

การคาดการณ์วันฝนตกเพื่อประเมินความล่าช้าของแผนงานก่อสร้างทาง

Forecasting of Raining Day Effecting Delay of Road Construction

กำพล ทรัพย์สมบูรณ์^{1*} และ พีระพงษ์ แก้วพูลสุข²
Kumpon Subsomboon^{1*} and Perapong Kaewpoonsuk²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

*Corresponding author: Kumpon@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการคาดการณ์วันฝนตกเพื่อประเมินความล่าช้าที่อาจเกิดกับแผนงานก่อสร้างทาง โดยแสดงผลลัพธ์รูปแบบตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสมที่ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ใช้แบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ Semiparametric Weather Generator และวิธีทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลฝนในอดีต 63 ปีที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน บริเวณโดยรอบแปดสถานี กรณีศึกษา โดยเปรียบเทียบระยะเวลาของโครงการก่อสร้างจากแผนงานจริงที่รวมความล่าช้าจากวันฝนตกจริง และแผนงานที่พิจารณาตารางคาดการณ์ฯที่รวมความล่าช้าที่ใช้จากงานวิจัยนี้ ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นที่มีการจัดสรรทรัพยากรคงที่ตลอดเวลาก่อสร้าง ผลทดสอบสรุปได้ว่าวิธีการคาดการณ์วันฝนตกในรูปแบบตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสมดังกล่าวสามารถใช้ประเมินหาความล่าช้าที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับแผนงานก่อสร้างทางได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนกลางเฉลี่ยสมบูรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเฉลี่ยคิดเป็น ± 2 วัน และ 6.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: คาดการณ์วันฝนตก, ความล่าช้าในงานก่อสร้าง, แผนงานก่อสร้าง

Abstract

This research present a methodology for forecasting how rainy weather can delay road construction projects, The final result provided by this method is a table showing the probable number of non-working days based on the particular project's start and end date. Examples of these results are presented for three case studies in Phitsanulok City. Historical data on precipitation from the past sixty-three years were collected from the surrounding rain gauge stations and was analysed by using statistical techniques. The Semiparametric Weather Generator was used as a tool for modeling, and generating probable number of non-working days, then were applied into a probable number of non-working days table for the three case studies. The project duration according to the baseline schedule, the actual schedule incorporating actual rainy days, and the expected schedule incorporating probable number of non-working days were compared. The results showed that the methodology for forecasting rainy days by using the probable number of non-working days table based on the particular project's start and end date can be used to forecast delays in road construction projects, with a ± 2 day of Mean Absolute Error, and 6.37 percent of Bias Error consideration.

Keywords: Rainy Day Forecast, Road Construction Delay, Construction Scheduling

1. บทนำ

ความล่าช้าเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการบริหารโครงการก่อสร้าง เนื่องจากหากล่าช้าผู้รับจ้างจำเป็นต้องเร่งงานเพื่อให้

แล้วเสร็จตามสัญญาทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น โดยความล่าช้าอาจเกิดจากหลายสาเหตุ และสาเหตุหลักที่พบบ่อยได้แก่ความล่าช้าที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะฝนตก [1, 2]

สภาพอากาศฝนตกเป็นอุปสรรคสำคัญโดยเฉพาะงานก่อสร้างขนาดใหญ่ หรืองานก่อสร้างในที่โล่งแจ้ง [3] สภาพอากาศจะส่งผลทำให้ต้องหยุดการทำงาน และสูญเสียอัตราผลผลิต [4, 5] ทำให้ผู้รับจ้างต้องเพิ่มเวลาปฏิบัติงาน [6] อีกทั้งความล่าช้าที่เกิดจากสภาพอากาศอาจไม่สามารถชดเชยเวลาในการปฏิบัติงานได้ หากระบุในสัญญาก่อสร้าง [7, 8] ซึ่งถือว่าการจัดการที่ไม่ดีของผู้รับจ้างเอง ด้วยเหตุนี้ ผู้รับจ้างจำต้องแบกรับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น

เพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีคาดการณ์วันฝนตกเพื่อประเมินความล่าช้าที่อาจเกิดกับแผนงานก่อสร้างทาง อันเนื่องมาจากปัญหาฝนตกโดยประยุกต์ใช้กับตัวอย่างโครงการในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เสนอผลลัพธ์ในรูปแบบตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสมสำหรับงานก่อสร้างทางตามเงื่อนไขการหยุดงานฯ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ Semiparametric Weather Generator -SWG [9] เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยสร้างข้อมูลอากาศและอาศัยวิธีทางสถิติวิเคราะห์หาโอกาสการเกิดฝนตก ทั้งนี้ได้ทดสอบผลลัพธ์กับแผนงานก่อสร้างจริงในพื้นที่ศึกษาตามโครงการ เพื่อประเมินความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากฝนตก ภายใต้อัตราการเกิดฝนตกที่คาดการณ์ไว้ การก่อสร้างเป็นไปตามมาตรฐานปกติ ก่อสร้างบนพื้นที่ราบ และมีการจัดสรรทรัพยากร (เครื่องจักร และคนงาน) คงที่ตลอดเวลาก่อสร้าง

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 งานวิจัย

จิรัฏฐ์เกียรติ ศิริชื่นวิจิตร และคณะ [2] ศึกษาปัจจัยที่ทำให้ในโครงการก่อสร้างทางของแขวงทางหลวงฯ จังหวัดกำแพงเพชร ล่าช้า ประกอบด้วย 30 ปัจจัย ใช้วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) หาปัจจัยที่มีผลกระทบหลัก ผลศึกษาสรุปว่าปัจจัยสภาพอากาศที่มีฝนตกจัดอยู่ในกลุ่มห้าปัจจัยแรกที่มีนัยกับความล่าช้าของแผนงานก่อสร้างโดยตรง สอดคล้องกับพงศกร จุลละโพธิ [1] ที่ศึกษาสาเหตุความล่าช้าในงานก่อสร้างทางหลวงของประเทศไทย พบว่าสาเหตุ และปัจจัยความล่าช้าต่อโครงการก่อสร้างของกรมทางหลวงมากที่สุด คือ ปัญหาการติดกรรมสิทธิ์ และสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะฝนตก และกล่าวหาว่าปัญหาความล่าช้าจากสภาพภูมิอากาศว่าเป็น ปัจจัยที่ไม่คาดคิด ไม่สามารถป้องกันได้ ผู้รับจ้างควรวางแผนก่อสร้างเพื่อรับมือกับสภาพอากาศ และแนวคิดดังกล่าวได้สอดคล้องกับ Boateng *et al.* [3] ที่กล่าวว่าความถี่ และความรุนแรงของสภาพอากาศ เช่น ฝน หิมะ คลื่นความร้อน หรือพายุ ล้วน

ส่งผลกระทบต่อการทำงานก่อสร้าง โดยเฉพาะงานก่อสร้างขนาดใหญ่ และงานก่อสร้างในที่โล่งแจ้ง ดังนั้น การวางแผนงานก่อสร้างจึงจำเป็นต้องทบทวนปัจจัยสภาพอากาศเพื่อปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพของแผนงาน

David Thorpe และ Ebrahim Karan [10] เสนอวิธีวางแผนงานก่อสร้างให้สอดคล้องกับสภาพอากาศ ได้แก่ หิมะ ฝน และความชื้น ในประเทศออสเตรเลีย เพื่อลดความเสี่ยงในความล่าช้า และได้เสนอตารางโอกาสการเกิดสภาพอากาศที่รุนแรง เพื่อช่วยวางแผนงาน และลดความเสี่ยงความล่าช้าที่อาจเกิดกับโครงการ ผลวิจัยสรุปว่าวิธีที่เสนอสามารถประเมินหาแนวโน้มความเสี่ยงของระยะเวลาได้

Minhyuk *et al.* [11] เสนอการประมาณความล่าช้าที่เกิดจากสภาพอากาศในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 50 ชั้น ในประเทศเกาหลีใต้ โดยบูรณาการวิธี K-Nearest Neighbors และหลักการสภาพอากาศแบบแนวตั้งในการพัฒนาแบบจำลอง ทดลองใช้ผลลัพธ์จำลองตารางการทำงานของกรณีศึกษา เพื่อประเมินและตรวจสอบความล่าช้า สรุปว่าวิธีดังกล่าวสามารถในการประเมินความล่าช้าได้

2.2 ทฤษฎี

2.2.1 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝน

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน ใช้วิธี Double Mass Curve [12] โดยเปรียบเทียบค่าสะสมของปริมาณฝนรายปีของสถานีพื้นที่ศึกษา กับค่าสะสมของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของกลุ่มสถานีที่ตั้งอยู่โดยรอบ การเปรียบเทียบกระทำโดยการเขียนกราฟ

2.2.2 การประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่

การประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่ ใช้ในกรณีปริมาณฝนในพื้นที่มีตำแหน่งข้อมูลไม่เพียงพอ โดยอาศัยข้อมูลข้างเคียง วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) [13] เป็นการประมาณจุดที่ไม่ทราบค่าโดยใช้ระยะทาง และค่าของจุดที่ทราบค่าที่อยู่ในระยะใกล้เคียง ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ที่สุดจะมีอิทธิพลมากกว่า ตำแหน่งที่อยู่ห่างไกลออกไป ดังนี้

$$Z_j = \frac{\sum_i \left(\frac{Z_i}{d_{ij}^n} \right)}{\sum_i \left(\frac{1}{d_{ij}^n} \right)} \quad (1)$$

เมื่อ Z_i คือ ค่าปริมาณฝน ณ สถานีตรวจวัดฯ ที่ทราบค่า Z_j คือ ค่าปริมาณฝน ณ จุดที่ต้องการทราบค่า d_{ij} คือ ระยะทางจากจุดที่ทราบค่า (สถานีตรวจวัดฯ i) ไปยังจุดที่ต้องการทราบค่า (สถานีตรวจวัดฯ j) และ n คือ ตัวที่ควบคุมความสำคัญของจุดที่ทราบค่า ใช้ 2 เป็นค่าตั้งต้น [14]

2.2.3 SWG

แบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ SWG ใช้หลักการทำงานตามทฤษฎีของ Markov Chain และ K-Nearest Neighbors ในการวิเคราะห์ สังเคราะห์ข้อมูลอากาศ พัฒนาโดย Apipattanavis, S. [9] เป็นแบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศประเภทกึ่งพาราเมตริก โดยรวมข้อดีของแบบจำลองประเภทพาราเมตริก เช่น ให้ผลลัพธ์ดีกับกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ระดับ Interval ขึ้นไป คำนวณละเอียด และข้อดีของแบบจำลองประเภทนอนพาราเมตริก เช่น ให้ผลลัพธ์ดีกับกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดเล็ก คำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน สามารถวัดกลุ่มข้อมูลได้ทุกระดับ เข้าด้วยกัน ผลิตข้อมูลอากาศได้หลายตัวแปร หลายสถานีพร้อมกัน

Apipattanavis *et al.* [15] ใช้แบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ SWG สนับสนุนการตัดสินใจขยายระยะเวลาก่อสร้างทางหลวงในประเทศสหรัฐอเมริกา กรณีประสบปัญหาการก่อสร้างล่าช้าเสร็จไม่ตามสัญญาโดยวิเคราะห์หาโอกาสการเกิดสภาพอากาศที่รุนแรงที่จะมีผลให้ก่อสร้างไม่ได้ โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธี Critical Path Method ในการวิเคราะห์แผนงานและตัดสินใจขยายสัญญา

3. ระเบียบวิธีวิจัย

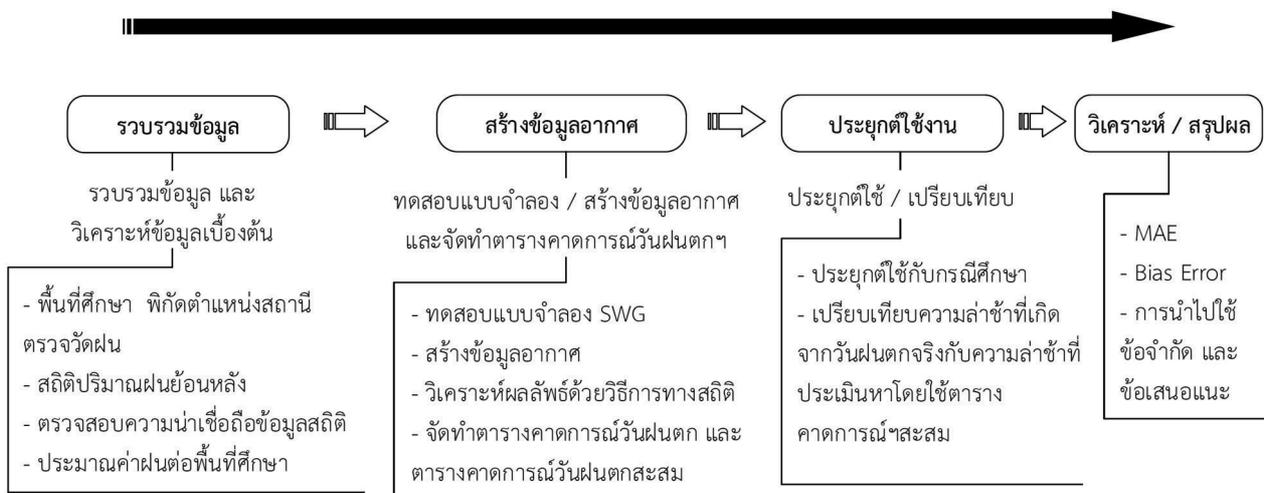
ระเบียบวิธีวิจัยสรุปได้ดังรูปที่ 1 โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้ศึกษาในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และทดลองใช้กับแผนงานโครงการก่อสร้างทางสามโครงการ ดังนี้

ตารางที่ 1 ระยะเวลาตามแผนงาน และความล่าช้าจากวันฝนตกจริงของกรณีศึกษา

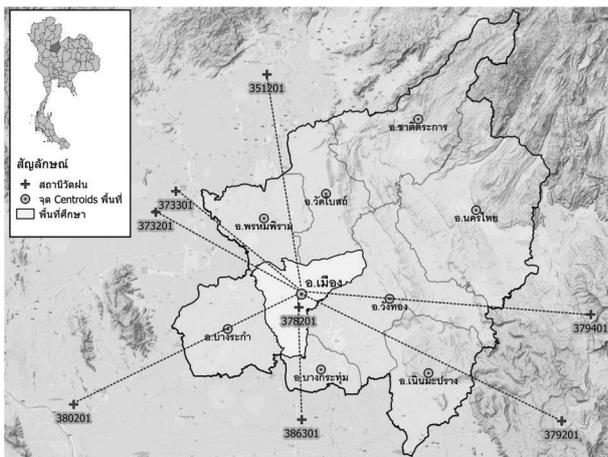
กรณีศึกษา	ระยะเวลาตามแผนงานเดิม (ระยะเวลารวม-วัน)	ความล่าช้าจากวัน ฝนตกจริง (วัน)
A	16 พฤษภาคม 2556 ถึง 11 ธันวาคม 2556 (210)	36
B	4 มิถุนายน 2556 ถึง 23 กันยายน 2556 (112)	23
C	18 เมษายน 2556 ถึง 1 ตุลาคม 2556 (167)	33



รูปที่ 1 ขั้นตอนระเบียบวิธีวิจัย

3.2 สถิติปริมาณฝน และสถานีตรวจวัดฝน

การวิจัยนี้ใช้สถิติปริมาณฝนรายวันย้อนหลัง 63 ปี โดยรวบรวมจากสถานีตรวจอากาศภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดที่รอบพื้นที่ศึกษาแปดสถานี จาก 122 สถานีทั่วประเทศ [16, 17] แต่ละสถานีห่างจากจุดศูนย์กลางพื้นที่ศึกษาแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) จุดศูนย์กลางพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คิดจากเขตการปกครองระดับอำเภอโดยใช้โปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) เป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์



รูปที่ 2 ตัวอย่างการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝน

ตารางที่ 2 รายชื่อสถานีตรวจวัดปริมาณฝนที่ใช้ในการวิจัย [18, 19]

รหัสสถานี	พิกัด (เส้นรุ้ง เส้นแวง)	จังหวัด	ระยะ (กิโลเมตร)
351201	17.625, 100.096	อุดรดิตถ์	89.29
373301	17.167, 99.867	สุโขทัย	57.42
373201	17.100, 99.800	สุโขทัย	59.15
380201	16.487, 99.527	กำแพงเพชร	89.73
386301	16.438, 100.285	พิจิตร	44.34
379201	16.433, 101.15	เพชรบูรณ์	102.62
379401	16.774, 101.247	เพชรบูรณ์	102.80
378201	16.796, 100.276	พิษณุโลก	4.28

3.3 เงื่อนไขการหยุดปฏิบัติงาน

เงื่อนไขการหยุดงานชั่วคราว เนื่องจากจากฝนตกระหว่างการปฏิบัติงาน หรือก่อนปฏิบัติงาน 24 ชั่วโมง จะอ้างอิงจากเงื่อนไขการหยุดงานของ Federal Highway Administration (FHWA) ประเทศสหรัฐอเมริกา [14, 17] สำหรับประเภทงาน

ลาดยาง งานคอนกรีต และงานโครงสร้าง ส่วนงานดินในการวิจัยนี้ใช้เงื่อนไขจากสมมติฐานว่า “หากฝนตก หรือน้ำนองในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างจะปฏิบัติงานไม่ได้ต้องหยุดงานชั่วคราว”

จากสมมติฐานดังกล่าวอาศัยหลักการสูญเสียทางอุทกวิทยาโดยใช้ทฤษฎีการซึมลงดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตกกับปริมาณน้ำนอง หาอัตราการซึมลงดินในการวิจัยนี้วิเคราะห์ตามวิธี NRCS Curve Number ที่พัฒนาโดย The Natural Resources Conservation Service (NRCS) ประเทศสหรัฐอเมริกา [20] โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นสองฤดูกาล คือ ฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) [21] โดยมีตัวแปร ดังนี้

กำหนดให้ดินที่ใช้ในงานก่อสร้างเป็นดินชนิด B คือ ชั้นดินบางมีความซึมผ่านได้ปานกลางเป็นดินร่วนปนทรายทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน หากแต่ฤดูแล้งจะมีสภาพความชื้นในดินเป็นลักษณะที่มีศักยภาพที่จะทำให้เกิดการไหลออกน้อย เป็นดินแห้ง (AMC I) มีค่า Curve Number (CN_I) 66.47

ส่วนฤดูฝนจะมีสภาพความชื้นในดินเป็นลักษณะความชื้นในดินปานกลาง (AMC II) มีค่า Curve Number (CN_{II}) 82 จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณฝนที่ทำให้เกิดน้ำนอง (P) ได้ตามวิธี NRCS Curve Number

ผลลัพธ์สอดคล้องกับปริมาณฝนตกในพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งมีผลกระทบต่องานก่อสร้างทาง ตามเงื่อนไขการหยุดงานของ FHWA ดังนั้น จึงสรุปปริมาณฝนที่มีผลกระทบต่อการทำงานก่อสร้างทางตามเกณฑ์เงื่อนไขการหยุดงานอันเนื่องมาจากฝนตก ดังตารางที่ 3

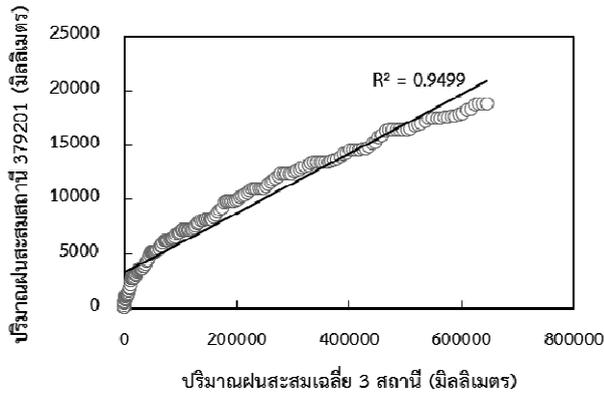
ตารางที่ 3 เงื่อนไขการหยุดงานชั่วคราวอันเนื่องมาจากฝนตก [18, 19]

ประเภทงาน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน
ดินขุด ดินถม	ตั้งแต่ 25.4 มิลลิเมตร	ตั้งแต่ 12.5 มิลลิเมตร
ลาดยาง	ต้องไม่มีฝนตกระหว่างการดำเนินงาน ชั้นพื้นทางต้องแห้ง*	ต้องไม่มีฝนตกระหว่างการดำเนินงาน ชั้นพื้นทางต้องแห้ง*
เทคอนกรีต	ตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร*	ตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร*
โครงสร้าง	ตั้งแต่ 12.7 มิลลิเมตร (ไม่รวมงานเทคอนกรีต)*	ตั้งแต่ 12.7 มิลลิเมตร (ไม่รวมงานเทคอนกรีต)*

* อ้างอิงจากเงื่อนไขการหยุดงานอันเนื่องมาจากสภาพอากาศของ Federal Highway Administration (FHWA) ประเทศสหรัฐอเมริกา

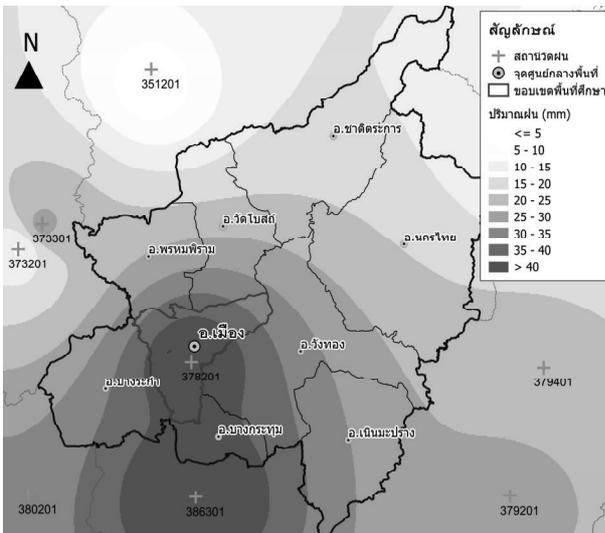
3.4 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือข้อมูลและการประมาณค่าฝนต่อพื้นที่ศึกษา

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสถิติน้ำฝนรายวันของแต่ละสถานีย้อนหลังที่รวบรวมโดยใช้วิธี Double Mass Curve โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)



รูปที่ 3 ตัวอย่างการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนโดยใช้วิธี Double Mass Curve สถานีวัดปริมาณฝน 379201 [18]

หากผลตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเป็นที่น่าพอใจ จะประมาณค่าฝนต่อพื้นที่ศึกษาโดยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) เฉลี่ยปริมาณฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดสู่พื้นที่ศึกษา



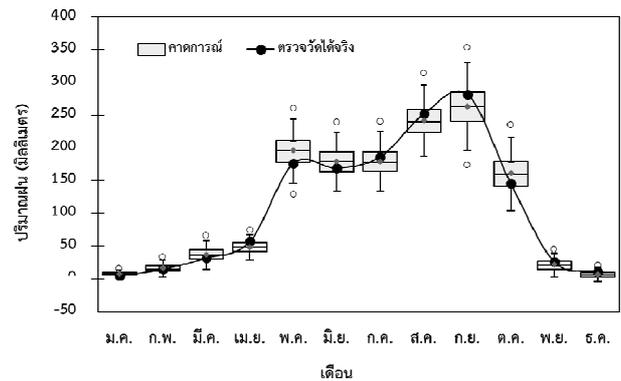
รูปที่ 4 ตัวอย่างผลประมาณค่าฝนต่อพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีการ IDW

3.5 การทดสอบแบบจำลอง

สอบเทียบแบบจำลองกระทำได้โดยการแบ่งข้อมูลปริมาณฝนเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกใช้ข้อมูลจำลองสถานการณ์สร้างข้อมูลอากาศ (Calibrate) กลุ่มสองสำหรับเป็นข้อมูลที่ใช้

ทดสอบความน่าเชื่อถือแบบจำลอง (Validate) ป้อนข้อมูลปริมาณน้ำฝนกลุ่มแรกในแบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ SWG และสั่งให้แบบจำลองสร้างชุดข้อมูลอากาศในปีตามข้อมูลปริมาณฝนกลุ่มสอง โดยจำนวนชุดข้อมูลต้องไม่ต่ำกว่า 100 ชุด [9]

ผลลัพธ์ข้อมูลอากาศในรูป Box Plot เปรียบเทียบกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จริงในรูปแบบของ Scatter Plot แสดงในรูปที่ 5 หากผลลัพธ์จากแบบจำลองส่วนใหญ่ไม่ใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดจริง จะต้องปรับแก้อัลกอริทึมการสุ่มหยิบข้อมูลในแบบจำลองต่อไป



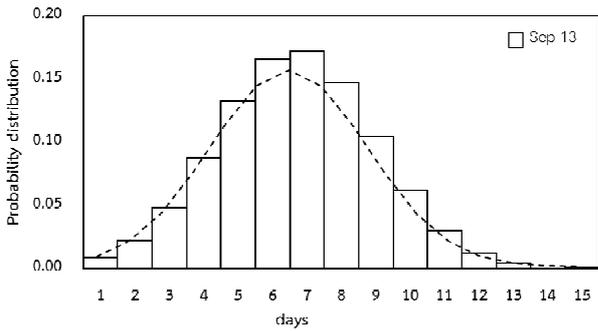
รูปที่ 5 ผลการทดสอบแบบจำลอง [18, 19]

3.6 ตารางคาดการณ์วันฝนตก และตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสม

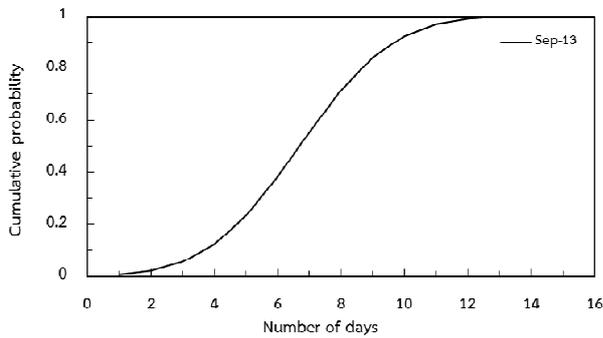
ตารางคาดการณ์วันฝนตกทำโดยป้อนสถิติปริมาณฝน 62 ปีย้อนหลัง (2494-2555) เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้แบบจำลองใช้จำลองสถานการณ์ แล้วให้แบบจำลองสร้างข้อมูลอากาศในปีที่ศึกษา (2556) ข้อมูลที่ได้จะใช้หาความถี่ของวันที่มีฝนตกโดยแยกเป็นรายเดือนในแต่ละประเภทงานที่ปฏิบัติตามเงื่อนไขการหยุดงาน (ตารางที่ 3) ใช้ความถี่ที่ได้หาฟังก์ชันรูปแบบการกระจายตัวของโอกาสเกิดเหตุการณ์ (Probability Density Function, PDF) และโอกาสการเกิดสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ตามลำดับ ตัวอย่างผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 6

อ่านค่าโอกาสการเกิดฝนตกจากกราฟ CDF ที่โอกาสการเกิดต่าง ๆ งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าโอกาสการเกิดที่ร้อยละ 70 เนื่องจากมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ระดับปานกลางถึงสูง [22] จากรูปที่ 6 โอกาสเกิดฝนตกในเดือนกันยายน พ.ศ. 2556 กรณีงานดิน ในพื้นที่ศึกษามีค่าโอกาสเกิดฝนตกร้อยละ 70 คือ 8 วัน ซึ่งจำนวนวันดังกล่าวเป็นวันคาดการณ์ แสดงให้เห็นวันที่ต้อง

หยุดงานชั่วคราวเนื่องมาจากฝนตก โดยผลลัพธ์แสดงอยู่ในรูปของตารางคาดการณ์วันฝนตกแบบรายเดือน



ก. PDF



ข. CDF

รูปที่ 6 ตัวอย่างการกระจายตัวโอกาสฝนตก มากกว่า 12.5 มิลลิเมตร กรณีงานดิน ในพื้นที่ศึกษา

ตารางคาดการณ์วันฝนตกแบบสะสมเพื่อใช้งานสะดวก ทั้งนี้ เลือกใช้ข้อมูลจำนวนวันฝนตกเฉพาะประเภทงานดิน เนื่องจากการก่อสร้างทางไม่ว่าจะเป็นทางลาดยางหรือทางคอนกรีตเสริมเหล็ก เกี่ยวข้องกับงานดินเป็นหลัก เช่น งานดินขุด ดินถม (Cut & Fill) ดินคันทาง (Soil Embankment) รองพื้นทาง (Sub base) เป็นต้น ซึ่งมักจะมีความอ่อนไหวเป็นอย่างมากต่อสภาพฝนตกทำให้มีผลต่อระยะเวลาทำงานโดยรวมของโครงการ เช่น ฝนตก ดินเปียก สภาพเป็นโคลนจะต้องหยุดงาน หรือรอจนกว่าดินแห้ง จึงจะปฏิบัติงานต่อไปได้ เป็นต้น อีกทั้งงานดินมักใช้เวลาานาน เป็นกิจกรรมหลักที่อยู่ลำดับต้น ๆ ของสายงานก่อสร้าง และส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมที่อยู่ในเส้นทางวิกฤต (Critical Path) ด้วย ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่การก่อสร้างล่าช้าได้มากกว่างานประเภทอื่น

3.7 ประยุกต์ใช้กับการวางแผนงาน

ตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสม ประยุกต์กับการวางแผนงานก่อสร้างทั้งโครงการ (พิจารณาเดือนที่เริ่มการปฏิบัติงาน

จนถึงเดือนที่สิ้นสุดการทำงานตามแผนงานเดิม) ของผู้รับจ้าง หาระยะเวลาที่โครงการมีโอกาสเกิดความล่าช้า ค่าในตารางคาดการณ์สะสมดังกล่าว หมายถึงจำนวนวันที่มีโอกาสฝนตกตลอดเวลาดำเนินโครงการ หรือหมายถึงจำนวนวันที่งานมีโอกาสล่าช้าหากไม่มีการปรับปรุงแผนงานหรือเพิ่มทรัพยากร

การเปรียบเทียบผลลัพธ์จะนำเวลาที่โครงการมีโอกาสเกิดความล่าช้าที่ได้จากตารางคาดการณ์สะสมเปรียบเทียบกับความล่าช้าที่เกิดจากฝนตกจริงในโครงการก่อสร้าง และหยุดงานชั่วคราวตามเงื่อนไขการหยุดงาน โดยทำแบบเดียวกันทั้งสามกรณีศึกษา เพื่อหาความคลาดเคลื่อนกลางเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) และร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเฉลี่ย (Bias Error) ดังนี้

$$MAE = |S - R| \quad (2)$$

$$Bias = \frac{|S - R|}{R} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ S คือ ความล่าช้าของแผนงานที่ได้จากตารางสะสม R คือ ความล่าช้าจากวันฝนตกจริง (เวลาเป็นวัน)

4. ผลวิจัย

4.1 ตารางคาดการณ์วันฝนตก และตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสม

ตารางคาดการณ์วันฝนตก และตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสมสำหรับวางแผนก่อสร้างทางในพื้นที่ศึกษาแสดงตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ ผลลัพธ์ในตารางที่ 4 แสดงว่า งานลาดยางมีเวลาเผื่อสำหรับวันฝนตกมากที่สุด และลำดับต่อมางานเทคอนกรีต ทั้งนี้ เป็นผลจากมาตรฐานปฏิบัติงานแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวง [23] และกรมทางหลวงชนบท [24] กำหนดก่อนการปูลาดยางหรือแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) นั้น ชั้นพื้นทางต้องแห้ง ไม่เปียกชื้น ต้องไม่มีฝนตกระหว่างการปู ซึ่งเป็นไปตามสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ต้องมีสภาพแวดล้อมดีตลอดการทำงาน เช่น ต้องรักษาอุณหภูมิของวัสดุตลอดการปูไม่ควรคลาดเคลื่อนไปจากอุณหภูมิเมื่อออกจากโรงงานผสม ต้องบ่มคอนกรีตเพื่อรักษาความร้อนให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ระหว่างการเทคอนกรีตต้องรักษาอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ และน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อกำลังและคุณภาพวัสดุ ทั้งนี้หากควบคุมสภาพแวดล้อมไม่ได้อาจหา

วิธีแก้ไขอื่น ๆ ซึ่งอาจทำให้เวลาทำงาน และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นได้ ฉะนั้นผู้รับจ้างจำเป็นต้องทราบข้อมูลวันฝนตกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างทำงานโดยเฉพาะช่วงฤดูฝน เพื่อปรับปรุงแผนงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับงานดิน และงานโครงสร้างที่ไม่รวมงานเทคอนกรีต จะมีสัดส่วนระยะเวลาส่วนเผื่อที่ไม่แตกต่างกันมาก โดยเป็นผลมาจากสภาพ และอุทกวิทยาต่างกล่าวข้างต้น

งานโครงสร้าง เช่น งานติดตั้งโครงสร้างเหล็ก งานติดตั้งคานสะพาน (Girder) หรืองานอื่น ๆ ที่ใช้ปั้นจั่น (Crane) ซึ่งอาจเกิดอันตรายหากปฏิบัติงานขณะฝนตก หรือมีลมพายุ อีก

ทั้งคุณภาพงานจะลดลง ทำให้ล่าช้า และค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ดังนั้นการคาดการณ์วันฝนตกจะช่วยให้ผู้รับจ้างวางแผนงาน เครื่องมือเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

ตารางที่ 5 เมื่อประยุกต์ใช้ในการวางแผนงาน เช่น โครงการกรณีศึกษา A มีแผนการปฏิบัติงานเดิมตามสัญญาเริ่มงานในวันที่ 16 พฤษภาคม 2556 ถึง 11 ธันวาคม 2556 พบว่าหากผู้บริหารโครงการไม่เพิ่มทรัพยากร หรืออัตราการทำงาน โครงการมีโอกาสล่าช้า 36 วัน หรือเหลือจำนวนวันที่สามารถปฏิบัติงานได้จริงเพียง 174 วัน

ตารางที่ 4 คาดการณ์วันฝนตก สำหรับวางแผนงานก่อสร้างทาง ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประเภทงาน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ดิน	0	0	1	1	4	5	6	7	8	4	1	1
ลาดยาง	3	4	6	9	21	22	23	24	5	16	5	2
เทคอนกรีต (ผิวจราจร คอนกรีตโครงสร้าง คันทัน)	1	2	3	4	11	12	13	15	15	9	2	1
โครงสร้าง (ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ไม่รวมเทคอนกรีต)	0	0	1	3	4	5	6	7	8	4	1	1

หมายเหตุ: ระยะเวลาหน่วยเป็นวัน

ตารางที่ 5 คาดการณ์วันฝนตกแบบสะสม สำหรับวางแผนงานก่อสร้างทาง (งานดิน) ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

จำนวนวันคาดการณ์ ที่มีฝนตก (วัน)	เดือนที่คาดว่าจะ แล้วเสร็จตามสัญญา	ระยะเวลาที่เริ่มลงมือการปฏิบัติงาน															
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.				
0	มกราคม 2556	0															
0	กุมภาพันธ์ 2556	0	0														
1	มีนาคม 2556	1	1	1													
1	เมษายน 2556	2	2	2	1												
4	พฤษภาคม 2556	6	6	6	5	4											
5	มิถุนายน 2556	11	11	11	10	9	5										
6	กรกฎาคม 2556	17	17	17	16	15	11	6									
7	สิงหาคม 2556	24	24	24	23	22	18	13	7								
8	กันยายน 2556	32	32	32	31	30	26	21	15	8							
4	ตุลาคม 2556	36	36	36	35	34	30	25	19	12	4						
1	พฤศจิกายน 2556	37	37	37	36	35	31	26	20	13	5	1					
1	ธันวาคม 2556	38	38	38	37	36	32	27	21	14	6	2	1				

หมายเหตุ: ระยะเวลาหน่วยเป็นวัน

4.2 ผลประยุกต์ใช้กับแผนงานกรณีศึกษา

ผลประยุกต์ใช้ตารางคาดการณ์วันฝนตกแบบสะสมกับแผนงานกรณีศึกษา (ตารางที่ 6) โดยความล่าช้าจากวันฝนตกจริง หมายถึงความล่าช้าเกิดจากฝนตกจริงในโครงการก่อสร้างและมีการหยุดงานชั่วคราวตามเงื่อนไขหยุดงาน

ตารางที่ 6 ผลการประยุกต์ใช้งานกับแผนงานกรณีศึกษา

กรณี	แผนงานเดิม ตามสัญญา (วัน)	ความล่าช้า (วัน)		MAE (วัน)	Bias Err. (ร้อยละ)
		จากวันฝน ตกจริง	จากตาราง คาดการณ์ฯ		
A	210	36	36	0	0.00
B	112	23	26	3	13.04
C	167	33	35	2	6.03
		เฉลี่ย		1.7 (2)	6.37

5. อภิปราย สรุป และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีคาดการณ์วันฝนตกเพื่อประเมินความล่าช้าที่อาจเกิดกับแผนงานก่อสร้างเนื่องจากฝนตก ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบตารางคาดการณ์วันฝนตกแบบสะสม ใช้แบบจำลองกำเนิดข้อมูลอากาศ SWG ที่อาศัยหลักการ Markov Chain และ K-Nearest Neighbors และวิธีทางสถิติวิเคราะห์ข้อมูลผลลัพธ์ โดยประยุกต์ใช้กับแผนงานกรณีศึกษา เพื่อคาดการณ์หาความล่าช้าที่เกิดขึ้น ภายใต้ข้อตกลงเบื้องต้นว่าการก่อสร้างที่เป็นไปตามมาตรฐานปกติทั่วไป ก่อสร้างบนพื้นที่ราบ และจัดสรรทรัพยากร (เครื่องจักร และคนงาน) คงที่ตลอดระยะเวลาก่อสร้าง

การทดสอบผลลัพธ์แสดงว่าวิธีการคาดการณ์วันฝนตกในรูปแบบตารางสะสมฯ สามารถคาดการณ์ความล่าช้าของแผนงานก่อสร้างที่มีสาเหตุอันเนื่องมาจากฝนตกได้ โดยมี MAE และ Bias Error ± 2 วัน และร้อยละ 6.37 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Scott Kenner [25] ที่จัดทำแผนภูมิตารางวันที่ไม่สามารถปฏิบัติงานก่อสร้างเนื่องจากสภาพอากาศ (Non-Working Days) ในรัฐเซาท์ดาโคตา สหรัฐอเมริกา โดยเก็บข้อมูลจากรายงานประจำวันของบริษัทที่ดำเนินธุรกิจก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงในการทำงาน และลดข้อพิพาทระหว่างผู้รับจ้างกับผู้ว่าจ้างกรณีที่ต้องหยุดงานเนื่องจากสภาพอากาศ ผลศึกษาแสดงว่าแผนภูมิตารางแสดงจำนวนวันที่ไม่สามารถปฏิบัติงาน สามารถใช้คาดการณ์ความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นกับแผนงานเนื่องจากฝนตกได้ โดยงานดินมี

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3 วัน (ร้อยละ 3.4) งานปูผิวทางและงานโครงสร้างมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7 วัน (ร้อยละ 8.0) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าจากสภาพอากาศของ US Army Corps of Engineers

ทั้งนี้ เห็นได้ว่าวิธีงานวิจัยนี้เสนอ สามารถช่วยคาดการณ์ความล่าช้าที่เป็นผลมาจากฝนตกได้ งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าโอกาสการเกิดที่ร้อยละ 70 เฉพาะประเภทงานดิน ในการจัดทำตารางคาดการณ์วันฝนตกสะสม ดังนั้น ผู้นำไปใช้งานควรคำนึงถึงกิจกรรมในแผนงานกิจกรรมส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับงานดินมากน้อยเพียงใด มิเช่นนั้นแล้วผลลัพธ์ค่าระยะเวลาคาดหวังที่โครงการแล้วเสร็จอาจคลาดเคลื่อนต่ำหรือสูงกว่าความเป็นจริง (Under or Over Estimate) จนอาจกระทบต่อการบริหารโครงการ

อย่างไรก็ตาม วิธีงานวิจัยนี้บูรณาการวางแผนงานให้สอดคล้องกับสภาพอากาศฝนตกเพื่อเตรียมการวางแผนงานและลดความเสี่ยงความล่าช้า โดยมุ่งเน้นกับการก่อสร้างทางที่เกี่ยวข้องกับงานดินเป็นหลัก ทั้งนี้ ผลลัพธ์งานวิจัยเป็นลักษณะเฉพาะพื้นที่ และช่วงเวลา ทำให้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น หากใช้กับพื้นที่อื่นที่ไม่ใช่พื้นที่ศึกษา ต้องจำลองสถานการณ์ใหม่ในแบบจำลอง ใช้สถิติฝนจากสถานีตรวจวัดฯ บริเวณรอบพื้นที่นั้น ๆ แล้วทำตามขั้นตอนวิธีงานวิจัยเสนอ หากบางพื้นที่ไม่มีสถานีตรวจวัดฝน หรือมีน้อย ให้ใช้ข้อมูลฝนอัตโนมัติที่ตรวจวัดได้จากภาคพื้นดิน หรือฝนจากการสำรวจด้วยเรดาร์ และดาวเทียม (TRMM) ที่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ทุกช่วงเวลาของประเทศไทยในการประมาณค่าฝนต่อพื้นที่

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.สมเกียรติ อภิพัฒน์วิศว์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์แบบจำลอง SWG ในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความรู้ที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chullabodhi, P. (2008). *Delay in highway construction projects in Thailand* (master's thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok. (in Thai)
- [2] Sirichuanwichit, J., Chanthosod, N., & Srirattanavasin, Y. (2009). *Factors causing delays of Kamphaeng Phet*

- highway district's construction projects. (master's independent study). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- [3] Boateng, P., Chen, Z., & Ogunlana, S. (2012). A conceptual system dynamic model to describe the impacts of critical weather conditions in megaproject construction. *Journal of Construction Project Management and Innovation*, 2(1), 208-224.
- [4] Moselhi, O., & K. El-Rayes. (1997). Estimating weather impact on the duration of construction activities. *Journal of Civil Engineering*, 24(3), 359-366.
- [5] Hyun-soo Lee, Jae-won Shin, Moonseo Park, & Han-Guk Ryu. (2009). Probabilistic duration estimation model for high-rise structural work. *Journal of construction engineering and management*, 135(12), 1289-1298.
- [6] Koehn, E., & G. Brown. (1985). Climatic effects on construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 111(2), 129-137.
- [7] M. Asem U. Abdul-Malak, Mustafa M. H. El-Saadi, & Marwan G. Abou-Zeid. (2002). Process model for administrating construction claims. *Journal of Management in Engineering*, 18(2), 84-94.
- [8] Long D. Nguyen, Jax Kneppers, Borja Garcia De Soto, P.E., & William Ibbs. (2010). Analysis of adverse weather for excusable delays. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(12), 1258-1267.
- [9] Apipattanavis, S., Podesta, G., Rajagopalan, B., & Katz, R. W. (2007). A semiparametric multivariate and multisite weather generator. *Water Resources Research*, 43(11), W11401
- [10] Thorpe, D., & Karan, E. P. (2008). Method for calculating schedule delay considering weather conditions. In *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Association of Researchers in Construction Management (ARCOM 2008)* (Vol. 2, pp. 809-818). University of Glamorgan, Cardiff, Wales: Association of Researchers in Construction Management (ARCOM).
- [11] Minhyuk Jung, Moonseo Park, Hyun-Soo Lee, & Hyunsoo Kim. (2016). Weather Delay Simulation Model Based on Vertical Weather Profile for High-Rise Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(6), 04016007.
- [12] Searcy, J.K., & C.H. Hardison. (1960). *Double mass curves*. United States: Geological Survey Water-Supply Paper 1541-B.
- [13] Chrisman, N. (n.d.). *Inverse distance weighting*. Retrieved January 20, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse_distance_weighting#cite_ref-1.
- [14] Jirakajonhkool, S. (n.d.). *Introduction to 3D Analyst Interpolation*. Retrieved June 6, 2015, from http://www.scitu.net/rt/files/Chapter03Interpolation_4p.pdf. (in Thai)
- [15] Apipattanavis, S., Sabol, K., Molenaar, K. R., Rajagopalan, B., Xi, Y., Blackard, B., & Patil, S. (2010). Integrated framework for quantifying and predicting weather-related highway construction delays. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(11), 1160-1168.
- [16] Tonjan, S. (2014, August 28-29). Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). In Tantanee, S. (Chair), *Workshop on remote sensing for flood warning*. Organized by Faculty of Engineering, Naresuan University. (in Thai)
- [17] Kowattana, K., & Laohalertcha, C. (2010). *Thai Junior Encyclopedia (No.35)*. Bangkok: Thai Junior Encyclopedia Project. (in Thai)
- [18] Kaewpoonsuk, P. (2016). *Expected rained date calendar for road construction schedule planning*. (master's thesis). Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- [19] Kaewpoonsuk, P., Subsomboon, K., & Apipattanavis, S. (2016). Expected rained date calendar for road construction schedule planning. In *Proceedings of the 21st National Convention on Civil Engineering*. (pp.1054-1062). Songkhla: B. P. Samila Beach Hotel. (in Thai)
- [20] Warren Viessman Jr. and Lewis, G.L. (2003). *Introduction to Hydrology (5th ed.)*. New Jersey: Prentice hall.
- [21] Thai Meteorological Department. (n.d.). *Seasons of Thailand*. Retrieved October 10, 2015, from <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=53>. (in Thai)
- [22] Srisuk, K. (2009). *Research Methodology*. Chiang Mai: Krobchang publishing. (in Thai)
- [23] Department of highways. (1989). *Standards of Highway (Standard No. DH-S 408/2532)*. Retrieved January 8, 2016, from <http://www.doh.go.th/doh/th/details/standard/standard2.html>. (in Thai)
- [24] Department of Rural Roads. (2002). *Standards of Rural Roads (No. 230-2545)*. Retrieved January 8, 2016, from http://research.drr.go.th/sites/research.drr.go.th/files/mthch.230-2545_0.pdf. (in Thai)
- [25] Kenner, S., Johnson, R.L., Miller, J.R., Salmen, J.A., & Matt, S.A. (1998). *Development of Working Day Weather Charts for Transportation Construction in South Dakota*. USA: South Dakota School of Mines and Technology.

