

Flood-risk map in the Chao Phraya Delta

Thanawat Jarupongsakul¹, Sunya Saraphirome², Rasame Suwanweerakamton³
and Chaiyuth Sukhsri⁴

Abstract: Geographic information system (GIS), Remote sensing (RS), and Global positioning system (GPS) provide a broad range of tools for determining areas affected by floods and identifying floods-prone areas. Satellite images taken during the period of 1987-1997 provide an effective means of mapping the extent of the flood affected areas. Spatial data stored in the digital database of the GIS such as a digital elevation model (DEM), meteorological and hydrological data can be used to analyse the flood-risk map of the study area. The GIS database may also contain agricultural, socio-economic, communication, population and infrastructural data. This can be used, in conjunction with the flooding data, for evacuating strategy, rehabilitation planning or damage assessment. Flood-risk maps can be prepared for flooding of different magnitudes, for example 10, 25, 50, and 100 years of return periods. Combined together they produce a flood risk map which delineates zones inundated by each of the above floods. Superimposed on topographic maps of the scale 1 : 50,000, they permit an estimate of depth of flooding at specific locations by subtracting ground elevation from water surface elevation.

Human intervention affecting flooding in the lower central plain of Thailand has taken place to a significant level over the past 40 years. The effects of the loss of natural retention and overbank storage in the lower Chao Phraya valley has been to increase the severity of downstream flooding, especially by increasing the frequency of 10 years flood return period about 50% and 25 years flood return period about 15%. The trends in ongoing development in the basin and improved and extended protection of large areas from flooding by dikes will lead to more severe flooding conditions in the future.

บทคัดย่อ

การศึกษาโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ข้อมูลระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม (RS) และเครื่องมือหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) มาช่วยในการวิเคราะห์หาพื้นที่ถูกน้ำท่วมและหาพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม นั้น นับได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการศึกษานี้มีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530-2540 ซึ่งนับได้ว่าข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมที่ได้มีความน่าเชื่อถือได้ที่น่าไปใช้ได้ ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทต่าง ๆ ได้ถูกจัดเก็บโดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ตัวอย่างเช่น ข้อมูลรูปแบบจำลอง

¹ Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

² Geological Survey Division, Department of Mineral Resource, Bangkok, Thailand

³ Computer Center, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

⁴ Mekong River Commission, Phnom Phenh, Cambodia

ของค่าระดับความสูง ข้อมูลทางอุคณิยวิทยา และข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูลเดียวกันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประกอบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของพื้นที่ศึกษา ฐานข้อมูลที่อยู่ในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ยังสามารถบ่งบอกถึง ข้อมูลทางการเกษตรกรรม สภาพเศรษฐกิจสังคม เส้นทางการคมนาคม ประชากร และข้อมูลสาธารณูปโภคในพื้นที่ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบกับข้อมูลน้ำท่วมเพื่อช่วยในการวางแผนอพยพผู้คน การวางแผนการตั้งถิ่นฐานใหม่ หรือการประเมินความเสียหายของการเกิดน้ำท่วมแต่ละครั้งได้ แผนที่เสี่ยงภัยที่ได้จากการศึกษาจะอยู่ในรูปแบบของระดับความรุนแรงของน้ำท่วมที่ขนาดต่าง ๆ กัน ขนาดความรุนแรงของน้ำท่วมจะแปรผกผันตามโอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมอีกครั้งในระดับนั้น ๆ เช่น ขนาดความรุนแรงที่คาบอุบัติซ้ำ 10 ปี, 25 ปี, 50 ปี, และ 100 ปี เป็นต้น ข้อมูลความเสี่ยงภัยของน้ำท่วมที่มีขนาดความรุนแรงที่มีคาบอุบัติซ้ำต่าง ๆ กัน จะถูกซ้อนทับแสดงบนแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ซึ่งจะมีความสะดวกแก่หน่วยงานต่าง ๆ ที่นำไปใช้ต่อไป

ในระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา พฤติกรรมของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างทำให้เกิดผลกระทบต่อการเกิดอุทกภัยอย่างมาก ผลกระทบของการสูญเสียพื้นที่ลุ่มต่ำและพื้นที่เก็บกักน้ำริมตลิ่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบริเวณนี้ ได้เพิ่มความรุนแรงของน้ำท่วมบริเวณท้ายแม่น้ำ โดยเฉพาะทำให้จำนวนครั้งของน้ำท่วมที่มีขนาดความรุนแรงที่คาบอุบัติซ้ำ 10 ปี เพิ่มขึ้น 50% และน้ำท่วมที่มีขนาดความรุนแรงที่มีคาบอุบัติซ้ำ 25 ปี เพิ่มขึ้น 15% แนวโน้มในการพัฒนาลุ่มน้ำอย่างไม่หยุดยั้ง และการปรับปรุงการป้องกันน้ำท่วมสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่โดยกันกันนั้น จะนำไปสู่การเกิดปัญหาน้ำท่วมที่มีขนาดความรุนแรงเพิ่มขึ้นในอนาคต.

คำนำ

น้ำท่วมในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง รวมทั้งพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งมักจะเกิดจากหลายสาเหตุหรือสาเหตุใด ๆ ดังต่อไปนี้ 1) ฝนตกหนักในพื้นที่รับน้ำทางตอนบนของลุ่มน้ำ, 2) ฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่, 3) ลักษณะทางธรณีสัณฐานของพื้นที่, 4) น้ำทะเลหนุน, และ 5) กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ดังนั้นการเกิดน้ำท่วมจึงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติและบางส่วนมีสาเหตุจากกิจกรรมมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนเมือง ปัญหาแผ่นดินทรุดของกรุงเทพฯ มหานครและปริมณฑล ปัญหาการระบายน้ำของชุมชนเมือง ตลอดจนการเพิ่มพื้นที่เกษตรกรรมทำให้สูญเสียพื้นที่ลุ่มต่ำ และพื้นที่เก็บกักน้ำริมตลิ่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นผลทำให้แนวโน้มความรุนแรงของน้ำท่วมเพิ่มขึ้นในบริเวณลุ่มแม่น้ำภาคกลางตอนล่าง น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในปี 2538 เป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน พบว่า ความเสียหายอันเกิดจากน้ำท่วมได้แผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเหตุการณ์น้ำท่วมในปี 2538 ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาวิจัยพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมใน

บริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง โดยนำเอากรณีน้ำท่วมครั้งนั้นมาศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเกิดน้ำท่วมในอดีตและใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตั้งแต่ปี 2530-2540 ประกอบกับข้อมูลต่าง ๆ ของพื้นที่ อาทิเช่น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา เป็นต้น และมีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และเครื่องหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) มาช่วยในการศึกษาครั้งนี้

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ข้อมูลระยะไกล จากภาพถ่ายดาวเทียม (RS) ตั้งแต่ปี 2530-2540 และเครื่องหาพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) มาช่วยในการวิเคราะห์ หาพื้นที่ที่ถูกรน้ำท่วม รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 การจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของพื้นที่ศึกษา ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Digital processing) โดยใช้ซอฟต์แวร์ EASI/PACE (PCI) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วมครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกใช้สำหรับการวิเคราะห์แผนที่ธรณีสัณฐานน้ำท่วม (Flood Geomorphology) โดยใช้กรณีศึกษาของน้ำท่วมปี 2538 ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้มีทั้งหมดมี 4 ช่วงเวลา คือ 1) ช่วงที่มีระดับน้ำท่วมสูงสุด (ตุลาคม 2538) 2) ช่วงหลังน้ำท่วม (ธันวาคม 2538) 3) ช่วงก่อนน้ำแล้ง (กุมภาพันธ์ 2537) และ 4) ช่วงน้ำแล้ง (เมษายน 2537) ข้อมูลทั้ง 4 ช่วงจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) เป็นการปรับค่าพิกัดจุดภาพให้มีความถูกต้องตามระบบพิกัดอ้างอิง ซึ่งใช้แผนที่ภูมิประเทศ กรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ระบบพิกัด กริด ยู.ที.เอ็ม (UTM : Universal Transverse Mercator) ภาพทั้งหมดที่ถูกปรับแก้พิกัดถูกต้อง (Corrected image) แล้วจะนำไปทำค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized difference vegetation index : NDVI) ข้อมูลดาวเทียมทั้ง 4 ช่วงที่ทำค่าดัชนีพืชพรรณเรียบร้อยแล้ว ถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการจำแนกลักษณะธรณีสัณฐานวิทยาน้ำท่วม โดยวิธีจำแนกแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification) ด้วยการแบ่งกลุ่มประเภทข้อมูลแบบ K-means clustering ผลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ธรณีสัณฐานวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 (Ohkura et., al. 1989; Somboon, 1990) และมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในภาคสนาม แผนที่ธรณีสัณฐานวิทยาน้ำท่วมที่ได้จากการศึกษาสามารถจำแนกลักษณะภูมิลักษณะน้ำท่วม (Flood Landform) ออกเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำหลังแม่น้ำ (Back Swamp) เป็น 4 ระดับ คั่นดินตามธรรมชาติปัจจุบัน (Recent Natural Levee) คั่นดินธรรมชาติเก่า (Old Natural Levee) และทางแม่น้ำเก่า (Old River Channel) ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมต่อไป

ข้อมูลดาวเทียมของทุกปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530-2540 ในช่วงเวลาที่น้ำท่วมประมาณเดือนกันยายนถึงตุลาคม ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ EASI/PACE (PCI) โดยการปรับแก้ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ทำค่าดัชนีพืชพรรณ แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้ช่วงคลื่น 5, 4, 2 และค่าดัชนีพืชพรรณร่วมกัน ผลที่ได้เป็นแผนที่น้ำท่วมในปีต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530-2540 ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายร่วมกับข้อมูลทางด้าน

อุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยาโดยเฉพาะนำไปเชื่อมโยงกับความรุนแรงของน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในแต่ละปี เปรียบเทียบกับข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำในแต่ละสถานีน้ำท่าของพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาขั้นสุดท้าย หลังจากมีการตรวจสอบในภาคสนามเพื่อความถูกต้องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีด้วยกัน 4 ระดับ ตามค่าอุบัติน้ำท่วมที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ คาบอุบัติน้ำ 10 ปี, 25 ปี, 50 ปี และ 100 ปี ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตรมสุ่มเขตร้อนชื้นฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนตุลาคม ปริมาณฝนตกประมาณ 80% ของเฉลี่ยทั้งปีจะตกในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 1000-1400 มม./ปี เดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมของทุกปีจะมีฝนตกหนักเพราะอิทธิพลของมรสุมและพายุไต้ฝุ่น จึงเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดน้ำท่วมเป็นประจำเพราะน้ำจากทางลุ่มน้ำตอนเหนือไหลมาถึงพื้นที่ศึกษา หากมีพายุหรือมรสุมตกในช่วงนั้นก็ทำให้เกิดน้ำท่วมมีความเสียหายมากขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการนำข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีทั้งค่าพิกัดของสถานีวัดอุตุนิยมวิทยา ทั้งหมด 203 สถานี ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและอีก 198 สถานีที่อยู่นอกพื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 2 ค่าอุณหภูมิและปริมาณฝนตกเฉลี่ยรายเดือนในคาบ 40 ปีและข้อมูลรายวันของปี พ.ศ. 2538 ซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้รับการอนุเคราะห์จากกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทาน ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของปริมาณฝนตกเฉลี่ยในคาบ 40 ปี โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ด้วยซอฟต์แวร์ SPANS ดังรูปที่ 3 รูปที่ 4 กราฟแสดงปริมาณฝนตกเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนเมษายน 2538 จนถึง เดือนมีนาคม 2539 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษา น้ำท่วมของปี 2538 พบว่า ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนล่างเริ่มมีฝนตกประมาณกลางเดือนพฤษภาคม 2538 และมีฝนตกตลอดจนถึงเดือนเดือนตุลาคม โดยมีฝนตกหนักต่อเนื่องในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ปริมาณฝนตกหนักที่สุดวัดได้ 243 มิลลิเมตร ที่สถานีวัดน้ำฝน อ. เมือง จ. สมุทรสาคร วันที่ 13 กันยายน 2538 ทำให้เกิดน้ำท่วมขังในหลายพื้นที่ของที่ราบภาคกลางตอนล่าง นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์สภาพ ปริมาณฝนตกของวันที่ของวันที่นำเอาข้อมูลสภาพดาวเทียมที่มาใช้วิเคราะห์สภาพน้ำท่วม ปี พ.ศ. 2538 ดังใน รูปที่ 5 พบว่า ในวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2538 มีฝนตกหนักเป็นบางพื้นที่โดยเฉพาะจังหวัดอยุธยา อ่างทอง และนครนายก รูปที่ 6 จะถูกนำไปวิเคราะห์เทียบกับแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่ได้ วัตถุประสงค์เพื่อการ ตรวจสอบว่าแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมของน้ำท่วม ปี พ.ศ. 2538 เป็นสภาพน้ำท่วมที่เกิดจากการล้นฝั่งอย่างเดียวหรือไม่ บางครั้งสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาอาจจะเกิดจาก สาเหตุมีฝนตกติดต่อกันหลายวัน ดังนั้นรูปที่ 6 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณฝนตกก่อน 3 วันและ 7 วัน ตาม

ลำดับ เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบว่าสภาพน้ำท่วม ที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมเกิดจากมีฝนตกหนักในพื้นที่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยา

สภาพการไหลของแม่น้ำในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการปริมาณฝนที่ตกลงมา ทั้งในพื้นที่ศึกษาและบริเวณต้นน้ำเหนือเขื่อนต่าง ๆ ปริมาณการไหลของแม่น้ำเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนเมษายนและมีปริมาณมากที่สุดประมาณเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมของทุกปี ในการศึกษานี้ได้มีการนำข้อมูลด้านอุทกวิทยาป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 47 สถานี และนอกพื้นที่ศึกษาอีกจำนวน 56 สถานี ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณการไหลของแต่ละสถานี ได้ถูกป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยค่าระดับน้ำสูงสุดรายปี และระดับน้ำรายวันของกรณีศึกษาน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 นอกจากนี้บางสถานียังมีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะลำน้ำ (River profile) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ กับปริมาณการไหลของแม่น้ำ (Rating curve) ของแต่ละสถานี และกราฟความสัมพันธ์เทียบคาบเกิดซ้ำของอัตราการไหลของแม่น้ำ (Frequency of Annual Peak Discharge)

สถานีวัดน้ำท่าหลักที่นำมาใช้วิเคราะห์ครั้งนี้มีทั้งหมด 9 แห่ง ได้แก่ C.13, C.3, C.28, C.7a, S.5, C.31, C.22, C.12 และ C.4 รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าดังกล่าวพร้อมทั้งภาพตัดขวางของลำน้ำเจ้าพระยา ณ จุดที่การวัดระดับน้ำ ข้อมูลระดับน้ำรายวันของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 9 แห่ง ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2538 จนถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2539 ได้มีการแสดงไว้ในรูปที่ 9 จากการวิเคราะห์ระดับน้ำรายวันและภาพตัดขวางของลำน้ำเจ้าพระยาแต่ละจุดพบว่าน้ำเริ่มท่วมล้นฝั่งที่จังหวัดสิงห์บุรี (C.3) และจังหวัดอ่างทอง (C.28, C.7A) ประมาณวันที่ 13-15 กันยายน พ.ศ. 2538 ส่วนที่จังหวัดอยุธยา (S.5) น้ำเริ่มล้นฝั่งประมาณวันที่ 19-20 กันยายน พ.ศ. 2538 และที่อำเภอปากเกร็ด (C.22) น้ำท่วมล้นฝั่งประมาณวันที่ 25-29 ตุลาคม พ.ศ.2538 ดังนั้นการวิเคราะห์แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของปี พ.ศ. 2538 เราจึงเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2538 มาใช้ในการศึกษา เพราะค่าระดับน้ำของทุกสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 9 แห่ง อยู่ในระดับสูงสุดจึงเหมาะสมในการนำภาพถ่ายในช่วงนั้นมาศึกษาสภาพน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2538 แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของปีพ.ศ. 2538 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ EASI/PACE ผลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความรุนแรงของคาบอุบัติซ้ำของน้ำท่วมปีพ.ศ. 2538 ของสถานี C.3, C.28, C.7A, และ S.5 แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่ได้จึงเป็นค่าเฉลี่ยของความรุนแรงที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอุบัติซ้ำของอัตราการไหลของแม่น้ำ (Frequency of Annual Peak Discharge) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแม่น้ำและระดับน้ำ (Rating Curve) ดังรูปที่ 10 ของแต่ละสถานีแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง และ

เสี่ยงต่ำตามลำดับ ของน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 ซึ่งสามารถเทียบเคียงได้กับความรุนแรงน้ำท่วมที่มีค่าอุบัติน้ำ 50 ปี

การวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วมและจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาจึงมีการศึกษาน้ำท่วมในอดีตโดยเฉพาะ ปี พ.ศ. 2485, ปี 2521 ปี 2523, ปี 2526, และ ปี 2539, เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านอุทกนิยามวิทยาและอุทกวิทยาของพื้นที่ สภาพพื้นที่น้ำท่วมในอดีตมีดังต่อไปนี้ :

น้ำท่วมปี 2485

ในพื้นที่ศึกษาพบว่าน้ำท่วมครั้งที่มีความรุนแรงที่สุดเท่าที่มีการบันทึกไว้น่าจะเป็นน้ำท่วมปี พ.ศ. 2485 ข้อมูลระดับน้ำที่สะพานพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก มีระดับน้ำถึง 2.25 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุดของสถานีวัดน้ำนี้ และที่สถานีวัดน้ำที่จังหวัดนครสวรรค์ (C.2) มีระดับน้ำสูงกว่าน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 ถึง 1.5 เมตร อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการวัดในอดีตอาจมีความถูกต้องไม่มากนัก แต่น่าจะเป็นข้อมูลที่สำคัญเพราะนอกจากจะเป็นน้ำท่วมครั้งใหญ่ที่สุดเท่าที่มีในบันทึกแล้ว เรายังพบว่าสภาพลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาในปี พ.ศ. 2485 ยังเป็นธรรมชาติมากที่สุด บริเวณต้นน้ำยังไม่มีการสร้าง เขื่อน ๆ ใด และระบบป้องกันน้ำท่วมก็ยังไม่ มี ดังนั้นข้อมูลน้ำท่วมในปีนี้ จึงควรศึกษาอ้างอิงเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่วมในปีต่อ ๆ ไป

น้ำท่วมปี 2521

มีฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยเฉพาะในลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำน่าน ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำยม ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำปิง และลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำป่าสัก ที่สถานีวัดน้ำที่จังหวัดนครสวรรค์ (C.2) และจังหวัดชัยนาท (C.13) มีปริมาณการไหลสูงสุดที่ 3,500 ลบ. เมตร/วินาที และ 3,800 ลบ. เมตร/วินาที ตามลำดับ สถานีวัดน้ำที่จังหวัดอ่างทอง วัดปริมาณการไหลสูงสุดได้ 2,900 ลบ. เมตร/วินาที มีฝนตกหนักบริเวณพื้นที่คลองชัยนาท-ป่าสัก แม่น้ำลพบุรี ทำให้เกิดน้ำท่วมในบริเวณนี้เป็นเวลานาน กรุงเทพมหานครมีน้ำปกติ ไม่พบความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วม มีน้ำท่วมล้นฝั่งหลายบริเวณตั้งแต่จังหวัดชัยนาท ถึงจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

น้ำท่วมปี 2523

มีน้ำท่วมหลายพื้นที่สาเหตุมาจากฝนตกหนักในพื้นที่นั้น ๆ และน้ำล้นฝั่งในบางแห่ง น้ำท่วมปี พ.ศ. 2523 พบว่าที่บริเวณจังหวัดนครสวรรค์มีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 4,400 ลบ. เมตร/วินาที และที่จังหวัดชัยนาทวัดได้ 3,800 ลบ. เมตร/วินาที พบว่าน้ำท่วมหนักบริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งสองฝั่งตั้งแต่จังหวัดชัยนาทถึงจังหวัดอยุธยา ดังรูปที่ 5.11 น้ำท่วมครั้งนี้ได้ทำความเสียหายให้แก่พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อยู่อาศัย ตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทองและอยุธยา

น้ำท่วมปี 2526

พื้นที่กรุงเทพมหานคร ได้รับความเสียหายอย่างมากจากน้ำท่วมครั้งนี้ และในเวลาต่อมาจึงได้เกิดโครงการป้องกันน้ำท่วมทั้งฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา สาเหตุของน้ำท่วมครั้งนี้เกิดจากปริมาณฝนตกอย่างหนักบริเวณต้นน้ำของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนในราวเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ปริมาณน้ำที่สถานีวัดน้ำที่จังหวัดชัยนาทวัดได้ 3,400 ลบ. เมตร/วินาที ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ปริมาณน้ำจากกลุ่มน้ำสาขาสะแกกรังประมาณ 2,300 ลบ. เมตร/วินาที ได้ไหลสู่แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างมีฝนตกหนักในราวเดือนสิงหาคม ประมาณ 434 ม.ม. (ค่าเฉลี่ยประมาณ 170 ม.ม.) ทำให้เกิดน้ำท่วมหลายแห่ง และปริมาณฝนรวมตั้งแต่เดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน สูงถึง 405 ม.ม. (ค่าเฉลี่ยประมาณ 215 ม.ม.) ทำให้ระดับน้ำที่สะพานพุทธยอดฟ้าฯ สูงถึง 2.04 เมตรในเดือนพฤศจิกายน มีผลทำให้พื้นที่ทั่วไปของกรุงเทพมหานครมีน้ำท่วมขัง

น้ำท่วมปี 2539

สาเหตุน้ำท่วมครั้งนี้เกิดจากมีปริมาณฝนตกหนักเฉพาะในหลายพื้นที่และน้ำล้นฝั่งในหลายแห่งดังรูปที่ 11 ความรุนแรงของน้ำท่วมปี 2539 นับได้ว่าไม่รุนแรง สังกัดได้จากปริมาณน้ำที่สถานีวัดน้ำที่จังหวัดนครสวรรค์ วัดได้แค่ 3,000 ลบ. เมตร/วินาที มีฝนตกหนักบริเวณพื้นที่ตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน ทำให้ต้องมีการปล่อยน้ำจากเขื่อนกระเสียว จึงมีน้ำท่วมในหลายพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี

วิเคราะห์แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยกรณีศึกษาน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538

การวิเคราะห์และจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา ได้นำเอากรณีน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 มาเป็นกรณีศึกษาและวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเกิดน้ำท่วมปี พ.ศ. 248, ปี 2521 ปี 2523, ปี 2526, และ ปี 2539

น้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 นับได้ว่ามีความรุนแรงครั้งหนึ่ง พื้นที่ที่ถูกผลกระทบคาดว่าจะมีประมาณ 20,000 ตารางกิโลเมตร ตั้งแต่บริเวณต้นน้ำลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยเฉพาะบริเวณลุ่มน้ำสาขายมและน่าน จนถึงพื้นที่บริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง เป็นที่น่าสังเกตน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 มีผลกระทบต่อพื้นที่กรุงเทพมหานครเพียงบางจุดเท่านั้นและไม่รุนแรงนัก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่รอบนอกจากการประเมินความเสียหายที่มีต่อสาธารณูปโภค เช่น การซ่อมถนน สะพานและอื่น ๆ พบว่า มีความเสียหายถึง 6.4 พันล้านบาท ส่วนความเสียหายต่อเกษตรกรรม บ้านเรือน อุตสาหกรรมและอื่นๆ ไม่ทราบตัวเลขที่แน่นอนได้

สาเหตุของน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 เกิดจากพายุตกหนักตั้งแต่เดือนกรกฎาคม จนถึงเดือนกันยายนโดยเฉพาะในเดือนสิงหาคม บริเวณลุ่มน้ำสาขาน่านและป่าสักมีฝนตกลงมาหนักถึง 450 ม.ม. และ 345 ม.ม. ตามลำดับ ทำให้มีปริมาณน้ำที่สถานีวัดน้ำจังหวัดนครสวรรค์สูงถึง 4,800 ลบ.เมตร/วินาที ที่สถานีวัดน้ำจังหวัดชัยนาทวัดได้ 4,500 ลบ.เมตร/วินาที และสถานีวัดน้ำจังหวัดอ่างทองวัดได้ 2,700 ลบ. เมตร/

วินาที ทำให้น้ำล้นฝั่งตั้งแต่จังหวัดชัยนาทจนถึงจังหวัดอุทัยพื้นที่น้ำท่วมครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของที่ราบภาคกลางตอนล่าง

แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้มีการจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมทั้งหมด 4 ระดับความรุนแรงตามค่าอุบัติน้ำคือ 10 ปี, 25 ปี, 50 ปี, และ 100 ปี ซึ่งรายละเอียดของแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมได้มีการตรวจสอบระดับน้ำท่วมที่ปรากฏในสนาม ได้แก่ ข้อมูลที่วัดในสนาม ข้อมูลเก่าที่มีการบันทึกไว้และข้อมูลที่ได้จากการสอบถาม รูปที่ 12 แสดงข้อมูลการวัดระดับน้ำท่วมในสนามโดยใช้ระดับน้ำที่ปรากฏอยู่ เช่น ระดับน้ำจากเสาไฟฟ้า ระดับน้ำจากต้นไม้ทรายยักษ์ ระดับน้ำจากคันข้างฟางลอยและระดับน้ำจากคันโสน เป็นต้น

รูปที่ 13 แสดงแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่มีคาบอุบัติซ้ำ 10 ปี พบว่าน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรงขนาดนี้สามารถทำให้พื้นที่ในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่างมีระดับความเสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วมได้ 3 ระดับดังนี้ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง (High risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 150-200 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอ่างทอง อุทัย ปทุมธานี และบริเวณชายฝั่งทะเล คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 40.30 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 80-150 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่กระจายเป็นพื้นที่กว้างในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี อ่างทอง อุทัย ปทุมธานี และบริเวณชายฝั่งทะเลคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 2,104.73 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ (Low risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำทมน้อยกว่า 80 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่กระจายทั่วไปในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 4,013.66 ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมทั้งสิ้น 6,158.69 ตารางกิโลเมตร

รูปที่ 14 แสดงแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่มีคาบอุบัติซ้ำ 25 ปี พบว่าน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรง ขนาดนี้สามารถทำให้พื้นที่ในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่างมีระดับความเสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วมได้ 3 ระดับดังนี้ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง (High risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 200-250 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาแถบจังหวัดสุพรรณบุรี อ่างทอง อุทัย ปทุมธานี และบริเวณชายฝั่งทะเล คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 2,145.04 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 100-200 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง อุทัย ปทุมธานี และจังหวัดฉะเชิงเทรา คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 4,290.60 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ (Low risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำทมน้อยกว่า 100 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่กระจายทั่วไปคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 3,121.16 ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมทั้งสิ้น 9,556.80 ตารางกิโลเมตร

รูปที่ 15 แสดงแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่มีคาบอุบัติซ้ำ 50 ปี พบว่าน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรงขนาดนี้สามารถทำให้พื้นที่ในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง มีระดับความเสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วมได้ 3 ระดับดังนี้ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง (High risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมโดยเฉลี่ยมากกว่า 250 เซนติเมตร พื้นที่

ส่วนใหญ่อยู่ในแถบฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาแถบจังหวัดสุพรรณบุรี อ่างทอง อุทัย และปทุมธานี และฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยาแถบจังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง อุทัย และปทุมธานี นนทบุรี คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 2,805.05 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 100-250 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในแถบจังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง อุทัย ปทุมธานี นนทบุรี และกรุงเทพมหานคร คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 3,937.55 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ (Low risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 100 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่กระจายทั่วไปคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 2,814.20 ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมทั้งสิ้น 9,556.80 ตารางกิโลเมตร

รูปที่ 16 แสดงแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมที่มีคาบอุบัติซ้ำ 100 ปี พบว่าน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรงขนาดนี้สามารถทำให้พื้นที่ในบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง มีระดับความเสี่ยงต่อการถูกน้ำท่วมได้ 3 ระดับดังนี้ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง (High risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมโดยเฉลี่ยมากกว่า 300 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในแถบจังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง อุทัย สุพรรณบุรี ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา และพื้นที่แถบชายฝั่งทะเล คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 6,592.23 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง (Medium risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมประมาณ 150-300 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในแถบจังหวัดอุทัย ปทุมธานี นครนายก ฉะเชิงเทรา ราชบุรี และนครปฐม คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 6,605.95 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ (Low risk) ซึ่งจะมีระดับน้ำท่วมโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 150 เซนติเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่กระจายทั่วไปคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 6,845.14 ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมทั้งสิ้น 20,043.32 ตารางกิโลเมตร

แบบจำลอง 3 มิติของสภาพน้ำท่วม

ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารมาตราส่วน 1:50,000 ได้ถูกนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และได้ถูกนำไปวิเคราะห์ทำแบบจำลองความสูงของพื้นที่ (Digital Elevation Model : DEM) โดยใช้ซอฟต์แวร์ EASI/PACE ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปซ้อนทับโดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหรือแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม เราสามารถใช้โปรแกรม Fly ในซอฟต์แวร์ EASI/PACE เพื่อทำแบบจำลอง 3 มิติของสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนกับการถ่ายภาพจากที่สูงโดยเครื่องบินดังรูปที่ 17 ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติของสภาพน้ำท่วมสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจการณ์สภาพน้ำท่วมได้ หากเราสามารถได้ภาพถ่ายดาวเทียมจากสถานีภาคพื้นดินได้โดยตรงและส่งข้อมูลมาวิเคราะห์ เราก็สามารถตรวจการณ์สภาพน้ำท่วมได้ทันทีทันใดเหมือนนั่งดูอยู่บนเครื่องบิน ซึ่งช่วยให้เราเข้าใจสภาพน้ำท่วมได้ดียิ่งขึ้นและยังช่วยให้การวิเคราะห์คาดการณ์น้ำท่วม (Flood Forecasting) และการเตือนภัยน้ำท่วม (Flood Warning) ได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

สรุปและวิจารณ์

แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยที่จัดทำขึ้นในการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการเตือนภัยให้กับประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่เสี่ยงภัยได้ตระหนักถึงอันตรายและเตรียมพร้อมที่จะเผชิญสถานการณ์ภัยพิบัติเพื่อประโยชน์ในการลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น และเป็นข้อมูลให้กับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนรองรับเพื่อป้องกันและบรรเทาความเสียหายอันจะเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนี้แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมยังเป็นข้อมูลพื้นฐานให้หน่วยงานทั้งของภาครัฐและภาคเอกชนสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนในระดับต่าง ๆ ได้แก่ วางแผนการใช้ที่ดินทางการเกษตร การวางแผนผังเมือง การวางแผนจัดเก็บภาษีน้ำท่วม การวางแผนการดำเนินงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นที่ราบทางกายภาพต่าง ๆ เช่น ถนน ทางรถไฟ และคันคลองชลประทาน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการก่อสร้างที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรมหรือท่าเกษตรกรรมในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยธรรมชาติสูง

แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม มาตรฐาน 1:50,000 ที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดมาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำ การควบคุมการใช้ที่ดิน การวางแผนผังเมือง การจัดเก็บภาษีน้ำท่วมทั้งในชุมชนเมืองและชนบท การกำหนดมาตรฐานการประกันภัยน้ำท่วม รวมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนโดยเฉพาะการป้องกันน้ำท่วม ที่มีขนาดความรุนแรงมากขึ้น จำเป็นต้องใช้มาตรการบริหารจัดการลุ่มน้ำท่วม (Floodplain Management) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยเป็นข้อมูลพื้นฐานเป็นหลัก อย่างไรก็ตามแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยที่ได้จากการศึกษานี้คงต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อการปรับปรุงให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะ ควรจะมีการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในมาตรฐานชั้นรายละเอียดมากยิ่งขึ้น เช่น 1:4,000 หรือ 1:5,000 เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชุดนี้มีอาจดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ขอขอบพระคุณนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยทุกคนที่ช่วยให้งานดำเนินงานออกมาตามเป้าหมายและภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้อาศัยสถานที่ห้องปฏิบัติการวิจัย เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ESCAP. 1991. Manual and Guidelines for comprehensive flood Loss prevention and Management, United Nations Development Programme. 92p.

JICA. 1998. The study on integrated plan for flood mitigation on Chao Phraya River Basin (Interem Report) CTI Engineering Co., Ltd. and INA Corporation.

Ohkura, H., Haruyama, S., Oya, M., Vibulsresth, S., Simking, R., and Suwanwerakamtorn, R. 1989. A Geomorphological Survey Map of the Central Plain of Thailand Showing Classification of Flood-inundated Areas. In: Research Notes of the National Research Center for Disaster Prevention No.83. National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Somboon, J.R.P. 1990. Geomorphology of The Chao Phraya Delta. Unpublished Ph.D. dissertation, Kyoto University

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2540 การจัดการสาธารณภัยในภาคใต้ของประเทศไทย คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 461น.

สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2539 รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติ ในเขตลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 380น.

สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2540 รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติ (ในเขตลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันตก) บริษัท บริ ดิวลอปเม้นท์ คอนซัลแตนท์ จำกัด, 318น.

สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2542 รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติ (ในเขตลุ่มน้ำภาคกลาง) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 505น.