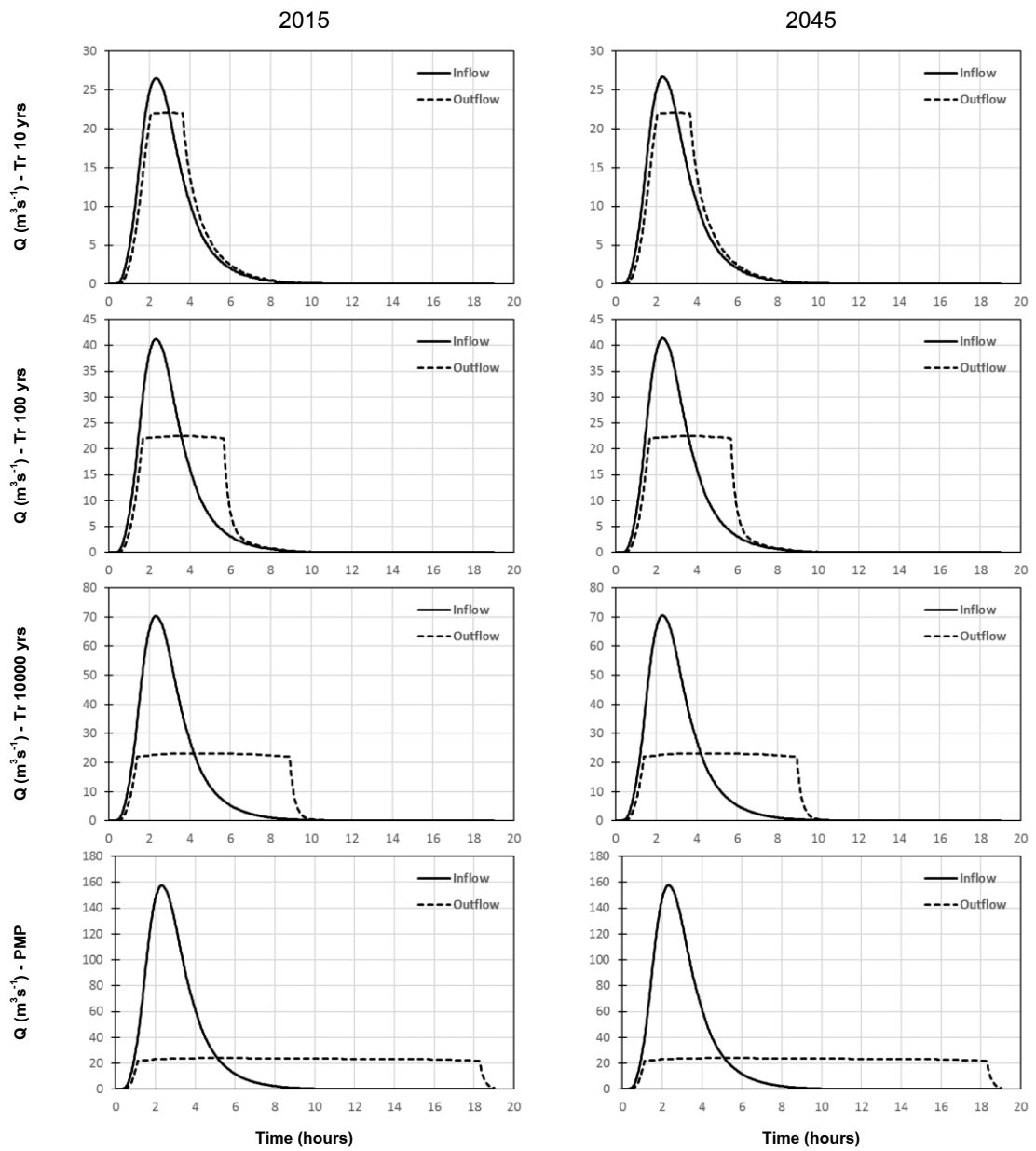
พื้นที่แอ่งประตุน้ำสามพร้าว พิจารณาตามแนวห้วยหลวงจากแนวถนนอุดรธานี-หนองคาย (ทางหลวงหมายเลข 2) ถึงแนวถนนสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง



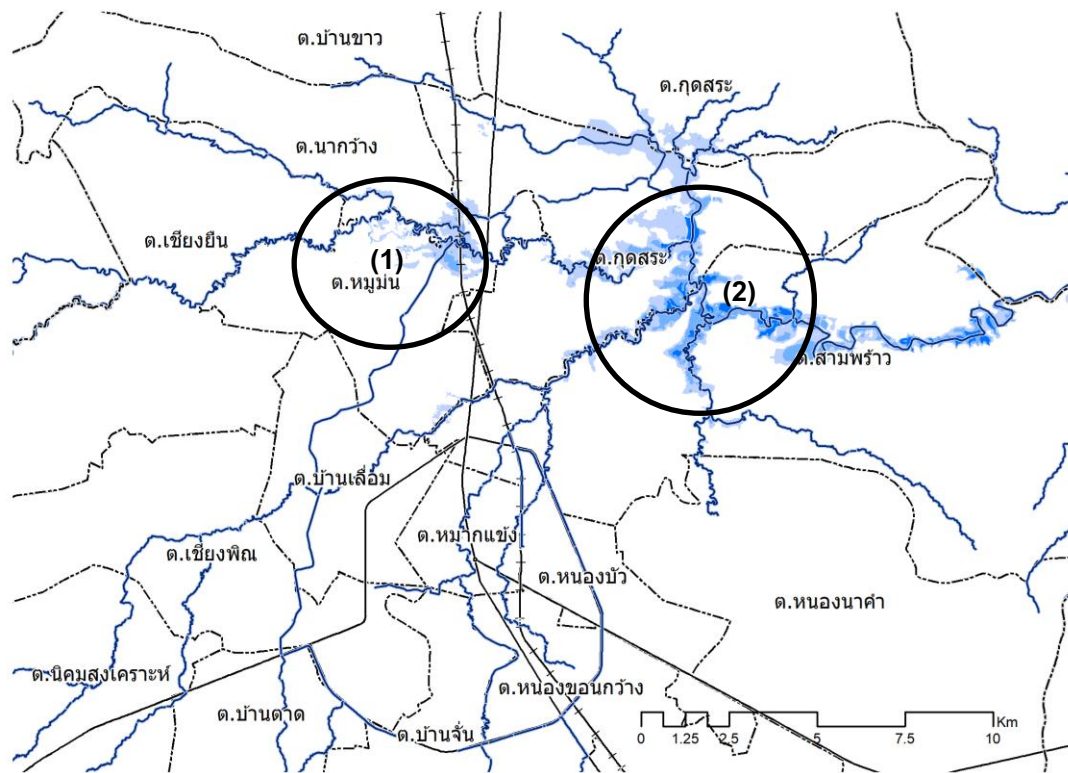
รูปที่ 3-25 กราฟน้ำหลากผ่านแนวถนนสามพร้าว-วัดศรีอินแปลง

ตารางที่ 3-19 ปริมาณน้ำท่วมขังสูงสุดของพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี

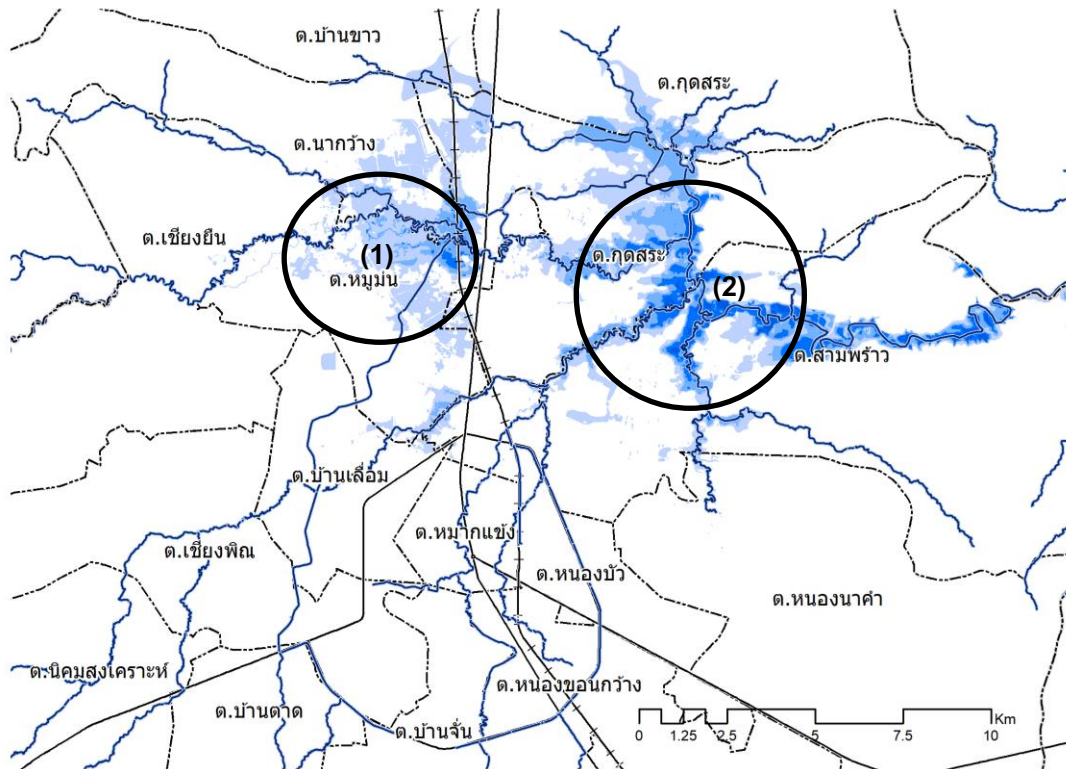
Return Period	2	10	25	100	500	10000	PMP
24-h Rainfall (mm)	98.3	159.7	190.6	236.3	288.9	386.6	835.0
<u>Max Flood Volume (million m3)</u>							
2000	0.29	0.69	1.33	2.52	4.09	7.37	24.49
2011	0.29	0.69	1.33	2.52	4.10	7.38	24.50
2015	0.29	0.69	1.33	2.52	4.10	7.38	24.50
2045	0.29	0.70	1.35	2.55	4.12	7.41	24.54
<u>Change in Volume (million m3)</u>							
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
<u>Change in Percent</u>							
2000	-0.19%	-0.26%	-0.15%	-0.09%	-0.08%	-0.05%	-0.02%
2011	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2015	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2045	0.62%	1.77%	1.70%	0.98%	0.65%	0.41%	0.16%



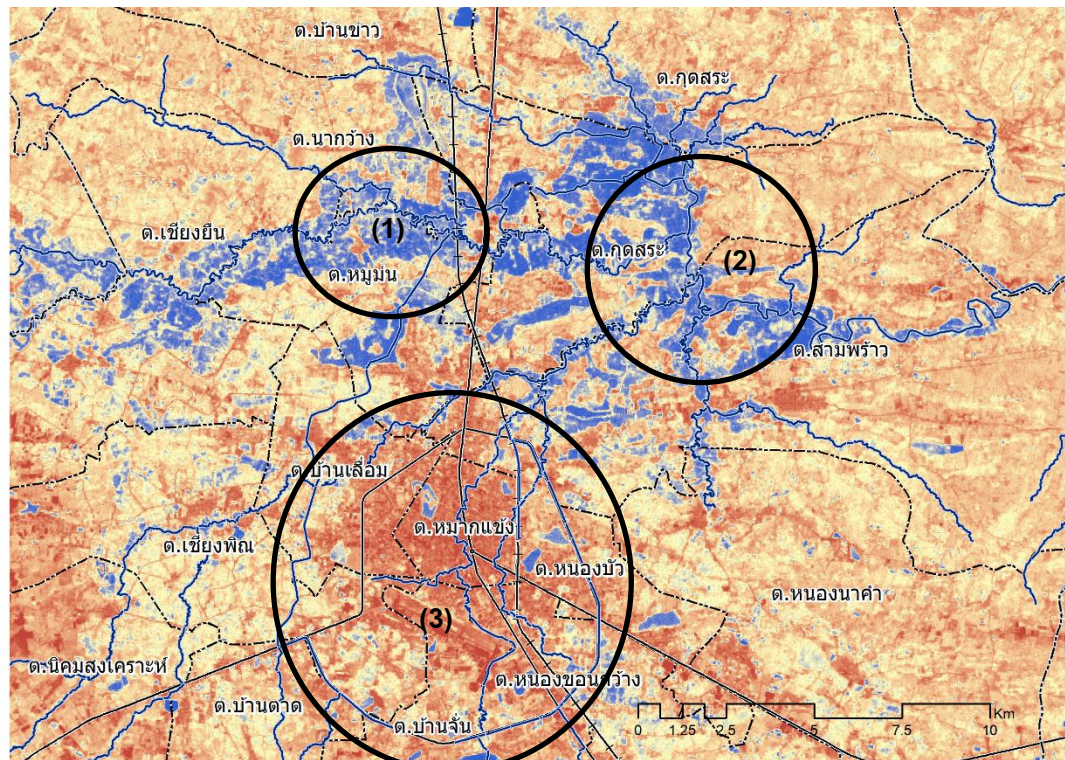
รูปที่ 3-26 กราฟน้ำหลากผ่านพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี



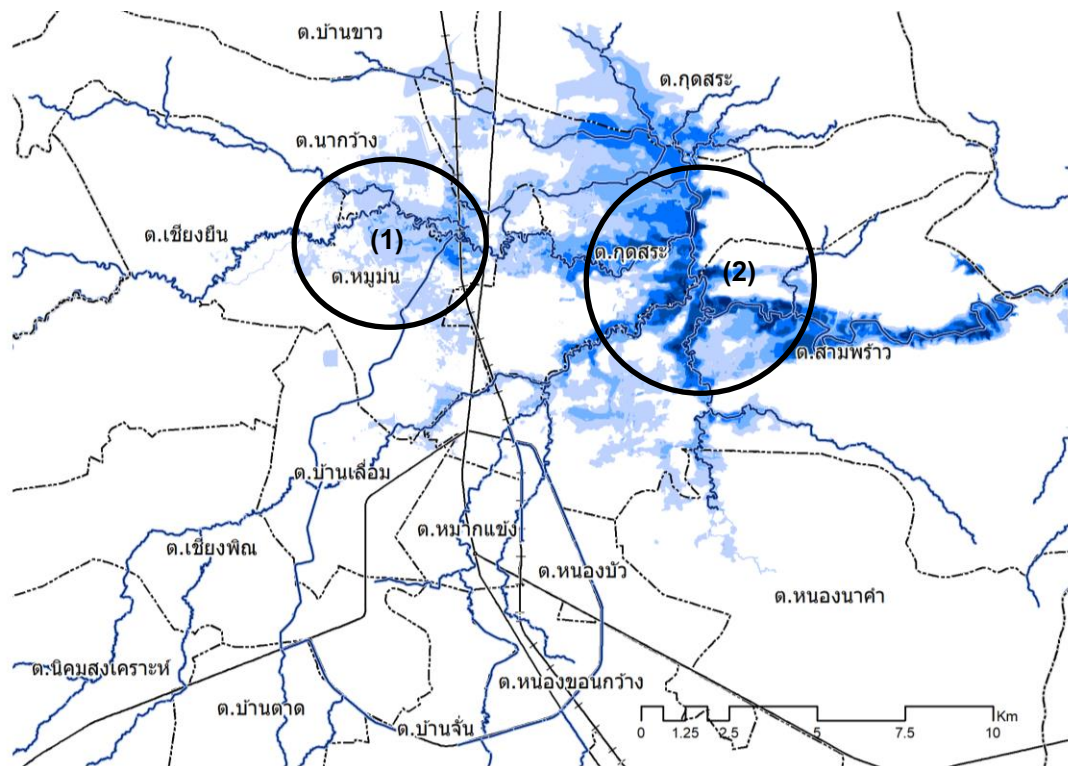
รูปที่ 3-27 พื้นที่น้ำท่วมซึ่งจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 1



รูปที่ 3-28 พื้นที่น้ำท่วมซึ่งจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 2



รูปที่ 3-29 พื้นที่น้ำท่วมซึ่งจำแนกจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 (กันยายน 2544)



รูปที่ 3-30 พื้นที่น้ำท่วมซึ่งจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน ระดับความรุนแรง 3

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง มีเป้าหมายที่จะฉายภาพของภาวะน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีในอนาคต 30 ปี จากสภาพแวดล้อมในอนาคตที่อาจมีผลกระทบต่อภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วย การขยายตัวของชุมชนเมือง และความแปรปรวนของฝน และ ทำการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนการประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีในปัจจุบัน ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลและผลการศึกษาที่ผ่านมา การวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมหลาก/สภาพน้ำท่วมขังในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพื้นที่วิกฤติจากภาวะน้ำท่วมหลาก/น้ำท่วมขังในสภาพปัจจุบัน การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต ในส่วนของการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นการวิเคราะห์ขอบเขตชุมชนเมืองในปัจจุบัน การประเมินการเติบโตของเมืองในอนาคต ผลการทำนายการเติบโตของเมืองเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองชลศาสตร์/อุทกวิทยา ส่วนการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคต จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณฝนที่ตกเป็นหลัก โดยพิจารณาข้อมูลจากสถิติเหตุการณ์พายุฝนในอดีต การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่อภาวะน้ำท่วมด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เป็นการจำลองสถานการณ์ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองพายุฝน แบบจำลองอุทกวิทยา ซึ่งเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า และการแบบจำลองชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำ

สภาพความหนาแน่นของชุมชน พื้นที่ชุมชนมีแนวโน้มหนาแน่นเพิ่มขึ้นในพื้นที่นอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี รอบ ๆ ถนนวงแหวน และตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมือง โดยในอดีตในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2538 - พ.ศ.2549) ความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดขอนแก่นและสกลนคร ส่วนในช่วง 10 ปีหลัง (พ.ศ.2549 / 2552 / 2554) มีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มขึ้นแนวถนนไปจังหวัดหนองคาย ส่วนพื้นที่ในเขตเทศบาลนคร สภานปัจจุบันมีอาคารสิ่งก่อสร้างเกือบเต็มพื้นที่แล้ว ยกเว้นทางทิศตะวันตกเฉียงใต้บริเวณสนามบินอุดรธานี ความหนาแน่นชุมชนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่เทศบาลนครเป็นสิ่งก่อสร้างทางดิ่ง (เช่น อาคารสูง) ซึ่งแยกความแตกต่างได้ค่อนข้างจำกัดจากภาพถ่ายดาวเทียมมุมมอง ในอนาคต 30 ปี (พ.ศ.2588) คาดว่าทุกพื้นที่ที่จะมีความหนาแน่นชุมชนเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครมีความหนาแน่นใกล้เคียงที่สุด อ้อมตัว พื้นที่ด้านนอกถนนวงแหวนมีความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นอีกใกล้เคียงกับพื้นที่เทศบาลนครในปัจจุบัน ส่วนพื้นที่อยู่ไกลออกไปความหนาแน่นของชุมชนเพิ่มขึ้นตามแนวถนนเชื่อมระหว่างเมืองคล้ายกับแนวโน้มในอดีต

จากการศึกษาข้อมูลฝน พบว่า ปริมาณฝนสะสมสูงสุดระหว่าง พ.ศ. 2495 ถึง พ.ศ.2556 ปริมาณฝนสะสมสูงสุดที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ถึง 3 วัน เป็นฝนที่ตกในช่วงวันที่ 10 ถึง 12 กรกฎาคม พ.ศ.2543 โดยปริมาณฝนสะสมที่ช่วงเวลาการตก 1 วัน ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 274.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 321 ปี ที่ช่วงเวลาการตก 2 วัน 309.3 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 188 ปี และ ที่ช่วงเวลาการตก 3 วัน 313.5 มิลลิเมตร มีรอบปีการเกิดซ้ำ 104 ปี พายุโซนร้อน "อูซางิ" วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลาการตก 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลาการตก 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน สำหรับพื้นที่ระบายน้ำผ่านเทศบาลนครอุดรธานีมีปริมาณเท่ากับ 835 1007 และ 1153 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ภาพอนาคตสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง HEC-HMS โดยพิจารณาสองปัจจัยหลักที่มีผลต่อน้ำท่วม และ มีการเปลี่ยนแปลงหรือแปรปรวนได้ในอนาคต ได้แก่ สภาพการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน และ ปริมาณน้ำฝน การกำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) เป็น สถานการณ์สภาพพื้นที่ 4 สถานการณ์ และ ปริมาณฝน 7 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร่วมกันได้เป็นจำนวน 28 สถานการณ์ จากผลการจำลองเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนของพื้นที่ระบายน้ำทั้งหมดใน ภาพรวม พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากส่วนเกินของน้ำฝนมีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณฝนที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวเนื่องจากการขยายตัวของชุมชน พื้นที่ระบายน้ำฝั่งขวาของห้วยหลวงรอบถนนวงแหวน มีปริมาณน้ำท่าจากส่วนเกินของฝนในสัดส่วนสูงสุด และ เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตมากที่สุดโดยเฉพาะพื้นที่ทางทิศตะวันออก ส่วนพื้นที่ ระบายน้ำจากเทศบาลนครอุดรธานี เป็นพื้นที่ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำท่าในอนาคตน้อย เนื่องจาก เป็นพื้นที่ที่มีอาคารและสิ่งก่อสร้างหนาแน่นอยู่แล้วในปัจจุบัน จึงทำให้ในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้นตามรอบปีการเกิดซ้ำมีอิทธิพลต่อความรุนแรงของน้ำท่วมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ในอนาคต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่วมสูงสุดช่วยให้แบ่งความรุนแรงของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้ (1) ระดับ 1 - ฝนตกที่มีรอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่า 100 ปี หรือ ปริมาณฝนไม่เกิน 200 มิลลิเมตรต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่น้อยกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ปัจจุบันได้มีการ ออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมแล้ว ดังนั้น พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังไม่มากนัก ถ้าหากไม่มีปริมาณน้ำจากเขื่อนห้วยหลวงไหลมาเพิ่ม พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขัง รอคการระบายไม่เกิน 6 ชั่วโมง หากระบบระบายน้ำทำงานได้อย่างเต็มความสามารถ (2) ระดับ 2 - ฝนตกที่มี รอบการเกิดซ้ำน้อยกว่า 10000 ปี ปริมาณไม่เกิน 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝน สูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาล นครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการระบาย 6-10 ชั่วโมง (3) ฝนตกที่มีรอบการเกิดซ้ำมากกว่า 10000 ปี ปริมาณ มากกว่า 400 มิลลิเมตร ต่อวัน เป็นปริมาณฝนที่สูงกว่าปริมาณฝนสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีตมาก พื้นที่ที่ ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังขยายวงกว้างมากขึ้น พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีมีน้ำท่วมขังรอการ ระบายนานกว่า 10 ชั่วโมง และถ้ามีน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนห้วยหลวงเพิ่มเติม จะขยายพื้นที่ได้รับ ผลกระทบมากยิ่งขึ้นอีก

5. เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการแก้ไขปัญหาอุทกภัยจังหวัดอุดรธานี. 2544. รายงานแผนงานโครงการและงบประมาณ
โครงการป้องกันและแก้ไขปัญหาอุทกภัยจังหวัดอุดรธานี, ที่ทำการปกครองจังหวัดอุดรธานี.
- จรัญธร บุญญานุภาพ. 2551. ความรู้พื้นฐานด้านริโมตเซนซิง. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- จริยา จิติเวศน์, และ พนมศักดิ์ พรหมบุรุษย์. 2556. การประเมินและวิเคราะห์แนวโน้มความเสี่ยงของพื้นที่
ศึกษานำร่องในบริบทของจังหวัดต่อสภาพ อากาศแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเพื่อ
จัดทำกรอบการศึกษาด้านการปรับตัวต่อภูมิอากาศ แบบบูรณาการเชิงพื้นที่แบบองค์รวม.
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพมหานคร.
- จังหวัดอุดรธานี. 2556. บรรยายสรุปจังหวัดอุดรธานี 2556. สำนักงานจังหวัดอุดรธานี, อุดรธานี.
- จังหวัดอุดรธานี. 2557. แผนพัฒนาจังหวัดอุดรธานี 4 ปี (2557-2560). สำนักงานจังหวัดอุดรธานี, อุดรธานี.
- ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2557. ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum
Precipitation). เอกสารประกอบการบรรยายโครงการปริญญาโทภาคพิเศษ ปีการศึกษา 2556 ของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- ณัฐภรณ์ รัตนวัน, เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์, และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2558. การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่
อาจเป็นไปได้ในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียง. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรม
แหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 6, อุดรธานี. 5 - 8 สิงหาคม 2558.
- สกว. 2554. การสังเคราะห์และประมวลผลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่
ที่ 1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, และ USAID. 2556. การประเมินความเปราะบางของเมืองอุดรธานีต่อการ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และ USAID, กรุงเทพมหานคร.
- สมพร สงวนวงศ์. 2543. ริโมตเซนซิงเบื้องต้นและกรณีศึกษา ริโมตเซนซิง. คณะสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2538. จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย ฉบับย่อ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรง
พิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2552. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและ
ภูมิสารสนเทศศาสตร์. บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2557. รายงานการติดตามพื้นที่น้ำ
ท่วม ปี 2557 โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม COSMO-SkyMed-2. ที่มา:
http://www.thaiwater.net/current/flood_sep57/imgflood_sep57/gistda-20140914_00_HH-cm2.pdf; 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2558.
- สิทธิพงษ์ กิจวรวิทย์. 2547. การศึกษาแนวทางบรรเทาอุทกภัยเทศบาลนครอุดรธานี ด้วยแบบจำลอง ISIS.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุจิต คุนธนกุลวงศ์. 2553a. รายงานผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสภาพชลประทานและน้ำบาดาล. หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุจิต คุนธนกุลวงศ์. 2553b. สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงของไทยและผลกระทบต่อด้านน้ำ. หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อิศเรศ กะการดี. 2556. การปรับปรุงความถูกต้องของ DEM สำหรับแบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบแม่น้ำท่าจีน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อิศเรศ กะการดี, และ เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย. 2555. การหาทิศทางการไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยข้อมูล DEM. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, อุดรธานี, 9-11 พฤษภาคม 2555.
- อิศเรศ กะการดี, และ เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย. 2556. การปรับปรุงความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT สำหรับประเมินน้ำท่าในพื้นที่ราบลุ่ม. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, เชียงใหม่, 8-10 พฤษภาคม 2556.
- เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย. 2547. อุทกวิทยา. เอกสารประกอบการสอน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย. 2557. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับวิศวกรรมชลประทาน. เอกสารคำสอน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- อำนาจ ชิตไธสง. 2552. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 1 สภาพภูมิอากาศในอดีต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อำนาจ ชิตไธสง (บรรณาธิการ). 2553. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อำนาจ ชิตไธสง (บรรณาธิการ). 2559. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- Carlson, T. N., and D. A. Ripley. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62: 241-252.
- Carlson, T. N., and S. T. Arthur. 2000. The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Glob. Planet. Chang.* 25: 49-65.
- Carlson, T. N. 2004. Analysis and prediction of surface runoff in an urbanizing watershed using satellite imagery. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 8: 1087-1098.
- Castillo-Rodríguez, J. (Ed). 2011. *Risk Analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management*. CRC Press.
- Chander, G., B. L. Markham, and D.L. Helder. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sens. Environ.* 113: 893-903.
- Chen, J., A.A. Hill, and L.D. Urbano. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. *J. Hydrol.* 373(1-2): 184-192.

- Chiew, F.H.S., A.W. Seed, Y. Zhang, and T. Adams. 2008. Urban meteorology. p. 187–195. In Fletcher, T., Deletic, A. (eds.), Data Requirements for Integrated Urban Water Management. Urban Water Series. UNESCO, Paris.
- Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays. 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, New York.
- Delgado, J.M., B. Merz, and H. Apel. 2014. Projecting flood hazard under climate change: an alternative approach to model chains. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14(6): 1579–1589.
- Escuder-Bueno, I., J.T. Castillo-Rodríguez, G. Petaccia, and S. Perales-Momparler. 2011. Application of a complete and quantitative tool for flood risk analysis in urban areas. p. 113. In Castillo-Rodríguez, J. (ed.), Risk Analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management. CRC Press.
- Escuder-Bueno, I., J.T. Castillo-Rodríguez, S. Zechner, C. Jöbstl, S. Perales-Momparler, and G. Petaccia. 2012. A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 12(9): 2843–2863.
- European Parliament. 2007. Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union.
- Fletcher, T., and A. Deletic (Eds). 2008. Data Requirements for Integrated Urban Water Management. UNESCO, Paris.
- Gillies, R. R., J.B. Box, J. Symanzik, and E.J. Rodemaker. 2003. Effect of urbanization on the aquatic fauna of the Line Creek watershed, Atlanta - a satellite perspective. Remote Sens. Environ. 86: 411–422.
- Hebble, E. E., T.N. Carlson, and K. Daniel. 2001. Impervious surface area and residential housing density: a satellite perspective. Geocarto International. 16(1): 15–20.
- Hsu, M.H., S.H. Chen, and T.J. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. J. Hydrol. 234(1–2): 21–37.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. 2014a. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of WG II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. 2014b. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of WG III to the Fifth Assessment Report of the IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Koontanakulvong, S., and W. Chaowiwat. 2001. GCM data comparison and its application to water disaster adaptation measures in Thailand. Water Resources System Research Unit, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok.
- Kundzewicz, Z.W., S. Kanae, S.I. Seneviratne, J. Handmer, N. Nicholls, P. Peduzzi, R. Mechler, L.M. Bouwer, N. Arnell, K. Mach, R. Muir-Wood, G.R. Brakenridge, W. Kron, G. Benito, Y. Honda, K. Takahashi, and B. Sherstyukov. 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. Hydrol. Sci. J. 59(1): 1–28.

- Li, J., and D.W.S. Wong. 2010. Effects of DEM sources on hydrologic applications. *Computers, Environ. Urban Syst.* 34(3): 251–261.
- NRCS. 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55 (TR-55). Natural Resources Conservation Service (NRCS), US Department of Agriculture (USDA), Washington, DC.
- NRCS. 2014. Chapter 17 Flood Routing. In *Part 630 Hydrology*. National Engineering Handbook. Natural Resources Conservation Service (NRCS), US Department of Agriculture (USDA), Washington, DC.
- Quan, R.-S. 2014a. Rainstorm waterlogging risk assessment in central urban area of Shanghai based on multiple scenario simulation. *Nat. Hazards* 73(3): 1569–1586.
- Quan, R. 2014b. Risk assessment of flood disaster in Shanghai based on spatial–temporal characteristics analysis from 251 to 2000. *Environ. Earth Sci.* 72(11): 4627–4638.
- Quan, R.-S., M. Liu, M. Lu, L.-J. Zhang, J.-J. Wang, and S.-Y. Xu. 2010. Waterlogging risk assessment based on land use/cover change: a case study in Pudong New Area, Shanghai. *Environ. Earth Sci.* 61(6): 1113–1121.
- Ridd, M. K. 1995. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. *Int. J. Remote Sens.* 16(12): 2165–2185.
- Sanders, B.F. 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Adv. Water Resour.* 30(8): 1831–1843.
- Schmitt, T.G., M. Thomas, and N. Ettrich. 2004. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *J. Hydrol.* 299(3–4): 300–311.
- Trenberth, K.E. 1999. Conceptual Framework for Changes of Extremes of the Hydrological Cycle with Climate Change. *Climatic Change* 42(1): 327–339.
- Trenberth, K. 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* 47(1): 123–138.
- Tsakiris, G. 2014. Flood risk assessment: concepts, modelling, applications. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14(5): 1361–1369.
- USACE. 1995. A Comparison of the One-Dimensional Bridge Hydraulic Routines from: HEC-RAS, HEC-2 and WSPRO. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.
- USACE. 2000. HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.
- USACE. 2013. HEC-GeoHMS: Geospatial Hydrologic Modeling Extension. User's Manual, version 10.1. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.
- USACE. 2015a. HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. Quick Start Guide, version 4.1. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.
- USACE. 2015b. HEC-HMS: Hydrologic Modeling System. User's Manual, version 4.1. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.

- USACE. 2016. HEC-RAS: River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, version 5.0. Hydrologic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers (USACE), Davis, CA.
- World Meteorological Organization. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045. 257 pages.
- Wu, J.Y., J.R. Thompson, R.K. Kolka, K.J. Franz, and T.W. Stewart. 2013. Using the Storm Water Management Model to predict urban headwater stream hydrological response to climate and land cover change. Hydrol. Earth Syst. Sci. 17(12): 4743–4758.
- Wu, X., D. Yu, Z. Chen, and R.L. Wilby. 2012. An evaluation of the impacts of land surface modification, storm sewer development, and rainfall variation on waterlogging risk in Shanghai. Nat. Hazards 63(2): 305–323.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. Int. J. Remote Sens. 27(14): 3025-3033.

ภาคผนวก ก การรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่

สารบัญ

สารบัญ	ก-1
สารบัญรูป	ก-1
ก.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1	ก-2
ก.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 2	ก-5
ก.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3	ก-6
ก.4 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4	ก-9
ก.5 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5	ก-12

สารบัญรูป

รูปที่ ก.1-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1	ก-4
รูปที่ ก.2-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 2	ก-5
รูปที่ ก.3-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3	ก-6
รูปที่ ก.4-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4	ก-9
รูปที่ ก.5-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5	ก-12

การรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 1

ตามแผนงานการดำเนินงานวิจัยการประเมินภาวน้ำท่วมในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง ได้กำหนดให้มีการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 1 ในช่วงระยะเวลา 6 เดือนแรกของการทำวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) ทำความรู้จักหน่วยงานและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
- 2) ทำความเข้าใจในพื้นที่ศึกษา
- 3) ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง

คณะนักวิจัยโครงการจึงได้ดำเนินการวางแผนการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 1 โดยให้มีการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม จำนวน 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 6 เดือนแรกของการศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1

คณะนักวิจัย ได้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1 ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี และเทศบาลนครอุดรธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 6 - 7 เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยได้เข้าพบเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ประกอบด้วย เทศบาลนครอุดรธานี สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุดรธานี โครงการชลประทานอุดรธานี และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยหลวง ดังนี้

1) เทศบาลนครอุดรธานี

คณะนักวิจัยได้เข้าพบเจ้าหน้าที่ของเทศบาลนครอุดรธานี ที่ดูแลด้านสภาพปัญหาน้ำท่วมของพื้นที่เทศบาลนครอุดรธานี ดังนี้

- | | |
|---|---|
| (1) นายพงษ์พันธ์ ยุทธเกษมสันต์ | ผู้อำนวยการสำนักการช่าง |
| (2) นายดวง มาหาภัน | ผู้อำนวยการกองช่างสุขาภิบาล |
| (3) นายดาวเรือง หากันได้ | ผู้อำนวยการส่วนช่างสุขาภิบาล สำนักการช่าง |
| (4) เจ้าหน้าที่และที่ปรึกษาของ ศูนย์ควบคุมการจราจรและสารสนเทศ เทศบาลนครอุดรธานี | |

รูปที่ ก.1-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1 และแสดงรายการข้อมูลที่ได้รับจากเทศบาลนครอุดรธานี ได้ดังนี้

- (1) สภาพปัญหาและสาเหตุน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่ชุมชนข้างเคียง
- (2) การเตรียมการป้องกันน้ำท่วมของเทศบาลนครอุดรธานี
- (3) แนวทางการระบายน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี
- (4) ทิศทางการระบายน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี
- (5) แผนที่ที่ตั้งสถานีสูบน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี
- (6) ข้อมูลอัตราการสูบน้ำของสถานีสูบน้ำของเทศบาลนครอุดรธานี

2) สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุดรธานี

คณะนักวิจัยได้เข้าพบเจ้าหน้าที่ของสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุดรธานี ซึ่งจากการเข้าพบ ทางเจ้าหน้าที่ของสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดแจ้งว่าทางสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัด เป็นคณะกรรมการร่วมของทางจังหวัดอุดรธานีในการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย ซึ่งสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเน้นในด้านแผนการเผชิญเหตุและการให้ความช่วยเหลือขณะเกิดอุทกภัย จึงไม่มีข้อมูลด้านแผนงานป้องกันและแนวทางแก้ไขเกี่ยวกับอุทกภัยของจังหวัดอุดรธานี

3) โครงการชลประทานอุดรธานี

คณะนักวิจัยได้เข้าพบเจ้าหน้าที่ของโครงการชลประทานอุดรธานี ที่ดูแลด้านสภาพปัญหาน้ำท่วมของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ดังนี้

- | | |
|-----------------------------|---|
| (1) นายทินกร แสงอาวุธ | หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม |
| (2) นายธนิต สอนช่วย | หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน |
| (3) นายรพีพงศ์ โชติธัญรัตน์ | หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 |

รูปที่ ก.1-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1 และแสดงรายการข้อมูลที่ได้รับจากโครงการชลประทานอุดรธานี ได้ดังนี้

- (1) สภาพปัญหาและสาเหตุน้ำท่วมในเขตอำเภอเมือง และจังหวัดอุดรธานี
- (2) รายงานแผนงานโครงการและงบประมาณโครงการป้องกันและแก้ไขอุทกภัยจังหวัดอุดรธานี โดยคณะกรรมการแก้ไขอุทกภัยจังหวัดอุดรธานี ตุลาคม 2544
- (3) แผนที่โครงการป้องกันและแก้ไขอุทกภัยจังหวัดอุดรธานี
- (4) รายงานป้องกันและแก้ไขปัญหาอุทกภัยโครงการห้วยหลวงตอนล่าง มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยหลวง

คณะนักวิจัยได้เข้าพบ นายสาริต สีนพานิช หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยหลวง ซึ่งบริหารและจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงในพื้นที่ต้นน้ำของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ซึ่งแสดงรายการข้อมูลที่ได้รับจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยหลวงได้ดังนี้

- (1) สภาพปัญหาและสาเหตุน้ำท่วมในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง
- (2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่ปล่อยระบายออกจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง
- (3) ข้อมูลการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงทั้งในกรณีสถานการณ์ปกติ และกรณีสถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง
- (4) ข้อมูลแผนงานโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเพื่อรองรับปริมาณน้ำหลากและการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้นของชุมชนเมืองอุดรธานี



รูปที่ ก.1-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 1

ก.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 2

คณะนักวิจัย ได้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 2 ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 26 - 27 เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยได้สำรวจดูสภาพพื้นที่ชุมชนและพื้นที่โดยรอบ เทศบาลนครอุดรธานี เพื่อให้เกิดความเข้าใจในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูล ภาคสนาม ครั้งที่ 2 ในรูปที่ ก.2-1



รูปที่ ก.2-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 2

ก.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3

คณะนักวิจัย ได้ดำเนินการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3 ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี และเทศบาลนครอุดรธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 20 - 22 เดือนมกราคม 2558 โดยได้เข้าทำการสำรวจ ตรวจสอบสภาพปัจจุบันของระบบระบายน้ำในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ซึ่งสรุปการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3 ได้ดังรูปที่ ก.3-1



(ก) ทางหลวงหมายเลข 2 ตัดกับห้วยหลวง เป็นพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมขัง เนื่องจากเป็นจุดระบายน้ำของคลองระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และเป็นพื้นที่ต่ำ และลำนน้ำแคบ



(ข) บริเวณหนองแด เป็นพื้นที่ที่จะก่อสร้างศูนย์ประชุม และแสดงสินค้า สภาพพื้นที่เป็นลานคอนกรีตติดถนนมิตรภาพ เป็นบริเวณกว้าง มีการปรับพื้นที่โดยการถมหนองแด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการขยายตัวของเมืองออกมา และมีเส้นทางรถไฟผ่าน

รูปที่ ก.3-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3



(ค) คลองระบายน้ำชุดใหม่จากอ่างฯหนองสำโรงไปลงห้วยหลวง อัตราการไหล 90 ลบ.ม./วินาที



(ง) สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3) อัตราการสูบน้ำ 12 ลบ.ม./วินาที จำนวนเครื่องสูบน้ำทั้งหมด 6 เครื่อง สูบน้ำลงคลองระบายน้ำข้างถนนเลี่ยงเมือง



(จ) สถานีสูบน้ำท้ายห้วยม้ง (P5) อัตราการสูบน้ำ 4 ลบ.ม./วินาที จำนวน 3 เครื่อง ระบายน้ำจากห้วยม้งลงคลองระบายน้ำข้างถนนเลี่ยงเมืองไปลงห้วยหลวง

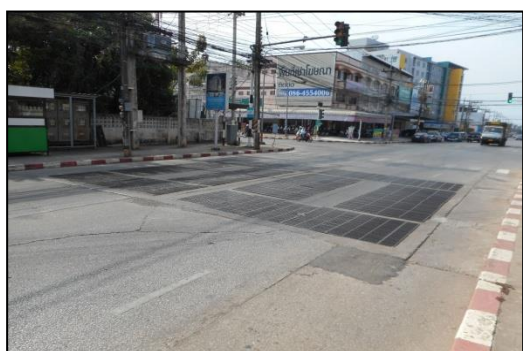
รูปที่ ก.3-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3 (ต่อ)



(ณ) คลองระบายน้ำข้างถนนเลี้ยวเมืองด้านตะวันออก อัตราการไหลของคลอง 70 ลบ.ม./วินาที



(ข) คลองระบายน้ำข้างถนนเลี้ยวเมืองด้านใต้ อัตราการไหลของคลอง 45 ลบ.ม./วินาที



(ข) สถานีสูบน้ำวัดโพธิสมภรณ์ (P1) อัตราการสูบน้ำ 4 ลบ.ม./วินาที เป็นแบบ Submersible Pump

รูปที่ ก.3-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 3 (ต่อ)

การรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 2

ตามแผนงานการดำเนินงานวิจัยการประเมินภาวน้ำท่วมในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานี ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง ได้กำหนดให้มีการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 2 ในช่วงระยะเวลาเดือนที่ 10-12 ของการทำวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) เพื่อสำรวจยืนยันผลการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติในปัจจุบัน
- 2) เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกของพื้นที่วิกฤติ

คณะนักวิจัยโครงการจึงได้ดำเนินการวางแผนการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 2 โดยให้มีการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม จำนวน 2 ครั้ง ภายในระยะเวลาเดือนที่ 10-12 ของการศึกษา ได้แก่ การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4 และครั้งที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก.4 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4

คณะนักวิจัย ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 2 โดยทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4 ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 22 - 25 เดือนมิถุนายน 2558 โดยได้สำรวจดูสภาพพื้นที่ชุมชนและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังในปัจจุบัน และเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติในปัจจุบัน ซึ่งสรุปผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4 ได้ดังรูปที่ ก.4-1



(ก) อ่างเก็บน้ำบ้านจั่น ต้นน้ำห้วยหมากแข้ง และที่จุดบรรจบกับคลองระบายน้ำสายรอบเมือง

รูปที่ ก.4-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4



(ข) ห้วยมั่ง ส่วนที่อยู่นอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี และที่จุดบรรจบกับคลองระบายน้ำสายรอบเมือง



(ค) สภาพคลองระบายน้ำสาย By Pass อ้อมเมือง ก่อนไหลเข้าสู่หนองสำโรง



(ง) หนองสำโรงพื้นที่แก้มลิงรับน้ำจากคลองระบายน้ำสาย By Pass อ้อมเมือง และสภาพบางส่วนที่กำลังดำเนินการปรับปรุงโดยกรมชลประทาน



(จ) อาคารควบคุมการปล่อยน้ำออกจากหนองสำโรงลงสู่ห้วยหลวง

รูปที่ ก.4-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4 (ต่อ)



(ง) คลองระบายน้ำสาย By Pass อ้อมเมือง ท้ายหนองสำโรงก่อนไหลลงสู่ห้วยหลวง



(ข) ห้วยหลวงหลังจุดบรรจบคลองระบายน้ำสาย By Pass ก่อนไหลผ่านถนนมิตรภาพไปหนองคาย



(ข) ห้วยหลวงที่จุดตัดกับถนนมิตรภาพไปหนองคาย

รูปที่ ก.4-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 4 (ต่อ)

ก.5 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5

คณะนักวิจัย ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ระยะที่ 2 โดยทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5 ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 4 - 5 เดือนสิงหาคม 2558 เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกของพื้นที่วิกฤตในปัจจุบัน และเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติในอนาคต ซึ่งได้จากผลการคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต ซึ่งสรุปผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5 ได้ดังรูปที่ ก.5-1



(ก) ประตุน้ำสามพร้าว พร้อมฝายประกอบ ของกรมชลประทาน ซึ่งปิดกั้นลำน้ำห้วยหลวงบริเวณตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

รูปที่ ก.5-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5



(ข) การสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์การคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต

รูปที่ ก.5-1 แสดงภาพการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ครั้งที่ 5 (ต่อ)

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ภาวะน้ำท่วม

สารบัญ

สารบัญ	ข-1
สารบัญตาราง	ข-1
สารบัญรูป	ข-2
ข.1 ปริมาณฝน	ข-3
ข.2 ปริมาณน้ำท่า	ข-10
ข.3 ระบบลำน้ำของจังหวัดอุดรธานี	ข-10
ข.4 สภาพน้ำท่วมและความเสียหาย	ข-15
ข.5 สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี	ข-17
ข.6 การดำเนินการแก้ไขปัญหาปัญหาน้ำท่วมของจังหวัดอุดรธานี	ข-19
ข.7 แนวทางและแผนงานแก้ไขปัญหาปัญหาน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี	ข-20
ข.8 รูปถ่ายพื้นที่โครงการ	ข-31

สารบัญตาราง

ตารางที่ ข.1-1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝน	ข-5
ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง	
ตารางที่ ข.1-2 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา	ข-6
ตารางที่ ข.2-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปีที่รวบรวมได้ในพื้นที่ศึกษา	ข-10
และข้างเคียง	
ตารางที่ ข.2-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา	ข-11
และข้างเคียง	
ตารางที่ ข.6-1 สถานีสูบน้ำป้องกันน้ำท่วมภายในเขตเทศบาลนครอุดรธานี	ข-21
ตารางที่ ข.7-1 แผนงานและงบประมาณประจำปี 2557 โครงการชลประทานจังหวัดอุดรธานี	ข-24
ตารางที่ ข.7-2 แผนพัฒนาเทศบาลสามปี เทศบาลนครอุดรธานี (พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2560)	ข-25
ตารางที่ ข.7-3 แผนพัฒนาเทศบาลสามปี องค์การบริหารส่วนจังหวัดอุดรธานี	ข-26
(พ.ศ.2556 ถึง พ.ศ.2558)	
ตารางที่ ข.7-4 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ใช้สอยลักษณะต่างๆ	ข-30

สารบัญญรูป

รูปที่ ข.1-1	การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2543 และ 2544	ข-7
รูปที่ ข.1-2	การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2543 และ 2544	ข-7
รูปที่ ข.1-3	การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2553	ข-8
รูปที่ ข.1-4	การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2553	ข-8
รูปที่ ข.1-5	การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2554	ข-9
รูปที่ ข.1-6	การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2554	ข-9
รูปที่ ข.2-1	การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 6 สถานี	ข-12
รูปที่ ข.3-1	ผังระบบลำน้ำของจังหวัดอุดรธานี	ข-14
รูปที่ ข.4-1	พื้นที่ที่ประสบอุทกภัย จังหวัดอุดรธานี ปีพ.ศ.2544	ข-15
รูปที่ ข.5-1	แผนที่บริเวณน้ำท่วมเขตเทศบาลนครอุดรธานี และพื้นที่ข้างเคียง	ข-18
รูปที่ ข.6-1	แนวทางการแก้ไขปัญหาปัญหาน้ำท่วมนอกเขตเทศบาลนครอุดรธานี	ข-20
รูปที่ ข.6-2	ที่ตั้งสถานีสูบน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี	ข-21
รูปที่ ข.8-1	Index รูปถ่ายโครงการ	ข-31
รูปที่ ข.8-2	ถนนมิตรภาพตัดลำห้วยหลวง เป็นพื้นที่ที่มีน้ำล้นตลิ่งเป็นประจำทุกปี	ข-32
รูปที่ ข.8-3	บริเวณอาคารปลายคลองระบายน้ำอ่างเก็บน้ำหนองสำโรง	ข-32
รูปที่ ข.8-4	สะพานข้ามลำห้วยหลวง – ถนนมิตรภาพ ด้านท้ายน้ำ	ข-33
รูปที่ ข.8-5	พื้นที่บริเวณหนองแดง สถานที่ก่อสร้างอาคารแสดงสินค้าและศูนย์ประชุม	ข-33
รูปที่ ข.8-6	อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และอาคารประกอบ	ข-34
รูปที่ ข.8-7	สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)	ข-34
รูปที่ ข.8-8	สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)	ข-35
รูปที่ ข.8-9	สถานีสูบน้ำท้ายห้วยม้ง (P5)	ข-35
รูปที่ ข.8-10	คลองระบายน้ำด้านใต้ขนานถนนเลียงเมือง	ข-36
รูปที่ ข.8-11	สถานีสูบน้ำโพธิสมภรณ์ (P1)	ข-36

ข.1 ปริมาณฝน

จังหวัดอุดรธานีจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม ได้ประเมินปริมาณน้ำฝนของจังหวัดอุดรธานีว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เฉลี่ยตลอดปี 1,498.7 มิลลิเมตร มีฝนตก 21 วัน ฝนตกสูงสุดใน 24 ชั่วโมง เคยวัดได้ 247.0 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ. 2417 และเมื่อพิจารณาปริมาณฝนทั้งลุ่มน้ำห้วยหลวงสามารถแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง ได้ดังตารางที่ ข.1-1 และผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ดังแสดงได้ดังตารางที่ ข.1-2

การศึกษาวเคราะห์ปริมาณฝนในปีที่เกิดน้ำท่วมที่สำคัญเมื่อพิจารณาทั้งในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงซึ่งอำเภอเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ จากการรวบรวมและทบทวนข้อมูลพบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยมีปีที่เกิดน้ำท่วมที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

1) **น้ำท่วมปี พ.ศ. 2543** ลุ่มน้ำห้วยหลวงได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านประเทศลาวและประเทศพม่า ประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้พายุฝนตกหนักในพื้นที่ในเดือนกรกฎาคม ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่ง และไหลบ่าเข้าท่วมอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี น้ำท่วมสูงโดยเฉลี่ย 0.5 – 1.0 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 9 วัน รวมมูลค่าความเสียหาย 1,505 ล้านบาท

โดยในปี 2543 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,850.2 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2495-2556) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 29 ดังแสดงในรูปที่ ข.1-1 และเมื่อทำการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 536.3 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 13 ปี และปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 313.5 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 103 ปี ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ ข.1-2

2) **น้ำท่วมปี พ.ศ. 2544** เกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำห้วยหลวง 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อน “อูซาริ” ทำให้เกิดพายุฝนตกหนักในพื้นที่ ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่งและท่วมขัง โดยน้ำท่วมขังสูงเฉลี่ย 0.5-1.2 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 7 วัน และครั้งที่ 2 เกิดฝนตกหนักในบริเวณต้นของห้วยน้ำรินและห้วยคาน ในเขตอำเภอหนองแสง และอำเภอหนองวัวซอ ทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลาก เข้าท่วมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี และบริเวณใกล้เคียง โดยน้ำท่วมสูงเฉลี่ย 0.2-1.0 เมตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 8 วัน รวมมูลค่าความเสียหาย 1,067 ล้านบาท

โดยในปี 2544 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี (68013) มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,654.7 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2495-2556) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 16 ดังแสดงในรูปที่ ข.1-1 และเมื่อทำการวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 709.5 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 93 ปี และปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 309.3 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 93 ปี ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ ข.1-2

3) **น้ำท่วมปี พ.ศ.2553** เนื่องจากมีฝนตกหนักในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงติดต่อกันหลายวันในช่วงปลายเดือนสิงหาคม ทำให้เกิดน้ำท่วม 5 อำเภอในจังหวัดอุดรธานี ได้แก่ อำเภอบ้านผือ อำเภอหนองหาน อำเภอประจักษ์ศิลปาคม อำเภอน้ำโสม และอำเภอพิบูลย์รักษ์ รวมพื้นที่ประสบภัยน้ำท่วม 53,988 ไร่

โดยในปี 2553 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอหนองวัว จังหวัดอุดรธานี (68232) มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 2,081.1 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2517-2556) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 63 ดังแสดงในรูปที่ ข.1-3 และเมื่อทำการวิเคราะห์ห้รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 1014.8 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำ 355 ปี และปริมาณฝนสูงสุด ช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 232.0 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำ 22 ปี ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ ข.1-4

4) **น้ำท่วมปี พ.ศ.2554** อิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนนกเตนที่ก่อตัวบริเวณตอนเหนือของ ประเทศเวียดนาม ระหว่างวันที่ 24 กรกฎาคม 2554 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2554 ส่งผลให้เกิดฝนตกหนักใน ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งรวมถึงลุ่มน้ำห้วยหลวงด้วย ปริมาณฝนที่ตกมากใน พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเกินระดับกักเก็บ ต้องเร่งระบายน้ำออก ส่งผลให้ เกิดน้ำท่วมบ้านเรือนราษฎร ได้รับความเสียหาย 51,327 หลังคาเรือน พื้นที่นาข้าวเสียหาย 143,809 ไร่ ถนน เสียหาย 582 สาย โดยเฉพาะในเขตเทศบาลนครอุดรธานีน้ำท่วมสูงกว่า 0.5 เมตร

โดยในปี 2554 ที่สถานีวัดน้ำฝนอำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย (020116) มีปริมาณฝนรายปี เฉลี่ย 2,823.1 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (ปี 2513-2555) ในปีปกติ ประมาณร้อยละ 47 ดังแสดงในรูปที่ ข.1-5 และเมื่อทำการวิเคราะห์ห้รอบปีการเกิดซ้ำของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงที่เกิดน้ำท่วม พบว่า ปริมาณฝนสูงสุดของรายเดือนมีค่า 916.7 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 72 ปี และปริมาณฝน สูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 260.0 มิลลิเมตร คิดเป็นรอบปีการเกิดซ้ำประมาณ 13 ปี ดังแสดงผลการวิเคราะห์ใน รูปที่ ข.1-6

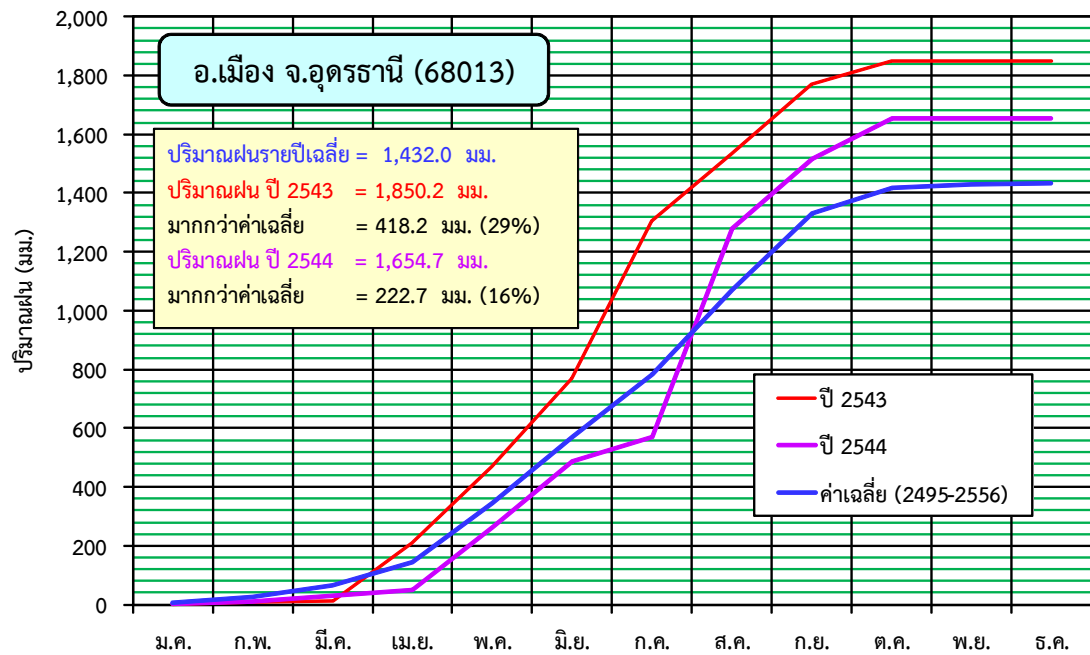
ตารางที่ ข.1-1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

สถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	ช่วงสถิติปีข้อมูล	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)								ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)						
			เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.- เม.ย.)	รายปี
1. อ.เมือง จ.หนองคาย	30013	2495 - 2556	85.02	235.19	262.12	259.59	320.96	288.18	79.56	12.93	4.12	6.59	16.34	34.45	1,445.59	159.44	1,605.03
2. อ.โพนพิสัย จ.หนองคาย	30022	2495 - 2553	88.38	259.21	372.58	350.58	442.19	324.07	76.99	7.41	1.81	6.50	19.14	32.07	1,825.60	155.31	1,980.91
3. อ.ศรีเชียงใหม่ จ.หนองคาย	30082	2509 - 2556	83.05	224.12	263.54	284.59	320.88	286.56	75.99	8.32	1.86	5.34	11.39	32.26	1,455.68	142.22	1,597.90
4. ท่อระบายน้ำห้วยวังฮู อ.เมือง จ.หนองคาย	30090	2497 - 2544	72.69	208.68	262.89	241.58	296.06	255.09	74.12	16.00	4.04	5.67	10.99	25.39	1,338.42	134.79	1,473.21
5. อ.โพนพิสัย จ.หนองคาย	30242	2526 - 2553	80.50	224.32	449.09	421.79	490.96	295.11	70.18	6.51	1.66	4.64	11.80	22.17	1,951.44	127.29	2,078.74
6. อ.เมือง จ.อุดรธานี	68013	2495 - 2556	76.57	201.32	227.29	212.05	288.04	261.06	85.30	10.66	3.49	5.50	20.18	40.55	1,275.05	156.96	1,432.01
7. อ.งิ้ว จ.อุดรธานี	68022	2495 - 2556	90.05	232.34	271.32	278.18	343.40	287.06	92.56	8.81	3.22	4.00	12.09	35.00	1,504.86	153.17	1,658.04
8. อ.หนองหาน จ.อุดรธานี	68032	2496 - 2556	59.60	188.94	243.03	225.99	263.77	226.58	74.62	8.83	1.29	1.78	12.80	29.71	1,222.93	114.01	1,336.94
9. อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี	68052	2495 - 2555	60.93	156.62	199.39	193.08	258.77	212.40	71.60	6.44	1.74	2.18	9.67	27.33	1,091.88	108.28	1,200.16
10. อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	68062	2497 - 2556	61.94	201.71	214.41	227.11	255.45	257.72	75.61	7.40	2.99	5.78	11.48	33.17	1,232.01	122.77	1,354.78
11. บัณฑิตสร้างตนเองเชิงพิง อ.เมือง จ.อุดรธานี	68082	2504 - 2556	56.81	161.86	177.72	185.12	234.26	204.85	88.72	10.00	1.92	6.04	15.41	33.83	1,052.54	123.99	1,176.53
12. อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี	68212	2517 - 2556	77.76	222.35	273.08	312.25	397.97	255.73	74.95	8.17	2.69	7.98	17.88	31.94	1,536.33	146.41	1,682.74
13. อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68232	2517 - 2556	61.63	191.12	193.22	185.16	260.61	246.69	83.21	9.18	1.48	6.13	12.78	27.34	1,160.01	118.53	1,278.54
14. อ.กุดจับ จ.อุดรธานี	68242	2517 - 2554	55.03	183.68	208.39	213.93	273.73	263.59	64.83	9.27	0.00	2.11	9.76	17.98	1,208.14	94.15	1,302.29
15. อ.โนนสะอาด จ.อุดรธานี	68252	2517 - 2555	49.52	137.27	153.38	180.53	220.25	205.12	89.16	7.12	2.87	7.10	9.55	21.02	985.72	97.19	1,082.91
16. อ.สร้างคอม จ.อุดรธานี	68372	2523 - 2555	70.62	220.94	291.10	320.14	391.43	258.78	67.72	12.31	2.49	7.32	10.53	33.90	1,550.11	137.16	1,687.27
17. อ.ไชยวาน จ.อุดรธานี	68402	2529 - 2556	63.43	173.90	220.29	237.98	295.16	262.72	71.05	10.12	2.84	3.67	16.98	30.81	1,261.09	127.86	1,388.95
18. ห้วยหลวง (KH. - 53) อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68430	2531 - 2544	66.84	195.76	190.68	172.58	201.82	192.39	59.24	7.66	3.05	4.69	13.11	25.99	1,012.47	121.33	1,133.80
19. อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู	75012	2495 - 2555	66.41	154.99	169.19	157.65	191.34	199.98	71.62	7.18	2.78	4.65	11.09	20.67	944.77	112.77	1,057.54
20. อ.ศรีบุญเรือง จ.หนองบัวลำภู	75022	2518 - 2555	67.83	161.87	140.11	143.91	177.56	233.27	105.91	12.58	5.05	4.08	13.12	33.30	962.64	135.95	1,098.59
21. อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู	75032	2514 - 2555	72.07	134.63	170.24	145.96	201.99	244.35	100.54	12.19	1.39	6.72	14.37	20.54	997.73	127.28	1,125.01
22. อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	75042	2517 - 2556	78.97	204.45	231.71	223.59	299.37	314.70	106.98	13.74	3.01	6.39	13.29	43.45	1,380.80	158.85	1,539.64
23. อ.โนนสัง จ.หนองบัวลำภู	75052	2501 - 2556	51.84	146.06	143.88	160.93	206.38	243.21	102.16	7.15	2.94	1.83	13.24	22.18	1,002.62	99.19	1,101.81
24. บัณฑิตสร้างตนเองโนนสัง จ.หนองบัวลำภู	75062	2513 - 2556	81.31	153.30	151.21	164.58	219.45	206.55	98.16	13.52	2.62	4.20	13.57	26.82	993.25	142.04	1,135.28
25. แม่น้ำโขงที่บ้านโพนพิสัย จ.หนองคาย	020116	2513 - 2555	96.19	240.03	353.49	370.49	421.74	282.20	73.10	14.09	3.33	9.84	19.42	37.43	1,741.05	180.30	1,921.35
26. ห้วยขวาง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	022011	2516 - 2555	68.32	194.22	226.45	229.24	280.53	234.55	77.96	13.51	3.64	7.93	15.82	41.05	1,242.95	150.27	1,393.22
27. ยอดหัวบาง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	022012	2516 - 2540	72.15	129.20	216.15	207.85	247.17	217.73	75.66	6.59	6.18	8.27	14.88	41.66	1,093.77	149.72	1,243.49
28. หนองจวน อ.เมือง จ.อุดรธานี	022101	2513 - 2555	71.69	186.57	222.41	211.72	262.32	219.92	78.37	9.47	3.08	5.09	16.03	38.80	1,181.31	144.15	1,325.46
เฉลี่ย			70.97	190.17	232.08	232.79	287.98	249.29	80.92	9.90	2.77	5.43	13.81	30.74	1,273.24	133.62	1,406.86
สูงสุด			96.19	259.21	449.09	421.79	490.96	324.07	106.98	16.00	6.18	9.84	20.18	43.45	1,951.44	180.30	2,078.74
ต่ำสุด			49.52	129.20	140.11	143.91	177.56	192.39	59.24	6.44	0.00	1.78	9.55	17.98	944.77	94.15	1,057.54

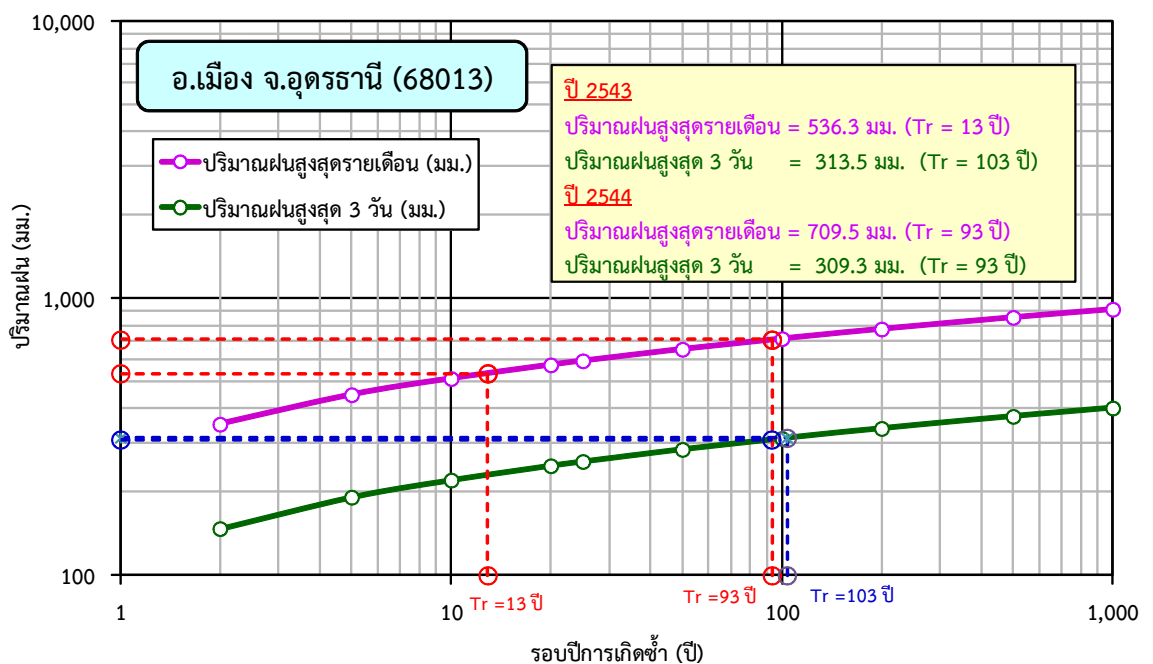
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน

ตารางที่ ข.1-2 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

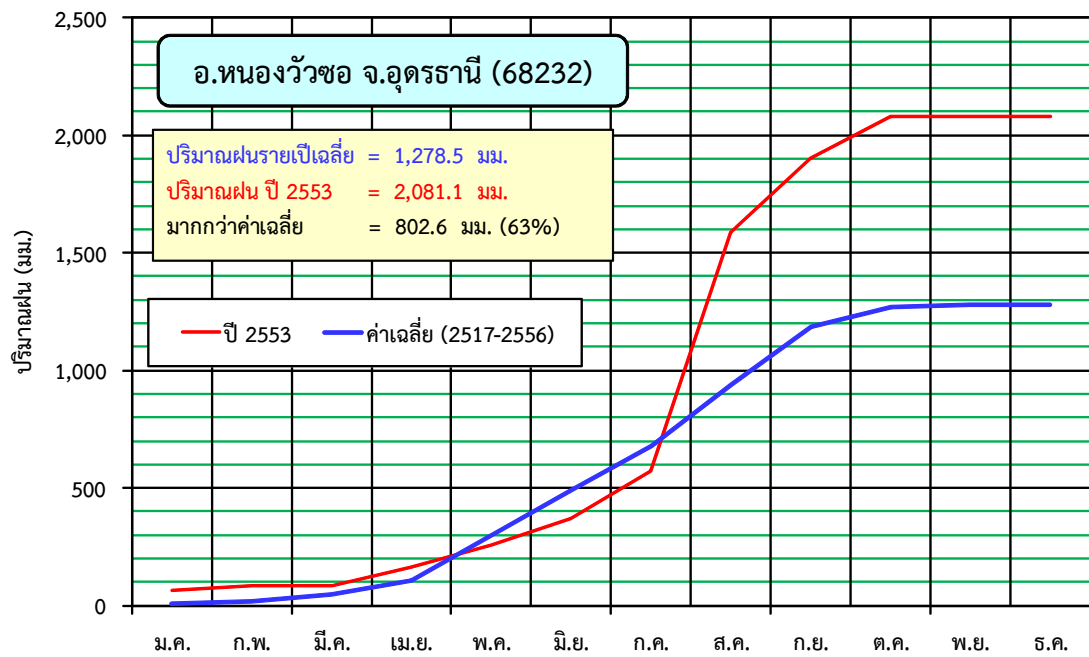
ชื่อสถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	ช่วงปีสถิติข้อมูล	ช่วงเวลา	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีของการเกิดต่าง ๆ (มม.)										
				2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
1. อ.เมือง จ.อุดรธานี	68013	2495 - 2556	1 วัน	98.3	135.3	159.7	183.2	190.6	213.6	236.3	259.0	288.9	311.5	386.6
			2 วัน	128.1	170.2	198.2	225.0	233.5	259.6	285.6	311.5	345.7	371.5	457.2
			3 วัน	146.4	190.7	220.0	248.2	257.1	284.6	311.8	339.0	374.9	402.0	491.9
2. อ.เพ็ญ จ.อุดรธานี	68022	2495 - 2556	1 วัน	112.0	158.7	189.5	219.2	228.5	257.5	286.2	314.8	352.6	381.1	475.9
			2 วัน	144.6	196.1	230.1	262.8	273.2	305.1	336.8	368.4	410.0	441.5	546.1
			3 วัน	168.4	223.2	259.5	294.2	305.3	339.3	373.0	406.6	451.0	484.5	595.8
3. อ.หนองหาน จ.อุดรธานี	68032	2496 - 2555	1 วัน	92.8	118.2	135.1	151.2	156.3	172.1	187.8	203.4	224.0	239.6	291.3
			2 วัน	122.6	158.1	181.6	204.2	211.3	233.4	255.3	277.1	305.8	327.5	399.7
			3 วัน	141.9	182.0	208.6	234.1	242.2	267.2	291.9	316.5	349.1	373.6	455.3
4. อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี	68212	2517 - 2556	1 วัน	109.6	156.4	187.4	217.1	226.6	255.6	284.5	313.2	351.1	379.7	474.8
			2 วัน	139.4	193.7	229.7	264.2	275.2	308.9	342.4	375.7	419.7	453.0	563.4
			3 วัน	165.5	223.1	261.2	297.7	309.3	345.0	380.5	415.8	462.4	497.6	614.5
5. อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	68232	2517 - 2556	1 วัน	90.1	121.5	142.3	162.3	168.6	188.1	207.5	226.8	252.2	271.5	335.3
			2 วัน	110.1	147.2	171.7	195.2	202.7	225.7	248.5	271.3	301.3	324.0	399.3
			3 วัน	128.4	172.3	201.4	229.2	238.1	265.3	292.3	319.3	354.8	381.7	470.8
6. อ.สร้างคอม จ.อุดรธานี	68372	2523 - 2556	1 วัน	96.9	131.8	154.8	177.0	184.0	205.7	227.1	248.5	276.8	298.1	369.0
			2 วัน	133.9	181.7	213.4	243.8	253.4	283.1	312.6	342.0	380.7	410.0	507.2
			3 วัน	160.3	222.5	263.7	303.2	315.8	354.4	392.7	430.9	481.3	519.3	645.7
7. อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	75042	2517 - 2556	1 วัน	86.6	110.2	125.8	140.7	145.5	160.1	174.6	189.0	208.1	222.5	270.4
			2 วัน	116.7	152.9	176.8	199.8	207.1	229.5	251.8	274.0	303.3	325.4	398.9
			3 วัน	139.5	186.7	217.9	247.9	257.4	286.6	315.7	344.7	382.9	411.8	507.6



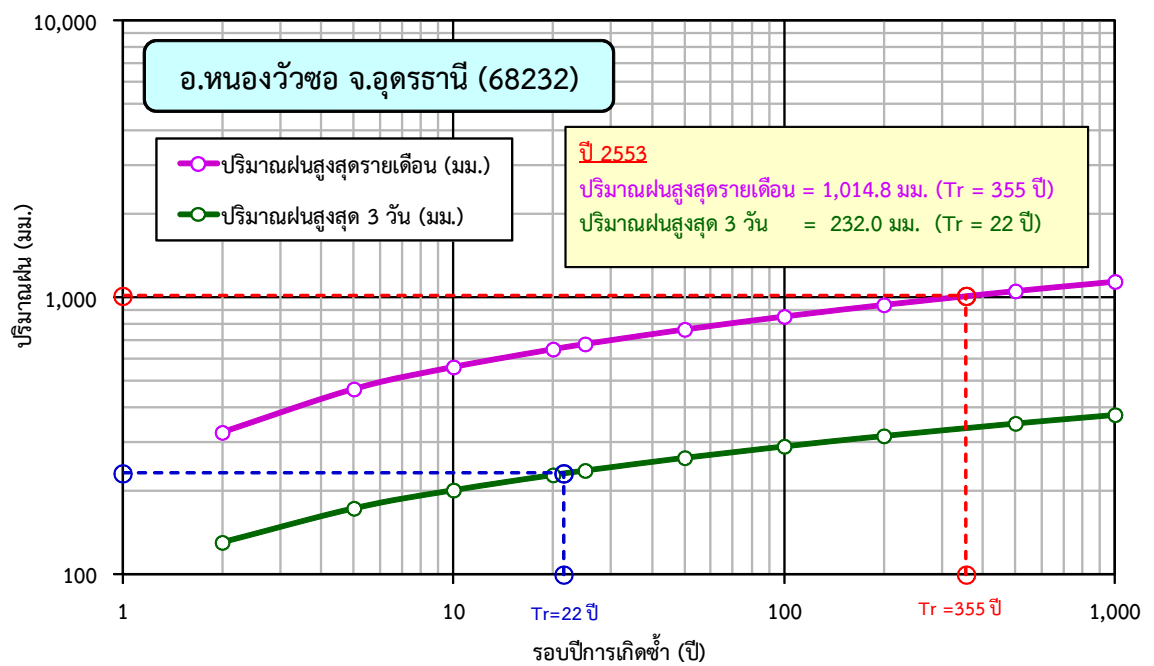
รูปที่ ข.1-1 การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2543 และ 2544



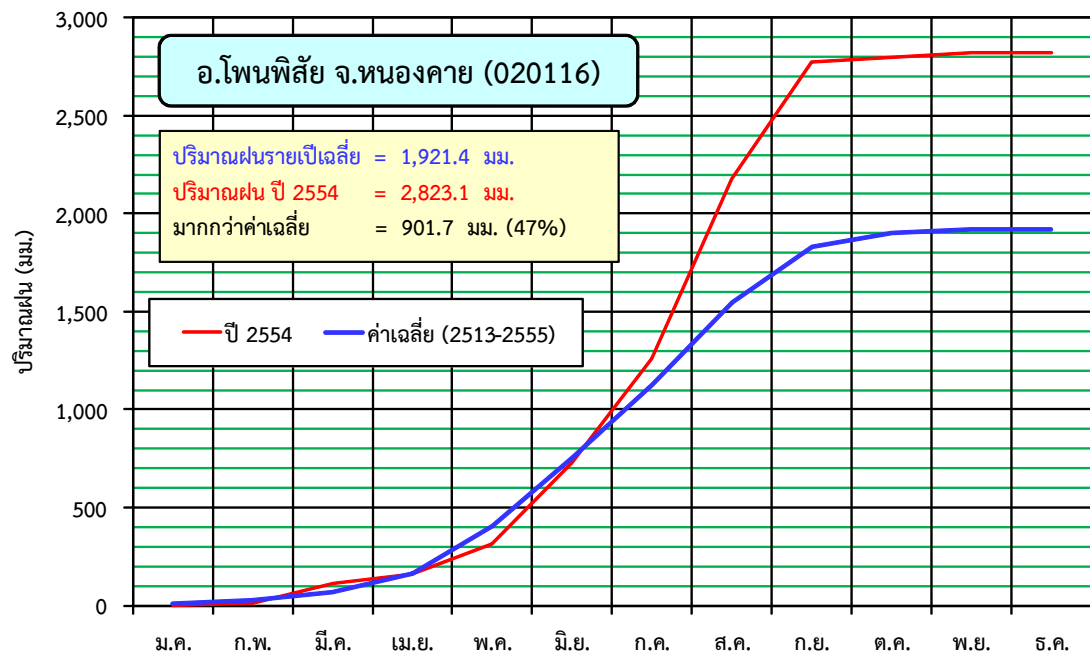
รูปที่ ข.1-2 การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2543 และ 2544



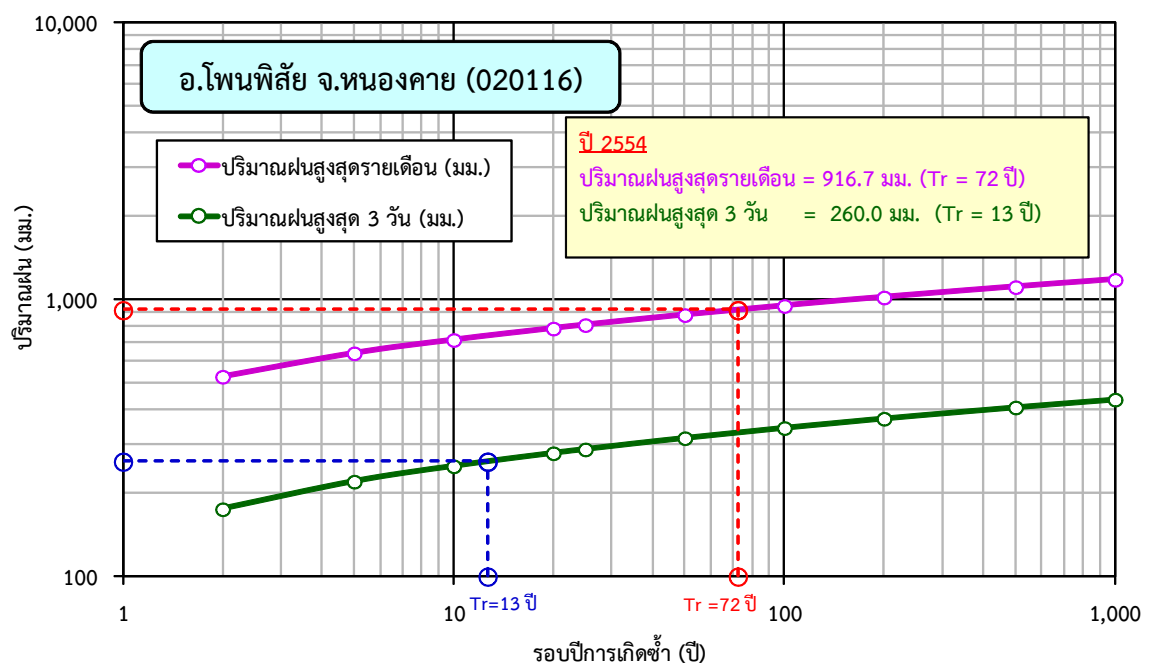
รูปที่ ข.1-3 การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2553



รูปที่ ข.1-4 การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2553



รูปที่ ข.1-5 การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในปี 2554



รูปที่ ข.1-6 การวิเคราะห์รอบปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2554

ข.2 ปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี ได้รวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 6 สถานี ดังรายชื่อสถานีในตารางที่ ข.2-1 และค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีดังในตารางที่ ข.2-2 ข้อมูลที่รวบรวมได้มีค่าช่วงพิสัยของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน 7.03 – 18.82 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร และในกรณีศึกษาเฉพาะสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง จำนวน 2 สถานีพบว่า มีค่าช่วงพิสัยของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน 7.03 – 7.06 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร นอกจากนี้ได้แสดงการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียงไว้ในรูปที่ ข.2-1 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำท่ามากในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และมีค่าน้อยในเดือนธันวาคมถึงเมษายน

ตารางที่ ข.2-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปีที่รวบรวมได้ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

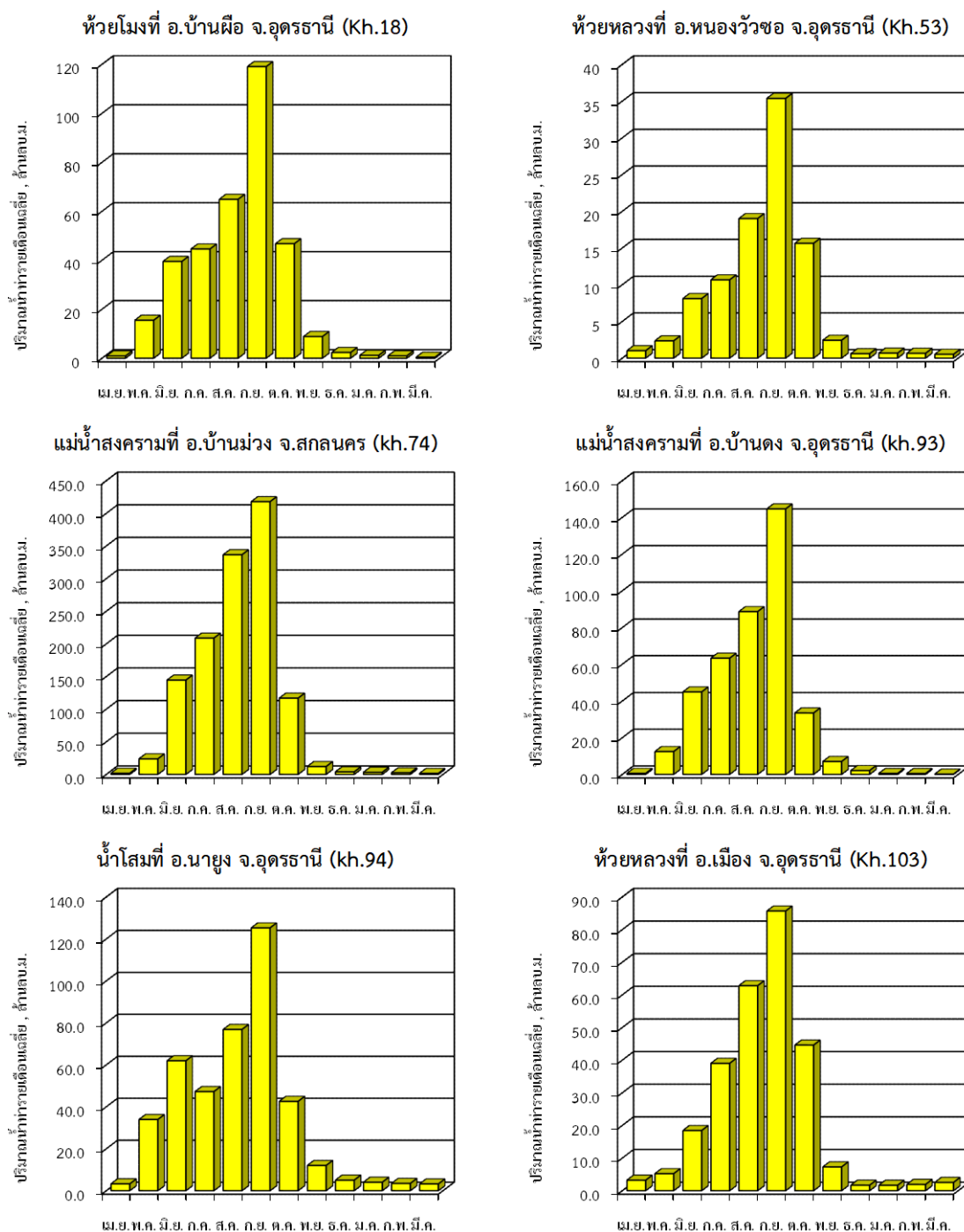
สถานีวัดน้ำท่า	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ตำแหน่ง		ช่วงสถิติปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายปี (ล้าน ลบ.ม.)		
			ละติจูด	ลองจิจูด		เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1. ห้วยโมงที่บ้านนาอ่าง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี	Kh.18	1,307.0	17-34-39	102-20-19	2500 - 2555	344.73	893.92	86.25
2. ห้วยหลวงที่บ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	Kh.53	436.0	17-15-53	102-35-48	2513 - 2555	97.02	227.60	14.86
3. แม่น้ำสงครามที่บ้านท่าห้วยหลัง อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร	Kh.74	2,145.0	17-49-05	103-23-00	2527 - 2555	1,272.91	2,213.20	450.66
4. แม่น้ำสงครามที่บ้านโคกคำไหล อ.บ้านดง จ.อุดรธานี	Kh.93	707.0	17-33-22	103-20-20	2540 - 2555	398.18	684.60	146.77
5. น้ำโสมที่บ้านวังเลา อ.นาูง จ.อุดรธานี	Kh.94	869.0	17-58-04	102-14-46	2541 - 2549	418.62	572.70	235.05
6. ห้วยหลวงที่บ้านโนนตูม อ.เมือง จ.อุดรธานี	Kh.103	1,235.0	17-28-51	102-48-00	2547 - 2555	273.99	438.64	104.99

ที่มา: กรมชลประทาน

ตารางที่ ข.2-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

สถานีวัดน้ำท่า	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงสถิติ ปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้านลบ.ม.)										ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)			Yield (ลิตร/ไร่/ตร.กม.)		
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน (พ.ค.- ต.ค.)		ฤดูแล้ง (พ.ย.- เม.ย.)	รายปี
1. ห้วยโสมที่บ้านนาอ่าง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี 2. ห้วยหลวงที่บ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี 3. แม่น้ำสงครามที่บ้านท่าชัยหลัง อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร 4. แม่น้ำสงครามที่บ้านโคกคำไหล อ.บ้านดง จ.อุดรธานี 5. น้ำโสมที่บ้านวังเลา อ.นาแก จ.อุดรธานี 6. ห้วยหลวงที่บ้านโนนตูม อ.เมือง จ.อุดรธานี	Kh.18	1,307.0	2500 - 2555	0.91	15.48	39.49	44.58	64.86	119.03	46.73	8.84	2.32	1.16	0.95	0.39	330.17	14.56	344.73	8.36
	Kh.53	436.0	2513 - 2555	1.01	2.35	8.11	10.66	19.00	35.36	15.63	2.43	0.60	0.68	0.65	0.52	91.13	5.89	97.02	7.06
	Kh.74	2,145.0	2527 - 2555	1.73	23.82	144.47	208.78	336.48	417.76	116.77	12.07	3.85	3.20	2.44	1.55	1,248.07	24.83	1,272.91	18.82
	Kh.93	707.0	2540 - 2555	0.55	12.45	44.92	63.28	88.67	144.59	33.46	7.03	2.10	0.50	0.47	0.16	387.37	10.81	398.18	17.86
	Kh.94	869.0	2541 - 2549	3.24	33.91	61.91	47.22	76.83	125.24	42.56	12.01	5.02	4.01	3.46	3.20	387.67	30.94	418.62	15.28
	Kh.103	1,235.0	2547 - 2555	3.21	5.22	18.43	39.01	62.80	85.67	44.60	7.28	1.67	1.65	1.91	2.53	255.73	18.25	273.99	7.03
เฉลี่ย				1.78	15.54	52.89	68.92	108.11	154.61	49.96	8.28	2.59	1.87	1.65	1.39	450.02	17.55	467.57	12.40
สูงสุด				3.24	33.91	144.47	208.78	336.48	417.76	116.77	12.07	5.02	4.01	3.46	3.20	1,248.07	30.94	1,272.91	18.82
ต่ำสุด				0.55	2.35	8.11	10.66	19.00	35.36	15.63	2.43	0.60	0.50	0.47	0.16	91.13	5.89	97.02	7.03

ที่มา: กรมชลประทาน

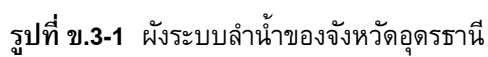


รูปที่ ข.2-1 การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 6 สถานี

ข.3 ระบบลำน้ำของจังหวัดอุดรธานี

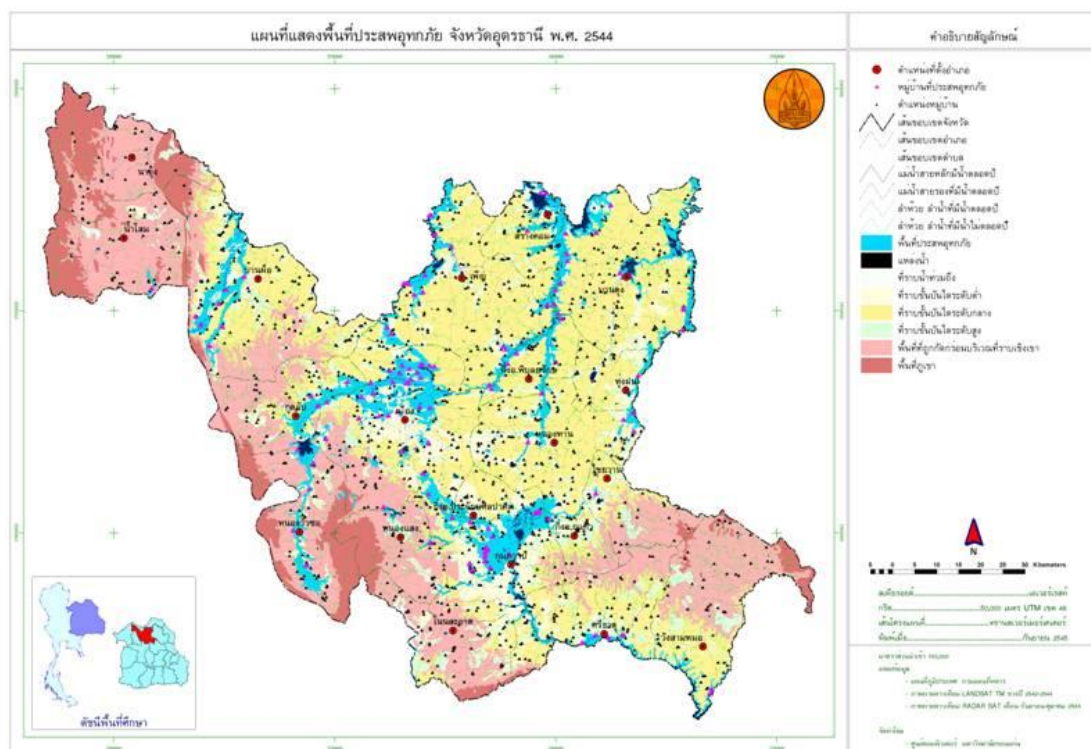
ระบบลำน้ำของจังหวัดอุดรธานี ดังแสดงผังระบบลำน้ำในรูปที่ ข.3-1 ลำน้ำสายหลักที่ไหลผ่านจังหวัดอุดรธานี คือ ลำน้ำห้วยหลวง ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำโขง มีลำน้ำสาขา ดังนี้

- 1) ลำน้ำห้วยหลวง อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของตัวเมืองอุดรธานี มีทิศทางการไหลจากทิศใต้ไปทิศเหนือ และไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไหลไปลงแม่น้ำโขง ที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย
- 2) ห้วยซวงหลวง (ห้วยเชียงหลวง) เป็นลำน้ำสาขาของห้วยหลวง อยู่ทางทิศตะวันออกของตัวเมืองอุดรธานี ไหลจากทิศใต้ไปทิศเหนือ และไหลลงห้วยหลวง ที่บ้านแมด ตำบลสามพร้าว อำเภอเมืองอุดรธานี
- 3) ห้วยอิฐ เป็นลำน้ำสาขาของห้วยหลวง อยู่ทางด้านทิศเหนือของตัวเมืองอุดรธานี และไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไหลไปลงห้วยหลวง ที่บ้านนาหยาด อำเภอเมืองอุดรธานี
- 4) ห้วยดาน เป็นลำน้ำสาขาของห้วยอิฐ อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของตัวเมืองอุดรธานี มีทิศทางการไหลจากทิศใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลลงห้วยอิฐทางทิศเหนือของตัวเมืองอุดรธานี ที่บ้านดอนหวาย อำเภอเมืองอุดรธานี
- 5) ห้วยหมากแข้ง เป็นลำน้ำสาขาของห้วยอิฐ อยู่ทางทิศใต้ของตัวเมืองอุดรธานี ไหลจากทิศใต้ไปทิศเหนือผ่านเทศบาลนครอุดรธานี และไหลลงห้วยอิฐทางทิศเหนือของตัวเมือง ที่บ้านดอนหวาย อำเภอเมืองอุดรธานี
- 6) ห้วยซุ่น (ห้วยม้ง) เป็นลำน้ำสาขาของห้วยหมาก อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของตัวเมืองอุดรธานี ไหลจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ ผ่านเทศบาลนครอุดรธานี และไหลลงห้วยหมากแข้งทางทิศเหนือของตัวเมือง ที่บ้านดอนหวาย อำเภอเมืองอุดรธานี
- 7) ห้วยริน (ห้วยโสกคู่) เป็นลำน้ำสาขาของห้วยหมากแข้ง อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของตัวเมืองอุดรธานี ไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และไหลลงห้วยหมากแข้งในเขตเทศบาลนครอุดรธานี



เนื่องจากตัวเมืองอุดรธานีตั้งอยู่ในพื้นที่ราบ และมีลำห้วยไหลผ่านหลายสาย ในทุกครั้งที่มีการฝนตก แม้ไม่มากนักก็จะเกิดน้ำท่วมขังเป็นประจำ เช่น เมื่อปี พ.ศ.2513 พ.ศ.2529 พ.ศ.2543 และพ.ศ.2544 ซึ่งเกิดอุทกภัยใหญ่ของตัวเมืองอุดรธานี

ในปี พ.ศ.2544 ครั้งที่ 1 เนื่องจากอิทธิพลของพายุโซนร้อนอุซางิ ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปในพื้นที่ จังหวัดอุดรธานี วัดปริมาณฝนสูงสุด 240.1 มม. (สถานีโครงการชลประทานอุดรธานี) ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง เป็นพื้นที่กว้าง มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.50-1.20 เมตร เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2544 และครั้งที่ 2 เนื่องจาก เกิดฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำห้วยรินในเขตอำเภอหนองแสง และอำเภอหนองวัวซอ ในวันที่ 5 กันยายน 2544 วัดปริมาณฝนสูงสุด 104.3 มม. (สถานีอ่างเก็บน้ำกุดลิงง้อ) ทำให้น้ำป่าไหลเข้าท่วมในเขตเทศบาลนคร อุดรธานี ตั้งแต่วันที่ 7 กันยายน 2544 มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 0.20-1.00 เมตร รูปที่ ข.4-1 แสดงพื้นที่ ประสบอุทกภัยในจังหวัดอุดรธานี สร้างความเสียหายเป็นมูลค่าประมาณ 1,067 ล้านบาท



รูปที่ ข.4-1 พื้นที่ประสบอุทกภัย จังหวัดอุดรธานี ปีพ.ศ.2544

สภาพน้ำท่วมในปัจจุบัน ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 ที่ได้เริ่มดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี โดยมีการขุดคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งยังไม่เกิดปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี แต่จะพบในพื้นที่ห้วยหลวงที่ติดกับถนนมิตรภาพ และริมตลิ่งของลำน้ำห้วยหลวง สำหรับในเขตเทศบาลนครอุดรธานีจะมีปัญหาน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ระบายน้ำลงท่อระบายน้ำไม่ทัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ และการถมที่เพื่อก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร จึงกีดขวางทางน้ำที่ไหลลงทางระบายน้ำ ดังนั้นจะต้องมีการปรับปรุงกฎระเบียบ พร้อมทั้งปรับปรุงขนาดของทางระบายน้ำ/ท่อระบายน้ำ ควบคู่กันไป

จากรายงานการติดตามพื้นที่น้ำท่วมปี พ.ศ.2557 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2557) บริเวณบางส่วนของจังหวัดบึงกาฬ สกลนคร หนองคาย และอุดรธานี พบว่า พื้นที่น้ำท่วมขังส่วนใหญ่เป็นบริเวณพื้นที่ราบต่ำ และพื้นที่ลุ่มการเกษตร บริเวณริมแม่น้ำสายหลักและลำน้ำย่อย โดยในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภาวบน้ำท่วม 257 ไร่ บ้านเรือนถูกน้ำท่วม 6 หลังคาเรือน

แต่เนื่องจากลำห้วยหมากแข้ง ซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่มีปริมาณน้ำมาก และมีเส้นทางไหลผ่านตัวเทศบาลนครอุดรธานี และห้วยริน ซึ่งเป็นลำน้ำที่มีปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดน้ำท่วมใน ปี2544 ยังไม่ได้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งกรมชลประทานได้วางแผนก่อสร้างไว้ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยริน อ่างเก็บน้ำห้วยเชียงอินทร์ อ่างเก็บน้ำห้วยกอนพิลา และอ่างเก็บน้ำห้วยโตนช้าง หากมีการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 แห่งจะสามารถบริหารจัดการน้ำจากต้นน้ำช่วยชะลอน้ำไว้ได้ อีกทั้งยังสามารถกักเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้งด้วย ซึ่งสภาพปัจจุบันจังหวัดอุดรธานียังประสบปัญหาด้านภัยแล้ง

ข.5 สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

- สาเหตุที่มาของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในช่วงปี 2543/2544 มีสาเหตุสามประการ คือ

1) ปริมาณฝนตกมากกว่าฝนเฉลี่ยในรอบ 48 ปี (พ.ศ.2495-พ.ศ.2542)

- ปี 2543 มีปริมาณฝนมากกว่าฝนเฉลี่ย 18.67% และมีปริมาณฝน 1 วัน สูงสุดวัดได้ 200.0 มม. ในวันที่ 11 กรกฎาคม 2543

- ปี 2544 มีปริมาณฝนตกถึงวันที่ 23 ตุลาคม 2544 มากกว่าฝนเฉลี่ย 40.22%หรือมากกว่าปี 2543 เท่ากับ 21.55% และปริมาณฝน 1 วันสูงสุดวัดได้ 240.1 มม. ในวันที่ 10 สิงหาคม 2544

2) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านมีปริมาณมาก และเคลื่อนตัวเร็ว เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ และสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเกิดฝนตกหนักในพื้นที่อำเภอหนองแสง อำเภอหนองวัวซอ และอำเภอเมือง ทำให้ปริมาณน้ำในลำห้วยสำคัญต่างๆ มีปริมาณน้ำสูงขึ้น และน้ำได้ไหลอย่างรวดเร็วลงอ่างเก็บน้ำต่างๆ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยสามพาด อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง อ่างเก็บน้ำกุดลิงจ้อ และอ่างเก็บน้ำบ้านจั่น ประกอบกับ อ่างเก็บน้ำบ้านจั่นอยู่ในสภาพที่ไม่มั่นคงแข็งแรง และอ่างเก็บน้ำอื่นๆ ก็ไม่มีระบบการบริหารจัดการน้ำที่ดี ทำให้เมื่อมีฝนตกหนัก จึงไม่สามารถช่วยชะลอการระบายน้ำไม่ให้ไหลเข้าตัวเมืองอุดรธานีได้

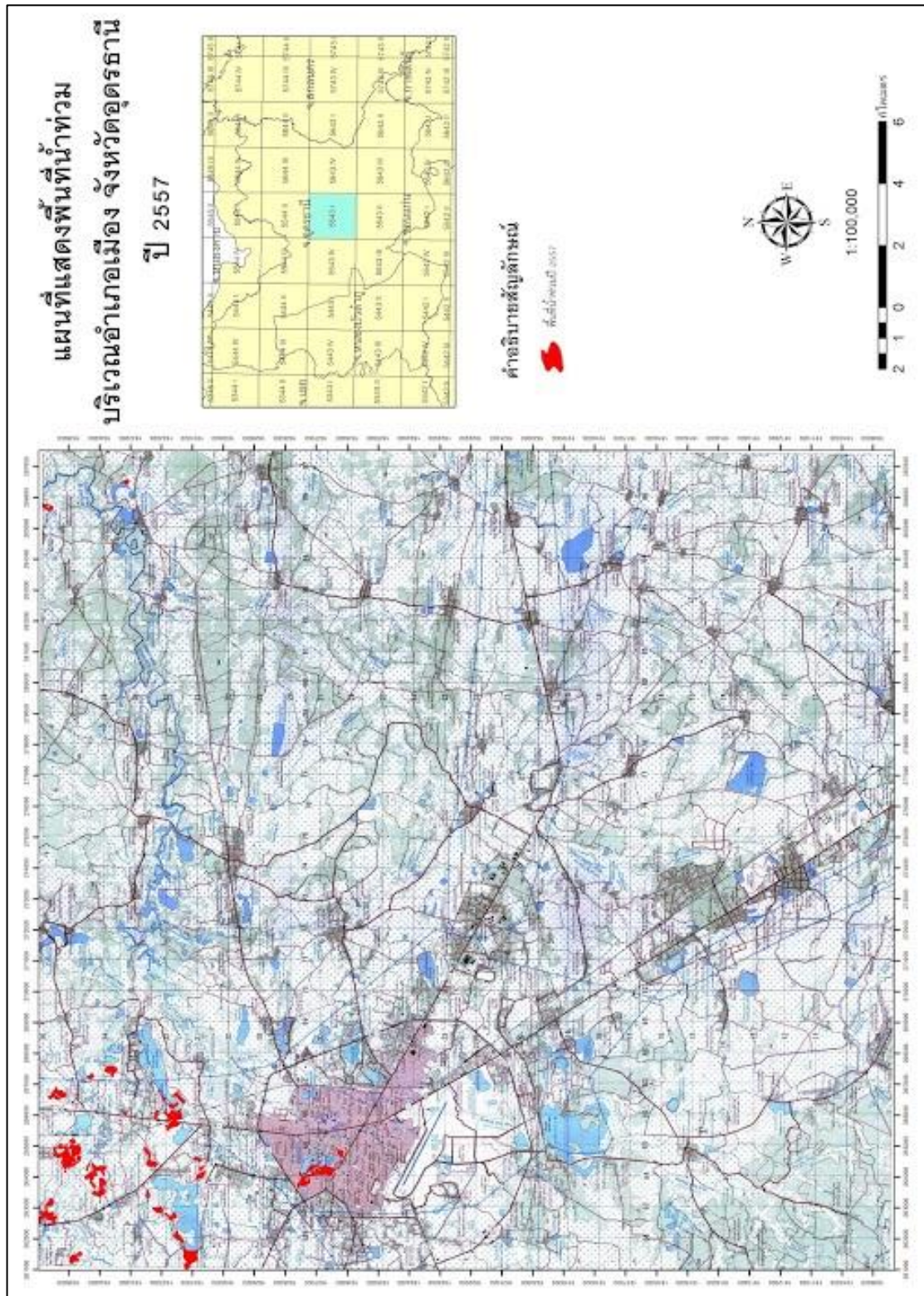
3) การพัฒนาเมืองและการขยายตัวของชุมชน ทั้งที่เป็นสิ่งก่อสร้างของภาครัฐและเอกชน กีดขวางการไหลทางน้ำตามธรรมชาติ เมื่อน้ำระบายได้ช้าจึงทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นและท่วมขังเป็นเวลานาน ถึงแม้จะมีฝนจะตกลงมาเพียงเล็กน้อย

- สาเหตุที่มาของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานีในปัจจุบัน

สภาพน้ำท่วมในปัจจุบัน ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี ตั้งแต่ปี 2544 ที่ได้เริ่มดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี โดยมีการขุดคลองระบายน้ำเพื่อผันน้ำไม่ให้เข้าสู่พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ยังไม่พบปัญหาน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานีเหมือนในอดีตที่ผ่านมา

พื้นที่น้ำท่วมขังในจังหวัดอุดรธานี บริเวณเขตเทศบาลนครอุดรธานี และพื้นที่ข้างเคียง พบว่า พื้นที่น้ำท่วมขังส่วนใหญ่เป็นบริเวณพื้นที่ราบต่ำ และพื้นที่ลุ่มการเกษตร บริเวณริมแม่น้ำสายหลักและลำน้ำย่อย โดยในพื้นที่เขตเทศบาลนครอุดรธานี จะมีน้ำท่วมขังบริเวณที่ตำรอบหนองประจักษ์ และพื้นที่ข้างเคียงของอำเภอเมืองอุดรธานี มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภาวะน้ำท่วม 257 ไร่ บ้านเรือนถูกน้ำท่วม 6 หลังคาเรือน ดังแสดงในรูปที่ ข.5-1

สาเหตุของน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานีจึงเป็นปัญหาน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ของเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งระบายน้ำลงท่อระบายน้ำไม่ทัน สาเหตุหลักเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ และการถมที่เพื่อก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร จึงกีดขวางทางน้ำที่ไหลลงทางระบายน้ำ และมีน้ำบางส่วนจากลำห้วยหมากแข้ง ซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่มีปริมาณน้ำมาก และมีเส้นทางไหลผ่านตัวเทศบาลนครอุดรธานี และห้วยริน ซึ่งเป็นลำน้ำที่มีปริมาณน้ำทำให้เกิดน้ำท่วมใน ปี2544 ยังไม่ได้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ซึ่งกรมชลประทานได้วางแผนก่อสร้างไว้ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยริน อ่างเก็บน้ำห้วยเชียงอินทร์ อ่างเก็บน้ำห้วยก้อนพิลา และอ่างเก็บน้ำห้วยโดนช้าง สำหรับพื้นที่ข้างเคียงสาเหตุจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นที่ต่ำ และระดับน้ำในลำน้ำห้วยหลวงมีระดับสูง ซึ่งไม่สามารถระบายน้ำลงแม่น้ำโขงได้ จึงเกิดการเอ่อล้นกลับไปที่ลุ่มต่ำบริเวณลำน้ำได้



รูปที่ ข.5-1 แผนที่บริเวณน้ำท่วมเขตเทศบาลนครอุดรธานี และพื้นที่ข้างเคียง

ข.6 การดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมของจังหวัดอุดรธานี

คณะกรรมการแก้ไขปัญหามลพิษจังหวัดอุดรธานี (2544) ได้กำหนดแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษจังหวัดอุดรธานี ดังแสดงในรูปที่ ข.6-1 โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1) การควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเขตเทศบาลนครอุดรธานี

(1) การควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลจากลุ่มน้ำห้วยหมาก และลุ่มน้ำห้วยริน ไม่ให้เข้าเขตเทศบาลนครอุดรธานี และสามารถควบคุมได้ โดยการปรับปรุงระบบระบายน้ำ ซึ่งเดิมไม่มีประตูระบายน้ำตามจุดต่างๆ ที่น้ำไหลผ่านเข้าเมือง

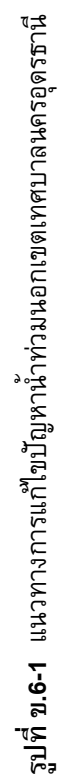
(2) ปรับปรุงช่องทางการไหลของน้ำทั้งหมด จากเดิมที่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ ให้น้ำสามารถไหลได้อย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยการก่อสร้างและปรับปรุงสะพาน ท่อลอด ท่อเหลี่ยม และอื่นๆ เช่น บริเวณสี่แยกถนนเลียงเมืองไปจังหวัดขอนแก่น (สี่แยกขอนแก่น) จากเดิมมีท่อเหลี่ยมลอดถนน ก่อสร้างใหม่ให้เป็นสะพาน และบริเวณสี่แยกถนนเลียงเมืองไปจังหวัดสกลนคร (สี่แยกวิทยาลัยสันตพล) จากเดิมมีท่อเหลี่ยมลอดถนน ก่อสร้างใหม่ให้เป็นสะพาน

(3) ก่อสร้างและปรับปรุงระบบผันน้ำพร้อมอาคารประกอบ ด้านทิศตะวันออกของตัวเมือง ก่อสร้างและปรับปรุงคลองระบายน้ำพร้อมอาคารประกอบ เพื่อรองรับน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำบ้านจั่น ให้ไหลขนานไปกับถนนเลียงเมืองลงสู่ลำห้วยมั่ง

(4) ด้านทิศตะวันตกของเมืองผันน้ำอ้อมเมืองไม่ให้เข้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี บริเวณสามแยกถนนเลียงเมืองไปจังหวัดหนองบัวลำภู (สามแยกบ้านดอนอีไช) ก่อสร้างและขุดคลองระบายน้ำพร้อมอาคารประกอบ เพื่อผันน้ำส่วนเกินจากลุ่มน้ำห้วยรินลงสู่ห้วยดาน จากห้วยดานลงสู่อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และจากอ่างเก็บน้ำหนองสำโรงลงสู่ห้วยหลวงต่อไป

2) การระบายน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

เมื่อมีการควบคุมปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำห้วยหมากแข้ง และลุ่มน้ำห้วยริน หรือน้ำป่าไม่ให้ไหลผ่านเข้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี และผันน้ำส่วนเกินเหล่านี้ออกจากเมืองแล้ว ภายในตัวเมืองจะมีการระบายน้ำเฉพาะน้ำฝน และน้ำที่ใช้ในพื้นที่เขตเมืองเท่านั้น โดยการขุดลอกห้วยต่างๆ ที่ไหลผ่านตัวเมือง ปรับปรุงสิ่งกีดขวางทางน้ำ และก่อสร้าง หรือปรับปรุงระบบระบายน้ำให้สามารถระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนก่อสร้างสถานีสูบน้ำถาวรบริเวณปากห้วยหมากแข้ง เพื่อสูบน้ำออกจากตัวเมืองได้ในกรณีที่น้ำในลำห้วยหลวงเอ่อล้นตลิ่ง และหนุนเข้าตามลำห้วยสาขาต่างๆ ได้ดำเนินการขุดลอกห้วยริน ห้วยหมากแข้ง ห้วยมั่ง และห้วยสาขา ปรับปรุงสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำในห้วยหมากแข้ง และห้วยมั่ง ปรับปรุงระบบระบายน้ำภายในตัวเมือง และก่อสร้างสถานีสูบน้ำถาวรในเขตเทศบาลนครอุดรธานี รวม 12 แห่ง ดังรูปที่ ข.6-2 ซึ่งแสดงที่ตั้งสถานีสูบน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี และตารางที่ ข.6-1 แสดงสถานีสูบน้ำป้องกันน้ำท่วมภายในเขตเทศบาลนครอุดรธานี





รูปที่ ข.6-2 ที่ตั้งสถานีสูบน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

ตารางที่ ข.6-1 สถานีสูบน้ำป้องกันน้ำท่วมภายในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

ลำดับ	ชื่อสถานีสูบน้ำ	อัตราการสูบน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
1	สถานีสูบน้ำวัดโพธิสมภรณ์ (โพศรี 1)	4
2	สถานีสูบน้ำหน้าสำนักงานจัดหางานอุดรธานี (โพศรี 3)	4
3	สถานีสูบน้ำถาวรท้ายห้วยหมากแข้ง	12
4	สถานีสูบน้ำท้ายคลองขนานทางรถไฟ	2
5	สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยมั่ง	4
6	สถานีสูบน้ำหน้าสำนักงานประปาเขต 7	2
7	สถานีสูบน้ำวัดโยธานิมิตร	2
8	สถานีสูบน้ำตลาดหนองบัว	2
9	สถานีสูบน้ำวังมัจฉาหนองบัว	2
10	สถานีสูบน้ำซอยอดุลยเดช 5	2
11	สถานีสูบน้ำซอยพรหมประกาย	2
12	สถานีสูบน้ำซอยโยธาวิจิตร	1
	รวม	39

ที่มา : ส่วนงานสุขาภิบาล สำนักการช่าง เทศบาลนครอุดรธานี ปี พ.ศ.2557

ข.7 แนวทางและแผนงานการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

แนวทางในการแก้ไขและป้องกันน้ำท่วมขังในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ที่เกิดจากสาเหตุที่มาจาก การระบายน้ำที่เกิดจากน้ำฝน ได้กำหนดแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหาน้ำท่วมขังไว้ เป็น 3 แนวทาง ดังนี้

1. การคาดการณ์เหตุการณ์ที่มีผลทำให้เกิดน้ำท่วมและการเตือนภัย ได้แก่ ปริมาณฝนที่ตก ในพื้นที่ลุ่มน้ำ และปริมาณน้ำท่าในลำน้ำที่มีผลกระทบต่อน้ำท่วมในพื้นที่โครงการ เพื่อสามารถแจ้ง เตือนภัย และบริหารจัดการเครื่องมือที่มีอยู่ของจังหวัด หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างทันถ่วงที ซึ่งการ คาดการณ์จะต้องมีอุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จะเก็บรวบรวมสถิติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นให้เพียงพอ ดังนั้นจึง ต้องมีการบูรณาการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจัดทำสถิติรวมของจังหวัดให้เป็นข้อมูลที่มีมาตรฐาน เดียวกัน

2. การป้องกันพื้นที่ที่มีผลกระทบ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทศบาลนครอุดรธานี องค์การ บริหารส่วนจังหวัด และชลประทานจังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและแก้ไข ปัญหาน้ำท่วมขังโดยตรงในเขตพื้นที่เมืองอุดรธานี ได้มีการจัดทำแผนงานในการป้องกันไว้ตามที่ ตารางที่ ข. 7-1 ถึง ตารางที่ ข.7-3 ประกอบด้วย

- การขุดลอกคลองระบายน้ำและแหล่งน้ำต่าง ๆ เพื่อให้บริเวณพื้นที่ที่เคยมีน้ำท่วมขัง สามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ให้เร็วขึ้น
- ปรับปรุงท่อระบายน้ำในเขตเทศบาลนครอุดรธานี มีแผนปรับปรุง และขยายขนาดของ ท่อระบายน้ำ เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้มาก และรวดเร็วยิ่งขึ้น
- ก่อสร้างอาคารควบคุมระบายน้ำ ในลำน้ำสายหลัก เพื่อควบคุมน้ำที่ไหลย้อนกลับเข้าสู่ พื้นที่ได้ พร้อมทั้งติดตั้งสถานีสูบน้ำเพิ่มเติมที่อาคารควบคุมด้วย เช่น บริเวณท้ายน้ำของลำน้ำห้วยหลวง เป็น ต้น

3. การบริหารจัดการ และบังคับใช้มาตรการที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพ การบริหาร จัดการ และมาตรการต่าง ๆ ดังนี้

- จัดให้มีการบูรณาการร่วมระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ โดยวางแผนการบริหารจัดการ อ่างเก็บน้ำ ประตูประบายน้ำ และสถานีสูบน้ำต่าง ๆ ของทุกหน่วยงานให้สอดคล้องกัน
- ใช้มาตรการผังเมืองอย่างเคร่งครัด เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาอย่างเป็นระบบวางแผนการ ระบายน้ำให้สามารถใช้งานได้ในอนาคตอย่างยั่งยืน และลดการกีดขวางทางน้ำไหลของสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ รวมทั้งข้อกำหนดในการถมที่ดินในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ตามเทศบัญญัติด้วย
- เสนอแนะให้มีการบังคับใช้ เป็นเทศบัญญัติในการควบคุมสำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากทางภาครัฐได้มีการลงทุนในการก่อสร้างระบบระบายน้ำต่าง ๆ ไว้รวมทั้งคาดการณ์ใน อนาคตจากการระบายน้ำออกจากพื้นที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนไปจากที่ได้ลงทุน ไว้จะทำให้การระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินเปลี่ยนไป ต้องมีการปรับปรุงและเสีย งบประมาณจำนวนมากอีก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากที่ได้วางแผนไว้ควรจะต้องหา

แนวทางบังคับให้การระบายน้ำลงสู่ทางน้ำสาธารณะเท่ากับการระบายน้ำเดิมของพื้นที่นั้นๆ ไหลลงสู่ทางน้ำสาธารณะจึงจะสามารถลดผลกระทบของน้ำท่วมขังโดยรวมได้ ยกตัวอย่างเช่น ที่ดินที่เป็นที่รกร้างว่างเปล่าจะนำมาพัฒนาเป็นหมู่บ้านจัดสรร การระบายน้ำลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ใช้สอยลักษณะต่างๆ (C) ตามตารางที่ ข.7-4 สำหรับที่รกร้างมีค่าเท่ากับ 0.1-0.3 เมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหมู่บ้านจัดสรรค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองจะเปลี่ยนไปเป็น 0.6-0.75 ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 6 เท่า ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะเพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงมีผลกระทบในเกิดน้ำท่วมขังบนผิวจราจร และกระทบไปในบ้านเรือนที่ต่ำกว่า รวมไปถึงพื้นที่ใช้สอยเดิมที่มีระดับต่ำกว่า

ตารางที่ ข.7-1 แผนงานและงบประมาณประจำปี 2557 โครงการชลประทานจังหวัดอุดรธานี

ที่	แผนงาน / โครงการ	สถานที่			งบประมาณ
		ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	(บาท)
แผนงาน ปี พ.ศ.2557					
ผลผลิต : การจัดการน้ำชลประทาน					2,700,000.00
ค่าปรับปรุงแหล่งน้ำ					1,500,000.00
	1. ปรับปรุงระบบส่งน้ำอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ โครงการชลประทานอุดรธานี	บ้านยา	หนองหาน	อุดรธานี	1,500,000.00
ค่าก่อสร้างอื่นๆ					1,200,000.00
	1. โรงจ่อครกขนาด 24 คัน โครงการชลประทานอุดรธานี	หมากแข้ง	เมือง	อุดรธานี	1,200,000.00
ผลผลิต : การจัดหาแหล่งน้ำและเพิ่มพื้นที่ชลประทาน					25,000,000.00
	ค่าก่อสร้างแหล่งน้ำ				25,000,000.00
	1. สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านสามเหลี่ยม	นาซำ	นาซำ	อุดรธานี	25,000,000.00
ผลผลิต : การป้องกันและบรรเทาภัยจากน้ำ					40,000,000.00
1	ค่าก่อสร้างอื่นๆ				40,000,000.00
	1. ระบบระบายน้ำลุ่มน้ำห้วยหลวง (ตอนกลาง) พร้อมอาคารประกอบ	หมอนุ่น	เมือง	อุดรธานี	40,000,000.00

ที่มา : ฝ่ายวิศวกรรม โครงการชลประทานอุดรธานี

ตารางที่ ข.7-2 แผนพัฒนาเทศบาลสามปี เทศบาลนครอุดรธานี (พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2560)

บัญชีสรุปโครงการพัฒนา
แผนพัฒนาเทศบาลสามปี เทศบาลนครอุดรธานี
(พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2560)

ยุทธศาสตร์การพัฒนา	2558		2559		2560		รวม 3 ปี	
	จำนวนโครงการ	งบประมาณ (บาท)	จำนวนโครงการ	งบประมาณ (บาท)	จำนวนโครงการ	งบประมาณ (บาท)	จำนวนโครงการ	งบประมาณ (บาท)
2. ยุทธศาสตร์ การผังเมือง การใช้ที่ดินและการจัดการสิ่งแวดล้อม								
2.1 แนวทางการพัฒนา : เพื่อประสิทธิภาพการระบายน้ำ และการป้องกันปัญหาน้ำท่วม	5	619,606,695	3	107,383,500	3	80,912,700	11	807,902,895
2.2 แนวทางการพัฒนา : เพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย การรวบรวมน้ำเสีย และการแก้ไขปัญหามลพิษ	6	3,930,000	5	3,130,000	5	3,130,000	16	10,190,000
2.3 แนวทางการพัฒนา : กำหนดคณะกรรมการผังเมืองในการใช้ประโยชน์ที่ดิน วางแผนและจัดทำผังเมืองเพื่อใช้ประกอบการพัฒนาเมือง	1	5,000,000	1	5,000,000	1	5,000,000	3	15,000,000
2.4 แนวทางการพัฒนา : อนุรักษ์และพัฒนาสภาพภูมิทัศน์เมือง และพื้นที่ย่านอาคารพาณิชย์และร้านค้าปลีก	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5 แนวทางการพัฒนา : พัฒนาระบบสุขภาพจิตผู้สูงอายุ และแหล่งธรรมชาติ	-	-	-	-	-	-	-	-
2.6 แนวทางการพัฒนา : จัดมลพิษทางอากาศ เสียง และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสิ่งปฏิกูลและขยะมูลฝอย	2	1,671,508,750	1	134,968,200	1	109,546,200	4	1,916,023,150
2.7 แนวทางการพัฒนา : เพิ่มพื้นที่สีเขียว สวนสาธารณะ สถานที่โล่งว่าง (Open Space) และพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่า เพื่อการพัฒนาพื้นที่สีเขียว	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8 แนวทางการพัฒนา : สร้างจิตสำนึกการใช้ทรัพยากร และส่งเสริมความเข้มแข็งของประชาชนในการจัดการสิ่งแวดล้อม	7	5,700,000	7	5,700,000	7	5,700,000	21	17,100,000
รวม	21	2,305,745,445	17	256,161,700	17	204,268,900	55	2,766,216,045

ที่มา : เทศบาลนครอุดรธานี

[illegible][illegible]

၂-26

[illegible]

ที่	โครงการ/กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เป้าหมาย (ผลผลิตของโครงการ)	งบประมาณที่มา			ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
				ปี 2556 (บาท)	ปี 2557 (บาท)	ปี 2558 (บาท)		
3	ก่อสร้างวางระบบน้ำภายในหมู่บ้าน หมู่ที่ 9บ้านโนนโพธิ์ศรี อ.หนองหาน	ประชาชนมีระบบสาธารณสุขโลก ที่สะดวกและทั่วถึง	ขนาดกว้าง 0.40 เมตร ยาว 500 เมตร	1,200,000	1,200,000	1,200,000	ประชาชนมีระบบสาธารณสุขโลกที่สะดวกเป็นการระบายน้ำและป้องกันน้ำท่วมขังถนนภายในหมู่บ้าน	กองช่าง
รวม				9,090,000	9,090,000	9,090,000		

๒-27

[illegible][illegible]

๒-28

[illegible]

ที่	โครงการ/กิจกรรม	วัตถุประสงค์	เป้าหมาย	งบประมาณและที่มา			ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงาน ที่รับผิดชอบ
			(ผลผลิตของโครงการ)	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558		
				(บาท)	(บาท)	(บาท)		
	อ.ศรีธาตุ							
1	ขุดลอกบึงช้อ บ้านห้วยวังปลา หมู่ 5 อ.ศรีธาตุ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี	1.เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่และใกล้เคียงมีแหล่งน้ำไว้ใช้สำหรับอุปโภคบริโภคและมีระบบสาธารณสุขปลอดภัยขึ้น	กว้าง 250 เมตร ยาว 250 เมตร	5,000,000	5,000,000	5,000,000	1.เพื่อพัฒนาแหล่งน้ำที่ดินเงินให้สามารถกักเก็บน้ำได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น 2.เพื่อให้พื้นที่การเกษตรมีน้ำใช้ตลอดปี	กองช่าง
2	ขุดลอกหนองปลาออก ค้างคาวศรีธาตุ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี	2.เพื่อเป็นแหล่งเก็บกักน้ำและป้องกันภัยแล้งในฤดูร้อนและป้องกันน้ำท่วมในฤดูฝน	กว้าง 8 เมตร ลึก 6 เมตร ยาว 700 เมตร	1,000,000	1,000,000	1,000,000		
	รวม			14,100,000	14,100,000	14,100,000		

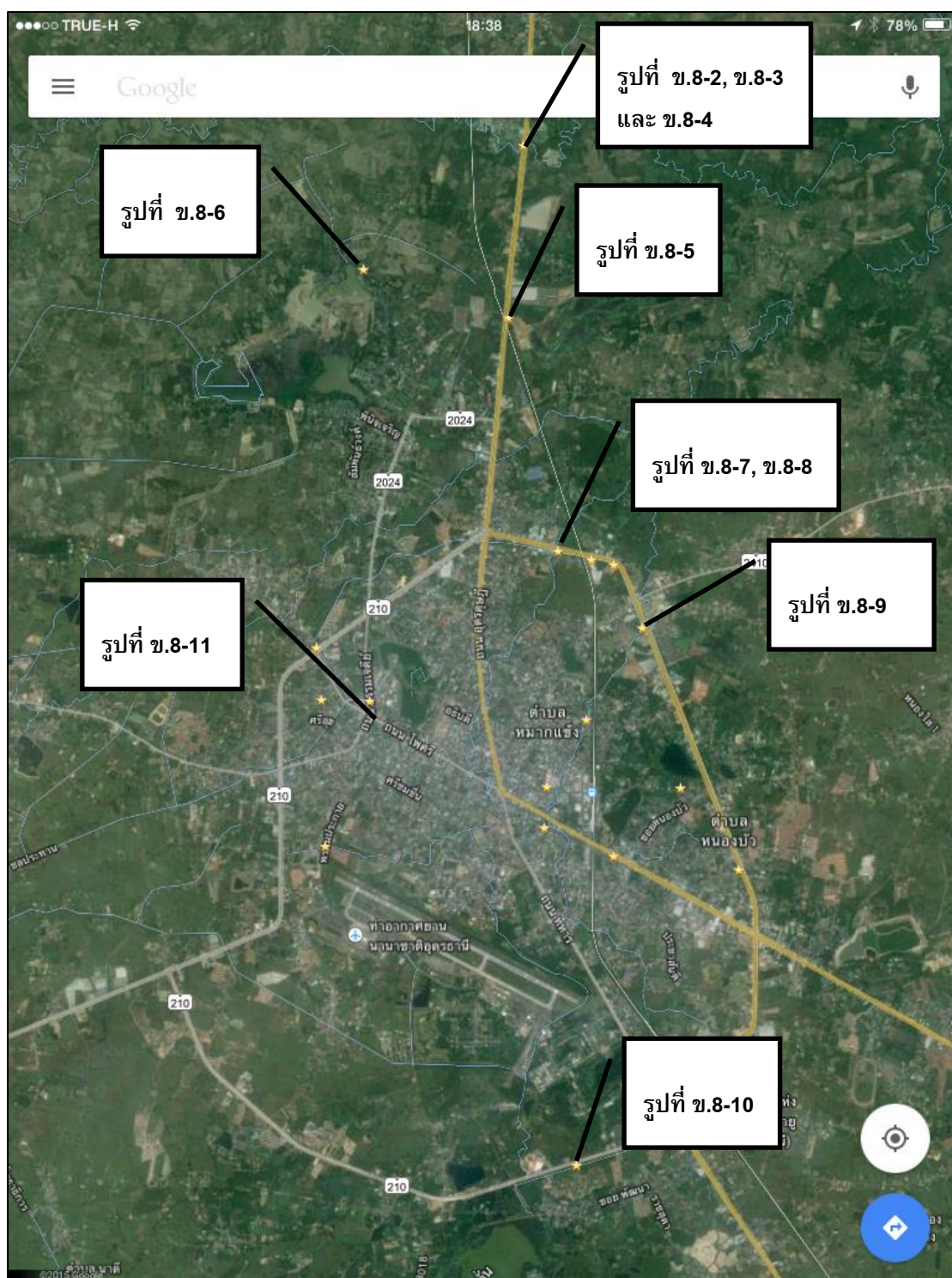
๒-29

ตารางที่ ข.7-4 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ใช้สอยลักษณะต่างๆ (C)

ลักษณะการใช้พื้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)
1. เขตธุรกิจ	
- หนาแน่น	0.70 – 0.95
- รอบๆ บริเวณเขตธุรกิจ	0.70 – 0.85
2. เขตที่พักอาศัย	
- ครอบครัวเดี่ยว	0.30 – 0.50
- หลายครอบครัว, แยกกัน	0.40 – 0.60
- หลายครอบครัว, ติดกัน	0.60 – 0.75
3. เขตที่พักอาศัย (ชานเมือง)	0.25 – 0.40
4. เขตอพาร์ทเมนต์	0.50 – 0.70
5. เขตอุตสาหกรรม	
- เบา	0.50 – 0.80
- หนัก	0.60 – 0.90
6. สวนสาธารณะ / สนามหญ้า	0.10 – 0.25
7. สวนเด็กเล่น	0.20 – 0.35
8. สถานีรถไฟชุมทาง	0.20 – 0.35
9. ที่รกร้าง / ที่ดินว่างเปล่า	0.10 – 0.30
10. ที่จอดรถคอนกรีตเสริมเหล็ก / สนามกีฬาผิวที่บ้น้ำ	0.85 – 0.95
11. ที่จอดรถลาดยาง / หินคลุก	0.70 – 0.85

ข.8 รูปถ่ายพื้นที่โครงการ

ในการสำรวจพื้นที่โครงการและรวบรวมข้อมูลพื้นที่ คณะผู้วิจัยได้เข้าสำรวจพื้นที่ ณ จุดสำคัญต่างๆ ตำแหน่งที่มีปัญหาการระบายน้ำและมีน้ำท่วมขัง ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ ข.8-1 Index รูปถ่ายโครงการ



สะพานข้ามห้วยหลวง ถนนมิตรภาพ กม. 125+581

- ลำน้ำมีความกว้างไม่มากนัก
- มีการรुक้ำลำน้ำ



ลำห้วยหลวงด้านเหนือ

- มีการรुक้ำลำน้ำ
- ขนาดลำน้ำแคบและเป็นพื้นที่ต่ำ



ลำห้วยหลวงด้านเหนือ

- มีการปรับแต่งลาดข้างคลอง
- มีการขุดลอกลำน้ำ

รูปที่ ข.8-2 ถนนมิตรภาพตัดลำห้วยหลวง เป็นพื้นที่ที่มีน้ำล้นตลิ่งเป็นประจำทุกปี



อาคารปลายคลองระบายน้ำอ่างเก็บน้ำหนองสำโรง

- ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ขนาด ความกว้าง 3 เมตร จำนวน 6 ช่อง



ด้านเหนือของอาคารระบายปลายคลอง

- ความกว้างของคลองประมาณ 30 เมตร



ลำห้วยหลวงด้านท้ายน้ำของอาคารปลายคลอง

- มีการปรับปรุงโดยเรียงหินใหม่
- ขนาดลำห้วยหลวงแคบมาก

รูปที่ ข.8-3 บริเวณอาคารปลายคลองระบายน้ำอ่างเก็บน้ำหนองสำโรง



ด้านท้ายน้ำลำห้วยหลวง สะพานข้ามห้วยหลวง-ถนนมิตรภาพ

- มีสภาพแคบ และตลิ่งชัน
- กำลังทำการขุดลอกคลอง



สถานีแจ้งเตือนภัยลุ่มน้ำโขง

- สถานีแจ้งเตือนภัย
- ติดตั้งอุปกรณ์วัดน้ำ



สถานีแจ้งเตือนภัยลุ่มน้ำโขง กรมทรัพยากรน้ำ

รูปที่ ข.8-4 สะพานข้ามลำห้วยหลวง – ถนนมิตรภาพ ด้านท้ายน้ำ



ทางเข้าลานแสดงสินค้าริมถนนมิตรภาพ หนองแด

- ลานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ปรับพื้นที่บริเวณหนองแด



ลานแสดงสินค้า (เดิม) สถานที่ก่อสร้างอาคารแสดงสินค้า

- ติดถนนมิตรภาพ และทางรถไฟผ่าน
- มีไฟฟ้าแรงสูงผ่าน



หนองแด

- เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ

รูปที่ ข.8-5 พื้นที่บริเวณหนองแด สถานที่ก่อสร้างอาคารแสดงสินค้าและศูนย์ประชุม



อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง



อาคารระบายน้ำหนองสำโรง



คลองระบายน้ำอ่างเก็บน้ำหนองสำโรงลงห้วยหลวง

รูปที่ ข.8-6 อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และอาคารประกอบ



สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)

- ประดูระบายน้ำปลายคลองพร้อมสถานีสูบน้ำ
- อัตราการสูบน้ำ 12 ลบ.ม./วินาที



สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)

- บั้ยชื่อโครงการ



สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)

- เครื่องสูบน้ำจำนวน 6 เครื่อง

รูปที่ ข.8-7 สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)



ลำห้วยหมากแข้งด้านเหนือของสถานีสูบน้ำ



คลองระบายขนานถนนฝั่งตะวันออกตัดลำห้วยหมากแข้ง



ประตูระบายน้ำปลายลำห้วยหมากแข้ง

- ขนาด 4x4 เมตร
- จำนวน 2 บาน

รูปที่ ข.8-8 สถานีสูบน้ำท้ายลำห้วยหมากแข้ง (P3)



สถานีสูบน้ำท้ายห้วยมั่ง (P5)



ด้านท้ายน้ำสถานีสูบน้ำท้ายห้วยมั่ง

- ระบายน้ำลงคลองระบายขนานถนน



ด้านเหนือน้ำสถานีสูบน้ำท้ายห้วยมั่ง

- ลำห้วยมั่ง

รูปที่ ข.8-9 สถานีสูบน้ำท้ายห้วยมั่ง (P5)



คลองระบายน้ำด้านใต้ของตัวเมือง

- บริเวณมหาวิทยาลัยราชธานี



คลองระบายน้ำด้านใต้ของตัวเมือง

- บริเวณหน้าหมู่บ้านธนาธร



สะพานหน้าหมู่บ้านธนาธร

- สะพานข้ามคลองระบาย

รูปที่ ข.8-10 คลองระบายน้ำด้านใต้ขนานถนนเลียงเมือง



สถานีสูบน้ำวัดโพธิสมภรณ์ (P1)

- สถานีสูบน้ำแบบ Submersible



ตู้ควบคุมเครื่องสูบน้ำฝั่งวัดโพธิสมภรณ์



ตู้ควบคุมเครื่องสูบน้ำฝั่งตรงข้ามวัดโพธิสมภรณ์

รูปที่ ข.8-11 สถานีสูบน้ำโพธิสมภรณ์ (P1)

ภาคผนวก ค การคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต

สารบัญ

1. วัตถุประสงค์ สมมติฐาน และขอบเขตการศึกษา	ค-1
1.1. วัตถุประสงค์	ค-1
1.2. สมมติฐาน และขอบเขตการศึกษา.....	ค-1
2. ข้อมูลและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา	ค-3
2.1. ข้อมูลที่ใช้และขอบเขตพื้นที่ศึกษา	ค-3
2.2. การประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วมในอดีต.....	ค-3
2.3. การทำนายการขยายตัวของเขตพื้นที่น้ำท่วมในอนาคต	ค-6
3. ผลการศึกษา.....	ค-9
3.1. แผนที่การประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วมในอดีต	ค-9
3.2. แผนที่การทำนายการขยายตัวของเขตพื้นที่น้ำท่วมในอนาคต.....	ค-10
4. สรุปผลการศึกษา ประเด็นปัญหาและอุปสรรค	ค-16
5. เอกสารอ้างอิง	ค-17

ค.1 วัตถุประสงค์ สมมติฐาน และขอบเขตการศึกษา

1.1 วัตถุประสงค์

การวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต มีเป้าหมายเพื่อให้ได้ข้อมูล และแผนที่การเปลี่ยนแปลงของสภาพชุมชนเมืองในอนาคต สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดินด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา

1.2 สมมติฐานและขอบเขตการศึกษา

การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองถือเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่ง ที่ทำให้สภาพแวดล้อมของพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการประเมินภาวะน้ำท่วมในเขตชุมชนของพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำลังเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการศึกษาในครั้งนี้ จึงจำเป็นต้องมีการทำนายการเติบโตของเมือง และ/หรือ การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาในอนาคต

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ต้องการจากการศึกษาในส่วนนี้ คือ ข้อมูลเชิงแผนที่ ซึ่งเป็นผลการทำนายสภาพพื้นผิวในอนาคต เพื่อนำไปใช้ประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองอุทกวิทยา แต่ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อการประเมินน้ำท่าผิวดินตามวิธีการ Soil Conservation Service (SCS) ในโปรแกรม HEC-HMS ที่ถูกเลือกใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลที่จำเป็นต้องการใช้เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้า คือ Runoff Curve Number (CN) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่แปรตามคุณสมบัติความทึบน้ำ (Imperviousness) ของพื้นผิว และชนิดของดิน (Hydrological Soil Group) ในพื้นที่ๆ ทำถูกประเมิน ดังแสดงในรูปที่ 1.2-1 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สำหรับพื้นผิวทึบน้ำอย่างสมบูรณ์ (Completely Impervious Surface) จะมีค่า CN = 100 สำหรับพื้นที่เขตชุมชนเมือง (Urban Area) จะมีค่า CN อยู่ระหว่าง 80-95 สำหรับพื้นที่มีพืชปกคลุม (Vegetated Surface) จะมีค่า CN อยู่ระหว่าง 50-60 และจะมีค่าประมาณ 50 หรือน้อยกว่า ในเขตพื้นที่ป่า (Carlson,

2004) แต่ในการกำหนดค่า CN ให้กับพื้นที่แต่ละประเภทในสภาพความเป็นจริง ไม่ได้มีเพียงพื้นผิวนิดเดียวกับประเภทพื้นผิวที่มีการระบุไว้ในคู่มือเสมอไป การใช้ค่าแนะนำที่สามารถอ้างอิงได้ตามที่แสดงในรูปที่ 1.2-1 ยังคงต้องอาศัยประสบการณ์ร่วมกับความชำนาญของผู้กำหนดค่าอีกด้วย ซึ่งอาจส่งผลต่อความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากแบบจำลองอุทกวิทยาอีกด้วย

Runoff curve numbers for selected agricultural, suburban, and urban land uses (antecedent moisture condition II, $I_a = 0.2S$)				
Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land ¹ : without conservation treatment	72	81	88	91
with conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition	68	79	86	89
good condition	39	61	74	80
Meadow: good condition	30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch	45	66	77	83
good cover ²	25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.				
good condition: grass cover on 75% or more of the area	39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area	49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Residential ³ :				
Average lot size Average % impervious ⁴				
1/8 acre or less 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. ⁵	98	98	98	98
Streets and roads:				
paved with curbs and storm sewers ⁵	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89

¹For a more detailed description of agricultural land use curve numbers, refer to Soil Conservation Service, 1972, Chap. 9

²Good cover is protected from grazing and litter and brush cover soil.

³Curve numbers are computed assuming the runoff from the house and driveway is directed towards the street with a minimum of roof water directed to lawns where additional infiltration could occur.

⁴The remaining pervious areas (lawn) are considered to be in good pasture condition for these curve numbers.

⁵In some warmer climates of the country a curve number of 95 may be used.

รูปที่ 1.2-1 ค่า Runoff Curve Number

ที่มา: Chow *et al.* (1988)

จากการศึกษาของ Hebble *et al.* (2001) ส่วนของการประเมินพารามิเตอร์ที่แสดงระดับความทึบน้ำของพื้นผิวนั้น พบว่า ค่าพารามิเตอร์แสดงระดับความทึบน้ำที่ถูกกำหนดขึ้นโดย SCS สามารถถูกประเมินได้จากการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล (Remote Sensing Technique) ตามวิธีการที่เสนอโดย Carlson and Arthur (2000) ได้ และนอกจากนี้ Carlson (2004) ก็ยังได้ทดลองประยุกต์ใช้การประเมินค่าความทึบน้ำวิธีการดังกล่าว ร่วมกับการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่าผิวดินที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ คณะวิจัยจึงมุ่งเป้าไปที่การวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับความทึบน้ำของพื้นที่ศึกษาโดยตรง แทนการคาดการณ์การขยายขอบเขตของเมืองที่มุ่งหวังไว้ในครั้งแรก เพื่อที่จะสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองอุทกวิทยาได้อย่างสะดวกมากขึ้น

2. ข้อมูลและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ข้อมูลที่ใช้และขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5-TM ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบและเผยแพร่อย่างไม่มีค่าใช้จ่ายโดย The United States Geological Survey (USGS) ทาง <http://earthexplorer.usgs.gov/> ซึ่งหลักเกณฑ์ (Criteria) เบื้องต้น ที่ทีมวิจัยเลือกใช้เพื่อทำการคัดเลือกภาพถ่ายในอดีต แสดงไว้ในตารางที่ 2.1-1

นอกจากนี้ ภาพถ่ายที่ผ่านการคัดเลือกโดยหลักเกณฑ์เบื้องต้นนั้น จะถูกคัดกรองอีกชั้นหนึ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นชุดภาพถ่ายหลายช่วงเวลา (Time Series) เพื่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวน้ำในงานส่วนต่อไป โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดกรองครั้งนี้ คือ การพยายามคัดเลือกให้ได้ชุดภาพถ่ายที่มีจำนวนภาพมากที่สุด โดยแต่ละภาพต้องได้มาในช่วงระยะเวลาที่ใกล้เคียงกันในปีนั้นๆ เพื่อลดผลกระทบของสภาพพื้นดินที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของปี (โดยเฉพาะพื้นที่ที่ถูกใช้ทำการเกษตร) ซึ่งรายชื่อภาพถ่ายที่ผ่านการคัดเลือก จนประกอบเป็นชุดภาพถ่ายที่จะใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.1-2 และตัวอย่างของภาพที่ถูกคัดเลือกแสดงไว้ในรูปที่ 2.1-1

ตารางที่ 2.1-1 หลักเกณฑ์เบื้องต้นที่ใช้ในการคัดเลือกภาพถ่ายดาวเทียม

หลักเกณฑ์ (Criteria)	รายละเอียด	หมายเหตุ
WRS2 Path/Row	128 / 48	เป็นการระบุเฟรมของภาพถ่ายที่ปรากฏเห็นอำเภอเมืองอุดรธานี
Date Range	Jun - Nov	เลือกเฉพาะภาพที่ถ่ายในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ในอดีต (สค.-กย.)
Dataset	Landsat Archive / L 4-5 TM	
Cloud Cover	Less than 20%	

ตารางที่ 2.1-2 รายชื่อภาพถ่ายในชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM ที่ใช้ในการศึกษา

ชื่อภาพถ่าย	วันที่ถ่ายภาพ	ร้อยละของเมฆที่ปกคลุม	คุณภาพของภาพถ่าย*
LT51280481995294CLT00	21 ตุลาคม พ.ศ.2538 (ค.ศ.1995)	5%	9
LT51280482006292BKT00	19 ตุลาคม พ.ศ.2549 (ค.ศ.2006)	10%	7
LT51280482009300BKT00	27 ตุลาคม พ.ศ.2552 (ค.ศ.2009)	5%	7
LT51280482011306BKT00	2 พฤศจิกายน พ.ศ.2554 (ค.ศ.2011)	0%	7

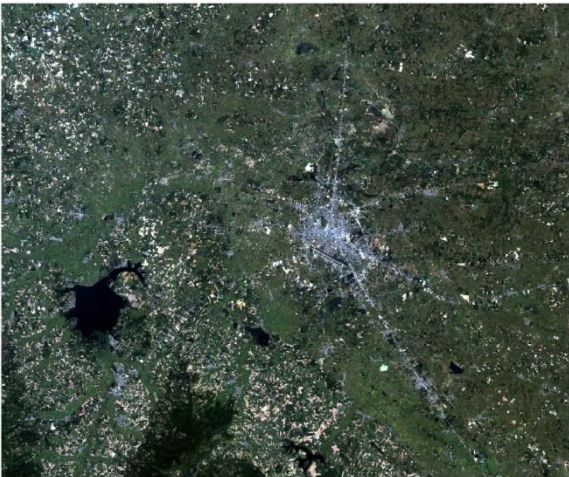
หมายเหตุ *คุณภาพของภาพถ่าย ที่ระบุโดย USGS: 9 = ดีที่สุด, 0 = แย่ที่สุด



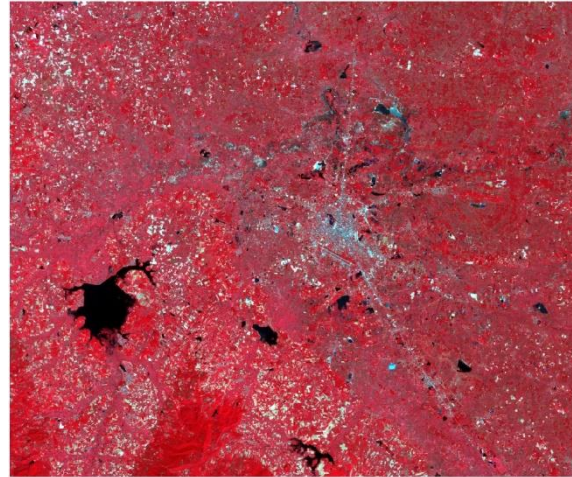
(ก) 21 ต.ค. 2538 (RGB: 321)



(ข) 21 ต.ค. 2538 (RGB: 432)



(ค) 2 พ.ย. 2554 (RGB: 321)



(ง) 2 พ.ย. 2554 (RGB: 432)

รูปที่ 2.1-1 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM

นอกจากนี้ ก่อนที่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ไปวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่น้ำในขั้นต่อไป แต่ละภาพซึ่งประกอบไปด้วยภาพย่อยๆ ที่แสดงค่าตรวจวัดค่าการสะท้อนของ 7 ช่วงคลื่น (Wave Band or Spectral Band) ของแต่ละ Pixel ในรูปแบบของ 8-bit digital number จะถูกปรับแก้ แปลงค่าที่ตรวจวัดได้ให้อยู่ในรูปของ Top of Atmosphere (TOA) Reflectance ตามวิธีการของ Chander *et al.* (2009) เพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากวันเวลาทำการตรวจวัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การแปลงค่าดังกล่าวไม่นับรวมถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่ 6 ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วง Thermal Infrared

สำหรับข้อมูลขอบเขตของพื้นที่ศึกษา และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมได้จากหน่วยงานราชการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เทศบาลนครเมืองอุดรธานี สำนักผังเมืองรวมและผังเมืองเฉพาะ กรมโยธาธิการและผังเมือง กรมชลประทาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลต่างๆ ได้ถูกนำมารวบรวมและแก้ไขเพิ่มเติม (ถ้าจำเป็น) เพื่อจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ บนมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด ซึ่งระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่ใช้ในศึกษาครั้งนี้ คือ ระบบพิกัด WGS 1984 UTM Zone 48 N ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี

2.2 การประเมินเขตพื้นที่ผิวทึบน้ำในอดีต

ในการศึกษาครั้งนี้ การประเมินหาค่าระดับความทึบน้ำของพื้นผิว (Imperviousness) อาศัยหลักการการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) ซึ่งได้ให้นิยามของ ค่าดัชนีพื้นผิวทึบน้ำ (Impervious Surface Area, ISA) ว่าเป็น สัดส่วน (Fraction) ของ Pixel ที่พื้นผิวใน Pixel นั้นไม่มีการระเหย (Evaporate) ของน้ำ และการซึมลง (Penetrate) ของน้ำฝน

“Impervious surface area (ISA) constitutes the fraction of a pixel for which the surface can neither evaporate water nor permit rainwater to penetrate.”

นอกจากนี้วิธีการนี้ยังอยู่ภายใต้สมมติฐานที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ว่า สัดส่วนของพื้นผิวทึบน้ำมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการปกคลุมของพืช (Ridd, 1995) ดังนั้นการประเมินค่า ISA ในพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) หรือพื้นที่ที่ถูกพัฒนา (Developed Area) แล้ว สามารถประมาณหาได้ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 (Carlson and Arthur, 2000)

$$ISA = 1 - Fr \quad (1)$$

โดยที่ ISA = ดัชนีพื้นผิวทึบน้ำ (Impervious Surface Area) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 \leq ISA \leq 1$
Fr = สัดส่วนพืชปกคลุม (Fraction of Vegetation Cover) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 \leq Fr \leq 1$ และสามารถประมาณหาได้จากสมการที่ 2 (Carlson and Ripley, 1997)

$$Fr = (N^*)^2 \quad (2)$$

N^* = ค่าดัชนี NDVI ที่ได้รับการปรับสเกล (Scaled NDVI) ซึ่งสามารถประมาณหาได้จากสมการที่ 3 (Carlson and Ripley, 1997)

$$N^* = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (3)$$

NDVI = ค่าดัชนี Normalized Difference Vegetation Index ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า TOA Reflectance ของคลื่นแสงสีแดง (RED หรือ LANDSAT 5-TM Band 3) และย่านใกล้อินฟราเรด (NIR หรือ LANDSAT 5-TM Band 4) ตามสมการที่ 4

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

$NDVI_{\max}$ = ค่าดัชนี NDVI สำหรับพื้นผิวที่มีพืชปกคลุมเต็มที่ (Fully Covered Vegetation) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.8 (Gillies et al., 2003)

$$NDVI_{min} = \text{ค่าดัชนี NDVI สำหรับพื้นผิวดินว่าง (Bare Soil) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 (Gillies et al., 2003)}$$

นอกจากนี้ ก่อนที่จะมีการประยุกต์ใช้ชุดสมการข้างต้นเพื่อประเมินค่า ISA ในแต่ละ Pixel จำเป็นต้องมีการคัดกรอง Pixel ที่เป็นพื้นผิวน้ำออกก่อน ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) ที่เสนอโดย Xu (2006) ตามวิธีการคำนวณในสมการที่ 5 โดยจะทำการคัดกรองหรือจำแนก Pixel ใดๆ ว่า Pixel นั้นเป็นพื้นน้ำก็ต่อเมื่อ $MNDWI > 0$ หรือ Pixel นั้นเป็นพื้นแผ่นดินเมื่อ $MNDWI \leq 0$

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (5)$$

โดยที่ $GREEN$ = ค่า TOA Reflectance ของคลื่นแสงช่วงสีเขียว ซึ่งตรงกับ LANDSAT 5-TM Band 3
 $SWIR$ = ค่า TOA Reflectance ของคลื่นแสงอินฟราเรดช่วงสั้น (Short Wave Infrared) ซึ่งตรงกับ LANDSAT 5-TM Band 5

2.3 การทำนายการขยายตัวของพื้นที่น้ำในอนาคต

ในการทำนายเขตพื้นที่น้ำในอนาคตของการศึกษาในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกทำการทำนายโดยการประยุกต์ใช้สมการถดถอย (Regression) ที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลในอดีต เพื่อทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี เมื่อทราบค่า ISA ของพื้นที่ใดๆ โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าวได้มาจากค่า ISA ที่ประเมินได้ (ตามวิธีในหัวข้อ 2.2) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า ISA รายปีจากการเทียบผลการประเมินค่า ISA ในหลายช่วงเวลาที่ทำการศึกษา แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของระยะห่างระหว่างช่วงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมในอดีตทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานี้ (พ.ศ.2538 2549 2552 และ 2554) มีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะทำการทำนายค่า ISA ในลักษณะแบบปีต่อปีสะสมไปเรื่อยๆ จนถึงปีที่ต้องการทราบค่า ISA สำหรับวิธีการหาสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้

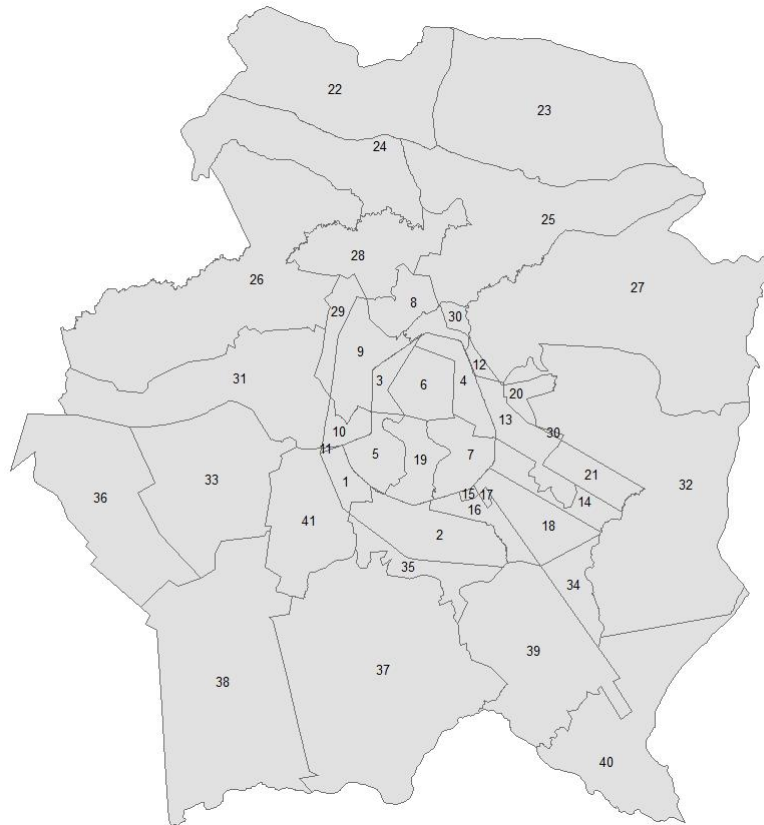
1) ภายหลังจากการประเมินค่า ISA ในแต่ละ Pixel ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา ตามวิธีการในหัวข้อ 2.2 แล้ว ข้อมูลค่า ISA ในแต่ละ Pixel จะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ โดยใช้เครื่องมือ Zonal Statistics เพื่อเป็นตัวแทนค่า ISA ของพื้นที่ย่อย (Sub Area) ภายในเขตพื้นที่ศึกษา

2) จากนั้นข้อมูลค่า ISA เฉลี่ยของพื้นที่ย่อยแต่ละพื้นที่ ในหลายช่วงเวลา จะถูกนำมาวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีของพื้นที่นั้น ภายในระยะห่างของช่วงเวลา 2 ช่วงที่พิจารณา

3) จากนั้นข้อมูลค่า ISA เฉลี่ยของพื้นที่ย่อยและอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี ของทุกๆ พื้นที่ย่อย และทุกๆ ช่วงเวลาที่พิจารณา จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ร่วมกัน เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของทั้งพื้นที่ ระหว่างค่า ISA เฉลี่ยและอัตราการเปลี่ยนแปลง ISA รายปี ที่จะใช้เป็นแบบจำลองอย่างง่าย เพื่อเป็นเครื่องมือการทำนายการเปลี่ยนแปลง ISA ของพื้นที่ศึกษาในอนาคต

สำหรับขอบเขตพื้นที่ย่อยเพื่อการวิเคราะห์ค่า ISA ภายในพื้นที่ศึกษา หรือ เขตอำเภอเมืองทั้งหมด ในขั้นต้นนี้ จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ ตามขอบเขตตำบลเป็นหลัก แต่จะมีการมุ่งเน้นความสนใจเป็นพิเศษในเขตฝั่งเมืองรวมอุดรธานี ปีพ.ศ.2553 ซึ่งครอบคลุมบริเวณเขตเทศบาลนครเมืองอุดรธานีและพื้นที่โดยรอบ โดยในกรณีนี้ทีม

ผู้วิจัยจะพิจารณาร่วมกับขอบเขตองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ซึ่งประกอบด้วย เทศบาลนคร เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล และองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) ที่มีอาณาเขตติดต่อกับเทศบาลนครอุดรธานีร่วมด้วย ซึ่งจากเกณฑ์การแบ่งแยกดังกล่าว จะมีการแยกพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองอุดรธานีได้ 41 พื้นที่ย่อย ดังแสดงรายละเอียดของขอบเขตการปกครองของแต่ละพื้นที่ในรูปที่ 2.3-1 และ ตารางที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 ขอบเขตพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา

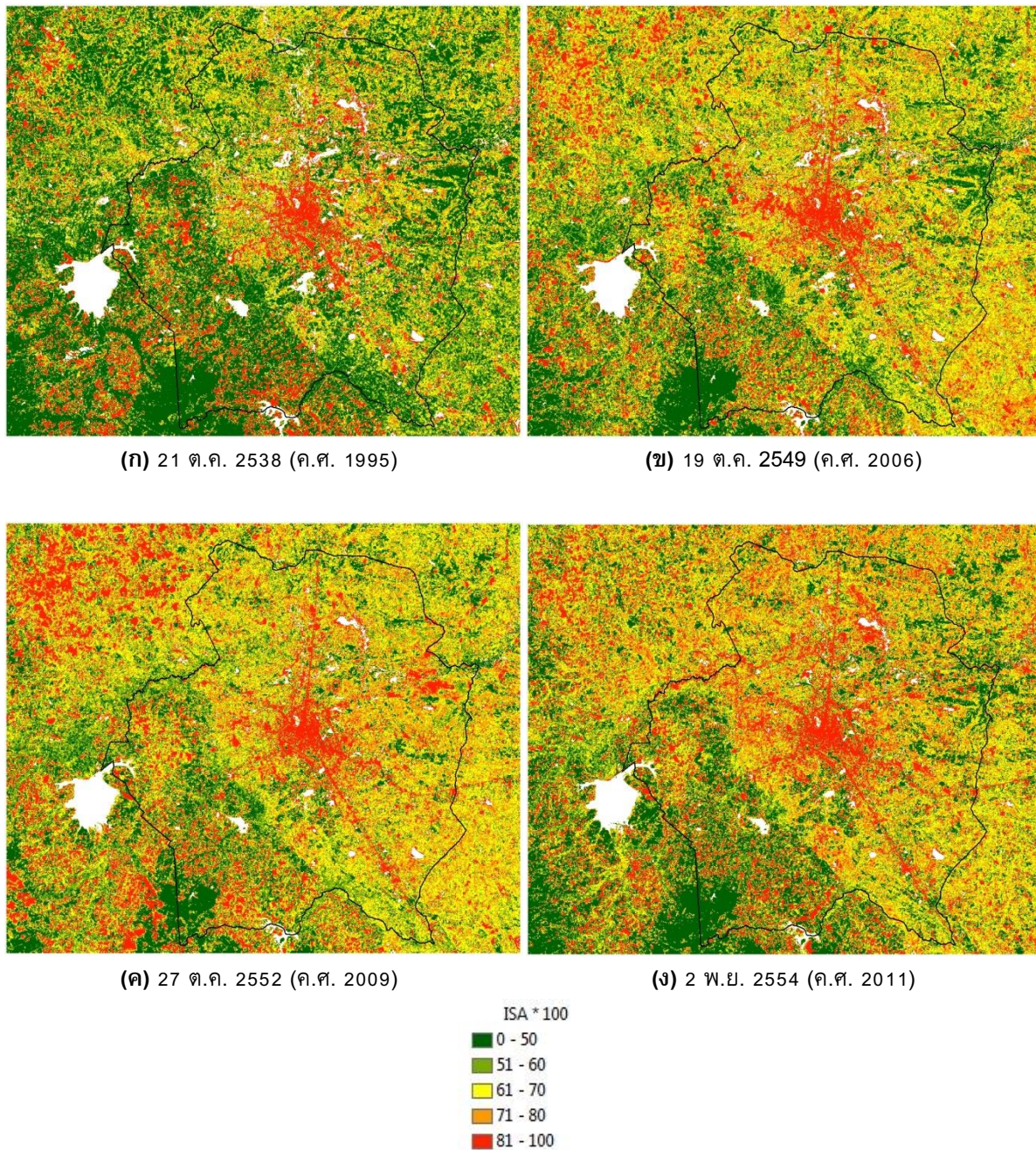
ตารางที่ 2.3-1 รายละเอียดพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา

ลำดับพื้นที่ที่	องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น	ตำบล	พื้นที่โดยประมาณ (ตร.ม.)
1	อบต.นาดี	ต.นาดี	4,466,528
2	อบต.นาดี	ต.บ้านจั่น	17,922,735
3	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.บ้านเลื่อม	3,925,429
4	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หนองบัว	7,416,426
5	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.เซียงพิณ	8,081,462
6	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หมากแข้ง	9,761,348
7	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.หนองขอนกว้าง	9,748,686
8	เทศบาลเมืองหนองสำโรง	ต.หมูม่น	7,534,080
9	เทศบาลเมืองหนองสำโรง	ต.บ้านเลื่อม	12,569,738
10	เทศบาลเมืองหนองสำโรง	ต.เซียงพิณ	3,828,104
11	เทศบาลเมืองหนองสำโรง	ต.นาดี	124,129
12	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.สามพร้าว	1,306,237
13	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองบัว	13,087,960
14	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองขอนกว้าง	7,541,325
15	อบต.บ้านจั่น	ต.บ้านจั่น	466,384
16	เทศบาลตำบลบ้านจั่น	ต.บ้านจั่น	6,277,892
17	เทศบาลตำบลบ้านจั่น	ต.หนองขอนกว้าง	386,440
18	อบต.บ้านจั่น	ต.หนองขอนกว้าง	12,637,559
19	เทศบาลนครอุดรธานี	ต.บ้านจั่น	8,594,418
20	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองนาคำ	3,429,082
21	เทศบาลตำบลหนองบัว	ต.หนองนาคำ	7,619,885
22	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านขาว	51,334,241
23	นอกเขตผังเมือง	ต.นาข่า	71,623,913
24	นอกเขตผังเมือง	ต.นาแกว้าง	34,423,986
25	นอกเขตผังเมือง	ต.กุดสระ	58,514,059
26	นอกเขตผังเมือง	ต.เซียงยี่น	82,488,852
27	นอกเขตผังเมือง	ต.สามพร้าว	97,116,861
28	นอกเขตผังเมือง	ต.หมูม่น	22,733,162
29	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านเลื่อม	5,710,578
30	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองบัว	1,995,343
31	นอกเขตผังเมือง	ต.เซียงพิณ	45,385,944
32	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองนาคำ	99,271,886
33	นอกเขตผังเมือง	ต.นิคมสงเคราะห์	45,405,316
34	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองขอนกว้าง	7,753,688
35	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านจั่น	9,913,897
36	นอกเขตผังเมือง	ต.โคกสะอาด	44,973,873
37	นอกเขตผังเมือง	ต.บ้านดาด	96,260,541
38	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองไฮ	82,937,916
39	นอกเขตผังเมือง	ต.โนนสูง	47,156,975
40	นอกเขตผังเมือง	ต.หนองไผ่	43,266,834
41	นอกเขตผังเมือง	ต.นาดี	24,310,747

3. ผลการศึกษา

3.1 แผนที่การประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วมในอดีต

จากผลการประเมินค่า ISA โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) สามารถแสดงแผนที่การประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วม ในปีพ.ศ. 2538, 2549, 2552, และ 2554 (ค.ศ. 1995, 2006, 2009, และ 2011) ในสเกล 0 - 100 พร้อมด้วยขอบเขตอำเภอเมืองอุดรธานี ได้ดังรูปที่ 3.1-1



รูปที่ 3.1-1 แผนที่การประเมินพื้นที่น้ำท่วมในอดีต

จากรูปที่ 3.1-1 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า Runoff Curve Number (CN) มาตรฐาน ตามที่แสดงในรูปที่ 1.2-1 พบว่า ค่า ISA ในสเกล 0-100 มีความสอดคล้อง และสามารถเทียบเคียงได้กับค่า CN ได้เป็นอย่างดี (Carlson, 2004; Chow *et al.*, 1988) โดยใน Pixel ที่อยู่ในพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) หรือพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา (Developed Area) เป็นชุมชนหนาแน่น จะมีแนวโน้มให้ค่า ISA อยู่ระหว่าง 80-100 และจะมีค่าลดลงตามความหนาแน่นของชุมชน และสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการพัฒนา ลดลงต่อไปยังพื้นที่การเกษตร และพื้นที่ป่าไม้ที่มีพืชปกคลุมค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งมีค่า ISA ไม่เกิน 50 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะนำค่า ISA ที่คำนวณได้ ตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) ไปใช้แทนค่า CN ในแบบจำลองอุทกวิทยาได้ โดยหลีกเลี่ยงขั้นตอนการแยกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Landuse Classification) แบบทั่วไป ทำให้ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการกำหนดค่า CN ให้กับการใช้ที่ดินแต่ละประเภทลงได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากหลายช่วงเวลา ที่แสดงในรูปที่ 3.1-1 พบว่า ในช่วง 16 ปีระหว่าง พ.ศ.2538-2554 เขตชุมชนเมืองหนาแน่น (สีแดง) มีการเจริญเติบโต และขยายตัวอย่างสังเกตได้ โดยพื้นที่ๆ เคยมีพืชปกคลุมหนาแน่น (สีเขียวเข้ม) ถูกแปรสภาพกลายเป็นพื้นที่ที่มีความทึบน้ำมากขึ้น ที่อาจเป็นได้ทั้ง พื้นที่การเกษตร ชุมชนชนบท หรือสิ่งปลูกสร้าง (สีเขียวอ่อน และเหลือง) และสิ่งที่สังเกตได้อย่างชัดเจน คือ การเจริญเติบโตของเขตชุมชนเมืองหนาแน่น (สีแดง) มีทิศทางไปตามแนวเส้นทางคมนาคมสายหลัก เช่น ทางหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) ทางหลวงหมายเลข 22 (อุดรธานี – นครพนม) และ ทางหลวงหมายเลข 210 (อุดรธานี –หนองบัวลำภู) โดยการขยายตัวของเขตชุมชนหนาแน่น (สีแดง) ที่สังเกตได้นี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิเคราะห์ของมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (ม.ป.ป.)

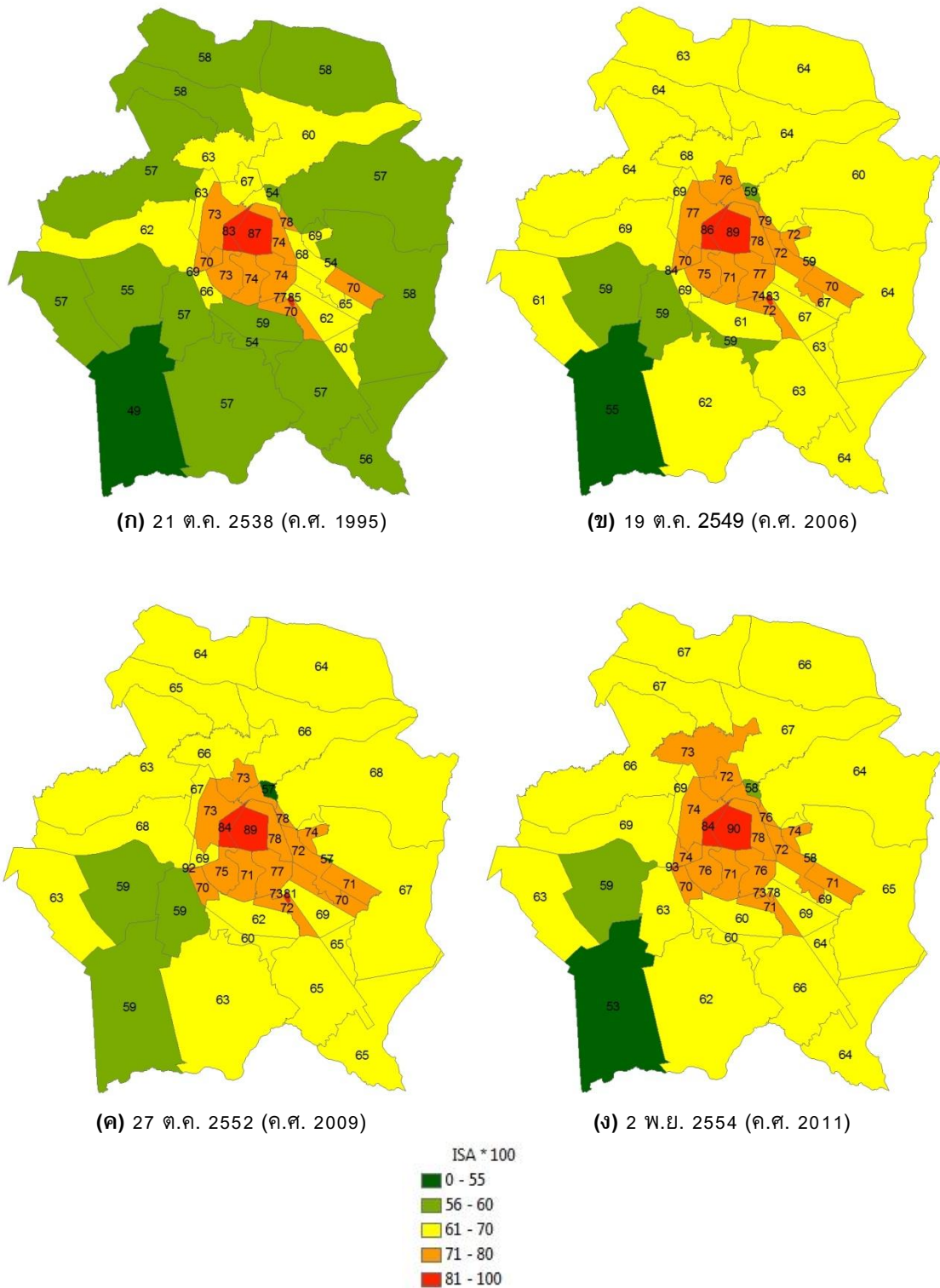
3.2 แผนการทำนายเขตพื้นที่น้ำท่วมในอนาคต

เมื่อนำผลการประเมินเขตพื้นที่น้ำท่วม ในปีพ.ศ. 2538, 2549, 2552 และ 2554 มาทำการวิเคราะห์ Zonal Statistics จะได้ผลการวิเคราะห์ค่า ISA เฉลี่ยเชิงพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ย่อย ในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ในทุกๆ ช่วงเวลา พื้นที่ในเขตเทศบาลนครอุดรธานีและบริเวณโดยรอบ เป็นพื้นที่ที่มีคุณสมบัติความทึบน้ำสูงที่สุด มีค่า ISA > 0.70 โดยมีค่าสูงมากในพื้นที่ตำบลหมากแข้งทั้งตำบล (ISA = 0.87-0.90) และพื้นที่ตำบลบ้านเลื่อมที่อยู่ในเขตเทศบาลนคร (ISA = 0.83-0.86) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพจริงเป็นพื้นที่ของสวนราชการ พื้นที่เชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ รวมทั้งพื้นที่ชุมชนที่อยู่อาศัย อยู่ร่วมกันอย่างหนาแน่น ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า CN ที่แสดงในรูปที่ 1.2-1 อีกครั้งแสดงค่าอยู่ในช่วง $77 < CN < 95$ สำหรับตำบลที่มีระดับความทึบน้ำค่าค่อนข้างต่ำที่สุดในเขตอำเภอเมือง ได้แก่ พื้นที่ตำบลหนองไฮ (ISA = 0.49-0.59) เนื่องจากมีพื้นที่ป่าค่อนข้างมาก และตำบลนิคมสงเคราะห์ (ISA = 0.55-0.59) ที่มีพื้นที่การเกษตรค่อนข้างมาก

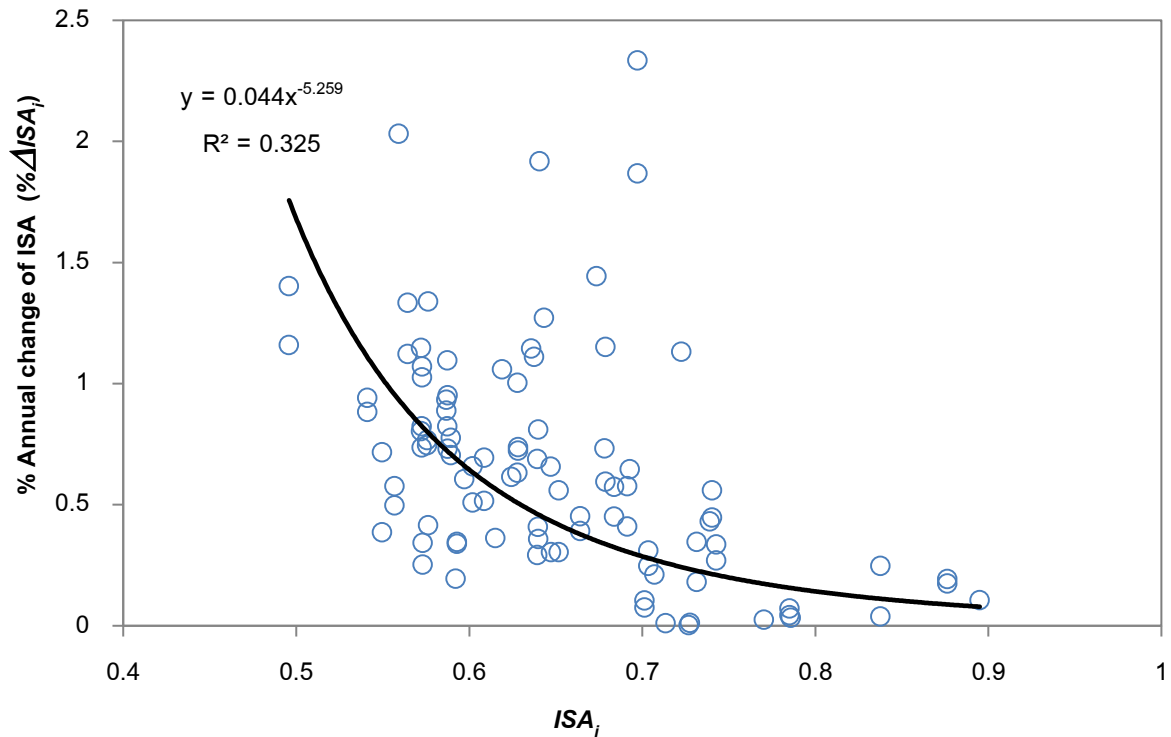
จากผลการวิเคราะห์ Zonal Statistics ของค่า ISA ในหลายช่วงเวลา ดังรูปที่ 3.2-1 ทำให้สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีของพื้นที่นั้นๆ ในระยะห่าง 2 ช่วงเวลาที่พิจารณาได้ โดยเมื่อนำชุดข้อมูลดังกล่าว ของช่วงปีพ.ศ. 2538, 2549 และ 2552 (โดยยกเว้นการใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2554) มาวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ร่วมกันทั้งหมดตามรูปที่ 3.2-2 ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายค่าอัตราการเปลี่ยนแปลง ISA รายปีของพื้นที่ย่อยใดๆ ในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในสมการที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้ และถ้าต้องการทราบค่า ISA ของพื้นที่ใดๆ ในพื้นที่ศึกษา ในปีต่อๆ ไป ก็สามารถคำนวณหาได้โดยการประยุกต์ใช้สมการที่ 7

เนื่องจากความสัมพันธ์ที่แสดงในสมการที่ 6 วิเคราะห์มาจากชุดข้อมูลที่ไม่ได้รวมถึงข้อมูลปีพ.ศ. 2554 และการประยุกต์ใช้สมการที่ 7 เพื่อประมาณค่า ISA ในอนาคตที่ห่างจากปีฐานที่เริ่มการคำนวณมาก อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสะสมมากจนไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพในการทำนาย และพิจารณาถึง

ผลกระทบของค่าความคลาดเคลื่อนสะสม จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 6 และ 7 ในการทำนายค่า ISA ในปีพ.ศ. 2554 จากการใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2538, 2549 และ 2552 เป็นปีฐานการทำนาย ซึ่งเทียบได้กับช่วงระยะการทำนาย 16, 5, และ 2 ปี ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบกับค่า ISA ที่ประเมินได้โดยตรงตามวิธีการของ Carlson and Arthur (2000) ดังแสดงในรูปที่ 3.2-3 ซึ่งสามารถแสดงสรุปผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 3.2-1



รูปที่ 3.2-1 แผนที่การประเมินพื้นที่น้ำท่วมในอดีต เฉลี่ยตาม 41 พื้นที่ศึกษาย่อย

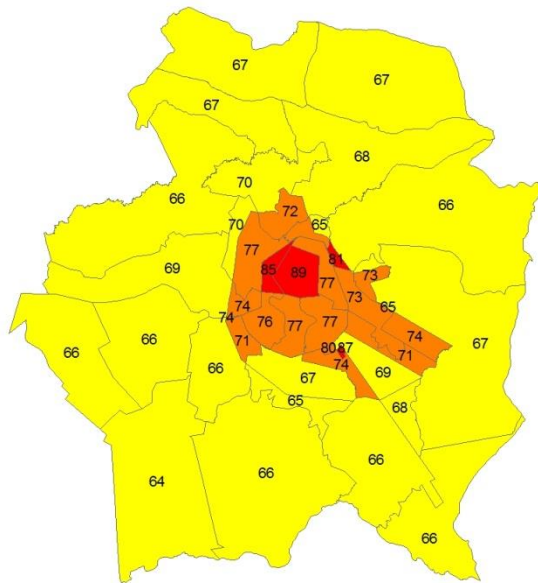


รูปที่ 3.2-2 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความทึบน้ำรายปี

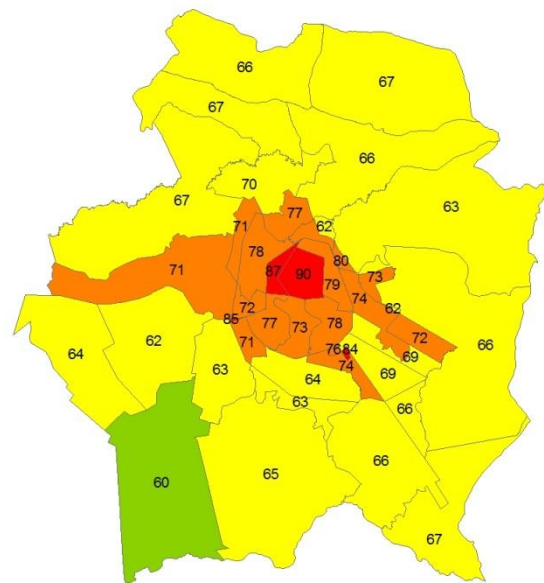
$$\% \Delta ISA_i = \frac{0.044}{(ISA_i)^{5.259}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} ISA_{i+1} &= ISA_i \left(1 + \frac{\% \Delta ISA_i}{100} \right) \\ &\vdots \\ ISA_n &= ISA_{n-1} \left(1 + \frac{\% \Delta ISA_{n-1}}{100} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

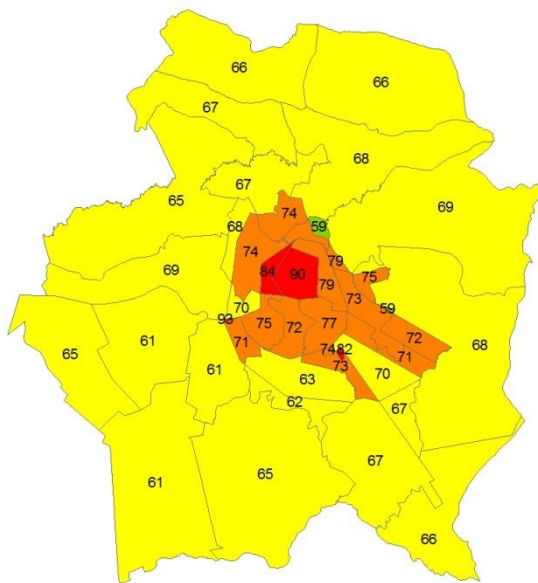
โดยที่ ISA_i = ดัชนีพื้นที่ผิวทึบน้ำ (Impervious Surface Area, $0 \leq ISA \leq 1$) ของปีฐานเริ่มการทำนาย
 ISA_{i+1} = ดัชนีพื้นที่ผิวทึบน้ำของปีถัดไป จนกระทั่งถึงปีทำนาย n ที่ต้องการ



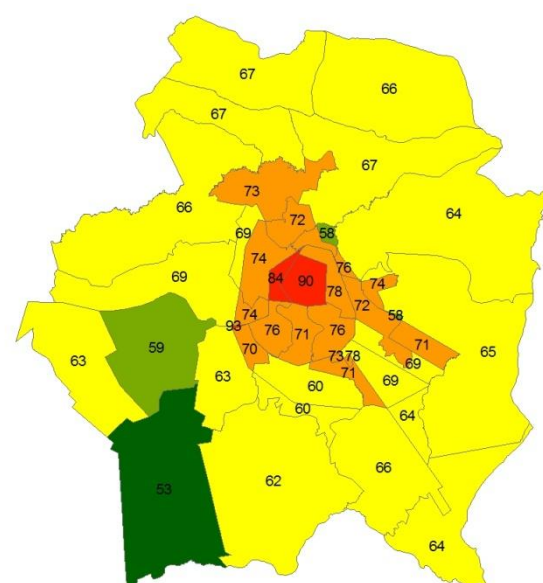
(ก) โดยใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2538 เป็นฐานทำนาย



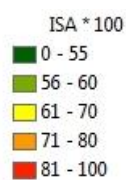
(ข) โดยใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2549 เป็นฐานทำนาย



(ค) โดยใช้ข้อมูลปีพ.ศ. 2552 เป็นฐานทำนาย



(ง) จากการประเมินโดยตรง



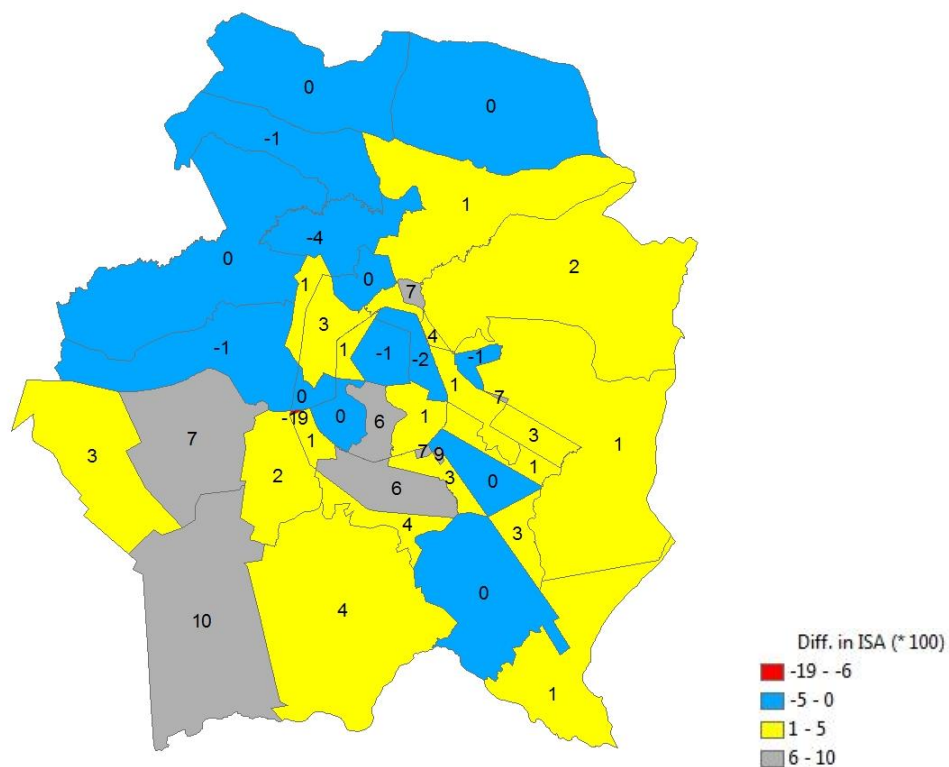
รูปที่ 3.2-3 การเปรียบเทียบพื้นที่น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011) เฉลี่ยตาม 41 พื้นที่ศึกษาย่อย

ตารางที่ 3.2-1 การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนการทำนายค่า ISA (สเกล 0 - 100) ในปีพ.ศ. 2554

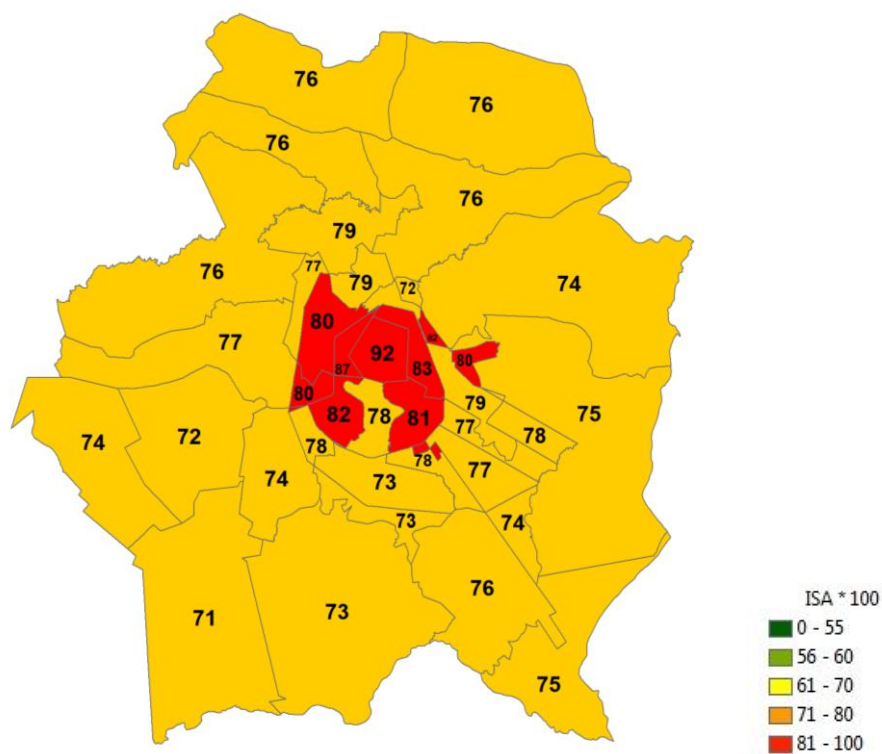
ปีพ.ศ.ที่ใช้ เป็นฐานการทำนาย	ความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการประเมินโดยตรงและการทำนาย ISA ในปีพ.ศ. 2554*		
	น้อยสุด	มากที่สุด	เฉลี่ย
พ.ศ. 2538 (16 ปี)	-19	+10	+1.5
พ.ศ. 2549 (5 ปี)	-9	+7	+0.9
พ.ศ. 2552 (2 ปี)	-6	+8	+0.5

หมายเหตุ * ค่าความคลาดเคลื่อน = ค่าจากผลการทำนาย – ค่าผลการประเมินโดยตรง

จากผลสรุปการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนที่แสดงในตารางที่ 3.2-1 จะสังเกตได้ว่า ความคลาดเคลื่อนในการทำนายค่า ISA ของทุกพื้นที่ย่อย มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อประยุกต์ใช้สมการที่ 6 และ 7 ทำนายค่า ISA ล่วงหน้า 16 ปี (พ.ศ. 2538-2554) เพียงประมาณ +1.5 (ในสเกล 0-100) เท่านั้น ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบความผันผวนของค่า CN อันเนื่องมาจากความแตกต่างของชนิดดิน ในพื้นที่ที่จัดเป็นประเภทเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.2-1 นอกจากนี้จากรูปที่ 3.2-4 ซึ่งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนการทำนายค่า ISA เชิงพื้นที่ของปีพ.ศ. 2554 (สเกล 0 - 100) โดยใช้ข้อมูลปี 2538 เป็นปีฐานการทำนาย พบว่า พื้นที่โดยส่วนมากในเขตอำเภอเมืองมีความผิดพลาดของค่า ISA ไม่เกิน ± 5 ส่วนพื้นที่ที่มีความผิดพลาดมากที่สุด คือ พื้นที่ตำบลนาดี ในเขตเทศบาลเมืองหนองสำโรง (ความผิดพลาด = -19) นั้นน่าจะมีสาเหตุหลักมาจากขนาดพื้นที่ๆ เล็ก และอยู่ในบริเวณที่มีการขยายตัวของเขตชุมชนค่อนข้างสูง จึงทำให้การขยายตัวของพื้นที่ที่บีบแน่น เต็มพื้นที่อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ค่า ISA เฉลี่ยของพื้นที่นั้นมีค่าสูงชันอย่างมากด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้ผลการประเมินพื้นที่ที่บีบแน่นระหว่างปี 2538-2549 ดังในรูปที่ 3.2-1 นอกจากนี้ที่ดังกล่าวแล้วก็มีเพียงพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเฉพาะในการพัฒนาการขยายตัวของชุมชน เช่น การมีพื้นที่ป่าไม้อยู่มาก เช่น ในตำบลหนองไฮ (ซึ่งมีความผิดพลาด = +10) หรือการมีพื้นที่เขตทหารขนาดใหญ่ตั้งอยู่ เช่น ในตำบลบ้านจั่น (ซึ่งมีความผิดพลาด = +6) เท่านั้น ที่มีความผิดพลาดของการทำนายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมปกติ สมการความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ในสมการที่ 6 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำนายการขยายตัวของเขตพื้นที่บีบแน่นในอนาคตได้น่าเชื่อถือ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้ประยุกต์ใช้สมการที่ 6 ในการทำนายหาเขตพื้นที่บีบแน่นในปีพ.ศ. 2588 (30 ปีล่วงหน้าจากปัจจุบัน) โดยการใช้ข้อมูลในปี 2554 เป็นฐานในการทำนาย ซึ่งสามารถแสดงแผนที่ผลการทำนายได้ในรูปที่ 3.2-5 ซึ่งแผนที่ดังกล่าวจะถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองอุทกวิทยา เพื่อใช้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดิน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพชุมชนเมือง ในการศึกษาส่วนต่อไป



รูปที่ 3.2-4 ความคลาดเคลื่อนการทำนายค่า ISA ในปีพ.ศ. 2554 (สเกล 0 - 100) โดยใช้ข้อมูลปี 2538 เป็นพื้นฐาน



รูปที่ 3.2-5 แผนที่การทำนายเขตพื้นผิวที่บ้น้ำ (ค่า ISA ในสเกล 0-100) ในปีพ.ศ. 2588 (ค.ศ. 2045)

4. สรุปผลการศึกษา ประเด็นปัญหา และอุปสรรค

การวิเคราะห์เพื่อการคาดการณ์การขยายตัวของเขตชุมชนเมืองในอนาคต ของการศึกษาในครั้งนี้ ได้ถูกเปลี่ยนเป้าหมายมาวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับความทึบน้ำของพื้นที่ศึกษา แทนการคาดการณ์การขยายขอบเขตของชุมชนเมือง ที่มุ่งหวังไว้ในคราวแรก เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ที่มี ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) และความละเอียดของช่วงคลื่น (Spectral Resolution) ไม่มากเพียงพอที่จะทำการแยกแยะประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Landuse Classification) ได้อย่างละเอียดเพียงพอที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองทางอุทกวิทยาได้ ดังนั้นคณะวิจัย จึงได้ทำการศึกษาหาวิธีการอื่นๆ เพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ให้ได้มาซึ่งข้อมูลนำเข้าที่แบบจำลองอุทกวิทยาต้องการ ซึ่งวิธีการที่ได้ถูกทดสอบและนำเสนอในงานศึกษาครั้งนี้ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งเพิ่งได้รับการเสนอโดยผู้วิจัยต่างชาติ Carlson and Arthur (2000) ซึ่งอาจจะยังเป็นวิธีการที่ยังไม่แพร่หลายมากนัก และอาจจะมี ความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ภายใต้ข้อสมมติฐานและนิยามที่กำหนดขึ้นยังไม่ครบถ้วน (เช่น นิยามของค่าดัชนีที่ทึบน้ำ และสมมติฐานที่ผู้วิจัยที่เสนอวิธีการนี้กล่าวว่า วิธีการใช้ได้กับพื้นที่ในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนาแล้วเท่านั้น)

แต่ภายหลังจากการทดสอบวิธีการดังกล่าว เพื่อใช้ในการประเมินค่าดัชนีพื้นที่ที่ทึบน้ำ (Impervious Surface Area, ISA) ของอำเภอเมืองอุดรธานี ซึ่งมีทั้งพื้นที่ส่วนที่เป็นพื้นที่เมือง พื้นที่ชนบท พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ดินประเภทอื่นๆ ค่า ISA ที่ประเมินได้กลับมีความสอดคล้องเป็นไปในแนวทางเดียวกับค่า Runoff Curve Number (CN) อย่างน่าประหลาดใจ ถึงแม้ว่าในขณะที่คณะผู้วิจัยได้มองเห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ดังกล่าวผ่านข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ แต่ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ISA และ CN ก็ยังไม่ถึงขั้นถูกกำหนดในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ ซึ่งถ้าจะไปถึงขั้นตอนนั้นได้จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น การทดสอบนำค่า ISA ที่ได้ไปเป็นข้อมูลนำเข้าแทนค่า CN เพื่อทดลองหาปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งที่รู้ค่า CN แน่ของพื้นที่นั้น หรือการกำหนดค่านิยามของ ISA ให้ชัดเจนเพื่อการสื่อความของค่าเชิงตัวเลข ISA ที่คำนวณได้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์พายุฝนและปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

สารบัญ

สารบัญ	ง-1
สารบัญตาราง	ง-1
สารบัญรูป	ง-2
ง.1 พื้นที่ศึกษา	ง-2
ง.2 การศึกษาพายุฝน	ง-4
ง.3 การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	ง-5
ง.3.1 การทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน (Strom Maximization)	ง-5
ง.3.2 การเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition)	ง-7
ง.3.3 การทำเส้นโค้งทางด้านมาก (Envelopment Curve)	ง-7
ง.4 ผลการศึกษา	ง-12
ง.4.1 อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง	ง-13
ง.4.2 ดรรชนีปรับแก้	ง-14
ง.4.3 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้	ง-17
ง.4.4 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ	ง-17
ง.5 สรุปและขอเสนอแนะ	ง-12

สารบัญตาราง

ตารางที่ ง.2-1 รายละเอียดพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ...	ง-5
ตารางที่ ง.4-1 ค่าปรับแก้สำหรับพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ทำการย้ายมาที่อำเภอเมืองอุดรธานี	ง-5
ตารางที่ ง.4-2 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของอำเภอ เมืองอุดรธานีและข้างเคียง	ง-5

สารบัญรูป

รูปที่ ง.1-1	สภาพพื้นที่ศึกษา.....	ง-3
รูปที่ ง.1-2	ทิศทางลมมรสุมที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ศึกษา	ง-3
รูปที่ ง.2-1	เส้นทางพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย	ง-6
รูปที่ ง.3-1	แสดงร้อยละของปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับความลาดเทของสภาพพื้นที่ และร้อยละปริมาณน้ำ ในบรรยากาศจากระดับน้ำทะเลถึงระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ (Schwarz, 1963).....	ง-10
รูปที่ ง.3-2	แสดงผลรวมของร้อยละปริมาณน้ำในอากาศที่หายไปกับร้อยละของฝนที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิจุด น้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์.....	ง-10
รูปที่ ง.3-3	ความสัมพันธ์ของการลดลงของปริมาณฝนของพายุฝนในเขตร้อนขึ้นกับระยะทางจากชายฝั่ง ทะเล	ง-11
รูปที่ ง.3-4	การประยุกต์หาตัวปรับแก้เนื่องจากฤดูกาลโดยพิจารณากระแสความชื้นที่ไหลเข้า (Moisture- inflow index) ในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ Tigris	ง-12
รูปที่ ง.3-5	ตัวอย่างการทำเส้นโค้งทางด้านมากจากพายุฝนหลายลูกที่ช่วงเวลาและขนาดพื้นที่ต่าง ๆ	ง-13
รูปที่ ง.4-1	อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง (สถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี).....	ง-14
รูปที่ ง.4-2	การปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ.....	ง-15
รูปที่ ง.4-3	การปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล.....	ง-16
รูปที่ ง.4-4	การปรับแก้เนื่องจากละติจูด	ง-16
รูปที่ ง.4-5	ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของพื้นที่ อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง.....	ง-14
รูปที่ ง.4-6	เปรียบเทียบปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของพื้นที่ศึกษากับผลการศึกษาของลุ่มน้ำโขงตอนล่าง	ง-14

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์พายุฝนและปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

การวิเคราะห์พายุฝนและปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและข้างเคียง ได้ทำการศึกษาพายุฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในเขตพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (2556) ทั้งกรณีจากพายุฝนที่เคลื่อนเข้าสู่อำเภอเมืองอุดรธานีจริง และกรณีทำการเคลื่อนย้ายพายุฝนที่มีโอกาสส่งผลให้เกิดปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี

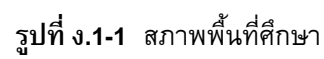
พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียง ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมและพายุหมุนเขตร้อน ที่ส่งผลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ ประกอบด้วย ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม และพายุพายุหมุนเขตร้อน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม จากเส้นทางพายุหมุนเขตร้อนที่เข้าสู่ประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2494-2556 มีพายุจำนวน 129 ลูก จากแหล่งกำเนิดมหาสมุทรแปซิฟิก ที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่พายุฝนเหล่านั้นอาจก่อให้เกิดอิทธิพลของปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation, PMP) ของพื้นที่จังหวัดอุดรธานี

ง.1 พื้นที่ศึกษา

เมืองอุดรธานีเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทั้งอากาศและทางถนนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นศูนย์กลางหน่วยงานราชการและด้านเศรษฐกิจแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภูมิภาคลุ่มน้ำโขง รวมทั้งมีศูนย์ประชุมและวัฒนธรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนด้วย นอกจากนี้จังหวัดอุดรธานียังเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายการพัฒนาพื้นที่กลุ่มจังหวัดของโครงการวางแผนจัดทำผังประเทศ กรมโยธาธิการและผังเมือง โดยเน้นให้กลุ่มจังหวัดอุดรธานี หนองคาย เลย หนองบัวลำภู พัฒนาให้เป็นศูนย์กลางทางการค้าของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เชื่อมโยงกับลาวและจีนตอนใต้ โดยเฉพาะการพัฒนาให้เป็นแหล่งผลิตไม้ดอกไม้ประดับ ยางพารา โคเนื้อ และโคนมที่สำคัญของภาค นอกจากนี้ยังมีโอกาสในการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ เพื่อเป็นการขยายฐานเศรษฐกิจอีกด้วย

เมืองอุดรธานีมีลำน้ำห้วยหลวงเป็นลำน้ำสายหลักไหลผ่านกลางเมือง โดยมีปริมาณน้ำจากพื้นที่รับน้ำตอนบนประมาณ 1,000 ตร.กม. ดังแสดงในรูปที่ ง.1-1 ก่อนไหลเข้าเมืองอุดรธานี ซึ่งปัจจุบันมีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงคอยช่วยเก็บกักน้ำและบรรเทาอุทกภัย แต่ก็ยังประสบปัญหาน้ำท่วมเกือบทุกปี ตามที่ปรากฏในข่าวต่างๆ เนื่องจากอ่างฯ ห้วยหลวงมีความจุที่ระดับเก็บกัก 113 ล้าน ลบ.ม. แต่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย 234 ล้าน ลบ.ม./ปี มากกว่าปริมาณที่อ่างเก็บน้ำสามารถรองรับได้ ซึ่งเกิดจากปริมาณฝนเฉลี่ย 1,460 มม./ปี

ซึ่งปริมาณฝนของเมืองอุดรธานี ได้รับอิทธิพลจาก ร่องความกดอากาศต่ำ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และพายุหมุนเขตร้อน ในช่วงเดือน มิ.ย.-ก.ย. ดังแสดงในรูปที่ ง.1-2 จากสภาพปัญหาดังที่กล่าวมา และความสำคัญ of เมืองอุดรธานี ประกอบกับในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ทำให้การเกิดพายุฝน และปริมาณฝนที่ตกเปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาพายุฝน เพื่อป้องกันและเตรียมรับมือภาวะน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นได้



ง.2 การศึกษาพายุฝน

จากการรวบรวมข้อมูลพายุจากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า พายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย มีจำนวนทั้งสิ้น 129 ลูก มีพายุที่พัดผ่านจังหวัดอุดรธานี จำนวน 33 ลูก พบว่า พายุโซนร้อน "อุซางิ" วันที่ 9-10 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุดที่สถานีตรวจวัดอากาศ จังหวัดอุดรธานี ช่วงเวลา 3 วัน เท่ากับ 309.30 มิลลิเมตร ซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าพายุสูงสุด 10 อันดับแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ทั้ง 129 ลูก จึงได้ทำการพิจารณาพายุสูงสุด 10 อันดับแรกนั้น เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียง สำหรับช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน รายละเอียดพายุแต่ละลูก แสดงดังตารางที่ ง.2-1 และเส้นทางพายุสูงสุด 10 อันดับแรก แสดงดังรูปที่ ง.2-1

ตารางที่ ง.2-1 รายละเอียดพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย

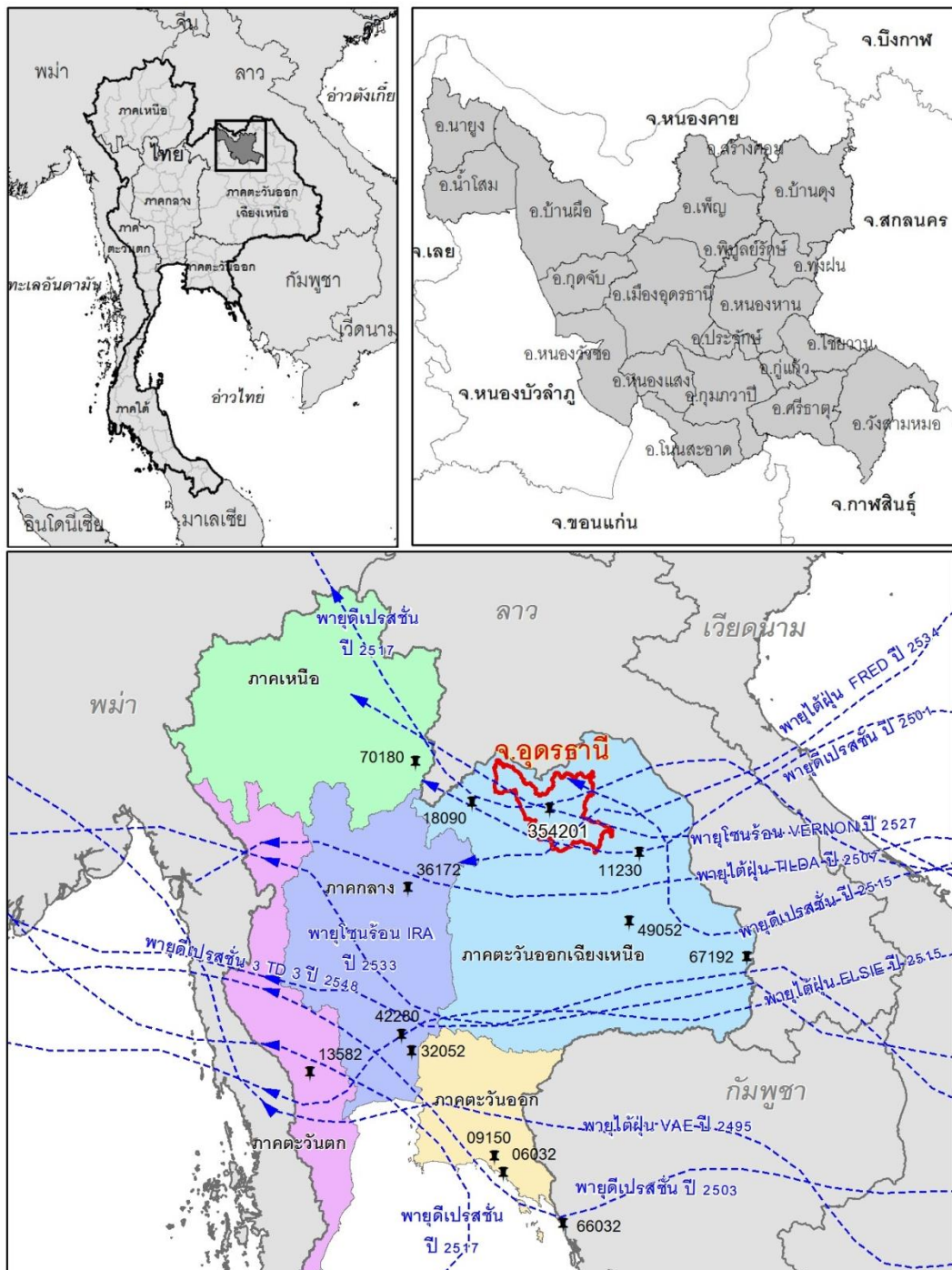
ลำดับ	ชื่อพายุ	ช่วงเวลา 3 วัน ที่เกิดฝนสูงสุด	สถานที่วัดฝนได้สูงสุด			ปริมาณฝนที่วัดได้สูงสุด ช่วงเวลา 3 วัน (มิลลิเมตร)
			รหัส	อำเภอ	จังหวัด	
1	พายุดีเปรสชัน 3 (TD 3)	10 - 12 ก.ย. 2548	13582	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี	801.10
2	พายุดีเปรสชัน	14 - 16 ส.ค. 2517	11230	นาคู	กาฬสินธุ์	647.60
3	พายุดีเปรสชัน	2 - 4 ต.ค. 2503	66032	คลองใหญ่	ตราด	739.30
4	พายุโซนร้อน "อีรา" (IRA)	2 - 4 ต.ค. 2533	22230	องครักษ์	นครนายก	645.90
5	พายุดีเปรสชัน	3 - 5 มิ.ย. 2515	67192	โขงเจียม	อุบลราชธานี	591.90
6	พายุดีเปรสชัน	7 - 9 ต.ค. 2517	09102	สัดหับ	ชลบุรี	513.20
7	พายุโซนร้อน "เวอร์นัน" (VERNON)	10 - 12 มิ.ย. 2527	70180	ปากท่า	อุดรดิตถ์	505.00
8	พายุไต้ฝุ่น ELSIE (7217)	5 - 7 ก.ย. 2515	60360	บางปลาม้า	สุพรรณบุรี	491.70
9	พายุไต้ฝุ่น VAE (5218)	21 - 23 ต.ค. 2495	06032	แหลมสิงห์	จันทบุรี	482.80
10	พายุไต้ฝุ่น TILDA (6419)	21 - 23 ก.ย. 2507	49052	อาจสามารถ	ร้อยเอ็ด	464.20

ง.3 การศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้

ในการศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation, PMP) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือก วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จากทั้งหมด 8 วิธีตามการแบ่งของ World Meteorological Organization (2009) เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทย และทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษากับผลการศึกษาเดิมของกลุ่มน้ำโขงซึ่งศึกษาโดย US Army Corps of Engineers (1970) ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

ง.3.1 การทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน (Strom Maximization)

การประเมิน PMP ในพื้นที่เฉพาะเจาะจงหรือพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษา (Local Method) โดยใช้ข้อมูลพายุฝนที่เกิด ณ พื้นที่นั้น ๆ ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีข้อมูลพายุฝนที่ยาวนานการทำพายุฝนมากที่สุด (Storm Maximization) คือ การปรับพายุฝนขนาดใหญ่ที่เคยเกิดขึ้นให้มีค่าสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ใช้วิธีการปรับปริมาณฝนมากที่สุดด้วยปริมาณความชื้น (Moisture Maximization) เป็นการทำให้พายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิด โดยการปรับแก้ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ของวันที่เกิดพายุฝน ณ ตำแหน่งที่เกิด และทำการเปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ นำมาหาอัตราส่วน (r_1) การปรับแก้ (ไชยาพงษ์, 2557) ดังนี้



รูปที่ ง.2-1 เส้นทางพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย

$$r_1 = \frac{(W_{m1})_{h_1}}{(W_s)_{h_1}} \quad (1)$$

- เมื่อ r_1 = ค่าปรับแก้ปริมาณความชื้นสำหรับการทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน
- $(W_{m1})_{h_1}$ = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝนที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- $(W_s)_{h_1}$ = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้ ณ วันที่เกิดพายุฝนที่เลือกศึกษา ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- h_1 = ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ง.3.2 การเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition)

สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลพายุฝนหรือมีน้อย จึงจำเป็นต้องทำการเคลื่อนย้ายพายุฝน (Storm Transposition) คือ การเคลื่อนย้ายพายุฝนจากบริเวณที่เกิดมายังพื้นที่ที่ศึกษา ภายใต้รูปแบบและลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน การเคลื่อนย้ายพายุฝนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเคลื่อนย้ายพายุฝนโดยตรง คือ การนำเอาพายุฝนจากบริเวณอื่นมาใช้ในพื้นที่ศึกษาโดยตรงไม่ต้องมีการปรับแก้ และการเคลื่อนย้ายพายุฝนด้วยวิธีการปรับแก้ ซึ่งพิจารณาปรับแก้ตาม WMO (2009) การเคลื่อนย้ายพายุฝนโดยวิธีการปรับแก้ เป็นวิธีที่ใช้กันมากเนื่องจากให้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ในการเคลื่อนย้ายพายุฝนมีตัวแปรที่สำคัญที่ต้องพิจารณาปรับแก้ ได้แก่ ความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง สิ่งกีดขวาง ละติจูด ระยะห่างจากทะเล สภาพภูมิประเทศ ความเร็วลม และฤดูกาล (WMO, 2009) มีรายละเอียดดังนี้

1) การปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง (Adjustment of Moisture Elevation and Barrier) จะต้องพิจารณาไปพร้อมกัน ประกอบด้วย

1.1) การปรับแก้ความชื้นเพื่อทำพายุฝนมากที่สุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุ โดยการใช้การปรับแก้ตามสมการที่ (1)

1.2) การปรับแก้ความชื้น ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป โดยการปรับแก้ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุกับตำแหน่งที่ย้ายไป และทำการเปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้และนำมาหาอัตราส่วน (r_2) การปรับแก้ ดังนี้

$$r_2 = \frac{(W_{m2})_{h_1}}{(W_{m1})_{h_1}} \quad (2)$$

- เมื่อ r_2 = ค่าปรับแก้ปริมาณความชื้น ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป
- $(W_{m1})_{h_1}$ = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$(W_{m2})_{h_1} = \text{ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป}$$

ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$h_1 = \text{ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับของ}$$

สิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน

มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

1.3) การปรับแก้เนื่องจากระดับจากน้ำทะเลปานกลางและสิ่งกีดขวาง (Adjustment of Elevation and Barrier) จะต้องพิจารณาร่วมกัน เนื่องจากการปรับแก้เนื่องจากระดับจากน้ำทะเลปานกลางเพียงอย่างเดียวจะใช้วิธีนี้ ต่อเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางเนื่องจากภูมิประเทศระหว่างพื้นที่ฝนตกกับแหล่งความชื้น แต่ถ้าหากมีสิ่งกีดขวางเนื่องจากเทือกเขาต่อเนื่องติดต่อกันระหว่างพื้นที่ซึ่งเกิดพายุฝนกับแหล่งความชื้น จะใช้การปรับแก้เนื่องจากสิ่งกีดขวางมา พิจารณาร่วมด้วย การเคลื่อนย้ายพายุฝนระยะสั้นและมีระดับต่างกันไม่เกิน 300 เมตร จะไม่ทำการปรับแก้เนื่องจาก ระดับ แต่ถ้าระดับต่างกันเกิน 700 เมตร จะไม่ปรับแก้ด้วยระดับแต่ให้ใช้การปรับแก้เนื่องจากสิ่งกีดขวางโดยการปรับแก้ ด้วยอัตราส่วนของอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป และทำการ เปลี่ยนค่าเป็นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้และนำมาหาค่าอัตราส่วน (r_3) การปรับแก้ ดังนี้

$$r_3 = \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_{m2})_{h_1}} \quad (3)$$

เมื่อ r_3 = ค่าปรับแก้ค่าสูงสุดระหว่างค่าระดับหรือสิ่งกีดขวาง ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป

$$(W_{m2})_{h_1} = \text{ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป}$$

ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$(W_{m2})_{h_2} = \text{ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป}$$

ที่ระดับ h_2 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$h_1 = \text{ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับ}$$

ของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน

มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

$$h_2 = \text{ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป หรือค่าระดับของ}$$

สิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่ย้ายไป

มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

1.4) การปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง (Adjustment of Moisture Elevation and Barrier) จะต้องพิจารณาไปพร้อมกัน โดยการนำสมการที่ (1) สมการที่ (2) และสมการที่ (3) มาคูณกัน และนำมาหาค่าอัตราส่วน (r_m) การปรับแก้ ดังนี้

$$r_m = r_1 \times r_2 \times r_3 = \frac{(W_{m1})_{h_1}}{(W_s)_{h_1}} \times \frac{(W_{m2})_{h_1}}{(W_{m1})_{h_1}} \times \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_{m2})_{h_1}}$$

$$r_m = \frac{(W_{m2})_{h_2}}{(W_s)_{h_1}} \quad (4)$$

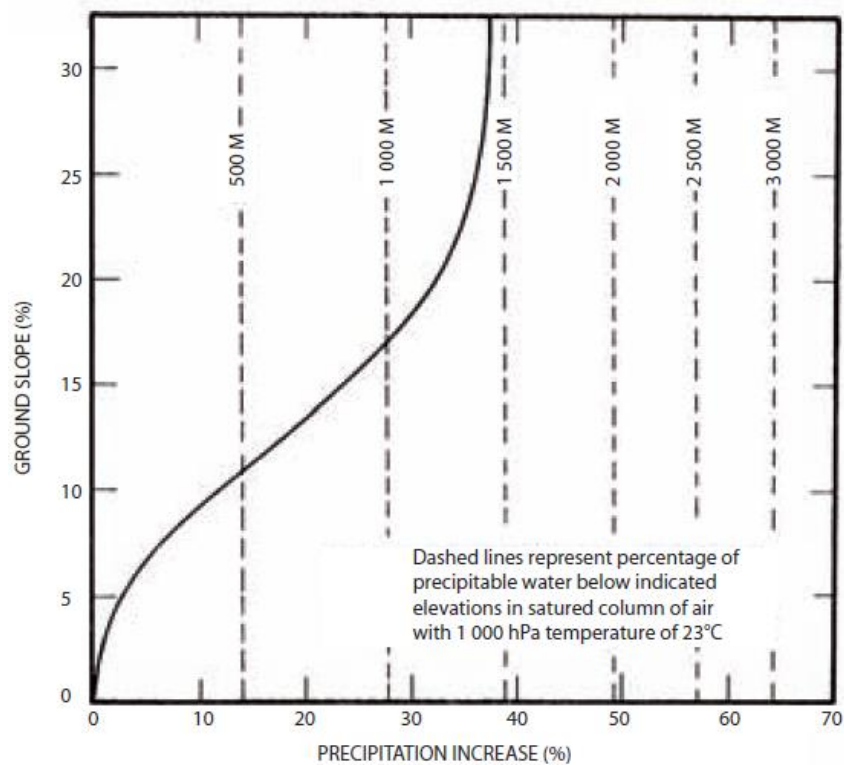
เมื่อ r_m	=	ค่าปรับแก้เนื่องจากความชื้น ระดับจากน้ำทะเลปานกลาง และสิ่งกีดขวาง
$(W_{m2})_{h_2}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้สูงสุด ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป ที่ระดับ h_2 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
$(W_s)_{h_1}$	=	ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นได้ ณ วันที่เกิดพายุฝนที่เลือก ศึกษา ที่ระดับ h_1 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
h_1	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่เกิดพายุฝน หรือค่าระดับ ของสิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่เกิดพายุฝน มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
h_2	=	ค่าสูงสุดของค่าระดับ ณ ตำแหน่งที่ย้ายไป หรือค่าระดับของ สิ่งกีดขวางระหว่างแหล่งความชื้นและตำแหน่งที่ย้ายไป มีหน่วยเป็นเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

2) การปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ บริเวณที่เกิดพายุฝนและบริเวณที่จะเคลื่อนย้ายพายุฝนไป มีความลาดชันด้านหน้าเขาหรือด้านรับลมไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ โดยพิจารณาได้ดังนี้

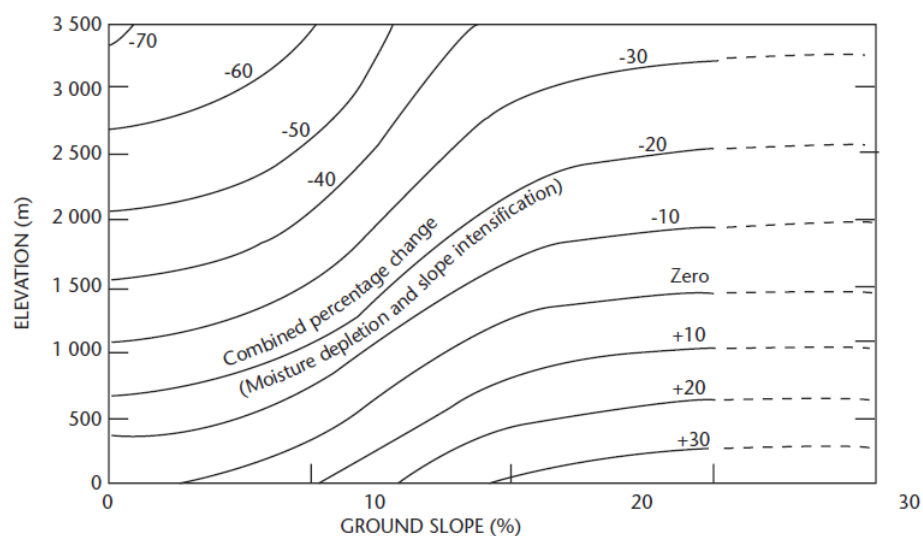
2.1) การเพิ่มขึ้นของระดับภูมิประเทศทำให้ปริมาณน้ำในบรรยากาศลดลง แต่ในทางกลับกันแนวเขา ระดับต่ำหรือพื้นที่ที่ยกตัวสูงขึ้นต่อเนื่องอาจจะเป็นตัวเร่งการพาความร้อนซึ่งจะเพิ่มปริมาณฝน (Schwarz, 1963) ได้ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนกับความลาดชันต่างๆ โดยใช้ข้อมูลฝนของพื้นที่ต่างๆ และสภาพภูมิประเทศของสถานที่เกิดฝน นำมาหาความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ ง.3-1 ซึ่งแสดงร้อยละของปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับความลาดชันของสภาพพื้นที่ และร้อยละปริมาณน้ำในบรรยากาศจากระดับน้ำทะเลถึงระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ จากนั้นได้ประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ เพื่อนำไปหาค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ของเกาะฮาวาย ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ ง.3-2 แสดงผลรวมของร้อยละปริมาณน้ำในอากาศที่หายไปกับร้อยละของฝนที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์

2.2) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิศาสตร์ต่อพลศาสตร์ของพายุ ทำได้โดยใช้การปรับแก้ของร้อยละของปริมาณฝนรายปีหรือฝนฤดูกาล และค่าดังกล่าวควรปรับแก้โดยค่าจำนวนวันที่ฝนตกมากกว่าค่าเริ่มต้น เช่น 6 ม.ม. เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากพายุขนาดเล็ก หรืออีกวิธีการหนึ่ง คือ ค่าปริมาณฝนที่คาบการเกิดและช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่น ปริมาณฝนที่คาบการเกิด 50 ปีช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาเนื่องจากการใช้ปริมาณฝนรายฤดูกาลหรือฝนรายปี

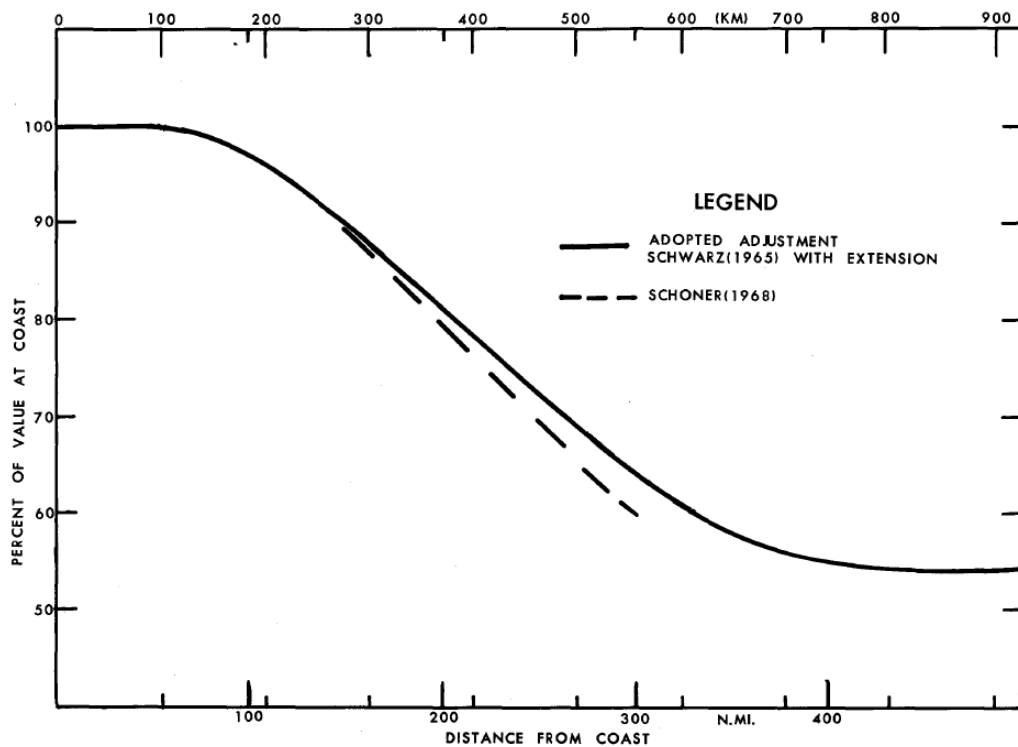
3) การปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล โดยอาศัยหลักการปริมาณฝนจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากชายทะเลหรือแหล่งความชื้น ซึ่งจากการศึกษาส่วนมากมักจะนำพายุที่เลือกศึกษา ซึ่งให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดในช่วงเวลา 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง ของพายุฝนที่เกิดที่ชายฝั่งมีค่าเท่ากับ 1 แล้วพิจารณาพื้นที่ที่ทำการย้ายว่าอยู่ใกล้หรือไกลทะเลแค่ไหน เพื่อจะได้ใช้ตรรกะปรับแก้เนื่องจากระยะทางที่เหมาะสมต่อไปเป็นที่รู้กันดีว่าพายุฝนในเขตร้อนชื้น (Tropical Storm Rainfall) จะลดความรุนแรงลงเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นดิน (Schwarz, 1965) ได้แสดงความสัมพันธ์ของการลดลงของปริมาณฝนของพายุฝนในเขตร้อนชื้นกับระยะทางจากชายฝั่งทะเล ดังรูปที่ ง.3-3



รูปที่ ง.3-1 แสดงร้อยละของปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับความลาดเทของสภาพพื้นที่ และร้อยละปริมาณน้ำในบรรยากาศจากระดับน้ำทะเลถึงระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์ (Schwarz, 1963)



รูปที่ ง.3-2 แสดงผลรวมของร้อยละปริมาณน้ำในอากาศที่หายไปกับร้อยละของฝนที่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23 องศาเซลเซียส ที่ระดับ 1,000 มิลลิบาร์

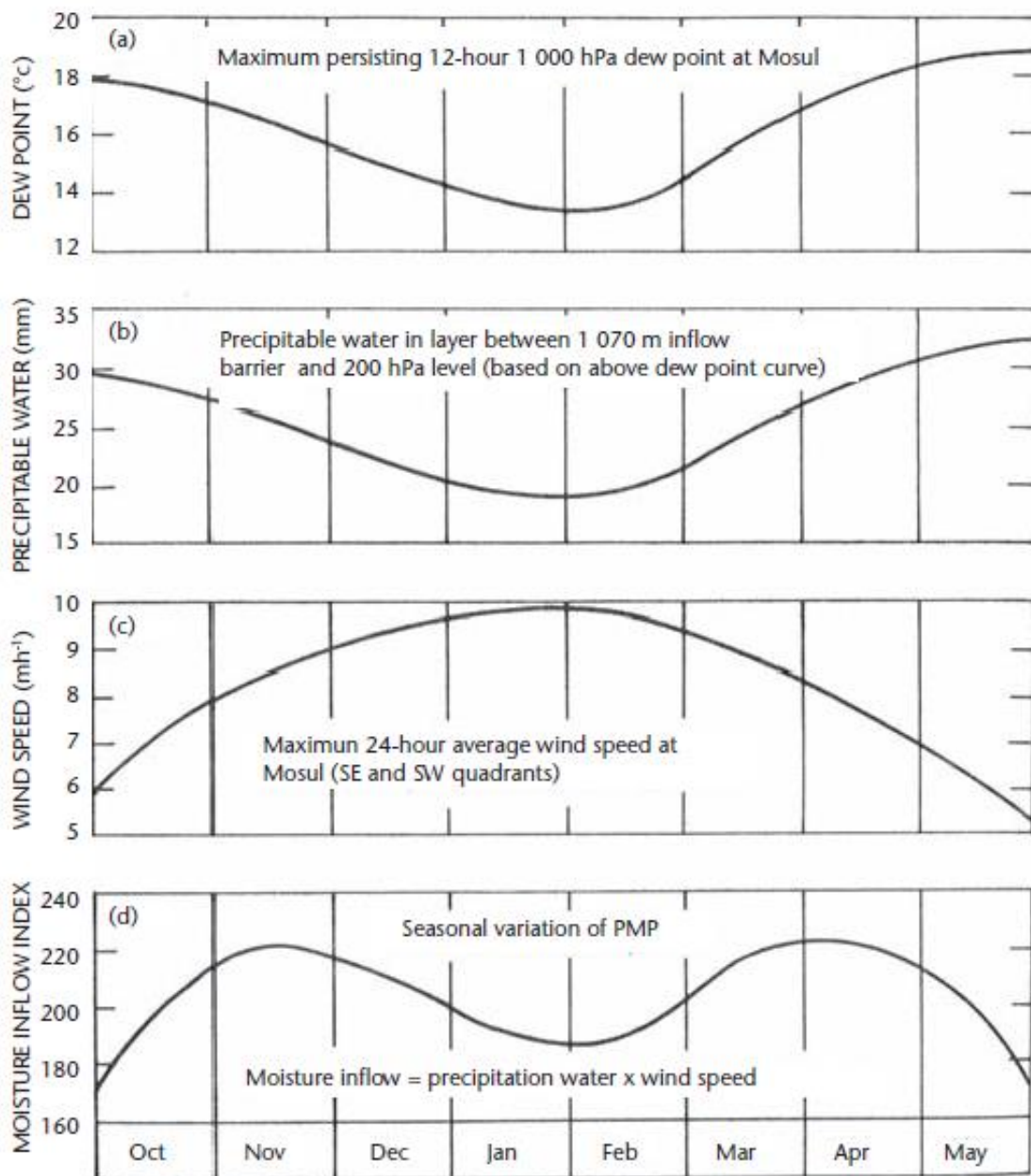


รูปที่ ง.3-3 ความสัมพันธ์ของการลดลงของปริมาณฝนของพายุฝนในเขตร้อนขึ้นกับระยะทางจากชายฝั่งทะเล

4) การปรับแก้เนื่องจากละติจูด จากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ขนาดของพายุฝนจะค่อยๆ ลดลงเมื่ออยู่ทางเหนือของละติจูด 30° เหนือ และพายุฝนจะมีค่าสูงสุดที่ละติจูด 15° เหนือ โดยศักยภาพของพายุฝนจะลดลง 2.5% ต่อ ละติจูด 30° ระหว่างละติจูด 15° เหนือถึง 30° เหนือสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตละติจูดดังกล่าว จึงต้องทำการปรับแก้เนื่องจากละติจูดด้วย

5) การปรับแก้เนื่องจากฤดูกาล เนื่องจากในบางท้องถิ่นบางแห่งฤดูกาลที่ต่างกัน ชนิดของพายุฝนที่มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนอาจต่างกัน และสภาพพื้นที่แตกต่างกัน ในบางประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งมีเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ อาจเกิดจากการรวมตัวกันของปริมาณฝนและการละลายของน้ำแข็ง ดังนั้นการปรับแก้เนื่องจากฤดูกาลจะเข้ามามีบทบาทและจำเป็นต้องประเมินช่วงเวลาวิกฤตดังกล่าวสำหรับการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ด้วย เช่น การทำพายุฝนในช่วงเดือนมิถุนายนทำให้ได้ค่าปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ แต่อัตราการละลายของน้ำแข็งสูงสุดเกิดในช่วงเดือนเมษายน จำเป็นต้องนำมาประเมินร่วมกับการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ที่จะเกิดในช่วงเดือนเมษายนด้วยเพื่อหาช่วงเวลาวิกฤตที่สุดของปี

ในบางครั้งการปรับแก้เนื่องจากฤดูกาลจะเข้ามาพิจารณาในกรณีที่ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดที่เกิดไม่ได้เกิดขึ้นในช่วงฤดูมรสุม การปรับแก้จะใช้การพิจารณาทิศทางและความเร็วลมร่วมด้วยเป็นการพิจารณากระแสความชื้นที่ไหลเข้า (Moisture Inflow) มาในพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ Tigris ซึ่งในฤดูร้อนมีฝนน้อยและอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมงสูงสุดในช่วงฤดูหนาวมีค่าต่ำซึ่งพายุส่วนใหญ่เกิดในช่วงนี้ และจากแผนที่สภาพอากาศแสดงให้เห็นว่าพายุฝนขนาดใหญ่เกิดจากลมทางด้านตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำTigris จากสถิติข้อมูลความเร็วลมมีค่าสูงสุดในช่วงมกราคมและกุมภาพันธ์ การพิจารณากระแสความชื้นที่ไหลเข้า (Moisture-inflow index) แสดงดังรูปที่ ง.3-4 หาได้จากการคูณค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้กับความเร็วลมสูงสุด ผลที่ได้ พบว่า ค่าสูงสุด 2 ค่า เกิดขึ้นในช่วงเดียวกับช่วงที่เกิดพายุฝนสูงสุดที่เคยเกิด

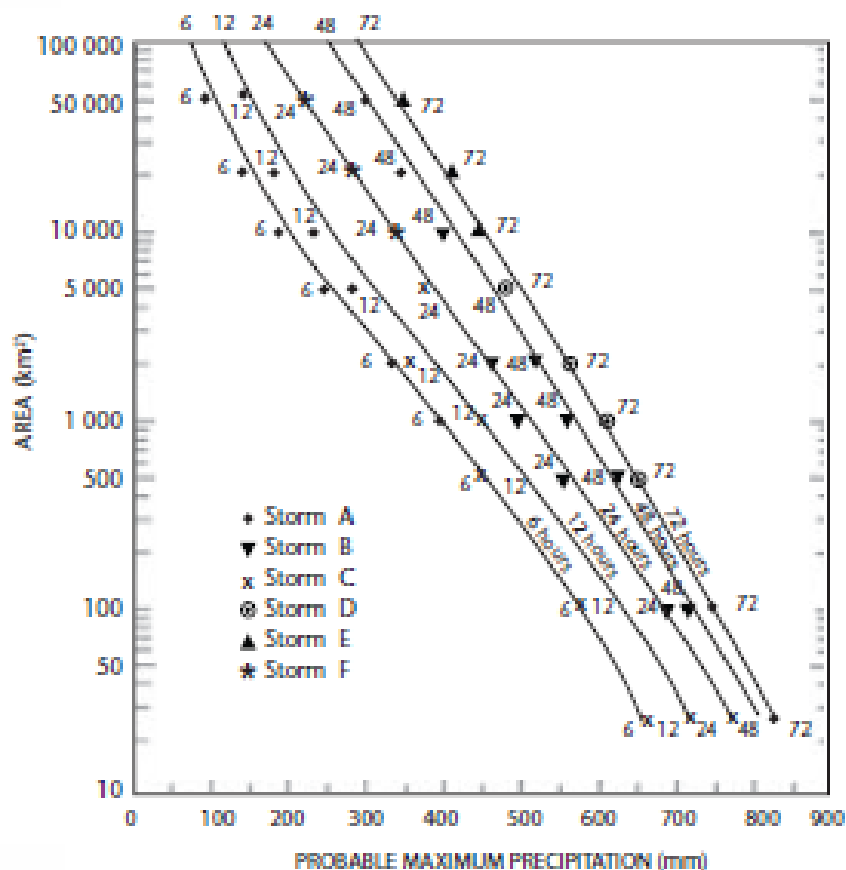


รูปที่ ง.3-4 การประยุกต์หาตัวปรับแก้เนื่องจากฤดูกาลโดยพิจารณากระแสความชื้นที่ไหลเข้า (Moisture-inflow index) ในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ Tigris

ง.3.3 การทำเส้นโค้งทางด้านมาก (Envelopment Curve)

WMO (2009) ในบางครั้งการพิจารณาพายุฝนเพียงไม่กี่ลูกนั้นอาจไม่เพียงพอต่อความเชื่อมั่นว่าค่าที่ได้รับนั้นเป็น PMP หรือในทางกลับกันก็เป็นการยากที่จะบอกว่าต้องใช้พายุฝนจำนวนกี่ลูกถึงจะเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ แต่การทำเส้นโค้งทางด้านมากของปริมาณฝนหลายค่าที่ได้ทำให้เป็นค่าสูงสุดและย้ายมายังพื้นที่ศึกษาที่มีความน่าเชื่อถือที่จะเป็นค่าของ PMP ซึ่งเป็นจริงเนื่องจากไม่มีพายุฝนไหนที่จะให้ค่าปริมาณฝนสูงสุดในทุกช่วงเวลาและทุกขนาดพื้นที่ จากเหตุผลดังกล่าวจึงนับได้ว่าการทำเส้นโค้งทางด้านมากเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ขาดไม่ได้สำหรับการ

ประเมิน PMP การประเมิน PMP ที่ไม่ได้ทำเส้นโค้งทางด้านมากและการทำเส้นโค้งราบเรียบของขนาดพื้นที่และ
ช่วงเวลา อาจจะได้ไม่แสดงผล PMP ที่ดี รูปที่ ง.3-5 แสดงตัวอย่างการทำเส้นโค้งทางด้านมากจากพายุฝนหลายลูก ซึ่ง
การทำเส้นโค้งทางด้านมากเป็นขั้นตอนการเลือกค่าที่สูงที่สุดจากชุดข้อมูลพายุฝน



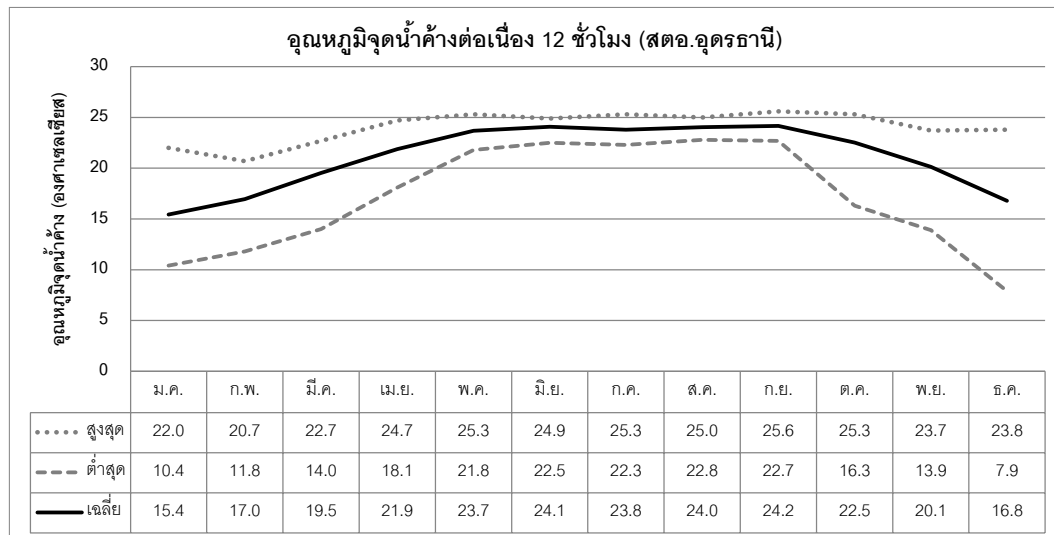
รูปที่ ง.3-5 ตัวอย่างการทำเส้นโค้งทางด้านมากจากพายุฝนหลายลูกที่ช่วงเวลาและขนาดพื้นที่ต่าง ๆ

ง.4 ผลการศึกษา

ง.4.1 อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง

อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ได้ถูกใช้เพื่อเป็นตัวแทนในการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ
ถ้าในบรรยากาศมีปริมาณน้ำอยู่มากก็จะมีศักยภาพในการเกิดฝนที่มากขึ้นด้วย บริเวณพื้นที่จังหวัดอุดรธานี มีสถานี
ตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้ทำการตรวจวัดและจดบันทึกค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2524 ถึง
ปัจจุบัน ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าสูงอยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม-
กันยายน ดังรูปที่ ง.4-1 ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับช่วงเวลาที่เกิดพายุฝนของพื้นที่ ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการปรับแก้เนื่องจาก
ฤดูกาล

การวิเคราะห์ห้รอบการเกิดซ้ำโดยวิธี Gumbel Distribution ของอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ในช่วงเดือน พฤษภาคม-กันยายน พบว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 ปี มีค่า 26.3 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่จังหวัดอุดรธานี



รูปที่ ง.4-1 อุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง (สถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี)

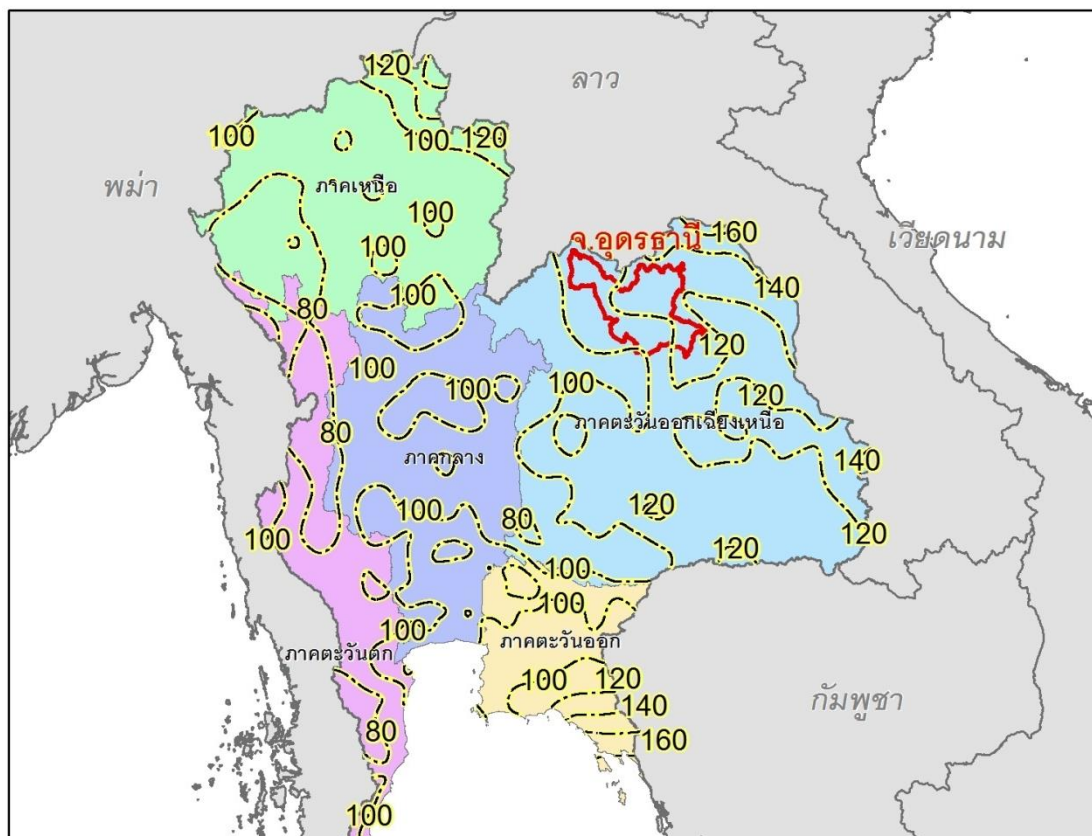
ง.4.2 ดรรชนีปรับแก้

ดรรชนีปรับแก้สำหรับประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ จากหัวข้อ ง.3.2 ได้จัดทำเป็นแผนที่ดรรชนีปรับแก้ ได้แก่

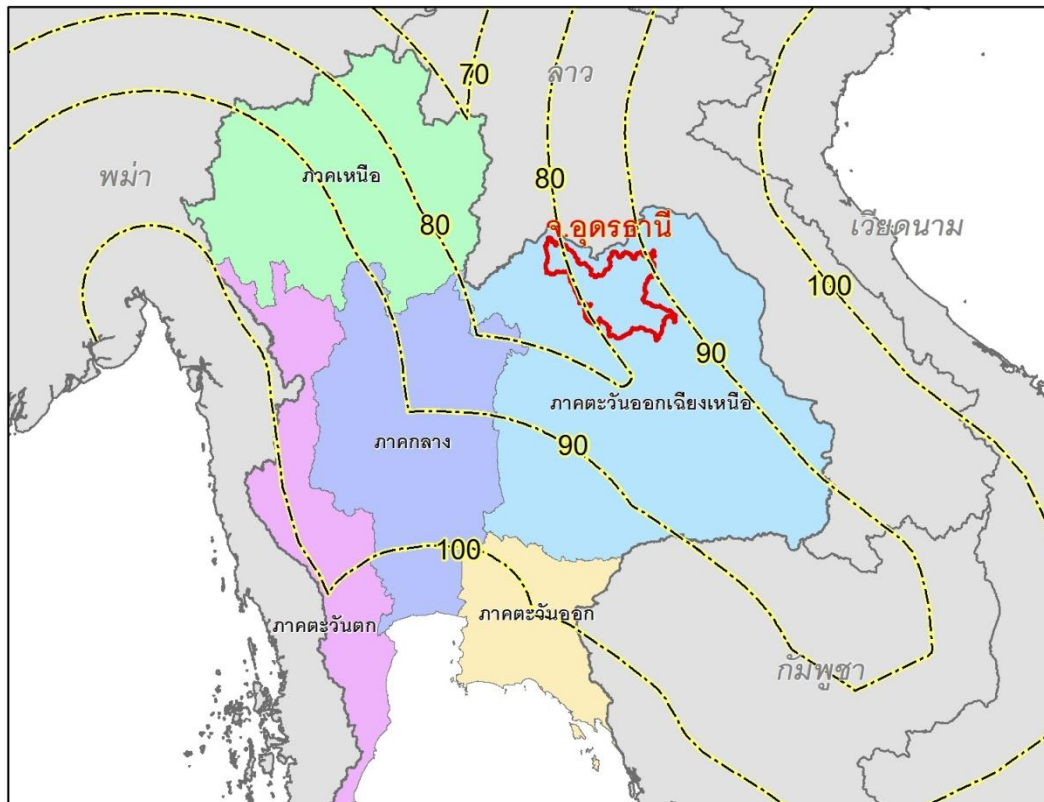
- 1) การปรับแก้เนื่องจากความชื้น แสดงไว้ในตารางที่ ง.4-1
- 2) การปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ พิจารณาใช้การปรับแก้ของร้อยละของปริมาณฝนรายปีหรือฝนฤดูกาล ด้วยค่าจำนวนวันที่ฝนตก โดยแสดงเป็นค่าร้อยละของปริมาณฝนในพื้นที่ราบ แสดงดังรูปที่ ง.4-2
- 3) การปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล แสดงดังรูปที่ ง.4-3
- 4) การปรับแก้เนื่องจากละติจูด แสดงดังรูปที่ ง.4-4
- 5) สำหรับการปรับแก้เนื่องจากฤดูกาล เนื่องจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง มีค่าสูงอยู่ในช่วงเดือน พฤษภาคม-กันยายน ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับช่วงเวลาที่เกิดพายุฝนของพื้นที่ ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการปรับแก้เนื่องจากฤดูกาล และสรุปค่าปรับแก้ของพายุสูงสุด 10 อันดับแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย และทำการย้ายมาที่อำเภอเมืองอุดรธานี แสดงดังตารางที่ ง.4-1

ตารางที่ ง.4-1 ค่าปรับแก้สำหรับพายุสูงสุด 10 ลูกแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ทำการ
ย้ายมาที่อำเภอเมืองอุดรธานี

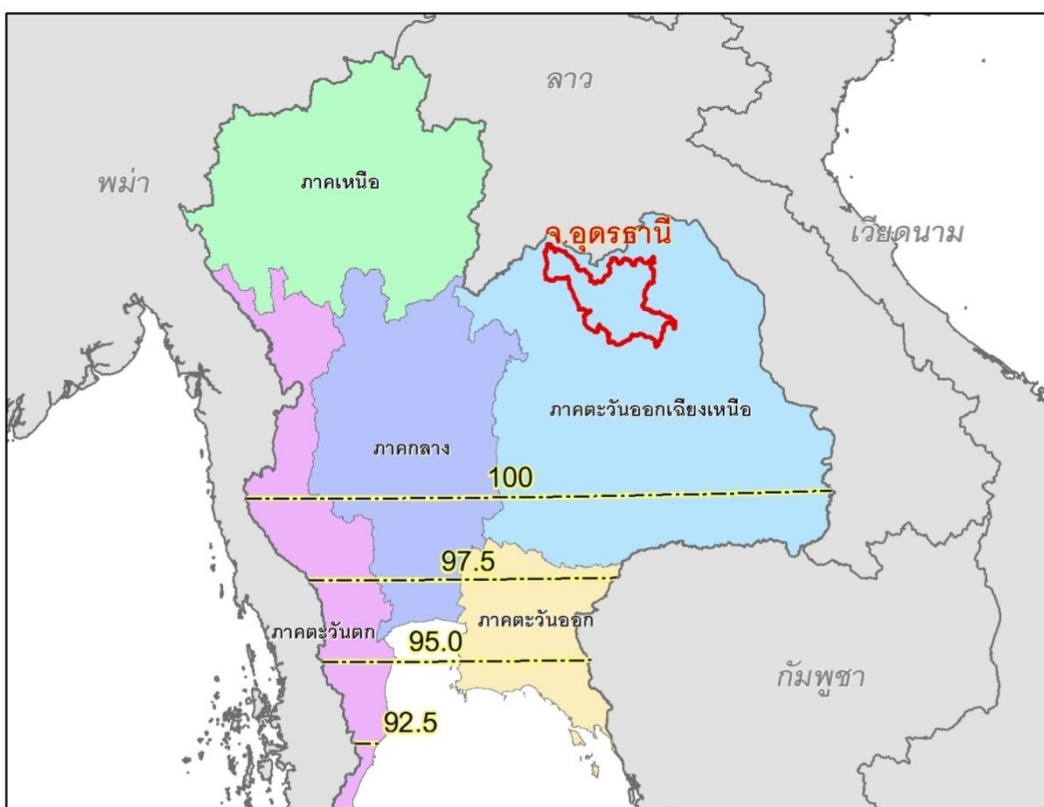
พายุฝน	วันที่เกิด	สถานี ฝนที่ เกิด ค่าสูงสุด	ระดับ สถานี (ม.รทก.)	ระดับ สังเกต ขวาง (ม.รทก.)	อุณหภูมิ จุด น้ำค้างที่ 1000 hPa	ปริมาณน้ำ ในอากาศ สูงสุด (มิลลิเมตร)	ดัชนีปรับแก้ ณ ตำแหน่งที่เกิด			ดัชนีปรับแก้สำหรับการย้ายไปที่ จังหวัดอุดรธานี					
							ระยะทาง จากทะเล	ละติจูด	สภาพ ภูมิ ประเทศ	ความชื้น	ระยะทาง จากทะเล	ละติจูด	สภาพ ภูมิ ประเทศ	การ ปรับแก้ เนื่องจาก ฤดูกาล	รวม
พายุไต้ฝุ่น VAE	21 - 23 ต.ค. 2495	06032	9	0	24.5	77.29	100	93.7	155.7	1.17	0.84	1.07	0.80	-	0.84
พายุดีเปรสชัน	- 28 ส.ค. 2501	18090	250	220	24.66	72.94	73.4	100	100	1.24	1.14	1.00	1.24	-	1.75
พายุดีเปรสชัน	2 - 4 ต.ค. 2503	66032	18	0	23.86	72.97	100	91.9	150	1.23	0.84	1.09	0.83	-	0.93
พายุไต้ฝุ่น TILDA	21 - 23 ก.ย. 2507	49052	141	220	24.71	73.91	82.8	100	121	1.22	1.01	1.00	1.03	-	1.27
พายุดีเปรสชัน	3 - 4 มิ.ย. 2515	67192	106	220	24.37	71.66	91.7	100	138.6	1.26	0.91	1.00	0.90	-	1.03
พายุไต้ฝุ่น ELSIE	5 - 7 ก.ย. 2515	32052	7	0	24.38	76.57	100	97.8	103.9	1.18	0.84	1.02	1.20	-	1.21
พายุดีเปรสชัน	14 - 16 ส.ค. 2517	11230	184	220	24.64	73.43	90	100	112.9	1.23	0.93	1.00	1.10	-	1.26
พายุดีเปรสชัน	7 - 9 ต.ค. 2517	09150	11	0	24.26	75.71	100	94.3	131.5	1.19	0.84	1.06	0.95	-	1.01
พายุโซนร้อน VERNON	10 - 12 มิ.ย. 2527	70180	285	400	25.62	76.12	78.2	100	90	1.18	1.07	1.00	1.38	-	1.74
พายุโซนร้อน IRA	2 - 4 ต.ค. 2533	42280	5	0	23.55	71.22	100	98.3	104.2	1.27	0.84	1.02	1.19	-	1.29
พายุไต้ฝุ่น FRED	18 - 19 ส.ค. 2534	36172	115	0	24.34	73.84	86.2	100	104.4	1.22	0.97	1.00	1.19	-	1.41
พายุดีเปรสชัน TD 3	10 - 12 ก.ย. 2548	13582	64	0	23.65	70.56	100	97.1	94.1	1.28	0.84	1.03	1.32	-	1.46



รูปที่ ง.4-2 การปรับแก้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศ



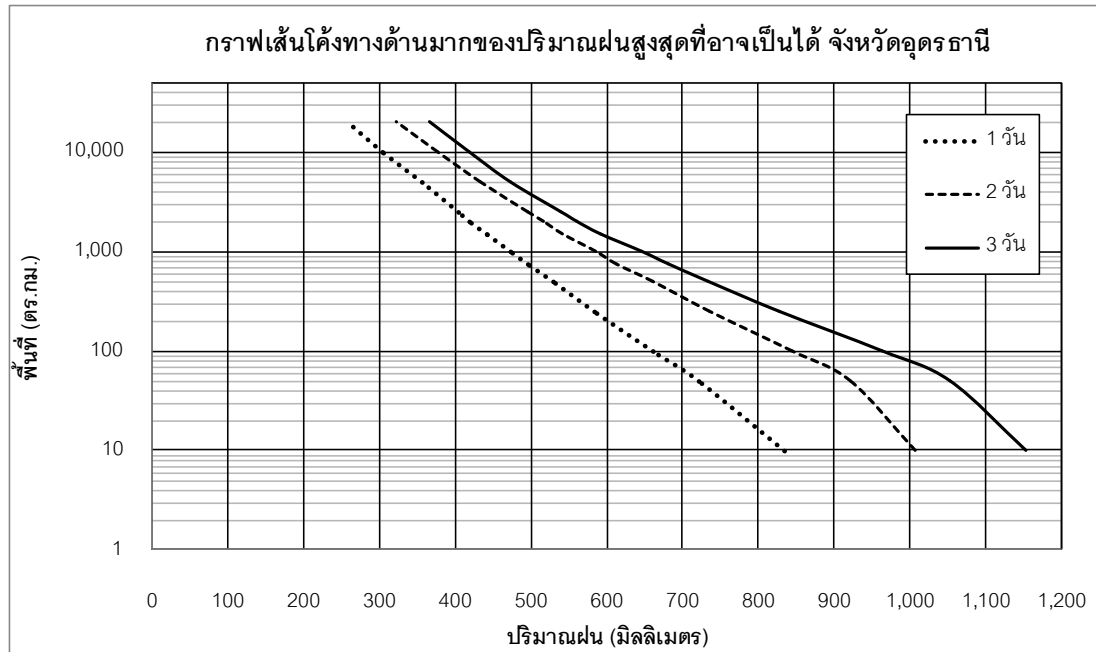
รูปที่ ง.4-3 การปรับแก้เนื่องจากระยะทางจากทะเล



รูปที่ ง.4-4 การปรับแก้เนื่องจากละติจูด

ง.4.3 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้

จากข้อมูลปริมาณฝนสูงสุด สำหรับช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน พายุสูงสุด 10 อันดับแรก และค่าปรับแก้ สำหรับพายุสูงสุด 10 อันดับแรก ทำการย้ายพายุฝนมาที่ตำแหน่งอำเภอเมืองอุดรธานี จากนั้นดำเนินการสร้างเส้นโค้ง ทางด้านมากเพื่อทำให้เป็นค่าสูงสุด แสดงปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำ ขนาดต่างๆ ของอำเภอเมืองอุดรธานี ไว้ในรูปที่ ง.4-5 และตารางที่ ง.4-2



รูปที่ ง.4-5 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของพื้นที่อำเภอเมือง
อุดรธานีและข้างเคียง

ตารางที่ ง.4-2 ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นได้ ช่วงเวลา 1 ถึง 3 วัน สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดต่างๆ ของอำเภอเมือง
อุดรธานีและข้างเคียง

พื้นที่ ตร.กม.	1 วัน	2 วัน	3 วัน
10	835	1007	1153
50	722	922	1053
100	661	844	964
250	585	736	828
500	530	661	735
750	497	613	681
1,000	474	586	647
1,500	443	542	591
2,000	420	516	559
2,500	405	495	539
5,000	356	434	471
10,000	305	377	417
20,000	258	323	366

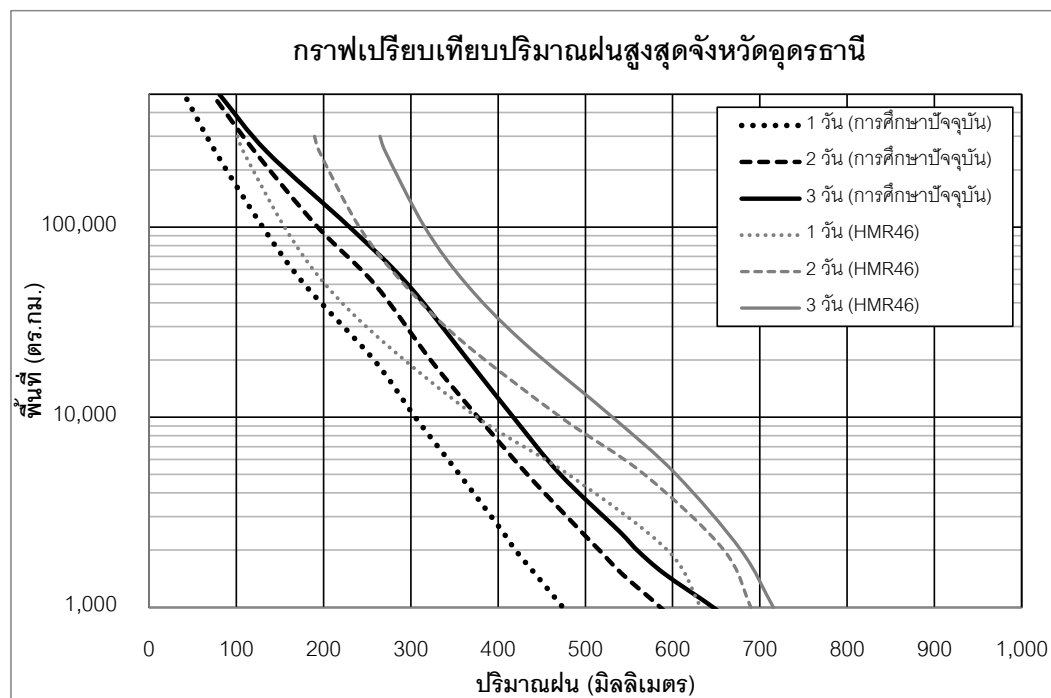
ง.4.4 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ

การตรวจสอบและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของอำเภอเมืองอุดรธานี เพื่อให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือ ได้ทำการเปรียบเทียบโดย

1) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์คาบการเกิด จากการวิเคราะห์คาบการเกิดปริมาณฝนสูงสุดของสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี พบว่า ที่ขนาดพื้นที่ 1,000 ตารางกิโลเมตร (พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี 1,095 ตารางกิโลเมตร) ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ ช่วงเวลา 1, 2 และ 3 วัน มีค่า 474 586 และ 647 มิลลิเมตร ตามลำดับ เทียบได้กับคาบการเกิดมากกว่า 10,000 ปี สำหรับทั้ง 3 ช่วงเวลา

2) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้ดำเนินการไปแล้วในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงตอนล่าง ซึ่งพื้นที่จังหวัดอุดรธานีได้มีการประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ไว้ในรายงาน HMR46, Probable Maximum

Precipitation, Mekong River Basin, 1970 ของ U.S. Department of Commerce and U.S. Department of the Army การศึกษาดังกล่าวได้ทำการย้ายพายุฝนมาจากสหรัฐอเมริกาภายใต้เงื่อนไขความสอดคล้องกันของสภาพพื้นที่ สภาพอุตุนิยมวิทยา และลักษณะการเคลื่อนตัวของพายุฝน ประกอบกับพายุฝนที่มีการจดบันทึกในขณะนั้นของลุ่มน้ำโขงมีน้อย ผลการเปรียบเทียบ แสดงไว้ดังรูปที่ ง.4-6 พบว่า ผลการศึกษาในครั้งนี้ สำหรับช่วงขนาดพื้นที่ 100-100,000 ตร.กม. มีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาเดิมของลุ่มน้ำโขงตอนล่างร้อยละ 70-90 เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยได้มีการจดบันทึกข้อมูลพายุฝนต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 64 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2494-2556 การศึกษานี้จึงใช้แต่ข้อมูลพายุฝนที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่มาวิเคราะห์ ซึ่งอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ในครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าการศึกษาเดิม



รูปที่ ง.4-6 เปรียบเทียบปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของพื้นที่ศึกษากับผลการศึกษาของลุ่มน้ำโขงตอนล่าง

ง.5 สรุปและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันปริมาณฝนสูงสุดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปและคาดเดาได้ยากขึ้นจากอิทธิพลของภาวะโลกร้อน ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการประเมินภาวะน้ำท่วมสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงและตัวเมืองอุดรธานี เพื่อให้ทราบถึงสภาวะน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นในสถานการณ์ (Scenario) ต่างๆ ต่อไป การศึกษาได้ใช้วิธีการทำพายุฝนมากที่สุดและการเคลื่อนย้ายพายุฝน จากพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2494 –2556 จำนวน 129 ลูก มีพายุที่พัดผ่านจังหวัดอุดรธานี จำนวน 33 ลูก พบว่า พายุโซนร้อน "อุซางิ" วันที่ 9-11 สิงหาคม พ.ศ.2544 มีปริมาณฝนสูงสุด ณ สถานีตรวจวัดอากาศ จังหวัดอุดรธานี โดยปริมาณฝนสูงสุดช่วงเวลา 3 วัน มีค่า 309.30 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าพายุที่พัดผ่านภายนอกพื้นที่จังหวัดอุดรธานี จึงได้พิจารณาพายุสูงสุด 10 อันดับแรก ของพายุที่มีอิทธิพลกับพื้นที่ตอนบนของประเทศไทย ทั้ง 129 ลูก เพื่อประเมินปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ในเขตชุมชนอำเภอเมืองอุดรธานีและพื้นที่ข้างเคียง สำหรับช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน จากผลการศึกษา ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ของอำเภอเมืองอุดรธานี (พื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี 1,095 ตารางกิโลเมตร) ที่ขนาดพื้นที่ 1,000 ตารางกิโลเมตร ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ สำหรับช่วงเวลา 1 2 และ 3 วัน มีค่า 474 586 และ 647 มิลลิเมตรตามลำดับ

ภาคผนวก จ

การสำรวจข้อมูลภูมิประเทศ

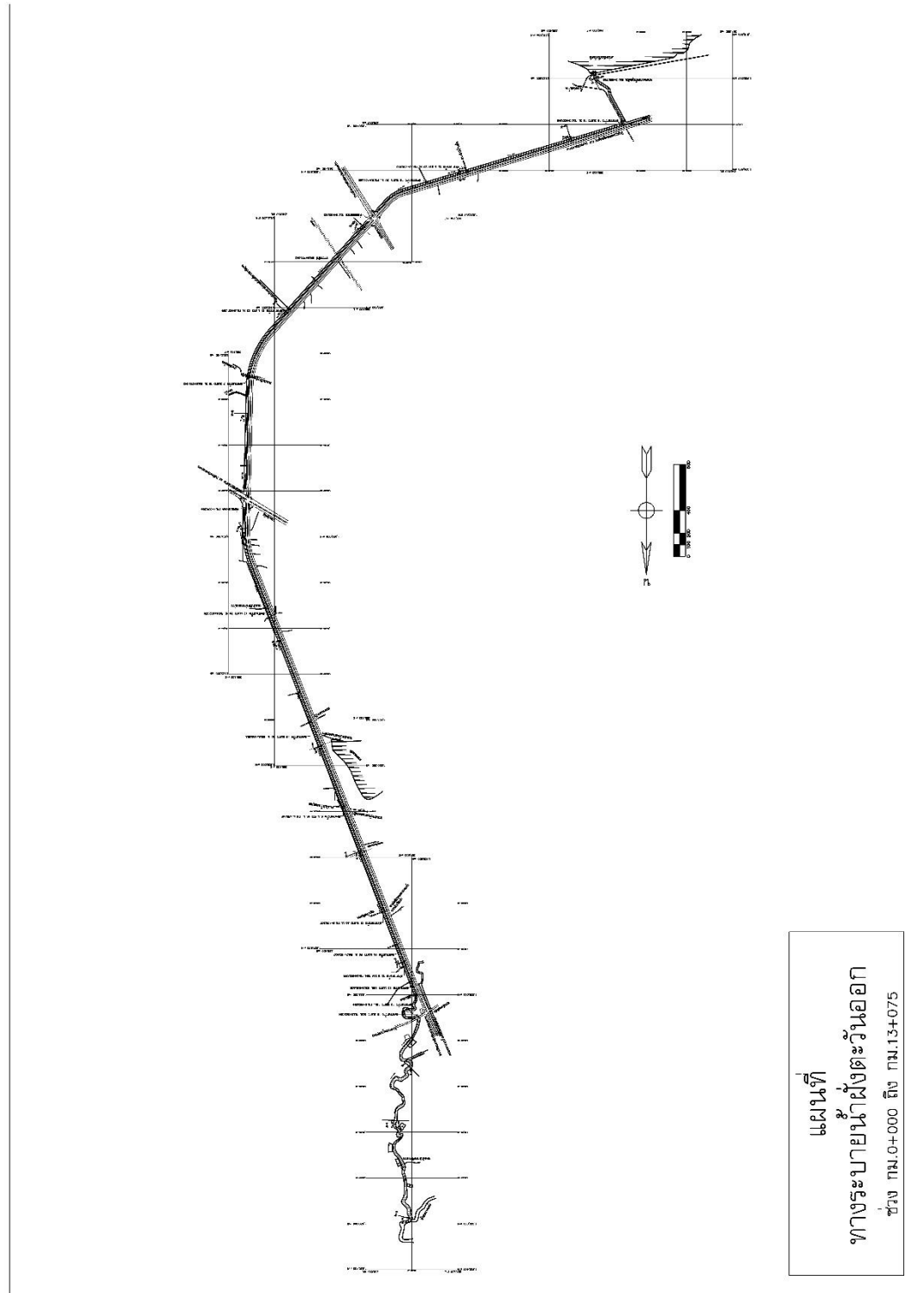
จ.1) การสำรวจข้อมูลภูมิประเทศเบื้องต้น

จากการออกสำรวจภาคสนาม ได้ทำการรวบรวมข้อมูลกายภาพของทางน้ำโดยรอบของพื้นที่เมืองในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี ซึ่งจากการออกสำรวจทางน้ำเบื้องต้น และการสอบถามข้อมูลจากหน่วยงานราชการต่าง ๆ และองค์กรปกครองท้องถิ่น สามารถสรุปเส้นทางการระบายน้ำที่มีความสำคัญต่อระบบระบายน้ำของพื้นที่โดยรอบเขตเทศบาลนครอุดรธานี จะแบ่งเป็นสองเส้นทางหลักดังนี้

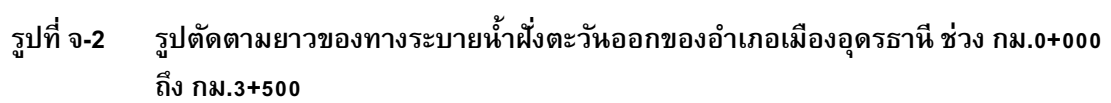
- ทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี เริ่มต้นจาก อ่างเก็บน้ำบ้านจั่น เลียบถนนวงแหวน ลงสู่ห้วยดาน สิ้นสุดที่จุดบรรจบกับห้วยมั่ง และลงสู่ห้วยหลวง (รูปที่ จ-1)
- ทางระบายน้ำฝั่งทิศตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี เริ่มต้นจากอ่างเก็บน้ำกุดลิงจ้อ ผ่านบ้านหนองหัวหมู เลียบถนนวงแหวน สิ้นสุดที่อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง และลงสู่ห้วยหลวง (รูปที่ จ-9 ถึง จ-10)

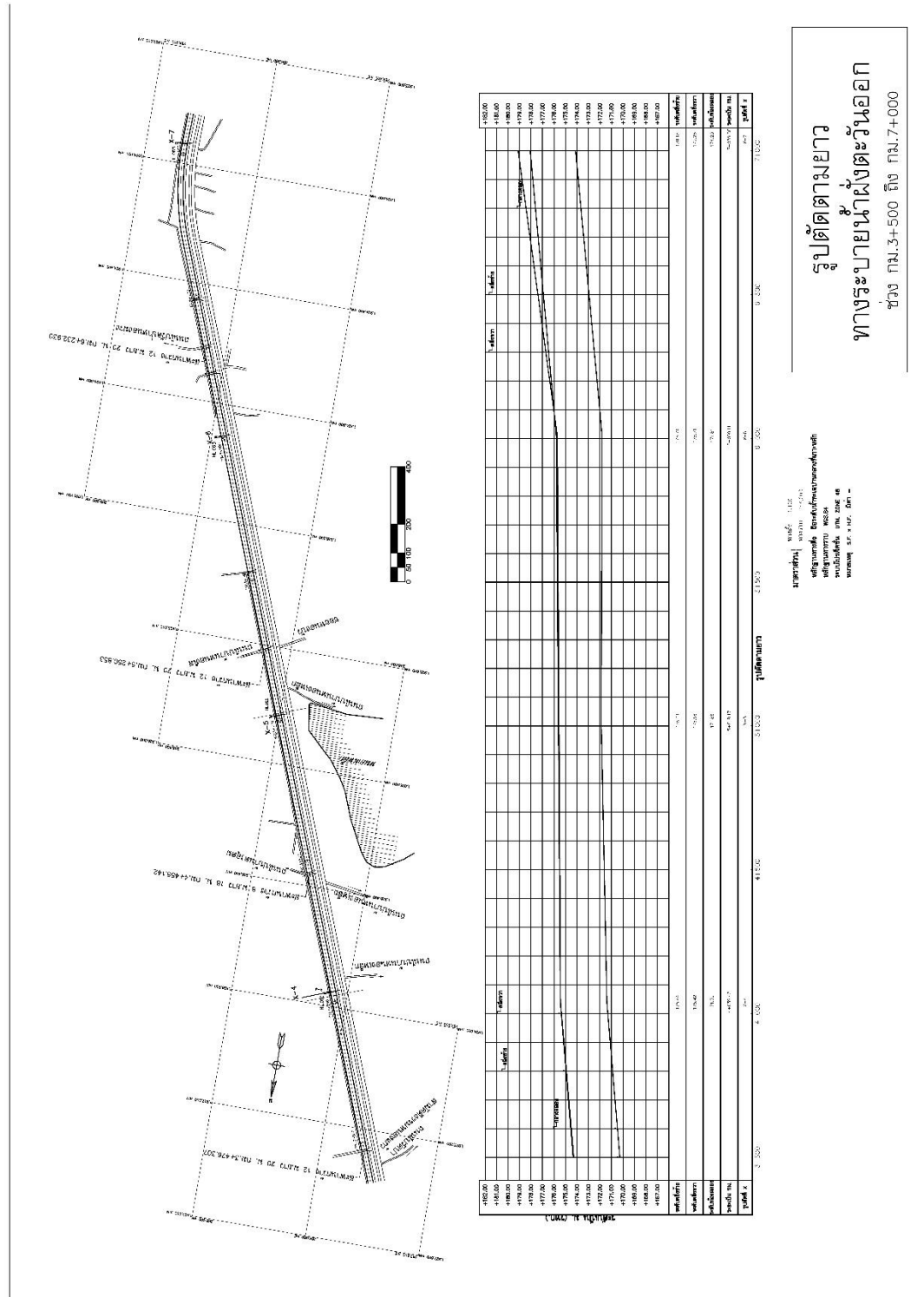
และจากการสอบถามข้อมูลจากโครงการชลประทานอุดรธานี สามารถรวบรวมข้อมูลรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำทั้งสองเส้นได้ ดังนี้

- รูปที่ จ-2 ถึง จ-5 แสดงข้อมูลรูปตัดตามยาวของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออก
- รูปที่ จ-6 ถึง จ-8 แสดงข้อมูลรูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออก
- รูปที่ จ-11 ถึง จ-18 แสดงข้อมูลรูปตัดตามยาวของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตก
- รูปที่ จ-19 ถึง จ-25 แสดงข้อมูลรูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตก

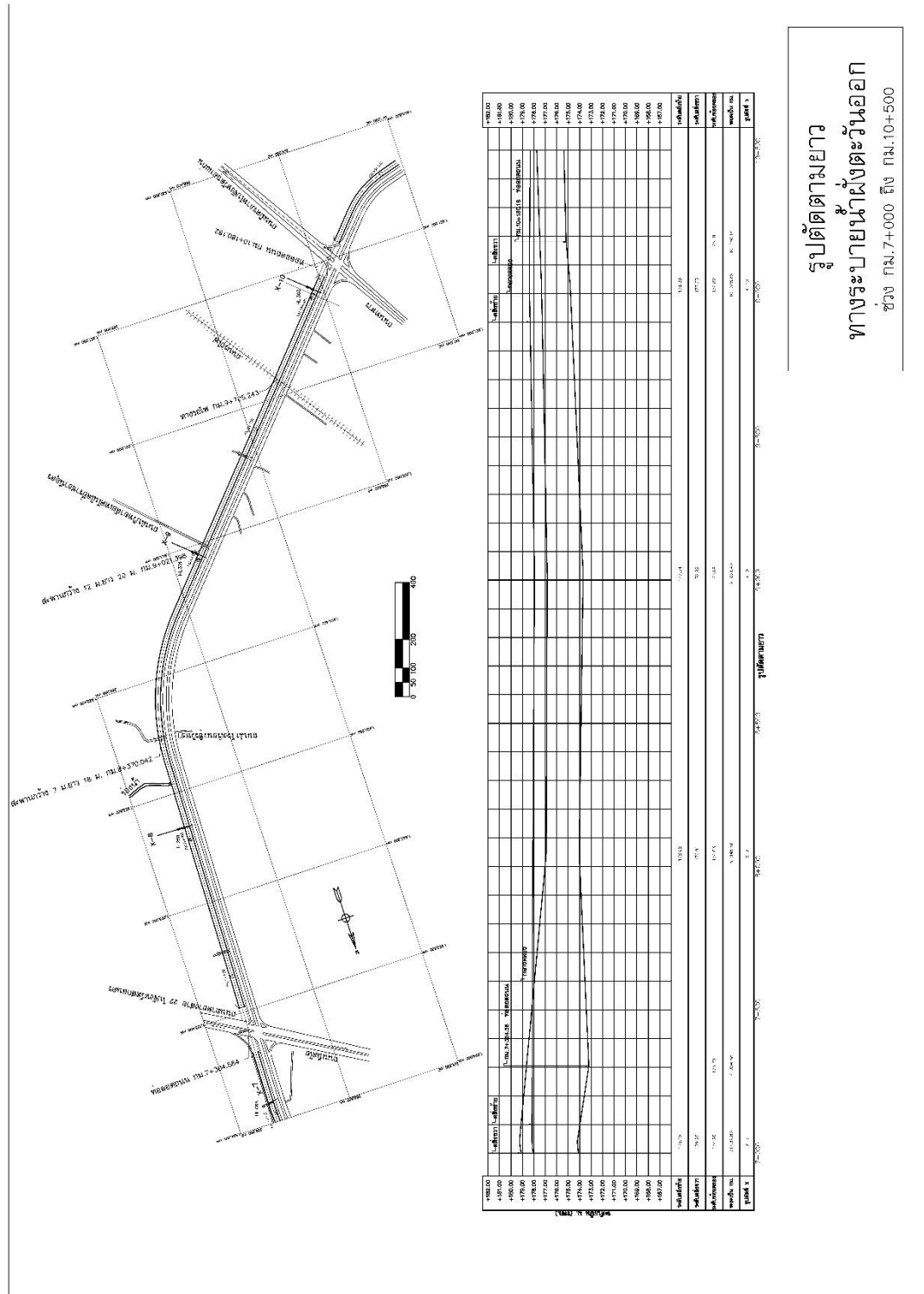


รูปที่ จ-1 ทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี

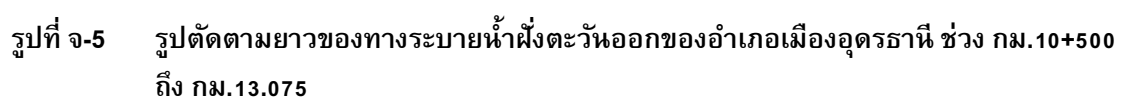


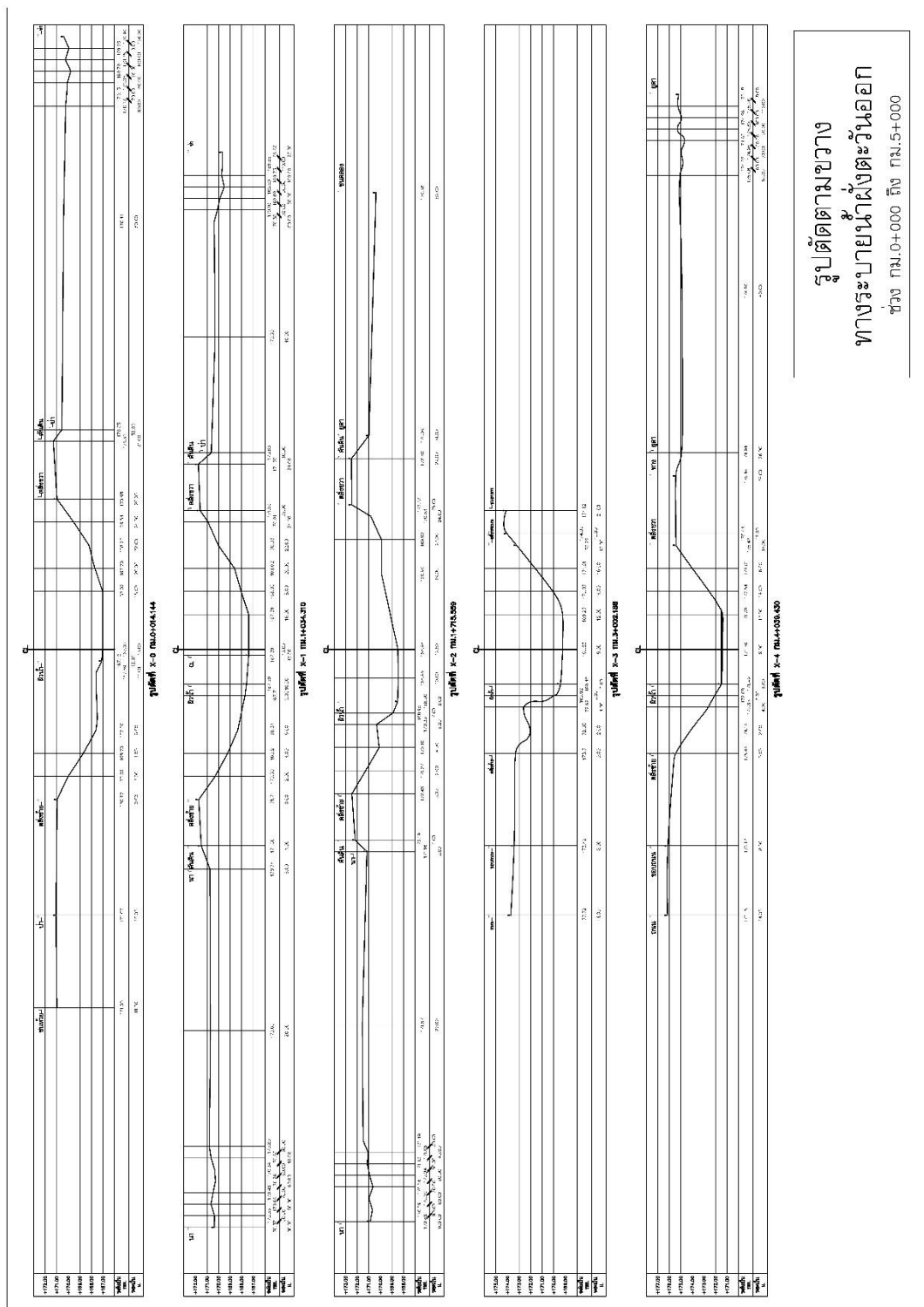


รูปที่ จ-3 รูปตัดตามยาวของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.3+500 ถึง กม.7+000

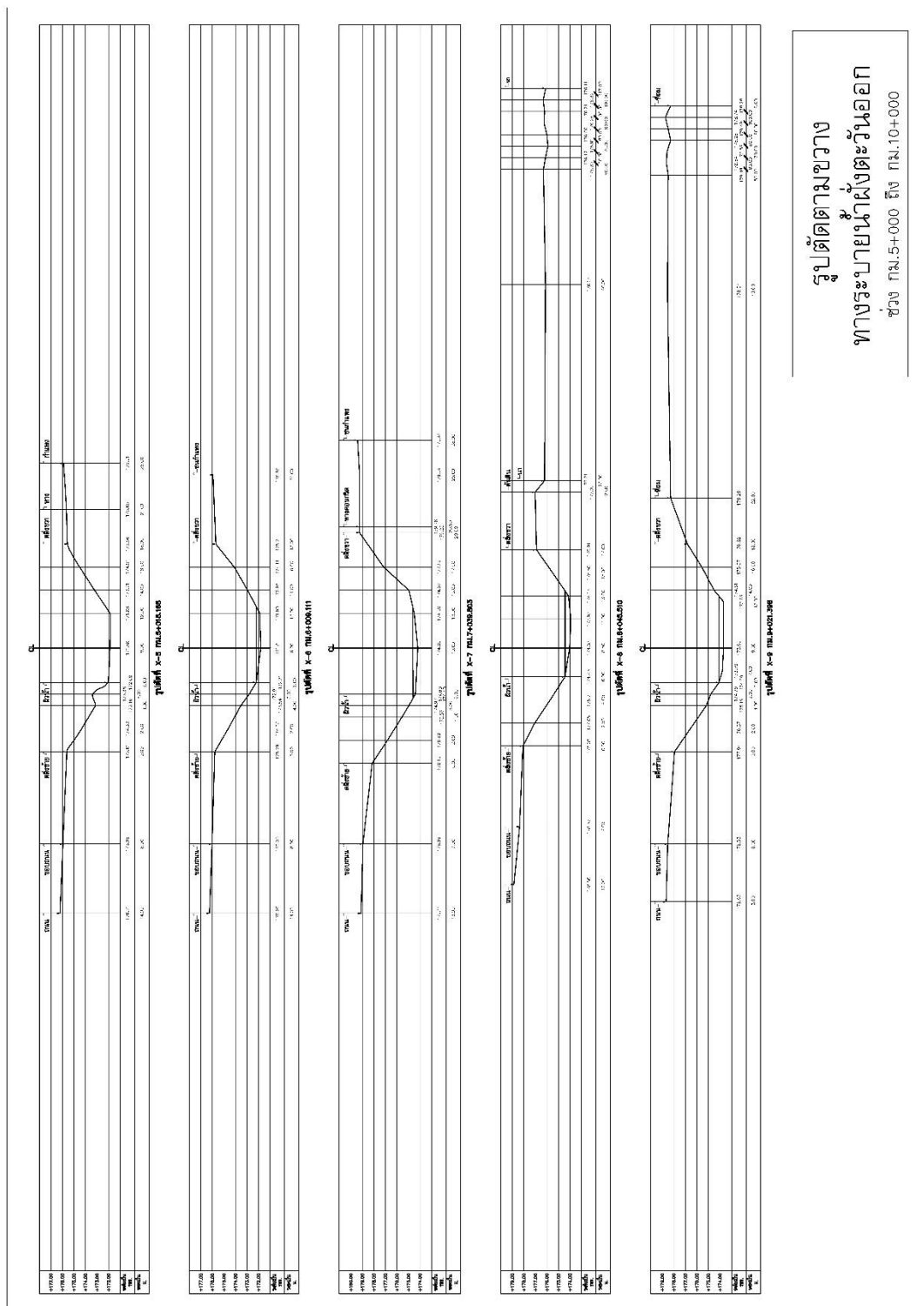


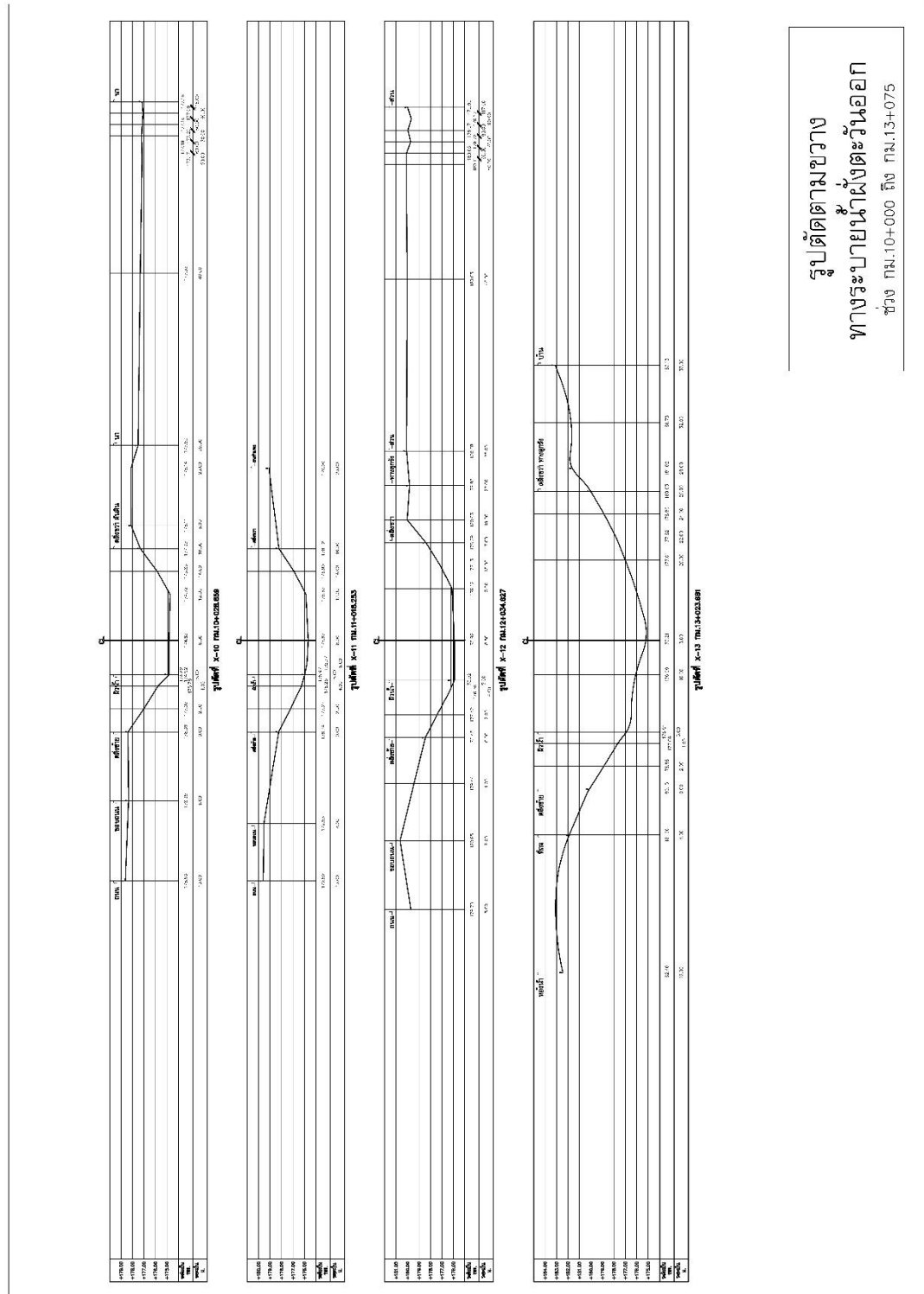
รูปที่ จ-4 รูปตัดตามยาวของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.7+000 ถึง กม.10+500



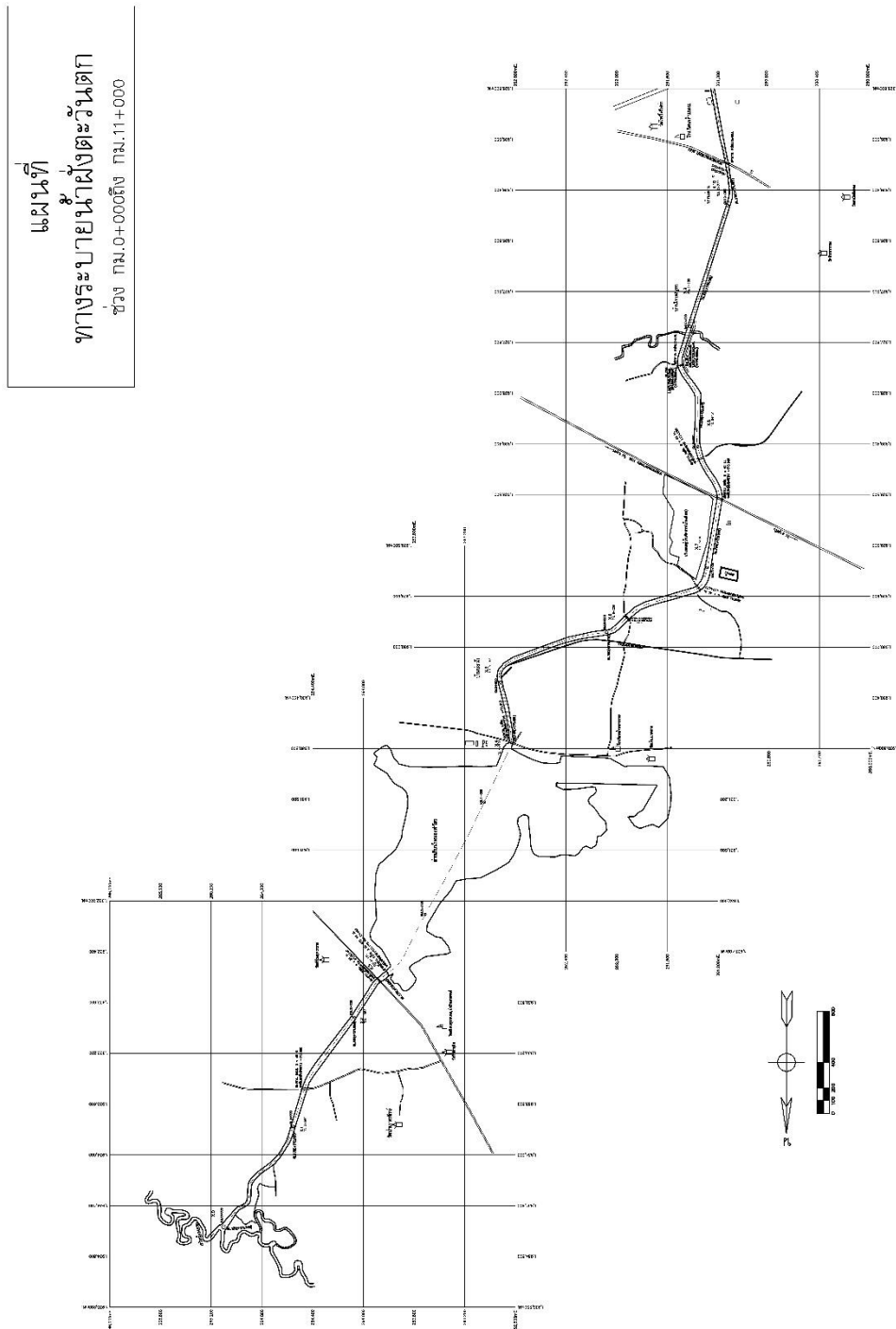


รูปที่ จ-6 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.0+000 ถึง กม.5+000

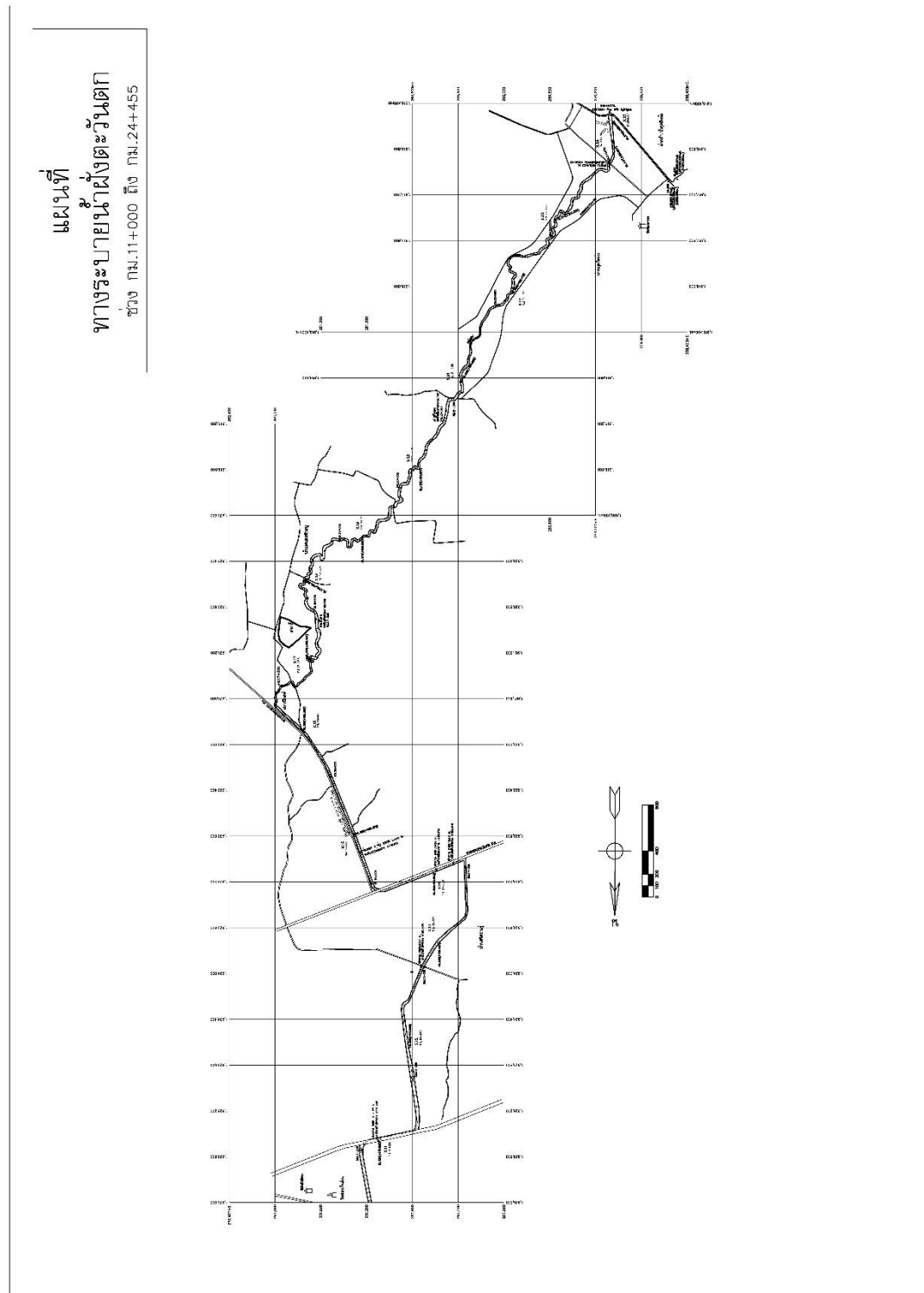




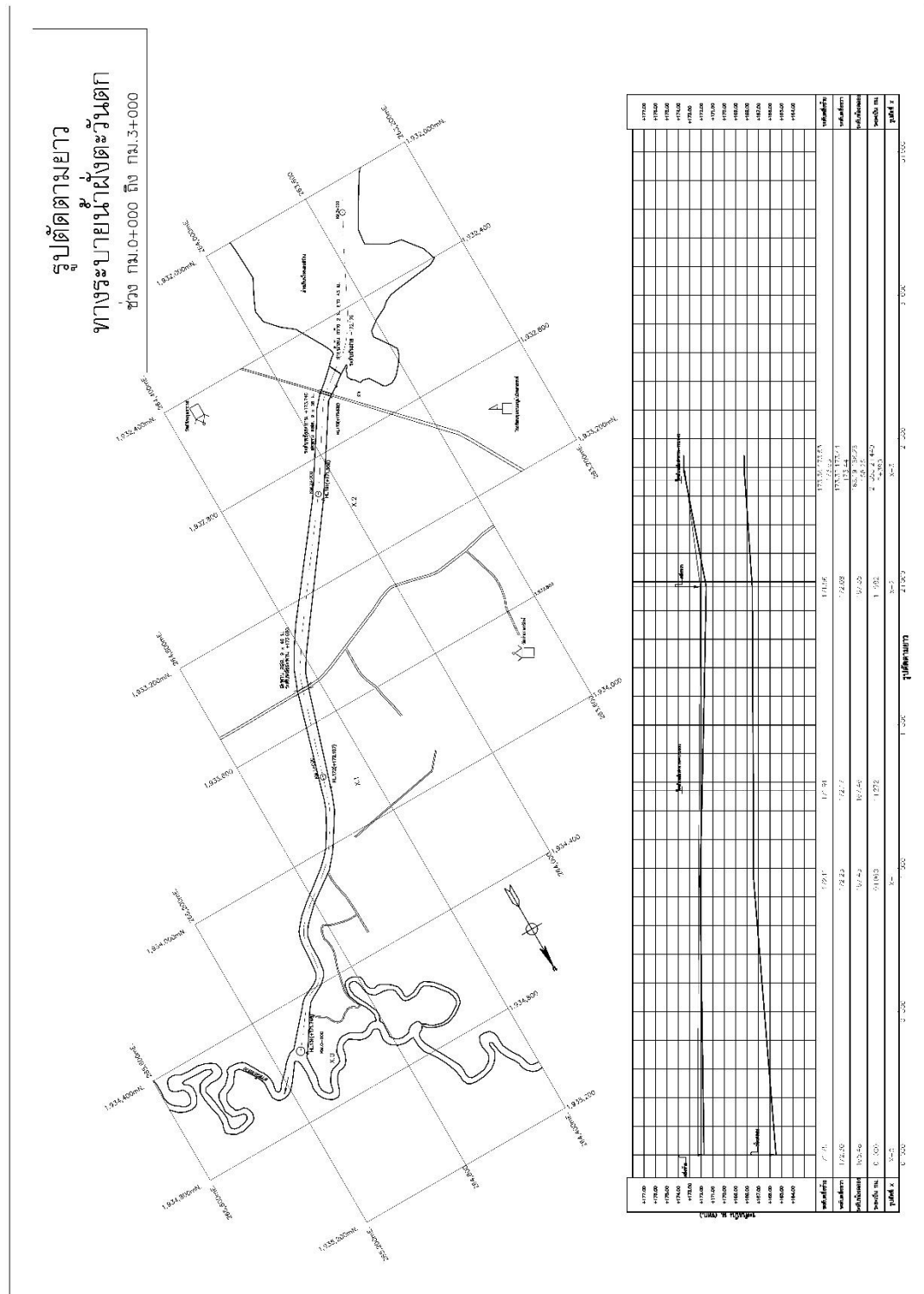
รูปที่ จ-8 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันออกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม. 10+000 ถึง กม.13+075



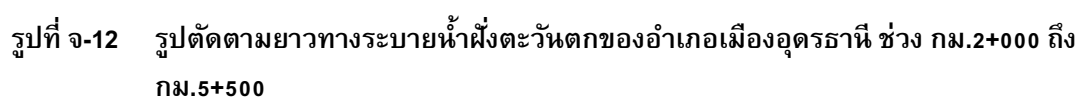
รูปที่ จ-9 ทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.0+000 ถึง กม.11+00

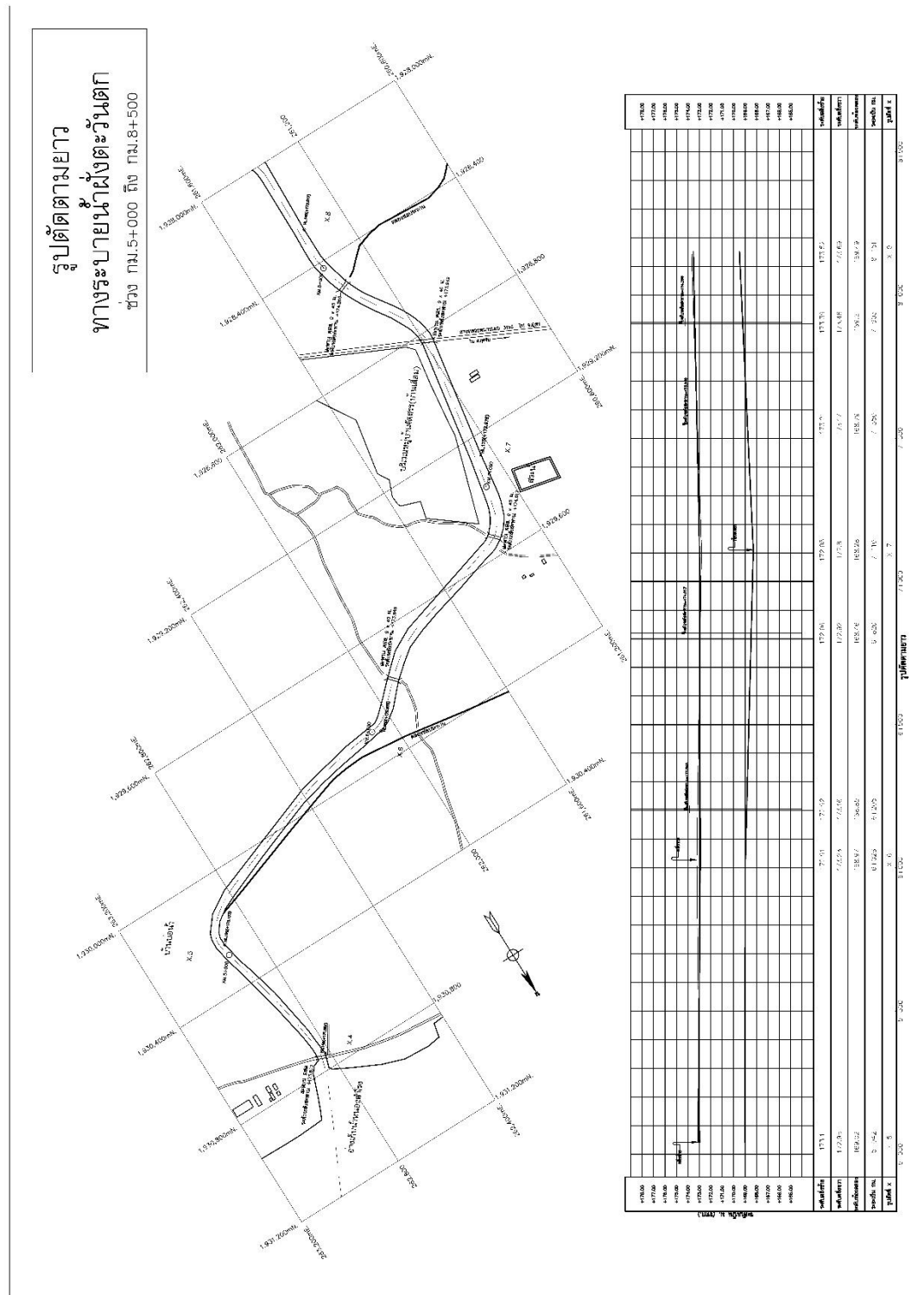


รูปที่ จ-10 ทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.11+000 ถึง กม.24+455



รูปที่ จ-11 รูปตัดตามยาวทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.0+000 ถึง กม.3+000



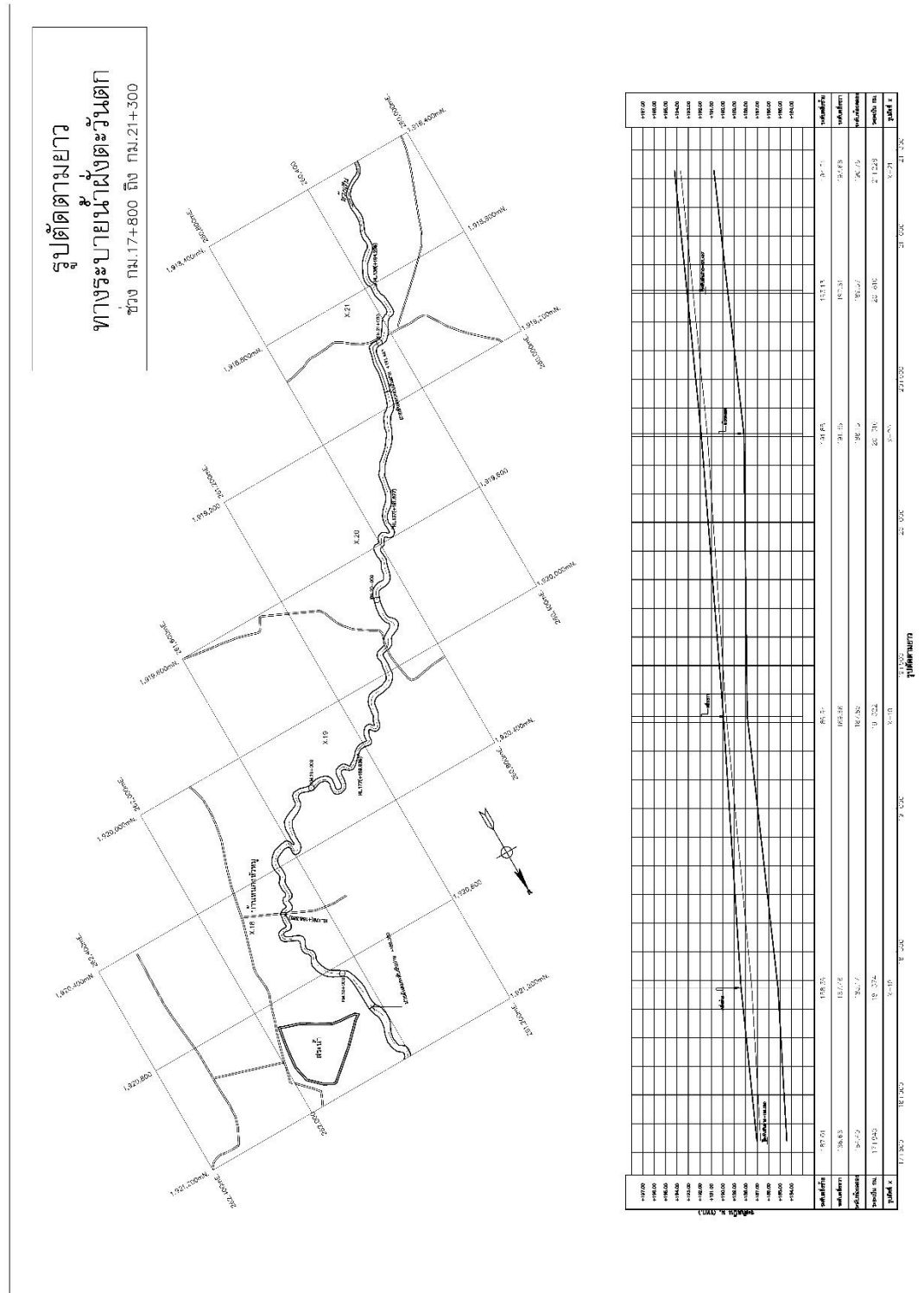


รูปที่ จ-13 รูปตัดตามยาวทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.5+500 ถึง กม.8+500

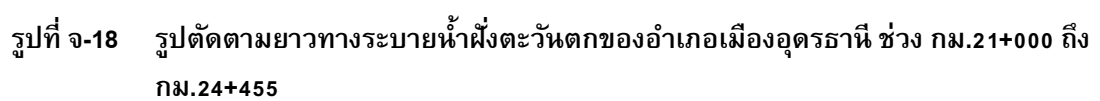


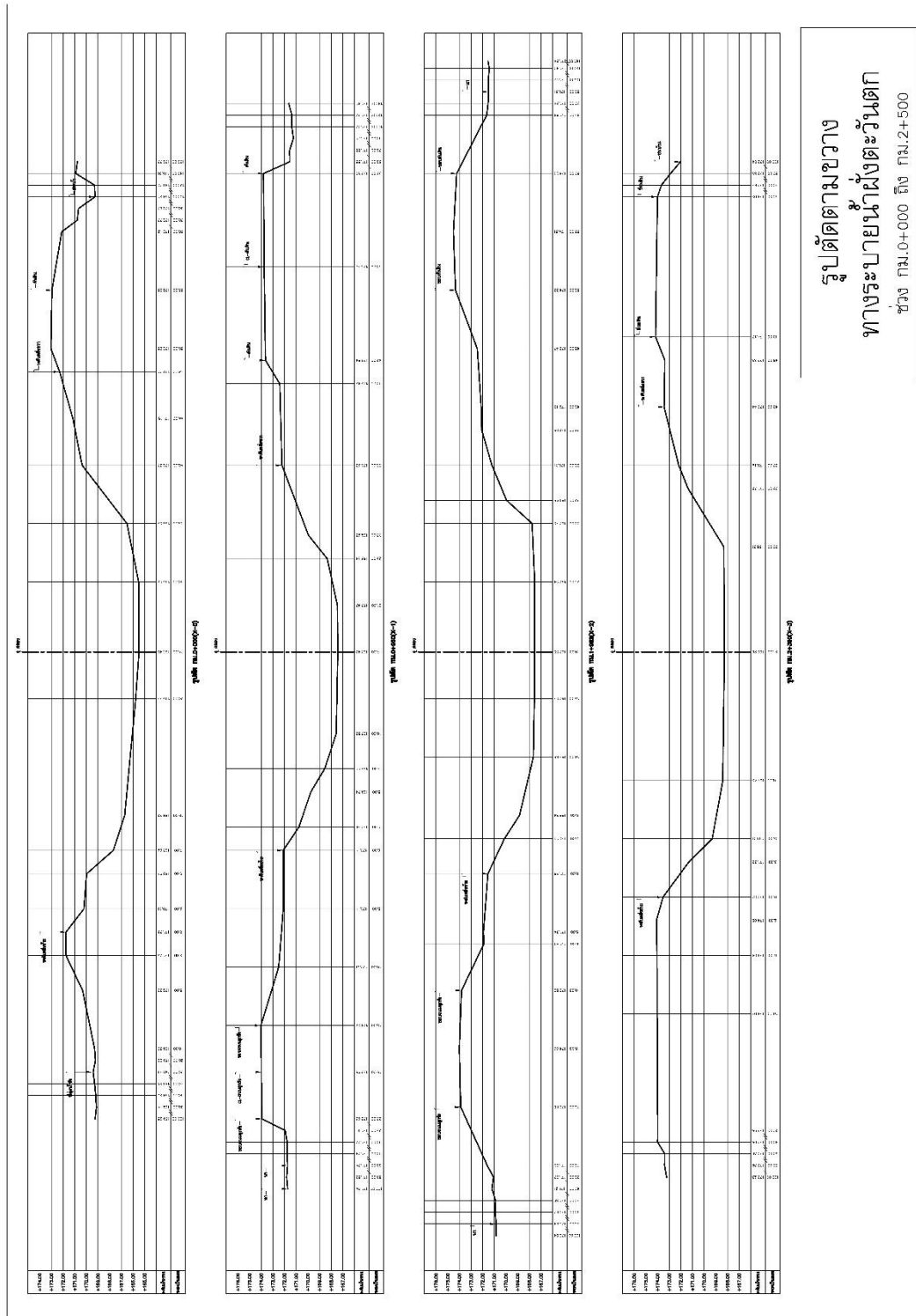




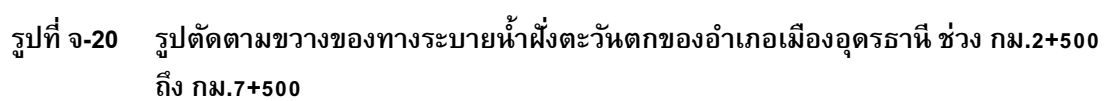


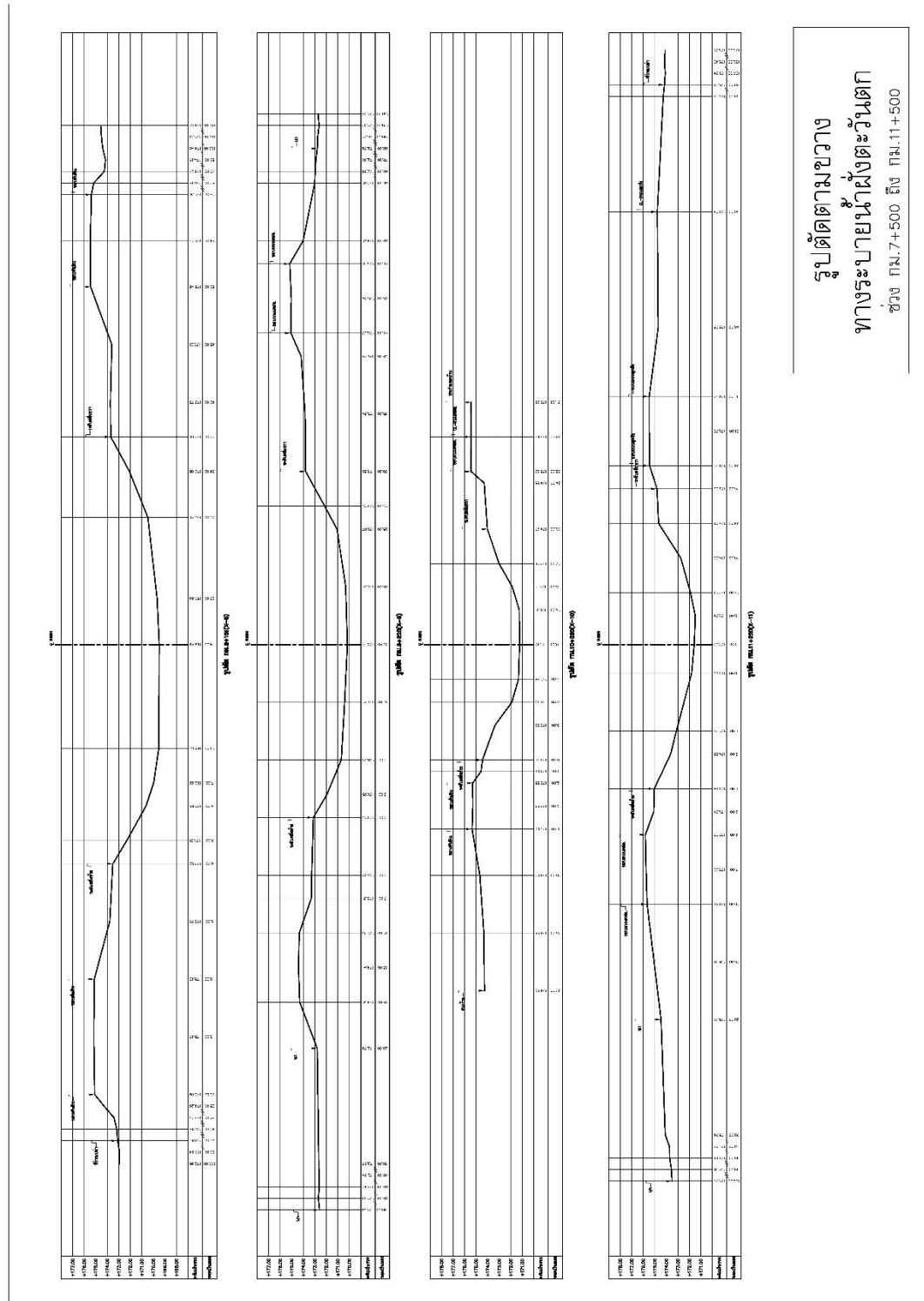
รูปที่ จ-17 รูปตัดตามยาวทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.17+800 ถึง กม.21+300



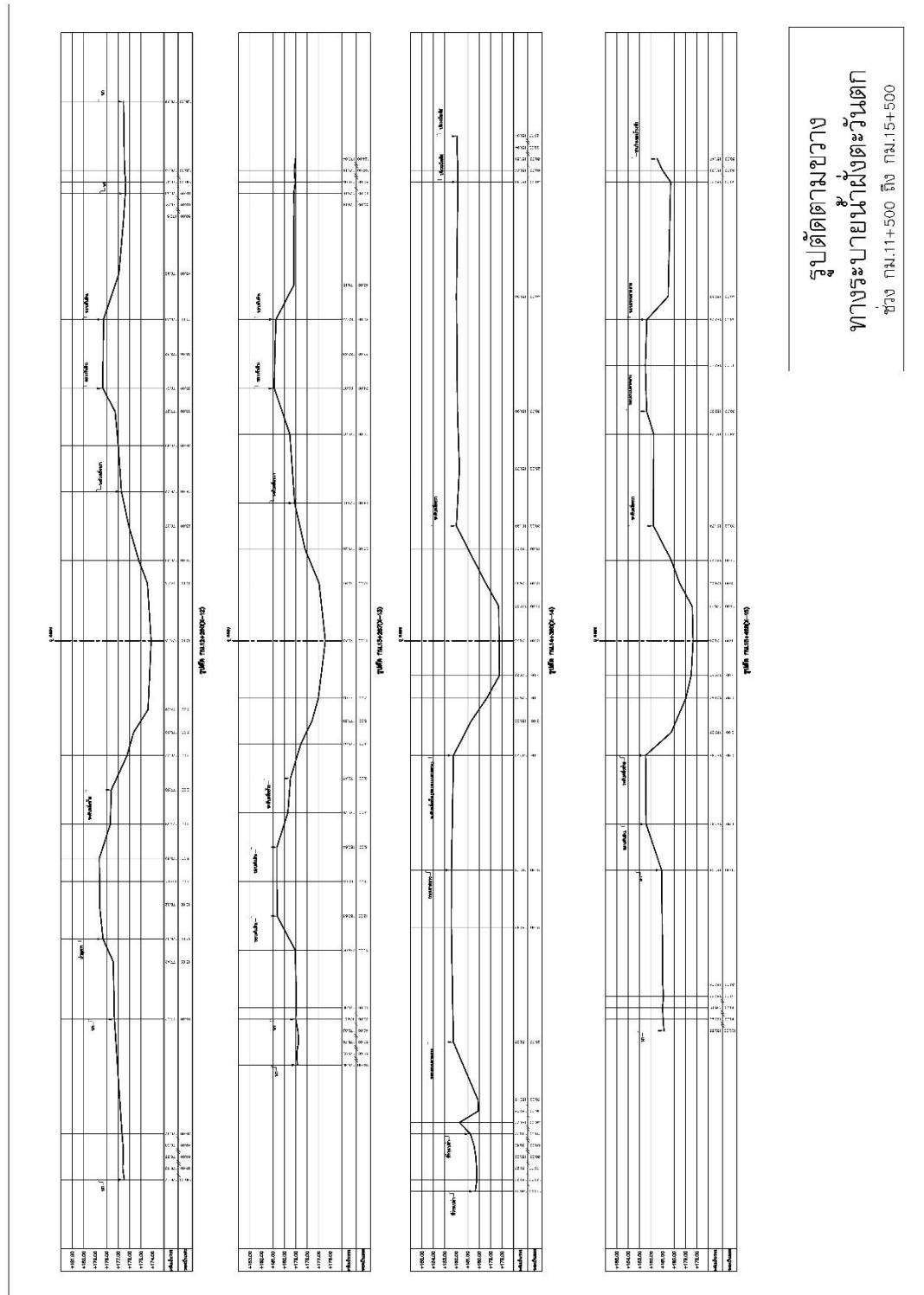


รูปที่ จ-19 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.0+000 ถึง กม.2+500

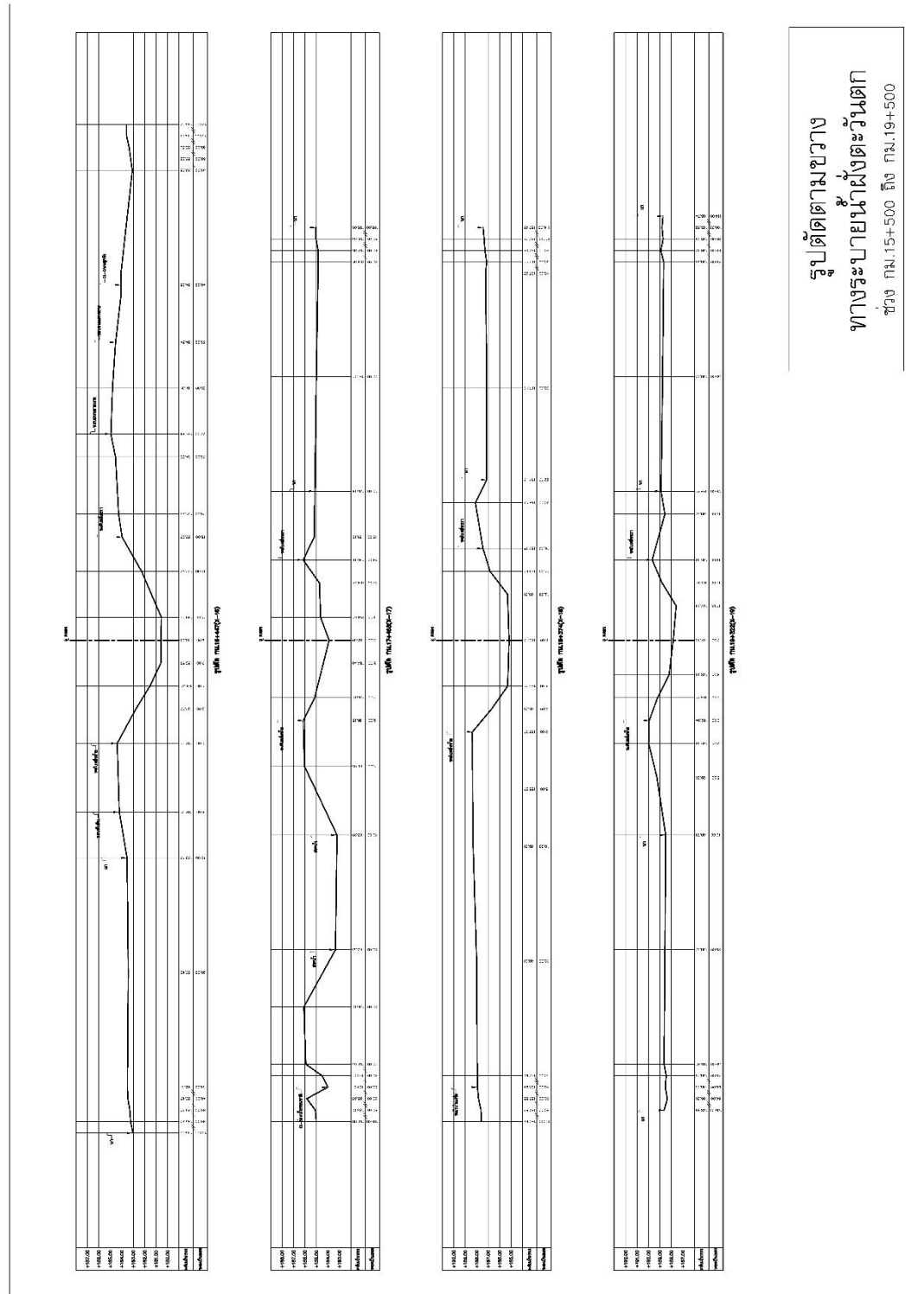




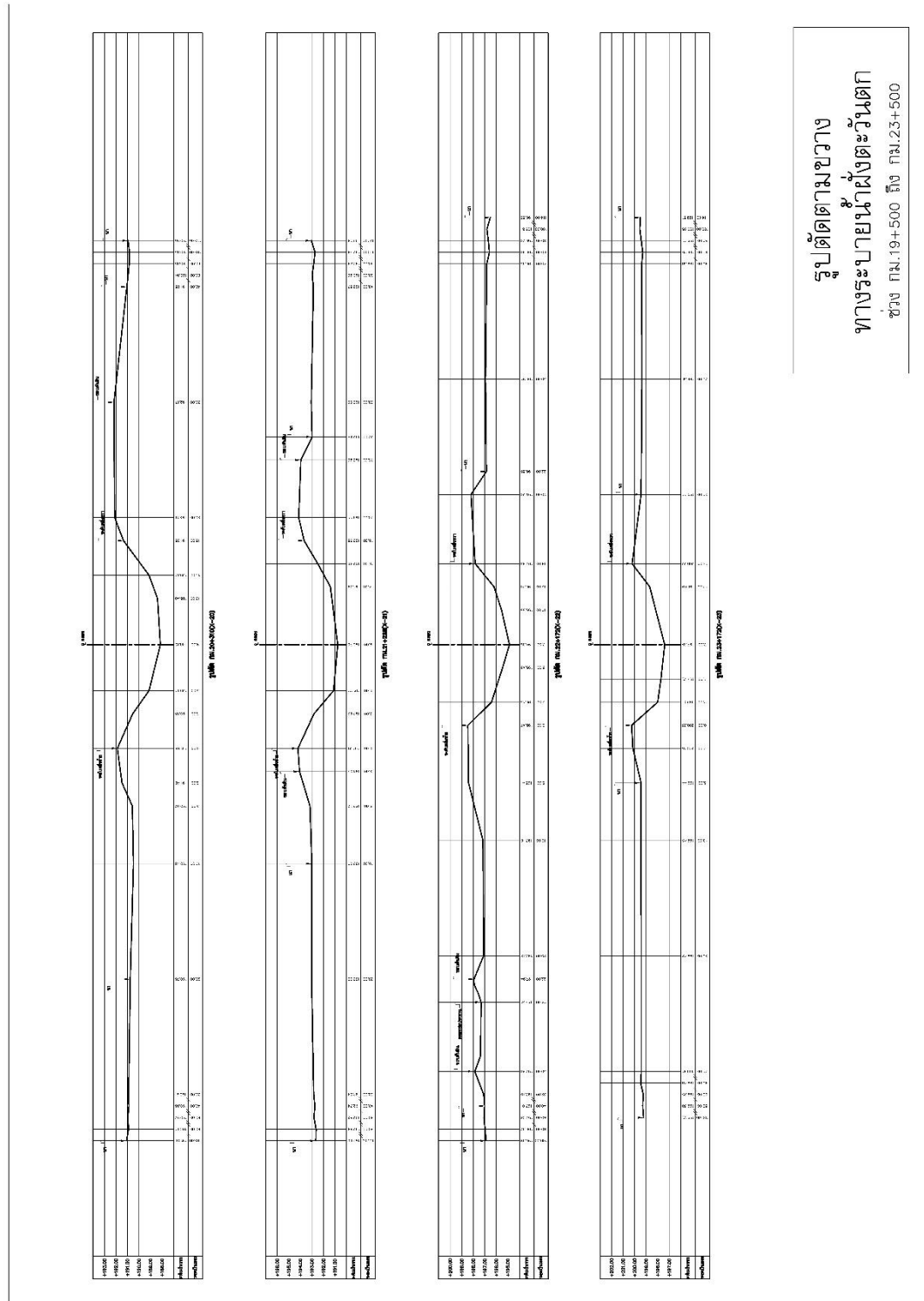
รูปที่ จ-21 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.7+500 ถึง กม.11+500



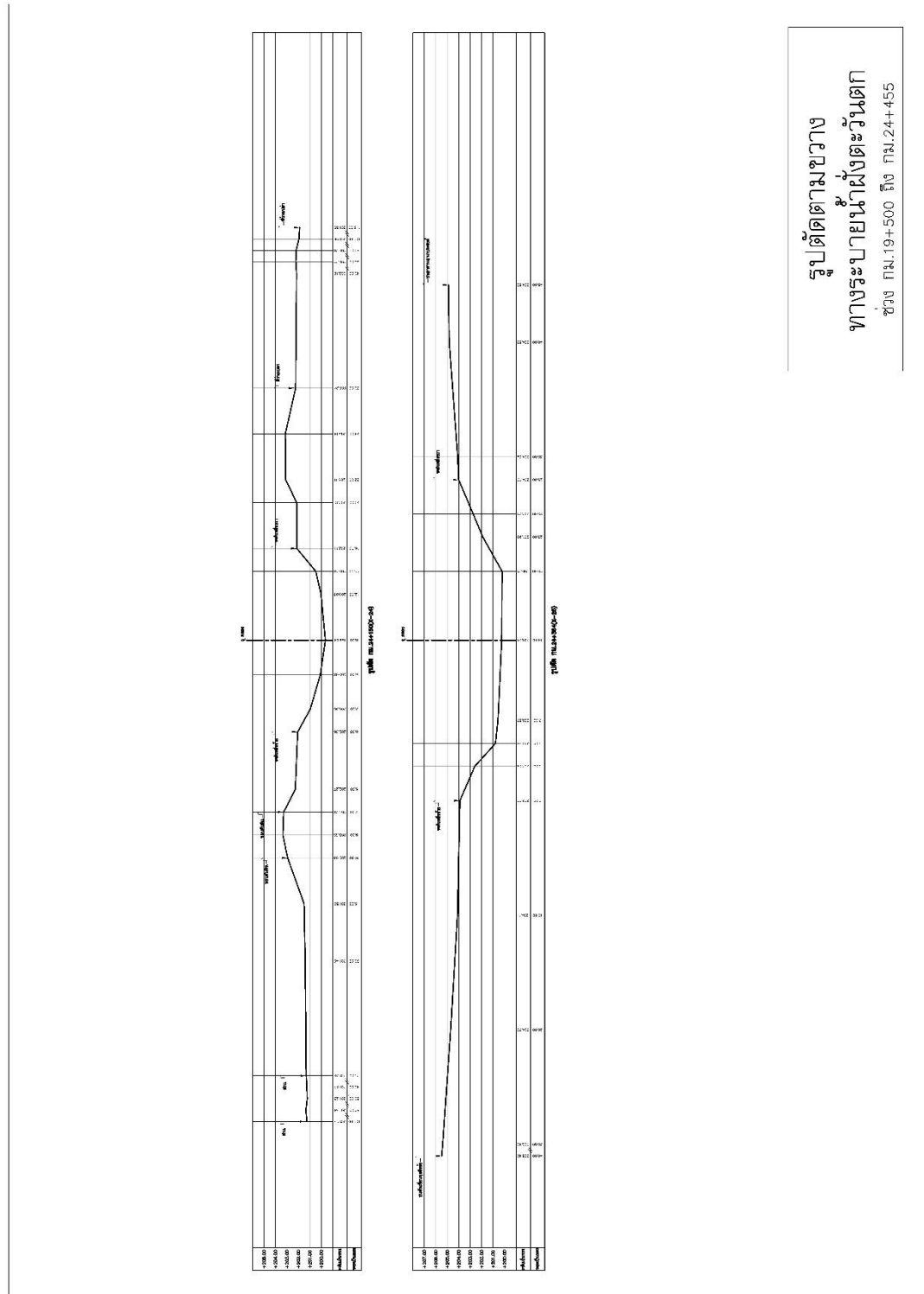
รูปที่ จ-22 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.11+500 ถึง กม.15+500



รูปที่ จ-23 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.15+500 ถึง กม.19+500



รูปที่ จ-24 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.19+500 ถึง กม.23+500



รูปที่ จ-25 รูปตัดตามขวางของทางระบายน้ำฝั่งตะวันตกของอำเภอเมืองอุดรธานี ช่วง กม.19+500 ถึง กม.24+455

จ.2 การสำรวจระดับถนน

จ.2.1 การสำรวจระดับถนน สายมิตรภาพ ระหว่างช่วง กม. 125 ถึง กม. 127

จากการออกสำรวจข้อมูลภูมิประเทศ คณะสำรวจได้ทำการสำรวจค่าระดับถนน บนถนนมิตรภาพ ระหว่างช่วง กม.125 ถึง กม.127 (อุดรธานี-หนองคาย) โดยอ้างอิงระยะจาก กึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง และอ้างอิงระดับจาก ระดับถนนบริเวณกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง โดยผลของการสำรวจแสดงดังตารางที่ จ.1 และรูปที่ จ-26

ตารางที่ จ.1 ค่าระดับถนนมิตรภาพระหว่างช่วง กม.125 ถึง กม.127

ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
-314.753	0.816
-191.280	0.503
-55.000	0.000
0.000	0.000
55.000	0.000
293.249	-0.060
422.745	-0.044
533.874	-0.066
655.300	-0.055
815.248	-0.013
913.279	-0.040
953.827	0.029
1019.827	0.029
1113.386	0.028
1219.734	0.279
1408.926	0.710

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง

จากการสำรวจ พบจุดตัดทางน้ำ 2 จุด คือ บริเวณถนนมิตรภาพ ตัดกับห้วยหลวง และบริเวณถนนมิตรภาพตัดกับห้วยโซ่ ซึ่งได้ทำการสำรวจรูปตัดขวางของทางน้ำของทั้งสองบริเวณ ดังตารางที่ จ.2 และตารางที่ จ.3

ตารางที่ จ.2 ค่าระดับของรูปตัดตามขวางห้วยหลวงบริเวณจุดตัดถนนมิตรภาพ

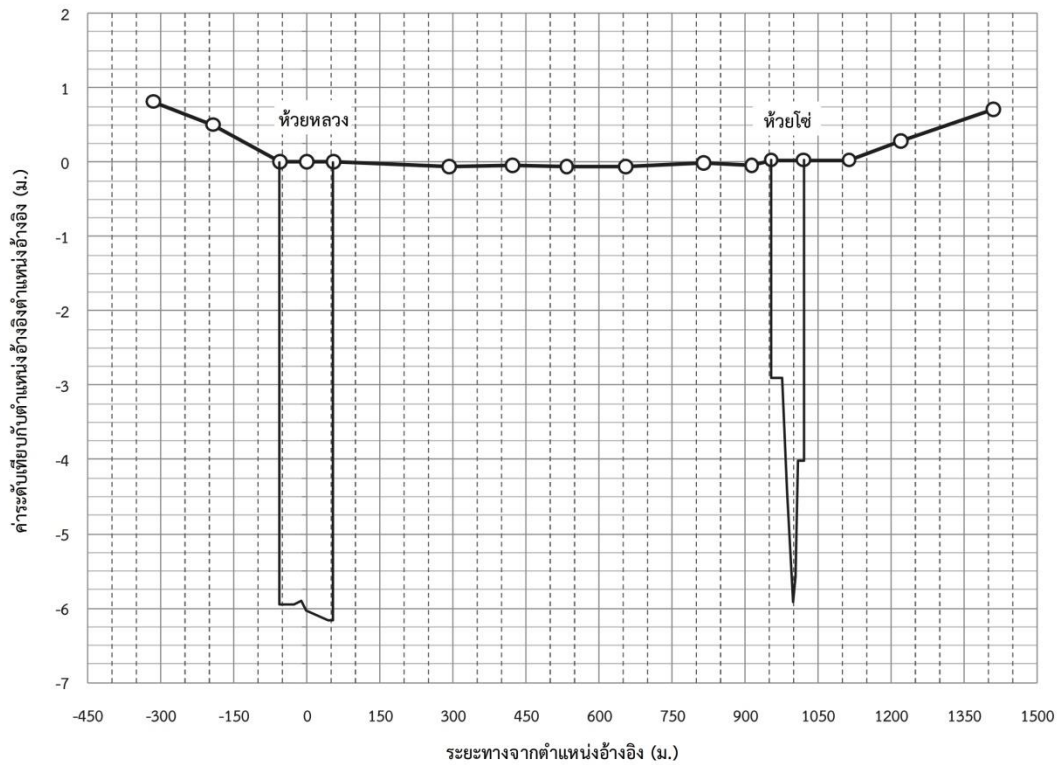
ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
0.000	0.000
0.000	-4.730
8.000	-4.730
18.000	-6.322
30.000	-6.838
37.500	-9.016
45.000	-8.454
51.000	-6.468
57.000	-5.456
67.000	-5.456
75.000	-5.456
75.000	0.000

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง

ตารางที่ จ.3 ค่าระดับของรูปตัดตามขวางห้วยโซ่บริเวณจุดตัดถนนมิตรภาพ

ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
585.113	-0.940
587.613	-5.630
600.113	-5.630
612.613	-5.630
615.113	-0.940

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง



รูปที่ จ-26 ระดับถนนถนนมิตรภาพช่วง กม.125 ถึง กม.127 (อุดรธานี-หนองคาย)

จ.2.2 การสำรวจระดับถนน สาย อด.4081 ระหว่างช่วง กม. 1 ถึง กม. 3

จากการออกสำรวจข้อมูลภูมิประเทศ คณะสำรวจได้ทำการสำรวจค่าระดับถนนสาย อด.4081 ระหว่างช่วง กม.1 ถึง กม.3 หรือระหว่างช่วง อบต.สามพร้าว ถึง บ้านดอนหาด โดยอ้างอิงระยะ และระดับจาก กิ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง โดยผลของการสำรวจแสดงดังตารางที่ จ.4 และรูปที่ จ-27

จากการสำรวจ พบจุดตัดทางน้ำ 2 จุด คือ บริเวณถนนสาย อด.4081 ตัดกับห้วยหลวง และบริเวณ ถนนสาย อด.4081 ตัดกับทางระบายน้ำล้นช่วง กม.ที่2 (ระยะ +547 ถึง +578 ของการสำรวจ) ซึ่งได้ทำการสำรวจรูปตัดขวางของทางน้ำของทั้งสองบริเวณ ดังตารางที่ จ.5 และตารางที่ จ.6

ตารางที่ จ.4 ค่าระดับถนน สาย อด.4081 ระหว่างช่วง กม. 1 ถึง กม. 3

ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
-965.052	4.317	222.555	-1.003
-882.317	4.144	365.082	-1.012
-771.071	3.849	455.918	-0.805
-689.533	3.533	504.331	-0.796
-627.678	3.070	547.613	-0.940
-561.133	2.440	577.613	-0.940
-481.491	1.818	690.105	-1.162
-412.837	1.170	840.080	-1.195
-350.636	0.738	954.216	-1.158
-243.583	0.302	1088.632	-1.000
-181.213	0.016	1175.505	-0.703
-118.047	-0.239	1245.824	-0.405
-72.605	-0.165	1318.898	0.049
-37.500	0.000	1387.744	0.574
37.500	0.000	1453.029	1.282
79.809	-0.264	1501.471	1.766
161.720	-0.679	1547.569	1.938

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง

ตารางที่ จ.5 ค่าระดับของรูปตัดตามขวางห้วยหลวงบริเวณจุดตัดถนนสาย อด.4081

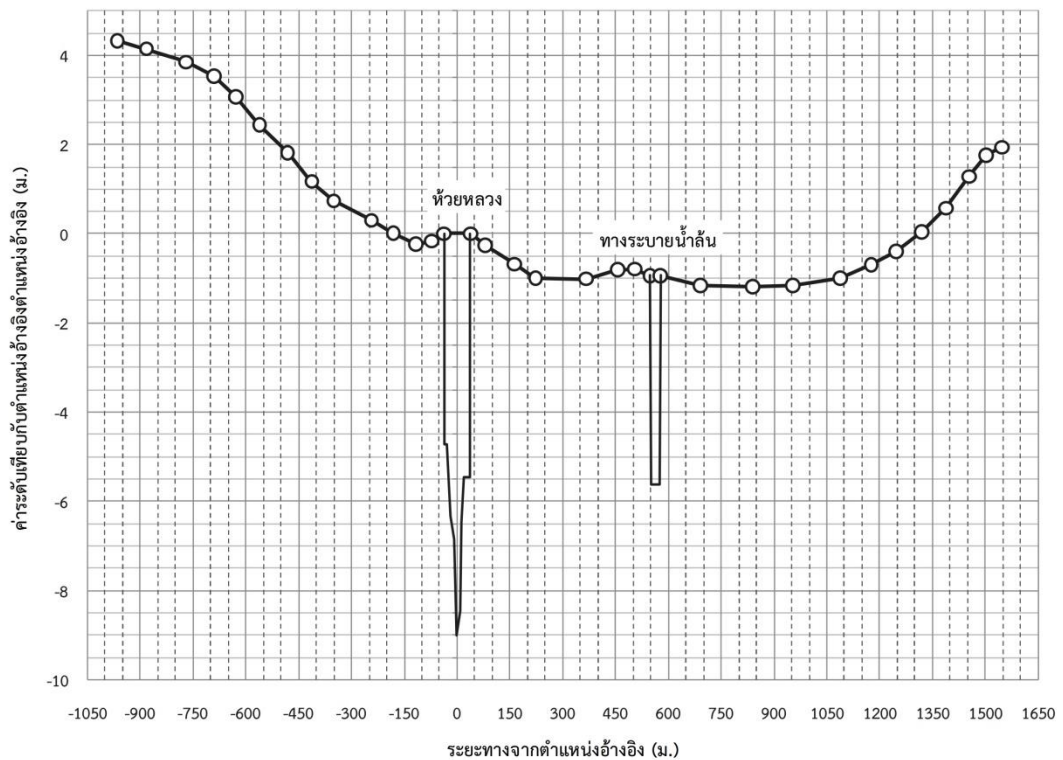
ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
-37.500	0.000
-37.500	-4.730
-29.500	-4.730
-19.500	-6.322
-7.500	-6.838
0.000	-9.016
7.500	-8.454
13.500	-6.468
19.500	-5.456
29.500	-5.456
37.500	-5.456
37.500	0.000

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง

ตารางที่ จ.6 ค่าระดับของรูปตัดตามขวางทางระบายน้ำล้นบริเวณจุดตัดถนนสาย อด.4081

ระยะจากตำแหน่งอ้างอิง (ม.)	ระดับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง (ม.)
547.613	-0.940
550.113	-5.630
562.613	-5.630
575.113	-5.630
577.613	-0.940

หมายเหตุ: ระยะทาง และค่าระดับ อ้างอิงจากกึ่งกลางสะพานข้ามห้วยหลวง



รูปที่ จ-27 ระดับถนนถนนสาย อด.4081 ช่วง กม.1 ถึง กม.3 (อบต.สามพร้าว ถึง บ้านดอนหาด)



รูปที่ จ-28 การสำรวจระดับถนนถนนมิตรภาพช่วง กม.125 ถึง กม.127 (อุดรธานี-หนองคาย)



รูปที่ จ-29 การสำรวจระดับถนนถนนมิตรภาพช่วง กม.125 ถึง กม.127 (อุดรธานี-หนองคาย)



รูปที่ จ-30 การสำรวจระดับถนนถนนสาย อด.4081 ช่วง กม.1 ถึง กม.3
(อบต.สามพร้าว ถึง บ้านดอนหาด)



รูปที่ จ-31 การสำรวจระดับถนนถนนสาย อด.4081 ช่วง กม.1 ถึง กม.3
(อบต.สามพร้าว ถึง บ้านดอนหาด)



รูปที่ จ-31 ห้วยหลวงบริเวณจุดตัดถนนสาย อด.4081