
เทคนิค Empirical Orthogonal Function (EOF) กับการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านสมุทรศาสตร์

Empirical Orthogonal Function (EOF) Technique and Ocean Variability Analysis

อัศมน ลิมสกุล* และ วุฒิชัย แพงแก้ว

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Atsamon Limsakul* and Wutthichai Paengkaew

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion.

บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้ ได้ทบทวนแนวคิดและวิธีการเบื้องต้นของเทคนิค EOF ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติเชิงพหุที่ได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความแปรปรวน พลวัตและพฤติกรรมเชิงกายภาพของระบบภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เทคนิค EOF นับเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติที่มีประโยชน์หลายด้าน เช่น ลดมิติของจำนวนตัวแปรในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ อธิบายและเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลอง สกัดโหมดที่โดดเด่นของความแปรปรวนในฐานข้อมูลเพื่อใช้แปลผลในเชิงกายภาพ และสังเคราะห์ชุดตัวแปรใหม่เพื่อเป็นตัวแทนฐานข้อมูลเดิมที่มีขนาดใหญ่ เทคนิค EOF ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงและอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ของระบบภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ที่มีลักษณะทั้ง Stationary และ Propagating ในสเกลต่างๆ ทั้งในระดับโลก ภูมิภาคและท้องถิ่น ให้ความครอบคลุมและถูกต้องชัดเจนมากขึ้น ในปัจจุบันนี้ EOF ถูกจัดเป็นเครื่องมือสถิติพื้นฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านภูมิอากาศ อุตุนิยมวิทยาและสมุทรศาสตร์

คำสำคัญ : สถิติเชิงพหุ ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลา ภูมิอากาศ มหาสมุทร

Abstract

This article aimed at reviewing the concept and fundamental of Empirical Orthogonal Function (EOF) technique which is multivariate statistics widely applied to analyze spatio-temporal variability, dynamics and physical behaviors of climate and ocean. EOF analysis is a statistical tool with a wide range of application, for examples, in data dimensionality reduction, explanation and comparison between observations and modeling outputs, dominant mode extraction and synthesis of new data set. EOF has long been developed for decades. Its primary purpose is to enhance its efficiency to explain various phenomena of ocean-atmosphere systems both stationary and propagating patterns in a variety of spatial timescales ranging from global, regional to local. Nowadays, EOF is well accepted as an essential statistical tool for atmosphere and oceanography studies.

Keywords : Empirical Orthogonal Function (EOF), Spatio-temporal variability, climate, ocean

*Corresponding author. E-mail: atsamon@deqp.go.th

บทนำ

มหาสมุทร นับเป็นองค์ประกอบหลักของโลกที่มีบทบาทต่อสมดุลของวัฏจักรน้ำและควบคุมพลวัตของกระบวนการชีวธรณี รวมถึงการแลกเปลี่ยน หมุนเวียนของสสารและพลังงานระหว่างพื้นดินและชั้นบรรยากาศ (Schmitz, 1995; Ganachaud & Wunsch, 2000) มหาสมุทรมีความสำคัญในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยแต่ละปี สามารถดูดซับคาร์บอนได้ประมาณ 2.2 พันล้านตัน (Gigaton) หรือ 26.8% ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของโลก (IPCC, 2007) ดังนั้น การติดตามตรวจสอบเพื่อสร้างความเข้าใจและคาดการณ์ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของมหาสมุทร จึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก เนื่องจากมหาสมุทร เป็นระบบที่มีพลวัตสูงและมีลักษณะพฤติกรรมไม่เป็นเส้นตรงหรือ Non-linearity จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวบรวมอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน และมีความละเอียดสูง

วิธี Empirical Orthogonal Function (EOF) เป็นเทคนิคทางสถิติพหุเชิงพรรณนา (Descriptive multivariate statistic) (Pearson, 1902; Hotelling, 1935) ในปัจจุบันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความแปรปรวน พลวัตและพฤติกรรมเชิงกายภาพของระบบภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (Obukhov, 1947; Lorenz, 1956; Preisendorfer, 1988) EOF นับเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติที่มีประโยชน์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงและอธิบาย

ปรากฏการณ์ของระบบภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ ที่มีลักษณะทั้ง Stationary และ Propagating ซึ่งในปัจจุบันนี้ EOF ถูกจัดเป็นเครื่องมือสถิติพื้นฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านภูมิอากาศ อุตุนิยมวิทยาและสมุทรศาสตร์

บทความวิชาการฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนแนวคิดขั้นตอน วิธีการวิเคราะห์ EOF เบื้องต้น รวมถึงยกตัวอย่างการนำเทคนิค EOF ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและพลวัตของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ตลอดจนอภิปรายผลถึงแนวทางส่งเสริมการนำ EOF มาใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ในประเทศไทย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

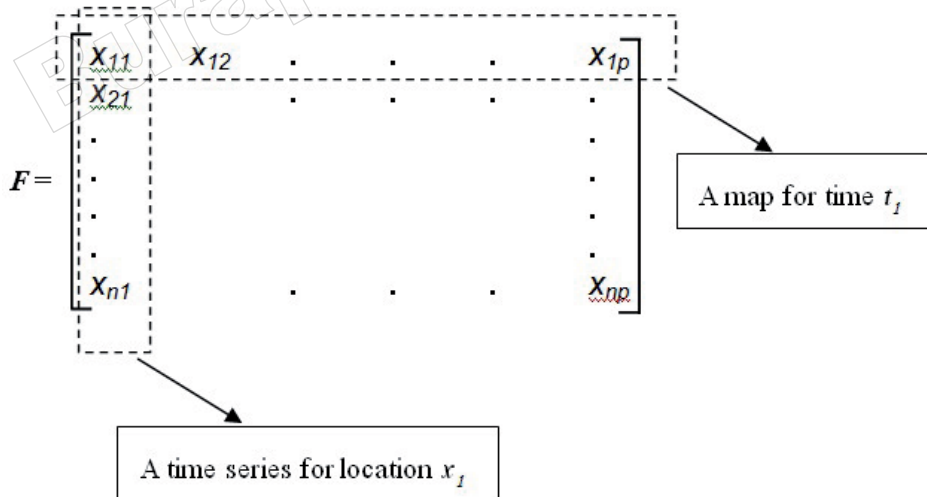
1. การคำนวณ EOF มี 2 วิธีหลัก คือ

(1.1) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Eigenvalue-eigenvector ด้วยสมการหลักที่ 1 ซึ่งคำนวณจากความแปรปรวนร่วม (Covariance) หรือสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่คำนวณจากเมตริกซ์ของข้อมูลเดิม

$$F(t, x) = \sum_{j=1}^p a_j(t) \cdot u_j(x), \quad (1)$$

โดยที่ p = จำนวนโหมดในเชิงพื้นที่ของ $u_j(x)$ ส่วน $a_j(t)$ แสดงการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาในโหมด j สำหรับ $a_1 u_1 =$ ผลรวมเชิงเส้นของโหมดที่ 1 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนสูงสุด

(1.2) การวิเคราะห์ด้วย Singular Value Decomposition (SVD) โดย SVD สามารถแยกและสกัดข้อมูลเมตริกซ์ F ออกเป็นค่า



ภาพที่ 1 แสดงเมตริกซ์ $F(t,s)$ ที่มีขนาด $(n \times p)$ โดยข้อมูลในแถวแสดงสถานี (x_1 จนถึง x_p) ในขณะที่ข้อมูลในคอลัมน์ หมายถึง ข้อมูลแต่ละสถานีที่ถูกเก็บตามช่วงเวลา (t_1 จนถึง t_n)

Singular vector และ Singular value ได้โดยไม่ต้องอาศัยเมตริกซ์ ความแปรปรวนร่วมและการคำนวณตามสมการที่ 1

2. การคำนวณ EOF มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

(2.1) การจัดเรียงข้อมูล (Data formatting)

เทคนิค EOF คำนวณผลบนพื้นฐานของข้อมูลที่จัดเรียง อยู่ในรูปของเมตริกซ์ โดยฐานข้อมูลภูมิอากาศหรือสมุทรศาสตร์ ที่ตัวแปร x (ภาพที่ 1) ในแถวแรก เป็นข้อมูลของสถานที่ x_1 จนถึง x_p ที่ถูกเก็บรวบรวมในเวลา t_1 ซึ่งแสดงในรูปของเมตริกซ์แถว ดังนี้

$$F(t_1) = [x_1, x_2, \dots, x_p] \quad (2)$$

สำหรับข้อมูลสถานที่แรกที่ถูกเก็บอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ t_1 จนถึง t_n แสดงในรูปของเมตริกซ์แถว ดังนี้

$$F(s) = [x_1, x_2, \dots, x_p]^T \quad (3)$$

การจัดเรียงข้อมูล ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์นั้น เป็น ขั้นตอนแรกที่สำคัญของการวิเคราะห์ EOF สำหรับข้อมูลดาวเทียม ซึ่งมักอยู่ในรูปของแผนที่ ที่ถูกเก็บรวบรวม ณ เวลา $t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ มีขั้นตอนการจัดเรียงข้อมูลที่เหมือนกับที่กล่าวข้างต้น แต่จำนวนข้อมูลและเมตริกซ์ ($n \times p$) มีขนาดใหญ่ (ภาพที่ 2) จากรูปแบบของเมตริกซ์ข้อมูลที่จัดเรียง การคำนวณ EOF อาจแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ

- S mode ในกรณีที่ เมตริกซ์ข้อมูล $F(n \times p)$ มีค่า $n \gg p$

- T mode ในกรณีที่ เมตริกซ์ข้อมูล $F(n \times p)$ มีค่า $p \gg n$

(2.2) การเตรียมข้อมูล (Data preparation)

การเตรียมข้อมูล เป็นการคำนวณค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย ในระยะยาว หรือค่า Anomaly เพื่อเป็นหลักประกันถึงผลการคำนวณ EOF ไม่มีข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อมูลที่มีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าปกติของสถานใดสถานหนึ่งหรือ

เวลาใดเวลาหนึ่งในกรณี เมตริกซ์ข้อมูล $F(t,s)$ ที่ไม่มีข้อมูลขาดหาย (Missing) ขั้นตอน ประกอบด้วย การคำนวณค่าเฉลี่ยแต่ละแถวของเมตริกซ์ข้อมูล $F(t,s)$ และนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวไปลบออกจากเมตริกซ์เดิมซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการ ดังนี้

$$\bar{F}(x) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n F(t,s) \quad (4)$$

โดยที่ \bar{F} คือ เมตริกซ์ขนาด $n \times p$ ซึ่งเมตริกซ์ข้อมูล Anomaly, $F'(t,s)$ สามารถคำนวณจากสมการ

$$F'(t,s) = F(t,s) - \bar{F}(x) \quad (5)$$

ในกรณีที่ข้อมูลขาดหายในเมตริกซ์ข้อมูล $F(t,s)$ ก่อนคำนวณหาค่า Anomaly จำเป็นต้องประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหาย เพื่อให้เมตริกซ์มีความสมบูรณ์ โดยวิธีการประมาณค่า (Interpolation) มีหลายเทคนิค เช่น Nearby-station interpolation (Eischeid *et al.*, 1995) เป็นต้น

(2.3) การคำนวณ EOF (EOF calculation)

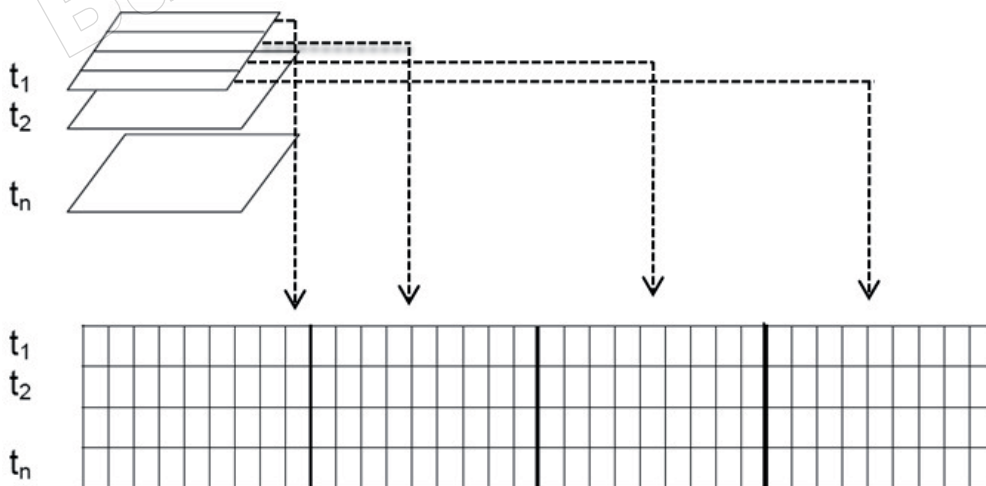
2.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Eigenvalue-eigenvector

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Eigenvalue-eigenvector ประกอบด้วยการคำนวณเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (R) จากเมตริกซ์ F' ด้วยสมการ

$$R = F'^T * F' \quad (6)$$

ในขณะที่ $\square F' F'_j \square$ เท่ากับค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างอนุกรมข้อมูล F'_i และ F'_j ณ ตำแหน่ง i และ j ซึ่งนิยามได้ดังนี้

$$\square F' F'_j \square = \square F' F'_j \square = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n F'_i(t) F'_j(t), \quad (7)$$



ภาพที่ 2 แสดงการจัดเรียงเมตริกซ์ $F(n \times p)$ ในกรณีข้อมูลดาวเทียม

โดยที่ $i, j = 1, \dots, p$ คือ เมตริกซ์จัตุรัสที่สมมาตร ซึ่งประกอบด้วยค่าจำนวนจริง (Real value) และมีมิติขนาด $p \times p$ หลังจากคำนวณเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ขั้นตอนต่อไปเป็นการแก้สมการ Eigenvalue และ Eigenvector โดยสกัดและแยกเมตริกซ์ R ออกเป็นเมตริกซ์ L และ E ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นที่อิสระต่อกันของตัวแปรทั้งหมด เพื่อให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลเดิมได้สูงสุด ดังนี้

$$R * E = E * L \text{ หรือ } (R - L) * E = 0 \quad (8)$$

L คือ เมตริกซ์ทแยงมุมขนาด $p \times p$ โดยค่า Eigenvalue ของเมตริกซ์ R มีค่ามากกว่าศูนย์เฉพาะตำแหน่งเส้นทแยงมุม ซึ่งค่า Eigenvalue ของ L ทุกค่ามีค่ามากกว่าศูนย์ เนื่องจากเมตริกซ์ F ประกอบด้วยค่าจำนวนจริง

$$L = \begin{vmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_p \end{vmatrix} \quad (9)$$

เมตริกซ์จัตุรัส E มีขนาด $p \times p$ โดยเวกเตอร์คอลัมน์ e_k ($k = 1, \dots, p$) คือ ค่า Eigenvector ของเมตริกซ์ R ที่ตรงกับค่า Eigenvalue λ_k

$$E = \begin{vmatrix} e_1(t) & e_2(t) & \dots & e_p(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_1(\varphi) & e_2(\varphi) & \dots & e_p(\varphi) \end{vmatrix} \quad (10)$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 $e_1 \quad e_p \quad e_2 \rightarrow \text{Eigenvector } e_k$

เมตริกซ์ E มีคุณสมบัติ Orthogonal โดยแต่ละโหมดเป็นอิสระต่อกันหรือไม่มีความสัมพันธ์กันในเชิงพื้นที่ กล่าวคือ $E * E^T = E^T * E = I_p$ โดย I_p คือ เมตริกซ์เอกลักษณ์ (Identity matrix) ซึ่งมีค่าเป็นหนึ่งเฉพาะตำแหน่งแนวเส้นทแยงมุมของ I ในแต่ละเวกเตอร์คอลัมน์ e_k ($k = 1, \dots, p$) แสดงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของแต่ละโหมดที่สกัดจากฐานข้อมูลเดิมโดยปกติแสดงด้วยแผนที่

สำหรับการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาหรือ Time-dependent amplitude ของแต่ละ EOF โหมด (e_k) สามารถคำนวณได้จากการ Project เมตริกซ์ $F'(t,s)$ ลงบน Eigenvector (e_k) และหาผลรวมของทุกสถานี p

$$a_k(t) = \sum_{x=1}^p F'(t,s)e_k(x), \quad (11)$$

โดยที่ $x = 1, \dots, p$ (สถานี) และ $t = 1, \dots, n$ (ช่วงเวลา) ในขณะที่ $k = 1, \dots, p$ (EOF โหมด) ในรูปของเมตริกซ์ A คือ เมตริกซ์ขนาด $n \times p$ ของ Time-dependent amplitude ซึ่งคำนวณได้จาก

$$A = F' * E \quad (12)$$

$a_k(t)$ คือ Principal component time series (PC's) หรือ Expansion coefficient ของ EOF $\{a_k(t): t = 1, \dots, n\}$ ซึ่งอธิบายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของแต่ละ e_k โดยมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเมตริกซ์ E กล่าวคือ เป็นอิสระต่อกัน หรือมีคุณสมบัติ Orthogonal ในเชิงเวลา

$$\overline{a_i(t)a_j(t)} = \lambda_i \delta_{ij} \text{ (Uncorrelated time variability)} \quad (13)$$

โดยที่ $i, j = 1, \dots, p$ และ δ_{ij} คือ Kronecker delta

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & j=i \\ 0, & j \neq i \end{cases} \quad (14)$$

ซึ่งค่า Eigenvalue สามารถคำนวณได้จาก $a_k(t)$ ดังนี้

$$\lambda_i = a_i(t)^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [a_i(t_j)^2] \quad (15)$$

หรือแสดงในรูปเมตริกซ์

$$A^T * A = L \quad (16)$$

ค่า Eigenvalue ในเมตริกซ์ L ถูกจัดเรียงจากมากไปหาน้อย ดังนี้ $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots \lambda_p$ ทั้งนี้ แต่ละค่า Eigenvalue, λ_k , มีสัดส่วนเท่ากับความแปรปรวนของฐานข้อมูลเดิมที่สามารถอธิบายได้จากโหมด k

$$\% \text{ variance mode } k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} * 100 \quad (17)$$

เนื่องจากแต่ละ EOF โหมด (Eigenvector) และ Time-dependent amplitude มีคุณสมบัติ Orthogonal หรือเป็น

อิสระต่อกันในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้น ผลรวมของความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ในแต่ละโหมด จะเท่ากับผลรวมของความแปรปรวนในฐานข้อมูลเดิม

$$\sum_{x=1}^p \left\langle \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [z_x(t)]^2 \right\rangle = \sum_{k=1}^p \lambda_k \quad (18)$$

สุดท้าย ฐานข้อมูลเดิม สามารถสังเคราะห์ขึ้นใหม่ด้วยฟังก์ชันของ EOF และ Time-dependent amplitude ในรูปของ

$$F'(t,s) = \sum_{j=1}^p a_j(t)e_j(x) \text{ หรือ } F'(t,s) = \sum_{j=1}^p a_j(t)(EOF_j) \quad (19)$$

โดย $t = 1, \dots, n$; $x = 1, \dots, p$ อาจแทนในรูปของเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$F' = A * E^T \quad (20)$$

2.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Singular Value Decomposition (SVD)

EOF ยังสามารถคำนวณด้วยวิธี SVD ซึ่งเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพสูง โดย SVD สามารถแยกและสกัดข้อมูลเมตริกซ์ F ออกเป็นค่า Singular vector และ Singular value ได้โดยตรง โดยไม่ต้องคำนวณเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม เมตริกซ์ F ที่มีขนาด $n \times p$ สามารถถูกแยกและสกัดได้ ดังนี้

$$F = A \Lambda U^T \quad (21)$$

โดย A และ U คือ เมตริกซ์ขนาด $n \times r$ และ $r \times p$ ตามลำดับ และมีคุณสมบัติ Orthogonal ($A^T A = I$ และ $U^T U = I$) ในขณะที่ Λ คือ เมตริกซ์ทแยงของค่า Singular value = $\text{Diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r)$ สำหรับคอลัมน์ a_1, a_2, \dots, a_r ของเมตริกซ์ A และ u_1, u_2, \dots, u_r ของเมตริกซ์ U เรียกว่าเวกเตอร์ด้านซ้ายและขวาของเมตริกซ์ F (Left and right singular vector)

(2.4) ผลการคำนวณ EOF และการแปลผล

ผลการคำนวณ EOF ประกอบด้วยสามส่วน คือ 1) Eigenvector หรือ EOF loading โดยปกติแสดงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในรูปของแผนที่ 2) Principal component time series (Time-dependent amplitude) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ k ในรูปอนุกรมเวลา และ 3) ค่า Eigenvalue แสดงสัดส่วนความแปรปรวนของฐานข้อมูลเดิมที่สามารถอธิบายได้ในแต่ละ EOF โหมด โดยปกติแสดงด้วย Scree plot เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนโหมดของ EOF เพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

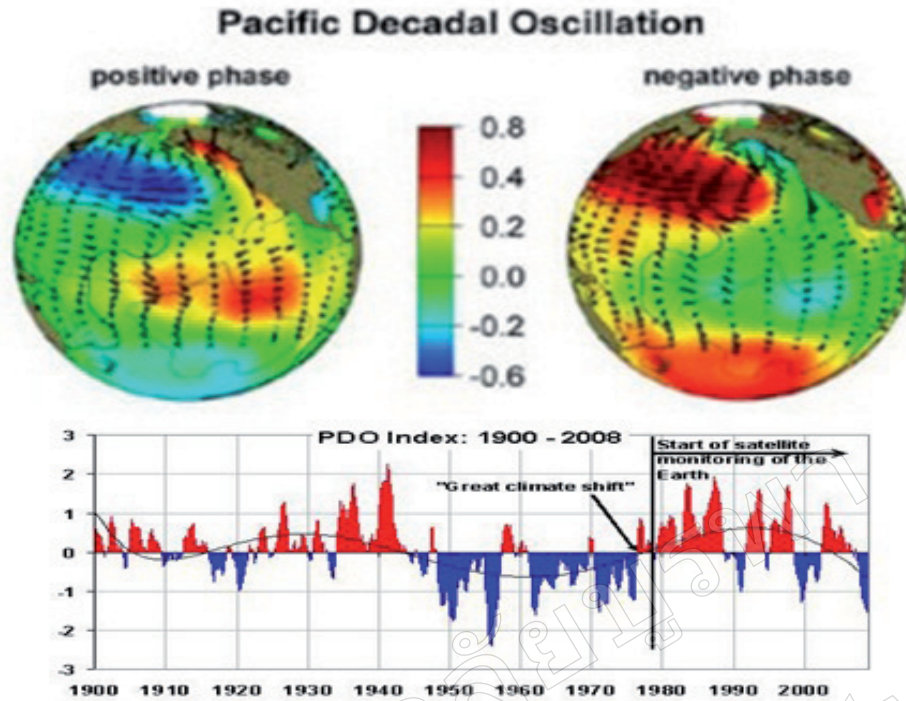
ตัวอย่างการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านสมุทรศาสตร์ด้วยเทคนิค EOF

เทคนิค EOF ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ฐานข้อมูลภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ขนาดใหญ่อย่างแพร่หลาย เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาของมหาสมุทร รวมทั้งการตอบสนองต่อความแปรปรวนของภูมิอากาศ เช่น Mantua *et al.* (1997) และ Zhang *et al.* (1997) ใช้ EOF วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลแบบกริดซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ในศตวรรษที่ 20 โดยผลการวิเคราะห์ด้วย EOF พบว่า โหมดแรกของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในฤดูหนาวในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลามากกว่า 10 ปี ของความกดอากาศผิวน้ำทะเล ซึ่งรูปแบบที่ปรากฏในโหมดแรกของ EOF เป็นสัญญาณการเปลี่ยนแปลงในคาบเวลา Decadal และ Interdecadal หรือรู้จักกันในนาม Pacific Decadal Oscillation (PDO) ส่วน Time-dependent amplitude ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ใน EOF โหมดแรกนี้ ได้ใช้เป็นดัชนีในการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและระบบนิเวศน์ของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ โดยรูปแบบเชิงพื้นที่ของ PDO ดังแสดงในภาพที่ 3 ผลการนำเทคนิค EOF มาประยุกต์ใช้ ช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงคววคู่นระยะยาวของภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ซึ่งมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ ENSO กล่าวคือ PDO ปรากฏเด่นชัดในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ในขณะที่ ENSO มีสัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงในบริเวณเส้นศูนย์สูตร (ภาพที่ 4) ในแง่การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา พบว่า ในศตวรรษที่ 20 PDO มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงในช่วง 20-30 ปี ส่วน ENSO มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงในช่วง 6 ถึง 18 เดือน

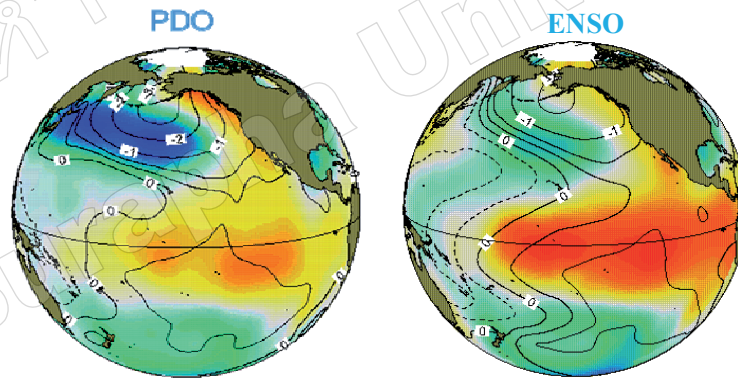
ผลการศึกษาอื่นๆ ที่นำเทคนิค EOF มาวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ อาทิเช่น Di Lorenzo *et al.* (2008, 2009) ได้ช่วยสร้างภาพที่ชัดเจนเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับพลวัต ความแปรปรวนและความเชื่อมโยงในแต่ละองค์ประกอบในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ ตลอดจนกลไกความเชื่อมโยงระยะไกล (Teleconnection) ระหว่าง Mid-latitude และ Tropic (ภาพที่ 5)

สรุป

บทความวิชาการนี้ ได้ทบทวนแนวคิดและวิธีการเบื้องต้นของเทคนิค EOF ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถสกัดโหมดที่โดดเด่น ลดตัวแปรและทำข้อมูลให้เรียบของฐานข้อมูลด้านภูมิอากาศและ



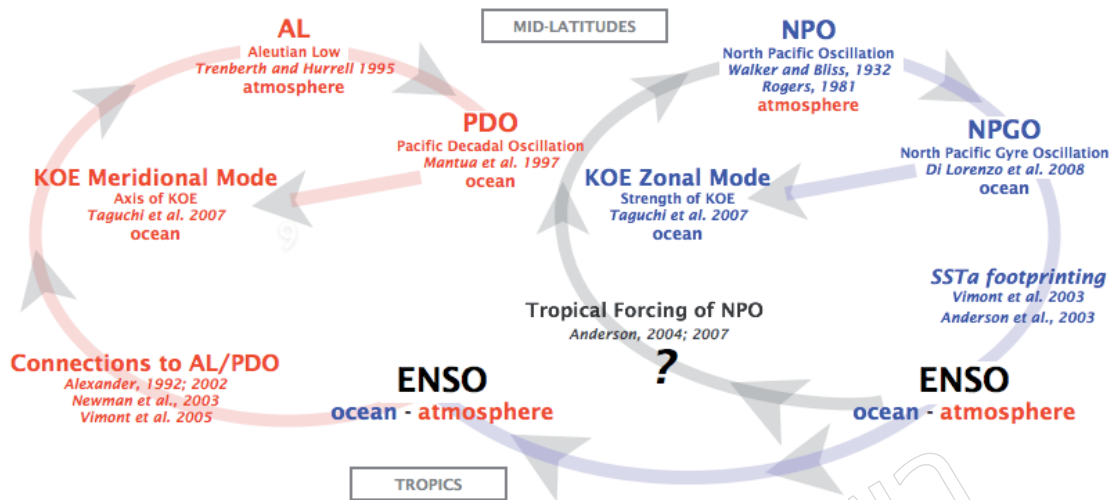
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะเชิงพื้นที่ของ PDO ในรูปของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ความกดอากาศผิวน้ำทะเลและลม และอนุกรมดัชนีเชิงเวลาของ PDO



ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงควบคู่ในระยะยาวของภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ในแปซิฟิกเหนือในรูป PDO และลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของปรากฏการณ์ ENSO

สมุทรศาสตร์ขนาดใหญ่ รวมถึงการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาใหม่ด้วยฟังก์ชันของ EOF เนื้อหาในบทความ ได้เน้นเฉพาะขั้นตอน สมการ และวิธีการวิเคราะห์พื้นฐานเท่านั้น ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงเทคนิค EOF ขั้นสูงที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีลักษณะ Propagating หรือวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเวลาร่วมกันหลายตัวแปร เช่น Extended EOF และ Complex EOF เป็นต้น

เทคนิค EOF นับเป็นวิธีทางสถิติเชิงพหุ ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนควบคู่ทั้งเชิงพื้นที่และเวลาได้ดี อีกทั้งมีประโยชน์ในการจัดการกับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์และแปลผลเพิ่มเติม เนื่องจาก EOF เป็นเพียงเทคนิคทางสถิติเท่านั้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย EOF ไม่ได้หมายความว่าต้องแสดงถึงความแปรปรวนและกลไกทาง



ภาพที่ 5 แสดงกลไกการเชื่อมโยงระยะไกลของความแปรปรวนคว่ำระหว่างภูมิภาคและมหาสมุทรในโหมดต่างๆ ระหว่าง Mid-latitude และ Tropic ที่ปรากฏในโหมดที่ 1 และ 2 ของ EOF

กายภาพเสมอไป ดังนั้น ผู้ที่นำ EOF มาประยุกต์ใช้ ควรเข้าใจ กลไกทางกายภาพของระบบนั้นๆ ก่อน เพื่อการแปลผลของ EOF มีความหมายที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ขั้นตอนที่สำคัญของการวิเคราะห์ EOF ที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ คือ การแปลผลซึ่งผลสามารถอธิบาย กลไกทางกายภาพได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับประสบการณ์และ องค์ความรู้ในเรื่องนั้นๆ ของผู้ใช้เป็นหลัก ซึ่งการทบทวนเอกสารถึง กรณีตัวอย่างต่างๆ ที่ได้วิเคราะห์ด้วย EOF ที่ผ่านมา จะช่วยเพิ่มความชำนาญและประสบการณ์ในการแปลผล

ในปัจจุบัน เทคนิค EOF ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงทางด้าน สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งเป็นโอกาสอันดีที่จะช่วยแนะนำ เทคนิค EOF เป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ อีกทั้งเป็นการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างนักวิจัยที่สนใจ เทคนิคดังกล่าว ซึ่งจะช่วยให้การนำเทคนิค EOF มาประยุกต์ใช้ อย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความรู้เรื่องเทคนิค EOF ในประเทศไทย ยังอยู่ในวงจำกัด การสร้างเสริมศักยภาพด้วยการ จัดฝึกอบรมจากผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมการนำเทคนิคสถิติขั้นสูงในการศึกษาวิจัยใน ประเทศไทยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Di Lorenzo, E., Schneider, N., Cobb, K.M., Franks, P.J.S., Chhak, K., Miller, A.J., McWilliams, J.C., Bograd, S.J., Arango, H., Curchitser, E., Powell, T.M. & Riviére, P. (2008). North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophysical Research Letters*. 35, L08607, doi:10.1029/2007/ GL032838.

Di Lorenzo, E., Fiechter, J., Schneider, N., Bracco, A., Miller, A.J., Franks, J.S., Bograd, S.J., Moore, A.M., Thomas, A.C., Crawford, W., Peña, A. & Hermann, A.J. (2009). Nutrient and salinity decadal variations in the central and eastern North Pacific. *Geophysical Research Letters*. 36, L14601, doi:10.1029/2009 GL038261.

Eischeid, J.K., Baker, C.B., Karl, T.R. & Diaz, H.F. (1995). The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2787-2795.

Ganachaud, A., & Wunsch, C. (2000). Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrological data. *Nature*, 408, 453-457.

- Hotelling, H. (1935). The most predictable criterion. *Journal of Educational Psychology*, 26, 139-142.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: The physical science basis. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, & H.L. Miller. (Eds). *Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (pp. 996). Cambridge University Press, Cambridge, UK and USA.
- Lorenz, E.N. (1956). Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction. *Technical report, Statistical Forecast Project Report 1*, Dep. of Meteor., MIT, 49.
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. & Francis, R.C. (1997). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1069-1079.
- Obukhov, A.M. (1947). Statistically homogeneous fields on a sphere. *Uspethi Matematicheskikh Nau*, 2, 196-198.
- Pearson, K. (1902). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine*, 2, 559-572.
- Preisendorfer, R.W. (1988). Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography. Elsevier: Amsterdam.
- Schmitz, W.J. Jr. (1995). On the Interbasin-scale thermohaline circulation. *Reviews of Geophysics*, 33, 151-173.
- Zhang, Y., Wallace, J.M. & Battisti, D.S.(1997). ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, 10, 1004-1020.