ผลกระทบของลักษณะลมและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อภัยแล้ง
Impact of Wind Characteristics and Climate Change on Drought

ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล[1] และ ดุลยพล เหล็งพั้ง[2,*]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี
**Corresponding author; E-mail address: dulyapol62@gmail.com*

บทคัดย่อ

ดัชนีฝนมาตรฐาน (Standard Precipitation Index, SPI) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ สำหรับประเมินสถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปกติ ดัชนี SPI จะแปรตามลักษณะกายภาพของพื้นที่ และการเปลี่ยนแปลงของฝนจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ดังนั้นในที่นี้ บทความจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลกระทบของลักษณะลมที่พัดผ่านพื้นที่ ต่อภัยแล้งที่เกิดขึ้น และ (2) วิเคราะห์แนวโน้มของภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณา การศึกษาใช้ข้อมูลฝนรายเดือนยาว 35 ปี (1981 – 2015) จำนวน 5 สถานี ในพื้นที่ลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งมีลมพัดพามวลอากาศชื้นผ่าน และ 9 สถานี ในพื้นที่ลำตะคอง ซึ่งอับลม ผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะการรับลมของพื้นที่ส่งผลต่อสถานการณ์ภัยแล้ง เพราะพื้นที่นครนายกเผชิญภัยแล้งทั้งในระดับรุนแรงมากและปานกลาง น้อยครั้งกว่าพื้นที่ลำตะคอง นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่า สภาวะโลกร้อนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสภาวะแห้งแล้งของความชื้นในดิน ในขณะที่ความแห้งแล้งของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำของทั้งสองลุ่มน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ภัยแล้ง, ดัชนีฝนมาตรฐาน, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

Abstract

Standard precipitation index (SPI) is fundamental information for assessing situation of drought in a river basin. Usually, the SPI varies with physical characteristics of the basin and change of rainfall due to climate change. Hence, the main objectives of the present paper are (1) to assess impact of wind characteristics flowing across a catchment area on drought disasters and (2) to analyze trend of the drought for the considered basin. This study uses 35 years (1981 - 2015) of monthly rainfall data for 5 stations in the windward Nakhon Nayok Basin and 9 sites in the leeward Lam takong Area. Analysis results have shown that considered impact on the drought circumstance exists because the chances of facing the moderate and extreme droughts in the Nakhon Nayok Area are less than those in the other. Moreover, the results have further indicated that global warming does not significantly affect the soilmoisture . In the other hand, the reservoir drought for both areas are significantly affected by global warming

Keywords: Drought, Standard Precipitation Index (SPI), Climate Change

1. คำนำ

ในศตวรรษที่ผ่านมานี้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนกลายเป็นสิ่งที่น่ากังวลในหลายประเทศทั่วโลก ซึ่งปริมาณฝนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระทบต่อความแล้งโดยตรง ดังนั้นการศึกษาสภาวะของความแห้งแล้งในจึงมีความน่าสนใจเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผน การจัดการและการบรรเทาปัญหาภัยแล้งได้ต่อไป ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการสำหรับการประเมินความแห้งแล้งหลายวิธีด้วยกัน [1] ทั้งนี้ในการศึกษานี้จะพิจารณาความแห้งแล้งโดยการใช้ประยุกต์ใช้กับดัชนีฝนมาตรฐาน (Standardized Precipitation Index; SPI) เนื่องจากเป็นดัชนีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการประเมินความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สภาวะความแห้งแล้งโดยพิจารณาจาก ปริมาณน้ำฝนสะสมในแต่ละช่วงเวลา เช่น 3, 6, 9 และ 12 เดือน เป็นต้น [2], [3]

Standard Precipitation Index (SPI) เป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้กันมากที่สุดทั่วโลก สำหรับการติดตามสถานการณ์และอธิบายความแห้งแล้ง ดัชนี SPI ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย McKee et al. [4] และอธิบายรายละเอียดโดย Edwards et al. [5] ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความผิดปกติของปริมาณฝนรายเดือนในพื้นที่ โดยวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบปริมาณฝนทั้งหมดสำหรับระยะเวลาของการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (เช่น 1, 3, 12, 48 เดือน) โดยในการศึกษาโดยการใช้ข้อมูลฝนที่มีช่วงข้อมูลตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยข้อมูลฝนในอดีตมีความเข้ากันได้กับการแจกแจงความถี่แบบ Gamma Distribution มากที่สุด ซึ่งความถี่หรือความน่าจะเป็นจะถูกแปลงกลับไปเป็นค่าปกติโดยการใช้ Standard Normal Distribution ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบปกติ

ความแห้งแล้งในทางอุทกวิทยาโดยทั่วไปหมายถึง ปรากฏการณ์ของการขาดน้ำฝนในช่วงระยะเวลายาวนาน ซึ่งการเกิดฝนมากหรือน้อยจะอยู่กับตำแหน่งที่ตั้ง และสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ทางด้านหน้าเขาจะมีปริมาณฝนที่มากกว่าพื้นที่ที่ตั้งอยู่หลังภูเขา โดยเรียกปรากฏการดังกล่าวว่า ฝนปะทะภูเขา (Orographic Rainfall) ทั้งนี้ปริมาณฝนยังขึ้นอยู่กับลมพายุที่พัดผ่านพื้นที่ซึ่งแตกต่างกันไป โดยมีอิทธิพลมากจากการไหลเวียนของอากาศในชั้นบรรยากาศโลก ทั้งนี้ในปัจจุบันเกิดภาวะการเปลี่ยนแปลงของการไหลเวียนของอากาศในชั้นบรรยากาศโลก (Global Teleconnection Change) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่จะส่งผลให้เกิดภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (Climate Change) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณแผ่นดินในเขตมรสุมที่ระดับน้ำค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปพร้อมกับปริมาณฝนรายเดือน โดยเมื่อทิศทางของลมและสภาวะภูมิอากาศโลกที่เปลี่ยนแปลงไปและส่งผลให้ปริมาณฝนลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดภัยแล้ง (Drought)

ดังนั้นในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลกระทบของลักษณะลมที่แตกต่างกันต่อภัยแล้งที่เกิดขึ้นระหว่างลุ่มน้ำลำตะคองที่ตั้งอยู่ทางด้านหลังภูเขาและ ลุ่มน้ำนครนายกที่ตั้งอยู่ทางด้านหน้าภูเขา โดยการประยุกต์ใช้ดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) ที่ช่วงเวลา 1 (SPI-1) และ 6 (SPI-6)

เดือน สำหรับการพิจารณาถึงความชื้นในดิน และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำตามลำดับ ทั้งนี้จะทำการพิจารณาความแตกต่างของลักษณะความแห้งแล้งระหว่าง 2 ลุ่มน้ำ ดังกล่าว ที่ได้รับอิทธิพลจากลมพายุที่แตกต่างกัน และ (2) ทำการวิเคราะห์แนวโน้มของภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสอง โดยการแยกความเป็นฤดูกาลออกจากดัชนี SPI-1 และ SPI-6 [4], [5] ด้วยการประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) ในการประเมินรูปแบบของฤดูกาล [6], [7] และตรวจสอบความมีนัยสำคัญของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนี SPI ด้วยวิธี Mann Kendall Test [8], [9], [10] โดยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลฝนรายเดือนยาว 35 ปี (1981 – 2015) จำนวน 5 สถานี สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งมีลมพัดพามวลอากาศชื้นผ่าน และ 9 สถานี สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคอง ซึ่งอับลม

จากการศึกษาพบว่าลุ่มน้ำลำตะคองมีความแห้งแล้งและแปรปรวนมากกว่าลุ่มน้ำนครนายกอย่างเห็นได้ชัด อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณฝนที่ตกน้อยและไม่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคองเนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลของลมพายุที่พัดผ่าน ในขณะที่ลุ่มน้ำนครนายกได้รับอิทธิของลมพายุดังกล่าวทั่วทั้งพื้นที่ทำให้ปริมาณฝนมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่มากกว่า ในขณะที่ผลการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่ส่งผลการเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้ง เมื่อทำการทดสอบด้วยวิธี Mann Kendall Test พบว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภัยแล้งของดัชนี SPI-1 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ SPI-6 มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภัยแล้งที่มีนัยสำคัญ

2. พื้นที่ศึกษาและข้อมูลฝนที่ใช้

พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้คือ พื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคองซึ่งตั้งอยู่ทางด้านหลังของแนวเขาใหญ่ และพื้นที่ลุ่มน้ำนครนายกทางด้านหน้าของแนวเขาใหญ่ โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

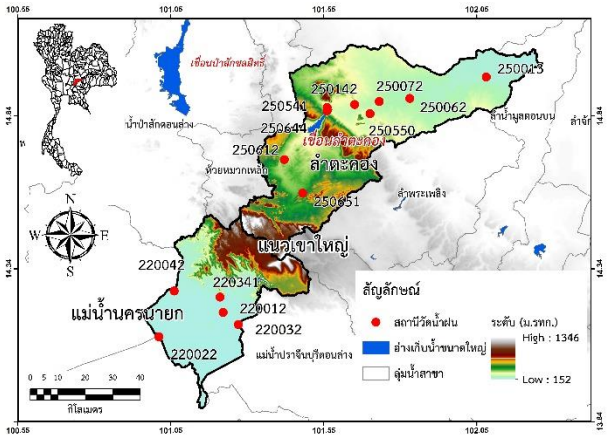
2.1 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคองซึ่งตั้งอยู่ทางด้านหลังของแนวเขาใหญ่ (รูปที่ 1) เนื่องจากต้องการวิเคราะห์อิทธิพลของลมที่มีต่อปริมาณฝนซึ่งเป็นตัวกำหนดความแห้งแล้ง โดยปริมาณฝนในพื้นที่ลำตะคองส่วนใหญ่จะเกิดจากการควบแน่นเป็นส่วนใหญ่ โดยลำตะคองจะไม่ได้รับอิทธิพลของลมพายุหมุนเขตร้อนที่พัดพาผ่านร่องความกดอากาศต่ำเนื่องจากการที่ลุ่มน้ำลำตะคองตั้งอยู่บริเวณด้านหลังภูเขา (รูปที่ 1) ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลดังกล่าว ในขณะที่ลุ่มน้ำสาขานครนายกจะได้รับอิทธิพลจากลมพายุดังกล่าวเนื่องจากเป็นลุ่มน้ำที่ตั้งอยู่ทางด้านหน้าภูเขาทำให้ปริมาณฝนที่ตกลงในพื้นที่ลุ่มน้ำนครนายกส่วนใหญ่เป็นฝนแบบปะทะภูเขา (Orthographic Rainfall) ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงจะทำการวิเคราะห์ลักษณะของลมและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก (Climate Change) ที่มีอิทธิพลต่อภัยแล้งโดยการเปรียบเทียบระหว่างลุ่มน้ำที่ตั้งอยู่ด้านหน้าและหลังภูเขา

2.2 ข้อมูลฝนที่ใช้

ในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำลำตะคอง และนครนายก พบว่ามีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งสิ้น 9 และ 5 สถานี ตามลำดับ ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในช่วงเวลา ค.ศ. 1981-2015 สำหรับรายละเอียดของตำแหน่งที่ตั้งและสถิติข้อมูล และปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 14 สถานี แสดงดังในตารางที่ 1 และการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำลำตะคองและนครนายกแสดงดังในรูปที่ 1

เนื่องจากลุ่มน้ำนครนายกตั้งอยู่ทางด้านหน้าแนวเขาใหญ่ทำให้ปริมาณฝนที่ตกลงในพื้นที่ลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมพายุโดยตรง ทำให้มีปริมาณฝนเฉลี่ยเท่ากับ 1,536 มม./ปี ซึ่งมากกว่าลุ่มน้ำลำตะคองที่มีปริมาณฝนเท่ากับ 994 มม./ปี ซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากลมพายุดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาลำตะคองและลุ่มน้ำสาขานครนายก

ตารางที่ 1 รายละเอียดของสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง

ลุ่มน้ำสาขา	รหัส	ละติจูด	ลองจิจูด	ช่วงปีสถิติข้อมูล		ฝนเฉลี่ยรายปี (มม./ปี)
				เริ่มต้น	สิ้นสุด	
ลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง	250013	14.97	102.08	1980	2015	1,064
	250062	14.90	101.83	1980	2015	876
	250072	14.89	101.73	1980	2015	922
	250142	14.88	101.65	1980	2015	989
	250541	14.87	101.56	1980	2015	959
	250550	14.85	101.70	1980	2014	876
	250612	14.70	101.42	1981	2015	960
	250644	14.86	101.56	1981	2014	1,172
	250651	14.59	101.48	1981	2015	1,128
	เฉลี่ยทุกสถานี					994
ลุ่มน้ำสาขานครนายก	220012	14.20	101.22	1920	2015	1,734
	220022	14.12	101.01	1921	2015	1,455
	220032	14.16	101.27	1923	2015	1,503
	220042	14.27	101.06	1922	2015	1,411
	220341	14.25	101.21	1989	2014	1,576
	เฉลี่ยทุกสถานี					1,536

3. ผลการวิเคราะห์ภัยแล้ง

3.1 ผลการสภาวะความแห้งโดยใช้ดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI)

ทำการประเมินดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 9 และ 5 สถานี ในลุ่มน้ำลำตะคอง และนครนายก ตามลำดับ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 – 2015 โดยพิจารณาที่ระยะเวลาการเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) 1 (SPI-1) และ 6 (SPI-6) เดือน เพื่อวิเคราะห์ถึงสภาพความชื้นในดิน และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ตามลำดับ

ในการศึกษานี้ได้นำดัชนี SPI มาใช้เพื่อประเมินตัวแปรความแห้งแล้ง โดยใช้ข้อมูลฝนเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 3 และ 6 เดือน เพื่อประเมินดัชนี SPI-1 และ SPI-6 โดยปกติแล้วปริมาณฝนทั่วไปจะมีการกระจายตัวแบบ Gamma Distribution ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\int_0^x x^{\alpha-1}e^{-x/\beta}dx \qquad (1)$$

เมื่อ α คือ Shape Parameter, β คือ Scale Parameter, x คือ ข้อมูลปริมาณฝน และ τ คือ ฟังก์ชันแกมมา โดยที่การประมาณค่า Shape Parameter (α) และค่า Scale Parameter (β) จะใช้วิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากฟังก์ชันแกมมาจะหาค่าไม่ได้ เมื่อ x = 0 ซึ่งปริมาณฝนสามารถมีค่าเป็น 0 ได้เมื่อไม่มีฝนตก ดังนั้นจึงต้องแปลงฟังก์ชัน $G(x)$ เป็นดังสมการที่ (2)

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \qquad (2)$$

เมื่อ q คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีฝนตก ซึ่งมีค่าเท่ากับ จำนวนเดือนที่ไม่มีฝนตก (m) หารด้วยจำนวนเดือนที่ศึกษา (n) จากนั้นนำค่า H(X) มาแปลงเป็นค่าปกติมาตรฐาน ที่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 ซึ่งค่า ดัชนี (SPI) สามารถคำนวณได้ดัง สมการที่ (3) และ (4)

$$SPI = -\left(t - \frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3}\right);\ 0 \le H(x) \le 0.5 \qquad (3)$$

$$SPI = +\left(t - \frac{c_0+c_1t+c_2t^2}{1+d_1t+d_2t^2+d_3t^3}\right);\ 0.5 \le H(x) \le 1 \qquad (4)$$

$$t = \sqrt{ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)};\ 0 \le H(x) \le 0.5 \qquad (5)$$

$$t = \sqrt{ln\left(\frac{1}{1-H(x)^2}\right)};\ 0.5 \le H(x) \le 1 \qquad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ในสมการที่ (3) และ (4) คือ c0 = 2.515517, c1 = 0.802853, c2 = 0.010328, d1 = 1.432788, d2 = 0.189269 และ d3 = 0.001308

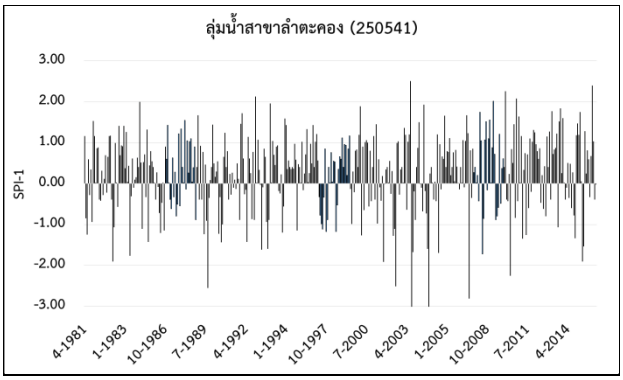
ผลการประเมินดัชนี SPI-1 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981-2015 ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อทำการเฉลี่ยค่า SPI-1 ของ 9 สถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำลำตะคอง พบว่ามีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ -2.99 และ 2.74 ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อทำการเฉลี่ยค่า SPI-1 ของ 5 สถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำนครนายก พบว่ามีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ -2.92 และ 3.18 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

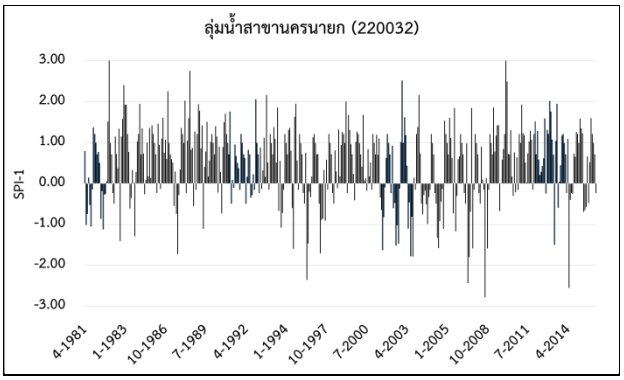
ผลการประเมินดัชนี SPI-6 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981-2015 ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อทำการเฉลี่ยค่า SPI-6 ของ 9 สถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำลำตะคอง พบว่ามีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ -3.38 และ 2.54 ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อทำการเฉลี่ยค่า SPI-6 ของ 5 สถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำนครนายก พบว่ามีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ -2.99 และ 2.60 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงดัชนี SPI-1 ซึ่งแสดงถึงความชื้นในดิน และดัชนี SPI-6 ซึ่งแสดงถึงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ พบว่า ลุ่มน้ำสาขานครนายกมีความแห้งแล้งน้อยกว่าลุ่มน้ำละตอง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุมาจากการที่ลุ่มน้ำนครนายกตั้งอยู่ทางด้านหน้าภูเขาทำให้ได้รับอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนที่พัดพาผ่านร่องความกดอากาศต่ำ ในขณะที่ลุ่มน้ำลำตะคองตั้งอยู่ด้านหลังภูเขาจึงทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลดังกล่าว

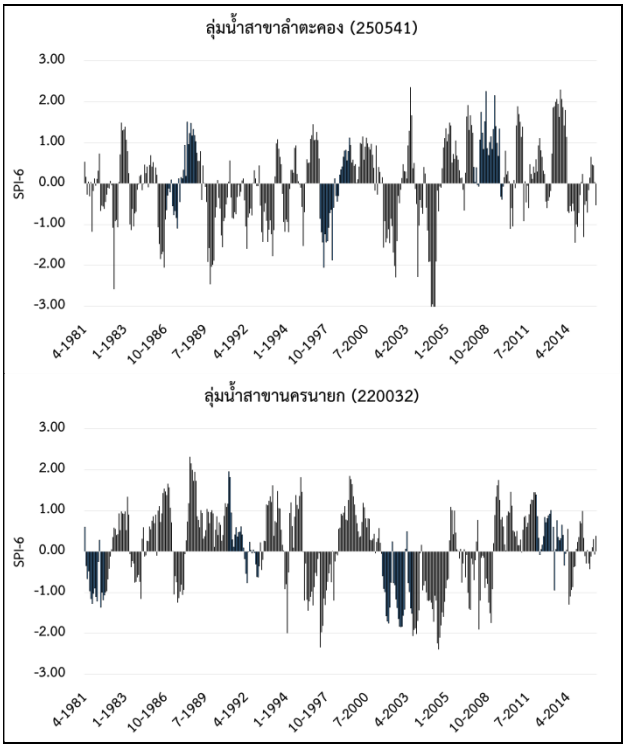
ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินของดัชนี **SPI** สำหรับทุกสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำลำตะคองและลุ่มน้ำนครนายก

	สถานีวัดน้ำฝน	SPI-1		SPI-6	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง	250013	-3.05	2.53	-3.57	1.83
	250062	-3.33	2.93	-2.54	3.14
	250072	-2.79	3.11	-3.25	3.13
	250142	-3.24	2.62	-3.09	2.83
	250541	-3.89	2.50	-3.22	2.35
	250550	-1.90	3.00	-4.4	2.04
	250612	-3.24	2.87	-2.94	2.72
	250644	-1.90	2.66	-4.58	2.11
	250651	-3.54	2.46	-2.81	2.67
	เฉลี่ย	-2.99	2.74	-3.38	2.54
ลุ่มน้ำสาขานครนายก	220012	-2.63	2.72	-3.53	2.57
	220022	-3.65	3.36	-2.59	3.56
	220032	-2.77	3.48	-2.39	2.32
	220042	-2.87	3.16	-2.70	2.30
	220341	-2.70	3.20	-3.73	2.27
	เฉลี่ย	-2.92	3.18	-2.99	2.60





รูปที่ 2 ดัชนี SPI-1 สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 250541 และ 220035 ในลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง และนครนายกตามลำดับ



รูปที่ 3 ดัชนี SPI-6 สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 250541 และ 220035 ในลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง และนครนายกตามลำดับ

3.2 ผลกระทบของลมพายุที่มีต่อสภาวะความแห้งแล้ง

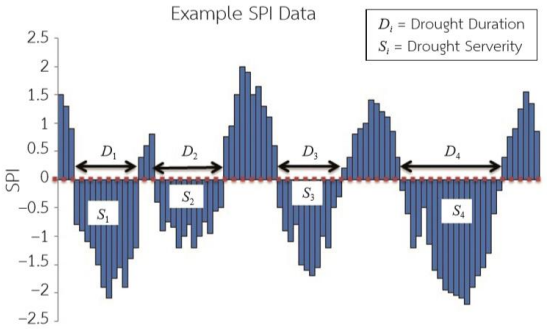
1) ทำการจำแนกประเภทของความแห้งแล้งจากดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) ที่ประเมินได้จากหัวข้อที่ 3.1 สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 9 และ 5 สถานี ในลุ่มน้ำลำตะคอง และนครนายก ตามลำดับ โดยการใช้เกณฑ์การจำแนกประเภทความแห้งแล้งที่เสนอไว้โดย McKee et al. [4] ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ **3** เกณฑ์การจำแนกภัยแล้งสำหรับดัชนี **SPI** ที่เสนอโดย **McKee et al. (1995)**

Drought Category	SPI (McKee et al., 1995)
Moderately Dry	-1.5 < SPI <= -1.0
Very Dry	-2.0 < SPI <= -1.5
Extremely Dry	SPI <= -2.0

2) เมื่อนำค่า SPI-1 และ SPI-6 มาจำแนกประเภทตามเกณฑ์ของ McKee et al. (1995) ดังแสดงในตารางที่ตารางที่ 3 สำหรับทุกสถานีวัดน้ำฝนของทั้ง 2 ลุ่มน้ำสาขา ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งที่เกิดความแห้งแล้งของดัชนี SPI-1 ในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำลำตะคอง จากนั้นทำการพิจารณาความรุนของสภาพความแห้งแล้ง และระยะเวลาความแห้งแล้งในประเภท Very Dry โดยการหาผลรวม และนับจำนวนครั้งของค่าดัชนี SPI ในแต่ละปีจำนวน 35 ปี (ค.ศ. 1981-2015) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง -2.0 ถึง -1.25 สำหรับการประเมินความรุนแรง และเปอร์เซ็นการเกิด ตามลำดับ ซึ่งสามารถประเมินได้จากสมการที่ (7) และรูปที่ 4

$$S = -\sum_{i=1}^{D} SPI_i \quad (7)$$



รูปที่ 4 การประเมินความรุนแรงของความแห้งแล้วในแต่ละปี

3) จัดทำแผนที่ความรุนแรงและโอกาสการเกิดความแห้งแล้งประเภท Very Dry โดยการใช้วิธีส่วนกลับระยะทางกำลังสอง (Inverse Distance Sqaures, IDS) โดยทำการเฉลี่ยข้อมูลความรุนแรงและโอกาสการเกิดแบบจุดโดยรอบเข้าสู่จุดศูนย์ถ่วง (Centroid) ของกริด โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (8) และ (9) จากสมการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับจุดที่พิจารณาจะมีค่าถ่วงน้ำหนักมากกว่าสถานีที่อยู่ไกลออกไป

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^n}}{\sum_i^N \frac{1}{d_i^n}} \quad (8)$$

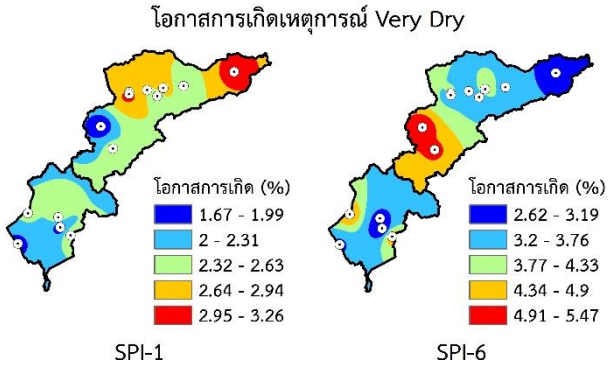
$$P = \sum_i^n p_i \times W_i \quad (9)$$

เมื่อ W_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับสถานี i, d_i คือ ระยะทางระหว่างสถานี i ถึงจุดศูนย์ถ่วงของกริดต้องการหาค่าเฉลี่ย, p_i คือ ค่าที่สถานี i, P คือ ค่าเฉลี่ยที่กริดที่ต้องการหาค่า, N คือ จำนวนสถานี และ n คือ พารามิเตอร์ยกกำลังเพื่อให้ความสำคัญกับระยะทางที่ใกล้มีค่าถ่วงน้ำหนักมาก ซึ่งค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ 2

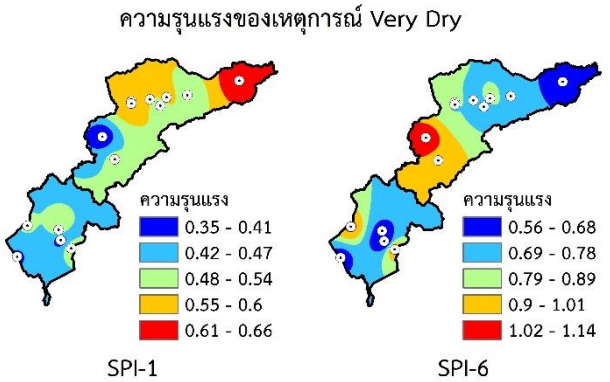
แผนที่ความรุนแรงและโอกาสการเกิดสภาพความแห้งแล้งแบบ Very Dry ซึ่งประเมินโดยใช้สมการที่ 7 โดยจะทำประเมินค่าความรุนแรงและโอกาสการเกิดเป็นรายปี แล้วจึงทำการเฉลี่ยความรุนแรงและโอกาสการเกิดสภาพความแห้งแล้งแบบ Very Dry ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 – 2015 เพื่อสร้างแผนที่โดยวิธี IDS ดังแสดงในรูปที่ 5 และ รูปที่ 6

จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าลุ่มน้ำลำตะคองมีความรุนแรงและโอกาสการเกิดความแห้งแล้งแบบ Very Dry ที่มากกว่าลุ่มน้ำนครนายก

อย่างชัดเจนทั้งดัชนี SPI-1 และ SPI-6 อีกทั้งการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความรุนแรงและโอกาสการเกิดในลุ่มน้ำลำตะคองมีความแปรปรวนมากกว่าลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งมีสาเหตุมาจากปริมาณที่ตกไม่ทั่วพื้นลุ่มน้ำลำตะคอง ในขณะที่ความแปรปรวนของลุ่มน้ำนครนายกมีน้อยเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมพายุหมุนเขตร้อนทำให้ฝนตกทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 5 แผนที่โอกาสการเกิดความแห้งแล้งแบบ Very Dry ที่ประเมินจากดัชนี SPI-1 และ SPI-6 เฉลี่ยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981-2015 สำหรับลุ่มน้ำลำตะคองและนครนายก



รูปที่ 6 แผนที่ความรุนแรงของการเกิดความแห้งแล้งแบบ Very Dry ที่ประเมินจากดัชนี SPI-1 และ SPI-6 เฉลี่ยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981-2015 สำหรับลุ่มน้ำลำตะคองและนครนายก

3.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อสภาวะความแห้งแล้ง

ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนเปลี่ยนของสภาพความแห้งแล้งที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก (Climate Change) โดยแยกความเป็นฤดูการออกจากดัชนี SPI โดยการใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) จากนั้นทำการสร้างเส้นแนวโน้มแบบเส้นตรงเพื่อดูอัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสำหรับช่วงเวลา 1 (SPI-1) และ 6 (SPI-6) เดือน

ในการศึกษานี้จึงได้ประยุกต์อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) [6], [7] เพื่อแยกความเป็นฤดูกาล (Seasonality) ออกจากข้อมูลดัชนีฝนมาตรฐาน (SPI) เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สืบเนื่องจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก (Climate Change) โดยอนุกรมฟูเรียร์มีสมการดังแสดงในสมการที่ (10) ในขั้นตอนการประเมินหาพารามิเตอร์ของสมการฟูเรียร์สามารถทำได้โดยใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุดแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear Least Squares Error) ดังแสดงในสมการที่ (11)

$$y_i = a_0 + \sum_{k=1}^{m}(a_k \cos(kwx_i) + b_k \sin(kwx_i)) \quad (10)$$

$$min \sum_{i=1}^{n}[y_i - a_0 - \sum_{k=1}^{m}(a_k \cos(kwx_i) + b_k \sin(kwx_i))]^2 \quad (11)$$

โดยที่ a_0 คือจุดตัดแกนวาย (Intercept), w คือความถี่ของคลื่น, m จำนวนของคลื่น (Harmonics) มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 8, n คือจำนวนของข้อมูล, x และ y คือตัวแปรต้นและตัวแปรตามตามลำดับ

ในการศึกษานี้จะทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของอัตราการเปลี่ยนของดัชนี SPI หลังจากแยกความเป็นฤดูกาลออก ด้วยวิธี Man Kendall Test [8], [9], [10] เพื่อวิเคราะห์หาค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-Value) ดังแสดงในสมการ 12 ถึงสมการที่ 17

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\left[\sum_{j=i+1}^{n} SIGN_i^j\right] \quad (12)$$

$$SIGN_i^j = \begin{cases} 1; x_j - x_i > 0 \\ 0; x_j - x_i = 0 \\ -1; x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$Var = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (14)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var}}; S > 0 \\ 0; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var}}; S < 0 \end{cases} \quad (15)$$

$$B = \frac{1}{2}\left[\begin{matrix} 1 + 0196854|Z| + 0.115194|Z|^2 \ldots \\ +0.000344|Z|^3 + 0.019527|Z|^4 \end{matrix}\right]^{-4} \quad (16)$$

$$Pvalue = \begin{cases} 2(1-B) \;;\; Z < 0 \\ 2(B) \;;\; Z \geq 0 \end{cases} \quad (17)$$

โดยที่ x คืออนุกรมข้อมูล n คือ จำนวนของข้อมูล

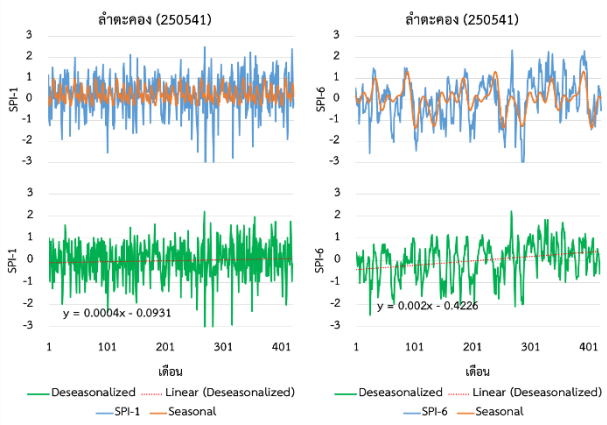
ในขั้นตอนการศึกษานี้ได้ทำการแยกความเป็นฤดูกาลออกจากดัชนี SPI-1 และ SPI-6 โดยการประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 250541 ในลุ่มน้ำลำตะคองและ สถานีวัดน้ำฝน 220032 ในลุ่มน้ำนครนายก ทั้งนี้ ได้แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์ สำหรับการแยกความเป็นฤดูกาลของปริมาณฝนเฉลี่ยทุกสถานีของลุ่มน้ำลำตะคองและนครนายก ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

ทั้งนี้ เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้กับผลการศึกษาจึงได้ทำการประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์ตั้งแต่ลำดับที่ 1 จนถึง 8 เพื่อเลือกลำดับที่ดีที่สุดจากค่าสัมประสิทธิ์ตัดสินใจ (R^2) ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 สำหรับดัชนี SPI-1 และ SPI-6 ตามลำดับ ถึงแม้ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มความแห้งแล้งของลุ่มน้ำนครนายกมีความแห้งที่รุนแรงเพิ่มขึ้น (อัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นลบ) มากกว่าลุ่มน้ำลำตะคอง อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นอัตราที่น้อยมาก ซึ่งอาจไม่มีนัยยะสำคัญที่เกี่ยวข้องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก จึงจำเป็นทำการทดสอบด้วยวิธี Man Kendall Test เพื่อวิเคราะห์หาค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-Value) ซึ่งต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงจะมีนัยสำคัญ

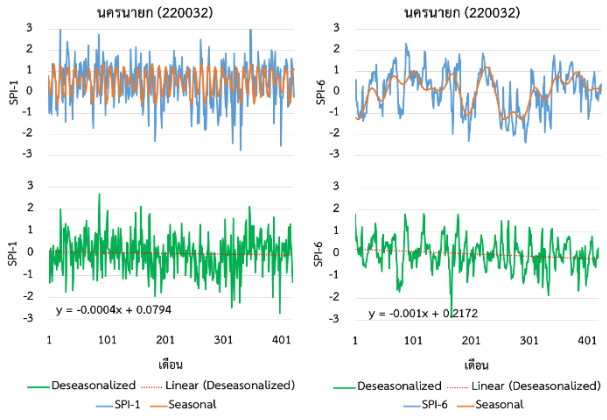
สำหรับดัชนี SPI-1 ลุ่มน้ำลำตะคองมีการเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้งที่รุนแรงเพิ่มขึ้น (อัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นลบ) อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 9 ทั้งหมด 3 สถานี คือ สถานี 250550 และ 250644 และ 250651 ในขณะที่ลุ่มน้ำลำนครนายกไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้งที่มีนัยสำคัญที่สถานีใดเลย

สำหรับดัชนี SPI-6 ลุ่มน้ำลำตะคองมีการเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้งที่ลดลง (อัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นบวก) อย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกสถานีภายในลุ่มน้ำ ในขณะที่ลุ่มน้ำลำนครนายกมีการเปลี่ยนแปลงของความแห้งแล้งที่รุนแรงเพิ่มขึ้น (อัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นลบ) อย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกสถานีภายในลุ่มน้ำดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 9

จากผลการศึกษาของดัชนี SPI-1 สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญสำหรับสถานีวัดน้ำฝนส่วนใหญ่ ในขณะที่การเปลี่ยนของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำซึ่งพิจารณาจากดัชนี SPI-6 พบว่าสถานีวัดน้ำฝนเกือบทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 การแยกฤดูกาลโดยใช้อนุกรมฟูเรียร์และวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงเนื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกสำหรับ SPI เฉลี่ยของลุ่มน้ำสาขาลำตะคลอง



รูปที่ 8 การแยกฤดูกาลโดยใช้อนุกรมฟูเรียร์และวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงเนื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกสำหรับ SPI เฉลี่ยของลุ่มน้ำสาขานครนายก

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลง **(Slope)** ของดัชนี **SPI-1** โดยการใช้อนุกรมฟูเรียร์และ **Mann Kendall Test**

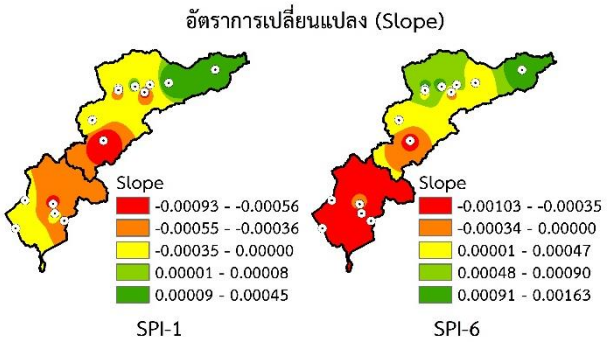
ลุ่มน้ำ	สถานีฝน	M	Slope	P-Value	นัยสำคัญ
ลำตะคอง	**250013**	8	0.00044	0.29	ไม่มี
	250062	4	0.00045	0.19	ไม่มี
	250072	8	-0.00017	0.34	ไม่มี
	250142	8	0.00034	0.54	ไม่มี
	250541	8	0.00044	0.19	ไม่มี
	250550	8	-0.00085	0.02	มี
	250612	7	0.00000	0.67	ไม่มี
	250644	8	-0.00105	0.00	มี
	250651	7	-0.00093	0.05	มี
นครนายก	**220012**	6	-0.00027	0.65	ไม่มี
	220022	7	-0.00017	0.92	ไม่มี
	220032	8	-0.00038	0.54	ไม่มี
	220042	4	-0.00024	0.49	ไม่มี
	220341	8	-0.00069	0.09	ไม่มี

หมายเหตุ: *M คือ ลำดับหรือจำนวนคลื่นของอนุกรมฟูเรียร์*
R2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัดสินใจในการเลือกจำนวนคลื่นของอนุกรมฟูเรียร์
Slope คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนี SPI
P-Value คือ ค่าความมีนัยสำคัญจากวิธี Mann Kendall Test

ตารางที่ **6** ผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลง **(Slope)** ของดัชนี **SPI-6** โดยการใช้อนุกรมฟูเรียร์และ **Mann Kendall Test**

ลุ่มน้ำ	สถานีฝน	M	Slope	P-Value	นัยสำคัญ
ลำตะคอง	**250013**	8	0.00138	0.00	มี
	250062	8	0.00000	0.57	ไม่มี
	250072	8	0.00098	0.02	มี
	250142	8	0.00136	0.00	มี
	250541	8	0.00201	0.00	มี
	250550	8	-0.00063	0.07	ไม่มี
	250612	8	0.00021	0.64	ไม่มี
	250644	8	-0.00059	0.00	มี
	250651	7	-0.00053	0.16	ไม่มี
นครนายก	**220012**	8	-0.00071	0.02	มี
	220022	8	-0.00064	0.00	มี
	220032	8	-0.00103	0.00	มี
	220042	8	-0.00068	0.04	มี
	220341	8	-0.00010	0.88	ไม่มี

หมายเหตุ: *M คือ ลำดับหรือจำนวนคลื่นของอนุกรมฟูเรียร์*
R2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัดสินใจในการเลือกจำนวนคลื่นของอนุกรมฟูเรียร์
Slope คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนี SPI
P-Value คือ ค่าความมีนัยสำคัญจากวิธี Mann Kendall Test



รูปที่ 9 แผนที่อัตราการเปลี่ยนแปลง **(Slope)** ของดัชนี **SPI**

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาดัชนี SPI-1 และ SPI-6 ชี้ให้เห็นว่าจากเหตุการณ์ในอดีต ลุ่มน้ำลำตะคองมีเหตุการณ์ภัยแล้งที่รุนแรงมากกว่าลุ่มน้ำนครนายก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุมาจากการที่ลุ่มน้ำนครนายกตั้งอยู่ทางด้านหน้าภูเขาทำให้ได้รับอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนที่พัดพาผ่านร่องความกดอากาศต่ำ ในขณะที่ลุ่มน้ำลำตะคองตั้งอยู่ด้านหลังภูเขาจึงทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลดังกล่าว

จากแผนที่ความรุนของสภาพความแห้งแล้ง ดัชนี SPI-1 ที่บอกถึงสภาพความชื้นในดิน และ SPI-6 ที่บอกถึงสภาพของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ของทั้งสองลุ่มน้ำ พบว่า ลุ่มน้ำลำตะคองมีความแห้งแล้งรุนแรงและโอกาสการเกิดความแห้งแล้งแบบ Very Dry มากกว่าลุ่มน้ำนครนายกทั้งในกรณีความชื้นในดินและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ อีกทั้งการกระจายตัวของความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำลำตะคองมีความแปรปรวนมากกว่าลุ่มน้ำนครนายกอย่างเห็นได้ชัด อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณฝนที่ตกไม่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคองเนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลของลมพายุที่พัดผ่าน ในขณะที่ลุ่มน้ำนครนายกได้รับอิทธิของลมพายุหมุนเขตร้อนทั่วทั้งพื้นที่ทำให้ปริมาณฝนมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่มากกว่า

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภัยแล้งสำหรับดัชนี SPI-1 สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเปลี่ยนของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำซึ่งพิจารณาจากดัชนี SPI-6 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ มีสถานีวัดน้ำฝนส่วนน้อยในลุ่มน้ำลำตะคองและนครนายกที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย รวมทั้งกรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Mishra, A. K. and Singh, V. P. (2011). Drought modeling– A review, Journal of Hydrology, vol. 403, no. 1–2, pp. 157–175.

[2] Almedeij, J. (2014). Drought analysis for kuwait using standardized precipitation index, The Scientific World Journal, pp. 1–9.

[3] Shiau, J. T., Feng, S. and Nadarajah, S. (2007). Assessment of hydrological droughts for the Yellow River China, using copulas," Hydrological Processes, vol. 21, no. 16, pp. 2157–2163,

[4] McKee, T. B., Doelsken, N. J. and Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales, in Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology, pp. 179–184.

[5] Edwards, C. D. C., et al. (1997). Historical analysis of drought in the United States. 7th conference on climate variations, 77th AMS annual meeting. Vol. 27.

[6] Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., and Lane, W. L. (1980). Applied modeling of hydrologic time series, Water Resource Publications, Littleton, Colo.

[7] Anderson, Paul L., Yonas Gebeyehu Tesfaye, and Mark M. Meerschaert. (2007). Fourier-PARMA models and their application to river flows. Journal of Hydrologic Engineering 12.5: 462-472.

[8] Gilbert, R.O. 1987 . Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Wiley, NY.

[9] Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, Econometrica 13:163-171.

[10] Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.