

การค้นหาคัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี

AUTOMATIC STORM EYE COORDINATE SEARCHING USING  
FUZZY INFERENCE SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-D-018-215

การค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี

AUTOMATIC STORM EYE COORDINATE SEARCHING USING  
FUZZY INFERENCE SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-D-018-215

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC STORM EYE COORDINATE SEARCHING USING  
FUZZY INFERENCE SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี  
Thesis Title Automatic Storm Eye Coordinate Searching Using Fuzzy Inference System  
นักศึกษา นางสาวกุลลัญช์ วรณสิน  
รหัสประจำตัว 53610103  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อรฉัตร จิตดีโสภักตร์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-215

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	
รศ.ดร.บุญธีร์	เครือตราชู	
ดร.วัชร	ฉัตรวิริยะ	
รศ.ดร.เกียรติกุล	เจียรนัยธนะกิจ	
รศ.ดร.อรฉัตร	จิตดีโสภักตร์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.30-15.30 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี
นักศึกษา	นางสาวกุลวลัญช์ วรณสิน
รหัสนักศึกษา	53610103
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี โดยวิธีการที่นำเสนอประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญสามขั้นตอนคือ การหาพื้นที่ที่คาดว่าจะจะเป็นพายุจากคุณลักษณะของข้อมูลลม การระบุตำแหน่งตาพายุเบื้องต้น ด้วยระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System : FIS) และการระบุตำแหน่งตาพายุโดยละเอียดด้วยทฤษฎีโค้งก้นหอย (Spiral Curve Model: SCM) โดยในขั้นตอนแรกนำเสนอการค้นหาพื้นที่ที่คาดว่าจะจะเป็นพายุจากคุณลักษณะของข้อมูลลมที่ได้รับมาจากดาวเทียม QuikSCAT (Quick Scatterometer) ด้วยการวิเคราะห์ฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมร่วมกับเทคนิคการจำแนกข้อมูลฟัซซีซีมีน (fuzzy C-Means: FCM) เพื่อแยกเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ สำหรับขั้นตอนที่สองของวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) ที่มีความสามารถประมวลผลในเรื่องที่ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ตัดสินใจ โดยระบบอนุมานฟัซซีถูกเลือกมาใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอในขั้นตอนนี้จึงเป็นการนำระบบอนุมานฟัซซีมาประยุกต์ร่วมกับค่าสถิติของข้อมูลลมและภาพเมฆ เพื่อหาดำแหน่งตาพายุเบื้องต้น และในขั้นตอนที่สามของวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำทฤษฎีโค้งก้นหอยมาสกัดคุณลักษณะของเกลียวเมฆจากภาพเมฆ เพื่อค้นหาตำแหน่งตาพายุให้มีความแม่นยำมากขึ้น สำหรับผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งตาพายุมรกด 2009 ด้วยวิธีวิเคราะห์จากฐานข้อมูล QuikSCAT (QuikSCAT Method: QM) [7] วิธีวิเคราะห์จากฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (QuikSCAT & Spiral cloud Method: QSM) วิธีค้นหาแบบดีที่สุดในฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (Best first search on QuikSCAT and Spiral cloud Method (BQSM) [8] วิธีค้นหาด้วยระบบอนุมานฟัซซีในฐานข้อมูล QuikSCAT (FIS on QuikSCAT Method: FQM) และ วิธีค้นหาด้วยระบบอนุมานฟัซซีในฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (FIS on QuikSCAT & Spiral cloud Method: FQSM) ในด้านประสิทธิภาพของระยะทางเฉลี่ยผิดพลาด เมื่อทดสอบกับพายุมรกด (Morakot) ในปี ค.ศ. 2009 พบว่า วิธี FQSM ให้ค่าระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 93.3 กิโลเมตร โดยการค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM ของวิทยานิพนธ์นี้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธี BQSM 16.25 % และ ในด้านของประสิทธิภาพของการใช้เวลาในการประมวลผล พบว่าวิธี BQSM และ วิธี FQSM ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยวิธี FQSM ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี BQSM 0.19% ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธี FQSM ให้ประสิทธิภาพในการตรวจหาตาพายุได้ดีที่สุด โดยให้ทั้งค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดน้อยที่สุดและใช้เวลาประมวลผลอย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Automatic storm eye coordinate searching using fuzzy inference system
<b>Student</b>	Miss. Kulwarun Warunsin
<b>Student ID</b>	53610103
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Program</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Orachat Chitsobhuk

### ABSTRACT

In this paper, a study of the novel technique based on Fuzzy Inference System (FIS) for storm eye coordinate searching has been presented. The proposed system consists of three main processes: wind characteristic search for Region Of Interest (ROI), FIS based storm eye identification and Spiral Curve Model (SCM) based storm eye location refinement. In the first process, searching is performed on a scope of QuikSCAT wind information. The histograms of wind speed and wind direction from the QuikSCAT satellite are used to determine whether the ROI should be considered as storm or non-storm situation using Fuzzy C-Means (FCM) clustering. In the second process, we introduce a fuzzy based system specially designed for storm eye identification to improve the storm center tracking. The FIS then translates the domain knowledge into fuzzy rules and introduces into the expert system. It provides ability to model the dynamic behavior of the storm and designates the best candidate eye position in the ROI. Finally, the storm eye location refinement is performed using the SCM curve fitting technique. For performance evaluation, the experimental results of storm Morakot 2009 obtained from the five eye location estimation algorithms: the QuikSCAT Method (QM) [7], the QuikSCAT and Spiral Cloud Method (QSM), the best first search on QuikSCAT and Spiral Cloud Method (BQSM) [8], the proposed FIS on QuikSCAT Method (FQM), and the proposed FIS on QuikSCAT and Spiral Cloud Method (FQSM) are compared. In terms of the average distance errors, the proposed FQSM outperforms the other techniques with the minimum average distance error of 93.3 km. The proposed FQSM storm tracking can achieve 16.25% better performance over the BQSM. In terms of time efficiency, the performance of the BQSM seems to be close to that of the FQSM. The processing time of the proposed FQSM can achieve 0.19% better than that of the BQSM. This result shows that the FQSM provides better performance in both minimum average distance error and processing time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เป็นต้นแบบของความวิริยะ อุตสาหะ ควบคู่กับความอดทน ในการทำงานวิจัยของข้าพเจ้า ตลอดจนให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณสำหรับโอกาส ความช่วยเหลือ ความปรารถนาดีที่มอบให้เสมอมา ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จันทน์ไทย รองศาสตราจารย์ ดร.บุญธีร์ เครือตราชู ดร.วัชระ ฉัตรวิริยะ และรองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติกุล เจียรนัยธนะกิจ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าซึ่งกรุณาให้คำแนะนำการปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ได้จัดสรรงบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยของข้าพเจ้า กรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับประกอบการทำวิจัยแก่ข้าพเจ้า และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่อนุญาตให้ข้าพเจ้าได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ตั้งแต่วัยเยาว์ จนกระทั่งปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณมารดาบิดาและสมาชิกครอบครัวทุกท่าน สำหรับกำลังใจ การสนับสนุน ความช่วยเหลือที่มอบให้ข้าพเจ้าด้วยความหวังดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณที่ยืนหยัดเคียงข้างข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณสัมฤทธิ์ สุทธิประภา คุณกนิษฐา ปัญญาภรณ์ คุณณัฐดนัย ปัญญาภรณ์ สำหรับการสนับสนุน การช่วยเหลือเกื้อกูลกันโดยตลอด เพื่อนๆ น้องๆ สาขาคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้อคิด คำแนะนำ กำลังใจที่ดี ขอขอบคุณพิเศษสำหรับ คุณณรงค์ชัย มุ่งแฝงกลาง คุณรัตติกร สมบัติแก้ว คุณนพพล น้อยแก้ว คุณจตุรนต์ เงินพลับพลา คุณภัทรภร วัฒนาชีพ คุณชัยพิทักษ์ พัฒนิกิตติคุณ รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่ข้าพเจ้ามิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

คุณงามความดีและประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่มารดาบิดาอันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

กุลวลัญช์ วรณสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และหากต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.8 รายละเอียดเนื้อหาในแต่ละบท.....	6
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT.....	7
2.2 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากภาพเมฆ.....	10
2.3 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT และภาพเมฆ.....	17
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	20
3.1 ข้อมูลพายุเบื้องต้น.....	20
3.1.1 การแบ่งชนิดของพายุ.....	20
3.1.2 ส่วนประกอบของพายุ.....	21
3.2 ทฤษฎีสำหรับจัดกลุ่มเหตุการณ์พายุ.....	22
3.2.1 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีน (Support Vector Machine: SVM).....	23
3.2.2 การจำแนกข้อมูลฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means : FCM).....	26
3.3 วิธีการค้นหาข้อมูล (Searching Algorithm).....	28
3.3.1 การค้นหาแบบโบลด์ (Blind Search).....	28
3.3.1.1 การค้นหาแบบลึกก่อน (Depth First Search).....	28
3.3.1.2 การค้นหาแบบกว้างก่อน (Breadth First Search).....	28
3.3.2 การค้นหาแบบฮิวริสติก (Heuristic Search).....	29
3.3.2.1 การค้นหาแบบปีนเขา (Hill Climbing Search).....	29
3.3.2.2 การค้นหาแบบการเลือกค่าดีที่สุดก่อน (Best First Search).....	30
3.3.2.3 การค้นหาแบบ A* (A* Search).....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ทฤษฎีฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference System : FIS).....	31
3.4.1 การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification).....	33
3.4.2 การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation).....	33
3.4.3 การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซี (Aggregation of Rule Output).....	35
3.4.4 การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification).....	35
3.4.4.1 วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity: COG).....	35
3.4.4.2 วิธีหาค่าน้อยสุดของค่าสูงสุด (Smallest of Maximum: SOM).....	36
3.4.4.3 วิธีหาค่ามากที่สุดของค่าสูงสุด (Largest of Maximum: LOM).....	36
3.4.4.4 วิธีหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum: MOM).....	37
3.5 ทฤษฎีโค้งก้นหอยแบบลอการิทึม (Logarithmic Spiral).....	37
บทที่ 4 การค้นหาพิกัดตาข่ายอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซี.....	40
4.1 การหาพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นพายุ.....	41
4.2 การระบุตำแหน่งตาข่ายด้วยทฤษฎีฟัซซีอินเฟอเรนซ์.....	46
4.2.1 การหาค่าระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification).....	46
4.2.2 การอนุมาน (Inference).....	48
4.2.3 การทำดีฟัซซี (Defuzzification).....	49
4.3 การระบุตำแหน่งโดยละเอียดด้วยทฤษฎีโค้งก้นหอยร่วมกับภาพเมฆ.....	50
4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบตำแหน่งตาข่ายด้วยวิธี QM FQM และ FQSM.....	53
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	54
5.1 รายละเอียดและการวิเคราะห์ฐานข้อมูล QuikSCAT และภาพเมฆ.....	55
5.1.1 ฐานข้อมูล QuikSCAT.....	55
5.1.2 ฐานข้อมูลภาพเมฆ.....	57
5.1.3 ค่าสถิติสำหรับการพยากรณ์ของข้อมูลลมและภาพเมฆ.....	58
5.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคนิคการทำดีฟัซซีของระบบ.....	61
5.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีโค้งก้นหอยสำหรับภาพเมฆ.....	62
5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งตาข่ายมรกต 2009 ด้วยวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM.....	63
5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี BQSM FQM และ FQSM ร่วมกับ 6 เหตุการณ์พายุ.....	65
5.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธี FQSM ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.7 การค้นหาพิกัดตาศายุอ้างอิง (Ground Truth) ด้วยตัวเองของผู้วิจัย.....	67
5.8 การเปรียบเทียบพิกัดตาศายุของวิธี FQSM ร่วมกับหน่วยงานอ้างอิง JTWC HKO JMA และพิกัดตาศายุอ้างอิง (Ground Truth:GT).....	69
บทที่ 6 สรุปผลและแนวทางในการพัฒนา.....	70
6.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ.....	71
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์.....	77
ภาคผนวก ข การทดสอบหาค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$ ในฟังก์ชันฮิวริสติก (heuristic wind statistics division: HWSD) ร่วมกับพายุมรกด 2009 ระหว่างวันที่ 3-9 สิงหาคม 2009.....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การหาพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นพายุ.....	41
4.2 รายละเอียดการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 4 ค่า ในระบบ FIS.....	46
5.1 ข้อมูลพายุที่ใช้ในการทดลอง.....	54
5.2 แสดงพารามิเตอร์วงโคจรของดาวเทียม QuikSCAT.....	56
5.3 ระยะทางที่แตกต่างกัน (Km) ของเส้นทางพายุจากหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA.....	58
5.4 ตัวอย่างการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 รูปแบบ ( $a$ , $b$ , $\theta_0$ และ $\Theta$ ) ของโค้งกันหอย.....	63
5.5 ระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดของพายุ 6 เหตุการณ์ด้วยวิธี FQSM.....	66
5.6 ตำแหน่งพิกัดตาพายุอ้างอิงในเหตุการณ์พายุมรกดระหว่างวันที่ 4-9 สิงหาคม 2009.....	68
5.7 ระยะทางผิดพลาดของวิธี GT เปรียบเทียบกับแหล่งอ้างอิง JTWC HKO JMA และ FQSM.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุเมอโลร์ ปี ค.ศ.2009 [3].....	2
2.1 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ....	8
2.2 แสดงขั้นตอนการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการรวมฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม .....	8
2.3 แสดงการกำหนดทิศทางลมหลักของพายุในพื้นที่สนใจของงานวิจัย [11] .....	9
2.4 แสดงลำดับการค้นหาข้อมูลพายุตามเกณฑ์ข้อที่ 2 ของงานวิจัย [11].....	9
2.5 ตัวอย่างลักษณะของก้อนเมฆที่มีความสัมพันธ์กับความแรงของพายุ (T1 ถึง T8).....	11
2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการดำเนินการของงานวิจัย [15].....	12
2.7 แสดงผลลัพธ์ของขดเกลียวกันหอยที่มีความเหมาะสมกับพายุใน 28-4-2006.....	13
2.8 ตัวอย่างภาพพายุแสดงการแบ่งรัศมีและมุม .....	14
2.9 ขั้นตอนการหาศูนย์กลางพายุของงานวิจัยที่ [6].....	15
2.10 ตัวอย่างภาพเหตุการณ์พายุของ 6 พ.ย. 2010.....	16
2.11 ผลการค้นหาพิกัดตาพายุพยานด้วยวิธีที่นำเสนอในงานวิจัย [6].....	16
2.12 แสดงภาพรวมของระบบจากงานวิจัย [8].....	17
2.13 ผลการค้นหาพิกัดตาพายุมรกต 2009 ด้วยวิธี BQSM .....	19
3.1 แสดงโครงสร้างของพายุหมุน [23] .....	22
3.2 แบบจำลอง Support Vector Machines (SVM model) .....	23
3.3 แสดงข้อมูล support vectors ในแบบจำลอง SVM.....	24
3.4 แสดงค่าตัวแปร $\xi$ (Slack Variable) ในแบบจำลอง SVM.....	25
3.5 ลำดับการค้นหาบนโหนดของการค้นหาแบบลึกก่อน .....	28
3.6 ลำดับการค้นหาบนโหนดของการค้นหาแบบกว้างก่อน .....	29
3.7 แสดงลักษณะการค้นหาแบบ Hill Climbing.....	30
3.8 แสดงขั้นตอนของการค้นหาแบบเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน .....	30
3.9 แสดงขั้นตอนของการค้นหาแบบ A*.....	31
3.10 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani.....	32
3.11 ตัวอย่างการหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification).....	33
3.12 ตัวอย่างการประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี.....	34
3.13 ตัวอย่างการรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซี.....	35
3.14 เอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ COG หรือ COA.....	36
3.15 เอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ SOM.....	36
3.16 เอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ LOM.....	37
3.17 เอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ MOM.....	37
3.18 โค้งกันหอยแบบลอการิทึม .....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ภาพรวมระบบงานวิจัย.....	41
4.2 ขั้นตอนการหาพื้นที่สนใจ (ROI) ของเหตุการณ์พายุเมโอร์ ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009.....	42
4.3 เปรียบเทียบฮีโดแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ .	43
4.4 ตัวอย่างคุณลักษณะทั้ง 4 ของเหตุการณ์พายุเมโอร์ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009.....	44
4.5 กราฟคุณลักษณะของเหตุการณ์พายุเมโอร์ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009 ช่องย่อยที่ 1-121 .....	45
4.6 การหาตำแหน่งตาพายุด้วยระบบพีซีอินเฟอร์เรนซ์.....	46
4.7 แสดงการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 4 ค่าในระบบ FIS.....	47
4.8 ภาพความเข้มแสงของภาพเมฆในเหตุการณ์พายุเมโอร์เมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2009.....	48
4.9 ภาพแสดงการหาตำแหน่งตาพายุด้วยคุณลักษณะของอินพุตทั้ง 4 ค่า .....	49
4.10 แสดงการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตในระบบ FIS.....	49
4.11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ตำแหน่งตาพายุด้วยระบบพีซีอินเฟอร์เรนซ์.....	50
4.12 ตัวอย่างการระบุโค้งกั้นหอยบนภาพที่มีความละเอียด 400 x 400 พิกเซล.....	51
4.13 แสดงตัวอย่างโค้งเกลียวเมฆที่ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์.....	52
4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี QM, FQM และ FQSM.....	53
5.1 ตัวอย่างพายุ 6 เหตุการณ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน.....	55
5.2 แสดงเหตุการณ์พายุเมโอร์ ในวันที่ 6 ตุลาคม 2009 ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT .....	56
5.3 การจัดกลุ่มพายุ 30 เหตุการณ์ และไม่เป็นพายุ 30 เหตุการณ์ .....	57
5.4 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมเมฆของวันที่ 6 ตุลาคม 2009 .....	58
5.5 แสดงตำแหน่งของ 121 ช่องย่อยในพื้นที่สนใจ (ROI).....	59
5.6 แสดงภาพ 3 มิติของค่าสถิติข้อมูลลมและภาพเมฆของพื้นที่สนใจ 121 ช่องย่อย.....	59
5.7 การวิเคราะห์ค่าสถิติของความเร็วลมในเหตุการณ์พายุเมโอร์ ปี ค.ศ. 2009.....	60
5.8 การเปรียบเทียบเทคนิคการทำดีพีซีเพื่อระบุเหตุการณ์พายุเมโอร์ 2009 .....	62
5.9 การค้นหาพิกัดตาของเหตุการณ์พายุมรกด 2009 เปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน .....	64
5.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM .....	65
5.11 ระยะเวลาเฉลี่ยผิดพลาดของพายุ 6 เหตุการณ์เปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน .....	65
5.12 การค้นหาพิกัดตาพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ด้วยวิธี FQSM เปรียบเทียบกับแหล่งอ้างอิง JMA HKO และ JMA.....	67
5.13 การนำพิกัดตาพายุอ้างอิงมาแสดงร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเมฆในเหตุการณ์ พายุมรกด 2009 ระหว่าง 4-9 สิงหาคม 2009 .....	68
5.14 เปรียบเทียบพิกัดตาพายุของวิธี FQSM ร่วมกับพิกัดตาพายุอ้างอิง 4 แหล่ง บนภาพถ่ายดาวเทียมเมฆ ในเหตุการณ์พายุมรกด 2009 ระหว่าง 4-9 สิงหาคม 2009.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

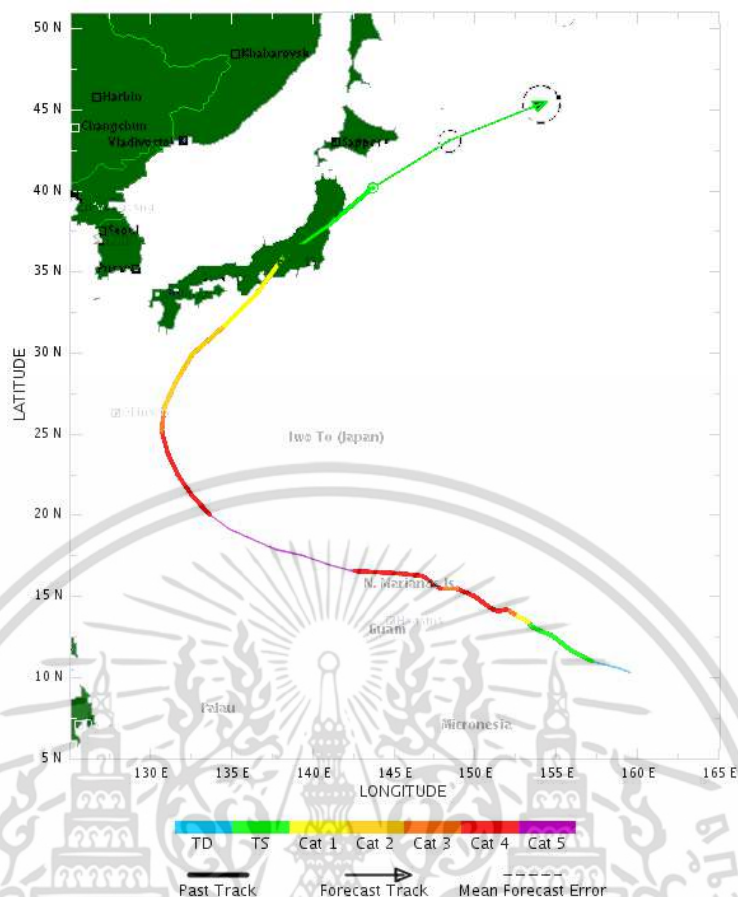
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความสามารถในการพยากรณ์เส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุล่วงหน้า เป็นปัจจัยพื้นฐานหนึ่งที่จะช่วยลดอันตรายที่จะก่อให้เกิดการสูญเสียชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนในพื้นที่ที่พายุเคลื่อนที่ผ่าน เช่น เหตุการณ์พายุเมโอล์ [1] ก่อตัวขึ้นระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึง 9 ตุลาคม ในปี ค.ศ. 2009 ดังแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุได้ในรูปที่ 1.1 พายุเมโอล์เริ่มก่อตัวขึ้นทางตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก แล้วค่อยๆ ทวีความเร็วลมศูนย์กลางขึ้นเป็นระดับพายุโซนร้อน ขณะพัดผ่านหมู่เกาะมาเรียนาส (Marinas) ก่อนจะทวีความแรงขึ้นเป็นไต้ฝุ่นระดับ 5 (Category 5) ตามมาตรฐานเฮอรัริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน [2] ขณะอยู่ในมหาสมุทรแปซิฟิก (พายุระดับ 5 จัดอยู่ในระดับสูงสุดของพายุเขตร้อน ที่มีความเร็วลมศูนย์กลาง 250 กม./ชม.ขึ้นไป) จากนั้นพายุเมโอล์ลดความเร็วลมศูนย์กลางลงสู่ระดับ 2 (154-177 กม./ชม.) ก่อนจะเข้าถึงหมู่เกาะของประเทศญี่ปุ่น และลดลงถึงระดับ 1 (119-153 กม./ชม.) ก่อนเข้าเกาะฮอนชู (Honshu) อันเป็นที่ตั้งนครโอซากา (Osaka) และนาโงยา (Nagoya) ทำให้มีผู้เสียชีวิตอย่างน้อย 164 คน สร้างความเสียหายเกือบ 900 ล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 32.2 ล้านบาท ด้วยเหตุนี้ความสามารถในการพยากรณ์เส้นทางการพายุล่วงหน้า จะสามารถช่วยบรรเทาความรุนแรงจากภัยธรรมชาติทางด้านวาทภัยได้ระดับหนึ่ง ด้วยการวางแผนเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ล่วงหน้า เช่น การคาดคะเนความเสียหาย เตรียมหน่วยงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย หน่วยงานแพทย์ หรืออาจจะต้องซักซ้อมขั้นตอนการอพยพ ดังนั้นการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุจึงเป็นกุญแจสำคัญ สำหรับศึกษาและวิเคราะห์แนวโน้มของพายุที่เกิดจากองค์ประกอบสำคัญมากมายไม่ว่าจะเป็น ความเร็วลม ทิศทางลม หรือลักษณะของก้อนเมฆ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการพยากรณ์ งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคทางสถิติของข้อมูลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบผู้เชี่ยวชาญที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งระบบผู้เชี่ยวชาญนี้สามารถประมวลผลในเรื่องที่ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่งโดยปกติแล้วจะต้องอาศัยมนุษย์เป็นผู้ตัดสินใจ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System : FIS) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบจากข้อมูลซ่อนอยู่ อีกทั้งหลักการสำคัญของเทคนิคทางสถิติคือการพิจารณา เพื่อรวบรวมคุณลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ชุดข้อมูลสำหรับใช้ในการพยากรณ์ได้รับจากเหตุการณ์พายุที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ดังนั้นเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพ การเลือกใช้ชุดข้อมูลของเหตุการณ์พายุจากประวัติพายุที่เคยเกิดขึ้นมาก่อนหน้านี้ ควรเป็นเหตุการณ์ที่สามารถหาได้ง่าย (เป็นพายุที่เกิดขึ้นทั่วไป) มีความน่าเชื่อถือ และมีชุดข้อมูลของเหตุการณ์พายุครอบคลุมกับประวัติการเกิดพายุที่ผ่านมา สำหรับใช้ศึกษาพฤติกรรมของพายุที่จะเกิดขึ้นในอนาคต



รูปที่ 1.1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุเมอโอล์ ปี ค.ศ.2009 [3]

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบวิธีการระบุเหตุการณ์พายุในพื้นที่ที่สนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบการระบุเหตุการณ์ในตำแหน่ง เวลา และสภาพอากาศที่แตกต่างกัน
- 1.2.2 พัฒนาระบบการเลือกค่าขีดแบ่ง (Threshold) ให้เหมาะสมสำหรับกำหนดกรอบพื้นที่ที่สนใจ
- 1.2.3 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบการวิเคราะห์ค่าสถิติของข้อมูลลมและภาพเมฆเพื่อแบ่งกลุ่มความเร็วลมของพายุสำหรับวิเคราะห์วัฏจักรพายุว่าอยู่ในช่วงพายุเริ่มก่อตัว พายุทวีกำลัง หรือพายุอ่อนกำลัง
- 1.2.4 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบอนุमानพีชซีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งพายุ โดยอาศัยข้อมูลจากค่าสถิติของข้อมูลลม และภาพเมฆ
- 1.5.5 ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาทฤษฎีไค้กันหอยเพื่อสกัดเกลียวเมฆจากภาพเมฆและนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการระบุตำแหน่งพายุให้แม่นยำมากขึ้น
- 1.2.6 สามารถประเมินประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งพายุที่น่าเสนอ รวมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

พายุเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มีนัยสำคัญของสภาพอากาศ และมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม พายุมักเกิดขึ้นส่วนมากในพื้นที่บนโลกที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศคือ บริเวณละติจูดกลาง จากการศึกษาพฤติกรรมของพายุในงานวิจัยที่ผ่านมา การนำคุณลักษณะของพายุในด้านต่างๆ เช่น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม มวลอากาศ อุณหภูมิเหนือพื้นผิวทะเล รวมถึงพื้นที่ที่พายุมักก่อตัวมาสร้างระบบหรือวิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของพายุ ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย

ข้อมูลจากดาวเทียมมีประโยชน์อย่างยิ่งในการป้องกันและเตือนภัยพิบัติ โดยสามารถลดความสูญเสียที่เกิดจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น การเกิดฝนฟ้าคะนอง การเคลื่อนตัวของพายุ การเกิดน้ำท่วม เป็นต้น ทำให้สามารถวางแผนการช่วยเหลือและฟื้นฟูได้อย่างเหมาะสม มีหลายงานวิจัย [4-8] ที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ ได้นำข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้ในการพยากรณ์เส้นทางพายุ เนื่องจากดาวเทียมสามารถเก็บข้อมูลจากทุกจุดได้ทั่วโลกและสามารถเก็บได้ทั้งข้อมูลและภาพถ่าย ดาวเทียม QuikSCAT (Quick Scatterometer) [9] เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศจัดเป็นดาวเทียมสำรวจประเภทหนึ่ง มีจุดประสงค์เพื่อเตือนภัยเมื่อเกิดพายุและยังสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของพายุได้อีกด้วย ดังนั้นการนำคุณลักษณะของข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT มาวิเคราะห์น่าจะสามารถระบุเหตุการณ์พายุได้ แต่การขาดหายไปของข้อมูลลมในบางพื้นที่ของดาวเทียม QuikSCAT เป็นข้อจำกัดที่ทำให้การพยากรณ์เส้นทางพายุมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นการนำข้อมูลเพิ่มเติมจากภาพเมฆน่าจะช่วยลดข้อจำกัดของดาวเทียม QuikSCAT ได้ เนื่องจากมีวิจัยก่อนหน้า [4 6 14] อาศัยภาพเมฆในการค้นหาพิกัดพายุ แต่จะเป็นการนำข้อมูลภาพเมฆไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเหตุการณ์ที่เกิดก่อนหน้าเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่งานวิจัย [13] นำเสนอการนำทฤษฎีโค้งกันหอยมาแยกคุณลักษณะเกลียวเมฆ แต่จะมีจำกัดในเรื่องของการสูญเสียเวลาในการค้นหาคำตอบ ด้วยเหตุนี้การนำภาพเมฆมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลลมของดาวเทียม QuikSCAT น่าจะสามารถลดข้อด้อยของแต่ละฐานข้อมูล ขณะเดียวกันน่าจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์เส้นทางพายุของงานวิจัยนี้ได้

ขณะเกิดเหตุการณ์พายุมักจะประกอบไปด้วยลมแรงและมีทิศทางที่ไม่แน่นอน ดังนั้นคุณลักษณะของความเร็วลมและทิศทางลมในพื้นที่ที่สนใจน่าจะถูกนำมาพิจารณาพื้นที่สนใจว่ามีข้อมูลพายุหรือไม่ และควรจะมีทฤษฎีการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ สำหรับจัดกลุ่มเหตุการณ์ที่เป็นพายุ และเหตุการณ์ที่ไม่เป็นพายุ ถึงแม้ว่าบางพื้นที่ข้อมูลจะมีความใกล้เคียงกัน

การวิเคราะห์สถิติของข้อมูลลมและภาพเมฆเพื่อแบ่งช่วงของพายุ น่าจะสามารถแบ่งกลุ่มพายุได้ตามวัฏจักรพายุว่าอยู่ในช่วงพายุเริ่มก่อตัว พายุทวีกำลัง หรือพายุอ่อนกำลัง

การระบุตำแหน่งพายุหรือตาพายุในพื้นที่ที่สนใจ บางกรณีข้อมูลที่ประกอบการตัดสินใจมีค่าซ้อนทับหรือใกล้เคียงกันมากทำให้ยากต่อการพิจารณาระบุตำแหน่งตาพายุ ถ้านำระบบอนุमानพีชชีมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุตำแหน่งพื้นที่ของตาพายุ น่าจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการติดตามเส้นทางพายุได้

ตำแหน่งตาพายุนอกจากจะระบุได้จากข้อมูลลมของดาวเทียม QuikSCAT แล้ว การพิจารณาเกลียวเมฆที่มีลักษณะคล้ายโค้งกันหอยเป็นข้อมูลที่น่าสนใจในการพิจารณาเพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งตา

พายุ ทฤษฎีโค้งกั้นหยอน่าจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสกัดเกลียวเมฆ และตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโค้งกั้นหยอน่าจะใช้แทนตำแหน่งตาพายุได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการพยากรณ์เส้นทางพายุที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ถูกพัฒนามาจากรากฐานของหลักการและทฤษฎีดังต่อไปนี้

- 1.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลลม ด้วยการสร้างฮิสโตแกรมเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลของความเร็วลมและทิศทางลม สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลสำหรับระบุเหตุการณ์พายุในพื้นที่ที่สนใจได้
- 1.4.2 ทฤษฎีการจัดกลุ่มซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) และการจำแนกข้อมูลฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means : FCM) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุเหตุการณ์พายุของพื้นที่ที่สนใจว่าเป็นพายุหรือไม่
- 1.4.3 ระบุตำแหน่งของพายุเบื้องต้น ด้วยการวิเคราะห์การวิเคราะห์ค่าสถิติสำหรับการพยากรณ์ด้วยข้อมูลลมและภาพเมฆร่วมกับระบบอนุमानฟัซซี
- 1.4.3 ระบุตำแหน่งศูนย์กลางพายุที่แน่นอนด้วยการใช้ทฤษฎีโค้งกั้นหยอน่าเพื่อสกัดเกลียวเมฆจากภาพก้อนเมฆ

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการค้นหาพิกัดตาพายุ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมจากดาวเทียม QuikSCAT และข้อมูลภาพเมฆ โดยการพัฒนาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการระบุเหตุการณ์พายุด้วยการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของข้อมูลความเร็วลมจากดาวเทียม QuikSCAT ร่วมกับทฤษฎีการจัดกลุ่มเหตุการณ์ 2 ทฤษฎีคือซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) และการจำแนกข้อมูลฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means : FCM) ส่วนที่สองเป็นการออกแบบและพัฒนาวิธีการติดตามเหตุการณ์พายุบนรากฐานของการนำระบบอนุमानฟัซซีร่วมกับการวิเคราะห์ค่าสถิติสำหรับการพยากรณ์ของข้อมูลลม และภาพเมฆ ส่วนที่สามเป็นการนำทฤษฎีโค้งกั้นหยอน่ามาปรับค่าตำแหน่งพายุอย่างละเอียดเพื่อเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งพายุให้มากขึ้น สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับวิธีของงานวิจัยของเราก่อนหน้านี้ [7 8]

- 1.5.1 ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการในรูปแบบของการระบุระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดเปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน คือ ศูนย์ร่วมการเตือนภัยไต้ฝุ่น (Joint Typhoon Warning Center: JTWC) กรมอุตุนิยมวิทยาฮ่องกง (Hong Kong Observatory: HKO) และสำนักอุตุนิยมวิทยาญี่ปุ่น (Japan Meteorological Administration: JMA) และทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการในรูปแบบของเวลาในการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.2 โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT และภาพถ่ายดาวเทียม JTWC จากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย (Thai Meteorological Department :TMD) และเป็นข้อมูลของพื้นที่ทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกในพื้นที่ละติจูด 0-40 องศาเหนือ และลองจิจูด 110-160 องศาตะวันออก และสำหรับพายุที่สนใจในวิทยานิพนธ์นี้มีจำนวน 6 เหตุการณ์ ประกอบด้วยพายุหม่านยี่ (Man-yi) ยิวู่ (Yutu) และ ฮากิบิส (Hagibis) ในปี ค.ศ. 2007 พายุซังมี (Jangmi) ในปี ค.ศ. 2008 พายุเมโลร์ (Melor) และ พายุมรกต (Morakot) ในปี ค.ศ. 2009 เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสำหรับพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ที่มีความเร็วลมอยู่ระหว่าง 120.6-265.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 1.5.3 สำหรับวิธีการในส่วนที่สามของงานวิจัยคือ การค้นหาโค้งก้นหอยที่เหมาะสมกับเกลียวเขมในภาพเมฆ โดยค่าพารามิเตอร์สำหรับทฤษฎีโค้งก้นหอย ทั้ง 4 ค่า ประกอบด้วย  $a$   $b$   $\theta_0$  และ  $\Theta$  สามารถกำหนดขอบเขตได้ดังนี้ ค่า  $a$  คือค่ารัศมีความโค้งของโค้งก้นหอยมีค่าในช่วง 10-480 ค่า  $b$  คือพารามิเตอร์สำหรับปรับทิศทางของโค้งก้นหอยว่าจะสร้างในทิศทวนหรือตามเข็มนาฬิกา และมีค่าอยู่ระหว่าง -262 ถึง +262 ขณะที่ ค่า  $\theta_0$  และค่า  $\Theta$  เป็นมุมเริ่มต้นและมุมสิ้นสุด โค้งก้นหอยมีค่าอยู่ระหว่าง -270 องศาถึง 540 องศาตามลำดับ

## 1.6 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการพยากรณ์เส้นทางพายุ
- 1.6.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อยของวิธีการพยากรณ์เส้นทางพายุจากงานวิจัยที่ศึกษา เพื่อตั้งสมมุติฐานและกำหนดแนวทางในการวิจัย
- 1.6.4 เตรียมฐานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuikSCAT และภาพถ่ายดาวเทียมเมฆ สำหรับตรวจสอบสมมุติฐานและแนวความคิดของงานวิจัย รวมทั้งวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพของงานวิจัย
- 1.6.5 ออกแบบและพัฒนาระบบค้นหาพิกัดตาพายุ ตามแนวความคิดและสมมุติฐานของงานวิจัย
- 1.6.6 ทดสอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบค้นหาพิกัดตาพายุที่นำเสนอ
- 1.6.7 สรุปผลและนำเสนอผลงานวิจัย

## 1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาและวิจัย ได้แก่

- 1.7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) อินเทลคอร์ ไอ เซเวน (Intel CORE i7) 2.00 GHz หน่วยความจำ (RAM) 8 GB จำนวน 1 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.2 ระบบปฏิบัติการ Windows 7

1.7.3 โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2013a

## 1.8 รายละเอียดเนื้อหาในแต่ละบท

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนของการศึกษาและเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์พายุ การค้นหาพิกัดตาพายุ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยการค้นหาพิกัดตาพายุ ได้แก่ วิธีการจำแนกข้อมูลด้วยเทคนิคซ์พอร์ตเวกเตอร์แมชีน (Support Vector Machine: SVM), เทคนิคการจัดกลุ่มฟัซซีซีมีน (Fuzzy-C mean clustering: FCM), ระบบอนุमानฟัซซี และแบบจำลองโค้งก้นหอย (Spiral Curve Model : SCM)

บทที่ 4 กล่าวถึงภาพรวม ขั้นตอนการค้นหาพิกัดตาพายุด้วยระบบอนุमानฟัซซี โดยมีขั้นตอนการทำพื้นที่ที่น่าจะมีพายุจากข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT การระบุตำแหน่งตาพายุเบื้องต้น ด้วยระบบอนุमानฟัซซี และการปรับแต่งตำแหน่งตาพายุโดยละเอียดด้วยแบบจำลองโค้งก้นหอยร่วมกับภาพเมฆ

บทที่ 5 การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พายุเป็นปรากฏการณ์สภาพอากาศที่เกิดความแปรปรวนของลมซึ่งก่อให้เกิดภัยพิบัติรุนแรงมากโดยเฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและพื้นที่ใกล้เคียง หากสามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำและทันเหตุการณ์จะสามารถช่วยบรรเทาความรุนแรงของภัยพิบัติเข้าสู่ชายฝั่งได้ นอกจากนี้อุปสรรคของการพยากรณ์อยู่ที่ความหลากหลายของสภาพภูมิศาสตร์และข้อมูลของแต่ละมหาสมุทร ทำให้เทคนิคการพยากรณ์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถครอบคลุมทุกพื้นที่มหาสมุทรได้ อีกทั้งข้อมูลพายุประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญมากมายที่มีความแปรปรวนในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และ รูปร่างของก้อนเมฆ เป็นต้น ดังนั้นจากตัวแปรมากมายที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การพยากรณ์สภาพอากาศเป็นเรื่องที่ยุ้งยากและซับซ้อน กระนั้นก็ตามนักวิจัยยังคงพยายามรวบรวมข้อมูลที่สามารถจัดหามาได้ในรูปแบบต่างๆ จัดหมวดหมู่ และค้นหาเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อนำมาพยากรณ์อากาศ โดยข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์จะเก็บรวบรวมจากเหตุการณ์พายุที่เกิดขึ้นมาก่อนหน้านั้นจนกระทั่งปัจจุบัน ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการของงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์พายุด้วยแหล่งข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT, งานวิจัยที่ใช้แหล่งข้อมูลจากภาพเมฆ และงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT และ ภาพเมฆ

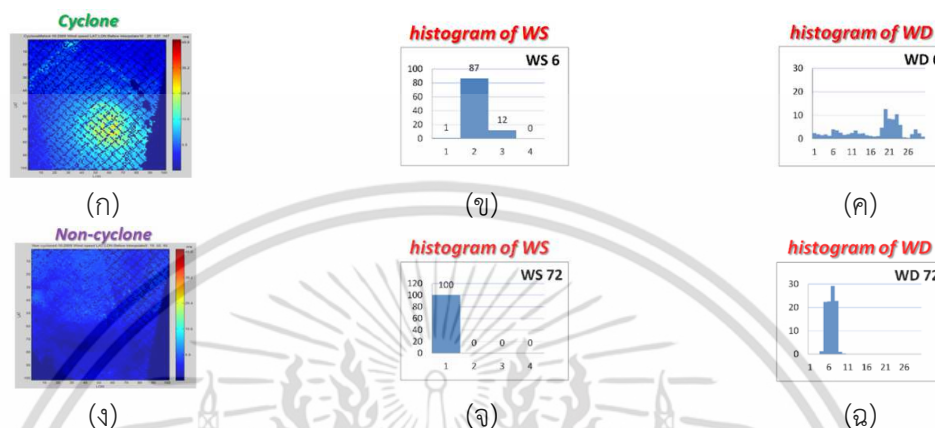
#### 2.1 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT

ข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT (Quick Scatterometer) เป็นทางเลือกหนึ่งที่นักวิจัยนำมาประกอบการวิเคราะห์สภาพอากาศ เนื่องจากได้รับการออกแบบให้เก็บข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับความเร็วลมบนพื้นผิวมหาสมุทรด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลม ถูกจัดตั้งขึ้นโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration: NASA) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999-2009 โดยงานวิจัยของ [9] นำเสนอเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) ร่วมกับคุณลักษณะฮิสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมจากดาวเทียม QuikSCAT เพื่อการระบุเหตุการณ์พายุไซโคลนอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่

2.1

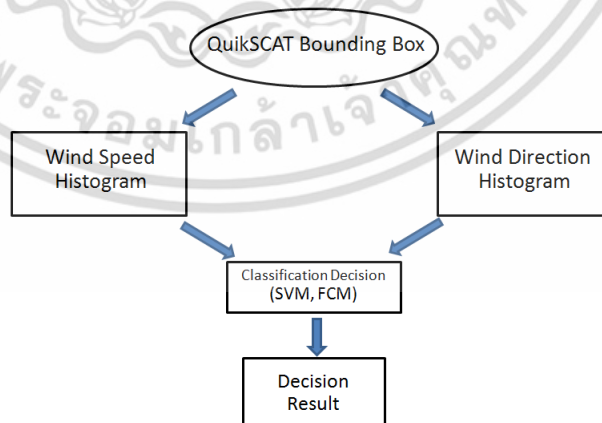
จากรูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมของความเร็วลม ทิศทางลม เพื่อนำไปวิเคราะห์และตัดสินใจเหตุการณ์พายุในพื้นที่สนใจ (Region of interest: ROI) ว่าเป็นเหตุการณ์พายุหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้ใช้หลักการพื้นฐานในการตัดสินใจเหตุการณ์พายุ เริ่มด้วยการนำความเร็วลมจากพื้นที่สนใจจากดาวเทียม QuikSCAT ที่มีค่า 0-50 เมตร/นาทึ มาสร้างฮิสโตแกรมขนาด 4 บินฮิสโตแกรม ด้วยการแบ่งขอบเขตของฮิสโตแกรมที่เท่ากันจะได้ค่าขอบบนสุดของแต่ละบินคือ คือ 12.5, 25.0, 37.5, 50.0 เมตรต่อนาทึ และนำทิศทางลมที่มีค่า 0-360 องศา มาสร้างฮิสโตแกรมที่มีขนาดบินเท่ากัน 24 บินฮิสโตแกรม เนื่องจากความเร็วลมในการจัดระดับความแรงของพายุเริ่มต้นที่ 17 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจะสามารถวิเคราะห์พื้นที่สนใจได้ว่าเป็นพายุหรือไม่ตามรูปที่ 2 โดยในกรณีเหตุการณ์พายุจะมีฮิสโตแกรมความเร็วลมหนาแน่นในบินที่ 2 ขึ้นไปดังรูปที่ 2.1(ข) และพื้นที่นี้จะถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาว่าเป็นพื้นที่มีโอกาสเป็นพายุ ในขณะที่เหตุการณ์ที่ไม่เป็นพายุฮีสโตแกรมความเร็วลมจะมีข้อมูลหนาแน่นส่วนใหญ่อยู่ในบินที่ 1 ดังรูปที่ 2.1(จ) นอกจากนี้คุณลักษณะความเร็วลมแล้วคุณลักษณะทิศทางลม ถูกนำมาพิจารณาความเป็นพายุจากฮีสโตแกรมของทิศทางลมจะพบว่ามีกระจายทุกทิศทางโดยแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 2.1(ค) ซึ่งแตกต่างกับเหตุการณ์ที่ไม่เป็นพายุฮีสโตแกรมทิศทางลมจะไม่กระจายเหมือนกรณีของเหตุการณ์พายุพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.1(ฉ)



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ

ต่อมงานวิจัยของ [10] นำเสนอเทคนิคการจัดกลุ่มฟัซซีซีมีน (Fuzzy-C mean clustering: FCM) เพื่อระบุเหตุการณ์พายุด้วยการจัดกลุ่มเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ จากฐานข้อมูล 90 เหตุการณ์ ประกอบด้วยเหตุการณ์ที่เป็นพายุ 45 เหตุการณ์ และเหตุการณ์ไม่เป็นพายุ 45 เหตุการณ์ พบว่าการนำคุณลักษณะของข้อมูลลมในพื้นที่สนใจ ประกอบด้วยการหาฮีสโตแกรมของความเร็วลม 4 บิน และฮีสโตแกรมของทิศทางลม 30 บิน ก่อนรวมคุณลักษณะทั้ง 2 เป็นคุณลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แล้วจึงระบุเหตุการณ์ด้วยเทคนิคฟัซซีซีมีนเป็นขั้นตอนสุดท้ายให้ประสิทธิภาพในการระบุเหตุการณ์ได้ถูกต้องถึง 93 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการรวมฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม

ขณะที่งานวิจัยของ Zou [11] นำเสนอการตรวจจับพายุได้แม่นยำโดยอัตโนมัติรูปแบบ ด้วยการนำข้อมูลฮีสโตแกรมความเร็วลมและทิศทางลมจากดาวเทียม QuikSCAT มาการวิเคราะห์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการหมนวนของลมในพื้นที่สนใจ จากนั้นนำวิธีการที่นำเสนอนี้มาทดสอบระบุเหตุการณ์พายุมรกดที่เกิดขึ้นปี ค.ศ. 2009 ได้ โดยงานวิจัยได้พิจารณาทิศทางลมของพื้นที่พายุเปรียบเทียบกับทิศทางลมของพื้นที่เพื่อนบ้าน และเส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุ เริ่มต้นจากการหาจุดเริ่มต้นของพายุแล้วค่อยๆ ขยายพื้นที่พายุตามเงื่อนไขของทิศทางลม เพื่อให้ได้ข้อมูลพายุครบสมบูรณ์ตามลักษณะลมที่หมุนวนรอบจุดศูนย์กลาง โดยในรูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดทิศทางลมหลักของพายุในพื้นที่สนใจ และพิจารณาพื้นที่ตามทิศของตัวเลขระดับความสำคัญ 3 พื้นที่เพื่อนบ้านที่ติดกันในแต่ละทิศ ตำแหน่งศูนย์กลางพายุจะอยู่ตรงกลางพื้นที่ และลูกศรแสดงให้เห็นถึงทิศทางลมหลักของพื้นที่สนใจ ส่วนตัวเลขในพื้นที่ย่อยแสดงให้เห็นถึงระดับความสำคัญของพื้นที่ที่จะพิจารณาถัดไป โดยตัวเลข 1 แสดงถึงข้อมูลที่มีระดับความสำคัญสูงสุด

2	1	3	NA	2	1	NA	NA	2	NA	NA	NA
NA	0	NA	NA	45°	3	NA	90°	1	NA	135°	2
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3	NA	3	1
NA	NA	NA	NA	NA	NA	3	NA	NA	1	3	NA
NA	180°	NA	3	225°	NA	1	270°	NA	2	315°	NA
3	1	2	1	2	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA

รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดทิศทางลมหลักของพายุในพื้นที่สนใจของงานวิจัย [11]

ด้วยหลักการพิจารณาทิศทางลมหลักของพื้นที่ที่สนใจ ทำให้สามารถวิเคราะห์เพื่อจำแนกการไหลเวียนของลมในทิศวนเข็มนาฬิกาสำหรับพายุในซีกโลกเหนือ และทิศตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกใต้ ด้วยข้อมูลสถิติแกรมของทิศทางลม 18 บิน ดังรูปที่ 2.4 โดยข้อมูลทิศทางลมสูงตั้งแต่บินที่ 18 ไหลลงไปยังบินที่ 1 สำหรับซีกโลกเหนือแสดงในรูป 2.4 (ก) และในทางตรงกันข้ามจะแสดงทิศทางลมสำหรับซีกโลกใต้ในรูปที่ 2.4 (ข)

Bin number	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(ก) พายุที่เกิดขึ้นในซีกโลกเหนือ

Bin number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(ข) พายุที่เกิดขึ้นในซีกโลกใต้

รูปที่ 2.4 แสดงลำดับการค้นหาข้อมูลพายุตามเกณฑ์ข้อที่ 2 ของงานวิจัย [11]

นอกจากนี้งานวิจัย [12] ได้นำฐานข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT ช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2008 ในพื้นที่ทางตอนเหนือของมหาสมุทรอินเดียมาวิเคราะห์ร่วมกับอัลกอริทึมการจับคู่ความเหมือนกันของข้อมูลในบล็อก (Block Matching Algorithm :BMA) เพื่อศึกษาทิศทางลมของลมสำหรับใช้ในการระบุพื้นที่พายุ และสามารถพยากรณ์เหตุการณ์พายุตั้งแต่เริ่มต้นก่อตัว จากนั้นนำวิธีการที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับเหตุการณ์พายุที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 2007-2009 ในพื้นที่เดียวกัน พบว่าสามารถระบุพายุได้ถูกต้อง 26 เส้นทางจากพายุทั้งหมด 28 เส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่จะขึ้นตามการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยงานวิจัยอาศัยหลักการของอัลกอริทึมการจับคู่ความเหมือนกันของข้อมูลในบล็อก ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ค้นหาความคล้ายคลึงกันของรายละเอียดในพื้นที่ที่สนใจ 2 พื้นที่ และในงานวิจัยนี้ค้นหาความคล้ายคลึงกันด้วยคุณลักษณะของเวกเตอร์ลม ด้วยตรวจจับการไหลเวียนของทิศทางลมในพื้นที่สนใจ จากนั้นจึงคำนวณความคล้ายคลึงกันเรียกว่าดัชนีการจับคู่

สำหรับรายละเอียดของงานวิจัยนั้น ขั้นตอนแรกกำหนดให้พื้นที่ตอนเหนือของมหาสมุทรอินเดียที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง (Latitude) ที่ 5-15 องศาเหนือ และเส้นแวง (Longitude) ที่ 50-95 องศาตะวันออกเป็นพื้นที่สนใจ เพื่อความเหมาะสมในการจับคู่เวกเตอร์ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน จึงทำการสร้างบล็อกอ้างอิงด้วยกริดขนาด 31x31 พิกเซล (800x800 ตารางกิโลเมตร) บนพื้นที่สนใจ ดังนั้นจุดข้อมูลในบล็อกเป็นตัวแทนของเวกเตอร์ลมที่ประกอบด้วยสองส่วนคือ  $u$  และ  $v$  เนื่องจากพายุเริ่มก่อตัวขึ้นจากในทะเล และข้อจำกัดของการโคจรดาวเทียม QuikSCAT ทำให้มีข้อมูลบางส่วนขาดหายไประหว่างการเก็บข้อมูล ทำให้ข้อมูลบางบล็อกไม่สมบูรณ์และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ถ้านำมาทำการวิเคราะห์โดยไม่มีการกำหนดเงื่อนไขในการเปรียบเทียบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดเงื่อนไขให้ทำการวิเคราะห์เฉพาะบล็อกที่ครอบคลุมพื้นที่ทะเลและมีข้อมูลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บล็อก จากนั้นทำการสร้างเวกเตอร์  $A$  และ  $B$  จากเวกเตอร์ลมที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น  $A = u + iv$  และคำนวณค่าดัชนีการจับคู่  $c$  ระหว่างข้อมูลสองชุดดังสมการที่ (2.1)

$$c = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2}} \quad (2.1)$$

โดยที่  $\bar{A}, \bar{B}$  คือ ค่าเฉลี่ยเวกเตอร์  $A$  และ  $B$  ตามลำดับ

$N$  คือ มิติของเวกเตอร์  $A$  หรือ  $B$  โดยที่จำนวนคู่ระหว่างข้อมูลสองชุดต้องตรงกัน

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลภายในบล็อกจะถูกเปรียบเทียบกับบล็อกทั้งหมดของพื้นที่สนใจ และ ค่า  $c$  ของแต่ละคู่บล็อกจะถูกคำนวณและเก็บไว้ในฐานข้อมูล ค่าดัชนีการจับคู่สูงสุด ( $c_{\max}$ ) ถูกสร้างขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเกณฑ์ (threshold) ในกรณีที่ว่า  $c_{\max}$  สูงกว่าเกณฑ์ระบบจะตัดสินใจว่ามีข้อมูลพายุอยู่ในพื้นที่สนใจ โดยค่าเกณฑ์ของงานวิจัยนี้ถูกกำหนดไว้ที่ 0.5 อย่างไรก็ตามข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT เป็นดาวเทียมโคจรขั้วโลก (polar orbit) คือเคลื่อนที่ในแนวทิศเหนือถึงทิศใต้ ทั้งนี้ดาวเทียม QuikSCAT มีข้อเสียคือการเคลื่อนที่ของดาวเทียมเพื่อกวาดข้อมูลลมบนพื้นมหาสมุทรจะไม่ซ้อนทับกันระหว่างตำแหน่งละติจูดที่ 45 องศาเหนือและ 45 องศาใต้ จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ทำให้ข้อมูลลมเพื่อวิเคราะห์พายุบางเหตุการณ์ไม่สมบูรณ์ เช่น ข้อมูลความเร็วลมสูงสุด ข้อมูลทิศทางของลมที่สำคัญอาจไม่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ ขณะเดียวกันการวิเคราะห์ข้อมูลพายุจะมีประสิทธิภาพลดลงในกรณีที่เหตุการณ์ที่สนใจมีความคลุมเครืออยากต่อการตัดสินใจว่าเป็นพายุหรือไม่

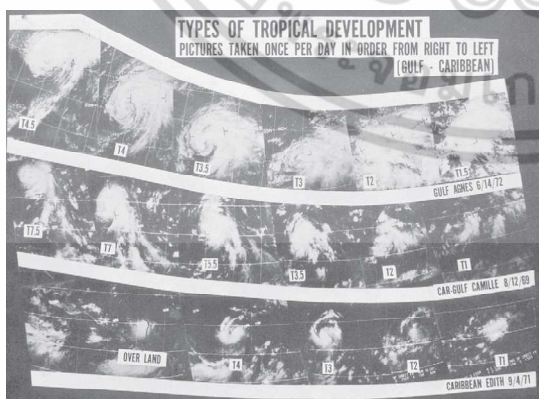
## 2.2 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากภาพเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

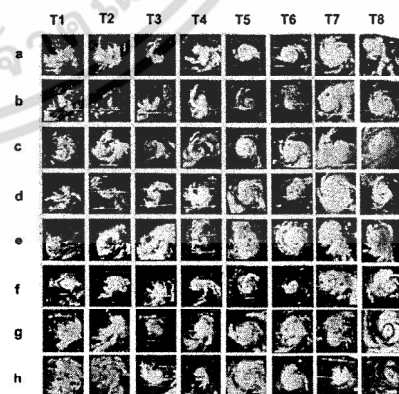
การพยากรณ์เหตุการณ์พายุจากงานวิจัยที่ผ่านมา [4 13 14 15] นิยมนำภาพถ่ายดาวเทียม มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้สามารถกำหนดเวลาและเก็บ ข้อมูลได้ครอบคลุมพื้นที่บนโลก โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีความถี่ในการเก็บภาพถ่ายดาวเทียมที่ แตกต่างกันเช่นดาวเทียม HURSAT-B1-V03 (hurricane satellite) เก็บข้อมูลทุกๆ 3 ชั่วโมง [14] ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรประเทศอินเดีย (Indian geostationary satellite) และ ดาวเทียม อุตุนิยมวิทยา Meteosat-5 เก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที [6 15] ดังนั้นข้อมูลของดาวเทียมจึงขึ้นอยู่กับ ประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องของดาวเทียมนั้น ที่ผ่านมางานวิจัย [4] นำเสนอ ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อตัวของก้อนเมฆและระดับความแรงของพายุด้วยค่า T-num เพื่อศึกษา พัฒนาการของพายุตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสลายตัว

ตัวอย่างงานวิจัยที่นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย งานวิจัย [13] ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก JMA's MTSAT-1R infrared images จาก มหาวิทยาลัยโคจิ (Kochi University) ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัย [14] ใช้ข้อมูลจาก the hurricane satellite (HURSAT-B1-v03) data record from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) USA งานวิจัย [6] ใช้ข้อมูลจาก the Indian Geostationary satellite และงานวิจัย [16] ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Meteosat-5 USA

ดังนั้นข้อมูลของดาวเทียมขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องของดาวเทียม นั้น เนื่องจากพายุในเขตร้อนมักจะเกิดการลอยตัวของอากาศร้อนชื้นซึ่งทำให้เกิดก้อนเมฆ และก้อน เมฆมีลักษณะแตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์คุณลักษณะของก้อนเมฆจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะบ่งชี้ถึง ความรุนแรงและทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุได้ ทำให้นักวิจัยจำนวนหนึ่งนิยมศึกษาข้อมูลจากภาพ เมฆ ทั้งนี้งานวิจัยที่ได้รับการยอมรับกันอย่างแพร่หลายอย่างเช่น [4] นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่าง การก่อตัวของก้อนเมฆและระดับความแรงของพายุด้วยค่า T-num เพื่อศึกษาพัฒนาการของพายุ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นภาพถ่ายดาวเทียมเป็นแหล่งข้อมูลหนึ่งที่ นักวิจัยนำมาวิเคราะห์เพื่อแปลความหมาย โดยข้อมูลสำคัญในภาพถ่ายดาวเทียมคือลักษณะการก่อ ตัวของก้อนเมฆที่จะสามารถใช้อธิบายเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่พายุ ติดตามความเปลี่ยนแปลงและระบุ ตำแหน่งของพายุได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะของก้อนเมฆที่มีความสัมพันธ์กับความแรงของพายุ (T1 ถึง T8)

(ก) ตัวอย่างภาพเมฆที่มีความสัมพันธ์กับความแรงของพายุ [4]

(ข) ลักษณะที่สอดคล้องกัน 8 รูปแบบ (a-h) สำหรับแต่ละ Tnum [17]

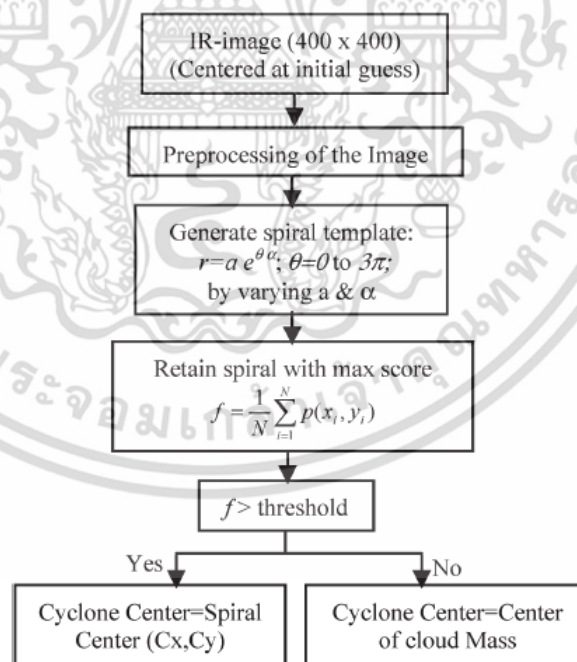
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการค้นหาตำแหน่งตาพายุจากคุณลักษณะเกลียวเมฆจากภาพเมฆด้วยเทคนิคการขดตัวของเกลียวเมฆ (spiral) ถูกนำเสนอโดย [15] ด้วยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Meteosat-5

รูปที่ 2.6 แสดงการค้นหาข้อมูลพายุในภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาด 400 x 400 พิกเซลต่อนิ้ว ครอบคลุมพื้นที่พายุ จากนั้นนำภาพที่ได้เข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูลโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เช่น การปรับภาพให้คมชัด (enhancement) การเน้นข้อมูลภาพด้วยการเปลี่ยนฮิสโตแกรมของข้อมูลเดิมให้มีการกระจายความถี่ของค่าระดับสีเทา (histogram equalization) การลดสัญญาณรบกวน (Gaussian smoothing) และเทคนิคการกรองอื่นๆ (filtering) เพื่อให้ภาพมีคุณภาพมากขึ้น ก่อนนำไปประมวลผลถัดไป ต่อมาขดเกลียวโค้งกันหอยที่มีขนาดแตกต่างกันหลายขนาดถูกสร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับเกลียวเมฆในภาพถ่ายดาวเทียม โดยขดเกลียววงกันหอยที่มีความเหมาะสมจะถูกตัดสินใจด้วยสมการการหาความเหมาะสม (fitness function) ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad (2.2)$$

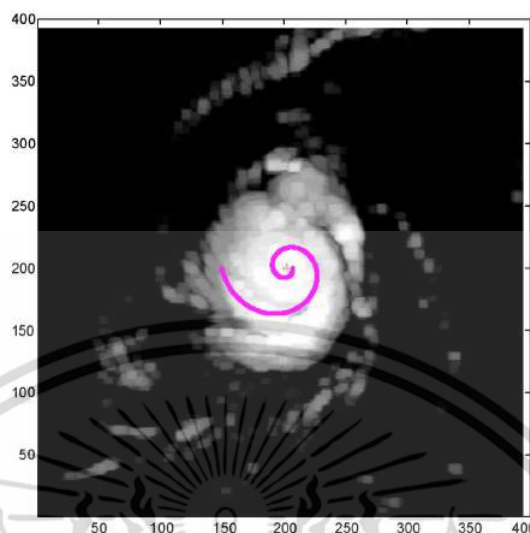
โดยที่  $p_i$  คือค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งจุดที่  $i$   
 $N$  คือจำนวนจุดทั้งหมดของความยาวขดเกลียววงกันหอย



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการดำเนินการของงานวิจัย [15]

ค่าความเหมาะสม  $f_{max}$  ของแต่ละภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกสร้างขึ้น และตัวแปรกำหนดคุณลักษณะของเกลียวเมฆโดยพิจารณาจาก  $f_{max}$  มากกว่าหรือเท่ากับค่าเกณฑ์ (threshold) ตำแหน่งศูนย์กลางของขดเกลียวกันหอยจะเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของพายุ แต่ถ้า  $f_{max}$  น้อยกว่าเกณฑ์พายุในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพจะไม่พบเกลียววงกันหอย แต่จะให้ศูนย์กลางของมวลเมฆที่ใหญ่ที่สุดเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของพายุ โดยในงานวิจัยได้กำหนดค่าเกณฑ์เท่ากับ 0.1 และรูปที่ 2.7 แสดงผลลัพธ์ของชุดเกลียวเมฆที่เหมาะสมกับข้อมูลพายุของวันที่ 28-4-2006



รูปที่ 2.7 แสดงผลลัพธ์ของชุดเกลียวกันหอยที่มีความเหมาะสมกับพายุใน 28-4-2006

ขณะที่นักวิจัย [13-18] นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT-1R จากมหาวิทยาลัยโคจิ (Kochi University) ประเทศญี่ปุ่นมาประกอบการค้นหาตำแหน่งตาพายุ โดยงานวิจัย [18] นำเสนอเทคนิคการปีนเขา (mountain-climbing) มาใช้ในการค้นหาตาพายุ แต่กระนั้นก็ตามวิธีการที่นำเสนอยังคงเป็นปัญหา โดยในกรณีที่ภาพเมฆมีรูปร่างไม่แน่นอนทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมาก และบางครั้งอาจจะไม่สามารถหาคำตอบได้ และเพื่อที่แก้ไขปัญหาด้านที่สุดของการค้นหา [13] ได้นำเสนอการสร้างเงื่อนไขการหยุดค้นหาคำตอบจากคุณลักษณะของเกลียวเมฆ (spiral curve model: SCM) มาใช้ร่วมกับการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมด้วยอาณานิคมมด (Ant-Colony Optimization :ACO) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังไม่ครอบคลุมข้อมูลภาพเมฆที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ยกต่อการจำแนกคุณลักษณะตาพายุและเกลียวเมฆ ดังนั้นความคลุมเครือของลักษณะก้อนเมฆยังคงเป็นปัญหาสำคัญในการพยากรณ์เส้นทางพายุ

งานวิจัย [14] นำเสนอวิธีการประมาณระดับความรุนแรงของพายุด้วยการใช้ฐานข้อมูลภาพเมฆทั้งหมด 2300 ภาพ จากดาวเทียมจาก HURSAT-B1-v03 (The Hurricane Satellite) ขององค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) ระหว่างปี ค.ศ. 2000-2005 ด้วยการนำข้อมูลภาพเมฆแต่ละภาพมาสร้างฮีสโตแกรมของรัศมีและมุมตั้งรูปที่ 2.8 โดยรูปที่ 2.8 (ก) แสดงตัวอย่างภาพพายุที่มีการแบ่งรัศมีและมุม ขณะที่รูป 2.8 (ข)-(ค) แสดงฮีสโตแกรมของรัศมีและมุม ตามลำดับ จากนั้นนำฮีสโตแกรมที่ได้เปรียบเทียบกับฮีสโตแกรมของเหตุการณ์ก่อนหน้านี้ ตามสมการที่ (2.3)-(2.4) เมื่อ  $X$  คือภาพอ้างอิงภาพอ้างอิง ขณะที่  $Y$  คือภาพที่ใช้ทดสอบ จากนั้นวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของพายุด้วยค่าดัชนีการจับคู่ (matching index) ตามสมการ (2.5) โดยภาพของข้อมูลแต่ละชุดจะถูกจับคู่กับภาพอื่นๆ ในฐานข้อมูล และภาพคู่ที่ได้รับจะให้ค่าดัชนีการจับคู่สูงสุด

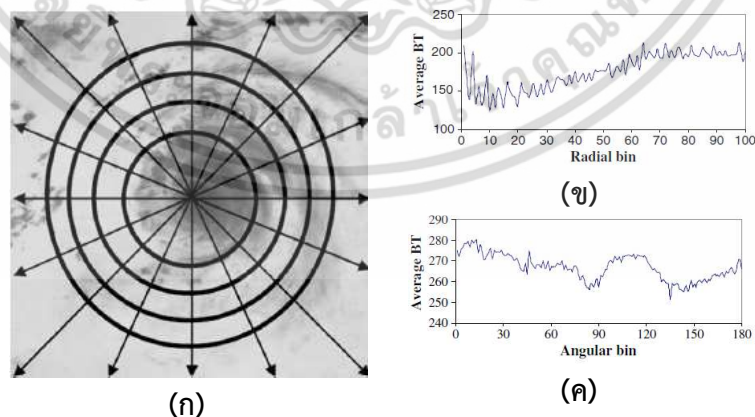
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_r(i) - Y_r(i))^2}{\sum_{i=1}^N (X_r(i) - \bar{X}_r)^2} \quad : \bar{X}_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_r(i) \quad (2.3)$$

$$C_a = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_a(i) - Y_a(i))^2}{\sum_{i=1}^N (X_a(i) - \bar{X}_a)^2} \quad : \bar{X}_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_a(i) \quad (2.4)$$

โดยที่  $C_r$  และ  $C_a$  คือค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การจับคู่ฮีสโตแกรมรัศมีและมุมตามลำดับ  
 $Y_r$  และ  $Y_a$  คือฮีสโตแกรมของรัศมีของภาพคู่ที่ใช้เปรียบเทียบ  
 $X_r$  และ  $X_a$  คือฮีสโตแกรมของมุมของภาพคู่ที่ใช้เปรียบเทียบ  
 $N$  คือจำนวนจุดข้อมูล

และแบ่งกลุ่มระดับความรุนแรงของพายุเป็น 4 กลุ่ม คือ พายุดีเปรสชันเขตร้อน (Tropical Depression: TD) พายุโซนร้อน (Tropical Storm: TS) พายุเฮอริเคน (Hurricane: H) และพายุเมเจอร์เฮอริเคน (Major Hurricane: MH) เก็บไว้เป็นประวัติฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์พายุในอนาคต ต่อมางานวิจัย [6] ได้นำเสนอวิธีการค้นหาตำแหน่งศูนย์กลางของพายุอัตโนมัติ ด้วยการใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมอินฟราเรด (IR image) จากดาวเทียมแคลพานา (Kalpana satellite) ของประเทศอินเดียมาประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์พายุ 4 เส้นทางที่เกิดขึ้นระหว่างปี ค.ศ. 2009-2010 ทางตอนเหนือของมหาสมุทรอินเดีย คือ พายุพยาน (Phyan) พายุวาร์ด (Ward) พายุไลลา (Laila) และพายุเพช (Phet) สำหรับผลการทดลองการพยากรณ์เหตุการณ์พายุเปรียบเทียบกับศูนย์ร่วมการเตือนภัยไต้ฝุ่น (Joint Typhoon Warning Center: JTWC) พบว่ามีความคลาดเคลื่อน 42, 82, 58 และ 42.5 กิโลเมตรตามลำดับ



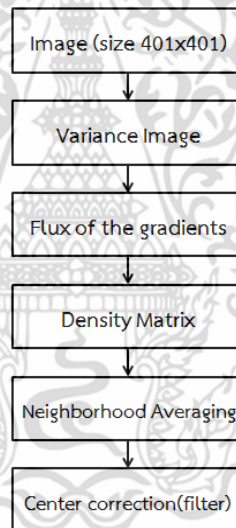
รูปที่ 2.8 (ก) ตัวอย่างภาพพายุแสดงการแบ่งรัศมีและมุม  
 (ข) ฮีสโตแกรมของรัศมี (ค) ฮีสโตแกรมของมุม

$$MI = W_r C_r + W_a C_a \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $w_r$  และ  $w_d$  คือค่าน้ำหนักของรัศมี และมุมตามลำดับ

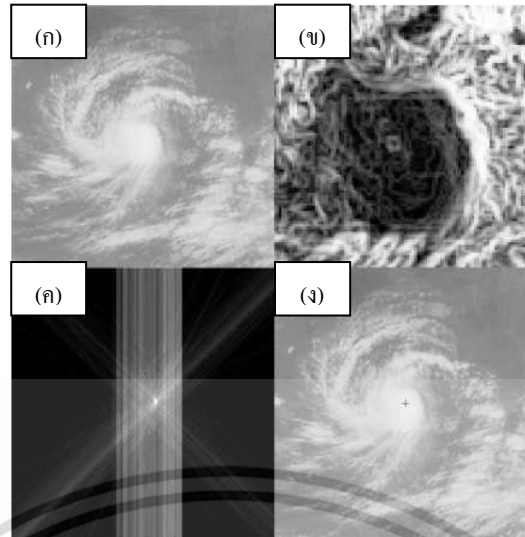
สำหรับวิธีการค้นหาตำแหน่งศูนย์กลางงานวิจัยที่ [6] ใช้การตรวจสอบระดับความสว่างของภาพซึ่งแสดงถึงระดับอุณหภูมิของภาพเหตุการณ์พายุ (BT: Brightness Temperature) ดังแสดงขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.9 เริ่มต้นด้วยการนำภาพถ่ายดาวเทียม  $1400 \times 1400$  จุด มากำหนดพื้นที่สนใจขนาด  $401 \times 401$  จุด ให้ครอบคลุมศูนย์กลางพายุ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) ถัดไปคำนวณความแปรปรวนของอุณหภูมิความสว่างร่วมกับพื้นที่จุดข้อมูลเพื่อนบ้านใกล้เคียง  $3 \times 3$  จุด ดังสมการที่ (2.7) ได้ผลลัพธ์ในรูปที่ 2.10 (ข) ต่อมาคำนวณแบ่งระดับความแปรปรวนของอุณหภูมิความสว่าง จากนั้นสร้างเส้นขนานกับระดับความแปรปรวนที่ถูกคำนวณไว้ก่อนหน้านี้ ต่อมาทำการสร้างเมตริกสำหรับเก็บจุดที่เส้นขนานมาตัดกัน ดังรูปที่ 2.10 (ค) โดยแนวคิดการคำนวณหาความหนาแน่นของเมตริกนี้ถูกประยุกต์มาจากเทคนิคฮัฟทรานส์ฟอร์ม (Hough Transform) ดังนั้นการระบุตำแหน่งศูนย์กลางพายุพิจารณาจากค่าสูงสุดของเมตริกความหนาแน่น ขั้นตอนสุดท้ายทำการปรับแก้ตำแหน่งศูนย์กลางเล็กน้อยด้วยการทดสอบจับคู่ทิศของจุดข้อมูลอุณหภูมิความสว่างให้วางแนวรอบจุดศูนย์กลางพายุดังรูปที่ 2.10 (ง)



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการหาศูนย์กลางพายุของงานวิจัยที่ [6]

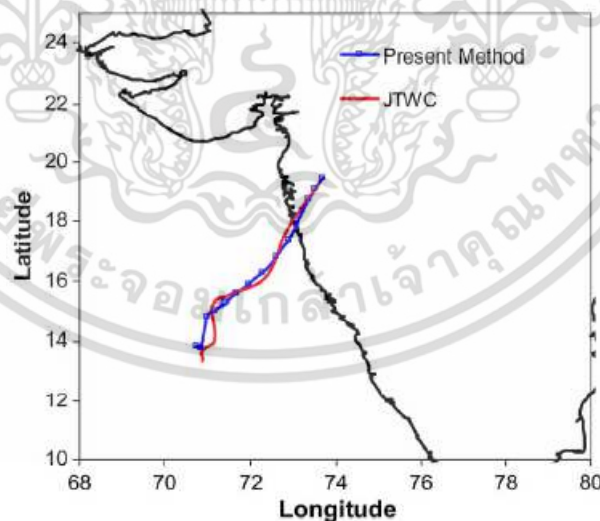
$$V_{i,j} = \left| I_{i,j} - \frac{1}{9} \sum I_{i-1:i+1, j-1:j+1} \right| \quad (2.7)$$

โดยที่  $I_{i,j}$  และ  $I_{i,j}$  คือ ค่าอุณหภูมิความสว่างที่ตำแหน่ง  $(x, y)$



รูปที่ 2.10 (ก) ตัวอย่างภาพเหตุการณ์พายุของ 6 พ.ย. 2010  
 (ข) แสดงค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิความสว่าง  
 (ค) แสดงค่าเมตริกซ์ความหนาแน่นของพื้นที่ในศูนย์กลางภาพ  
 (ง) ผลการระบุตำแหน่งศูนย์กลางพายุของงานวิจัย [6]

สำหรับตัวอย่างผลการทดลองระบุตำแหน่งศูนย์กลางพายุ สามารถรวบรวมข้อมูลเพื่อค้นหาพิกัดตาพายุพยานดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับหน่วยงาน JTWC มีความผิดพลาดเฉลี่ยตลอดเส้นทางพายุที่ 42 กิโลเมตร งานวิจัยนี้แสดงนี้เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่น่าเสนอการวิเคราะห์เส้นทางพายุด้วยข้อมูลจากภาพเมฆ อย่างไรก็ตามการกำหนดเหตุการณ์เริ่มต้นในขั้นตอนแรกสำหรับพิจารณาในขั้นตอนถัดไปยังคงต้องระบุด้วยความเชี่ยวชาญจากผู้วิจัยก่อน



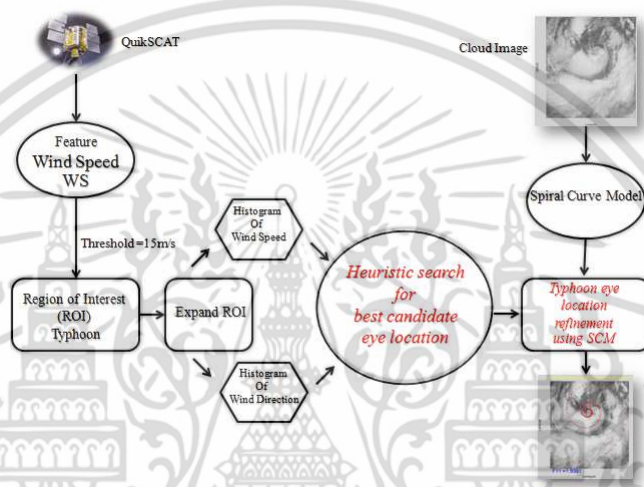
รูปที่ 2.11 ผลการค้นหาพิกัดตาพายุพยานด้วยวิธีที่น่าเสนอในงานวิจัย [6] เปรียบเทียบกับ JTWC

ถึงแม้ว่าฐานข้อมูลจากภาพเมฆจะเป็นที่นิยมนำมาพิจารณาสำหรับการพยากรณ์พายุก็ตาม ในกรณีที่ภาพเมฆมีรูปร่างไม่แน่นอน ข้อมูลภาพคลุมเคลือ การค้นหาคำตอบต้องสูญเสียเวลาอย่างมาก และบางครั้งอาจจะไม่ได้คำตอบที่ต้องการอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่ใช้พื้นฐานข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT และภาพเมฆ

จากปัญหาเกี่ยวกับการพยากรณ์พายุด้วยการใช้ข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT ข้างต้นที่กล่าวมาอาจไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์เนื่องจากบางครั้ง มีข้อมูลรบกวน (noise) หรือ ข้อมูลที่มีความไม่สมบูรณ์เนื่องจากระบบการเก็บข้อมูลของดาวเทียม ในอีกด้านหนึ่งการนำภาพเมฆมาใช้ประกอบการระบุเหตุการณ์พายุยังคงมีปัญหา ในกรณีที่รูปร่างก้อนเมฆมีความคลุมเครือ คุณลักษณะของตาพายุไม่ชัดเจน หรือไม่สามารแยกเกลียวเมฆในภาพเมฆได้ นำมาซึ่งการใช้เวลานานในค้นหาตำแหน่งพายุได้ ดังนั้นงานวิจัยของเราก่อนหน้านี้ [7 8] จึงนำเสนอการใช้งานร่วมกันระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT และภาพเมฆดังแสดงภาพรวมของระบบได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงภาพรวมของระบบจากงานวิจัย [8]

จากรูปที่ 2.12 แสดงภาพรวมของระบบในงานวิจัย [8] โดยสามารถแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วนคือการค้นหาพื้นที่ของพายุจากข้อมูลลมของดาวเทียม QuikSCAT และนำพื้นที่ที่ได้มาค้นหาตำแหน่งตาพายุด้วยคุณลักษณะเกลียวเมฆจากภาพเมฆ สำหรับการค้นหาพื้นที่พายุจากดาวเทียม QuikSCAT เริ่มต้นพิจารณาข้อมูลความเร็วลมของวันที่สนใจ จากนั้นค้นหาพื้นที่สนใจโดยพิจารณาจากพื้นที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 15 เมตรต่อวินาที ที่มีขนาดพื้นที่อย่างน้อย  $2 \times 2$  องศา ขั้นตอนถัดไปตรวจสอบว่าพื้นที่สนใจมีข้อมูลพายุหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม โดยเหตุการณ์พายุจะมีความหนาแน่นของข้อมูลความเร็วลมสูงกว่า 12.5 เมตรต่อวินาที และมีข้อมูลทิศทางกระจายของลมได้ทุกทิศทาง เมื่อได้พื้นที่สนใจที่มีเหตุการณ์พายุแล้วทำการคำนวณหาตำแหน่งของตาพายุเบื้องต้น ด้วยการแบ่งพื้นที่สนใจออกเป็นส่วนย่อยๆ และคำนวณค่าฟังก์ชันฮิวริสติกตามสมการที่ (2.8) ของแต่ละพื้นที่ พิจารณาเลือกตาพายุจะพื้นที่ย่อยที่มีค่าฟังก์ชันฮิวริสติกน้อย จากนั้นทำการปรับค่าตำแหน่งศูนย์กลางพายุอีกเล็กน้อยด้วยการนำทฤษฎีโค้งก้นหอย (Spiral Curve Model: SCM) มาหาเกลียวเมฆที่เหมาะสมกับภาพเมฆที่ได้ทำการเทียบเคียงตำแหน่งมาจากข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT ดังนั้นตำแหน่งตาพายุได้จากตำแหน่งศูนย์กลางของโค้งก้นหอยที่สอดคล้องกับเกลียวเมฆ โดยวิธี BQSM (Best first search on QuikSCAT & Spiral cloud Method) ที่นำเสนอนี้ ได้ทดสอบระบบกับพายุมรกดที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ.

2009 และเปรียบเทียบผลการทดลองกับองค์กร JTWC, HKO และ JMA พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่มากนักทีเดียว ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการพยากรณ์เหตุการณ์พายุเฉื่อยตลอดเส้นทาง 111.4 กิโลเมตร สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 แต่กระนั้นก็ตามวิธีการที่นำเสนอนี้ยังระบุพายุได้ถูกต้องเพียงบางส่วนคือพายุที่มีความรุนแรงระดับต่ำไปจนถึงระดับปานกลาง เนื่องจากพายุมีความอ่อนไหวต่อสภาพทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลภูมิอากาศ เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม ระบบความดัน อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และ รูปร่างของก้อนเมฆ เป็นต้น. ดังนั้นจากตัวแปรมากมายที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การพยากรณ์สภาพอากาศเป็นเรื่องที่ยุ้งยากและซับซ้อน จึงจำเป็นต้องการเงื่อนไขที่มีความยืดหยุ่นของการตัดสินใจมากกว่านี้

$$H = \begin{cases} (\alpha_1 W(x, y)) + (\beta_1 \sigma_{ws}) + (\delta_1 \sigma_{wd}); & W(x, y) \leq 16.3 \text{ m/s} \\ (\alpha_2 W(x, y)) + (\beta_2 \sigma_{ws}) + (\delta_2 \sigma_{wd}); & W(x, y) > 16.3 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2.8)$$

โดยกำหนดให้

- $H$  คือ ค่าฟังก์ชันฮิวริสติกของตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $\sigma_{ws}, \sigma_{wd}$  คือ ค่าการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมตามลำดับ  
 $W(x, y)$  คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกันของตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  คือ ค่าน้ำหนักของ  $W(x, y), \sigma_{ws}, \sigma_{wd}$  ตามลำดับ  
 กรณีที่  $W(x, y)$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 16.3 เมตรต่อวินาที  
 $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  คือ ค่าน้ำหนักของ  $W(x, y), \sigma_{ws}, \sigma_{wd}$  ตามลำดับ  
 กรณีที่  $W(x, y)$  มากกว่า 16.3 เมตรต่อวินาที

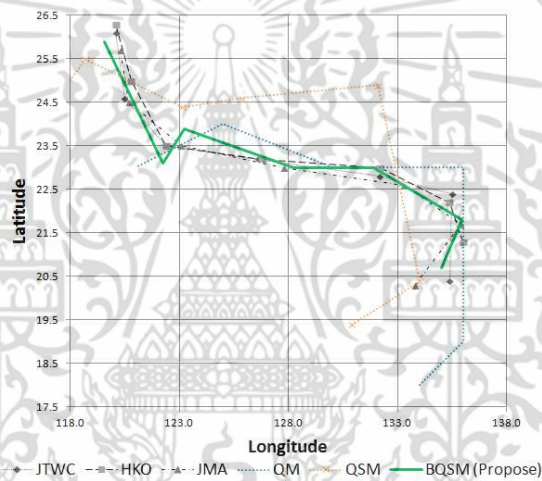
สำหรับงานวิจัยที่ [8] นำเสนอฟังก์ชันฮิวริสติก (heuristic wind statistics division: HWSD) เพื่อประมาณค่าโอกาสที่จะตรวจพบตาพายุอยู่ในช่องย่อยที่ตรวจสอบ สำหรับการพิจารณาจะแบ่งความเร็วลมสำหรับพายุในสมการที่ (2.8) ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยเกณฑ์ของข้อมูลลม นั่นคือ กลุ่มที่ 1 เหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัวและพายุอ่อนกำลัง และกลุ่มที่ 2 เหตุการณ์พายุทวีกำลัง จากข้อมูลเบื้องต้นนี้งานวิจัย [7 8] ได้นำเสนอสถิติข้อมูลลมเพื่อใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งตาพายุว่าอยู่ในตำแหน่งใดของพื้นที่สนใจทั้งหมด 121 ตำแหน่ง และเพื่อความถูกต้องของข้อมูลจะเริ่มต้นพิจารณาพื้นที่สนใจตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จากนั้นค่าสถิติการกระจายของทิศทางลม การกระจายของความเร็วลม และค่าความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่สนใจจะถูกคำนวณ ในกรณีที่ความเร็วลมเฉลี่ยของพายุมากกว่า 16.3 เมตรต่อวินาที ระบบออกแบบให้เป็นเหตุการณ์พายุทวีกำลัง สามารถสังเกตเห็นตาพายุได้ชัดเจนในพื้นที่สนใจ โดยพื้นที่ของตาพายุจะมีลักษณะลมสงบ ท้องฟ้าโปร่ง ทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อย  $W(x, y)$  มีค่าน้อย มีค่าการกระจายของทิศทางลมและการกระจายของความเร็วลมต่ำ

ในขณะที่ความเร็วลมเฉลี่ยของพายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16.3 เมตรต่อวินาที ระบบออกแบบให้เป็นเหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัวและพายุอ่อนกำลัง บางครั้งตาพายุอาจจะปะปนรวมกับกำแพงตาพายุ ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นตาพายุได้ชัดเจน ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางพายุจะอยู่ที่ตำแหน่งที่มีค่าการกระจายของทิศทางลมและการกระจายของความเร็วลมสูงกว่ากลุ่มพายุที่ทวีกำลัง ด้วยความสัมพันธ์ที่กล่าวมานี้ ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 คือค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อย  $W(x, y)$  ค่าการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมตามลำดับ ( $\sigma_{ws}, \sigma_{wd}$ ) จึงน่าจะสามารถใช้ใน

การอธิบายโอกาสของตำแหน่งตาพายุในช่องย่อยได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ทั้ง 3 จึงมีความสำคัญ

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยได้ทดสอบหาค่าที่เหมาะสม โดยแต่ละพารามิเตอร์มีขอบเขตดังนี้ ค่า  $\alpha_1, \alpha_2$  คือค่าน้ำหนักของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างบล็อกย่อยที่อยู่ติดกันของตำแหน่ง  $(x, y)$  มีค่า 0-0.5 ค่า  $\beta_1, \beta_2$  คือค่าน้ำหนักของการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมมีค่า 0-1 และค่า  $\delta_1, \delta_2$  คือค่าน้ำหนักของการกระจายฮีสโตแกรมของความทิศทางลมมีค่า 0-1 เพื่อให้สรุปค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าน้ำหนักทั้ง 6 ตัวแปร ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าที่เหมาะสมร่วมกับเหตุการณ์พายุมรกต 2009 ระหว่างวันที่ 3-9 สิงหาคม 2009 โดยสามารถดูผลการทดลองการปรับพารามิเตอร์ได้ในภาคผนวก ข การทดสอบหาค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$  ในฟังก์ชันฮิวริสติก (heuristic wind statistics division: HWS) และสามารถสรุปค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่ให้ค่าโอกาสการพบตาพายุในช่องย่อยได้เหมาะสมที่สุด ดังนี้คือ

$$\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 0.0003 (1/2900), \beta_1 = 0.025, \beta_2 = 0.001, \delta_1 = 1, \delta_2 = 0.030$$



รูปที่ 2.13 ผลการค้นหาก็คัดตาพายุมรกต 2009 ด้วยวิธี BQSM  
เปรียบเทียบกับหน่วยงาน JTWC, HKO และ JMA

## บทที่ 3

# ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลพายุ ทฤษฎีและอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติ โดยแบ่งเป็น 6 ส่วน ประกอบด้วย ข้อมูลพายุเบื้องต้น ทฤษฎีสำหรับจัดกลุ่มเหตุการณ์พายุ ทฤษฎีการค้นหาตำแหน่งพายุ ทฤษฎีพีชชีอินเฟอเรนซ์ และทฤษฎีโค้งก้นหอยแบบลอการิทึม (Logarithmic Spiral) โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 ข้อมูลพายุเบื้องต้น

พายุ (Storms) [19] เกิดขึ้นเมื่อเกิดศูนย์กลางของแรงดันในอากาศต่ำลงมากกว่าในบริเวณรอบๆ พื้นที่หนึ่ง พร้อมกับมีแรงดันอากาศสูงเกิดขึ้นรอบ ๆ พื้นที่นั้น การรวมของแรงปะทะต่าง ๆ ก่อให้เกิดลม อันส่งผลให้เกิด การเคลื่อนตัวเปลี่ยนรูปของพายุเมฆ พายุหมุนเขตร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถทำความเสียหายได้รุนแรงและเป็นบริเวณกว้างมีลักษณะเด่น คือ มีศูนย์กลางหรือที่เรียกว่า ตาพายุ (eye) เป็นบริเวณที่มีลมสงบ อากาศโปร่งใส โดยอาจมีเมฆและฝน บ้างเล็กน้อยล้อมรอบด้วยพื้นที่บริเวณกว้างรัศมีหลายร้อยกิโลเมตร ซึ่งปรากฏฝนตกหนักและพายุลมแรง ลมแรงพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลาง

พายุเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มีนัยสำคัญของสภาพอากาศ และมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม จากสถิติในงานวิจัยที่ผ่านมา [20 21] พายุหมุนเขตร้อนเขตร้อนมักเกิดขึ้นในพื้นที่บนโลกที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศคือบริเวณละติจูดกลาง (middle latitude: มีค่าความเปลี่ยนแปลงตามความกดตามแนวราบ (ตามแนวละติจูด) สูง รวมทั้งเป็นบริเวณที่อุณหภูมิไม่คงที่ เนื่องจากมีพื้นผิวที่เป็นพื้นดินและทะเลกระจายอยู่มาก) [22] จากการศึกษาพฤติกรรมของพายุในงานวิจัยที่ผ่านมาที่รวบรวมไว้ในบทที่ 2 เป็นการนำคุณลักษณะของพายุในด้านต่างๆ เช่น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม มวลอากาศ อุณหภูมิเหนือพื้นผิวทะเล รวมถึงพื้นที่ที่พายุมักก่อตัวมาสร้างระบบหรือวิธีการติดตามการเคลื่อนที่ของพายุด้วยเทคนิคที่หลากหลาย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการพยากรณ์เหตุการณ์พายุอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงปัจจุบัน

#### 3.1.1 การแบ่งชนิดของพายุ [24]

เหตุการณ์พายุทำให้สภาพบรรยากาศถูกรบกวนและมีผลกระทบต่อพื้นผิวโลก โดยสภาพอากาศที่แตกต่างตามสถานการณ์ สามารถอธิบายถึงรายละเอียดของความเร็ว ทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุ และขนาดความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวพายุ เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงบริเวณที่จะได้รับความเสียหายได้ สามารถแบ่งความรุนแรงของพายุ พายุแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. พายุฝนฟ้าคะนอง มีลักษณะเป็นลมพัดย้อนไปมา หรือพัดเคลื่อนตัวไปในทิศทางเดียวกัน อาจเกิดจากพายุที่อ่อนตัวและลดความรุนแรงของลมลง หรือเกิดจากหย่อมความกดอากาศต่ำ ร่องความกดอากาศต่ำ อาจไม่มีทิศทางที่แน่นอน หากสภาพการณ์แวดล้อมต่าง ๆ ของการเกิดฝนเหมาะสม ก็จะทำให้เกิดฝนตก มีลมพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พายุหมุนเขตร้อนต่าง ๆ เช่น เฮอริเคน ใต้ฝุ่น และไซโคลน ซึ่งล้วนเป็นพายุหมุนขนาดใหญ่ เช่นเดียวกัน และจะเกิดขึ้นหรือเริ่มต้นก่อตัวในทะเล หากเกิดเหนือเส้นศูนย์สูตร จะมีทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา และหากเกิดใต้เส้นศูนย์สูตรจะหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยมีชื่อต่างกันตามสถานที่เกิด กล่าวคือ

1. พายุเฮอริเคน (hurricane) เป็นชื่อเรียกพายุหมุนที่เกิดบริเวณทิศตะวันตกของมหาสมุทรแอตแลนติก เช่น บริเวณฟลอริดา สหรัฐอเมริกา อ่าวเม็กซิโก ทะเลแคริบเบียน เป็นต้น รวมทั้งมหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณชายฝั่งประเทศเม็กซิโก
  2. พายุใต้ฝุ่น (typhoon) เป็นชื่อพายุหมุนที่เกิดทางทิศตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ เช่น บริเวณทะเลจีนใต้ อ่าวไทย อ่าวตังเกี๋ย ประเทศญี่ปุ่น
  3. พายุไซโคลน (cyclone) เป็นชื่อพายุหมุนที่เกิดในมหาสมุทรอินเดียเหนือ เช่น บริเวณอ่าวเบงกอล ทะเลอาหรับ เป็นต้น แต่ถ้าพายุนี้เกิดบริเวณทะเลติมอร์และทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศออสเตรเลีย จะเรียกว่า พายุวิลลี-วิลลี (willy-willy)
  4. พายุโซนร้อน (tropical storm) เกิดขึ้นเมื่อพายุเขตร้อนขนาดใหญ่อ่อนกำลังลง ขณะเคลื่อนตัวในทะเล และความเร็วที่จุดศูนย์กลางลดลงเมื่อเคลื่อนเข้าหาฝั่ง
  5. พายุดีเปรสชัน (depression) เกิดขึ้นเมื่อความเร็วลดลงจากพายุโซนร้อน ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองธรรมดาหรือฝนตกหนัก
3. พายุทอร์นาโด (tornado) เป็นชื่อเรียกพายุหมุนที่เกิดในทวีปอเมริกา มีขนาดเนื้อที่เล็กหรือเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย แต่หมุนด้วยความเร็วสูง หรือความเร็วที่จุดศูนย์กลางสูงกว่าพายุหมุนอื่น ๆ ก่อความเสียหายได้รุนแรงในบริเวณที่พัดผ่าน เกิดได้ทั้งบนบก และในทะเล หากเกิดในทะเล จะเรียกว่า นาคเล่นน้ำ (water spout) บางครั้งอาจเกิดจากกลุ่มเมฆบนท้องฟ้า แต่หมุนตัวยื่นลงมาจากท้องฟ้าไม่ถึงพื้นดิน มีรูปร่างเหมือนวงช้าง จึงเรียกกันว่า ลมวง

### 3.1.2 ส่วนประกอบของพายุ

โครงสร้างพายุหมุนเขตร้อนประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ 1) บริเวณตาพายุ 2) บริเวณกำแพงตาพายุ และ 3) บริเวณพายุฝนฟ้าคะนองจากเมฆคิวมูโลนิมบัส (rainbands) โดยสามารถอธิบายลักษณะของส่วนประกอบพายุได้ดังนี้

1) บริเวณตาพายุ (eye) คือบริเวณใจกลางของพายุ พายุหมุนเขตร้อนเมื่อยังไม่เจริญเต็มที่ โดยจัดอยู่ในพายุระดับ 1-2 จากการแบ่งความเร็วลมของพายุทั้งหมด 5 ระดับ ตามมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน [C4,49] บริเวณตาพายุส่วนใหญ่ยังไม่ค่อยชัดเจนนัก มีเมฆชนิดคิวมูลัส (Cumulus) มีลักษณะเป็นเมฆก้อนหนามียอดมนกลมคล้ายดอกกระหล่ำ เห็นขอบนอกชัดเจน ก่อตัวในทางตั้งกระจุกกระจายเหมือนสำลี ลอยบริเวณตาพายุบ้างเป็นบางส่วน มีลมพัดอ่อนๆ แต่ไม่ถึงกับสงบนักประมาณ 13 นอต (24 ก.ม./ช.ม.) แต่เมื่อใต้ฝุ่นเจริญเต็มที่จัดอยู่ในระดับ 3-4-5 บริเวณตาพายุเริ่มเห็นชัดเจนขึ้น เมฆชนิดคิวมูลัสที่ลอยกระจุกกระจายบริเวณตาพายุก็จะหายไปกลายเป็นท้องฟ้าแจ่มใส เมื่อตาพายุเคลื่อนไปอยู่บริเวณใดท้องฟ้าจะแจ่มใส

2) บริเวณกำแพงตาพายุ (eye wall) คือบริเวณที่รอบตาพายุ รัศมีรอบตาพายุประมาณ 10-25 กิโลเมตร เป็นบริเวณที่น้ำกล้ำมากที่สุดของพายุหมุนเขตร้อน เนื่องจากบริเวณกำแพงพายุประกอบไปด้วยเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) มีลักษณะเป็นเมฆก้อนใหญ่รูปร่างคล้าย

ภูเขาใหญ่ มียอดแหลมแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่งที่ใช้ในการตีเหล็ก (anvil) ฐานเมฆต่ำมีสีดำมืด เป็นเมฆหนา มีดีทึบ มีฟ้าแลบ ฟ่ำร้อง อาจอยู่กระจัดกระจายหรือรวมกันอยู่ มักมีฝนตกลงมา เรียกเมฆชนิดนี้ว่า เมฆฟ้าคะนอง บริเวณที่มียอดเมฆสูงที่สุดของพายุความหนาของเมฆประมาณ 25 กิโลเมตร ทำให้บริเวณรอบตาพายุเป็นจุดที่มีพายุลมแรงจัด และฝนตกหนักสูงที่สุดโดยเฉพาะ ในช่วงครึ่งหลังของพายุ โดยเมฆคิวมูโลนิมบัสเกิดจากการก่อตัวในแนวตั้งอย่างรุนแรงยกเอา อากาศร้อนและอากาศชื้นขึ้นไปสู่เบื้องบนของชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็วกลายเป็นเมฆฝนฟ้าคะนอง

3) บริเวณพายุฝนฟ้าคะนองจากเมฆคิวมูโลนิมบัส (rainbands) เป็นบริเวณที่อยู่รอบนอก กำแพงพายุ ประกอบไปด้วยเมฆคิวมูโลนิมบัสอันก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองมากที่สุด เมฆฝนฟ้าคะนองนี้จะก่อตัวขึ้นในแนวตั้งอย่างรุนแรง พัดเอาอากาศร้อนและอากาศชื้นขึ้นไปสู่เบื้องบนของชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็ว จากนั้นกระแสลมจะพัดอย่างรุนแรงจากเบื้องบนสู่เบื้องล่างทำให้เกิดลมพายุ และฝนหนักอย่างรุนแรงบริเวณนั้นๆ เมื่อพายุยังคงได้รับความร้อนจากทะเลอยู่จะทำให้เกิดอากาศร้อนชื้นและจะถูกยกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศอีกเหมือนเดิมเป็นวงจรมุมนเช่นนี้ ไปเรื่อยๆ เหมือนล้อรถที่กำลังหมุนขับเคลื่อนพายุอยู่นั้น

บริเวณพายุฝนฟ้าคะนองจากเมฆคิวมูโลนิมบัส (rainbands) และบริเวณกำแพงตาพายุ (eyewall) มีความต่างกันตรงที่บริเวณพายุฝนฟ้าคะนองนี้จะทำให้เกิดกระแสลม และปริมาณน้ำฝนจะรุนแรง และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมากกว่าบริเวณกำแพงตาพายุหลายเท่า



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของพายุหมุน [23]

จากรูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของตาพายุที่มีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ และมีความเร็วลมสูงในส่วนที่เรียกว่ากำแพงพายุ การขยายตัวของกระแสอากาศและไอน้ำเริ่มจากบริเวณกำแพงตาพายุ กระแสอากาศและไอน้ำจะถูกยกพัดขึ้นไปสู่เบื้องบนสุดและขยายใหญ่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างด้วยกลุ่มเมฆเป็นส่วนใหญ่

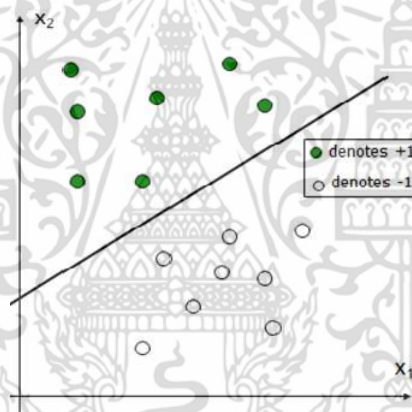
### 3.2 ทฤษฎีสำหรับจัดกลุ่มเหตุการณ์พายุ

มีงานวิจัยหลายงานเกี่ยวข้องกับการระบุเหตุการณ์พายุที่นำเทคนิคการจำแนกข้อมูลมาประยุกต์ใช้ ดังเช่นงานวิจัยที่ [25 26] เป็นการนำเทคนิคการจำแนกข้อมูลแบบ classification คือ SVM (Support Vector Machines) หรือการจำแนกข้อมูลแบบ clustering คือ FCM (fuzzy C-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Means) ที่มีผู้นิยมใช้อย่างกว้างขวางวิธีหนึ่ง โดยมีใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ วิทยาศาสตร์ [25 27 28] โดยมีการกล่าวถึงทฤษฎีของเทคนิคทั้งสองแบบในหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับ

### 3.2.1 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) [29-31]

SVM เป็นเทคนิคหนึ่งของการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Machine Learning) บนพื้นฐานของการเรียนรู้ทฤษฎีทางสถิติที่ให้ผลลัพธ์การจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้สมการเส้นตรงเพื่อแบ่งเขตข้อมูล 2 กลุ่มออกจากกัน และพยายามสร้างเส้นแบ่งตรงกึ่งกลางระหว่างกลุ่มให้มี ระยะห่างระหว่างขอบเขตของทั้งสองกลุ่มมากที่สุด โดย SVM จะใช้ฟังก์ชันแม่ปสำหรับย้ายข้อมูลจาก จาก Feature Space ไปยัง Output Space และสร้างฟังก์ชันวัดความคล้ายที่เรียกว่าเคอร์เนลฟังก์ชัน (Kernel Function) บน Output Space เหมาะใช้สำหรับข้อมูลที่มีมิติของข้อมูลสูง เทคนิค SVM นี้เป็นการจำแนกประเภทแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ทฤษฎีนี้ได้มาจากแนวความคิดของ Vapnik [C20] ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลอง Support Vector Machines (SVM model)

สำหรับเทคนิค SVM มีแนวคิดของทฤษฎีดังนี้  
กำหนดเซตของข้อมูล

$$\{(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i)\}$$

โดยที่  $x_i \in \mathcal{R}^m$ ,  $x_i$  เป็นข้อมูลนำเข้า และ  $y_i \in \{-1, 1\}$ , ส่วน  $y_i$  เป็นข้อมูลเป้าหมายของ  $x_i$  มีค่าเพียง 2 ค่าคือ -1 (ข้อมูล Class -1), 1 (ข้อมูล Class 0) สำหรับปัญหาเชิงเส้น มิติข้อมูล ขนาดสูงได้ถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยระนาบตัดสินใจ  $y$  ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (3.1)

$$y = \text{sign}\left\{\sum_{j=1}^n w_j \phi_j(x) + b\right\} \quad (3.1)$$

$$\phi(x) = [\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_n(x)]^T \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างสมการที่ (3.2) กลุ่มข้อมูล  $x$  ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกได้ด้วยสมการเส้นตรงจะถูกแปลง โดยที่  $\phi()$  แทนฟังก์ชันสำหรับแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่สมการเชิงเส้นสามารถจำแนกได้,  $w_j$  แทนค่าน้ำหนัก (Weighting) ที่เชื่อมโยงจาก feature space ไปสู่ output space และ  $b$  แทนค่าโน้มน้าว (Bias หรือ threshold) ที่ตั้งไว้ และทำได้ให้สมการที่ (3.3) สำหรับการจำแนกข้อมูล

$$f(x) = \sum_{j=1}^n w_j \phi_j(x) + b \quad (3.3)$$

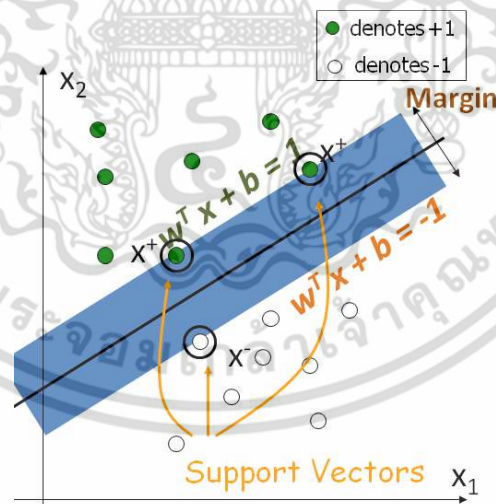
$f(x)$  เป็นฟังก์ชันการแบ่งประเภทของข้อมูลเชิงเส้น ถ้าข้อมูลเซตนั้นสามารถแยกโดยใช้สมการแบบเส้นตรง แสดงว่ามีการแบ่งแยกประเภทที่สมบูรณ์ กรณีการจัดแบ่งประเภทสำหรับค่า  $y$  ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น  $-1$  และ  $+1$  ดังนั้น ในสมการ (3.4) สามารถแทนด้วยสมการ (3.5) และสามารถเขียนรวมกันได้ในสมการ (3.6)

$$w^T \cdot x + b \geq +1 \quad ; y_i = +1 \quad (3.4)$$

$$w^T \cdot x + b \leq -1 \quad ; y_i = -1 \quad (3.5)$$

$$y_i (w^T \cdot x + b) - 1 \geq 0 \quad ; \forall i \quad (3.6)$$

เมื่อมีการสร้างระยะระหว่างกลุ่มที่มากที่สุดแล้ว ข้อมูลต่ำสุดระหว่างสองกลุ่มจะเรียกว่า support vectors ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงข้อมูล support vectors .ในแบบจำลอง SVM

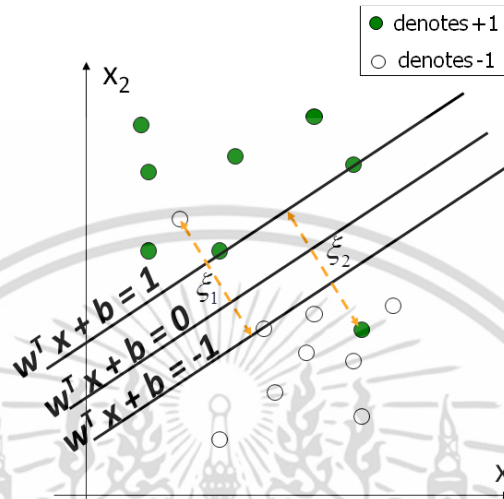
ดังนั้นสมการที่เป็นเชิงเส้น และสามารถจำแนกข้อมูลได้ เกิดจากการเพิ่มขอบเขตเส้นแบ่งที่มีความกว้างเท่ากับ  $2/\|w\|^2$  หากแต่บางครั้งไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้ถูกต้องทั้งหมด ทำให้ต้องมีการกำหนดตัวแปรเพื่อยอมรับค่าความผิดพลาด โดยทำการเพิ่มตัวแปร  $\xi$  (Slack Variable) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเขียนแสดงรายละเอียดได้ดังสมการที่ (3.7) และ (3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w^T \cdot x + b \geq +1 - \xi_i ; \quad y_i = +1 \quad (3.7)$$

$$w^T x + b \leq -1 - \xi_i ; \quad y_i = -1 \quad (3.8)$$

โดยที่  $\xi_i > 0$  ทำให้ได้โครงสร้างของ SVM ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือการเพิ่มระยะสำหรับจำแนกมากที่สุด และการแก้ปัญหาด้วยการลดข้อผิดพลาดให้ต่ำที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (3.9)



รูปที่ 3.4 แสดงค่าตัวแปร  $\xi$  (Slack Variable). ในแบบจำลอง SVM

$$\text{Minimize}_{w,b,\xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (3.9)$$

$$\text{โดยที่ } y_i (w^T \phi(x_i) + b) + \xi_i - 1 \geq 0; \quad \xi_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

โดยมีค่า  $C$  เป็นค่าตัวแปรที่ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าได้เองเพื่อปรับความสมดุล ระหว่างการให้ความสำคัญของระยะจำแนกสูงสุด หรือให้ความสำคัญกับค่าความผิดพลาดที่ต้องการให้ต่ำที่สุด โดยปกติค่า  $C$  จะกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 จากนั้นทำการแก้ปัญหาด้วยฟังก์ชันลากรองจ์ (Lagrangian) ด้วยการกำหนดค่าตัวแปรแบบเซตคู่ (Dual Sets) เพิ่มเติม แล้วทำการแก้ปัญหาจากการกำหนดข้อจำกัดที่ดีที่สุด (Constrained Optimization) ทำให้ได้ผลดังสมการที่ (3.10)

$$\text{Minimize}_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j \alpha_i \alpha_j K(x_i, x_j) - \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (3.10)$$

$$\text{โดยที่ } \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0; \quad 0 \leq \alpha_i \leq C, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

โดยที่  $\alpha_i$  เป็น Lagrange multipliers เพื่อที่จะใช้สำหรับการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด  $\alpha_i^*$  เพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลที่ไม่ได้เป็นฟังก์ชัน การจำแนกข้อมูลแบบเชิงเส้นดังสมการที่ (3.11)

$$f(x) = \sum_{j=1}^N w_j \alpha_j^* K(x, x_j) + b \quad (3.11)$$

SVM มีเคอร์เนลฟังก์ชัน (Kernel Function) สำหรับแมปย้ายข้อมูลจาก จาก Feature Space ไปยัง Output Space เพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม สำหรับเคอร์เนลฟังก์ชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พบบ่อย 4 แบบด้วยกัน ประกอบด้วย Linear Kernel เป็นเคอร์เนลพื้นฐานที่คำนวณหาเส้นแบ่งกลุ่มโดยใช้สมการเชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงใช้การคำนวณค่าจาก dot product ระหว่าง  $x_i$  กับ  $x_j$  ดังสมการที่ (3.12), Polynomial Kernel เป็นเคอร์เนลที่คำนวณหาเส้นแบ่งกลุ่มโดยใช้สมการเชิงเส้นที่มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ดังสมการที่ (3.13), Gaussian (Radial Basis Function: RBF) Kernel เป็นเคอร์เนลที่ใช้การคำนวณหาขอบเขตของข้อมูลโดยอาศัยวิธีการแบบ Radial Basis (เป็นเทคนิคย่อยในส่วน Hidden layer และ Output layer ของเทคนิค neural network) เข้ามาช่วยในการคำนวณ ดังสมการที่ (3.14) และ Sigmoid Kernel เป็นเคอร์เนลที่ใช้การคำนวณหาขอบเขตของข้อมูล ดังสมการที่ (3.15)

Linear Kernel:

$$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j \quad (3.12)$$

Polynomial Kernel:

$$K(x_i, x_j) = (1 + x_i^T x_j)^P \quad (3.13)$$

Gaussian (Radial Basis Function: RBF) Kernel:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.14)$$

Sigmoid Kernel:

$$K(x_i, x_j) = \tanh(\beta_0 x_i^T x_j + \beta_1) \quad (3.15)$$

### 3.2.2 การจำแนกข้อมูลฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means: FCM)

FCM เป็นอัลกอริทึมที่ยอมให้ข้อมูลในแต่ละคลัสเตอร์ (กระบวนการที่รวมสมาชิกของข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน หรือ เหมือนกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน) มีการซ้อนทับกันหรือซ้ำกันได้ วิธีการนี้เป็นการจัดกลุ่มที่มีใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ [25 32 33] โดยอาศัยการให้ค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลต่อกลุ่มข้อมูลต่างๆ การได้มาซึ่งค่าการเป็นสมาชิกส่วนหนึ่งมาจากการวัดระยะทางระหว่างข้อมูล และจุดศูนย์กลางของกลุ่มเหล่านั้น การวัดระยะทางจึงมีความสำคัญต่อการจัดกลุ่ม โดยวิธีการวัดระยะทางนั้นมีหลายวิธีการอาจเป็นการวัดระยะทางแบบยูคลิเดียน (Euclidean distance) หรือการวัดระยะทางแบบมหาลาโนบิส (Mahalanobis distance) สำหรับการวัดระยะทางแบบยูคลิเดียนนั้นไม่เหมาะกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน และสำหรับการวัดระยะทางแบบมหาลาโนบิสนั้นเหมาะสำหรับกลุ่มข้อมูลที่มีข้อมูลโดดออกจากกลุ่ม (outlier) และกลุ่มข้อมูลที่มีข้อมูลหนาแน่น ต่างๆ

การจัดกลุ่มแบบฟัซซีซีมีนเป็นเทคนิคในการจัดกลุ่มที่แก้ไขข้อเสียของการจัดกลุ่มแบบ K-mean เนื่องจาก K-mean ไม่เหมาะกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน (correlation) เนื่องจากข้อมูลมีโอกาสเป็นสมาชิกเพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น การจัดกลุ่มแบบฟัซซีซีมีนสมาชิกของกลุ่มมีโอกาส หรือ ค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลระดับต่างๆในทุกๆกลุ่ม สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบฟัซซี (fuzzy clustering) Dunn [34] ได้มีการปรับปรุงโดย Bezdek [35] ขั้นตอนการทำงานของฟัซซีซีมีน (fuzzy C-Means) ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 กำหนดกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม เพื่อกำหนดค่าเงื่อนไขในการให้ข้อมูล หยุดการ จัดกลุ่ม ( $\mathbf{E}$ ) กำหนดค่าฟัซซี่พารามิเตอร์ ( $m$ ) ซึ่งต้องมากกว่าหนึ่ง และกำหนดจุด ศูนย์กลางเริ่มต้นของข้อมูล
- 2 คำนวณค่าการเป็นสมาชิกของข้อมูลต่อกลุ่มข้อมูลต่างๆ
- 3 คำนวณจุดศูนย์กลางกลุ่มข้อมูลใหม่และตรวจสอบเงื่อนไขโดยตรวจสอบค่าการ เป็น สมาชิกใหม่ลบค่าการเป็นสมาชิกก่อนหน้า
- 4 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงคำนวณค่าการเป็นสมาชิกและ objective function ถ้าเงื่อนไข เป็นเท็จ คำนวณค่าการเป็นสมาชิกจากจุดศูนย์กลางล่าสุด(วนรอบ)

การคำนวณ Objective Function สามารถคำนวณจาก สมการที่ (3.16)

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m d^2(X_j, Z_i) \quad (3.16)$$

โดยที่  $J$  คือแทน Objective Function ของขั้นตอนวิธีฟัซซี่ซีมีน

กำหนดให้เซตของข้อมูล  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

$n$  คือจำนวนข้อมูล

$c$  คือจำนวนกลุ่มข้อมูล

$m$  คือฟัซซี่พารามิเตอร์ที่ต้องมีค่ามากกว่า 1

$\mu_{ij}$  คือค่าการเป็นสมาชิก (membership) ของข้อมูลที่  $j$  ในกลุ่มที่  $i$

$d^2(X_j, Z_i)$  คือระยะทางยกกำลังสองระหว่างข้อมูล  $x$  ที่  $j$  และจุดศูนย์กลางของ ข้อมูล  $Z$  กลุ่มที่  $i$  โดย  $Z_i$  เป็นไปตามสมการที่ (3.17)

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m} \quad (3.17)$$

การหาค่าการเป็นสมาชิก  $\mu_{ij}$  แสดงได้จากสมการที่ (3.18) ดังนี้

$$\mu_{ij} = \frac{[1/d^2(X_j - Z_i)]^{1/(m-1)}}{\sum_{i=1}^c [1/d^2(X_j - Z_i)]^{1/(m-1)}} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการค้นหาข้อมูล (Searching Algorithm) [36-37]

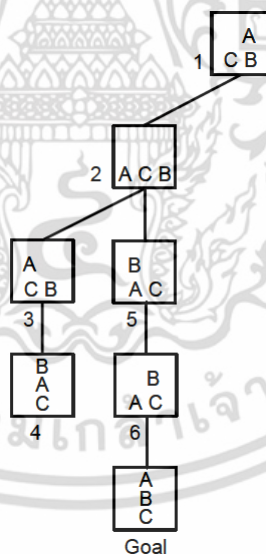
วิธีการค้นหาคำตอบของข้อมูล สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ การค้นหาแบบโบลด์ (Blind Search) ซึ่งเป็นเทคนิคการค้นหาที่ไม่มีตัวช่วยในการค้นหา แต่จะมีรูปแบบการค้นหาที่แน่นอนตายตัว และการค้นหาแบบฮิวริสติก (Heuristic Search) ซึ่งจะใช้ความรู้รูปแบบหนึ่งๆ เรียกว่าฮิวริสติกมาช่วยในการค้นหาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 3.3.1 การค้นหาแบบโบลด์ (Blind Search)

การค้นหาแบบโบลด์เป็นการค้นหาแบบที่เดินทางจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง โดยอาศัยทิศทางเป็นตัวกำหนดการค้นหา ไม่ต้องมีข้อมูลอะไรมาช่วยเสริมการตัดสินใจว่าจะเดินทางต่อไปอย่างไร หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ คือการจะหยิบข้อมูลใดมาช่วยในการค้นหาต่อไป ไม่ต้องอาศัยข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น นอกจากทิศทางซึ่งเป็นรูปแบบตายตัว การค้นหาแบบโบลด์สามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้ คือ การค้นหาแบบลึกก่อน และการค้นหาแบบกว้างก่อน

##### 3.3.1.1 การค้นหาแบบลึกก่อน (Depth First Search)

การค้นหาแบบลึกก่อน เริ่มจากการกำหนดโหนดเริ่มต้นที่อยู่บนสุดด้านซ้ายก่อน ดังรูปที่ 3.5 ถ้าโหนดตามแนวตั้งถูกสร้างหรือกระจายจนหมด และยังไม่ได้คำตอบ ก็จะย้อนกลับขึ้นมาด้านบน เพื่อหาเส้นทางอื่นที่จะเป็นไปได้



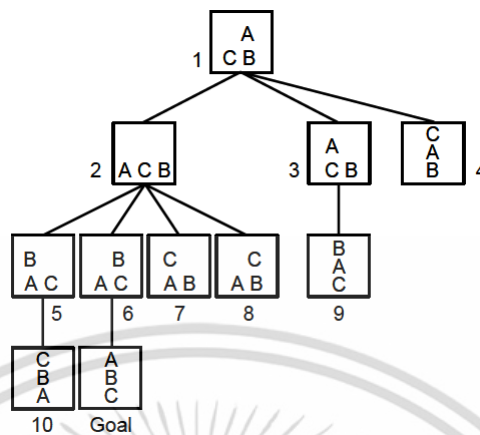
รูปที่ 3.5 ลำดับการค้นหาบนโหนดของการค้นหาแบบลึกก่อน

##### 3.3.1.2 การค้นหาแบบกว้างก่อน (Breadth First Search)

การค้นหาแบบกว้างก่อนเป็นการกำหนดทิศทางการค้นหาแบบทีละระดับของโครงสร้างต้นไม้ โดยเริ่มตรวจสอบจากโหนดบนสุดก่อน แล้วตรวจสอบว่ามีโหนดใดเป็นสถานะสุดท้ายหรือไม่ หากว่ามีก็ถือว่าการค้นหาสิ้นสุด ถ้าไม่มีก็จะสร้างโหนดลูกของสถานะเหล่านั้นโดยลงมาที่ระดับที่ 1 แล้วทำการตรวจสอบสถานะลูกทุกตัวของสถานะเหล่านั้น ถ้าพบสถานะสุดท้ายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นหาที่สิ้นสุด ถ้าไม่พบก็สร้างโหนดลูกของสถานะเหล่านั้นในระดับที่ 2 ต่อกไปอีก ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบสถานะสุดท้ายหรือจนไม่สามารถสร้างสถานะลูกใหม่ได้อีก ดังแสดงในรูปที่ 3.6



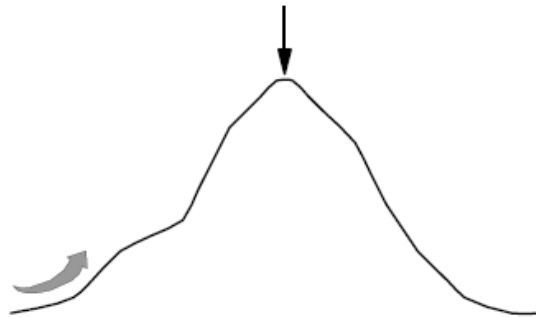
รูปที่ 3.6 ลำดับการค้นหาบนโหนดของการค้นหาแบบกว้างก่อน

### 3.3.2 การค้นหาแบบฮิวริสติก (Heuristic Search)

การค้นหาคำตอบโดยอาศัยวิธีการทางฮิวริสติก มีความแตกต่างจากการค้นหาข้อมูลแบบ ไบรต์ โดยผู้ที่ทำการค้นข้อมูลจะต้องตรวจสอบข้อมูลที่ละตัวทุกตัวจนครบ แต่การค้นหาข้อมูลแบบ ฮิวริสติกไม่จำเป็นต้องตรวจสอบข้อมูลทุกตัว วิธีการนี้จะเลือกคำตอบที่เหมาะสมให้กับการค้นหา ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถทำการค้นหาคำตอบจากข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ แต่ในบางครั้งคำตอบที่ได้เป็นเพียง คำตอบที่ดีเท่านั้นไม่แน่ว่าจะดีที่สุด การค้นหาแบบฮิวริสติกมีสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ ฮิวริสติกฟังก์ชัน (Heuristic Function) คือฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ในการวัดขนาดของความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาโดย จะแสดงด้วยตัวเลข วิธีการดังกล่าวจะกระทำได้โดยการพิจารณาถึงวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ณ สถานะหนึ่งว่าจะสามารถแก้ปัญหาได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยกำหนดเป็นน้ำหนักที่ให้การ แก้ปัญหาของแต่ละวิธี ดังนั้นประสิทธิภาพของการค้นหาแบบฮิวริสติก จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบและ การสร้างฮิวริสติกฟังก์ชันสำหรับปัญหาหนึ่งๆ สำหรับการค้นหาแบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น

#### 3.3.2.1 การค้นหาแบบปีนเขา (Hill Climbing Search)

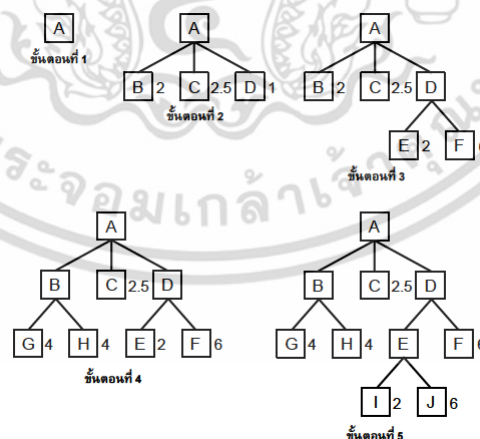
การค้นหาแบบปีนเขาเป็นวิธีการค้นหาข้อมูลที่อาศัยวิธีการของนักปีนเขาเพื่อ เดินทางไปถึงยอดภูเขา โดยนักปีนเขาจะต้องมองก่อนว่ายอดเขาอยู่ที่ใด จากนั้นวิเคราะห์และ ออกแบบเส้นทางแล้วพยายามไปจุดถึงนั้นโดยเร็วที่สุด ดังนั้นนักปีนเขาจะมองไปที่ยอดเขาแล้วสังเกต ว่าทิศทางใดที่เมื่อปีนแล้วจะเข้าใกล้ยอดเขา ขณะเดียวกันจะหลีกเลี่ยงทิศทางที่เมื่อไปแล้วจะทำให้ตัวเองห่างจากยอดเขา นักปีนเขาจะต้องทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงยอดเขาดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการค้นหาแบบ Hill Climbing

### 3.3.2.2 การค้นหาแบบการเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน (Best First Search)

การค้นหาแบบเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน เป็นกระบวนการค้นหาข้อมูลที่ได้นำเอาข้อดีของทั้งการค้นหาแบบลึกก่อนและการค้นหาแบบกว้างก่อนมารวมกันเป็นวิธีการเดียว โดยที่แต่ละขั้นของการค้นหาในโหนดลูกนั้นจะเลือกโหนดที่ดีที่สุด และตัดสินใจเลือกกว่าโหนดใดดีที่สุดโดยอาศัยฮิวริสติกฟังก์ชัน ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเกณฑ์วัดผล และให้ผลของการวัดนี้ออกมาเป็นคะแนน โดยรูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการค้นหาแบบดีที่สุดก่อน เริ่มต้นจากสถานะ A ก่อน ขั้นตอนที่ 2 สร้างโหนด B C และ D แล้วตรวจสอบโหนด B C และ D ด้วยฮิวริสติกฟังก์ชัน ผลคะแนนออกมาคือ 2 2.5 และ 1 ตามลำดับ เลือกโหนด D เป็นโหนดที่สนใจเนื่องจากมีค่าน้อยที่สุดในสามค่า (สามารถเลือกค่ามาก หรือค่าน้อย ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา) ขั้นตอนที่ 3 สร้างโหนดลูกให้กับโหนด D คือโหนด E และ F ตรวจสอบคะแนนได้ 2 และ 6 ตามลำดับ ขั้นตอนที่ 4 ทำการเปรียบเทียบค่าโหนดสุดท้ายของทุกโหนดว่าโหนดใดมีค่าดีที่สุด ในที่นี้เลือกโหนด E ดังนั้นในขั้นตอนที่ 5 สร้างโหนดลูกให้กับโหนด E ได้โหนด I และ J ตรวจสอบคะแนนได้ 2 และ 6 ตามลำดับ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนพบคำตอบหรือไม่สามารถสร้างโหนดต่อไปได้อีก

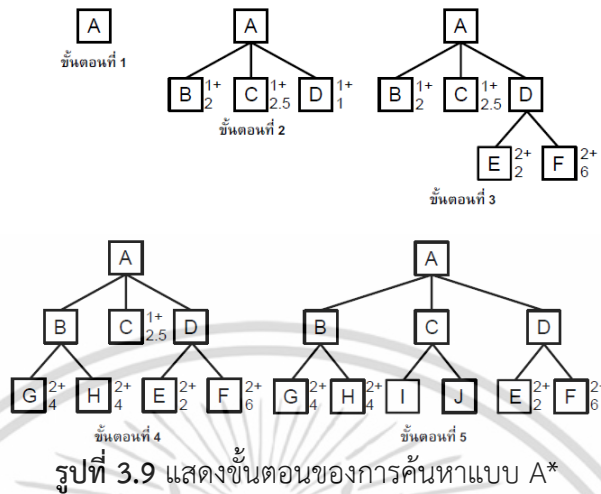


รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนของการค้นหาแบบเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน

### 3.3.2.3 การค้นหาแบบ A\* (A\* Search)

การค้นหาแบบ A\* เป็นการค้นหาแบบเลือกค่าที่ดีที่สุดก่อน แต่ในกรณีของ A\* ค่าของฮิวริสติกฟังก์ชันจะวัดจากค่า 2 ค่าคือ ค่าที่วัดจากโหนดปัจจุบันไปยังโหนดราก และจากโหนดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันไปยังไหนดเป้าหมาย โดยสามารถแสดงตัวอย่างของการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการค้นหาแบบ A\* ได้ดังรูปที่ 3.9



### 3.4 ทฤษฎีฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference System : FIS) [38-40]

ฟัซซีอินเฟอเรนซ์ คือ กระบวนการแปลงอินพุตให้กลายเป็นเอาต์พุตตามที่ต้องการโดยอาศัยทฤษฎีฟัซซีเซต รูปแบบพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอเรนซ์ที่มีถูกนำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ ฟัซซีอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani ซึ่งถูกนำเสนอโดย Mamdani และ Assilian ในปี 1975 [83] โดยรูปแบบฟัซซีอินเฟอเรนซ์ดังกล่าวจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก กล่าวคือ การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification) การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation) การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อ (Aggregation of Rule Output) และการแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification)

ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นรายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนจึงยกตัวอย่าง ปัญหาแบบ 2 อินพุต (x และ y) 1 เอาต์พุต (z) ที่ประกอบไปด้วยกฎการพิจารณา 3 ข้อ ดังนี้

**กฎข้อ 1**

ถ้า x คือ A3  
หรือ y คือ B1  
แล้ว z คือ C1

**กฎข้อ 2**

ถ้า x คือ A2  
และ y คือ B2  
แล้ว z คือ C2

**กฎข้อ 3**

ถ้า x คือ A1  
แล้ว z คือ C3

**กฎข้อ 1**

ถ้า เงินสนับสนุนโครงการเพียงพอ  
หรือ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มเล็ก  
แล้ว ความเสี่ยงต่ำ

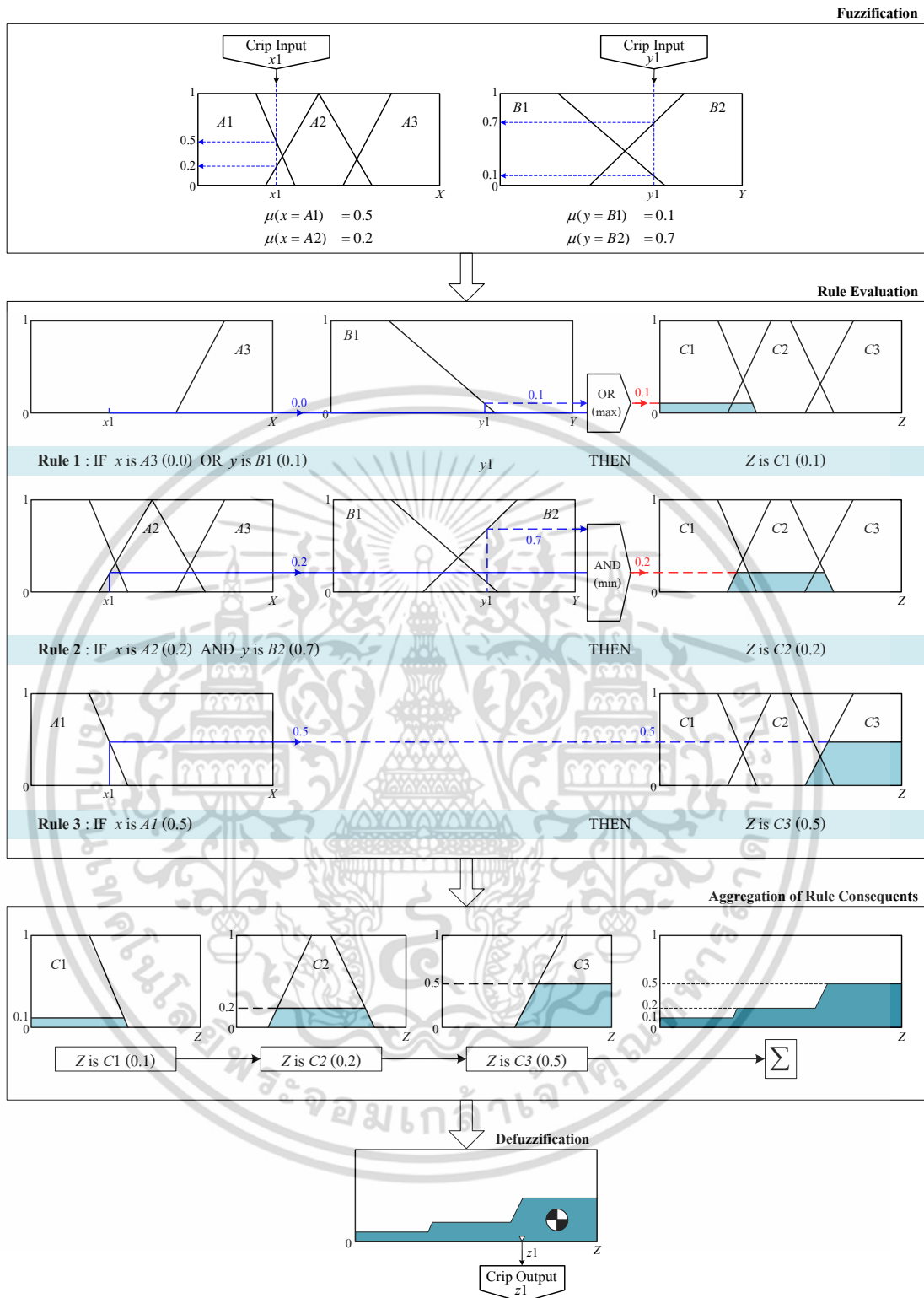
**กฎข้อ 2**

ถ้า เงินสนับสนุนโครงการเกือบไม่พอ  
และ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มใหญ่  
แล้ว ความเสี่ยงปานกลาง

**กฎข้อ 3**

ถ้า เงินสนับสนุนโครงการไม่เพียงพอ  
แล้ว ความเสี่ยงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์แบบ Mamdani

เมื่อ  $x$   $y$  และ  $z$  (เงินสนับสนุนโครงการ กลุ่มคนทำโครงการ และความเสี่ย) เป็นตัวแปรฟัซซี  $A1$   $A2$  และ  $A3$  (เพียงพอ เกือบเพียงพอ ไม่เพียงพอ) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์  $X$  (เงินสนับสนุนโครงการ)  $B1$  และ  $B2$  (กลุ่มเล็กและกลุ่มใหญ่) เป็นค่า

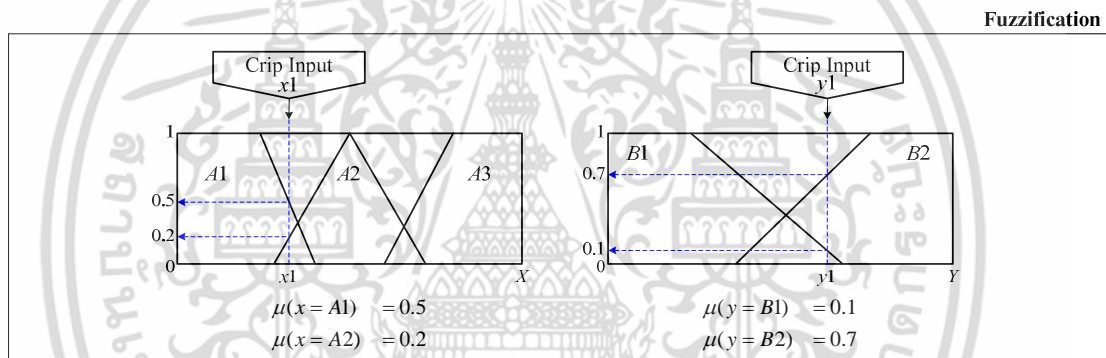
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์  $Y$  (กลุ่มคนทำโครงการ)  $C1$   $C2$  และ  $C3$  (ต่ำ กลาง และสูง) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซีที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์  $Z$  (ความเสี่ยง)

โครงสร้างพื้นฐานของฟัซซีอินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani สำหรับตัวอย่างปัญหาที่ได้กล่าวถึง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.4.1 การหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification)

ขั้นตอนแรกเป็นการแปลงอินพุตแบบทวินัยหรือคริปอินพุต (Crisp Input) ให้อยู่ในรูปของค่าหรือระดับความเป็นสมาชิกที่สัมพันธ์กับแต่ละฟัซซีเซต ซึ่งคริปอินพุตในที่นี้หมายถึง ค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ที่สนใจ ตัวอย่างเช่น ค่า  $x_1$  และ  $y_1$  ในรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นคริปอินพุตที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์  $X$  และ  $Y$  ตามลำดับ ส่วนขอบเขตของคริปอินพุตนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เชี่ยวชาญระบบ อาทิ การจัดสรรเงินสนับสนุนโครงการ ทีมผู้บริหารกำหนดให้ตัวเลข (ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์) 0 ถึง 100 แทนปริมาณเงินทุนของโครงการ เป็นต้น



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการหาค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification)

จากรูปที่ 3.11 คริปอินพุต  $x_1$  (เงินสนับสนุนโครงการที่ถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญให้มีค่าเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์) จะให้ค่าหรือระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต  $A_1$  (เพียงพอ) และ  $A_2$  (เกือบไม่เพียงพอ) เท่ากับ 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ ส่วนคริปอินพุต  $y_1$  (กลุ่มคนทำโครงการที่ถูกกำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์) จะให้ค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต  $B_1$  (กลุ่มเล็ก) และ  $B_2$  (กลุ่มใหญ่) เท่ากับ 0.1 และ 0.7 ตามลำดับ สำหรับค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากการคริปอินพุตแต่ละตัวในขั้นตอนนี้จะถูกลำนำไปประมวลผลโดยกฎฟัซซีในขั้นตอนต่อไป

### 3.4.2 การประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี (Rule Evaluation)

ในขั้นตอนที่สอง ค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า กล่าวคือ  $\mu_{(x=A_1)} = 0.5$ ,  $\mu_{(x=A_2)} = 0.2$ ,  $\mu_{(y=B_1)} = 0.1$  และ  $\mu_{(y=B_2)} = 0.7$  จะถูกนำมาประมวลผลตามกฎฟัซซีของระบบ เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตของกฎฟัซซีแต่ละข้อ ถ้ากฎฟัซซีประกอบด้วยเงื่อนไขหลายข้อ ตัวดำเนินการฟัซซี (AND หรือ OR) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณค่าผลลัพธ์ของกฎ ตัวอย่างเช่น

- กฎข้อ 1

ถ้า  $x$  คือ  $A3$  (0.0)  
 หรือ  $y$  คือ  $B1$  (0.1)  
 แล้ว  $z$  คือ  $C1$  (0.1)

ดังนั้น

$$\mu_{C1}(z) = \max(\mu_{A3}(x), \mu_{B1}(y)) = \max(0.0, 0.1) = 0.1$$

- กฎข้อ 2

ถ้า  $x$  คือ  $A2$  (0.2)  
 และ  $y$  คือ  $B2$  (0.7)  
 แล้ว  $z$  คือ  $C2$  (0.2)

ดังนั้น

$$\mu_{C2}(z) = \min(\mu_{A2}(x), \mu_{B2}(y)) = \min(0.2, 0.7) = 0.2$$

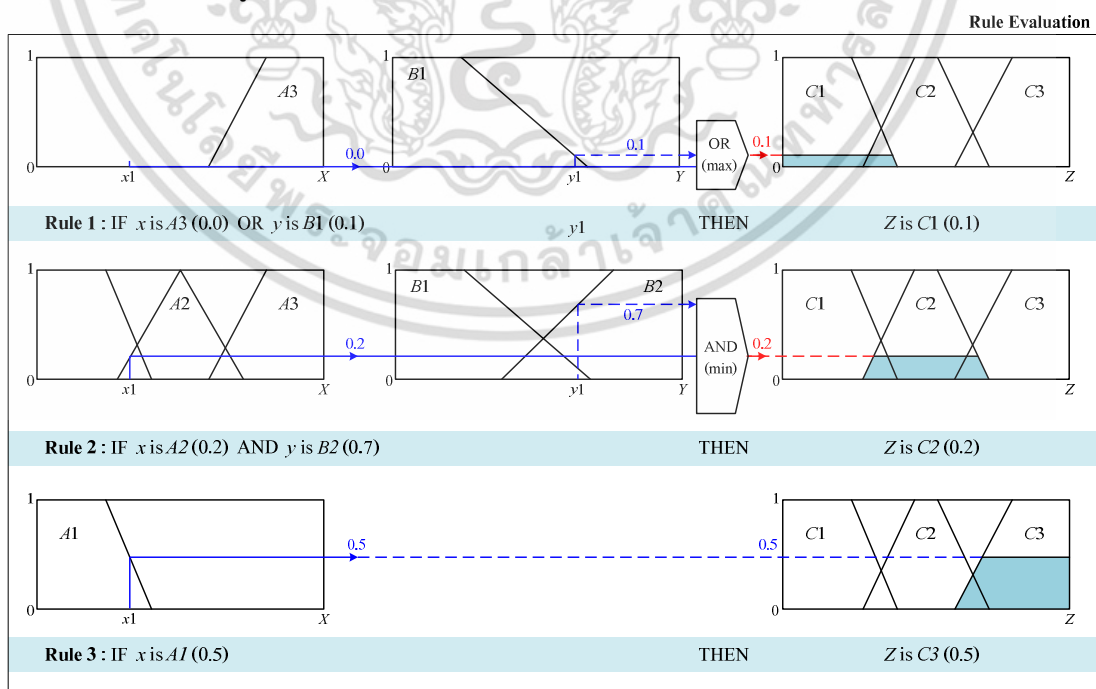
- กฎข้อ 3

ถ้า  $x$  คือ  $A1$  (0.5)  
 แล้ว  $z$  คือ  $C3$  (0.2)

ดังนั้น

$$\mu_{C3}(z) = 0.5$$

จากตัวอย่างข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพการหาค่าเอาต์พุตของกฎฟัซซีได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการประมวลผลค่าความเป็นสมาชิกตามกฎฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

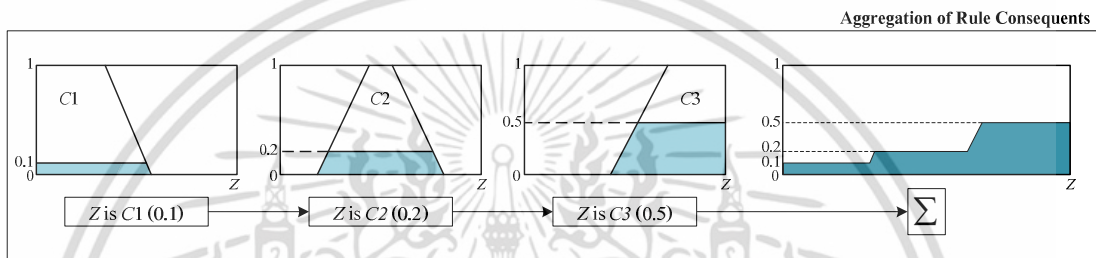
### 3.4.3 การรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อ (Aggregation of Rule Output)

ขั้นตอนนี้เป็นกรการยุบรวมค่าผลลัพธ์หรือค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกฎฟัซซีแต่ละข้อในขั้นตอนที่แล้ว ให้กลายเป็นค่าฟัซซีเอาต์พุตของระบบเพียงค่าเดียว สำหรับวิธีการยุบรวมค่าความเป็นสมาชิกที่ไม่ขึ้นกับลำดับการพิจารณานั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการหาค่าสูงสุด (Maximum Method) ดังสมการที่ (3.19) หรือผลรวมพื้นที่ใต้กราฟดังรูปที่ 3.13

$$\mu_C(z) = \max(\mu_{C_1}(z), \mu_{C_2}(z), \dots, \mu_{C_l}(z)) \tag{3.19}$$

โดยที่  $\mu_C(z)$  คือค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเอาต์พุต  $Z$

$\mu_{C_1}(z), \mu_{C_2}(z), \dots, \mu_{C_l}(z)$  คือค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากกฎฟัซซีข้อ 1, 2, ...,  $l$  ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการรวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากกฎฟัซซี

### 3.4.4 การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Defuzzification)

การแปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าคริปเอาต์พุต (Crip Output) หรือค่าตัวเลขที่อยู่ในโดเมนคำตอบที่ต้องการ สามารถทำได้หลายวิธีเช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity: COG) วิธีการหาค่าน้อยสุดของค่าสูงสุด (Smallest of Maximum: SOM) วิธีการหาค่ามากที่สุดของค่าสูงสุด (Largest of Maximum: LOM) และวิธีการหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum: MOM) โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

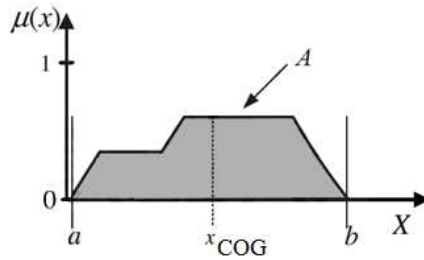
**3.4.4.1 วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity: COG)** หรือบางครั้งเรียกว่าวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Central of Area: COA) การทำดีฟัซซีด้วยวิธีนี้พิจารณาเซตผลลัพธ์ฟังก์ชันสมาชิกฟัซซีเซตเอาต์พุต (A) สามารถพิจารณาได้ดังรูป 3.14 และคำนวณได้ดังสมการที่ (3.14)

$$x_{COG} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x)x}{\sum_{x=1}^b \mu(x)} \tag{3.20}$$

โดยที่  $x$  คือค่าหรือตำแหน่งของฟัซซีเอาต์พุต  $A$

$\mu_A(x)$  คือค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเอาต์พุตที่ตำแหน่ง  $x$

$a$  และ  $b$  เป็นขอบเขตของฟัซซีเอาต์พุต  $A$

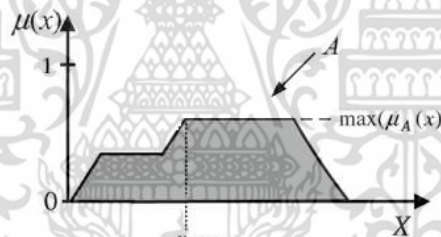


รูปที่ 3.14 เออร์ฟุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ COG หรือ COA

3.4.4.2 วิธีหาค่าน้อยสุดของค่าสูงสุด (Smallest of Maximum: SOM) เป็นการหาค่าเออร์ฟุตโดยการหาค่าตำแหน่ง  $x$  ที่น้อยที่สุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุด ซึ่งค่าเออร์ฟุตดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ดังรูป 3.15 และคำนวณได้จากสมการ (3.21)

$$x_{SOM} = \min\{x / \mu(x) = \max(\mu_A(x))\} \quad (3.21)$$

โดยที่  $\mu_A(x)$  คือค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเออร์ฟุตที่ตำแหน่ง  $x$   
 $\max(\mu_A(x))$  คือการเปรียบเทียบหาค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดของฟัซซีเซตเออร์ฟุต  $A$  ทุกตำแหน่ง  $x$

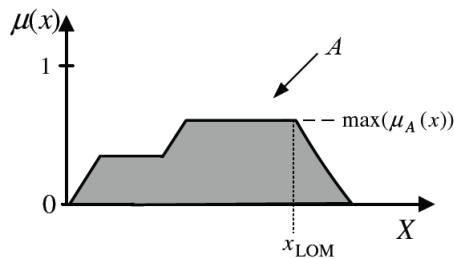


รูปที่ 3.15 เออร์ฟุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ SOM

3.4.4.3 วิธีหาค่ามากที่สุดของค่าสูงสุด (Largest of Maximum: LOM) เป็นการหาค่าเออร์ฟุตที่คล้ายกับวิธี SOM แต่เป็นการหาค่าตำแหน่ง  $x$  ที่มากที่สุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุด ซึ่งแทนค่าเออร์ฟุตรูป 3.16 และคำนวณได้จากสมการ (3.22)

$$x_{LOM} = \max\{x / \mu(x) = \max(\mu_A(x))\} \quad (3.22)$$

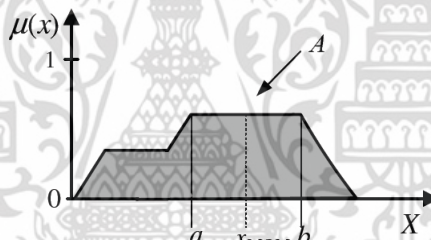
โดยที่  $\mu_A(x)$  คือค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเออร์ฟุตที่ตำแหน่ง  $x$   
 $\max(\mu_A(x))$  คือการเปรียบเทียบหาค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดของฟัซซีเซตเออร์ฟุต  $A$  ทุกตำแหน่ง  $x$



รูปที่ 3.16 เออร์ฟุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ LOM

3.4.4.4 วิธีหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum: MOM) เป็นวิธีการหาค่าเออร์ฟุตโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยตำแหน่ง  $x$  ที่อยู่ในช่วงความเป็นสมาชิกระดับสูงสุด โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.17 โดยที่  $a$  คือค่าตำแหน่ง  $x$  ที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดค่าแรก สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.21) และ  $b$  คือค่าตำแหน่ง  $x$  ที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดค่าสุดท้ายสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.22) ดังนั้นค่า  $x_{MOM}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.23)

$$x_{MOM} = \frac{a+b}{2} \quad (3.23)$$



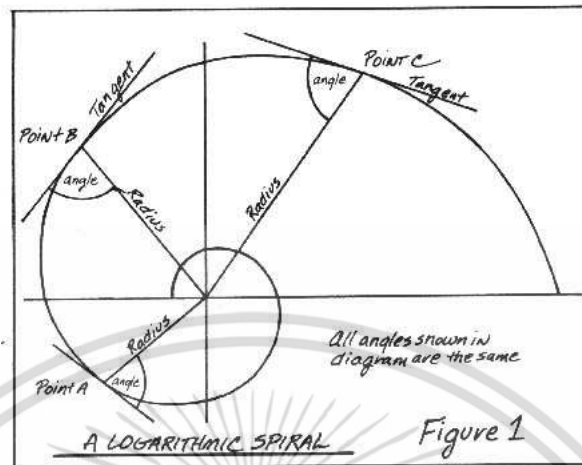
รูปที่ 3.17 เออร์ฟุตที่ได้จากการทำดีฟัซซีแบบ MOM

### 3.5 ทฤษฎีโค้งก้นหอยแบบลอการิทึม (Logarithmic Spiral)

ขณะเกิดเหตุการณ์พายุ ภาพถ่ายดาวเทียมเมฆมีความสำคัญเนื่องจากสามารถใช้อธิบายความรุนแรงของพายุได้ เช่น พายุดีเปรสชันจะสามารถสังเกตกลุ่มเมฆหนาที่บีบเป็นวงกลม แต่ยังไม่มีความชัดเป็นเกลียวหรือตาพายุชัดเจน ขณะที่พายุโซนร้อนจะเริ่มเห็นเกลียวโค้งของกลุ่มเมฆบ้าง ดังนั้นโครงสร้างของก้อนเมฆ ลักษณะเกลียวเมฆ หรือตาพายุจากภาพเมฆจึงเป็นคุณลักษณะที่ใช้บอกความรุนแรงและติดตามพายุได้ มีงานวิจัยมากมายใช้คุณลักษณะของเมฆในการระบุพายุ เช่น รุนแรงและติดตามพายุได้ มีงานวิจัยมากมายใช้คุณลักษณะของเมฆในการระบุพายุ เช่น งานวิจัย [6 14] ใช้เทคนิคประมาณความรุนแรงและติดตามพายุโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมของรัศมีและมุมของภาพเมฆก่อนเมฆ [14] และตรวจสอบระดับความสว่างของภาพเมฆ [6] เปรียบเทียบเหตุการณ์ก่อนหน้านี้ ขณะที่งานวิจัย [13 15] แยกคุณลักษณะของเกลียวโค้งในภาพถ่ายดาวเทียมเมฆเพื่อระบุตำแหน่งศูนย์กลางพายุสำหรับติดตามการเคลื่อนที่พายุ ดังนั้นการสกัดลักษณะเด่นของเกลียวเมฆเป็นวิธีหนึ่งที่มีความแม่นยำสำหรับระบุตำแหน่งตาพายุ

โค้งก้นหอยแบบลอการิทึม (Logarithmic Spiral) [42] มีชื่อเรียกได้หลายแบบ เช่น โค้งก้นหอยของเบอร์นูลลี (Bernoulli's spiral) โค้งก้นหอยของเดส์การ์ตส์ (Descartes's spiral) โค้งก้นหอยเอกสาร์เป็นเอกลักษณ์ที่สลับซับซ้อนที่ช่วยในการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เป็นเชิงประจักษ์นั้นการวิเคราะห์ไม่อาจกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบมีมุมเท่ากัน (equiangular spiral) มีคุณสมบัติพิเศษประการหนึ่งคือ เส้นรัศมีและเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งจะทำมุมเท่ากันหมดตลอดทุกจุดบนเส้นโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ในทางคณิตศาสตร์ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนของโค้งก้นหอยแบบลอการิทึมสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (3.17)



รูปที่ 3.18 โค้งก้นหอยแบบลอการิทึม [C33]

$$\begin{aligned} x(\theta) &= r(\theta) \cos(\theta), \\ y(\theta) &= r(\theta) \sin(\theta) \end{aligned} \quad (3.17)$$

โดยที่  $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$  ;  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right), & x \neq 0, \\ 90^\circ, & (x, y) = (0, > 0), \\ 270^\circ, & (x, y) = (0, < 0), \\ \text{undefined}, & (x, y) = (0, 0). \end{cases}$$

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้วของโค้งก้นหอยแบบลอการิทึมที่พิกัด  $(r, \theta)$  สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (3.18)

$$r(\theta) = ae^{b\theta} \quad (3.18)$$

โดยที่  $a$  เป็นค่าคงที่บวก (positive constant)  
 $r$  เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับสมการที่ (1)

ดังนั้น สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้วของโค้งก้นหอยแบบลอการิทึมได้ดังสมการที่ (3.19)

$$x(\theta) = ae^{b\theta} \cos \theta,$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y(\theta) = ae^{b\theta} \sin \theta \quad (3.19)$$

เครื่องหมายของ  $b$  แสดงในสมการที่ (3.18) เป็นการปรับให้โค้งก้นหอยวนซ้ายหรือวนขวา ถ้าค่า  $b$  เป็นค่าลบ โค้งก้นหอยจะวนตามเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า  $b$  เป็นค่าบวก โค้งก้นหอยจะวนทวนเข็มนาฬิกา และเมื่อค่า  $b$  มีค่าเป็น 0 โค้งก้นหอยจะมีรูปร่างเป็นวงกลม

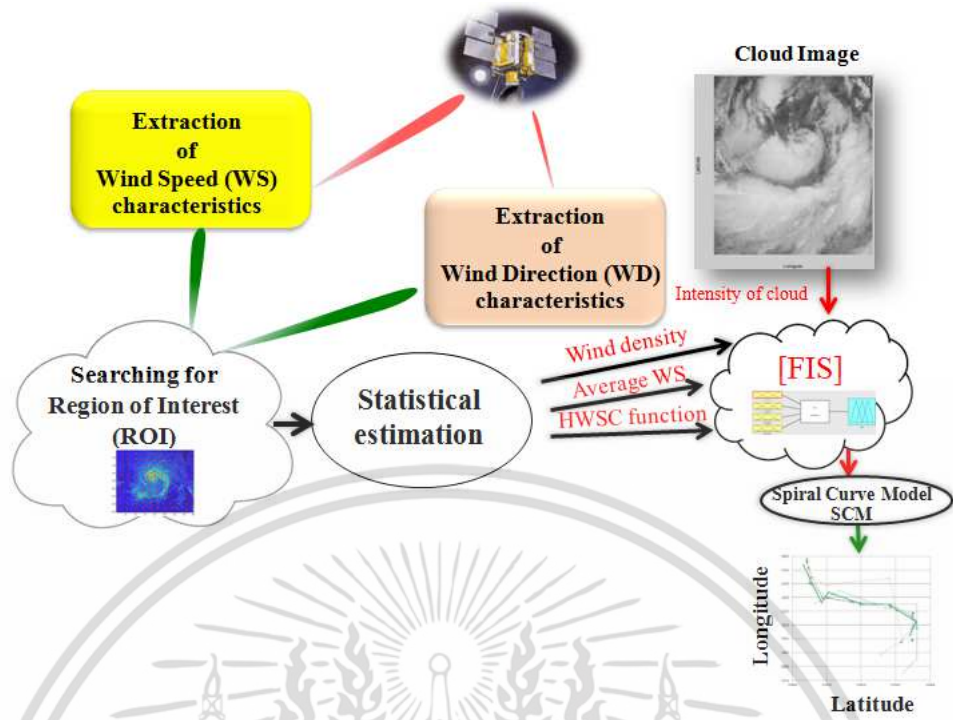


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การค้นหาพิกัดตาพายุกัตโนมัตติด้วยระบบอนุมานฟัซซี

งานวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยต้องเผชิญกับความท้าทาย เพื่อพยายามระบุตำแหน่งตาพายุกจากแหล่งข้อมูลที่ไม่เพียงพอและไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้รับผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงมีการนำเสนอและวิเคราะห์แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม ในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของลมและภาพเมฆของเหตุการณ์พายุ โดยคุณลักษณะของความเร็วลมจากดาวเทียม QuikSCAT ถูกใช้เป็นข้อมูลหลักเพื่อตรวจจับความรุนแรงของพายุ ที่เริ่มก่อตัวขึ้นจากทะเล ทวีกำลัง และลดระดับความรุนแรงจนเป็นเหตุการณ์ปกติ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลลมอย่างเดียว บางครั้งอาจมีความไม่สมบูรณ์ และผิดพลาดได้ ดังนั้นข้อมูลทางเลือก เช่นภาพเมฆน่าจะเป็นกลยุทธ์ที่จะนำไปสู่การค้นหาพิกัดตาพายุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ เนื่องจากข้อมูลภาพเมฆไม่เพียงแต่จะสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT แต่ยังสามารถให้ข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับการค้นหาพิกัดตาพายุได้ด้วย เช่น คุณลักษณะของเกลียวเมฆในภาพเมฆ

โดยทั่วไปนั้น ศูนย์กลางพายุหรือตาพายุ มักถูกนิยมนำใช้ในการแสดงตำแหน่งพายุ ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนเมื่อพายุก่อตัวขึ้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยส่วนหนึ่งมักจะให้ความสำคัญในการวิเคราะห์ตำแหน่งตาพายุด้วยข้อมูลลมและทิศทางลมเคลื่อนที่ของลมที่ได้จากดาวเทียมระยะไกล เช่นดาวเทียม QuikSCAT ที่ถูกออกแบบให้ตรวจวัดสภาพอากาศโดยเฉพาะความเร็วและทิศทางลมไกลพื้นผิวมหาสมุทร ในงานวิจัยของเรา [8] ได้นำเสนอฟังก์ชันฮิวริสติกเพื่อใช้ในการแบ่งระดับความรุนแรงลมสำหรับพายุ (heuristic wind statistics division: HWS) โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าสถิติของข้อมูลลมที่สร้างจากฮีสโตแกรมของความเร็วและทิศทางลมจากดาวเทียม QuikSCAT ในพื้นที่สนใจจากงานวิจัยที่ [8] พบว่าพายุแบ่งตามความเร็วลมได้เป็น 2 เจริญไซ โดยเจริญไซแรกคือขณะพายุเริ่มก่อตัว หรือพายุอ่อนกำลัง ขณะที่อีกเจริญไซคือขณะพายุทวีกำลัง ในงานวิจัยของเรา [10] ได้นำเสนอวิธีการระบุเหตุการณ์พายุด้วยเทคนิคการแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และการจัดกลุ่มฟัซซีซิมิน โดยอาศัยข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT แต่กระนั้นก็ตามวิธีการที่นำเสนอนี้ยังระบุพายุไม่ถูกต้องในบางเหตุการณ์ เนื่องจากพายุต้องการเจริญไซที่มีความยืดหยุ่นในการตัดสินใจมาก ดังนั้นเพื่อให้การระบุพายุมีประสิทธิภาพมากขึ้น การนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ (expert knowledge) มาร่วมวิเคราะห์ด้วยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อเสริมให้ระบบมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4.1 ภาพรวมระบบงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับพยากรณ์ตำแหน่งตาพายุด้วยการใช้ระบบอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference System: FIS) และสามารถแสดงการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 4.1 โดยแบ่งการทำงานหลักออกเป็น 3 ส่วนคือการหาพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นพายุจากคุณลักษณะของความเร็วม การระบุตำแหน่งตาพายุด้วยระบบอนุมานฟัซซี และการระบุตำแหน่งตาพายุโดยละเอียดด้วยทฤษฎีโค้งก้นหอย (Spiral Curve Model: SCM)

#### 4.1 การหาพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นพายุ

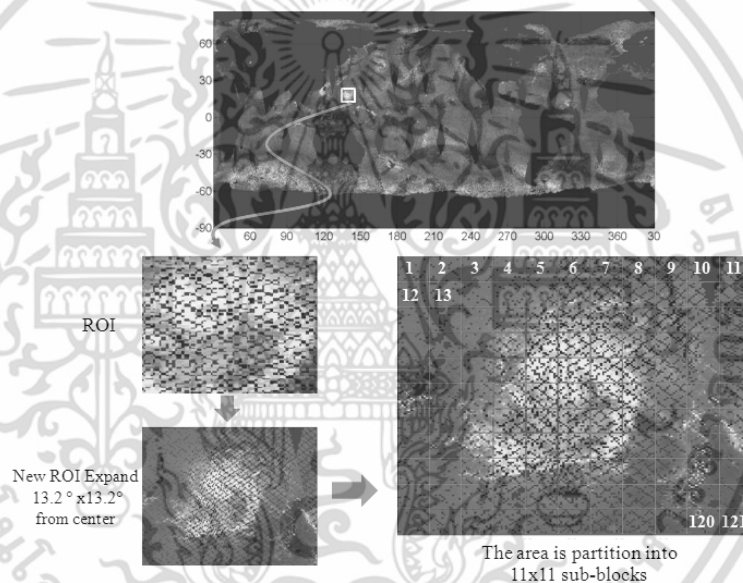
งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการนำข้อมูล 4 คุณลักษณะจากดาวเทียม QuikSCAT มาวิเคราะห์คือ ข้อมูลตำแหน่งละติจูด ตำแหน่งลองจิจูด ความเร็วลม และทิศทางลม โดยข้อมูลแต่ละตัวจะมีขอบเขตของข้อมูลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

Wind Information	Range
Latitude	-90.00 - 90.00 Deg
Longitude	0.00 - 359.99 Deg E
Selected wind speed	0.00-50.00 m/s
Selected wind direction	0.00-359.99 Deg From N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

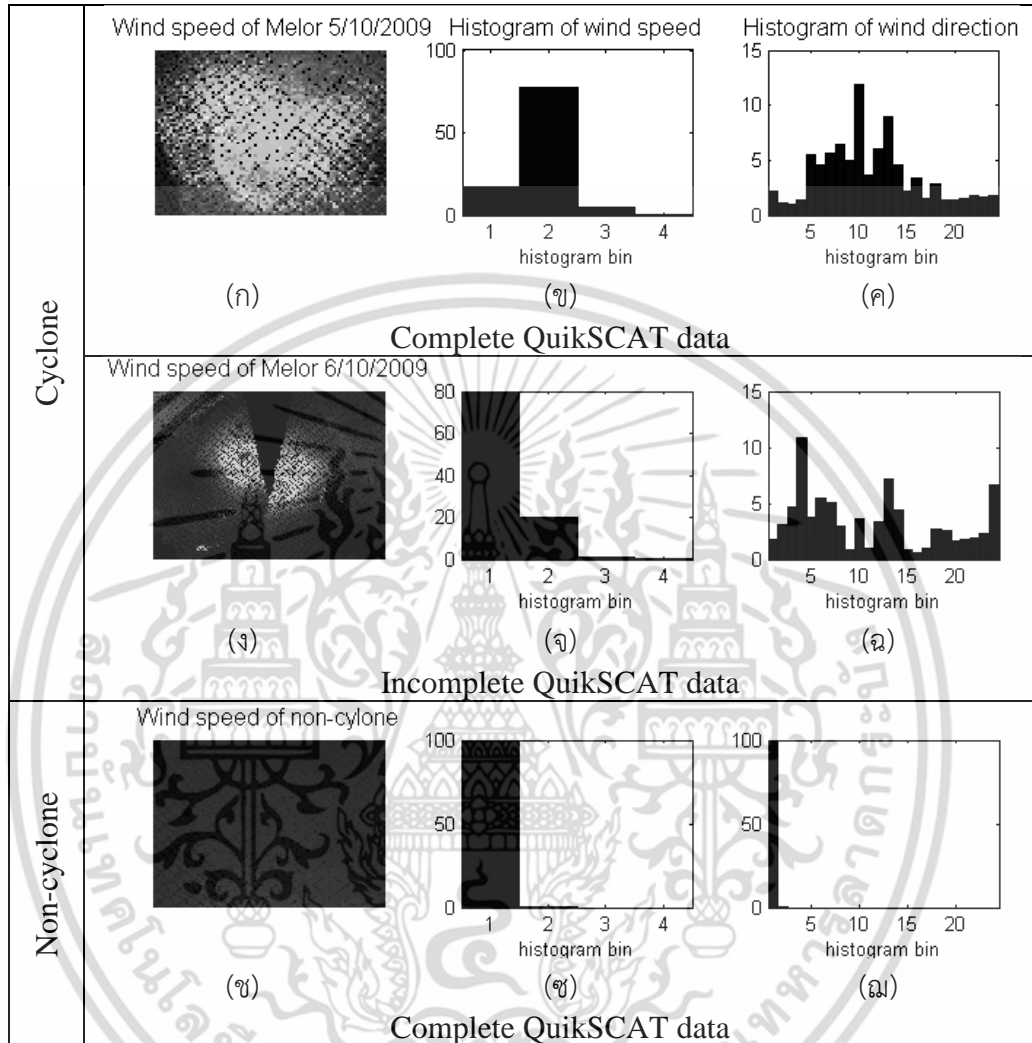
ถึงแม้ว่าได้มีการอ้างอิงความเร็วลมเริ่มต้นของการเป็นพายุที่ 17 เมตรต่อวินาที [44] แต่เพื่อให้สามารถศึกษาได้ครอบคลุมถึงเหตุการณ์ก่อนเกิดพายุ งานวิจัยจึงได้ลดระดับค่าอ้างอิงความเร็วลมของการเป็นพายุลงเหลือ 15 เมตรต่อวินาที โดยนำข้อมูลความเร็วลมของวันที่สนใจมาค้นหาพื้นที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 15 เมตรต่อวินาที ที่มีขนาดพื้นที่อย่างน้อย  $2 \times 2$  องศา ( $222 \times 222$  ตารางกิโลเมตร) เมื่อได้พื้นที่สนใจจะทำการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่นั้น จากนั้นจึงขยายพื้นที่สนใจจากจุดศูนย์กลางไปอีกด้านละ  $13.2 \times 13.2$  องศา ( $1400 \times 1400$  ตารางกิโลเมตร) เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่พายุทั้งหมด เนื่องจากสถิติการเก็บข้อมูลพายุที่ผ่านมา ขนาดของพายุนั้นนั้นหลากหลายมาก โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100-2000 กิโลเมตร ข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมที่ได้รับจากดาวเทียม QuikSCAT จะถูกปรับให้เหมาะสมกับตำแหน่งบนพื้นโลก เนื่องการวัดข้อมูลจากดาวเทียมมายังพื้นโลกที่มีลักษณะเป็นทรงกลม จึงต้องมีการปรับข้อมูลให้เหมาะสม (interpolation) ด้วยการใช้กฎเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และเพื่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของพื้นที่จึงทำการแบ่งพื้นที่ที่สนใจออกเป็น  $11 \times 11$  (121) ช่องย่อย โดยแสดงขั้นตอนการหาพื้นที่สนใจในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการหาพื้นที่สนใจ (ROI) ของเหตุการณ์พายุเมอโลร์ ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลลมเพื่อระบุเหตุการณ์พายุ งานวิจัยของ [10] นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม เพื่อตัดสินใจเหตุการณ์พายุในพื้นที่สนใจ [ROI] ว่าเป็นเหตุการณ์พายุหรือไม่ สำหรับหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการตัดสินใจเหตุการณ์พายุเริ่มด้วยการนำความเร็วลมจากพื้นที่สนใจจากดาวเทียม QuikSCAT ที่มีค่า 0-50 เมตร/นาที่ มาสร้าง 4 บินฮิสโตแกรมด้วยการแบ่งขอบเขตของฮิสโตแกรมที่เท่ากันจะได้ค่าขอบบนสุดของแต่ละบินคือ คือ 12.5, 25.0, 37.5, 50.0 เมตรต่อวินาที [9] และนำทิศทางลมที่มีค่า 0-360 องศา มาสร้างฮิสโตแกรมที่มีขนาดบินเท่ากัน 24 บินฮิสโตแกรม ดังนั้นจะสามารถวิเคราะห์พื้นที่สนใจได้ว่าเป็นพายุหรือไม่ตามรูปที่ 4.3 โดยในกรณีเหตุการณ์พายุจะมีฮิสโตแกรมความเร็วลมหนาแน่นในบินที่ 2 ขึ้นไปดังรูปที่ 4.3(ข) ซึ่งจะไปตามเงื่อนไขที่ถูกระบุไว้ก่อนหน้าว่าค่าความแรงของพายุจะเริ่มต้นที่ 17 เมตรต่อวินาที และพื้นที่นี้จะถูกพิจารณาว่าเป็นพื้นที่มีโอกาสเป็นพายุ ในขณะที่เหตุการณ์ที่ไม่เป็นพายุฮิสโตแกรมความเร็วลมจะมีข้อมูลหนาแน่นส่วนใหญ่อยู่ในบินที่ 1 ดังรูปที่ 4.3(ข) นอกจากนี้คุณลักษณะความเร็วลมแล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะทิศทางลม ถูกนำมาพิจารณาความเป็นพายุจากฮีสโตแกรมของทิศทางลม โดยพบว่าการกระจายทุกทิศทางโดยแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4.3(ค) ซึ่งแตกต่างกับเหตุการณ์ไม่เป็นพายุฮีสโตแกรมทิศทางลมจะไม่กระจายเหมือนกรณีของเหตุการณ์พายุพิจารณาได้ดังรูปที่ 4.3(ง)



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมระหว่างเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ

ขั้นตอนถัดไปทำการคำนวณค่าสถิติของข้อมูลคุณลักษณะที่สำคัญประกอบด้วย ค่าความหนาแน่นของข้อมูล ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกัน ( $W(x,y)$ ) ถูกคำนวณบนพื้นฐานความสัมพันธ์ของกฎ 8 เพื่อนบ้านใกล้ ตามสมการที่ (4.1) ฟังก์ชันฮิวริสติกการแบ่งความเร็วลมสำหรับพายุ ( $h_{min}(n)$ ) ที่งานวิจัยของเรา [8] ได้นำเสนอไว้ตามสมการที่ (4.3) ขณะที่การกระจายของทิศทางลมและความเร็วลม ( $\sigma$ ) แสดงได้ดังสมการที่ (4.2) และค่าเฉลี่ยความเข้มแสงในภาพเมฆของพื้นที่สนใจทั้ง 121 ช่องย่อย โดยสามารถแสดงตัวอย่างของข้อมูลทั้ง 4 คุณลักษณะของเหตุการณ์พายุเมอโลร์ ที่เกิดขึ้นในวันที่ 2 ตุลาคม 2009 ดังรูปที่ 4.4 เช่น ช่องย่อยที่ 1 มีค่าความหนาแน่นของข้อมูล 92 เปอร์เซนต์ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกัน 6.2 เมตรต่อวินาที ค่า HWSD 8.4 และมีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของภาพเมฆ 139 เป็นต้น

Sub-block no.	Density %	W(x,y) m/s	HWSD	Intensity
1	92	6.2	8.4	139
2	90	6.5	7.7	146
3	93	7.0	7.9	146
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
121	89	7.2	6.5	110

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างคุณลักษณะทั้ง 4 ของเหตุการณ์พายุเมอโลร์ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009

$$W(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{x=-1}^1 \sum_{y=-1}^1 w_s(x, y) \quad (4.1)$$

โดยที่

$W(x, y)$  คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกันของตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $w_s(x, y)$  คือ ค่าเฉลี่ยความเร็วลมของช่องย่อยที่ตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $n$  คือ ขนาดหน้าต่างข้อมูล (window sizes)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.2)$$

โดยที่

$\sigma$  คือ ค่าการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม  
 $n$  คือ จำนวนฮีสโตแกรม  
 $x_i$  คือ ค่าฮีสโตแกรมของฮีสโตแกรมที่  $i$   
 $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยของฮีสโตแกรม

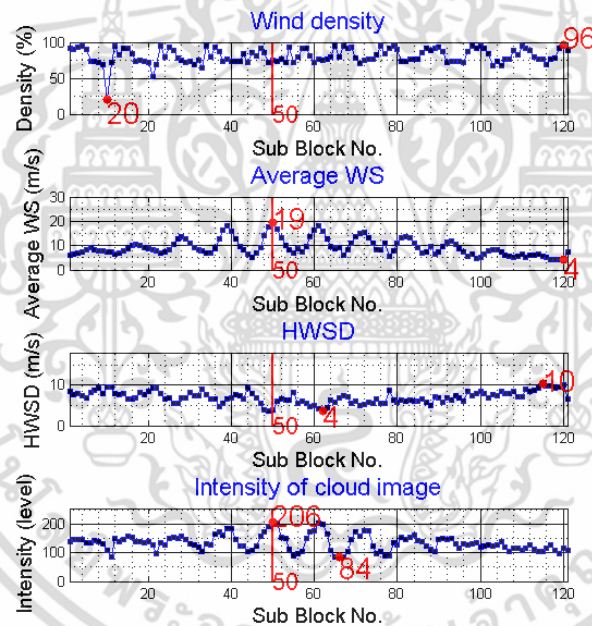
$$H = \begin{cases} (W(x, y) \times 0.1) + (\sigma_{ws} \times 0.025) + \sigma_{wd}; & W(x, y) \leq 16.3 \text{ m/s} \\ (2900/W(x, y)) + (\sigma_{ws} \times 0.001) + (\sigma_{wd} \times 0.030); & W(x, y) > 16.3 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4.3)$$

โดยที่

$H$  คือ ค่าฟังก์ชันฮิวริสติกของตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $\sigma_{ws}, \sigma_{wd}$  คือ ค่าการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมตามลำดับ

งานวิจัยที่ [8] นำเสนอฟังก์ชันฮิวริสติกการแบ่งความเร็วลมสำหรับพายุในสมการที่ (4.3) โดยเหตุการณ์พายุสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยเกณฑ์ของข้อมูลลม นั่นคือ กลุ่มที่ 1 เหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัวและพายุอ่อนกำลัง และกลุ่มที่ 2 เหตุการณ์พายุทวีกำลัง จากข้อมูลเบื้องต้นนี้งานวิจัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[7-8] ได้นำเสนอสถิติข้อมูลลมเพื่อใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งตาพายุว่าอยู่ในตำแหน่งใดของพื้นที่สนใจทั้งหมด 121 ตำแหน่ง และเพื่อความถูกต้องของข้อมูลจะเริ่มต้นพิจารณาพื้นที่สนใจตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จากนั้นค่าสถิติการกระจายของทิศทางลม การกระจายของความเร็วลม และ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่สนใจจะถูกคำนวณ ในกรณีที่ความเร็วลมเฉลี่ยของพายุมากกว่า 16.3 เมตรต่อวินาที ระบบออกแบบให้เป็นพายุที่มีความรุนแรงเนื่องจากกรณีที่พายุมีความรุนแรงมากศูนย์กลางพายุจะมีความเร็วลมน้อยมาก ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางพายุจะอยู่ที่ตำแหน่งในพื้นที่สนใจที่มีค่าการกระจายของทิศทางลมและการกระจายของความเร็วลมต่ำ ในขณะที่ความเร็วลมเฉลี่ยของพายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16.3 เมตรต่อวินาที ระบบออกแบบให้เป็นพายุอ่อนกำลัง ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางพายุจะอยู่ที่ตำแหน่งที่มีค่าการกระจายของทิศทางลมและการกระจายของความเร็วลมสูงกว่ากลุ่มพายุที่มีความรุนแรง ด้วยความสัมพันธ์ที่กล่าวมานี้ สามารถสร้างเป็นฟังก์ชันฮิสตริกที่คำนวณจากค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อย  $W(x,y)$  ค่าการกระจายฮิสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมตามลำดับ  $(\sigma_{WS}, \sigma_{WD})$



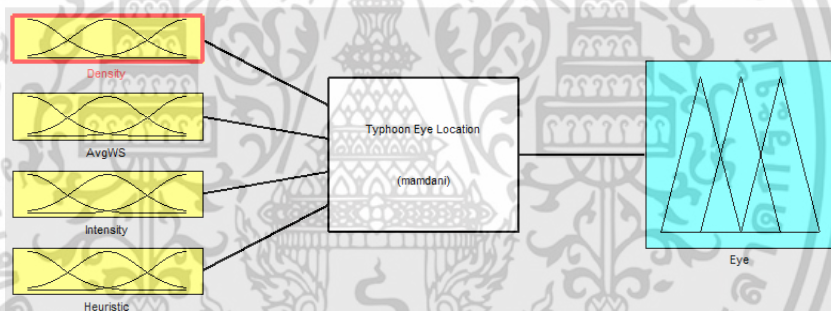
รูปที่ 4.5 กราฟคุณลักษณะของเหตุการณ์พายุเมอโลร์ในวันที่ 2 ตุลาคม 2009 ช่องย่อยที่ 1-121

จากรูปที่ 4.4 สามารถนำมาสร้างกราฟคุณลักษณะระหว่างช่องย่อยที่ 1-121 ได้ดังรูปที่ 4.5 เช่น ความหนาแน่นของข้อมูลในพื้นที่สนใจตำแหน่งช่องย่อยที่ 1-3 มีค่า 92.00, 90.00, 93.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ขณะเดียวกันในรูปได้แสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละคุณลักษณะ ดังนั้นค่าความหนาแน่นสูงสุดและต่ำสุดอยู่ช่องย่อยที่ 120 และ 10 โดยมีค่าของความหนาแน่น 97 และ 43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนเส้นทึบในแนวแกนตั้งค่าตำแหน่งช่องย่อยของตาพายุในพื้นที่สนใจระบุโดยหน่วยงาน JTWC โดยในรูปที่ 4.5 อยู่ในช่องย่อยที่ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การระบุตำแหน่งตาพายุด้วยทฤษฎีฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์

จากการระบุตำแหน่งตาพายุด้วยข้อมูลสถิติของข้อมูลลมและภาพเมฆบางครั้งอาจจะไม่สามารถตัดสินใจหาคำตอบได้ชัดเจน โดยข้อมูลคำตอบอาจจะมีค่าแยกออกจากกลุ่มหรือแตกต่างกันไปจากสมาชิกในกลุ่ม เนื่องจากค่าสถิติเหล่านี้ยังกำกวมจนยากต่อการตัดสินใจ จึงจำเป็นต้องนำระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์มาช่วยพิจารณาการตัดสินใจ เนื่องจากระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์เปิดโอกาสให้ข้อมูลคำตอบสามารถอยู่ข้ามกลุ่มได้ โดยฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์จะอาศัยประสบการณ์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญทำการแปลงข้อมูลอินพุต (crisp input) ให้อยู่ในรูปแบบของค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (membership function) ที่สัมพันธ์กับแต่ละฟัซซีเซต จากนั้นจะอาศัยหลักการของทฤษฎีฟัซซีอธิบายความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลและวิธีการตัดสินใจ และแปลงข้อมูลกลับเป็นข้อมูลผลลัพธ์ (crisp output) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้เหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการระบุตำแหน่งพายุด้วยระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์แบบ Mandani [41] โดยวิเคราะห์หาตำแหน่งตาพายุในพื้นที่ 121 ช่องย่อยของพื้นที่สนใจ (ROI) ประกอบด้วยข้อมูลอินพุต 4 ค่า คือ ความหนาแน่นของพื้นที่ ความเร็วลมเฉลี่ย ค่า HWSD และ ความเข้มแสงของภาพเมฆ และค่าเอาต์พุต 1 ค่าคือ ตำแหน่งพื้นที่ย่อยที่เหมาะสมจะเป็นตาพายุ ดังแสดงภาพรวมของระบบได้ดังรูปที่ 4.6



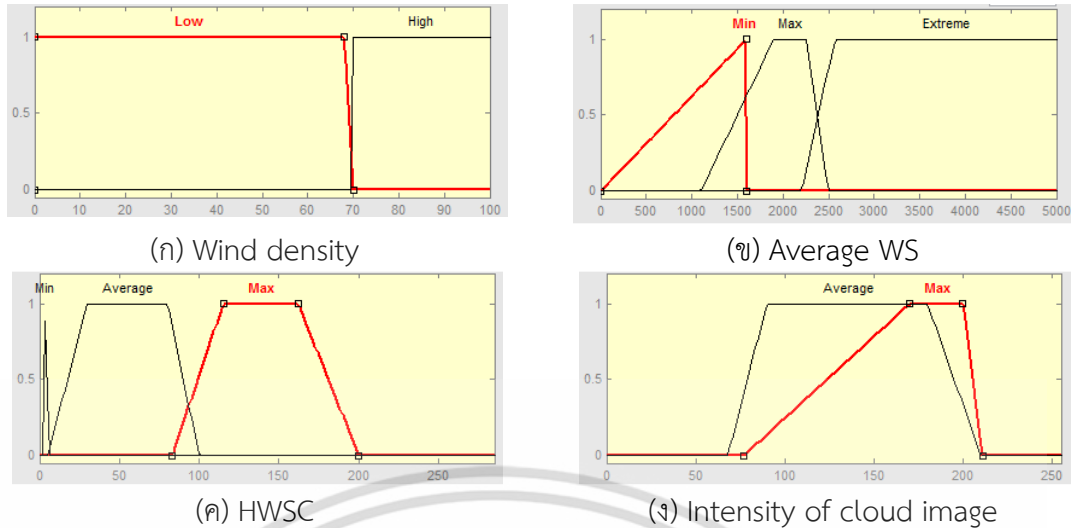
รูปที่ 4.6 การหาตำแหน่งตาพายุด้วยระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์

### 4.2.1 การหาค่าระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzification)

ขั้นตอนนี้จะทำการแปลงอินพุตให้อยู่ในรูปแบบของค่าหรือระดับความเป็นสมาชิกที่มีความสัมพันธ์กับแต่ละฟัซซีเซต โดยระดับความเป็นสมาชิก (Membership functions : MF) ของอินพุตทั้ง 4 ค่า สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 4 ค่า ในระบบ FIS

Name	Symbol	Range	Unit	Membership function(MF)
Wind Density	$\sigma$	1-100	%	Low, High
Weight average of WS	W	0-50	m/s	Min, Max, Extreme
HWSD function	HWSD	0-300	-	Min, Average, Max
Intensity of cloud image	I	0-255	level	Average, Max



รูปที่ 4.7 แสดงการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้ง 4 ค่าในระบบ FIS

สามารถอธิบายรายละเอียดของอินพุตทั้ง 4 ค่าได้ดังต่อไปนี้

ก) ความหนาแน่นของข้อมูล (Wind density)

ความหนาแน่นของข้อมูลเป็นแนวคิดที่สำคัญสำหรับวัดปริมาณจำนวนข้อมูลต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความหนาแน่นจึงเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ติดตามเหตุการณ์พายุ ในงานวิจัยเกี่ยวกับการระบุเหตุการณ์พายุ [9-11] พบข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลขาดหายไปของดาวเทียม QuikSCAT โดยเป็นผลให้การวิเคราะห์ผิดพลาด ดังนั้นคุณลักษณะความหนาแน่นนี้ จึงจำเป็นในการตรวจสอบว่าพื้นที่ที่กำลังพิจารณา มีข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์หรือไม่ ด้วยเหตุนี้คุณลักษณะความหนาแน่นมีค่า 0-100 % แบ่งความเป็นสมาชิก ออกเป็น 2 ระดับ คือ จำนวนข้อมูลน้อย (Low MF) และจำนวนข้อมูลมาก (High MF) โดยสามารถแสดงการแบ่งความเป็นสมาชิกของความหนาแน่นได้ดังรูปที่ 4.7(ก)

ข) ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความเร็วลม (Weighted average of wind speed)

คุณลักษณะนี้ใช้วิเคราะห์ระดับความแรงของลมพายุในพื้นที่ช่องย่อยที่สนใจ โดยความรุนแรงของพายุมีค่าระหว่าง 0-50 เมตรต่อวินาที และในงานวิจัยสามารถแบ่งพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักความเร็วลมออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วยระดับเริ่มต้น (Min MF) รองรับพายุดีเปรสชันเขตร้อน ระดับปานกลาง (Max MF) รองรับพายุโซนร้อน และระดับรุนแรง (Extreme MF) รองรับพายุระดับ 1-5 ตามมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สันแสดงในรูปที่ 4.7(ข)

ค) ค่าฮิวริสติกการแบ่งความเร็วลมสำหรับพายุ (HWSC)

คุณลักษณะนี้เป็นแนวคิดใหม่ที่ได้รับมาจากการแก้ปัญหาการค้นหาพิกัดตาพายุในงานวิจัยที่ [8] สามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ดังสมการที่ 4.3 เพื่อบูรณาการข้อมูลสถิติของความเร็วลมและทิศทางลม จากงานวิจัยที่ [8] พบว่าค่า HWSC เป็นสิ่งจำเป็นและมีอิทธิพลต่อความเป็นไปได้ที่จะนำมาวิเคราะห์พื้นที่ช่องย่อยที่สนใจ ค่า HWSC สามารถ

แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย คือ ระดับต่ำ (Min MF) ระดับปานกลาง (Average) และระดับสูง (Max MF) โดยรองรับพายุที่มีความเร็วลมระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7(ค) และสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.6)

ง) ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสีเทาของภาพเมฆ (The intensity statistics of cloud image)

ขณะเกิดพายุ ลักษณะรูปร่างของก้อนเมฆจะบอกถึงทิศทางกาลไหลเวียนของลมได้ โดยปกติแล้วค่าความเข้มสีเทาของภาพเมฆอยู่ระหว่าง 0-255 ระดับ ดังนั้นความเข้มแสงสีเทาของภาพเมฆสามารถแยกก้อนเมฆและพื้นผิวโลกได้ เนื่องจากก้อนเมฆจะมีความเข้มแสงไปในเฉดสีขาว (ค่าความเข้มแสงสีเทา=255) ขณะที่พื้นผิวโลกจะมีความเข้มแสงในเฉดสีดำ (ค่าความเข้มแสงสีเทา=0) สามารถแสดงลักษณะความเข้มแสงของภาพเมฆขณะเกิดพายุพายุเมโอล์ ของวันที่ 6 ตุลาคม 2009 ได้ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากงานวิจัยต้องการศึกษาคุณลักษณะของก้อนเมฆ ดังนั้นจึงให้ความสำคัญกับค่าเฉลี่ยระดับสีเทาระดับปานกลางถึงสูง โดยสามารถแบ่งการพิจารณาได้ 2 ระดับ คือพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสีเทาระดับปานกลาง (Average MF) สำหรับรองรับข้อมูลภาพที่มีตาพายุชัดเจน ในขณะที่ความเข้มแสงสีเทาระดับสูง (Max MF) สำหรับรองรับข้อมูลภาพที่มีตาพายุคลุมเครือ ดังรูปที่ 4.7(ง) และสมการที่ (4.7)



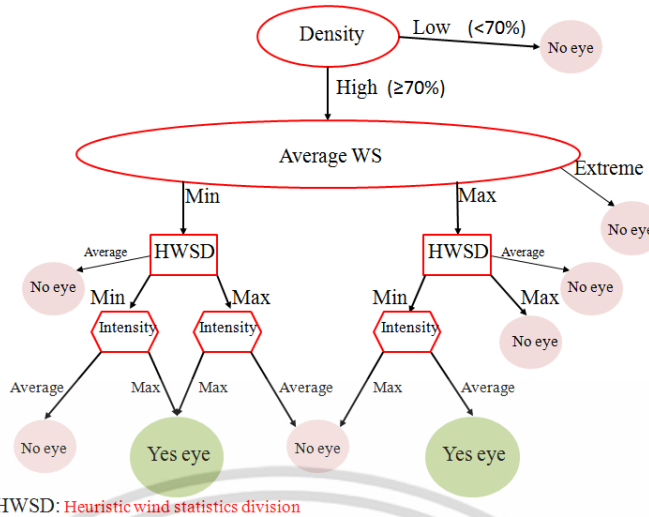
รูปที่ 4.8 ภาพความเข้มแสงของภาพเมฆในเหตุการณ์พายุเมโอล์ เมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2009

#### 4.2.2 การอนุมาน (Inference)

กฎการอนุมานฟัซซี่ถูกสร้างขึ้นสำหรับค้นหาตำแหน่งที่เป็นไปได้ของตาพายุจากพื้นที่สนใจที่แบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยทั้งหมด 121 ช่อง ในรูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างการพิจารณาคูณลักษณะสำหรับหาตำแหน่งตาพายุของงานวิจัย ด้วยข้อมูลอินพุต 4 ค่า เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลเอาต์พุต 1 ค่า คือตำแหน่งช่องย่อยที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีข้อมูลตาพายุ โดยสามารถสร้างกฎเพื่อพิจารณาได้ 4 ข้อดังต่อไปนี้

- 1 If (Wind density is Low) then (Eye is No)
2. If (Wind density is High) and (AvgWS is Min) and (HWSC is Max) and (Intensity of cloud image is Max) then (Eye is Yes)
3. If (Wind density is High) and (AvgWS is Max) and (HWSC is Min) and (Intensity of cloud image is Average) then (Eye is Yes)
4. If (Wind density is High) and (AvgWS is Min) and (HWSC is Min) and (Intensity of cloud image is Max) then (Eye is Yes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงการหาตำแหน่งตาพายด้วยคุณลักษณะของอินพุตทั้ง 4 ค่า

### 4.2.3 การทำดีฟัซซี (Defuzzification)

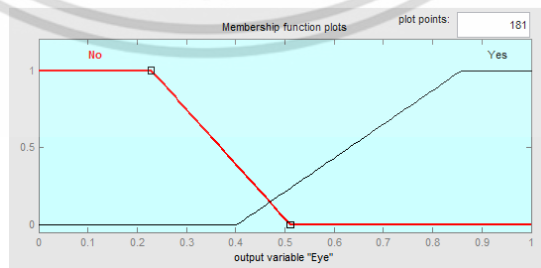
การทำดีฟัซซีเป็นขั้นตอนการแปลงค่าผลลัพธ์ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตจากการรวมกฎให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุตชัดเจน (crisp output) การทำดีฟัซซีมีหลายเทคนิคด้วยกัน เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (the Center of Area: COA) วิธีการหาค่าน้อยสุดของค่าสูงสุด (the smallest of maxima: SOM) วิธีการหาค่ามากที่สุดของค่าสูงสุด (the largest of maxima: LOM) และวิธีการหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (the mean of maxima :MOM) อย่างไรก็ตามเทคนิคการทำดีฟัซซีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (COA) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4.4)

$$Z = \frac{\int \mu(x) \cdot x \, dx}{\int \mu(x) \, dx} \tag{4.4}$$

โดยกำหนดให้

Z คือ ค่าผลลัพธ์การทำดีฟัซซี

$\mu(x)$  คือ ค่าฟังก์ชันของสมาชิกผลลัพธ์ทั้งหมด

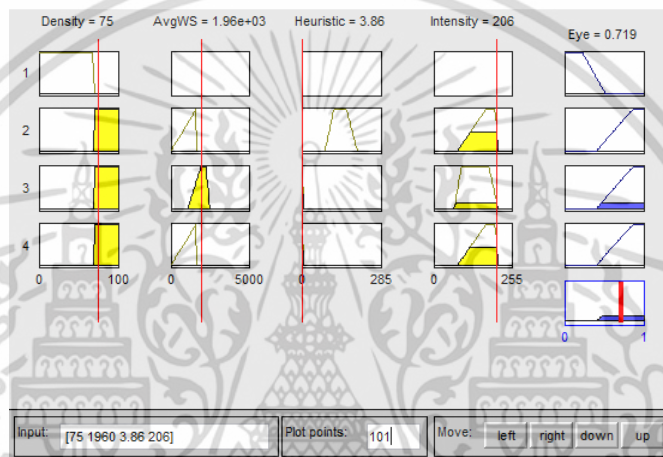


รูปที่ 4.10 แสดงการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตในระบบ FIS

สำหรับขั้นตอนการแปลงผลลัพธ์ให้เป็นค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบ ในงานวิจัยนี้มีข้อมูลเอาต์พุต 1 ค่าโดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ พื้นที่ย่อยที่พิจารณาไม่ใช่ตำแหน่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตาพายู (No MF) และพื้นที่ย่อยที่พิจารณาเป็นตำแหน่งของตาพายู (Yes MF) โดยสามารถแสดงค่าฟังก์ชันสมาชิกของข้อมูลออกได้ดังรูปที่ 4.10

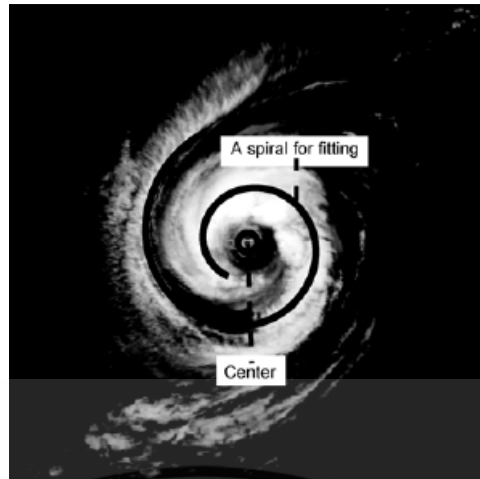
ตัวอย่างการวิเคราะห์ตำแหน่งตาพายูด้วยระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ของงานวิจัยที่ตำแหน่งช่องย่อยที่ 50 จาก 121 ช่องย่อยแสดงดังรูปที่ 4.11 ด้วยการป้อนข้อมูลอินพุตด้วยค่าความหนาแน่นของข้อมูล ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกัน ค่า HWSD และมีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของภาพเมฆ มีค่า 75 เปอร์เซนต์ 19.6 เมตรต่อวินาที 3.86 และ 206 ตามลำดับ ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ฟัซซีเท่ากับ 0.719 เป็นการตีความว่าตำแหน่งช่องย่อยที่ 50 ของพื้นที่สนใจนี้มีความเป็นไปได้ที่จะมีตำแหน่งศูนย์กลางพายู อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ตำแหน่งตาพายูที่แม่นยำมากขึ้น งานวิจัยได้นำทฤษฎีโค้งกันหอยเข้ามาช่วยวิเคราะห์รูปร่างของเกลียวเมฆ เพื่อระบุตำแหน่งตาพายูโดยละเอียด ซึ่งอธิบายในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ตำแหน่งตาพายูด้วยระบบฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์

### 4.3 การระบุตำแหน่งโดยละเอียดด้วยทฤษฎีโค้งกันหอยร่วมกับภาพเมฆ

เพื่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งตาพายูมากขึ้น ทฤษฎีโค้งกันหอย (Spiral Curve Model: SCM) เป็นการประยุกต์โค้งกันหอยแบบลอการิทึมเพื่อสกัดเกลียวโค้งจากภาพเมฆสำหรับหาตำแหน่งศูนย์กลางพายู ถูกนำมาใช้เป็นเทคนิคในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัย โดยทฤษฎีโค้งกันหอยจะนำตำแหน่งตาพายูที่ได้จากขั้นตอนทฤษฎีฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ มาขยายผลการค้นหาตำแหน่งตาพายูโดยละเอียดบนภาพเมฆ ด้วยการค้นหาคุณลักษณะของเมฆที่มีรูปแบบโค้งและเป็นเกลียว โดยอาศัยหลักการพิจารณาลักษณะของโค้งกันหอยที่นำเสนอในงานวิจัยที่ [13] ว่าจุดข้อมูลที่ประกอบกันเป็นโค้งกันหอยจะมีสีสว่างโดดเด่นชัดเจนเป็นแนวเดียวกัน ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.12 ดังนั้นประสิทธิภาพของการหาค้นหาโค้งเกลียวเมฆขึ้นอยู่กับการค้นหาคุณลักษณะของโค้งกันหอยให้เหมาะสมกับภาพเมฆนั้นๆ โดยพิจารณาจากความสว่างชัดเจนของจุดข้อมูลประกอบกันเป็นเส้นทางโค้งกันหอย แล้วจึงพิจารณาเลือกจุดศูนย์กลางพายูจากจุดศูนย์กลางของโค้งเกลียวเมฆที่เหมาะสมกับภาพเมฆนั้นๆ โดยสามารถหาโค้งเกลียวเมฆได้จากสมการที่ (4.5)



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการระบุโค้งก้นหอยบนภาพที่มีความละเอียด  $400 \times 400$  พิกเซล ค่าพารามิเตอร์ของโค้งเกลียวเมฆประกอบด้วย  $(c_x, c_y) = (201, 201)$ ,  $a = 24.5$ ,  $b = -0.1309$  ( $-7.5^\circ$ ),  $\theta \in [610^\circ, 120^\circ]$ ,  $\theta_0 = 120^\circ$ ,  $\Theta = 490^\circ$  [13]

$$\begin{aligned} x(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)} \cos(\theta+\theta_0) + c_x, \\ y(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)} \sin(\theta+\theta_0) + c_y. \end{aligned} \quad (4.5)$$

โดยที่

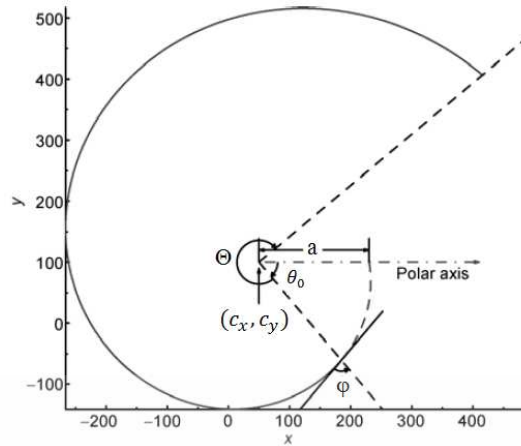
$(c_x, c_y)$  คือ จุดศูนย์กลางของโค้งเกลียวเมฆ

$\theta_0$  คือ มุมเริ่มต้นของโค้งเกลียวเมฆ

$a, b$  คือ พารามิเตอร์สำหรับปรับรัศมีและความโค้ง และทิศทางของเกลียวเมฆตามลำดับ

$\Theta$  คือ ระยะทางเชิงมุมของโค้งเกลียวเมฆจากมุมเริ่มต้น  $\theta_0$

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการสร้างโค้งเกลียวเมฆประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ 4 พารามิเตอร์ คือที่  $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$  และ  $\Theta$  และสมการที่ (4.5) เครื่องหมายในค่า  $b$  คือตัวกำหนดทิศทางของเกลียวเมฆว่าจะเป็นไปในทิศทางตามหรือทวนเข็มนาฬิกา โดยกรณีที่ตัวแปร  $b$  มีค่าเป็นลบแสดงว่าเกลียวเมฆเคลื่อนที่ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามเมื่อตัวแปร  $b$  มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเกลียวเมฆเคลื่อนที่ไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา และในขณะที่ตัวแปร  $b$  มีค่าเป็น 0 โค้งเกลียวเมฆจะมีลักษณะเป็นวงกลมที่มีรัศมี  $a$  นอกจากนี้ในงานวิจัยที่ [13] ได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับพายุที่เกิดขึ้นทางซีกโลกเหนือส่วนใหญ่จะมีทิศทางของเกลียวเมฆตามเข็มนาฬิกา จึงเป็นผลให้โค้งเกลียวเมฆที่ได้มีค่าเป็นลบ ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.13 โดยจากการแสดงโค้งเกลียวเมฆในรูปที่ 4.13 พบว่าค่า  $b$  มีค่าเท่ากับ  $-0.175$  เป็นผลทำให้โค้งเกลียวเมฆมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากจุดศูนย์กลาง  $(c_x, c_y)$  และมีมุมของโค้งเกลียวเมฆอยู่ระหว่าง  $[\theta_0 + \Theta, \Theta]$



รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างโค้งเกลียวเมฆที่ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์  
 $(c_x, c_y) = (50, 100)$ ,  $a = 180$ ,  $b = -0.175(-10^\circ)$ ,  $\theta \in [-320^\circ, -50^\circ]$ ,  
 $\theta_0 = -50^\circ$ ,  $\Theta = -270^\circ$  [18].

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับแต่งตำแหน่งของตาข่ายที่ได้รับจากขั้นตอนในหัวข้อ 4.2 ด้วยการค้นหาโค้งเกลียวเมฆที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภาพที่พิจารณา โดยการสร้างโค้งเกลียวเมฆให้มีระยะห่าง 0.1 องศา ครอบคลุมพื้นที่  $1.3 \times 1.3$  องศา จากตำแหน่งตาข่ายที่ได้รับมาจากหัวข้อ 4.2 สำหรับเกณฑ์การเลือกโค้งเกลียวเมฆที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับค่าการกระจายความสว่างของโค้งเกลียวเมฆ ( $f_{11}$ ) [13] ที่สามารถคำนวณได้ในสมการที่ (4.6) ดังนั้นตำแหน่งตาข่ายที่เหมาะสมที่สุดกับภาพเมฆที่พิจารณา คือตำแหน่งศูนย์กลางของโค้งเกลียวเมฆที่ให้ค่าการกระจายความสว่างของโค้งเกลียวเมฆ ( $f_{11}$ ) มากที่สุดนั่นเอง

$$f_{11} = \frac{\text{Grayscale mean along spiral}}{\text{Grayscale SD along spiral}} = \frac{m_1}{s_1} \quad (4.6)$$

โดยที่  $m_1$  และ  $s_1$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.7) และ (4.8) ตามลำดับ

$$m_1 = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} I(x(\theta), y(\theta)) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \quad (4.7)$$

$$s_1 = \left( \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} |I(x(\theta), y(\theta)) - m_1|^2 d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.8)$$

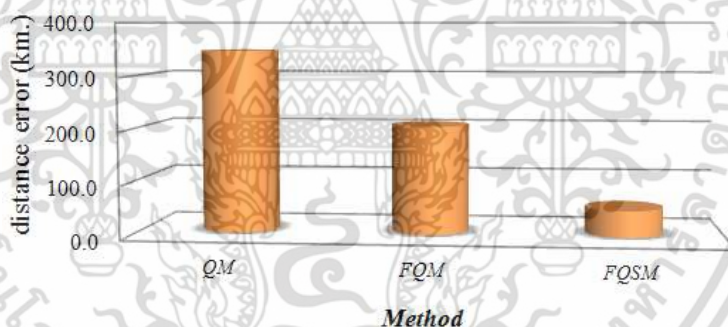
โดยที่  $I(x(\theta), y(\theta))$  คือตำแหน่งข้อมูลระดับสีเทา ณ ตำแหน่ง  $(x, y)$

$x(\theta), y(\theta)$  คือตำแหน่ง  $x$  และ  $y$  ของโค้งเกลียวเมฆจากมุมเริ่มต้น  $\theta$

#### 4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบตำแหน่งตาพายุด้วยวิธี QM FQM และ FQSM

ตัวอย่างการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งตาพายุ จากฐานข้อมูล QuikSCAT (QuikSCAT Method: QM) [7] วิธีค้นหาด้วยระบบอนุमानพีซซีในฐานข้อมูล QuikSCAT (FIS on QuikSCAT Method: FQM) และวิธีค้นหาด้วยระบบอนุमानพีซซีในฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (FIS on QuikSCAT & Spiral cloud Method: FQSM) ของวันที่ 4 สิงหาคม 2009 ในเหตุการณ์พายุมรกต โดยแสดงค่าผิดพลาดในการระบุตำแหน่งตาพายุเปรียบเทียบกับเมื่อเทียบกับ 3 หน่วยงานอ้างอิง คือ JTWC, HKO และ JMA แสดงดังรูปที่ 4.14

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าวิธี FQSM มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยให้ค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งตาพายุที่น้อยที่สุดคือ 50.3 กิโลเมตร ขณะที่วิธี FQM และ QM ให้ค่าความผิดพลาดน้อยลงมากคือ 205.4 และ 347.0 กิโลเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าวิธี QM ค้นหาตำแหน่งพายุ โดยใช้จุดศูนย์กลางของพื้นที่สนใจที่มีระดับความเร็วลมสูงของข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการค้นหาตำแหน่งตาพายุ จึงจำเป็นต้องนำระบบพีซซีอินเฟอเรนซ์ (FQM) มาช่วยพิจารณาการตัดสินใจ ทำให้การระบุตำแหน่งตาพายุมีความผิดพลาดน้อยลง แต่เมื่อนำทฤษฎีโค้งกันหอยมาขยายผลการค้นหาตำแหน่งตาพายุ ทำให้มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งตาพายุได้ดีขึ้น เนื่องจากเมื่อทราบลักษณะเกลียวโค้งของก้อนเมฆที่แน่นอน จะสามารถอ้างอิงตำแหน่งตาพายุได้แม่นยำขึ้น



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี QM, FQM และ FQSM ด้วยการระบุระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดเปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงานอ้างอิงของเหตุการณ์พายุมรกตเมื่อ 4 สิงหาคม 2009

ในบทที่ 5 จะนำวิธีการที่น่าเสนอนี้ทดสอบและวิเคราะห์ร่วมกับพายุที่มีความรุนแรงแตกต่างกันไปอีก 5 เหตุการณ์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุमानพีซซีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการระบุตาพายุที่น่าเสนอ และทดสอบความยืดหยุ่นของวิธีการให้รองรับต่อเหตุการณ์พายุที่มีความหลากหลายรูปแบบ

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอ รายละเอียดของฐานข้อมูล การทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบค้นหาพิกัดตาพายุอัตโนมัติด้วยระบบอนุมานฟัซซีที่ได้นำเสนอ ในงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ [7 8] ซึ่งเป็นระบบการค้นหาพิกัดตาพายุโดยอาศัย เทคนิคการค้นหาแบบดีที่สุด (Best first search) ร่วมกับข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT และ ภาพเมฆ โดยทำการทดลองด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) อินเทลคอร์ ไอ เซเว่น (Intel CORE i7) 2.00 GHz หน่วยความจำ (RAM) 8 GB ร่วมกับระบบอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani ทำงานบนโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2013a

สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ได้แก่ข้อมูลลมจากดาวเทียม QuikSCAT และภาพถ่ายดาวเทียมเมฆของศูนย์ร่วมการเตือนภัยไต้ฝุ่น (Joint Typhoon Warning Center : JTWC) จากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย (Thai Meteorological Department :TMD) โดยเป็นข้อมูลของพื้นที่ทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกในพื้นที่ละติจูด 0-40 องศาเหนือ และ ลองจิจูด 110-160 องศาตะวันออก และได้เลือกเหตุการณ์พายุจำนวน 6 เหตุการณ์ ประกอบด้วย พายุหม่าयी (Man-yi) ยวู่ (Yutu) และ ฮากีบิส (Hagibis) ในปี ค.ศ. 2007 พายุจังมี (Jangmi) ในปี ค.ศ. 2008 พายุเมโลร์ (Melor) และ พายุมรกต (Morakot) ในปี ค.ศ. 2009 เพื่อนำมาใช้ในการ ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ สำหรับพายุทั้ง 6 เหตุการณ์นี้เป็นตัวแทนของพายุที่มีความเร็วลมทั้ง 5 ระดับ ตามมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน [2] โดยการระบุตำแหน่งตาพายุของงานวิจัยจะ ถูกกำหนดจากทุกช่วงพารามิเตอร์ที่ให้ค่า  $f_{11}$  สูงสุด ในตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลของตัวอย่างของพายุ 6 เหตุการณ์ประกอบด้วย ช่วงระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์พายุ วงจรพายุ และความเร็วลมพายุสูงสุด ส่วนรูปที่ 5.1 แสดงระดับความรุนแรงของพายุแต่ละเหตุการณ์เมื่อเทียบกับมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน

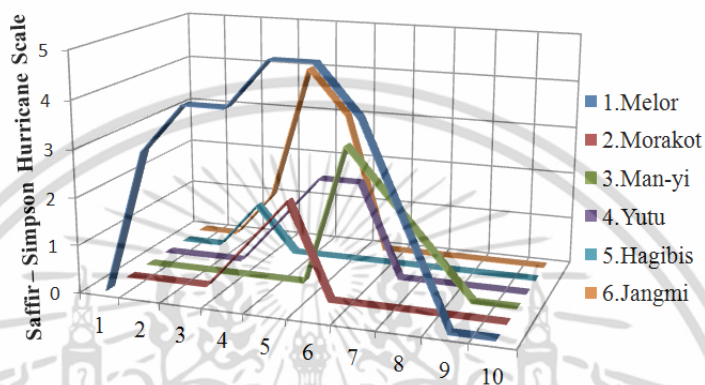
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลพายุที่ใช้ในการทดลอง

Track no.	Name	Lifetime	Storm Scale	Duration	Max speed	
				days	mph	m/s
1	Melor	30 Sep-9 Oct 2009	5	10	165	73.8
2	Morakot	2-10 Aug 2009	2	8	100	44.7
3	Man-yi	7-16 Jul 2007	3	8	114	50.1
4	Yutu	16-22 May 2007	2	7	104	46.5
5	Hagibis	20-27 Nov 2007	1	8	75	33.5
6	Jangimi	24-30 Sep 2008	4	7	137	61.2

mph: mile per hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการค้นหาพิกัดตาพายู่อัตโนมติ งานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับ 3 หน่วยงาน คือ ศูนย์ร่วมการเตือนภัยไต้ฝุ่น (Joint Typhoon Warning Center: JTWC) กรมอุตุนิยมวิทยาฮ่องกง (Hong Kong Observatory: HKO) และสำนักอุตุนิยมวิทยาญี่ปุ่น (Japan Meteorological Administration: JMA) นอกจากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบค้นหาพิกัดตาพายู่อัตโนมติด้วยระบบอนุमानพีซีแล้ว ในบทนี้ยังได้มีการอภิปรายถึงเหตุผลของการเลือกแหล่งข้อมูลสำหรับนำมาทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาคุณลักษณะเด่น คุณลักษณะด้อยของแหล่งข้อมูลก่อนนำมาทดลองร่วมกับงานวิจัย



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างพายู 6 เหตุการณ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน

## 5.1 รายละเอียดและการวิเคราะห์ฐานข้อมูล QuikSCAT และภาพเมฆ

ปัจจุบันนักวิจัยนิยมนำข้อมูลจากดาวเทียม มาวิเคราะห์จัดกลุ่มตามหลักสถิติเพื่อพยากรณ์เนื่องสามารถกำหนดเวลาและเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมจากทุกจุดทั่วโลก

### 5.1.1 ฐานข้อมูล QuikSCAT

ดาวเทียม QuikSCAT (Quick Scatterometer) [45] เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศจัดเป็นดาวเทียมสำรวจประเภทหนึ่ง มีจุดประสงค์เพื่อเตือนภัยเมื่อเกิดพายุและยังสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของพายุได้อีกด้วย ดาวเทียม QuikSCAT เป็นดาวเทียมโคจรบริเวณขั้วโลกใช้สำหรับเก็บข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับความเร็วลมบนพื้นผิวมหาสมุทร ด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลม ที่จัดตั้งขึ้นโดยองค์การนาซ่าโดยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999-2009 ดาวเทียม QuikSCAT สามารถวัดพื้นที่บนผิวโลกได้กว้างประมาณ 1800 กิโลเมตร เก็บข้อมูลสองครั้งต่อวันครอบคลุมทั่วพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่กำหนด และสามารถแสดงพารามิเตอร์วงโคจรของดาวเทียม QuikSCAT ได้ดังตารางที่ 5.2

ส่วนงาน The SeaWinds Processing and Analysis Center (SeaPAC) ที่ห้องทดลอง JPL (Jet Propulsion Laboratory) เป็นผู้รับผิดชอบในการรับข้อมูล และวิเคราะห์ โดยประมวลผลจากเครื่องวัดระยะไกลภายในดาวเทียม แล้วจะถูกส่งไปที่ส่วนงาน Physical Ocean Distributed Active Archive Center 1 (PO.DAAC) เพื่อจำหน่ายข้อมูลโดยแบ่งออกได้หลายหลายระดับ เช่น ระดับ 1B (time-ordered earth-located radar backscattering coefficient,  $\sigma_0$ ) ระดับ 2A (surface flagged  $\sigma_0$  and attenuations ใน 25 กม. และ 12.5 กม. ตารางแถว) ระดับ 2B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

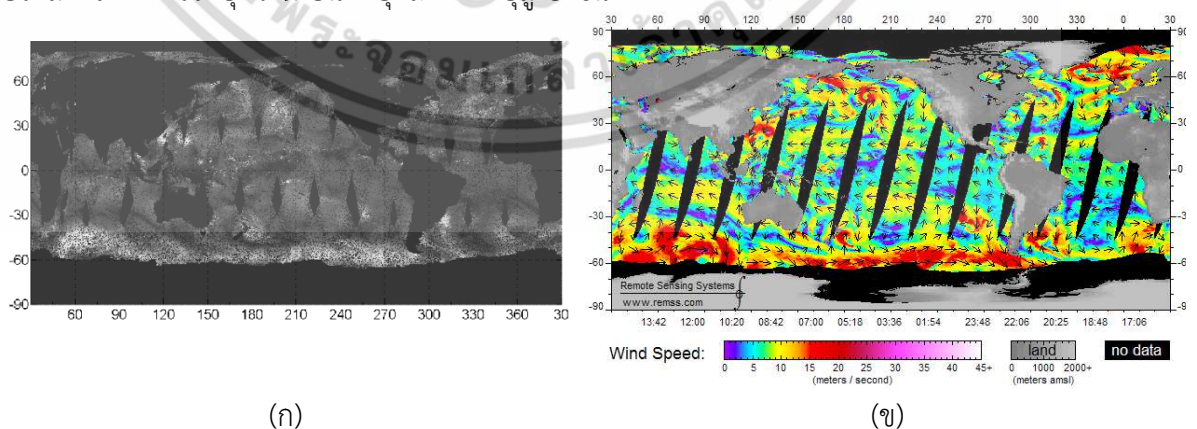
(ความเร็วลมในมหาสมุทรที่ความกว้าง 25 กม. และ 12.5 กม. ตารางแถว) และระดับข้อมูลที่สูงกว่าขึ้นไปนำไปใช้ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์

นอกจากนี้พบว่ามีงานวิจัยมากมาย [7-12 47-50] นำข้อมูลของดาวเทียม QuikSCAT มาประกอบการวิเคราะห์งานทางด้านอุทกนิยมิวิทยา ซึ่งแสดงถึงการได้รับการยอมรับจากนักวิจัยว่าข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT มีประสิทธิภาพมีความน่าเชื่อถือเหมาะสมที่จะนำมาเป็นข้อมูลสำหรับค้นหาเส้นทางพายุ

ตารางที่ 5.2 แสดงพารามิเตอร์วงโคจรของดาวเทียม QuikSCAT [45]

Recurrent period	4 days (57 orbits)
Orbital Period	101 minutes (14.25 orbits/day)
Local Sun time at Ascending node	6:00 A.M. $\pm$ 30 minutes
Altitude above Equator	803 Km
Inclination	98.616 $^{\circ}$

เนื่องจากดาวเทียม QuikSCAT มีวงโคจรในแนวขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ และโลกก็มีการหมุนรอบตัวเอง ทำให้แต่ละรอบที่ดาวเทียมโคจรผ่านนั้น ดาวเทียมสามารถเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่แตกต่างกันไป ด้วยเหตุนี้ทำให้ดาวเทียมสามารถโคจรผ่านได้ทุกพื้นที่ของโลก ขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความไม่สมบูรณ์ของการเก็บข้อมูลเนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องได้ทุกพื้นที่ ทำให้บางภูมิภาคขาดความสมบูรณ์ของข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลของดาวเทียม QuikSCAT ในรูปที่ 5.2 โดยนำข้อมูลตัวเลขความเร็วลมของดาวเทียม QuikSCAT มาจัดเรียงตามตำแหน่งให้สัมพันธ์กับค่าละติจูดและค่าลองจิจูดและเนื่องจากโลกมีลักษณะเป็นทรงกลมจึงต้องทำการประมาณค่าข้อมูล (interpolation) ในบางจุดให้เหมาะสมกับตำแหน่งบนพื้นโลกแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 (ก) โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลวันเดียวกันในรูปที่ 5.2 (ข) [46] และจากข้อมูลในรูปที่ 5.2 (ก) และ 5.2 (ข) จะสังเกตเห็นได้ว่ามีข้อมูลที่ขาดหายไปบางพื้นที่ ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบของข้อมูลที่ขาดหายนี้จำเป็นที่งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์พายุต้องใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลอื่นมาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อได้ประสิทธิภาพการระบุความเป็นพายุและตาพายุสูงขึ้น



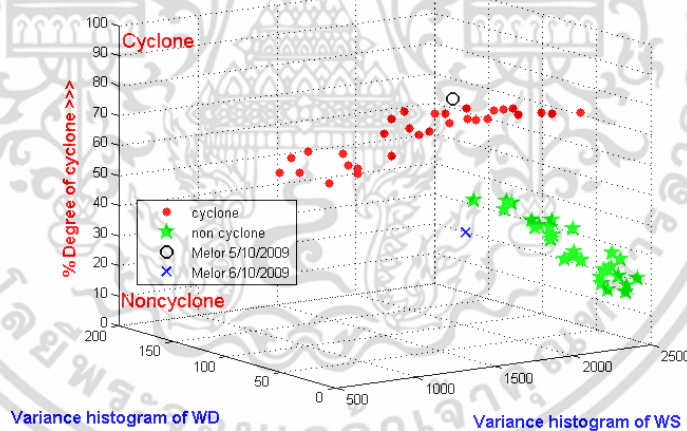
รูปที่ 5.2 แสดงเหตุการณ์พายุเมือโลร์ ในวันที่ 6 ตุลาคม 2009 ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม QuikSCAT

(ก) แสดงการนำข้อมูลความเร็วลมจากดาวเทียม QuikSCAT

(ข) แสดงการนำข้อมูลความเร็วลมจากดาวเทียม QuikSCAT จาก [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาเหตุการณ์พายุในพื้นที่สนใจด้วยวิธีในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 สำหรับแบ่งกลุ่มเหตุการณ์พายุด้วยการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมจากดาวเทียม QuikSCAT นั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่เป็นจริงเสมอไป เนื่องจากบางกรณีการวิเคราะห์มีโอกาสระบุเหตุการณ์พายุผิดพลาดได้ ตัวอย่างเช่นเมื่อนำข้อมูลเหตุการณ์จริงของพายุ 30 เหตุการณ์ และไม่เป็นพายุ 30 เหตุการณ์ จากงานวิจัยที่ [10] มาทำการวิเคราะห์ รวบรวมเป็นค่าสถิติของเหตุการณ์จริง (ground truth) ของโอกาสความเป็นพายุ โดยพิจารณาจากค่าความแปรปรวนของฮิสโตแกรมความเร็วลมและทิศทางลมของเหตุการณ์ทั้งสองกลุ่มแสดงดังรูปที่ 5.3 โดยเครื่องหมายวงกลมเป็นกลุ่มเหตุการณ์พายุ ขณะที่เครื่องหมายดาวเป็นกลุ่มเหตุการณ์ที่ไม่เป็นพายุ จากนั้นนำเหตุการณ์พายุเมฮอร์ ทั้ง 2 วันคือ วันที่ 5 และ 6 ตุลาคม 2009 ไปจัดกลุ่มเหตุการณ์และแสดงในรูปที่ 5.3 พบว่าเหตุการณ์พายุวันที่ 5 ตุลาคม 2009 (แสดงสัญลักษณ์ O) ถูกจัดอยู่ในเหตุการณ์พายุ ในขณะที่เหตุการณ์พายุ ส่วนวันที่ 6 ตุลาคม 2009 (แสดงสัญลักษณ์ x) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มไม่เป็นพายุ ขณะเดียวกันเมื่อนำข้อมูลพายุของทั้ง 2 วันมาเปรียบเทียบฮิสโตแกรมดังรูป 4.3(ก-ฉ) ในบทที่ 4 พบว่าข้อมูลลมที่ขาดหายไปของวันที่ 6 ตุลาคม 2009 มีผลทำให้การตัดสินใจระบุเหตุการณ์ของวันดังกล่าวผิดพลาดไป ดังนั้นการวิเคราะห์เหตุการณ์พายุด้วยดาวเทียม QuikSCAT เพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ให้มีประสิทธิภาพได้ จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลอื่นมาประกอบเพื่อลดผลกระทบความผิดพลาดที่อาจเกิดจากข้อมูลบางส่วนที่ขาดหายไป



รูปที่ 5.3 การจัดกลุ่มพายุ 30 เหตุการณ์ และไม่เป็นพายุ 30 เหตุการณ์ และผลการจัดกลุ่มเหตุการณ์พายุของวันที่ 5 และ 6 ตุลาคม 2009

### 5.1.2 ฐานข้อมูลภาพเมฆ

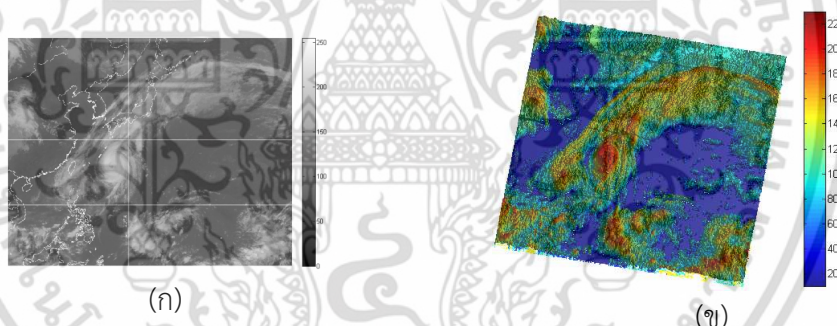
ในงานวิจัยนี้ได้นำภาพถ่ายดาวเทียมเมฆของศูนย์ร่วมการเตือนภัยได้ฝุ่น (JTWC) จากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย (Thai Meteorological Department :TMD) โดย JTWC เป็นหน่วยงานภายใต้การดูแลของกองทัพสหรัฐอเมริกา และเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบตรวจสอบพายุหมุนเขตร้อนและออกคำเตือนให้กับประเทศทางตะวันตกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก ทางใต้ของมหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดีย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยมากมาย [4 5 6 12 17 47] ที่นิยมใช้ข้อมูลหรืออ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับพายุของหน่วยงาน JTWC อย่างกว้างขวาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดี มีหลายหน่วยงานที่ทำการบันทึกตำแหน่งของเส้นทางพายุนี้ เช่น ศูนย์ร่วมการเตือนภัยไต้ฝุ่น (JTWC) กรมอุตุนิยมวิทยาฮ่องกง (HKO) สำนักอุตุนิยมวิทยาญี่ปุ่น (JMA) แต่กระนั้นก็ตามผลการวิเคราะห์และบันทึกตำแหน่งของเส้นทางพายุของแต่ละหน่วยงานก็มีความแตกต่างกัน ดังแสดงค่าระยะทางเฉลี่ยที่ผิดพลาดระหว่างหน่วยงานของพายุ 6 เหตุการณ์ได้แก่ พายุหม่าयी พายุยวีวู พายุฮาเก็บิส พายุซังมี พายุเมอโลร์ และพายุมรกต ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ระยะทางที่แตกต่างกัน (Km) ของเส้นทางพายุจากหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA

Reference	JTWC	HKO	JMA
JTWC	0.0	25.3	38.8
HKO	25.3	0.0	30.9
JMA	38.8	30.9	0.0

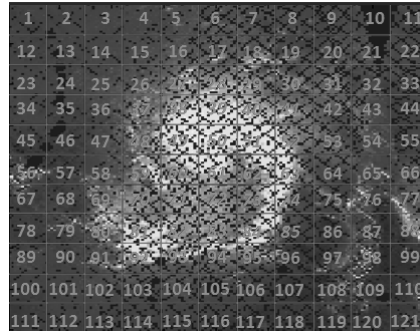
ในรูปที่ 5.4 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมเมฆของวันที่ 6 ตุลาคม 2009 โดยแบ่งระดับตามความเข้มแสง [0-255] ระหว่างพื้นที่ละติจูด 0-45 องศาเหนือ และลองจิจูด 105-105 องศาตะวันออก โดยรูป 5.4(ข) เป็นการแสดงภาพ 3 มิติของรูป 5.4(ก) ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าเมื่อปรับวิธีการแสดงผลของภาพเป็น 3 มิติดังรูป 5.4(ข) จะพบส่วนที่เป็นพายุหมุนในลักษณะที่เป็นก้อนเมฆและมีลักษณะที่เกลียวโค้งเป็นวงกลมได้ชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมเมฆของวันที่ 6 ตุลาคม 2009  
(ก) ภาพถ่ายดาวเทียม (ข) ภาพเมฆ 3 มิติ

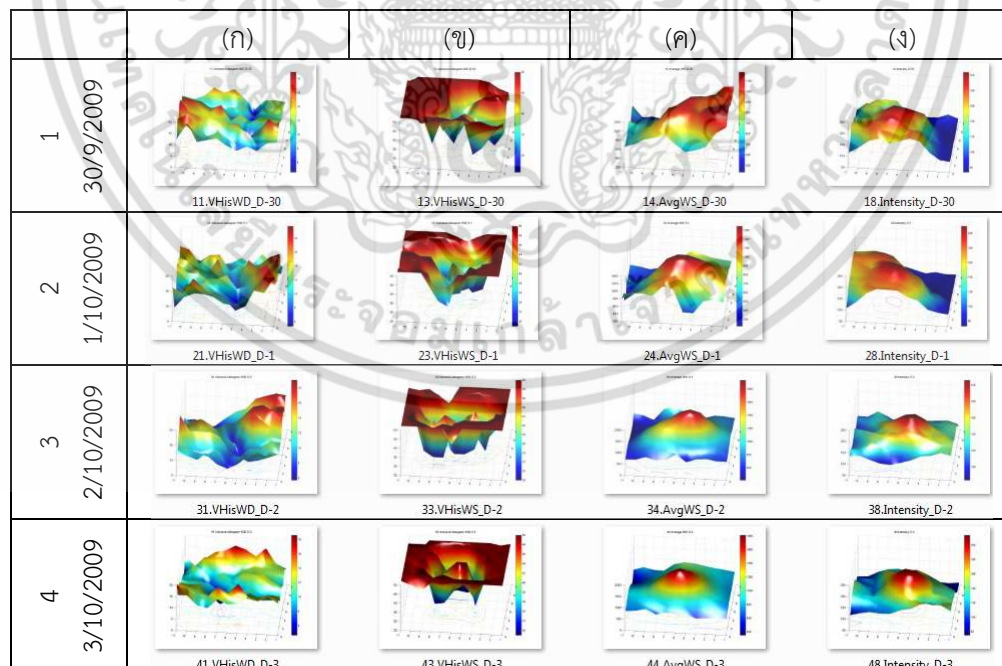
### 5.1.3 ค่าสถิติสำหรับการพยากรณ์ของข้อมูลลมและภาพเมฆ

การวิเคราะห์พายุในพื้นที่สนใจ (ROI) เริ่มต้นด้วยการศึกษาพฤติกรรมของคุณลักษณะลมและภาพเมฆของพื้นที่ย่อยที่ตำแหน่งต่างๆของพื้นที่สนใจ โดยทำการแบ่งพื้นที่สนใจออกเป็น 121 ช่องย่อย เพื่อให้พิจารณาข้อมูลพายุได้ครอบคลุมและครบถ้วน โดยสามารถแสดงตำแหน่งของแต่ละช่องได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งของ 121 ช่องย่อยในพื้นที่สนใจ (ROI)

โดยปกติแล้ววงจรของพายุจะมีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3-5 วัน แต่ถ้าพายุเกิดขึ้นในทะเล บางครั้งอาจใช้เวลาจนถึง 2-3 สัปดาห์ สำหรับวัฏจักรพายุ [51] จะประกอบด้วย 3 ระยะคือ พายุเริ่มก่อตัว พายุทวีกำลังความแรงของลมมากขึ้น และพายุค่อยๆอ่อนกำลังลงเป็นความเร็วลมปกติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำคุณลักษณะของความเร็วลมและทิศทางลมมาวิเคราะห์สถิติในพื้นที่ (11x11) 121 ช่องย่อย โดยค่าสถิติที่จะนำมาวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างพื้นที่ และค่ากระจายของฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลม และสามารถแสดงตัวอย่างค่าทางสถิติในรูปแบบ 3 มิติของข้อมูลลมและภาพเมฆของพื้นที่ 121 ช่องย่อยของพายุเมโอโลร์ ได้ดังรูปที่ 5.6 ที่แสดงถึงลำดับเหตุการณ์ช่วงพายุเริ่มก่อตัว คือวันที่ 30 กันยายน 2009 แสดงในแถวที่ 1 และวันที่ 1 ตุลาคม 2009 แสดงในแถวที่ 2 ขณะที่เหตุการณ์พายุทวีกำลังคือวันที่ 2-3 ตุลาคม 2009 แสดงในแถวที่ 3-4 ตามลำดับ) โดยค่าการกระจายของฮีสโตแกรมความเร็วลมของแต่ละวันอยู่ในคอลัมน์ (ก) ค่าการกระจายของฮีสโตแกรมทิศทางลม (ข) ค่าความเร็วลมเฉลี่ยร่วมกับเพื่อนบ้าน (ค) และค่าความเข้มแสงของภาพเมฆแสดงอยู่ในคอลัมน์ (ง) ของรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงภาพ 3 มิติของค่าสถิติข้อมูลลมและภาพเมฆของพื้นที่สนใจ 121 ช่องย่อย

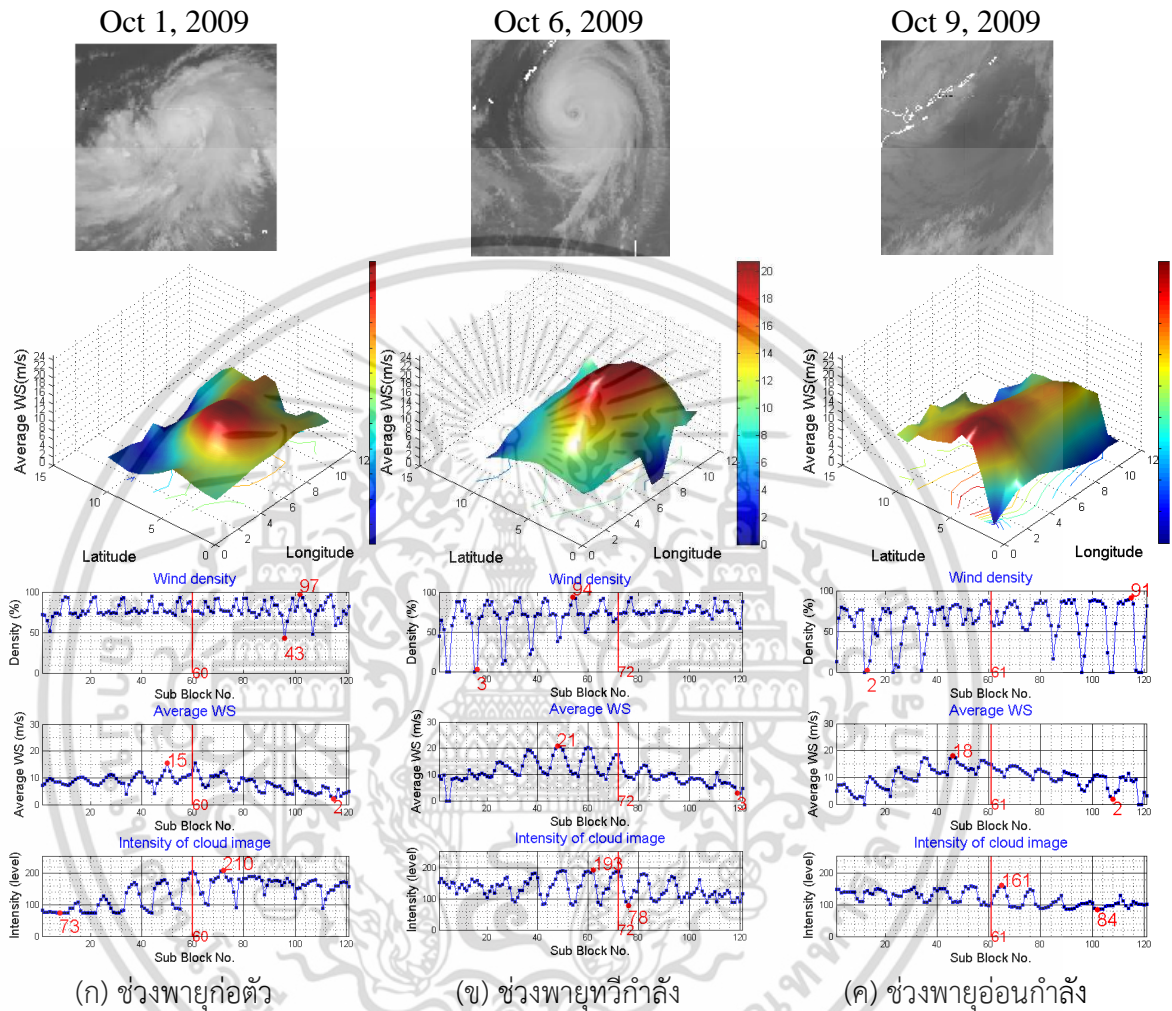
ในเหตุการณ์พายุเมโอโลร์ 2009 ระหว่างวันที่ 30 กันยายน-3 ตุลาคม 2009

(ก) ค่าการกระจายของฮีสโตแกรมความเร็วลม (ข) ค่าการกระจายของฮีสโตแกรมทิศทางลม

(ค) ค่าความเร็วลมเฉลี่ยร่วมกับ 8 ช่องย่อยล้อมรอบ (ง) ค่าความเข้มแสงของภาพเมฆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับ (ฉบับร่าง) ของงานวิจัย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดลอกหรือแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติรูปที่ 5.7 พบว่าค่าความเร็วลมของพายุแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ พายุกลุ่มที่มีความเร็วลมต่ำๆ (15-18 เมตรต่อวินาที) หมายถึงเหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัว ดังรูป 5.7(ก) และเหตุการณ์พายุค่อยๆ อ่อนกำลังลงดังรูป 5.7(ค) ขณะที่กลุ่มพายุอีกกลุ่มหนึ่งเป็นพายุที่มีความเร็วลมสูงๆ (>18 เมตรต่อวินาที) หมายถึงเหตุการณ์พายุขณะทวีกำลังดังรูป 5.7(ข)



(ก) ช่วงพายุก่อตัว

(ข) ช่วงพายุทวีกำลัง

(ค) ช่วงพายุอ่อนกำลัง

รูปที่ 5.7 การวิเคราะห์ค่าสถิติของความเร็วลมในเหตุการณ์พายุเมเจอร์ ปี ค.ศ. 2009

(ก) วันที่ 1 ตุลาคม 2009 พายุเริ่มก่อตัว (ข) วันที่ 6 ตุลาคม 2009 พายุทวีกำลัง

(ค) วันที่ 9 ตุลาคม 2009 พายุอ่อนกำลัง

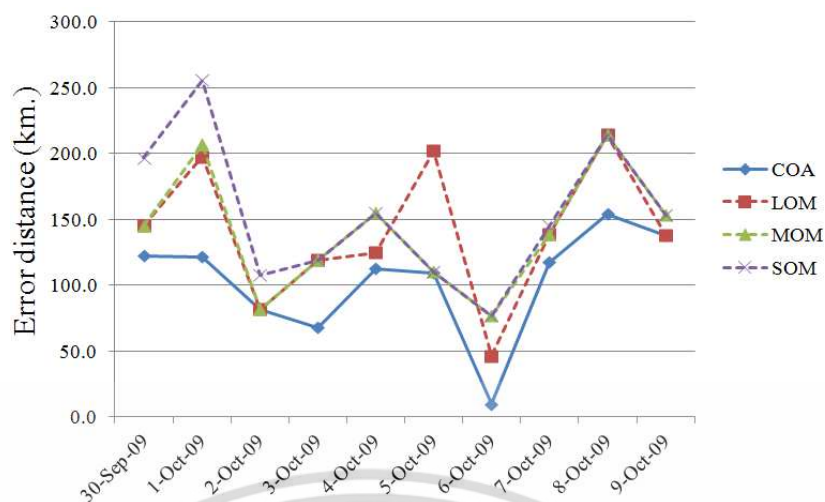
เมื่อนำตำแหน่งตาพายุที่ได้รับจากหน่วยงาน JTWC มาวิเคราะห์ร่วมกับพื้นที่สนใจพบว่า ตำแหน่งตาพายุช่วงทวีกำลังจะมีความคลาดเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่สนใจมากกว่าพายุในช่วงเริ่มก่อตัวและพายุช่วงอ่อนกำลัง เนื่องจากความเร็วลมสูงขึ้นทำให้มีความแปรปรวนจากความเร็วลมและทิศทางลมมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งแสดงค่าสถิติของข้อมูลลมและภาพเมฆของพายุเมเจอร์ โดยในรูปที่ 5.7 (ก) แสดงข้อมูลของวันที่ 1 ตุลาคม 2009 จัดอยู่ในสถานการณ์พายุเริ่มก่อตัว ในขณะที่รูปที่ 5.7 (ค) แสดงข้อมูลของวันที่ 9 ตุลาคม 2009 จัดอยู่ในสถานการณ์พายุอ่อนกำลัง และทำการวิเคราะห์ร่วมกับตำแหน่งตาพายุที่ได้รับจากหน่วยงาน JTWC และแสดงตำแหน่งด้วยสัญลักษณ์เป็นเส้นตรงที่บ่งชี้ทิศทางแนวตั้ง ในกรณีที่พายุเริ่มก่อตัวและพายุเริ่มอ่อนกำลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาในรูปที่ 5.7 (ก) และ 5.7 (ค) นั้น พบว่าตาพายุลอยอยู่ในตำแหน่งช่วงกลางของพื้นที่สนใจ คือตำแหน่งที่ 60 และ 61 ตามลำดับ ขณะที่พายุลอยทวิกำลังตามรูปที่ 5.8 (ข) พบว่าตาพายุลอยมีความคลาดเคลื่อนไปจากช่วงกึ่งกลางพื้นที่สนใจมากกว่าช่วงพายุลอยอื่น โดยตำแหน่งตาพายุลอยอยู่ที่ตำแหน่งที่ 72 ดังนั้นหากมีการศึกษาความสัมพันธ์ของ ความเร็วลม ความแปรปรวนของความเร็วและทิศทางลม ร่วมกับความเข้มแสงของภาพเมฆ ให้เหมาะสมจะสามารถหาตำแหน่งตาพายุลอยที่มีความแม่นยำและรวดเร็วได้

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ตำแหน่งตาพายุลอยด้วยค่าสถิติของข้อมูลลมเพียงอย่างเดียว อาจจะไม่เหมาะสมและมีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งพายุลอยในบางเหตุการณ์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่ขาดหายไปของดาวเทียม QuikSCAT ดังนั้นการค้นหาคูณลักษณะอื่นที่น่าสนใจ จึงมีความสำคัญมากขึ้นสำหรับประสิทธิภาพในการตรวจสอบตำแหน่งตาพายุลอย และจากการพิจารณาค่าความเข้มแสงของภาพเมฆร่วมกับข้อมูลลม พบว่าค่าความเข้มแสงของภาพเมฆเป็นคุณลักษณะหนึ่งที่เหมาะสมและนำมาใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งตาพายุลอย โดยคุณลักษณะข้อมูลลมและค่าความเข้มแสงของภาพเมฆเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นความรู้สำหรับผู้เชี่ยวชาญ (expert knowledge) เพื่อออกแบบสำหรับสร้างระบบอนุมานฟัซซีที่มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะรองรับการระบุตำแหน่งตาพายุลอยในรูปแบบอื่นที่หลากหลายนมากขึ้น

## 5.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคนิคการทำดีฟัซซีของระบบ

หัวข้อนี้แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการทำดีฟัซซีของระบบทั้ง 4 เทคนิค คือ เทคนิค COA เทคนิค SOM เทคนิค LOM และเทคนิค MOM ในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์การวัดเปรียบเทียบระยะทางการค้นหาพิกัดตาที่ผิดพลาดเทียบกับการระบุตำแหน่งพายุลอยที่ได้จากหน่วยงาน ทั้ง 3 แห่งคือ JTWC HKO และ JMA โดยทดสอบร่วมกับเหตุการณ์พายุเมเจอร์ระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึง 9 ตุลาคม 2009 ผลการทดลองพบว่าเทคนิคการทำดีฟัซซีที่ให้ระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดจากน้อยไปมากคือ เทคนิค COA LOM MOM และ SOM โดยมีค่าระยะทางผิดพลาด 130.0 140.6 139.9 และ 153.2 กิโลเมตร ตามลำดับ ด้วยผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การทำดีฟัซซีของระบบอนุมานฟัซซีในงานวิจัยด้วยเทคนิค COA ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดด้วยระยะทางผิดพลาดเฉลี่ยตลอดเหตุการณ์พายุเท่ากับ 130.0 กิโลเมตร และจากรูปที่ 5.8 พบว่า การทำดีฟัซซีของเหตุการณ์พายุเมเจอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือวันที่ 6 ตุลาคม 2009 ให้ผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งผิดพลาดไปเพียง 9.4 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับหน่วยงานอ้างอิง JTWC HKO และ JMA



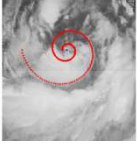
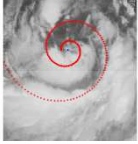
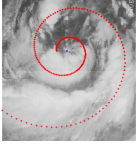
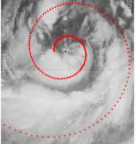
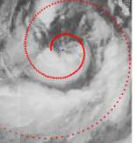
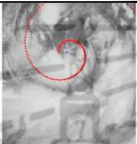
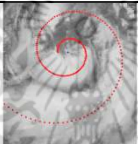
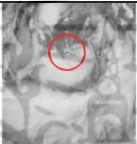
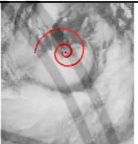
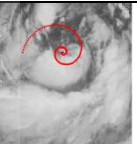
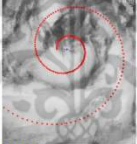
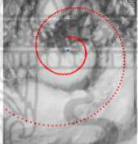
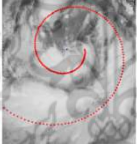
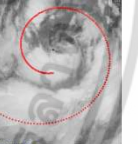
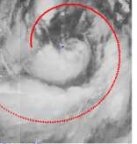
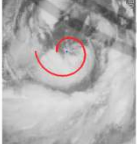
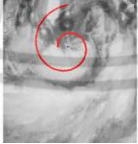
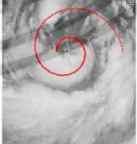
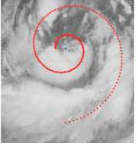
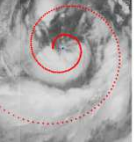
รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบเทคนิคการทำดีฟัซซีเพื่อระบุเหตุการณ์พายุเมเลอร์ 2009 ด้วยการวัดระยะทางพายุผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA

### 5.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีโค้งกันหอยสำหรับภาพเมฆ

จากบทที่ 4 วิธีการระบุเหตุการณ์พายุ พบว่าการสร้างโค้งกันหอยในหัวข้อที่ 4.3 มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการระบุตำแหน่งพายุโดยละเอียดร่วมกับภาพเมฆ แต่ขณะเดียวกันอาจต้องสูญเสียเวลามากในการค้นหาโค้งกันหอยที่เหมาะสมกับภาพเมฆนั้นๆ หากไม่กำหนดพารามิเตอร์ของโค้งกันหอยที่เหมาะสม การสร้างโค้งกันหอยตามสมการที่ (4.5) พบว่ามีพารามิเตอร์ 4 ชนิด คือ  $a$   $b$   $\theta_0$  และ  $\Theta$  โดยแต่ละพารามิเตอร์มีขอบเขตดังนี้ค่า  $a$  คือค่ารัศมีความโค้งของโค้งกันหอยมีค่าในช่วง 10-480 (เส้นผ่าศูนย์กลางทางพายุมีระยะทางระหว่าง 100-200 กิโลเมตร [52]) ค่า  $b$  คือพารามิเตอร์สำหรับปรับทิศทางของโค้งกันหอยว่าจะสร้างในทิศทวนหรือตามเข็มนาฬิกา และพารามิเตอร์นี้มีค่าที่เป็นไปได้อยู่ระหว่าง  $-262$  ถึง  $+262$  ขณะที่ ค่า  $\theta_0$  และค่า  $\Theta$  เป็นมุมเริ่มต้นและมุมสิ้นสุดโค้งกันหอยมีค่าอยู่ระหว่าง  $-270$  องศาถึง  $540$  องศาตามลำดับ

งานวิจัยได้ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ร่วมกับเหตุการณ์พายุมรกต 2009 ร่วมกับเกณฑ์การเลือกโค้งกันหอยที่มีค่าการกระจายความสว่างของโค้งกันหอย ( $f_{11}$ ) มากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 5.4 พบว่าขอบเขตของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการระบุพายุคือ  $10 < a < 50$ ,  $-0.190 < b < -0.170$ ,  $-180^\circ < \theta_0 < 0^\circ$ , and  $180^\circ < \Theta < 540^\circ$  ทำให้ลดขอบเขตของพารามิเตอร์ขณะเดียวกันทำให้ลดเวลาในการสร้างและค้นหาโค้งกันหอยที่ไม่จำเป็นอีกด้วย

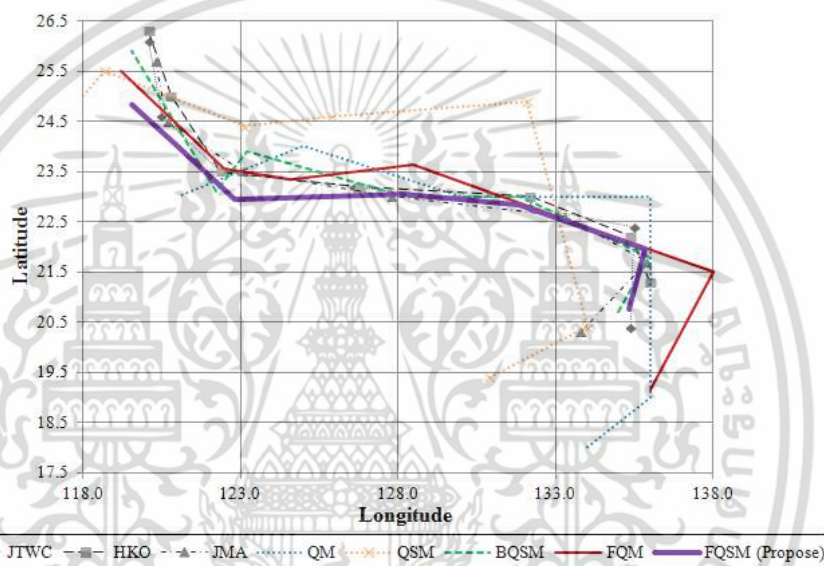
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 รูปแบบ ( $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$  และ  $\Theta$ ) ของโค้งกั้น  
หอยในเหตุการณ์พายุมรกตในวันที่ 3 สิงหาคม 2009

พารามิเตอร์	ผลลัพธ์การปรับโค้งกั้นหอยเปรียบเทียบบนภาพเมฆ				
	(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)
$a$	ผลการทดลองสร้างโค้งกั้นหอยบนภาพเมฆเมื่อปรับพารามิเตอร์ $a$ ( $Lat, Lon$ ) = (23.3,134.7), $b = -0.182$ , $\theta_0 = -180^\circ$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$a = 20$ , $f_{11} = 1.43$	$a = 30$ , $f_{11} = 1.58$	$a = 45$ , $f_{11} = 1.70$	$a = 50$ , $f_{11} = 1.74$	$a = 52$ , $f_{11} = 1.72$
$b$	ผลการทดลองสร้างโค้งกั้นหอยบนภาพเมฆเมื่อปรับพารามิเตอร์ $b$ ( $Lat, Lon$ ) = (23.3,134.7), $a = 44$ , $\theta_0 = -180^\circ$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$b = -0.262$ , $f_{11} = 1.65$	$b = -0.175$ , $f_{11} = 1.66$	$b = 0$ , $f_{11} = 1.58$	$b = 0.175$ , $f_{11} = 1.81$	$b = 0.262$ , $f_{11} = 1.73$
$\theta_0$	ผลการทดลองสร้างโค้งกั้นหอยบนภาพเมฆเมื่อปรับพารามิเตอร์ $\theta_0$ ( $Lat, Lon$ ) = (23.3,134.7), $a = 44$ , $b = -0.182$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$\theta_0 = -180^\circ$ , $f_{11} = 1.77$	$\theta_0 = -90^\circ$ , $f_{11} = 1.72$	$\theta_0 = 0^\circ$ , $f_{11} = 1.65$	$\theta_0 = 90^\circ$ , $f_{11} = 1.58$	$\theta_0 = 180^\circ$ , $f_{11} = 1.67$
$\Theta$	ผลการทดลองสร้างโค้งกั้นหอยบนภาพเมฆเมื่อปรับพารามิเตอร์ $\Theta$ ( $Lat, Lon$ ) = (23.3,134.7), $a = 44$ , $b = -0.182$ , $\theta_0 = -180^\circ$				
					
	$\Theta = 180^\circ$ , $f_{11} = 2.11$	$\Theta = 270^\circ$ , $f_{11} = 1.86$	$\Theta = 360^\circ$ , $f_{11} = 1.78$	$\Theta = 450^\circ$ , $f_{11} = 1.81$	$\Theta = 540^\circ$ , $f_{11} = 1.77$

#### 5.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งตาพายุมรกต 2009 ด้วยวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อนี้จะทำการทดลองค้นหาพิกัดตาของเหตุการณ์พายุมรกต 2009 ด้วย 5 วิธี เปรียบเทียบกับหน่วยงานอ้างอิง JTWC HKO และ JMA ประกอบด้วย วิธีวิเคราะห์จากฐานข้อมูล QuikSCAT (QuikSCAT Method: QM) [7] วิธีวิเคราะห์จากฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (QuikSCAT & Spiral cloud Method: QSM) วิธีค้นหาแบบดีที่สุดใ้ฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (Best first search on QuikSCAT & Spiral cloud Method (BQSM) [8] และวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ 2 วิธีคือ วิธีค้นหาด้วยระบบอนุमानพีซซีใ้ฐานข้อมูล QuikSCAT (FIS on QuikSCAT Method: FQM) และ วิธีค้นหาด้วยระบบอนุमानพีซซีใ้ฐานข้อมูล QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ (FIS on QuikSCAT & Spiral cloud Method: FQSM) โดยสามารถแสดงเส้นทางพายุมรกต 2009 ของทั้ง 5 วิธีได้ดังรูปที่ 5.9 ขณะที่ผลการทดลองแสดงค่าเฉลี่ยการระบุตำแหน่งพายุผิดพลาดของวิธีทั้ง 5 เมื่อเทียบกับ 3 หน่วยงานอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 5.11

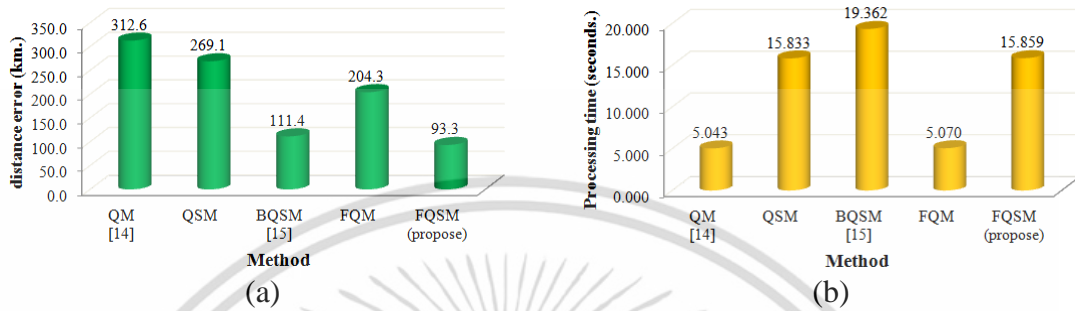


รูปที่ 5.9 การค้นหาพิกัดตาของเหตุการณ์พายุมรกต 2009 เปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน ด้วยวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM

จากรูปที่ 5.10 (ก) พบว่าวิธี FQSM ให้ค่าเฉลี่ยระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 93.3 กิโลเมตร ขณะที่วิธี QM ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดมากที่สุดคือ 312.6 กิโลเมตร โดยค่าความผิดพลาดด้วยวิธี BQSM มีค่าความผิดพลาดที่ 111.4 กิโลเมตร ขณะที่งานวิจัยนี้นำเสนอด้วยวิธี FQSM มีความผิดพลาดอยู่ที่ 93.3 กิโลเมตร ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการค้นหาพิกัดตาพายุของงานวิจัยนี้ด้วยวิธี FQSM มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธี BQSM 16.25 %

ในด้านของประสิทธิภาพของการใช้เวลาในการประมวลผลถูกแสดงในรูปที่ 5.10 (ข) พบว่า BQSM และ FQSM ใช้เวลาในการประมวลผล 19.362 และ 15.859 วินาทีตามลำดับ จากผลการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าวิธี QM ค้นหาตำแหน่งพายุ โดยใช้จุดศูนย์กลางของพื้นที่สนใจที่มีระดับความเร็วลมสูงของข้อมูลมาจากดาวเทียม QuikSCAT เพียงอย่างเดียว และจุดอ่อนของฐานข้อมูลในดาวเทียม QuikSCAT คือบางครั้งอาจมีข้อมูลขาดหายไปในพื้นที่สนใจ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความผิดพลาดมากกว่าวิธีอื่นๆ ขณะที่วิธี BQSM ค้นหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในพื้นที่สนใจที่ได้รับจากฐานข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT ร่วมกับภาพเมฆ การนำภาพเมฆมาวิเคราะห์เพิ่มเติมทำให้ช่วยลดปัญหาข้อมูลที่ขาดหายไปของดาวเทียม QuikSCAT ได้ ถึงแม้ว่าวิธี BQSM จะมีประสิทธิภาพในการ

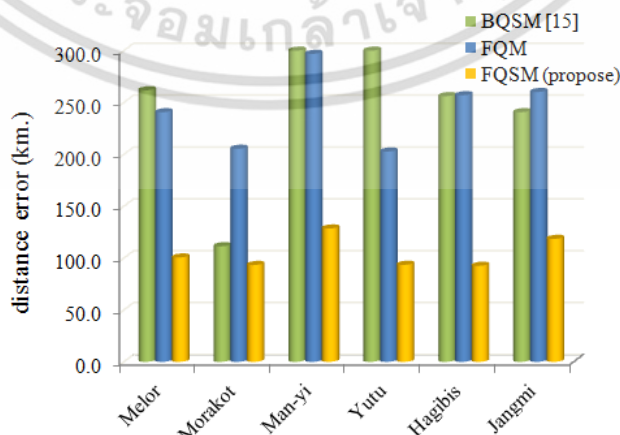
ค้นหาพิกัดตาข่ายได้ใกล้เคียงกับวิธี FQSM แต่อย่างไรก็ตามวิธี BQSM ยังคงไม่เพียงพอและเหมาะสมสำหรับการค้นหาพิกัดตาข่ายที่มีพฤติกรรมที่อ่อนไหวต่อภูมิศาสตร์และมีความซับซ้อนของภูมิอากาศ จำเป็นต้องมีการผสมผสานทรัพยากรที่มีอยู่ และนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญมาใช้เป็นเกณฑ์ในการค้นหาตำแหน่งตาข่ายเพิ่มเติม เช่นการนำระบบอนุมานฟuzzyประยุกต์ร่วมกับวิธีการของงานวิจัย เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งตาข่ายให้มีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM ของพายุมรกต 2009 (ก) การระบุระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดเปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน (ข) เวลาในการประมวลผล

### 5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี BQSM FQM และ FQSM ร่วมกับ 6 เหตุการณ์พายุ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการวัดระยะทางที่ระบุตำแหน่งตาข่ายผิดพลาดเทียบกับแหล่งอ้างอิง 3 หน่วยงาน ของวิธี BQSM FQM และ FQSM โดยทำการทดลองกับพายุทั้ง 6 เหตุการณ์สามารถแสดงดังรูปที่ 5.11 ผลการทดลองพบว่าวิธี FQSM ให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่าวิธี BQSM และ FQM ในพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ ด้วยเหตุนี้จึงแสดงให้เห็นว่าวิธี FQSM ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าอีกสองวิธี ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธี FQSM ที่นำเสนอมีความยืดหยุ่นและเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์พายุที่มีหลากหลายรูปแบบได้ดี โดยความยืดหยุ่นของวิธี FQSM ได้รับมาจากความรู้ที่สำคัญโดยสังเกตจากสถิติข้อมูลความเร็วลม QuikSCAT และข้อมูลภาพเมฆ



รูปที่ 5.11 ระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดของพายุ 6 เหตุการณ์เปรียบเทียบกับ 3 หน่วยงาน ด้วยวิธี BQSM FQM และ FQSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

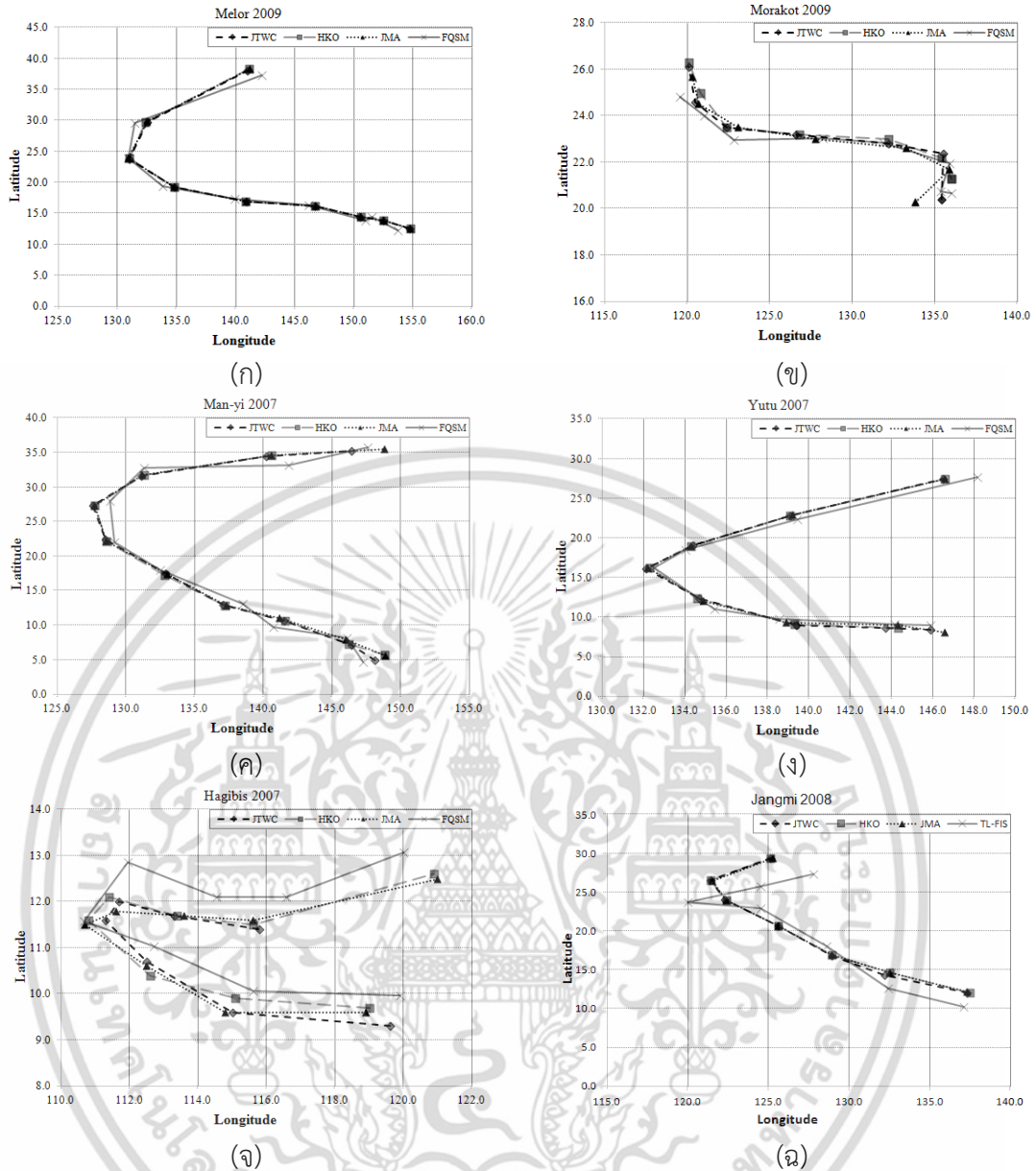
## 5.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธี FQSM ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA

ความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งพายุกึ่ง 6 เหตุการณ์ของหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 พบว่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของการระบุตำแหน่งตาพายุกึ่งอยู่ที่ 25.3 กิโลเมตรโดยเป็นความคลาดเคลื่อนระหว่างหน่วยงาน JTWC และ HKO ขณะที่ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดของการระบุตำแหน่งตาพายุกึ่งอยู่ที่ 38.8 กิโลเมตรโดยเป็นความคลาดเคลื่อนระหว่างหน่วยงาน JTWC และ JMA ดังนั้นผลต่างความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งพายุกึ่งระหว่างหน่วยงานมีค่าเท่ากับ 13.4 กิโลเมตร (ตำแหน่งอยู่ในช่วง 25.3 - 38.8 กิโลเมตร) สำหรับค่าระยะทางในการค้นหาพิกัดตาพายุในการทดลองด้วยวิธี FQSM ที่คลาดเคลื่อนไปจาก 3 หน่วยงานอ้างอิงร่วมกับพายุกึ่ง 6 เหตุการณ์สามารถแสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดของพายุกึ่ง 6 เหตุการณ์ด้วยวิธี FQSM เปรียบเทียบกับหน่วยงาน JTWC, HKO และ JMA

Track no.	Name	Year	Distance error (DTE) (km.)			
			JTWC	HKO	JMA	Average
1	Melor	2009	100.3	99.3	102.2	100.6
2	Morakot	2009	90.5	94.8	94.7	93.3
3	Man-yi	2007	139.2	114.9	131.4	128.5
4	Yutu	2007	106.5	94.5	79.7	93.6
5	Hagibis	2007	91.0	90.7	96.0	92.8
6	Jangmi	2008	115.6	121.8	118.2	118.5
Average			107.2	102.7	103.7	104.5

จากผลการทดลองค้นหาพิกัดตาพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ด้วยวิธี FQSM ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าการค้นหาพิกัดตาพายุที่มีระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดน้อยที่สุดคือพายุฮากิบีสมีค่า 92.8 กิโลเมตร ขณะที่การค้นหาพิกัดตาพายุที่มีระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดมากที่สุดคือพายุหม่านยีมีค่า 128.5 กิโลเมตร ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า การค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM สามารถรองรับพายุที่มีความเร็วลมระดับต่ำตามมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน คือพายุฮากิบีส พายุมรกต และพายุยวี่ทุ่ ได้ดี อย่างไรก็ตามการค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM นี้จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อนำไปทดลองใช้กับพายุเมอโลร์ พายุหม่านยี และ พายุซังมี โดยประสิทธิภาพที่ลดลงนี้อาจเกิดจากการขาดหายของข้อมูลลมและความความไม่ชัดเจนของคุณลักษณะโค้งก้นหอยในภาพเมฆที่ใช้เป็นพารามิเตอร์หลักในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาพิกัดตาพายุ สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพในอนาคตจำเป็นต้องนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญด้านอื่นๆ มาวิเคราะห์เพิ่มเติม



รูปที่ 5.12 การค้นหาพิกัดตาพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ด้วยวิธี FQSM เปรียบเทียบกับแหล่งอ้างอิง JMA HKO และ JMA.

### 5.7 การค้นหาพิกัดตาพายุอ้างอิง (Ground Truth) ด้วยตัวเองของผู้วิจัย

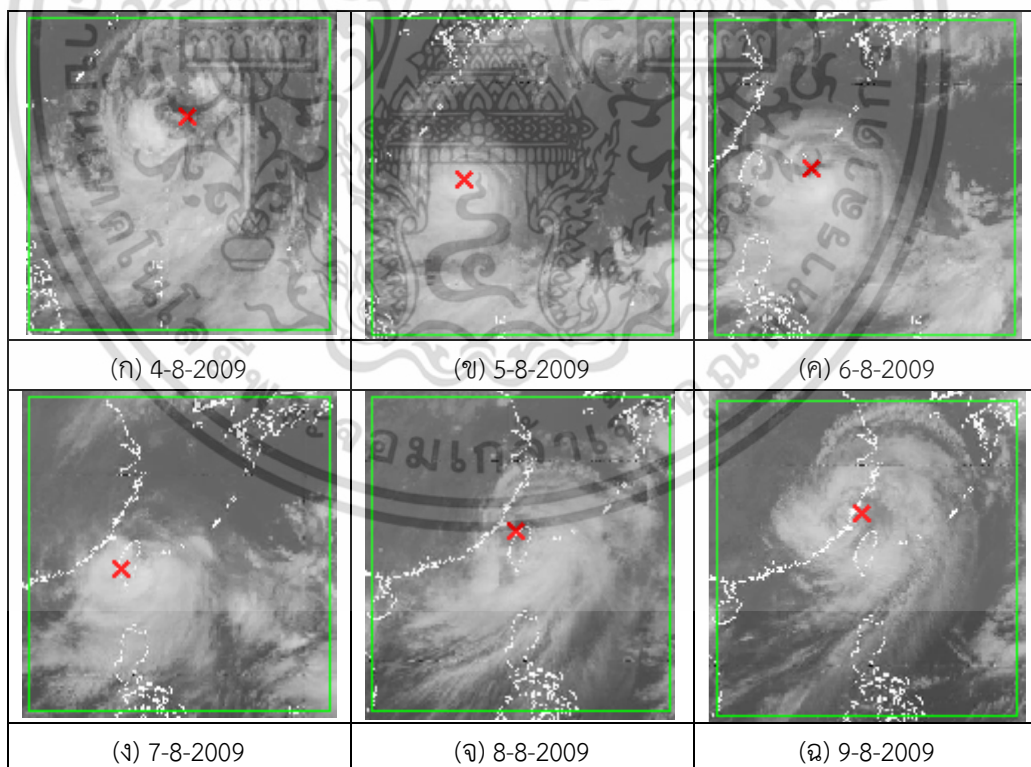
ตาพายุ [19] คือบริเวณที่สภาพอากาศโดยส่วนมากสงบ ที่จุดศูนย์กลางของพายุหมุนเขตร้อน ช่วงทวีกำลัง ตาพายุมีลักษณะเป็นพื้นที่วงกลมอย่างคร่าว ๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยปกติที่ 30-65 กม. ซึ่งล้อมรอบด้วยกำแพงตาสมมาตรที่สูงลิ่ว ในพายุหมุนเขตร้อนช่วงอ่อนกำลัง ตาพายุจะไม่สามารถเห็นได้ชัดเจน โดยตาพายุจะถูกปกคลุมด้วยการระบายความร้อนและยกตัวของไอน้ำอย่างหนาแน่นจากแกนกลางของพายุ (Central dense overcast) เป็นพื้นที่ที่มีเมฆหนาแน่น ซึ่งแสดงด้วยสีขาวภายในภาพถ่ายดาวเทียม พายุที่อ่อนหรือไม่เป็นระบบ อาจมีกำแพงตาที่ไม่เป็นวงกลมโดยสมบูรณ์รอบตาพายุ หรือบริเวณตาพายุมีฝนตกหนัก ซึ่งในพายุหมุนเขตร้อนทุกแบบ ตาพายุคือที่ตั้งของพื้นที่ความกดอากาศต่ำที่สุดภายในตัวพายุที่ระดับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณลักษณะของตาพายุด้านบน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาพิกัดตาพายุบนภาพถ่ายดาวเทียมเมฆ ทำการทดลองค้นหาพิกัดตาพายุมรกดระหว่างวันที่ 4 ถึง 9 สิงหาคม 2009 ด้วยการระบุพิกัดเฉลี่ยจากผู้วิจัย สามารถแสดงดังตารางที่ 5.6 โดยผลการทดลองระบุตำแหน่งตาพายุบนภาพถ่ายดาวเทียมเมฆด้วยสายตา (manual) ของผู้วิจัยจำนวน 3 ครั้ง และนำพิกัดของตาพายุที่เฉลี่ยในแต่ละวันมาแสดงร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเมฆดังรูปที่ 5.13 ทั้งนี้เครื่องหมายกากบาทสีแดงแสดงตำแหน่งพิกัดตาพายุที่ระบุได้ในแต่ละวัน

ตารางที่ 5.6 ตำแหน่งพิกัดตาพายุอ้างอิงในเหตุการณ์พายุมรกดระหว่างวันที่ 4-9 สิงหาคม 2009

Position Date	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ค่าเฉลี่ย	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
4/8/2009	21.7	136.8	22.0	136.6	21.5	136.7	21.7	136.7
5/8/2009	22.7	131.5	22.8	131.2	22.8	131.3	22.8	131.3
6/8/2009	23.6	128.3	23.5	128.6	23.7	127.5	23.6	128.1
7/8/2009	23.0	122.8	24.0	123.2	23.9	123.1	23.6	123.0
8/8/2009	24.1	120.5	23.1	120.1	22.6	120.6	23.3	120.4
9/8/2009	24.5	120.4	25.3	120.9	25.5	120.6	25.1	120.6

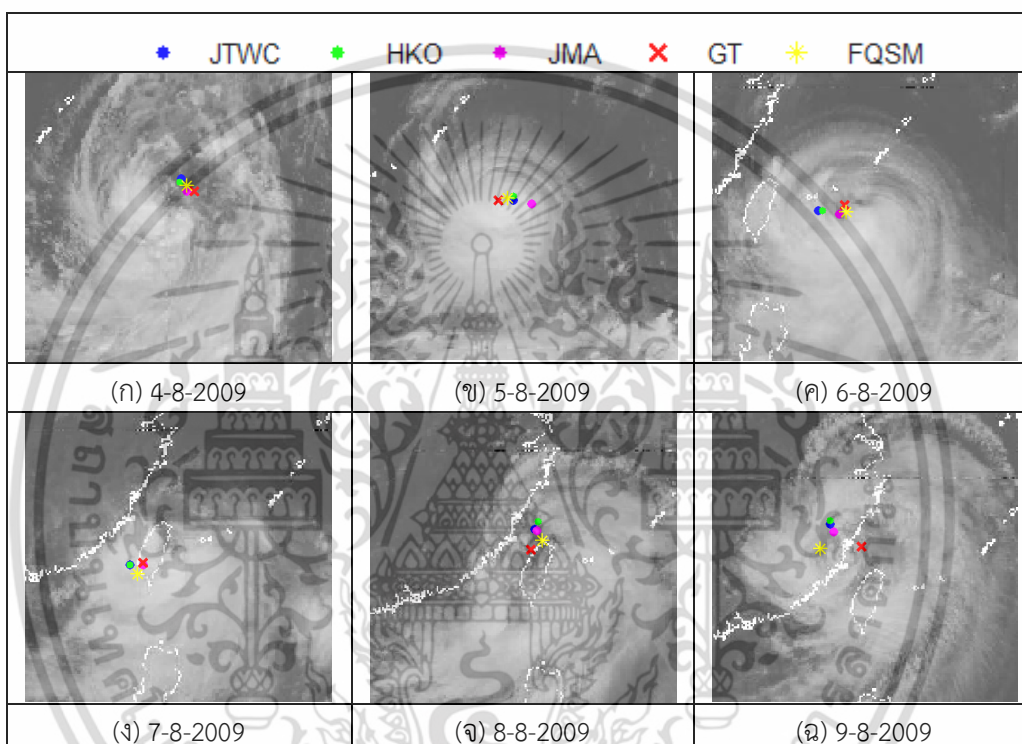


รูปที่ 5.13 การนำพิกัดตาพายุอ้างอิงมาแสดงร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเมฆ ในเหตุการณ์พายุมรกด 2009 ระหว่าง 4-9 สิงหาคม 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.8 การเปรียบเทียบพิกัดตาข่ายของวิธี FQSM ร่วมกับหน่วยงานอ้างอิง JTWC HKO JMA และพิกัดตาข่ายอ้างอิง (Ground Truth:GT)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการแสดงพิกัดตาข่ายอ้างอิงที่ทดลองได้จากหัวข้อ 5.7 กับ พิกัดตาข่ายจากหน่วยงานอ้างอิง 3 แห่งประกอบด้วย JTWC, HKO, JMA และวิธี FQSM โดยทำการทดลองในเหตุการณ์พายุมรกต ระหว่างวันที่ 4 ถึง 9 สิงหาคม 2009 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 และสามารถคำนวณระยะทางผิดพลาดของพิกัดตาข่ายอ้างอิงเปรียบเทียบกับพิกัดตาข่าย 4 แห่ง พบว่าการระบุพิกัดตาข่ายด้วยวิธี FQSM มีระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดจากน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ พิกัดตาข่ายอ้างอิง JMA JTWC และ HKO ด้วยค่า 86.0 101.5 126.4 134.9 กิโลเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบพิกัดตาข่ายของวิธี FQSM ร่วมกับพิกัดตาข่ายอ้างอิง 4 แห่ง บนภาพถ่ายดาวเทียมเมฆ ในเหตุการณ์พายุมรกต 2009 ระหว่าง 4-9 สิงหาคม 2009

ตารางที่ 5.7 ระยะทางผิดพลาดของวิธี GT เปรียบเทียบกับแหล่งอ้างอิง JTWC HKO JMA และ FQSM

Date	Distance error (DTE) (km.)			
	JTWC	HKO	JMA	FQSM
4/8/2009	153.9	154.4	88.8	96.1
5/8/2009	96.3	99.6	219.1	60.3
6/8/2009	172.2	150.9	73.9	61.5
7/8/2009	67.5	67.5	15.6	74.5
8/8/2009	143.4	192.2	136.1	101.8
9/8/2009	124.9	144.7	75.7	121.7
	126.4	134.9	101.5	86.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลและแนวทางในการพัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการค้นหายกัปดาห์พยากรณ์อัตโนมัติด้วยระบบอนุमानฟัซซี และวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของดาวเทียม QuikSCAT และภาพเมฆของเหตุการณ์พายุ ซึ่งสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอการหาพื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดพายุจากคุณลักษณะของความเร็วลมเพื่อแยกเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ โดยนำข้อมูลความเร็วลมของวันที่สนใจมาค้นหาพื้นที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 15 เมตรต่อวินาที ที่มีขนาดพื้นที่อย่างน้อย  $2 \times 2$  องศา ( $222 \times 222$  ตารางกิโลเมตร) จากนั้นสร้างฮีโสตแกรมของความเร็วลม และฮีโสตแกรมของทิศทางลม ทำการวิเคราะห์ฮีโสตแกรมทั้งสองร่วมกับเทคนิคการจำแนกข้อมูลฟัซซีซิมิน (fuzzy C-Means: FCM) เพื่อแยกเหตุการณ์พายุและไม่เป็นพายุ

ส่วนที่สองของวิทยานิพนธ์ได้นำระบบอนุमानฟัซซีมาประยุกต์เพื่อหาตำแหน่งตาพายุเบื้องต้น โดยอาศัยเทคนิคของระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ ที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาทางที่มีความซับซ้อน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบอนุमानฟัซซีเป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ด้วยการสร้างฐานความรู้จากข้อมูลคุณลักษณะที่สำคัญ 4 ค่า ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่นของข้อมูล ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกัน ( $W(x,y)$ ) ค่าฟังก์ชันฮิวริสติกการแบ่งความเร็วลมสำหรับพายุ ( $h_{\min}(n)$ ) และค่าเฉลี่ยความเข้มแสงในภาพเมฆเข้าสู่ระบบอนุमानฟัซซีเพื่อนำคุณลักษณะทั้ง 4 ค่า มาสร้างฐานความรู้คือกฎหรือความเป็นจริง ส่วนอนุमानจะทำการหาความรู้ใหม่จากกฎหรือความเป็นจริงที่มีอยู่แล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการถอดความรู้เพื่อนำไปใช้ทดสอบหาตำแหน่งตาพายุเบื้องต้นได้

ส่วนที่สามของวิทยานิพนธ์ได้นำเทคนิคโค้งกันหอยมาคัดแยกคุณลักษณะเกลียวเมฆ ออกจากภาพเมฆเพื่อให้การค้นหายกัปดาห์พายุมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการรวมตัวกันของก้อนเมฆสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความรุนแรงของพายุได้ สำหรับกรณีที่พายุมีความรุนแรงพบว่าสามารถแยกโครงสร้างของก้อนเมฆเป็นตาพายุ และเกลียวเมฆ ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำภาพเมฆมาค้นหาโค้งกันหอยที่เหมาะสมกับภาพเมฆมากที่สุด จากนั้นจุดศูนย์กลางของโค้งกันหอยที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ของตำแหน่งตาพายุของงานวิจัย

### 6.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการทดสอบ การวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของดาวเทียม QuikSCAT และภาพเมฆของเหตุการณ์พายุ และการค้นหายกัปดาห์พยากรณ์อัตโนมัติด้วยระบบอนุमानฟัซซี ร่วมกับพายุจำนวน 6 เหตุการณ์ ประกอบด้วยพายุหม่านยี (Man-yi) ยิวู่ (Yutu) และ ฮากิบิส (Hagibis) ในปี ค.ศ. 2007 พายุซังมี (Jangmi) ในปี ค.ศ. 2008 พายุเมอโลร์ (Melor) และ พายุมรกต (Morakot) ในปี ค.ศ. 2009 สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปได้ดังนี้

#### 6.1.1 วิถีจักรของพายุประกอบด้วย 3 เหตุการณ์คือ เหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัว เหตุการณ์พายุทวี

กำลัง และเหตุการณ์พายุอ่อนกำลัง จากค่าสถิติของข้อมูลความเร็วลมและภาพเมฆของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้ใช้เอกสารนี้แล้ว ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ซ้ำได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่สนใจในเหตุการณ์พายุตลอดเส้นทางในงานวิจัย พบว่าสามารถจัดกลุ่มวัฏจักรของพายุตามความเร็วลมของพายุเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเหตุการณ์ที่พายุมีความเร็วต่ำๆ (15-18 เมตรต่อวินาที) ประกอบด้วย กลุ่มเหตุการณ์พายุเริ่มก่อตัวและเหตุการณ์พายุอ่อนกำลัง ขณะที่กลุ่มเหตุการณ์พายุอีกกลุ่มหนึ่งคือเหตุการณ์พายุที่มีความเร็วลมสูง (>18 เมตรต่อวินาที) ประกอบด้วยเหตุการณ์พายุขณะทวีกำลัง และผลการจัดกลุ่มนี้ทำให้ได้มาซึ่งค่าฟังก์ชันฮิวริสติกที่ใช้ช่วยในการตัดสินใจในขั้นตอนอื่น ๆ

6.1.2 ในส่วนของการทำดีฟิซซีของระบบอนุมานฟิซซีคือการแปลงค่าเอาต์พุตให้เป็นค่าตัวเลขที่อยู่ในโดเมนคำตอบที่ต้องการ โดยสามารถทำได้หลายเทคนิค เช่น COA SOM LOM และ MOM นั้น งานวิจัยได้ทดสอบกับเหตุการณ์พายุเมเจอร์ระหว่างวันที่ 30 กันยายน ถึง 9 ตุลาคม 2009 ผลการทดลองพบว่าเทคนิคการทำดีฟิซซีที่ให้ระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดจากน้อยไปมากคือ เทคนิค COA LOM MOM และ SOM โดยมีค่าระยะทางผิดพลาด 130.0 140.6 139.9 และ 153.2 กิโลเมตร ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่าการทำดีฟิซซีของระบบอนุมานฟิซซีในงานวิจัยด้วยเทคนิค COA ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

6.1.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งตาพายุมรกด 2009 ด้วยวิธี QM QSM BQSM FQM และ FQSM ผลการทดลองพบว่า ในด้านของประสิทธิภาพระยะทางเฉลี่ยผิดพลาด วิธี FQSM ให้ค่าระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 93.3 กิโลเมตร โดยการค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM ของวิทยานิพนธ์นี้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธี BQSM 16.25 % ในด้านของประสิทธิภาพของการใช้เวลาในการประมวลผล พบว่า BQSM และ FQSM ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกันโดยใช้เวลาในการประมวลผล 19.362 และ 15.859 วินาทีตามลำดับ โดยวิธี FQSM ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี BQSM 0.19% ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธี FQSM ให้ประสิทธิภาพในการตรวจหาตาพายุได้ดีที่สุด โดยให้ทั้งค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยน้อยที่สุดและใช้เวลาประมวลผลอย่างคุ้มค่า

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธี FQSM ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับหน่วยงาน JTWC HKO และ JMA ผลการทดลองของงานวิจัยพบว่าการค้นหาพิกัดตาพายุทั้ง 6 เหตุการณ์ ผลการทดลองพบว่าพายุที่มีระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดน้อยที่สุดคือพายุฮากิบีสมีค่า 92.8 กิโลเมตร ขณะที่การค้นหาพิกัดตาพายุที่มีระยะทางเฉลี่ยผิดพลาดมากที่สุดคือพายุหมานยี่มีค่า 128.5 กิโลเมตร ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า การค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM สามารถรองรับพายุที่มีความเร็วลมระดับต่ำตามมาตรฐานเฮอริเคนแซฟเฟอร์-ซิมป์สัน คือพายุฮากิบีส พายุมรกด และพายุยูวีทู ได้ดี อย่างไรก็ตามการค้นหาพิกัดตาพายุด้วยวิธี FQSM นี้จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อนำไปทดลองใช้กับพายุเมโอล์พายุหมานยี่ และ พายุซังมี โดยประสิทธิภาพที่ลดลงนี้อาจเกิดจากการขาดหายของข้อมูลลมและความความไม่ชัดเจนของคุณลักษณะโค้งกันหอยในภาพเมฆที่ใช้เป็นพารามิเตอร์หลักในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาพิกัดตาพายุ สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพในอนาคตจำเป็นต้องนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญด้านอื่นๆ มาวิเคราะห์เพิ่มเติม

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุพิกัดตาพายุเพื่อหาเส้นทางพายุนั้น องค์การอุตุนิยมวิทยา (World Meteorological Organization :WMO) [54] ซึ่งเป็นองค์การระหว่างรัฐบาล มีประเทศสมาชิกจำนวน 191 ประเทศ เช่น สวิตเซอร์แลนด์ เนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร จีน อินเดีย ญี่ปุ่น ไทย เป็นต้น มีหน้าที่ด้านอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยาเชิงปฏิบัติการ และภูมิศาสตร์กายภาพแขนงที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลอากาศและกระจายผลการตรวจอากาศจำนวนมากมาย ตลอดจนค้นคว้าเทคนิคแผนใหม่ๆ เพื่อประโยชน์ในด้านอุตุนิยมวิทยา ได้นำเสนอให้เปรียบเทียบเส้นทางพายุจากงานวิจัยต่างๆ กับศูนย์เฮอริเคนแห่งชาติ (National Hurricane Center: NHC) ตั้งอยู่ที่ เมืองไมแอมี (Miami) รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อตรวจและรายงานธรรมชาติของเฮอริเคนแต่ละลูกในพื้นที่ตอนเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก และพื้นที่ตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก และสำนักอุตุนิยมวิทยาญี่ปุ่น (Japan Meteorological Administration: JMA) ได้รับมอบหมายจากองค์การอุตุนิยมวิทยาให้เป็นศูนย์กลางด้านอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ตะวันตกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งประกอบด้วยประเทศ เกาหลี ญี่ปุ่น ไทย เวียดนาม ไต้หวัน จีน เป็นต้น

ได้มีการสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับพายุที่ผ่านมามาตั้งแต่ปี 2000-2014 ไว้ใน [55] เพื่อนำมาพัฒนาวิธีการพยากรณ์พายุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอธิบายคุณลักษณะของสภาพอากาศที่มีผลต่อการเกิดพายุ แหล่งข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์พายุ ปัจจัยที่มีผลต่อการพยากรณ์พายุ การอธิบายขนาดและโครงสร้างของพายุ วัฏจักรของพายุ การกำหนดความรุนแรงของพายุ และนำเสนอวิธีการตัวอย่างสำหรับติดตามเส้นทางพายุ สำหรับการกำหนดผลการทดลองของวิธีการระบุเส้นทางพายุ ในงานวิจัยนี้เสนอให้เปรียบเทียบกับหน่วยงานทางด้านอุตุนิยมวิทยา ระบบการพยากรณ์ที่มีการนำเสนอมาก่อนหน้า โดยหลายปีที่ผ่านมาองค์การอุตุนิยมวิทยา (WMO) ได้ประสานงานแลกเปลี่ยนเพื่อกำหนดเป็นเอกสารคู่มือในการประมวลผลข้อมูลและการพยากรณ์ระบบทั่วโลก (The Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System : GDPFS) สำหรับใช้เป็นมาตรฐานสากลทั่วไป และนำมาเปรียบเทียบภายในกรอบการทำงานร่วมช่วยให้ศูนย์การสร้างแบบจำลองเพื่อปรับปรุงรูปแบบของคุณภาพการพยากรณ์พายุ โดยกำหนดความน่าเชื่อถือของค่าระยะทางผิดพลาดที่ยอมรับได้สำหรับการพยากรณ์อยู่ที่ระยะทาง 120-350 กิโลเมตร โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ต่อผลกระทบความปลอดภัยของการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินอยู่ที่ระยะทาง 350 กิโลเมตร ในกรณีที่พายุมีความเร็วลมรอบจุดศูนย์กลางที่ 16.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะทำได้สามารรถเตือนภัยล่วงหน้าได้อย่างน้อย 6 ชม ก่อนหน้าที่พายุจะเคลื่อนเข้าสู่พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.manager.co.th/Around/ViewNews.aspx>, 2016.
- [2] J.F. Hasling, "The Freeman/Hasling Hurricane Damage Potential Scale, *Weather research center*", p.14, 2009.
- [3] <http://www2.tmd.go.th/webboard/show.php?Category=meteorology&No=7047&HPSESSID>, 2016
- [4] V. F. Dvorak, "Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery", *Monthly Weather Review*, vol.103, no.5, pp. 420-430, 1975.
- [5] K.Y. Wong, C.L. Yip and P.W. Li, "Automatic identification of weather systems from numerical weather", *Expert Systems with Applications*, vol.35, pp.542-555, 2008.
- [6] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, "Objective Detection of Center of Tropical Cyclone in Remotely Sensed Infrared Images", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*", vol.6, no.2, pp.1031-1035, 2013.
- [7] K.Warunsin and O. Chitsobhuk, "Automatic Typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud Image", 14<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS, pp.212-216, 2014.
- [8] K.Warunsin and O. Chitsobhuk, "Heuristic search on statistics of wind data and cloud images for automatic typhoon eye location", 7<sup>th</sup> Knowledge and Smart Technology, KST, pp.60-64, 2015.
- [9] S.-S. Ho, and A. Talukder, "Automated Cyclone Identification from Remote QUIKSCAT Satellite Data", *IEEE Aerospace Conference*, pp.1-9, 2008.
- [10] K.Warunsin and O. Chitsobhuk, "Cyclone identification using Fuzzy C Mean clustering", *The 13<sup>th</sup> International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT*, pp.369-373, 2013.
- [11] Juhong Zou, Mingsen Lin, Xuotong Xie, Shuyang Lang, and Songxue Cui, "Automated typhoon identification from QuikSCAT wind data", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, IEEE International*, pp. 4158-4161, 2010.
- [12] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, "Prediction of Tropical Cyclogenesis Using Scatterometer Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, no. 12, pp.4904-4909, 2011.
- [13] Q.C. Bai, K. Wei, Z.L.Jing, Y.X Li, H.Y. Tuo and C.G. Liu, "Tropical cyclone spiral band extraction and center locating by binary ant colony optimization", *SCIENCE CHINA Earth Sciences*, vol.55, no.2, pp.332-346, 2012.
- [14] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, P.K. Pal, "Cyclone intensity estimation using similarity of satellite IR images based on histogram matching approach",

- Atmospheric Research, vol.118, pp.215-221, 2012.
- [15] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, “Automatic determination of center of tropical cyclone in satellite-generated IR images”, IEEE Geoscience and Remote Sensing, Letters, vol.8, no.3, pp.460–463, 2011.
- [16] R. S. T. Lee and J. N. K. Lui, “Automatic Track Mining and Objective Satellite Pattern Hunting system using Enhanced RBF and EGDLN”, AAAI-00 Proceedings, p.6, 2000.
- [17] R. S. T. Lee and J. N. K. Lui, “Tropical cyclone identification and tracking system using integrated neural oscillatory elastic graph matching and hybrid RBF network track mining techniques”, IEEE Transactions on Neural Networks, vol.11, no.3, pp.680-689, 2000.
- [18] Q.C. Bai and K.Weii, “Cloud system extraction in tropical cyclones by mountain-climbing”, Atmospheric Research, pp.611-620, 2011.
- [19] <http://th.wikipedia.org/wiki/พายุ>, 2016.
- [20] Chandan Roy, Rita Kovordányi, “Tropical cyclone track forecasting techniques - A review”, Atmospheric Research 104–105, pp.40–69, 2012.
- [21] Landsea C., Delgado S., Number of storms by basin <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/E10.html>, 2011.
- [22] J.F. Hasling, “The Freeman/Hasling Hurricane Damage Potential Scale”, Weather research center, p.14, 2009.
- [23] <http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/storm.html>, 2016.
- [24] <http://www2.tmd.go.th>, 2016.
- [25] T. Hiraoka, H. Maeda, and N. Ikoma, “Two-stage Prediction Method of Typhoon Position by Fuzzy Modeling - Fusion of Outline Prediction and Detailed Prediction”, Proceedings of Systems Man and Cybernetics, vol. 6, pp. 581–585, 1999.
- [26] Xu Jin-Wei, Wang Ping, Xie Yi-Yang, “Image segmentation of Typhoon spiral cloud bands based on support vector machine”, Proceedings of the 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 1088-1093, 2009.
- [27] C.-C. Chang and C.-J. Lin, LIBSVM: a library for support vector machines. [online] software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2001.
- [28] <http://www.wunderground.com/hurricane/hurrarchive.asp>, 2016.
- [29] Vatinee Nuijian, Phayung Meesad, “Fining Approximate Parameter for Document Dimension Reduction Using Support Vector Machine”, NCCIT, 2010.
- [30] V. Vapnik, “The Nature of Statistical Learning Theory”, Springer-Verlag, New York, 1995.
- [31] .Jinwei Gu, “An Introduction of Support Vector Machine”, PPT, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [32] J. C. Noordam, W. van den Broek, and L. M. C. Buydens, “Multivariate image segmentation with cluster size insensitive fuzzy c-means”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol.64, no.1, pp 65–78, 2002.
- [33] L. Jin, X. Ling, J. Jin, and J. Li, “Study on interpretation prediction of numerical weather prediction products based on modular fuzzy neural network”, *Acta Meteorologica Sinica*, vol.61, no.1, pp.78–84, 2003.
- [34] J. Dunn, “A fuzzy relative of the Isodata process and its use in detecting compact well-separated clusters”, *Journal of Cybernetics*, vol.3, no.3, pp. 32–57, 1973.
- [35] J. Bezdek, “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms”, Plenum Press, New York, 1981.
- [36] รศ.ดร. บุญเจริญ ศรีเนาวกุล, “ปัญญาประดิษฐ์- Artificial Intelligence”, สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด, 2551.
- [37] ศ.ดร. บุญเสริม กิจศิริกุล, “Artificial Intelligence”, เอกสารการสอนวิชา 2110654, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [38] Michael Negnevitsky, “Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems”, 2<sup>nd</sup> ED, Addison Wesley, 2005.
- [39] พยุง มีสัจ, “Fuzzy Logic”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, ม.ป.ป.
- [40] กองพล อารีรักษ์, “รายงานการวิจัยการควบคุมการฉีดกระแสของวงจรรองกำลังแอกทีฟด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558.
- [41] L.S. Riza , C. Bergmeir, F. Herrera, J. M. Benítez, “frbs: Fuzzy Rule-Based Systems for Classification and Regression in R”, *Journal of Statistical Software*, vol.65, no. 6, p.30, 2015.
- [42] Mishra S.K., “Fitting a Logarithmic Spiral to Empirical Data with Displaced Origin”, *Social Science Research Network*, 2006.
- [43] <http://www.bigwalls.net/climb/camf/Camfigs/camfig1.jpg>, 2016.
- [44] C.Roy and R.Kovordányi, “Tropical cyclone track forecasting techniques - A review”, *Atmospheric research*, vol. 104, pp. 40-69, 2012.
- [45] T. Lungu and et. al., “QuikSCAT Science Data Product User’s Manual”, 2006.
- [46] Frank J. Wentz, *Remote Sensing Systems* [online], [http://images.remss.com/qscat/scatterometer\\_data\\_daily.html](http://images.remss.com/qscat/scatterometer_data_daily.html), 2009.
- [47] P. Kumar, KP Harish Kumar and PK Pal, “Impact of Oceansat-2 Scatterometer Winds and TMI Observations on Phet Cyclone Simulation”, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, vol.51, no.6, pp. 3774-3779, 2013.
- [48] Zhong Jian, Fei Jianfang Huang Sixun, Du Huadong and Zhang Liang, “An improved QuikSCAT wind retrieval algorithm and eye locating for typhoon”, *Acta Oceanologica Sinica*, vol.31, no.1, pp.41-50, 2012.

- [49] P. G. Rodríguez, M. E. Polo, A. Cuartero, Á. M. Felicísimo, and J. C. Ruiz-Cuetos, "VecStatGraphs2D, A Tool for the Analysis of Two-Dimensional Vector Data: An Example Using QuikSCAT Ocean Winds", *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 921-925, 2014.
- [50] C.B. Hasager, A. Mouche, M. Badger, F. Bingöl, I. Karagali, T. Driesenaar, A. Stoffelen, A Peña and N. Longépé, "Offshore wind climatology based on synergetic use of Envisat ASAR, ASCAT and QuikSCAT", *Remote Sensing of Environment*, vol.156, pp.247-263, 2015.
- [51] T.L. Pao, J.H. Yeh, M.Y. Liu and Y.C. Hsu, "Locating the Typhoon Center from the IR Satellite Cloud Images", *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp.484-488, 2006.
- [52] R.T.Merrill, "A Comparison of Large and Small Tropical cyclones", *Monthly Weather Review*, vol.112, pp.1408-1418, 1984.
- [53] K.Warunsin and O. Chitsobhuk, "Storm Eye Identification Using Fuzzy Inference System", *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, *IJICIC*, vol. 12, no. 4, pp.1333-1349, 2016.
- [54] Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting [online], <http://www.wmo.int/cycloneguide/>, 2016.
- [55] EFFECTIVE WARNINGS: FORECAST VALIDATION [online], <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Topic3.1.pdf>, 2016.



ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์

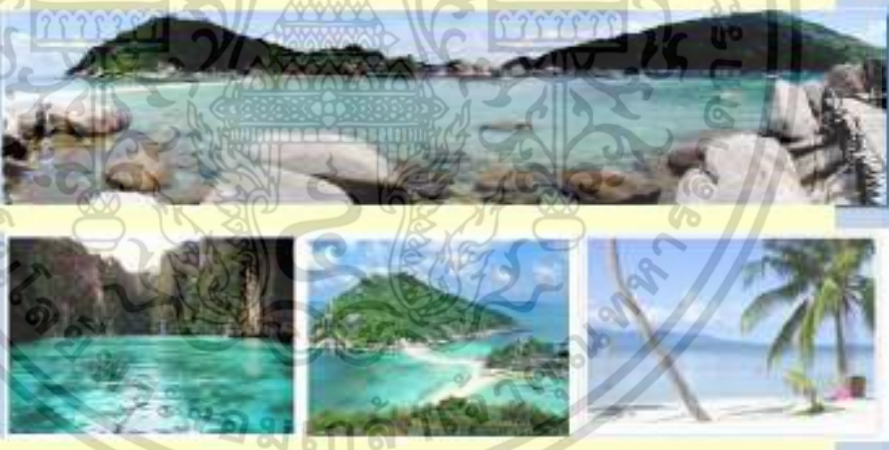
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FINAL PROGRAM AND ABSTRACT BOOK**



**13<sup>th</sup> International Symposium on Communications and Information Technologies**

September 4-6, 2013, Samui Island, Thailand







Communication and Information Technology  
for a New Lifestyle Beyond the Cloud



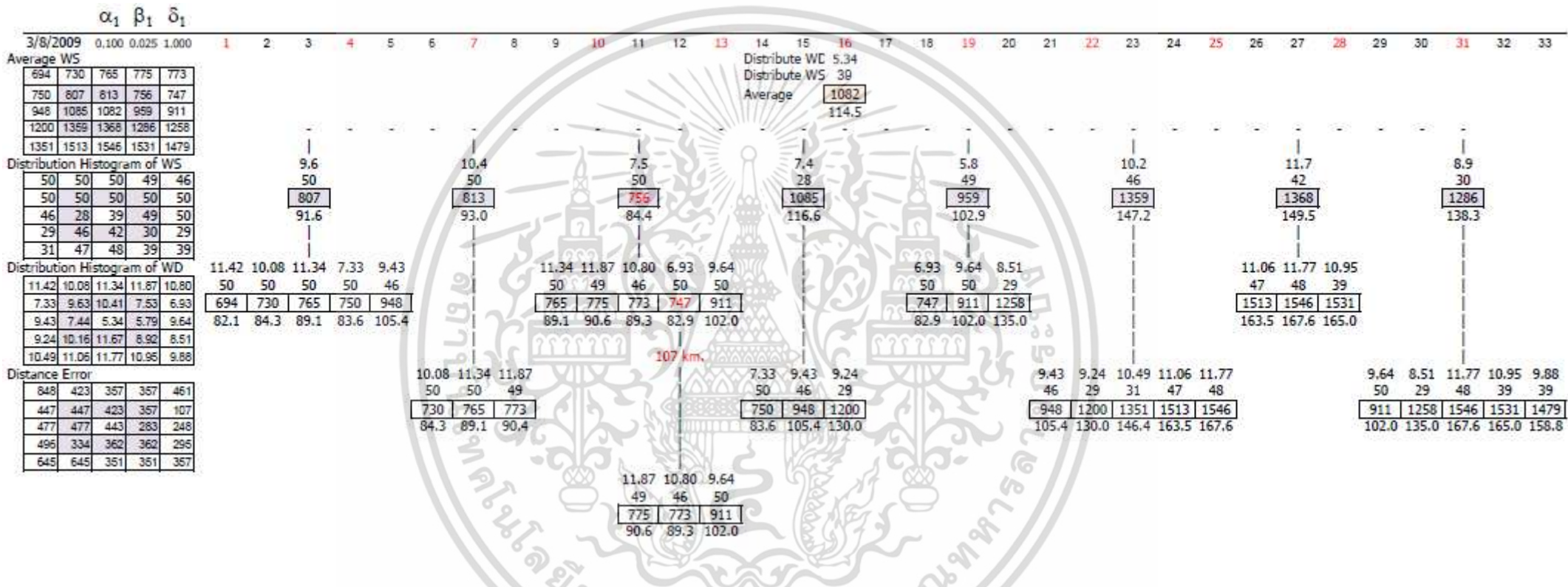
SPONSORED BY :

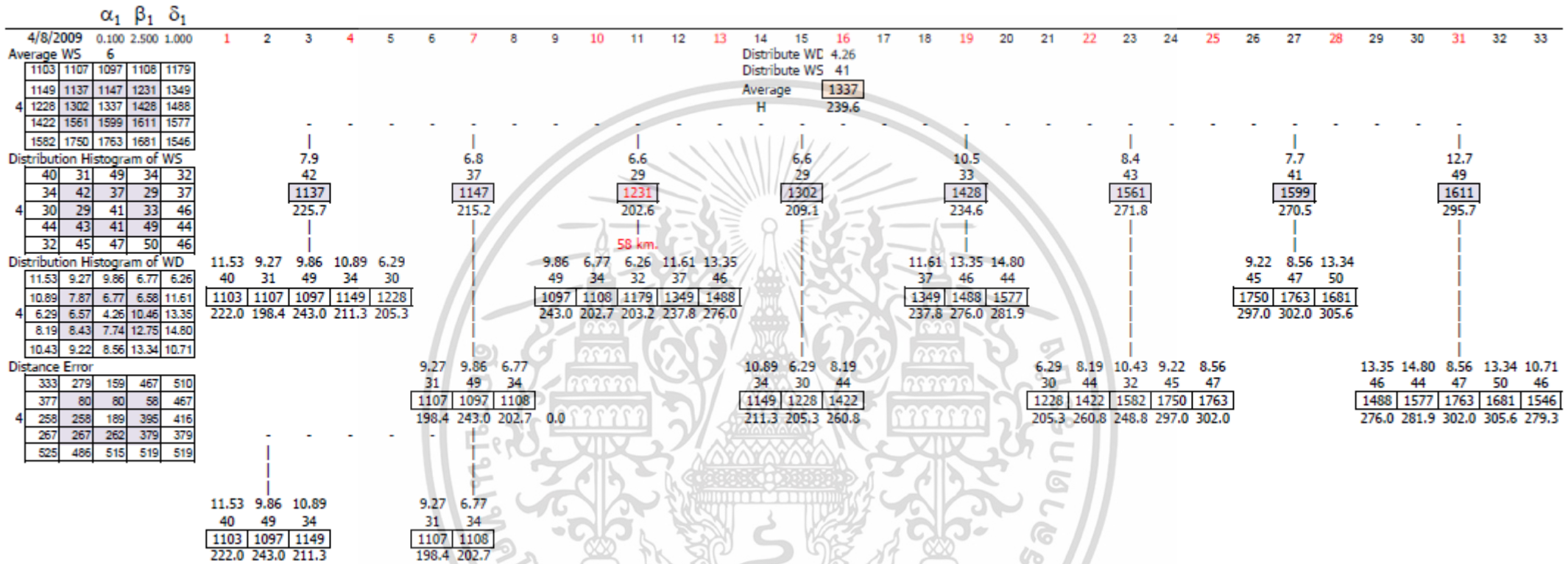
TECHNICAL SPONSORED BY :

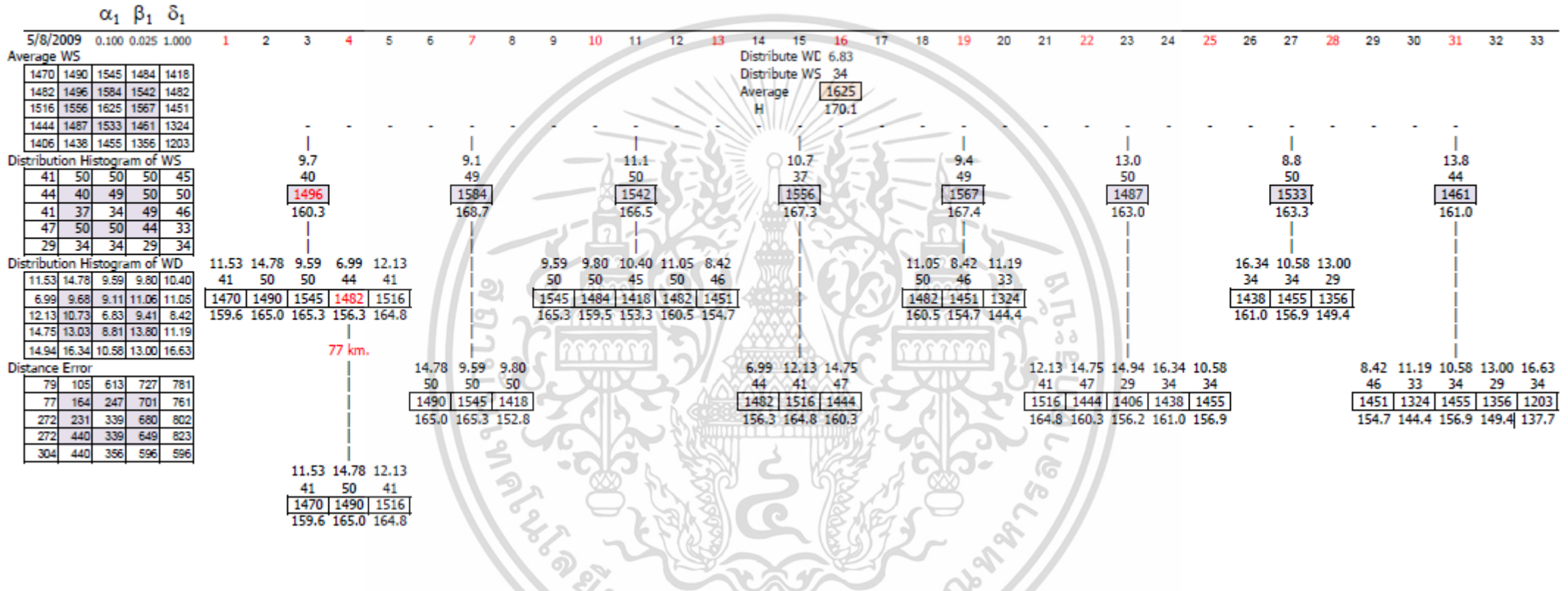
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



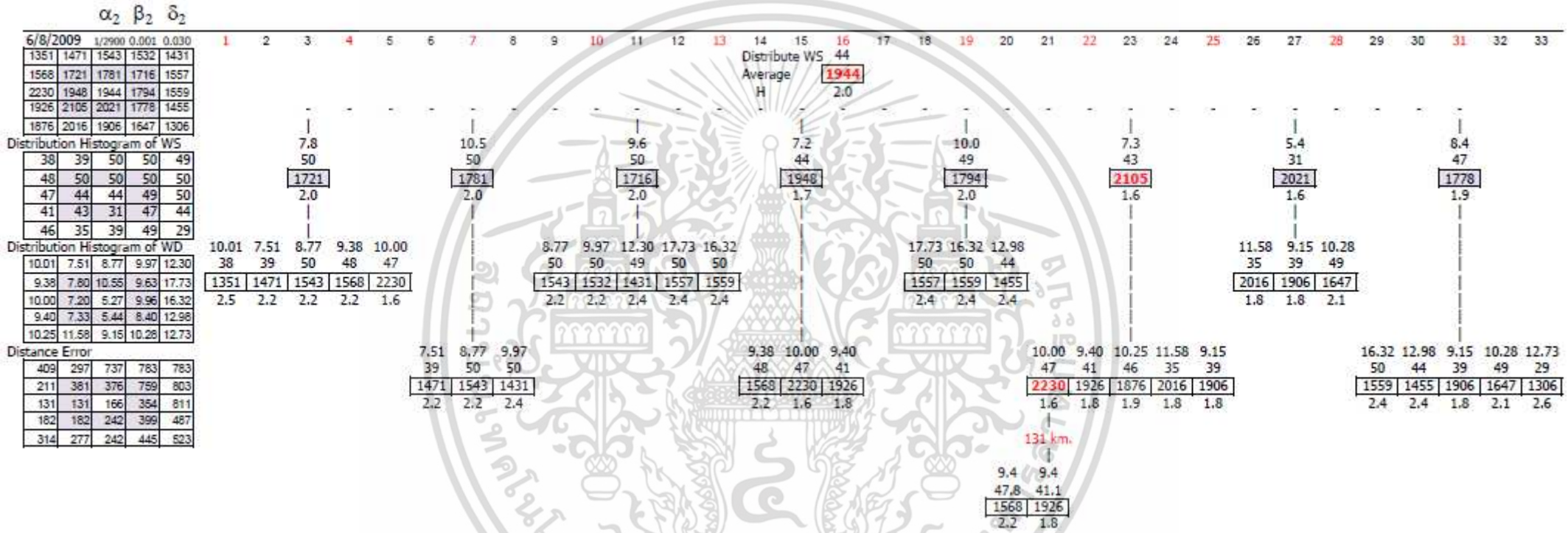
รูป ข.1 ปรับนำหน้าพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 3-8-2009



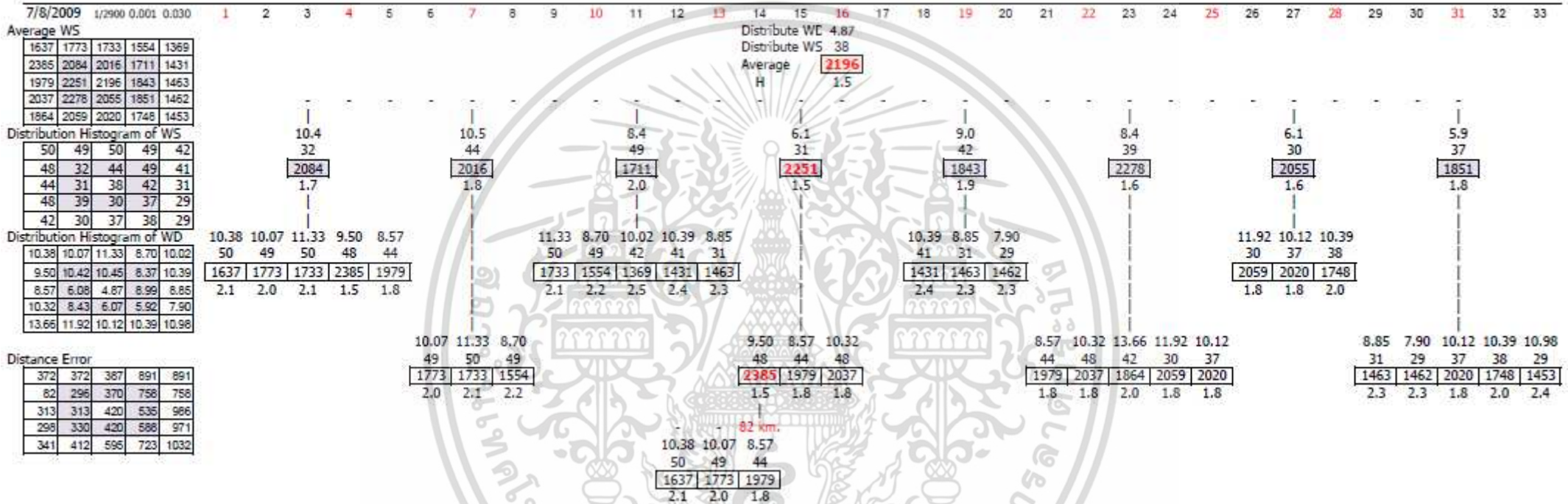
รูป ข.2 ปรับนำหน้าพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 4-8-2009



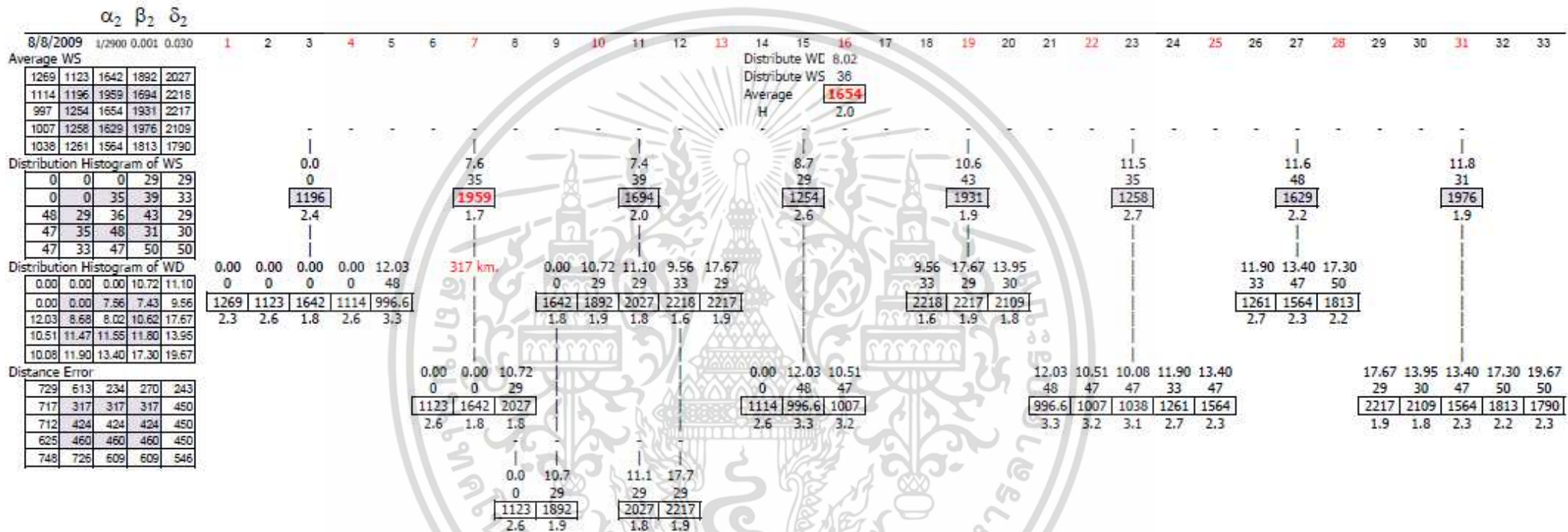
รูป ข.3 ปรับหน้าห้กพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 5-8-2009



รูป ข.4 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 6-8-2009



รูป ข.5 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 7-8-2009



รูป ข.6 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 8-8-2009

# Cyclone identification using Fuzzy C Mean clustering

Kulwarun Warunsin

Computer Engineering Department, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok, Thailand  
[kulwarun@hotmail.com](mailto:kulwarun@hotmail.com)

Orachat Chitsobhuk

Computer Engineering Department, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok, Thailand  
[kcoracha@kmitl.ac.th](mailto:kcoracha@kmitl.ac.th)

**Abstract**— In this paper, the performance of the cyclone identification system using histogram of wind speed and wind direction from the QuikSCAT satellite is demonstrated. The detections based on support vector machines (SVM) classification and Fuzzy C-Means (FCM) clustering are evaluated. SVM technique makes use of a kernel function for classification, which performs well with datasets having nonlinear boundaries. However, it is difficult to determine the suitable kernel function for each dataset and it is needed to be examined. On the other hand, FCM technique is soft unsupervised clustering, which allows each data element to be in more than one cluster with different membership value. This makes it robust to ambiguity datasets. A database of 90 events; 45 cyclone events and 45 non-cyclone events; from the QuikSCAT satellite data is used for the performance evaluation. The performance of the proposed cyclone identification system is then compared to that of [7]. The experimental results show that cyclone identification using Fuzzy C-Mean clustering outperforms that using SVM technique since the SVM is sensitive to the outliers or noises in the dataset thus leads to a reduction in identification performance.

**Keywords**— cyclone identification, weather forecasting, SVM, FCM

## I. INTRODUCTION

Cyclone is one of the most natural disasters that damages creatures on earth. When the storm starts, it is often followed by a violent wind, heavy rain, storm surge, and sudden flood. If we can successfully detect and track the movement of the storm, the damages can be greatly reduced. Almost two decades, several researchers have continued their researches on storm forecast. The most widely accepted theory of tropical cyclones was proposed by Dvorak [1], which the detection is based on satellite infrared data. Lakshmanan et al [2] presented a method to detect storms with Hierarchical K-Means clustering technique based on the satellite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Hiraoka et al [3] presented a method based on infrared satellite images, where the typhoon position is estimated by the fuzzy clustering of continuous wind direction vectors and the circulation of cloud images.

SVM algorithm is a technique used in data analysis and classification. It is about a problem of optimization that makes possible the separation of a field into two or several classes. The advantage of SVM technique is its capability to effectively separate data with nonlinear boundaries. Xu et al [8] proposed a method to extract spiral cloud bands from Doppler radar with the assistance of SVM. In 2008, the main focus of

Ho [7] is the automatic cyclone identification using SVM of features extracted from QuikSCAT wind sensor data. Even though SVM is an efficient classification technique, it is sensitive to the outliers or noises in the dataset thus leads to a reduction in detection performance.

Clustering is another choice for data separation. The most popular fuzzy clustering algorithm is the fuzzy c-means (FCM) algorithm. Even though it is more effective than the hard k-means algorithm since it can better avoid local minima, FCM can still converge to local minima of the squared error criterion. The design of membership functions is the most important problem in fuzzy clustering; different choices include those based on similarity decomposition and centroids of clusters [4]. Clustering based on the FCM technique is widely used in various fields such as medical science [5]-[6].

In this paper, the performance of the cyclone detection system using histogram of wind speed and wind direction from the QuikSCAT satellite is demonstrated. The proposed system evaluations are based on support vector machines (SVM) classification and Fuzzy C-Means (FCM) clustering. The experimental results are then compared with those of [7].

The organizations of this paper are as followed. Section 2 and 3 present outlines on the classifier: Support Vector Machines (SVM) and Fuzzy C Mean (FCM) respectively. Section 4 details the proposed of identification cyclone followed by experimental results in Section 5. Finally, summarize and conclusion is presented in Section 6.

## II. SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)

The SVM [10] is a statistically robust learning method based on the structural risk minimization [11]. It trains a classifier by finding an optimal separating hyperplane which maximizes the margin between two classes of data in the kernel induced feature space. Equation (1) is a training set  $X$ .

$$\{(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i)\} \quad (1)$$

where  $x_i \in \mathcal{R}^m$ ,  $x_i$  is the input data and,  $y_i$  is the output data of  $x_i$  ( $y_i \in \{-1, 1\}$ ) where -1 is referred to Class -1 and 1 is referred to Class 1.

A kernel function  $K(x, x)$  implicitly [10] maps the input  $x$  and output  $y$  into some high dimensional space. Their

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dot products are computed without actually mapping the data [11] and then replaced with kernel functions. Equation (2) is the kernelized dual form of the SVM's optimization problem.

$$\text{Minimize}_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) - \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (2)$$

$$\text{where } \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0; \quad 0 \leq \alpha_i \leq C, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

where  $\alpha_i$  [9] is the Lagrange multipliers and  $\alpha_i^*$  is used for classification of non functional data Equation (3) is linear Classification function.

$$f(x) = \sum_{j=1}^N w_j \alpha_j^* K(x_i, x_j) + b \quad (3)$$

Kernel functions are used for mapping from feature space to output space. The most widely used kernel functions. Equation (4) is linear Kernel function.

$$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j \quad (4)$$

Equation (5) is Polynomial Kernel function.

$$K(x_i, x_j) = (1 + x_i^T x_j)^P \quad (5)$$

Equation (6) Gaussian or Radial Basis Kernel Function.

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

Equation (7) Sigmoid Kernel Function.

$$K(x_i, x_j) = \tanh(\beta_0 x_i^T x_j + \beta_1) \quad (7)$$

### III. FUZZY C MEAN (FCM)

FCM algorithm [14] is one of the most widely used methods in fuzzy clustering. This algorithm was first proposed by Dunn [13] and later was extended by Bezdek [14]. It allows the data in each cluster to be overlapped. It assigns a class membership to a data point, depending on the similarity of the data point to a particular class relative to all other classes. The algorithm is an iterative clustering, which creates an optimal partition of  $c$  clusters. Equation (8) is the algorithm that minimizes the weights within group sum of squared error objective function.

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m d^2(X_j, Z_i) \quad (8)$$

where  $J$  [12] is the objective function of FCM algorithm. Let  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  with  $x_n \in \mathcal{R}^d$  be a data set, which consists of  $N$  dimensional samples, and  $n$  represents the number of data items.  $c$  is the number of clusters.  $m$  is a weighting exponent on each fuzzy membership and  $m = 2$  is used in this study.  $\mu_{ij}$  is the membership of the  $j$ th data in the  $i$ th cluster, and  $Z_i$  is the fuzzy cluster centroid of the  $i$ th cluster.

Using the Euclidean norm, Equation (9) is the distance metric  $d$  that measures the similarity between a feature vector  $X_j$  and a cluster centroid  $Z_i$  in the feature space.

$$d^2(X_j, Z_i) = \|X_j - Z_i\|^2 \quad (9)$$

The objective function is minimized when data points are close to the centroid of their clusters, which will be assigned with high membership values. On the other hand, low membership values are assigned to data points far from the centroid. Equation (10) is membership functions.

$$\mu_{ij} = \left( \frac{\sum_{k=1}^c \left( \frac{d(x_j, v_i)}{d(x_j, v_k)} \right)^{2/(m-1)}}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{d(x_j, v_i)}{d(x_j, v_k)} \right)^{2/(m-1)}} \right)^{-1} \quad (10)$$

Equation (11) is updated cluster centroids.

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m X_j}{\sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m} \quad (11)$$

The FCM algorithm proceeds by iterating the two necessary conditions until a solution is reached [12]. Each data point will be associated with a membership value for each class after FCM clustering. The data point will be assigned the class label according to the highest membership value.

### IV. THE PROPOSED CYCLONE IDENTIFICATION

This paper proposes a cyclone identification system using QuikSCAT satellite data. An overview of the proposed system is presented in Fig. 1. The first step is to define bounding box of interesting event, then creates histograms of three features (wind speed, wind direction and the DSR). The next step is a classification process, where histograms of the three features are used to determine whether the event should be considered as cyclone or non-cyclone situation. In this process, the classifications based on support vector machines (SVM) classification and Fuzzy C-Means (FCM) clustering are evaluated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

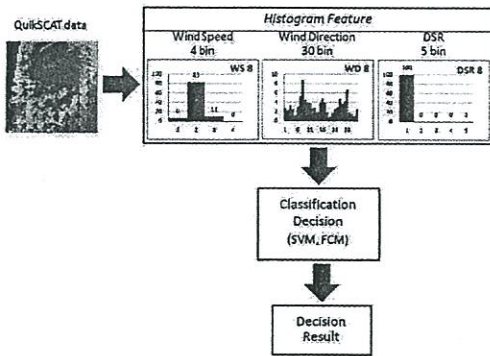


Fig. 1. System to identify cyclone event.

### A. Histogram Feature Extraction

In this process, histograms of the three features are estimated. Wind speed (WS) data is in the range of 0-50 meters per second, which can be used to construct a 4-bin wind speed histogram. From reference information, the events are considered as tropical depression or cyclones, if the maximum wind speed in the area is greater than 17 m/s. As a result, the event will be considered as a cyclone if the histogram of wind speed is dense in the 2nd bin and above. Second feature is wind direction (WD), which the value is in the range of 0-360 degree and can be used to create 30-bin histogram. The event will be considered as a cyclone if the WD histogram shows a nearly uniform distribution. Finally, Equation (12) is histogram of direction to speed ratio (DSR) that is proposed in [7], in which the maximum sustained wind speed is 38 mph.

$$DSR(i, j) = \frac{WD(i, j)}{WS(i, j)} \quad (12)$$

### B. Classification Decision

In this step, all the three featured histograms of WS, WD, and DSR are analyzed using SVM classification and FCM clustering techniques. The analysis of those techniques have been organized according to the structure of the three featured histograms; separated features, SDDSR features (A combined feature of WS, WD, and DSR), and SD features (A combined feature of WS and WD).

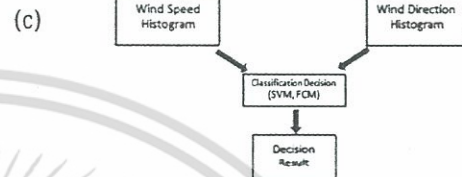
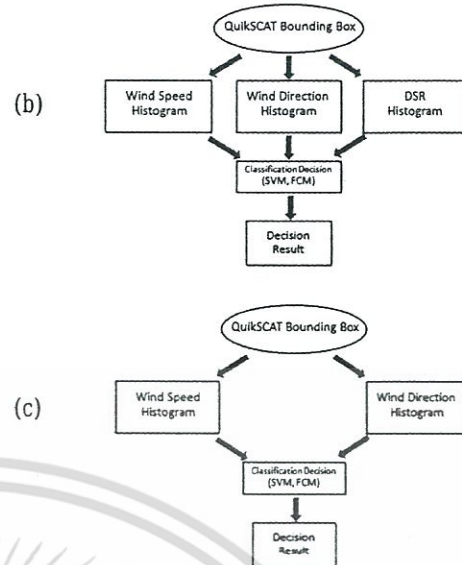
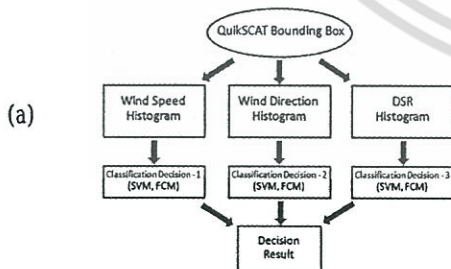


Fig. 2. Structures of classification analysis based on (a) separated features, (b) SDDSR features, and (c) SD features.

In the classification based on separated features, the three featured histograms are evaluated separately. Each feature is fed to each classifier module independently as shown in Fig. 2 (a). The classification results of all three classifiers are then examined using voting technique. The results are considered to be the cyclone events if at least two out of three classifiers win the voting.

Fig. 2 (b) illustrates classification based on a combined feature of WS, WD, and DSR called SDDSR features while the classification based on a combined feature of WS and WD called SD features is presented in Fig. 2 (c). In classification with SDDSR and SD features, only a single classifier is required and no voting algorithm is needed. The results of the classifier will be finalized.

## V. EXPERIMENTAL RESULTS

In the experiments, a database of 90 events; 45 cyclone events and 45 non-cyclone events; from the QuikSCAT satellite data during the year 2007-2009 is prepared for a performance evaluation of the proposed cyclone identification system. In addition, statistical holdout test validation is adopted, where the events are randomly split into a training set of 60 events (30 cyclone events and 30 non-cyclone events) and a testing set of 30 events (15 cyclone events and 15 non-cyclone events). Sample images and the three featured histograms of cyclone and non-cyclone events are illustrated in Fig. 3. The samples contain the cases of obvious and ambiguous cyclone and non-cyclone events. SVM classification and FCM clustering are implemented in order to evaluate the performance of the proposed system. The results are then compared with those of [7]. The SVM classification algorithm used in this research is the study (LIBRARY) SVM version 3.00 [15] while the implemented FCM clustering algorithm is adopted from the FCM (LIBRARY) in the MATLAB version R2009a.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

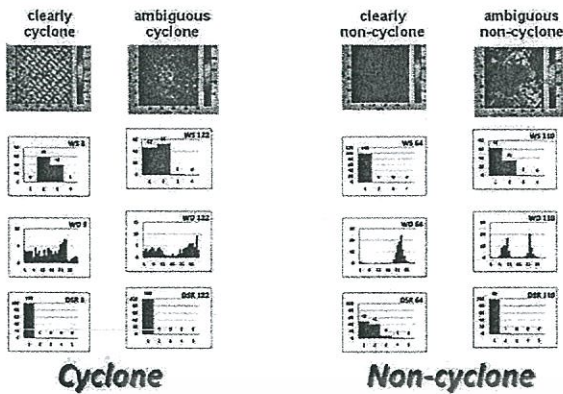


Fig. 3. For example the data used in the research.

Performance measurement is conducted in terms of accuracy (AC), precision (P) and recall (R) as shown in (13) – (15) respectively. The accuracy (13) is defined as the number of correct classified events compared to the number of all tested cyclone/non-cyclone events. In addition, precision (14) introduces a comparison of the number of correct classified cyclone events and the number of all cyclone classification results while recall (15) determines the number of correct cyclone events over the number of all cyclone events.

$$AC = \sum_{i=1}^N \left( \frac{(D_i \cap GT_{Cyclone(i)}) + (D_i \cap GT_{Non-Cyclone(i)})}{N} \right) \quad (13)$$

$$P = \sum_{i=1}^N \left( \frac{(D_i \cap GT_{Cyclone(i)})}{D_i} \right) \quad (14)$$

$$R = \sum_{i=1}^N \left( \frac{(D_i \cap GT_{Cyclone(i)})}{GT_{Cyclone(i)}} \right) \quad (15)$$

where

$D_i = i^{th}$  classification result

$GT_{cyclone(i)} = i^{th}$  ground truth of cyclone events

$GT_{non-cyclone(i)} = i^{th}$  ground truth of non-cyclone events

$N =$  Number of tested cyclone/non-cyclone events

The classification performance of the proposed cyclone identification system and that of [7] are presented in Table I. For SVM classification, several kernel functions (Linear, Polynomial, Sigmoid functions) are analyzed for several structures of the featured histograms (separated, SDDSR, and SD features). The suitable kernel functions for separated features [7] of WS, WD, and DSR are linear, sigmoid, and linear functions respectively. However, the linear kernel function is appropriate for the structures of SDDSR and SD features. From SVM classification performance, the proposed system using SDDSR and SD structured features provides 90% accuracy with 0.9 equal precision and recall, which is higher than that of the reference system [7] using separated features.

In addition, for the FCM clustering performance, the proposed system using SDDSR and SD features offers highest accuracy of 93% with 1.0 precision and 0.9 recall.

TABLE I. The classification performance using different structures of the featured histograms.

Classification Method	Feature	Accuracy	Precision	Recall	
SVM	Ho [7]	77%	0.8	0.8	
	Proposed	SDDSR (Linear, Sigmoid, Linear)	90%	0.9	0.9
		SD (Linear)	90%	0.9	0.9
FCM	Separate FCM	87%	0.8	1.0	
	Proposed	SDDSR	93%	1.0	0.9
		SD	93%	1.0	0.9

## VI. CONCLUSION

This paper presents a performance of the proposed cyclone identification system using histograms of wind speed and wind direction from the QuikSCAT satellite data. Performance is evaluated based on support vector machines (SVM) classification and Fuzzy C-Means (FCM) clustering using different structures of featured histograms. The FCM clustering using SDDSR and SD features offers highest accuracy of 93%, which is higher than that of the reference system [7] using SVM classification of the separated features approximately 17%. The experimental results have proven that the proposed cyclone identification system using FCM clustering outperforms that using SVM classification since the SVM is sensitive to the outliers or noises in the dataset thus leads to a reduction in detection performance.

## ACKNOWLEDGMENT

Funding of this research was supported by grant under the "Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Ph.D." program for Thai doctoral degree from the Office of the Higher Education Commission, Thailand.

## REFERENCES

- [1] V. F. Dvorak, "Tropical cyclone intensity analysis using satellite data," NOAA Tech. Rep., Washington, DC, NESDIS 11, 1984.
- [2] V. Lakshmanan, R. Rabin, and V. DeBrunner, "Multiscale storm identification and forecast" Atmospheric Research, vol. 67, pp. 367-380, July 2003.
- [3] T. Hiraoka, H. Maeda, and N. Ikoma, "Two-stage Prediction Method of Typhoon Position by Fuzzy Modeling - Fusion of Outline Prediction and Detailed Prediction," Proceedings of Systems, Man, and Cybernetics, vol. 6, pp. 581-585, October 1999.
- [4] Jain AK, Murty MN, and Flynn PJ. "Data Clustering: A review" ACM Comp Surveys, vol. 31, no. 3, pp. 264-323, September 1999.
- [5] J. C. Noordam, W. van den Broek, and L. M. C. Buydens. "Multivariate image segmentation with cluster size insensitive fuzzy c-means". Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 64, no.1, pp. 65-78, October 2002.
- [6] P. Phokharatkul and S. Phaiboon "Aerial Image Classification Using Fuzzy Miner" 19th Anniversary faculty of Engineering, pp. 44-50, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [7] Ho, S.-S. and Talukder, A. "Automated Cyclone Identification from Remote QUIKSCAT Satellite Data", IEEE Aerospace Conference, March 2008.
- [8] Xu Jin-Wei, Wang Ping, and Xie Yi-Yang, "Image segmentation of Typhoon spiral cloud bands based on support vector machine", Proceedings of the 2009 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, vol.2, pp. 1088-1093, July 2009.
- [9] Vatinee Nuijian and Phayung Meesad, "Fining Approximate Parameter for Document Dimension Reduction Using Support Vector Machine", The 6TH National Conference on Computing and Information Technology, pp. 81-86, 2010.
- [10] Keng-Pei Lin and Ming-Syan Chen, "On the Design and Analysis of the Privacy-Preserving SVM Classifier", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 23, no. 11, November 2011.
- [11] V. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory; New York: Springer-Verlag, 1995.
- [12] Ping Wang and HongLei Wang, "A modified FCM algorithm for MRI brain image segmentation", International Seminar on Future BioMedical Information Engineering, pp. 26-29, December 2008.
- [13] J. Dunn, "A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters", Journal of Cybernetics, vol.3, no.3, pp. 32-57, 1973.
- [14] J. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms; New York: Plenum Press, 1981.
- [15] C.-C. Chang and C.-J. Lin. (2001). LIBSVM: a library for support vector machines. [online] software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICCAS 2014

2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems

▶ PROCEEDINGS

**October 22~25, 2014**  
**KINTEX, Gyeonggi-do, Korea**

IEEE Catalog Number: CFP1410D-USB

ISBN: 978-89-93215-06-9

ISSN: 2093-7121

<http://2014.iccas.org>

Welcome Message

Conference Organization

Reviewers

Conference Information

Plenary Lectures & Special Sessions

Table of Contents

Author Index

Financial Contribution

E-proceeding Search

Exit

In conjunction with KRC, Robot World 2014



Copyright © 2014 Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)

Tel: +82-32-234-5801 / Fax: +82-32-234-5807 / E-mail: [conference@icross.org](mailto:conference@icross.org)

## Automatic Typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud Image

Kulwarun Warunsin<sup>1</sup> and Orachat Chitsobhuk<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand (kulwarun@hotmail.com)

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand (kcoracha@kmitl.ac.th)\* Corresponding author

**Abstract:** This paper presents an automatic typhoon eye identification using combined features from QuikSCAT satellite and spiral cloud image. Using only cloud information may lead to excessive time to achieve the search solution if encountering ambiguous cloud shape. Therefore, QuikSCAT wind information is used to estimate the candidate region of interest (ROI) and eye location in order to restrain searching range of spiral cloud. The candidate eye location is further expanded to search for the best eye location using the spiral curve model (SCM). The experimental results demonstrate significant improvement in the eye location identification with approximately 60.5% reduction in distance error compared to the three references.

**Keywords:** spiral cloud, typhoon eye identification, storm search, QuikSCAT, heuristic search.

### 1. INTRODUCTION

Identifying and tracking of the storm are crucial. The difficulty is that the definition of the storm is ill defined. If we are able to properly detect and track the storm, the destruction caused to the economy and society would be significantly reduced. There have been several researches proposed to forecast storms over the last few decades. The most widely accepted theory of tropical cyclones was proposed by Dvorak [1], which the detection is based on satellite infrared data. Lakshmanan et. al. [2] presented a method to detect storms with hierarchical K-Means clustering technique based on the satellite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Hiraoka et. al. [3] suggested a method based on infrared satellite images, where the Typhoon position is estimated by the fuzzy clustering of continuous wind direction vectors and the circulation of cloud images. Several researches [4-8] proposed methods to identify the eye of the storms using cloud images. Heuristic search on wind direction for storm identification is proposed in [4,5]. In [6-8], researches focused on locating eyes using spiral techniques and cloud images. In the case that the eye of the storm is not clear, the spiral technique [6] would not be appropriate. In [7], mountain-climbing searching is proposed to search for suitable spiral cloud parameters. However, the main problem of this technique is that ending process is difficult to be properly controlled if no answer could be found in a particular iteration. Therefore, spiral curve model (SCM) and spiral band model (SBM) are used to study the storm characteristics, which helps to improve the process of locating the storm [8]. This method works only if the shapes of the clouds are certain. In [9-11], automatic cyclone detection was developed based on histogram of wind speed and wind direction extracted from QuikSCAT (Quick Scatterometer) satellite. Support vector machine was used to automatically identify the cyclone in [9] while Fuzzy-C mean clustering was proposed in [10] for

the same objective. A circulation path search in a predefined bounding box extracted from a QuikSCAT image was proposed in [11]. The predefined area will be identified as a potential typhoon if at least one circulation path is found. This can help to overcome the drawback caused by ambiguity removal errors associated with rain-flagged data. However, due to the non-overlapped orbit between latitude 45 North and South, this causes blank swaths where the analysis of wind information is less effective. This results in ambiguity decision for cyclone identification. Therefore, in [12], the rainfall information has been included as additional indicator to ensure the accuracy of the measured wind velocity information from the QuikSCAT satellite.

Generally, the failure in achieving a closed circulation of tropical cyclone was often caused by insufficient information from the resources. QuikSCAT wind information offers the greatest skill in tropical cyclone intensity estimation, however, lacking in sufficient data to be analyzed in the blank swaths area due to its non-overlapped orbit. Cloud image is alternative information used for detecting an eye of a tropical cyclone. However, the algorithm works well only the case of unambiguous cloud clusters. If the shape of the cloud is uncertain, searching process may be driven into difficulty in ending the process, especially in the case that there is no answer found in a particular iteration. An appropriate stopping criterion for searching algorithm is the critical issue.

With the incomplete information from a single resource, a combination of information from multiple resources should be explored. In this paper, an automatic Typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image is proposed. Since the shape of cloud is uncertain, it may require large amount of time to achieve the solution. In order to restrain searching range of spiral cloud, the candidate region of interest (ROI) and eye location are predefined using QuikSCAT wind information. Then, the SCM technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

is implemented on the cloud image in the extended area around the candidate eye location. From experiments, the results establish great improvement in the eye location. This paper is organized as follows: The proposed algorithm is detailed in section 2 while section 3 illustrates the experimental results compared to the three references: Joint Typhoon Warning Center (JTWC), Hong Kong Observatory (HKO), Japan Meteorological Administration (JMA). Finally, summarize and conclusion is presented in Section 4.

## 2. THE PROPOSED TYPHOON EYE IDENTIFICATION

This paper proposes an automatic typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image. Using only cloud information may lead to excessive time to achieve the search solution if encountering ambiguous cloud shape. Therefore, QuikSCAT wind information is used to restrain searching range of spiral cloud and estimate the candidate region of interest (ROI) and eye location. Then, the SCM technique is implemented on the cloud image in the extended area around the candidate eye location. An overview of the proposed system is presented in Fig. 1.

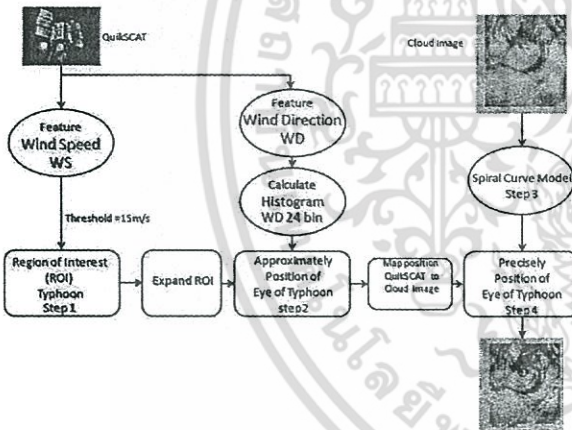


Fig.1 An overview of an automatic Typhoon eye identification system.

### 2.1 QuikSCAT Region of Interest (ROI) detection

In this process, the predefined bounding box is chosen at the area where the maximum wind speed (WS) in that particular box is at least 15 m/s. The 4-bin histogram of WS in the range of 0-50 m/s is generated in order to verify whether the detected bounding box is the appropriate candidate typhoon region of interest. The bounding box with the WS histogram dense in the 2<sup>nd</sup> bin and above will be classified as the candidate ROI and will be further explored to identify the candidate eye's location.

### 2.2 Investigation of the candidate eye location from QuikSCAT

The area of the candidate ROI obtained from previous process is expanded 13.2x13.2 degree from its center. This extended area is partitioned into 11x11 sub-blocks as shown in fig. 2.

Statistical information in terms of distribution of WD and WS histograms as shown in Eq.(1) also the average WS are then estimated from each sub-block. According to [14], it has been indicated that the storm may be quiet asymmetrically. Wind speeds are low at the center, increasing rapidly outwards to the eyewall, where the maximum wind speed occurs, and then decay more gradually as the distance increases. In this paper, searching criteria for the candidate eye location is to find the position inside the candidate ROI where WD distribution is considerably expansive but WS is relatively low. The pseudo-code of searching for candidate eye location is demonstrated in fig. 3.

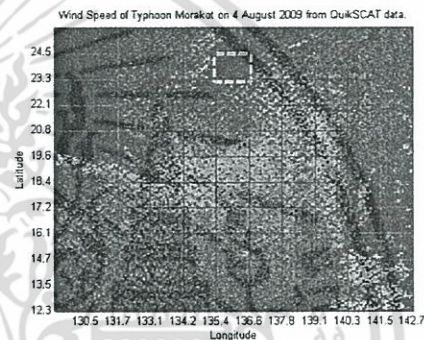


Fig. 2 An example of the expanded candidate ROI partitioned into 11x11 sub-blocks from QuikSCAT wind speed data of Typhoon Morakot on 4-8-2009.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{1}$$

where  $\sigma$  is the distribution histograms of WS and WD.  $n$  is number of histogram bin.  $x_i$  is histogram bin number  $i$   $\bar{x}$  is average of histogram bin

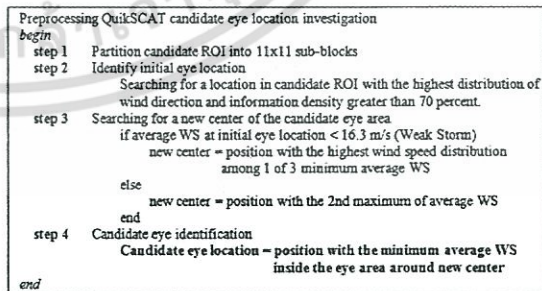


Fig.3 The pseudo-code of QuikSCAT candidate eye's location investigation.

In this process, all three statistical parameters of each sub-block in the candidate ROI are calculated. The sub-block having the highest WD distribution and

information density greater than 70 percent will be selected as the initial eye location. The information density is taken into account to avoid incomplete information in the blank swaths area. In the case where the highest WD distribution locates in the deficient information area, the next order of WD distribution will be chosen instead. To further search for appropriate candidate eye location, heuristic search is performed by considering 3x3 sub-blocks center at the initial search area. The search criterion depends on how strong the typhoon is.

If the average WS in the initial eye area is equal or greater than 16.3 m/s, it is designated as strong storm. The search area is then expanded to look for the proper candidate eye location. A new center is chosen at the sub-block having the second maximum of average WS. Then, the expanded window area of 3x3 sub-blocks from the new center is brought into consideration. The sub-block location with lowest average WS is finally selected as the suitable candidate eye location.

On the other hand, if the initial eye area is defined as weak storm. A new center is labeled at the sub-block having the highest distribution of WS among one of the three minimum average WS. From the new center, the suitable candidate eye location is chosen at the lowest average WS in the search window.

The candidate eye location obtained in this process will be further searched in detail using spiral band model.

2.3 Spiral band extraction from cloud image

2.3.1 Logarithmic Spiral [13]

A logarithm spiral can be called as Bernoulli's spiral, Descartes' spiral, equiangular spiral, spiral mirabilis, or growth spiral. The logarithmic spiral properties have the angle between radial line and tangent to the curve make equal at all points on the curve. The Cartesian coordinate system of the logarithmic spiral curve can be written by two parametric Eq. (2).

$$\begin{aligned} x(\theta) &= r(\theta)\cos(\theta), \\ y(\theta) &= r(\theta)\sin(\theta) \end{aligned} \tag{2}$$

where  $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ ;  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

$$\theta = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right), & x \neq 0, \\ 90^\circ, & (x, y) = (0, > 0), \\ 270^\circ, & (x, y) = (0, < 0), \\ \text{undefined}, & (x, y) = (0, 0). \end{cases}$$

In the polar coordinates  $(r, \theta)$  The curve is described in Eq.(3).

$$r(\theta) = ae^{b\theta} \tag{3}$$

where  $a$  is positive constant,  $r$  is a relationship of

Eq.(2) . And  $r$  can be described the equation of the relationship between Cartesian coordinates and polar coordinates follows Eq.(4).

$$\begin{aligned} x(\theta) &= ae^{b\theta}\cos\theta, \\ y(\theta) &= ae^{b\theta}\sin\theta \end{aligned} \tag{4}$$

The sign of  $b$  in Eq.(3) determines the direction the spiral navigates. A negative value of  $b$  indicates that a spiral will go in clock-wise direction. A spiral will traverse in an opposite direction if the value of  $b$  is positive . However, when  $b$  is zero, the spiral degenerates into a circle.

2.3.2 Spiral Curve Model (SCM) [8]

In satellite cloud image, pixels in spiral curve model (SCM) of Typhoon are often outstandingly bright. It makes intuitive sense to use a spiral curve to fit the crest line of a SCM and describe the spiral pattern for locating Typhoon, in terms of pattern matching. The true Typhoon's center is assumed to be the center of the best-fitting spiral. As extended from Logarithmic Spiral Eq.(4), the equation is written as Eq.(5).

$$\begin{aligned} x(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)}\cos(\theta + \theta_0) + c_x, \\ y(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)}\sin(\theta + \theta_0) + c_y \end{aligned} \tag{5}$$

where  $(c_x, c_y)$  is a center of the spiral and the real number  $\theta_0$  is initial rotary angle.

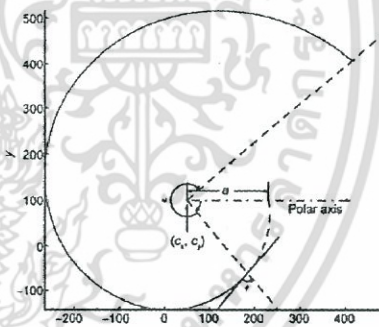


Fig.4 A logarithmic spiral for illustrating the spiral curve model.  $(c_x, c_y) = (50, 100), a = 180, b = -0.175 (-10^\circ), \theta \in [-320^\circ, -50^\circ], \theta_0 = -50^\circ, \Theta = -270^\circ$ [8]

The spiral curve model is depicted in Fig.4. In this example, the spiral parameter  $b$  is equal to  $-0.175$ . This makes a spiral go clockwise from center  $(c_x, c_y)$ . The polar angle  $\theta$  is between  $[\theta_0 + \Theta, \Theta]$ , where  $\theta_0, \Theta < 0$ . And  $\Theta$  is the angular distance of spiraling from  $\theta_0$ .

Four spiral parameters;  $a, b, \theta$  and  $\Theta$ ; are important as they control the shape and eye's location of a spiral curve. Qiuchan et al. [8] proposed a criterion to evaluate the fitting value between a candidate spiral and the SCRB. The search decision is based on the assumption that the pixels in the TC's SCRB, especially those along the crest line of the SCRB, are the brightest parts of the image and that their grayscales are well distributed homogeneously. This evaluation criterion can be defined as Eq.(6).

$$f_{11} = \left( \frac{\text{Grayscale mean along spiral}}{\text{Grayscale SD along spiral}} \right) \frac{m_1}{v_1} \quad (6)$$

where  $m_1$  and  $v_1$  can be simply represented as Eqs.(7) ~ (8).

$$m_1 = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} I(x(\theta), y(\theta)) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \quad (7)$$

$$v_1 = \left( \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} |I(x(\theta), y(\theta)) - m_1|^2 d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

## 2.4 Typhoon eye location refinement

This process is to refine the typhoon eye location using the SCM technique implemented on the cloud image. The full search with searching step of 0.1 degree is performed on expanded area of  $1.3 \times 1.3$  degree center at the candidate eye location. The brightness along the crest line of the SCRB in term of  $f_{11}$  is used as searching criteria. The final eye location result is the position where its brightness parameter  $f_{11}$  is maximum.

## 3. EXPERIMENTAL RESULTS

This paper presents automatic Typhoon eye identification using wind information from QuikSCAT and cloud image (JTWC) from Thai Meteorological Department (TMD) of Typhoon Morakot (3-9 August 2009). Typhoon Morakot [15] was gender on August 4, 2009 at approximately  $22.4^\circ$  N and  $133.8^\circ$  E in the North Pacific Ocean, near northeastern of Philippines. It headed west at a speed of 18-41.2 m/s towards Taiwan, landed on eastern of Taiwan on August 7, and then moved across over northwestern of Taiwan on August 8 with a wind speed up to 20.6 m/s. Examples of wind speed and cloud images from Typhoon Morakot are illustrated in Fig.5

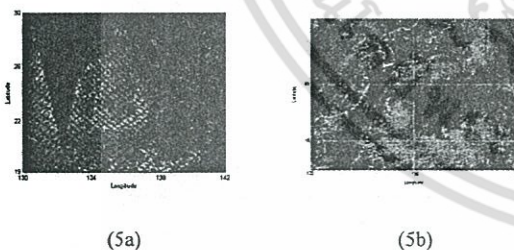


Fig.5 Examples of wind speed (5a) and cloud images (5b) from Typhoon Morakot on 5-8-2009.

The results of the proposed typhoon eye location estimation algorithm are then compared with the best tracks from three references of JMA, HKO, and JMA. Figure 3.1 presents a comparison of eye tracking results from three references, that of the proposed QuikSCAT Method (QSM) using only wind speed and direction from QuikSCAT, and that of the proposed QuikSCAT & Spiral Cloud Method (QSSCM), with eye location refinement process.

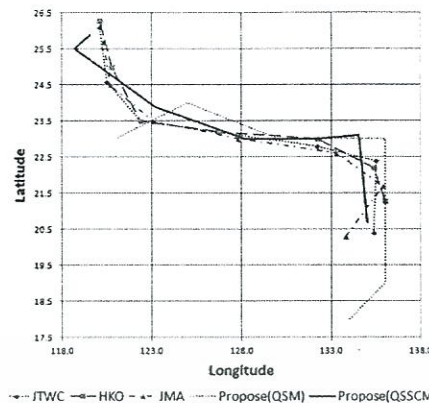


Fig. 6 The graph result of the propose (QSM and QSSCM) compared with the best tracks from JMA, HKO, and JMA.

Table 1 The distance error (km) of QSM compared with the best tracks from JMA, HKO, and JMA on Typhoon Morakot (3-9 August 2009).

DATE	Distance error (DTE)			
	JTWC	HKO	JMA	Avg.
3/8/2009	307.7	427.3	256.2	330.4
4/8/2009	381.4	361.3	299.9	347.5
5/8/2009	418.6	418.0	300.3	379.0
6/8/2009	374.7	352.7	242.0	323.1
7/8/2009	291.3	291.3	216.2	266.3
8/8/2009	185.9	223.1	169.7	192.9
9/8/2009	358.1	379.4	309.4	349.0
Average DTE	331.1	350.4	256.2	312.6

Table 2 The distance error (km) of QSSCM compared with the best tracks from JMA, HKO, and JMA on Typhoon Morakot (3-9 August 2009).

DATE	Distance error (DTE)			
	JTWC	HKO	JMA	Avg.
3/8/2009	55.1	128.5	139.4	107.7
4/8/2009	128.2	135.2	213.2	158.9
5/8/2009	40.3	33.7	160.9	78.3
6/8/2009	182.9	161.1	49.6	131.2
7/8/2009	100.0	100.0	46.2	82.1
8/8/2009	220.3	236.0	245.0	233.8
9/8/2009	62.2	73.1	83.1	72.8
Average DTE	112.7	123.9	133.9	123.5

The efficiency of the proposed algorithm is measured in terms of distance errors compared to each of the references. The distance errors obtained from candidate eye identification using QSM are shown in table 3.1 and those obtained after typhoon eye location refinement using QSSCM are demonstrated in table 3.2. The average distance error from candidate eye identification is 312.6 kilometers while that of eye location refinement is 123.5 kilometers. This shows that the QSSCM offers greater performance than that of QSM approximately 60.5%.

## 4. CONCLUSION

In this paper, an automatic typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 215 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

proposed. QuikSCAT wind information serves as a prerequisite for detecting the candidate ROI and eye location. The wind information offers great ability to restrain searching range of spiral cloud detection. This can significantly reduce search time for the SCM. The candidate eye location is further expanded in order to search for the best eye location using the SCM. The experimental results show that the proposed QSSCM provides excellent performance improvement with approximately 60.5% less distance errors.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT

This research is financially sponsored under the program "Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Ph.D." of the Office of the Higher Education Commission, Thailand. Deep gratitude also goes to the Meteorological Observations Bureau of the Thai Meteorological Department (TMD) for the satellite cloud images.

## REFERENCES

- [1] V. F. Dvorak, *Tropical cyclone intensity analysis using satellite data*, NOAA Tech. Rep., Washington, DC, NESDIS 11, 1984.
- [2] V. Lakshmanan, R. Rabin, and V. DeBrunner, "Multiscale storm identification and forecast," *Atmospheric Research*, Vol. 67, pp. 367-380, 2003.
- [3] T. Hiraoka, H. Maeda, and N. Ikoma, "Two-stage Prediction Method of Typhoon Position by Fuzzy Modeling - Fusion of Outline Prediction and Detailed Prediction," *Proceedings of Systems Man and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 581-585, 1999.
- [4] K. Y. Wong, C. L. Yip, and W. L. Ping, "Automatic tropical cyclone eye fix using genetic algorithm," *Expert Systems With Applications*, Vol. 34, pp. 643-656, 2008.
- [5] K. Y. Wong, C. L. Yip, and W. L. Ping, "A novel algorithm for automatic tropical cyclone eye fix using Doppler radar data," *Meteorological Applications*, Vol. 14, pp. 49-59, 2007.
- [6] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, "Automatic determination of center of tropical cyclone in satellite-generated IR images," *IEEE Geoscience. RemoteSens. Letters*, Vol. 8, No. 3, pp. 460-463, 2011.
- [7] Bai Qiuchan and Wei Kun, "Cloud system extraction in tropical cyclones by mountain-climbing," *Atmospheric Research*, pp. 611-620, 2011.
- [8] Bai QiuChan, Wei Kun, Jing ZhongLiang, Li YuanXiang, Tuo HongYa, and Liu ChengGang, "Tropical cyclone spiral band extraction and center locating by binary ant colony optimization," *SCIENCE CHINA Earth Sciences*; Vol. 55, No 2, pp. 332-346, 2012.
- [9] Ho, S.-S., and Talukder, A. "Automated Cyclone Identification from Remote QUIKSCAT Satellite Data", *IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-9, 2008.
- [10] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, "Cyclone identification using Fuzzy C Mean clustering", *The 13th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT*, pp.369-373, 2013.
- [11] Juhong Zou, Mingsen Lin, Xuetong Xie, Shuyang Lang, and Songxue Cui, "Automated typhoon identification from QuikSCAT wind data," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, IEEE International*, pp. 4158-4161, 2010.
- [12] Chelton, D.B., and M.H. Freilich, "Scatterometer-based assessment of 10-m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models" *Monthly Weather Review*, Vol 133, pp.409-429, 2005.
- [13] Mishra, and S.K., "Fitting a Logarithmic Spiral to Empirical Data with Displaced Origin," *Social Science Research Network*, 2006.
- [14] Frank, and W. M. "The structure and energetics of the tropical cyclone I. Storm structure," *Monthly Weather Review*, Vol. 105, No. 9, pp. 1119-1135, 1977.
- [15] Chyan-deng Jan, Yu-chao Hsu, Ji-shang Wang and Wen-shun Huang, "Debris flows and landslides caused by typhoon MORAKOT in Taiwan," *5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*, pp.675-683, 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 216 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Proceedings of the 2015-7th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)

January 28-31, 2015

Faculty of Informatics, Burapha University  
Chonburi, THAILAND.

ISBN 978-1-4799-6049-1



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง

# Heuristic search on statistics of wind data and cloud images for automatic typhoon eye location

Kulwarun Warunsin  
Faculty of Engineering, King Mongkut's  
Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok, Thailand  
kulwarun@hotmail.com

Orachat Chitsobhuk  
Faculty of Engineering, King Mongkut's  
Institute of Technology Ladkrabang  
Bangkok, Thailand  
kcoracha@kmitl.ac.th

**Abstract**— Identifying typhoon eye location is quite a challenging task since several factors are needed to be evaluated. With deficient information from a single resource, it may lead to disappointed results. The wind information from satellite provides great ability in tropical cyclone intensity estimation, however, lacking in sufficient data to be analyzed in the blank swaths area due to its non-overlapped orbit. Moreover, it is sometimes noisy, incomplete and indirect. In addition to satellite information, the cloud image is an alternative choice. However, the uncertain cloud shape can result in undesirable excessive search time. In order to improve the detection efficiency, a novel heuristic search is proposed to automatically detect the typhoon eye location using the statistics of wind parameters from QuikSCAT satellite and spiral cloud images. The heuristic search is employed to find the best candidate eye location in the region of interest (ROI) obtained from QuikSCAT wind information. This offers great ability to restrain searching range of spiral cloud detection. The candidate eye location is further expanded in order to search for the best eye location using the SCM. The proposed technique can achieve approximately 64.4 % decrease in distance error compared to the three references. This can demonstrate significant enhancement in detecting the location of the typhoon eye.

**Keywords**- spiral cloud, typhoon eye location, storm search, QuikSCAT, heuristic search, best first search

## I. INTRODUCTION

A typhoon is a tropical cyclone developing in the western part of the North Pacific Ocean. The storm is characterized by a large low-pressure center and numerous thunderstorms that sometimes form strong winds and heavy rainfall. The forecast of the storm is essential since it can prevent and relieve from the severe destructions. One of the principal aspects in forecast and analysis of typhoon is a tracking process of the eye of the storm. In the past, it was difficult to determine just where tropical cyclones formed. With the advances in satellite and radar technologies, large amount of raw data has been generated. This allows the meteorologists to better understand tropical cyclones. However, in order to achieve the effective prediction, it will require the efficient strategies to search for the solution through such enormous information.

Numerical and images from satellites are generally used for weather forecast. Dvorak [1] proposed the theory of tropical

cyclones of which a storm was detected based on satellite data. The theory has been commonly used since. Lakshmanan et al. [2] proposed a method to locate storms using the Hierarchical K-Means clustering technique together with the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) data. In [3], a method using peripheral wind field of typhoon was suggested to roughly determine the location of a typhoon using the fuzzy clustering technique. The support vector machine technique was used to automatically identify the cyclone in [4] while Fuzzy-C mean clustering was proposed in [5] for the same objective. A circulation path search in a predefined bounding box extracted from QuikSCAT information was proposed in [7]. The predefined area would be identified as a potential typhoon if at least one circulation path was found. With QuikSCAT wind information, it allows efficient estimation of the tropical cyclone intensity. However, the information is insufficient in the blank swaths area due to its non-overlapped orbit between latitudes 45 North and South. In addition, [8] pinpointed that the presence of rainfall can influence the accuracy of QuikSCAT wind speed data.

Cloud image can be used as alternative information for detecting an eye of a tropical cyclone. In [9-11], the focuses were on locating the storm center using the spiral features of cloud images. Nevertheless, the technique in [9] was unsuitable if the storm's eye was difficult to identify. In [10], the author incorporated the mountain-climbing search technique in order to improve the search in the ambiguous area. However, the algorithm worked well only if the shape of the cloud is clear. With uncertain shape, searching process may be driven into difficulty in ending the process, especially in the case that there is no answer found in a particular iteration. An appropriate stopping criterion for searching algorithm is the critical issue. Therefore, in [11], the spiral curve model (SCM) and the spiral band model (SBM) were used to study the storm characteristics and to improve the process of locating the storm center. This method however still works best for certain cloud shapes. As a result, the contour of non-clear typhoon eye is still one of the most important aspects in the forecast and analysis of typhoon.

The drawback of the numerical data is sometimes noisy, incomplete and unexpected. For example, the rainfall and non-overlapping satellite orbit can affect the precision of QuikSCAT information. In addition, the uncertain shape of the cloud may introduce ambiguity in searching process and leads

to extensive searching time. Consequently, relying on a single resource may lead to inefficient detection results. In [6], The QuikSCAT wind information and cloud images are used to estimate the candidate region of interest (ROI) and eye location. However, the process of estimating the statistics of each sub-block is quite complicated. The searching algorithm sometimes does not provide accurate result. In this paper, heuristic search on statistics of wind data and cloud images for automatic typhoon eye identification is proposed. Heuristic search [12] was viewed as "rule of thumb" that domain experts could use to generate good solutions without exhaustive search. However, the suitable search conditions are essential since it indicates whether the problem can be solved successfully or not. For effective detection, a novel heuristic function based on statistics of wind data and cloud image is proposed. It is used as searching criteria to find the best candidate eye location using QuikSCAT wind information. This offers great ability to restrain searching range of spiral cloud detection.

Then, the SCM technique is implemented on the cloud image in the extended area around the candidate eye location. From experiments, the results establish great improvement in the eye location. This paper is organized as follows: The proposed algorithm is detailed in section II while section III presents the experimental results compared to the three references: Joint Typhoon Warning Center (JTWC), Hong Kong Observatory (HKO), Japan Meteorological Administration (JMA). Finally, summarize and conclusion is presented in Section IV.

## II. THE PROPOSED TYPHOON EYE LOCATION IDENTIFICATION

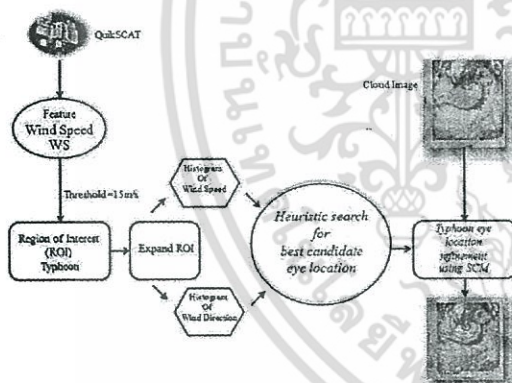


Figure 1. An overview of automatic typhoon eye location system.

The proposed typhoon eye location. Typically, a tropical cyclone (TC) is tracked via its center or the eye of the storm. However, scientists have been facing with challenges in their attempt to locate the storm eye due to unreliable information from a single source. Therefore, this paper proposes the automatic typhoon eye locating method using statistics of the QuikSCAT data and cloud images. The Quick Scatterometer (QuikSCAT) satellite is an active microwave radar that measures wind information (i.e. speed, direction) under all weather and cloud conditions from ocean surface. This satellite provides a full swath width of 1800 km on the

earth's surface and the coverage geographic region results are obtained twice per day. Recent research [4-7] reported the usefulness of QuikSCAT data in identifying the areas susceptible to tropical depressions or tropical cyclones. The overview of the proposed typhoon eye location identification is presented in Fig. 1.

The wind information is used to construct histograms of wind speed (WS) and wind directions (WD) [4]. The wind statistics are then analyzed to determine the region of interest (ROI). The areas with wind speed not less than 15 m/s (the tropical storm intensity is 18 m/s [1]. Therefore, to monitor the early stage of the storm, the wind speed of 15 m/s is selected.), which fall between the second and fourth bins, are selected as initial ROIs. The result ROIs are expanded in order to extend the coverage of the entire storm area. Heuristic search is performed on the expanded ROIs to identify the best candidate storm eye. Best first search, which is an informed heuristic search strategy, is chosen since it exploits additional knowledge of the problem, which can drive the search to more promising solutions. The knowledge is usually incorporated in the form of an evaluation or heuristic function. Designing a heuristic function is crucial since it is a key component to ensure a successful search result. In this paper, a novel heuristic function established from statistics of wind information and cloud image is proposed. The spiral curve model (SCM) technique is then applied to extract the features of cloud images and identify the final location of the storm eye.

### A. Searching for the best candidate eye location

#### 1) Calculating statistical analysis of the wind data

In this process, the initial ROI is expanded 13.2x13.2 degree from its center since this predefined ROI can cover the whole range of the storm area. This extended area is partitioned into 11x11 sub-blocks as shown in Fig. 2. A 24-bin histogram of WD with 15 degree equally space and a 4-bin histogram of WS [4] with 12.5 m/s equally space are calculated for each sub-block. Statistical information in terms of distribution of WD and WS histograms as shown in eq.(1) also the average WS are then estimated. In [13], it has been reported that a storm could be relatively asymmetrical. Thus, wind speeds can be low at the center, increase rapidly moving outward to the radius of maximum winds, and then subside gradually with radius to larger radii. Hence, the approximating of the storm center should be focused at the area with high distribution of WD histogram and low wind speeds.

According to [13], it has been indicated that the storm may be quiet asymmetrically. Wind speeds are low at the center, increasing rapidly outwards to the eyewall, where the maximum wind speed occurs, and then decay more gradually as the distance increases.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1)$$

where  $\sigma$  is the distribution histograms of WS and WD.

$n$  is number of histogram bins.

$x_i$  is histogram bin number  $i$ .

$\bar{x}$  is average of histogram bin.

2) Heuristic search for the best candidate eye location

In this process, all three statistical parameters of each sub-block in the candidate ROI are calculated. Due to the drawback of QuikSCAT in lacking data in the blank swaths area, the sub-block having the highest WD distribution and information density greater than 70 percent will be selected as the initial eye location in order to ensure the efficiency of the detection. The information density is taken into account to avoid incomplete information in the blank swaths area. In the case where the highest WD distribution locates in the incomplete information area, the next order of WD distribution will be chosen instead. To further search for appropriate candidate eye location, best first search algorithm is employed to search for the best candidate eye location. It is a simple informed search algorithm, which incorporates prior knowledge of the problem into an evaluation function called heuristic function. The heuristic function is important since it is used to assign a score to each candidate node and has influence on the possibility of the successful solution. In this paper, a novel heuristic function is proposed to integrate statistical information of WD and WS histograms as shown in eq. (2). The search criterion depends on wind speed of the typhoon. If the average WS in the initial eye area is equal or greater than 16.3 m/s, it is designated as strong storm. Otherwise, it is determined as weak storm.

$$h_{min}(n) = \begin{cases} (Avg_{ws} \times 0.1) + (\sigma_{ws} \times 0.025) + (\sigma_{wd} \times 1); & Avg_{ws} \leq 16.3 \text{ m/s} \\ (2900 / Avg_{ws}) + (\sigma_{ws} \times 0.001) + (\sigma_{wd} \times 0.030); & Avg_{ws} > 16.3 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2)$$

where  $h_{min}(n)$  is the heuristic function.  
 $\sigma_{ws}, \sigma_{wd}$  is the distribution histograms of WS. and WD respectively.  
 $Avg_{ws}$  is the average of wind speed.

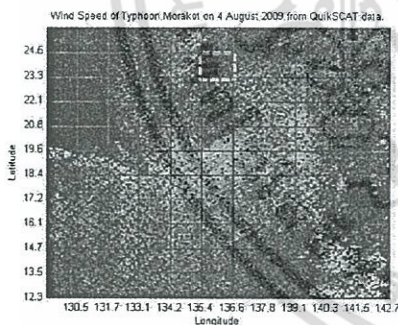


Figure 2. An example of the expanded candidate ROI partitioned into 11x11 sub-blocks from QuikSCAT wind speed data of Typhoon Morakot on 4-8-2009.

An example of approximating a storm center using the best first search is presented Fig. 3. The start node (node 13 at level 0) is expanded. The search is then making a decision based on the least-cost solution of  $h(n)$ . The left node (node 7 at level 1) followed by the successor node (node 6 at level 2) with the minimum cost are selected. The search usually traverses the tree until there is no the descendent node in the next level having the cost less than its ancestor. The search will be caused

to finish, thus the current node is considered as a successor node or the goal of this search. Although BFS algorithm does not guarantee that the result is the best solution from all possible candidate values [12], it generally gives accurate results while requires less amount of searching time.

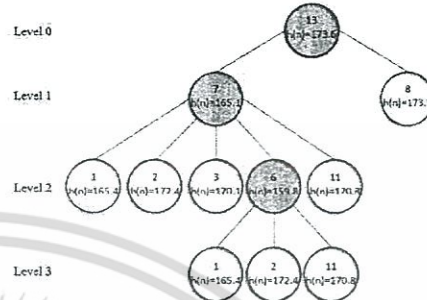


Figure 3. Example of BFS for approximating a storm center which are applied to typhoon Morakot (5-8-2009).

B. Typhoon eye location refinement from cloud image

In [11], on the satellite cloud image, pixels in spiral curve model (SCM) of Typhoon are often outstandingly bright. It makes intuitive sense to use a spiral curve to fit the crest line of a SCM and describe the spiral pattern for locating Typhoon, in terms of pattern matching. The true Typhoon's center is assumed to be the center of the best-fitting spiral. As extended from Logarithmic Spiral method [14], the equation is written as eq.(3).

$$\begin{aligned} x(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)} \cos(\theta + \theta_0) + c_x, \\ y(\theta) &= ae^{b(\theta+\theta_0)} \sin(\theta + \theta_0) + c_y \end{aligned} \quad (3)$$

where  $(c_x, c_y)$  is a center of the spiral and the real number.  
 $\theta_0$  is an initial rotary angle.

In the SCM, The four spiral parameters, i.e. a, b,  $\theta$  and  $\Theta$ , are important since they dictate the shape and eye location of a spiral curve. The spiral curve model is depicted in Fig.4 in which the spiral parameter b is equal to  $-0.175$ . This makes the spiral circulated clockwise from the center  $(c_x, c_y)$ . The polar angle  $\theta$  is in the range of  $[\theta_0 + \Theta, \theta_0]$ , where  $\theta_0, \Theta < 0$  and  $\Theta$  is the angular distance of spiraling from  $\theta_0$ .

Qiuchan et al. [11] proposed a criterion to evaluate the fitting value between a candidate spiral and the spiral cloud-rain bands (SCRB). The search decision is based on the assumption that the pixels in the SCRB of tropical cyclones, especially those along the crest line of the SCRB, are the brightest parts of the image and that their grayscales are homogeneously well distributed. This evaluation criterion ( $f_{11}$ ) can be defined as illustrated in eq. (4). The value of  $f_{11}$  is estimated over an expanded area of  $1.3 \times 1.3$  degree center at the candidate eye location with the step of 0.1 degree. The final eye location result is defined at the position where its brightness parameter  $f_{11}$  is maximum.

$$f_{11} = \left( \frac{\text{Grayscale mean along spiral}}{\text{Grayscale SD along spiral}} \right) = \frac{m_1}{v_1} \quad (4)$$

where  $m_1$  and  $v_1$  can be simply represented as

$$m_1 = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} I(x(\theta), y(\theta)) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \quad (5)$$

$$v_1 = \left( \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} |I(x(\theta), y(\theta)) - m_1|^2 d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

where  $I(x(\theta), y(\theta))$  denotes the grayscale at position  $(x, y)$ .

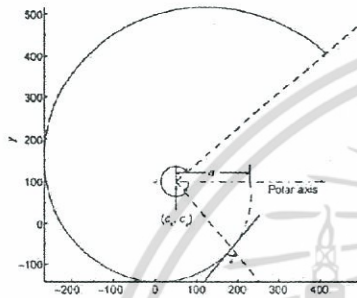


Figure 4. In [11], a logarithmic spiral for illustrating the spiral curve model.  $(c_x, c_y) = (50, 100)$ ,  $a = 180$ ,  $b = -0.175 (-10^\circ)$ ,  $\theta \in [-320^\circ, -50^\circ]$ ,  $\theta_0 = -50^\circ$ ,  $\theta' = -270^\circ$ .

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

This paper presents the automatic typhoon eye locating method using the QuikSCAT wind data and cloud images of Thailand's Morakot typhoon (3-9 August 2009). The cloud images are from the Thai Meteorological Department (TMD), which is originally from JTWC. The typhoon engendered on August 4, 2009, at approximately  $22.4^\circ$  N and  $135.5^\circ$  E in the North Pacific Ocean, northeast of the Philippines. It then moved westward at a speed of 18-41.2 m/s toward Taiwan, landing on the eastern part of the Taiwan island on August 7 and moving across over northwestern of the island on August 8 with a wind speed up to 20.6 m/s. Examples of wind speed and cloud images from Typhoon Morakot are illustrated in Fig.5.

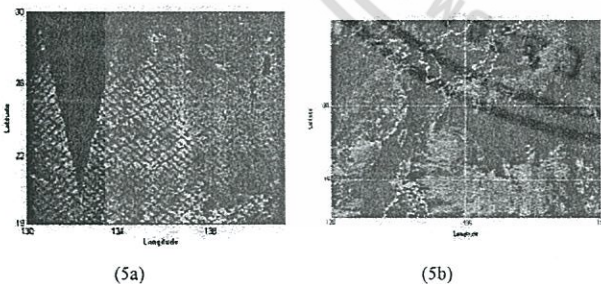


Figure 5. Examples of wind speed (5a) and cloud images (5b) from Typhoon Morakot on 5-8-2009.

Fig. 6 shows the centers of the storm from the QuikSCAT method (QM), the QuikSCAT & Spiral Cloud method (QSM), the proposed best first search on QuikSCAT & Spiral Cloud method (BQSM), and the three reference tracks of JMA, HKO and JMA. To illustrate the efficiency of the proposed algorithm, the distance errors compared to each of the references are evaluated. The distance errors of the BQSM are presented in Table 1. Additionally, the comparison of average errors obtained from QM, QSM, and BQSM is illustrated in Table 2.

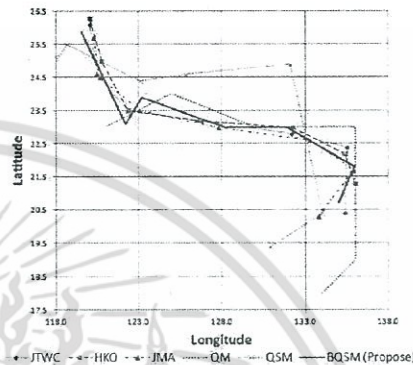


Figure 6. The results of the QM, QSM and BQSM compared with JMA, HKO and JMA.

The minimum average distance error obtained from the proposed BQSM is 57.9 km on 4 August 2009 while the average error over August 3-9 is 111.4 km. It can be seen that the BQSM outperforms the QM and QSM with 201.2 (312.6-111.4) km or 64.4% reduction and 157.7 (269.1-111.4) km or 58.6% reduction in the average distance error respectively.

TABLE 1. THE DISTANCE ERRORS (KM) OF BQSM VIS-A-VIS THE BEST TRACKS FROM JMA, HKO AND JMA OF MORAKOT TYPHOON (3-9 AUGUST 2009)

DATE	Distance error (DTE)			Avg.
	JTWC	HKO	JMA	
3/8/2009	55.1	128.5	139.4	107.7
4/8/2009	84.0	76.4	13.2	57.9
5/8/2009	40.3	33.7	160.9	78.3
6/8/2009	182.9	161.1	49.6	131.2
7/8/2009	100.0	100.0	46.2	82.1
8/8/2009	254.6	264.5	230.7	249.9
9/8/2009	62.2	73.1	83.1	72.8
<b>Average DTE</b>	<b>111.3</b>	<b>119.6</b>	<b>103.3</b>	<b>111.4</b>

TABLE 2. THE AVERAGE DISTANCE ERRORS (KM) FROM THREE REFERENCES USING QM, QSM, AND BQSM FOR MORAKOT TYPHOON (3-9 AUGUST 2009)

DATE	Distance error (DTE)		
	QM	QSM	BQSM
3/8/2009	330.4	477.2	107.7
4/8/2009	347.5	258.2	57.9
5/8/2009	379.0	243.8	78.3
6/8/2009	323.1	211.1	131.2
7/8/2009	266.3	117.7	82.1
8/8/2009	192.9	233.8	249.9
9/8/2009	349.0	341.8	72.8
<b>Average DTE</b>	<b>312.6</b>	<b>269.1</b>	<b>111.4</b>

#### IV. CONCLUSION

In this paper, we demonstrate that a heuristic search, targeted to an automatic typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image, yields superior results. The accomplishment comes from the proposed heuristic function, which incorporates statistics from multiple resources in order to minimize the drawback caused by the deficient information from each resource. The heuristic strategy serves as a prerequisite for detecting the candidate ROI and eye location. This can greatly restrain searching range, thus can significantly reduce the searching time for the SCM. The experimental results show significant improvement in detecting the location of the typhoon eye with approximately 64.4 % decrease in distance error compared to the three references.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research is financially sponsored under the program "Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Ph.D." of the Office of the Higher Education Commission, Thailand. Deep gratitude also goes to the Meteorological Observations Bureau of the Thai Meteorological Department (TMD) for the satellite cloud.

#### REFERENCES

- [1] V. F. Dvorak, Tropical cyclone intensity analysis using satellite data, NOAA Tech. Rep., Washington, DC, NESDIS 11, 1984.
- [2] V. Lakshmanan, R. Rabin, and V. DeBrunner, "Multiscale storm identification and forecast," *Atmospheric Research*, Vol. 67, pp. 367–380, 2003.
- [3] T. Hiraoka, H. Maeda, and N. Ikoma, "Two-stage Prediction Method of Typhoon Position by Fuzzy Modeling - Fusion of Outline Prediction and Detailed Prediction," *Proceedings of Systems Man and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 581–585, 1999.
- [4] Ho, S.-S., and Talukder, A. "Automated Cyclone Identification from Remote QuikSCAT Satellite Data", *IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-9, 2008.
- [5] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, "Cyclone identification using Fuzzy C Mean clustering", *The 13th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT*, pp.369-373, 2013.
- [6] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, "Automatic Typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image", *14th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS*, pp.212-216, 2014.
- [7] Juhong Zou, Mingsen Lin, Xuetong Xie, Shuyang Lang, and Songxue Cui, "Automated typhoon identification from QuikSCAT wind data," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, IEEE International*, pp. 4158-4161, 2010.
- [8] Chelton, D.B., and M.H. Freilich, "Scatterometer-based assessment of 10-m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models" *Monthly Weather Review*, Vol 133, pp.409–429, 2005.
- [9] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, "Automatic determination of center of tropical cyclone in satellite-generated IR images," *IEEE Geoscience. RemoteSens. Letters*, Vol. 8, No. 3, pp. 460–463, 2011.
- [10] Bai Qiuchan and Wei Kun, "Cloud system extraction in tropical cyclones by mountain-climbing", *Atmospheric Research*, pp. 611-620, 2011.
- [11] Bai QiuChan, Wei Kun, Jing ZhongLiang, Li YuanXiang, Tuo HongYa, and Liu ChengGang, "Tropical cyclone spiral band extraction and center locating by binary ant colony optimization", *SCIENCE CHINA Earth Sciences*, Vol. 55, No 2, pp. 332-346, 2012.
- [12] S.J. Russell and P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice-Hall, Inc, pp. 92-96, 2003.
- [13] Frank, and W. M. "The structure and energetics of the tropical cyclone I. Storm structure," *Monthly Weather Review*, Vol. 105, No. 9, pp. 1119–1135, 1977.
- [14] Mishra, and S.K., "Fitting a Logarithmic Spiral to Empirical Data with Displaced Origin," *Social Science Research Network*, 2006.

ISSN 1349-4198

**IJICIC**

Volume 12, Number 4, Aug 2016

***International Journal of Innovative  
Computing, Information & Control***



**IJICIC**

**IJICIC**

Published by ICIC international  
<http://www.ijicic.org>

## STORM EYE IDENTIFICATION USING FUZZY INFERENCE SYSTEM

KULWARUN WARUNSIN AND ORACHAT CHITSOBHUK

Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
kulwarun@hotmail.com; orachat.ch@kmitl.ac.th

Received February 2016; revised June 2016

**ABSTRACT.** *In this paper, a study of the novel technique based on Fuzzy Inference System (FIS) for storm eye identification has been presented. The ocean wind vectors are provided by the NASA QuikSCAT satellite to predict the significance of tropical cyclogenesis. This database is slightly noisy, incomplete and indirect. For this reason, the cloud satellite image can be an alternative option. However, the cloud shape may be ambiguous, which can introduce a long search time. As a result, utilizing combined information from both resources can lead to a reduction in resource deficiency. The FIS is used to describe the uncertain behavior of the complex system consisting of several factors. It provides ability to model the dynamic behavior of the storm and designates the best candidate eye position in the region of interest. Then, the spiral cloud model is adopted to enhance the search results in order to achieve the accurate eye position. The experimental results are conducted based on six reference storms. The proposed system offers higher flexibility in analyzing the storm eye position with the minimum average distance error of 92.8 km and approximately 16.25% less average distance error compared to the reference. This demonstrates the significant performance improvement in detecting the eye location of the storm.*

**Keywords:** Spiral cloud, Storm eye identification, Storm search, QuikSCAT, FIS

**1. Introduction.** A typhoon is a mature storm that develops in the western Pacific Ocean, the most frequent storm formation in the world. The difficulty in storm forecast depends on various geographical and climatological natures of each ocean. For that reason, only a single forecasting technique would not be able to provide sufficient and reliable performance. Furthermore, the storm consists of the various key characteristics such as wind speed, wind direction [1-10,12-16,42-44], pressure system [1,2,5,11,16,43,44], temperature [2,3,10,11,17,18,20,43,44], the amount of precipitation [2,11,44], humidity [11,44], and cloud shape [1,12,14,15,17-19,20-24,45-48]. All these parameters have influence on prediction accuracy and even make it more complicated to forecast.

A variety of the storm forecasting has been innovated by tracking characteristic of prior information. In [25], the roles of storm trajectory tracking were created based on the wind circulation path within a cluster and used to define patterns of tropical cyclones (TCs) variability. [26] presented a multi-dimensional time-series similarity-calculation method using modified A-LTK (Approximation with use of Local features at Thinned-out Keypoints) for the prediction of a typhoon track. Modified A-LTK technique adopted a time-series approximation method for the prediction of a typhoon track from the western North Pacific during the period 2005-2013. The technique tried to reduce the number of time points in time-series data and construct a feature vector at a thinned-out time point using the time points near it. In [27], the relationship between peak intensity and the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

timing of lifetime maximum intensity could influence recurving of TCs. The storm analysis was performed on wind information from the United States' Joint Typhoon Warning Center and the National Hurricane Center during the period 1980-2006, in the western North Pacific, North Atlantic and Southern Hemisphere TC basins. Several research discussed determination of eye location, extracted from the ocean surface wind vectors of the SeaWinds instrument from the QuikSCAT (Quick Scatterometer) satellite [3,4,7,13-15]. The QuikSCAT data has been proven to be the best capacity vector wind pattern related with the early stages of TC. Fully automatic cyclone identification was approached using the Support Vector Machines (SVM) technique on QuikSCAT wind data [4], while the same objective cyclone identification based on the Fuzzy-C Means (FCM) clustering was discussed in [13]. Histograms of QuikSCAT wind speed and direction were adopted to identify the Morakot TC in [3]. The QuikSCAT database is sometimes noisy, incomplete and unexpected due to lacking in sufficient data in the blank swaths area and its non-overlapped orbit between latitude 45 North and South. Therefore, only information from QuikSCAT is not sufficient to determine whether the event should be considered as cyclone or non-cyclone situation.

Cloud images are introduced as alternative information for detecting pattern of storms [1,9,21,28-31] or identifying the eye of storm [14,15,17-19,23,32]. The automatic TC pattern segmentation was involved with a neural network-based model and elastic pattern matching from the predefined TC technique known as Dvorak analysis [1,21] while similar idea was proposed in [9] using Neural Oscillatory Elastic Graph Matching Model (NOEGM) for TC pattern identification. The TC pattern matching algorithms based on the Dvorak technique were continued development by [28-30]. The algorithm determined the axisymmetry of the shape and flexible cloud cluster in TCs. In addition, the gradient and the Deviation-Angle Variance (DAV) of satellite infrared were calculated for the development of TCs in terms of wind speed, storm trajectories and the expansion of storm. However, with the pattern matching requirement, the database must be frequently updated with newly adopted storms in order to improve the forecasting performance. An automatic detection for eye of storm using spiral cloud feature was proposed in [19]. The logarithmic spiral pattern was fitted over the enhanced images and the center of spiral is considered as the center of the TC. However, the results may be inaccurate in the ambiguous areas. The mountain-climbing search technique was proposed by [17] in order to alleviate this problem. The technique was still practically difficult for uncertain cloud shape since it required excessive searching time and sometimes encountered in ending trouble. To resolve this problem, a suitable termination condition for searching algorithm should be in consideration. For this reason, [18] introduced significant criteria for termination condition of searching algorithm. The Spiral Curve Model (SCM) was used to learn from the storm feature and an ant colony optimization algorithm was used to improve the development of storm locating. Nevertheless, the precise storm locating is still difficult to predict especially for the unclear or multiple storm eyes.

With deficient information from a single resource, it may lead to disappointing results. Our combined features of QuikSCAT wind information and cloud image were proposed in [14,15]. The spiral cloud search was applied to discovering the finest candidate of eye location in the Region of Interest (ROI), obtained from QuikSCAT wind data. With initial QuikSCAT ROI selection, the search time for spiral cloud detection was greatly reduced. In addition, the algorithm was able to handle incomplete information for less than 30% missing data. The heuristic search algorithms used in these studies were trained only from storm Morakot in 2009 with distinct characteristics. However, in general, the storm trends to be sensitive to the geographical and climatological characteristics of the region. As a result, the algorithms cannot handle well for more complicated storms having dynamic

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

behaviors. Fuzzy based decision becomes a desirable selection since its idea is to sustain the expert at the linguistic level and to evaluate the information to identify the statistical characteristics of the linguistic terms or to improve the rules. Domain knowledge such as wind information and cloud images of the storm is necessary for knowledge discovery in order to improve the detection results. Case-based fuzzy multi-criteria decision support was proposed for TC forecasting in [33]. Ten-year historical observation data was collected to form fuzzy multi-criteria decision support for case-based reasoning. Obviously, the advantage of FIS technique provides reduction of the large volume of data to the smaller subset of the best cases, which allowed a forecaster to further evaluate and filter the result cases for real time decision making. However, the performance of the algorithm was varied since the forecast was still sensitive to location of the storm center in geographical region. Therefore, in order to cope with such uncertain properties of the storm, we introduce a fuzzy based system specially designed for storm eye identification to improve the storm center tracking. Domain knowledge has been extracted from previous storm observations and statistics obtained from QuikSCAT wind information and cloud images. The FIS then translates the domain knowledge into fuzzy rules and introduces into the expert system. It provides ability to model the dynamic behavior of the storm and designates the best candidate eye position in the ROI. Then, SCM is adopted to enhance the search results in order to achieve the accurate eye position. A comparison of the detection performance has been conducted among SCM, heuristic search on combined wind information and cloud image, and FIS based system. The results illustrate performance improvement of the proposed FIS based system over the other techniques. This paper is organized as follows. Section 2 describes the data analysis. The proposed algorithm is detailed in Section 3, while Section 4 presents the experimental results compared to the three references: Joint Typhoon Warning Center (JTWC), Hong Kong Observatory (HKO), Japan Meteorological Administration (JMA). Finally, summarization and conclusion is presented in Section 5.

**2. Data Analysis.** Usually, for TC tracking, the eye of storm is the most significant key. However, recent researchers are faced with challenges in their efforts to locate the storm eye due to insufficient and incomplete sources of information. An analysis of different sources of information should be examined. In this research, two types of sources, wind characteristics and cloud image, are explored.

**2.1. QuikSCAT satellite [34].** QuikSCAT (Quick Scatterometer) provides wind data for weather forecasting agencies from the National Aeronautics and Space Administration (NASA). The wind data products currently include global backscatter resolution data of 25 and 12.5 km. It provides essential high quality ocean wind data twice per day for each given geographic region with measurement swaths 1,800 km wide on Earth surface. This leads to incomplete data in some regions in the blank swaths area due to its non-overlapped orbit. An example of QuikSCAT wind data interpolated on an equally gridded flat surface is shown in Figure 1(a) and quantized color representation of wind speed is illustrated in Figure 1(b) [35]. Several researchers have utilized the QuikSCAT information, which is considered to be the prototype of the wind vector signal for early storm identification [3-7,13-15,36,37]. A performance of the proposed cyclone identification system using histograms of wind speed and direction from QuikSCAT was demonstrated in [13]. The identification of the storm is carried out based on the wind speed in a range of 0-50 m/s. The bounding boxes are then established to generate a 4-bin histogram of Wind Speed (WS) [4]. The wind speed range of each histogram bin is equally quantized as 12.5 m/s. In general, the tropical storm intensity is starting at 17 m/s [38].

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

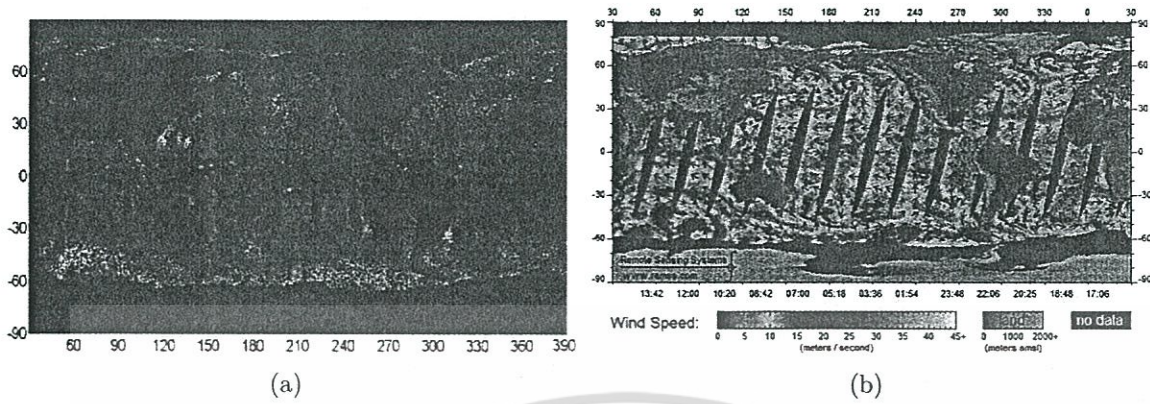


FIGURE 1. An example of QuikSCAT wind speed data from storm Melor on October 6, 2009: (a) QuikSCAT wind data, (b) quantized color representation of wind speed from [35]

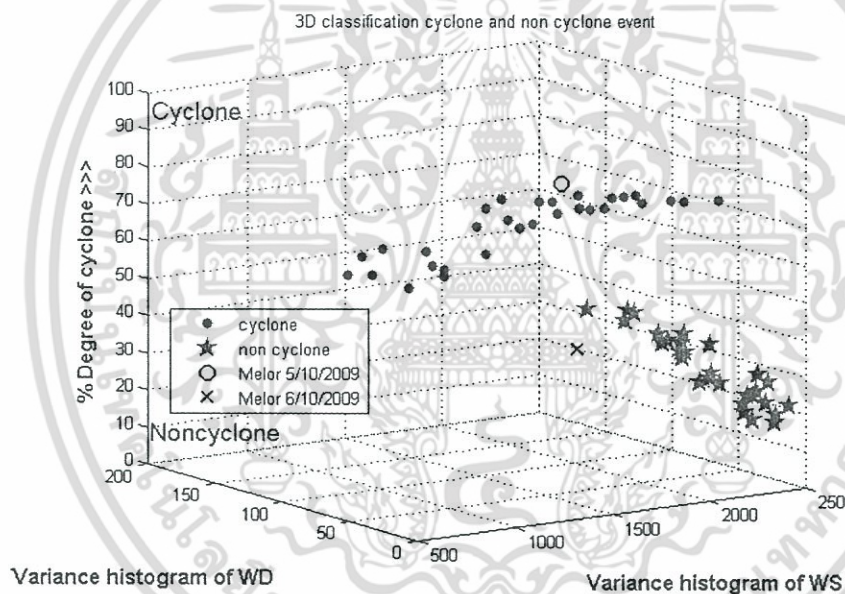


FIGURE 2. Classification results of storm and non-storm events

For example, a database of 30 storm and 30 non-storm events from [13] was prepared for performance analysis of the storm identification system. In Figure 2, the classification results of the storms (red circles) versus non-storm (green stars) events for all data in the database were presented. It can be seen that the resulted histograms of the 6th of October were distorted due to lacking information in the blank swaths. As a result, this storm event was incorrectly classified into non-storm situation (blue 'x') as shown in Figure 2. Consequently, using only QuikSCAT wind information is not sufficient for accurate storm identification. In order to maximize the effectiveness of the results especially in the case of incomplete data, the additional information should be taken into consideration.

**2.2. Cloud image.** In this research, cloud images obtained from the Thai Meteorological Department (TMD), which is originally supported by JTWC, are used as one of the source information. The JTWC [39] is jointly manned by the U.S. Navy and U.S. Air Force to provide TC reconnaissance and forecast support to the U.S. Military and other U.S. The

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

recorded cloud images are the cases of tropical storms and typhoons from the western North Pacific Basin. JTWC cloud images are widely used in various studies for weather forecasting [1,2,5,7,8,20]. In general, the best tracks of a storm are collected by several agencies such as JTWC, HKO, and JMA. However, there is quite a difference of the recorded best track data from each agency. These track errors will have a control on the performance estimation. The summarizations of the maximum track errors between agencies from six storm events, e.g., Melor and Morakotin 2009, Jangimi in 2008, Man-yi, Yutu and Hagibis in 2007 are listed in Table 1.

TABLE 1. The maximum errors (km) of the best track data of JTWC, HKO, JMA

Reference	JTWC	HKO	JMA
JTWC	0.0	25.4	38.8
HKO	25.4	0.0	30.9
JMA	38.8	30.9	0.0

**2.3. Statistical forecasting of wind data and cloud image.** In order to improve the storm forecasting, domain information of the storm is necessary. In this research, a study on the behavior of wind characteristics and cloud images is conducted on the  $11 \times 11$  sub-blocks of the ROI as shown in Figure 5. Generally, the storm life has been classified into three phases, i.e., gestation stage, mature stage and dissipate stage [23]. Even though the duration of the storm period on the main land is about 3-5 days, the storm period in the sea may appear longer about 2-3 weeks. The statistical information of each sub-block is analyzed including the weighted average of wind speed, the distributions of WS and WD histograms and the intensity of cloud image.

Examples of three phases of storm life from storm Melor are demonstrated in Figure 3, which appears to be the intensity of cloud images in row 1 and the corresponding statistical analysis of wind speed in row 2-3 for three phases of the storm (a)-(c). In the experiments, it is observed that the storms can be categorized into two groups of low and high wind speed as discussed in [14,15]. The low wind speed is about 15-18 m/s, which falls into the case of the gestation stage in Figure 3(a) and the dissipate stage in Figure 3(c). On the other hand, the high wind speed is greater than 18 m/s in the case of the mature stage in Figure 3(b).

**3. The Proposed Storm Eye Location.** Storm identification usually requires the extraction of the characteristics of the storm. One of the most widely observed storm information is wind characteristics especially from the QuikSCAT [3-7]. Our previous research demonstrated a success on storm identification and storm eye specification [13,14]. A comparative study on storm identification using SVM and FCM techniques from QuikSCAT wind data was illustrated in [13] while the Heuristic Wind Statistical Cost function (HWSC) obtained from histograms and histogram statistics of QuikSCAT wind information was proposed for storm eye identification in [15]. The proposed heuristic function provided the differentiation between low wind speed in the case of the gestation and dissipate stages and high wind speed in the case of the mature stage. Heuristic search was then performed to achieve the storm eye location. However, the simple heuristic search could not handle well for the case of severe storm, in which its characteristics are uncertain and changed dynamically. Therefore, the expert knowledge-based system is introduced in this research to improve the storm eye specification for a variety of storm characteristics. A novel storm eye identification based on FIS is proposed and outlined in Figure 4. The

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

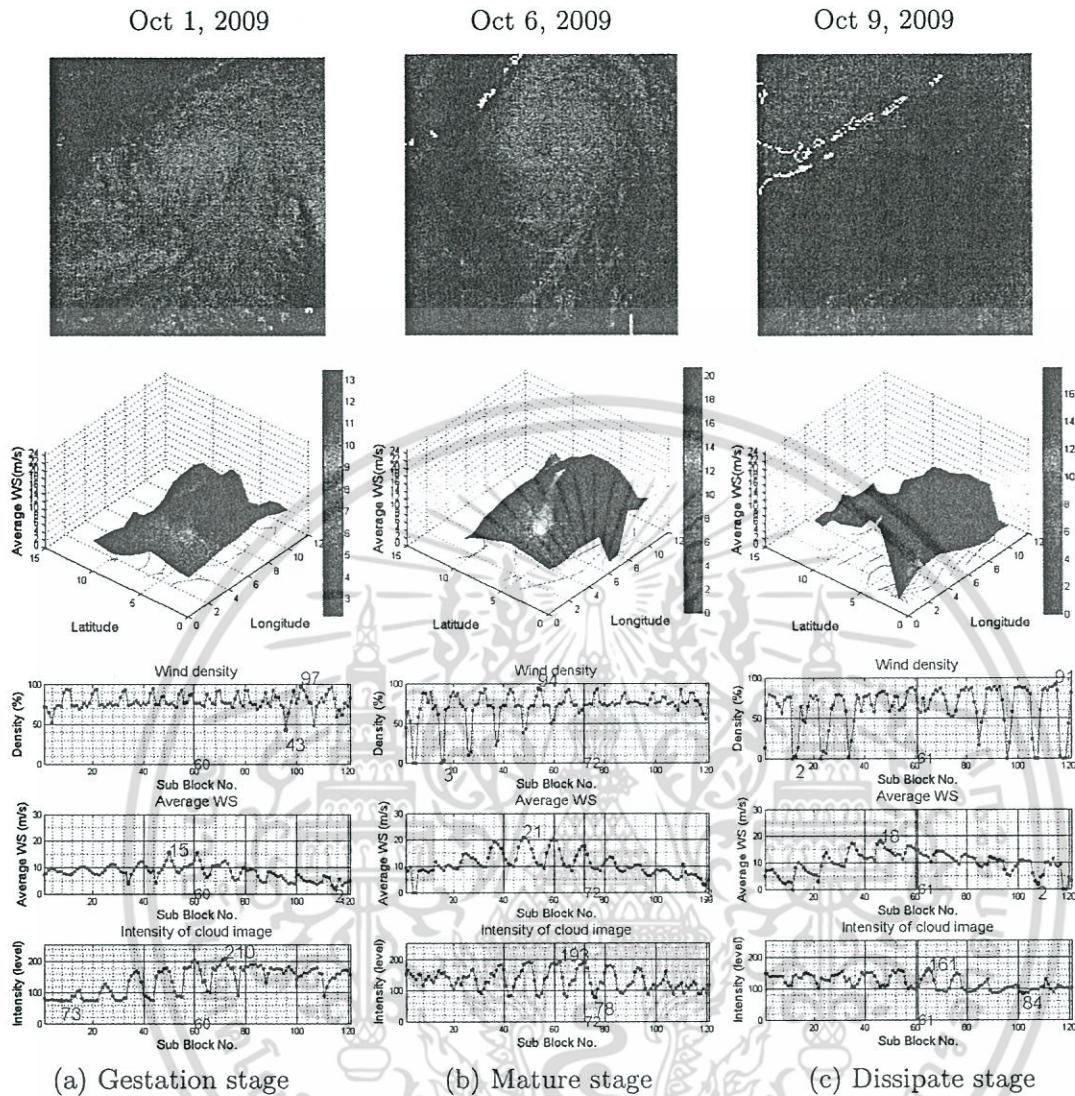


FIGURE 3. The statistical analysis of wind speed from storm Melor in 2009: (a) the gestation stage on October 1, 2009; (b) the mature stage on October 6, 2009; (c) the dissipate stage on October 9, 2009

TABLE 2. Searching scope of QuikSCAT wind information

Wind Information	Range
Latitude	-90.00-90.00 Deg
Longitude	0.00-359.99 Deg E
Selected wind speed	0.00-50.00 m/s
Selected wind direction	0.00-359.99 Deg From N

proposed system consists of three main processes: wind characteristics search for ROI, FIS based storm eye identification and SCM based storm eye location refinement.

3.1. Searching for Region of Interest (ROI). The search is performed on a scope of QuikSCAT wind information such as Wind Speed (WS), Wind Direction (WD), and the corresponding latitude and longitude as summarized in Table 2.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

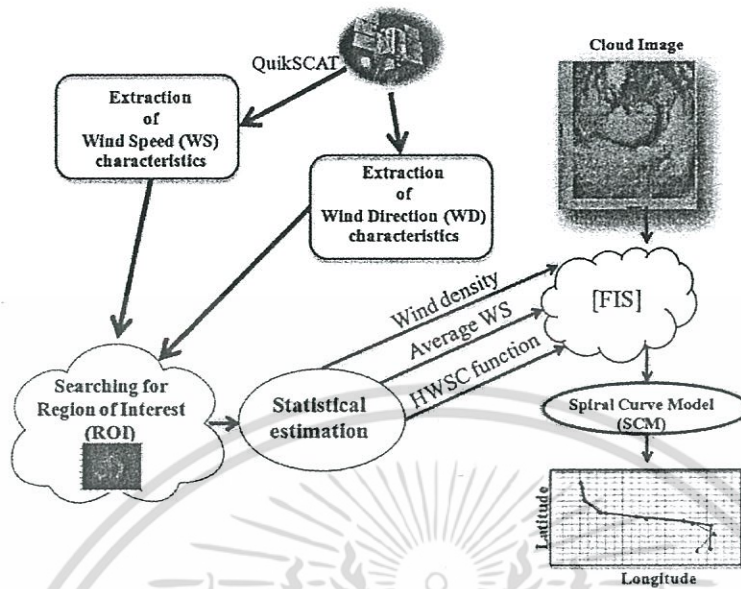


FIGURE 4. An overview of the proposed system

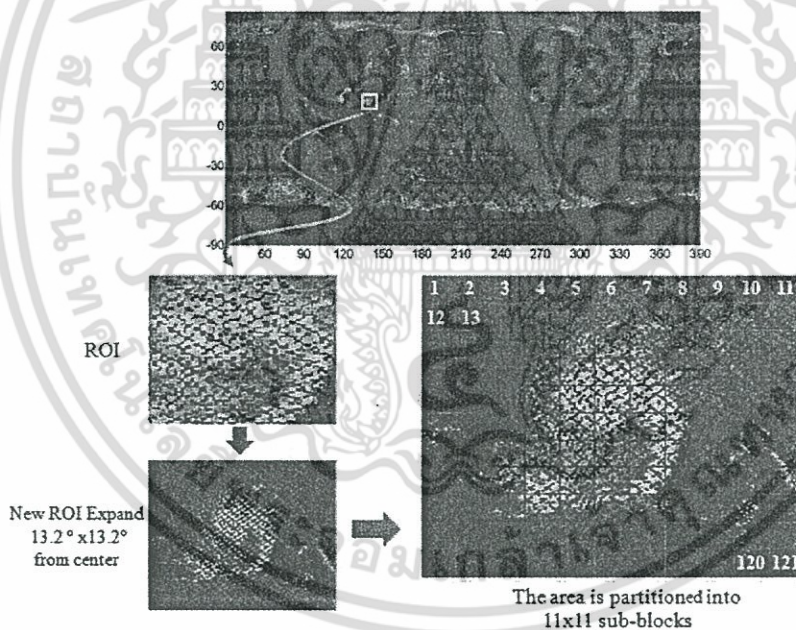


FIGURE 5. The acquired process of ROI

The starting wind speed of storm was suggested as 17 m/s in [38]. However, in order to consider the gestation period, the lower wind speed should be taken into account. The average wind speed of the  $2 \times 2$  degree ( $222 \times 222 \text{ km}^2$ ) candidate area was introduced in our previous work [14]. Then, the center of the ROI was defined as an initial of the storm eye. The approximation of the diameter of storm is about 100-2000 km [40]. In order to cover the whole storm area, the ROI is expanded  $13.2 \times 13.2$  degree ( $1400 \times 1400 \text{ km}^2$ ) from its initial center. In this process, the wind information of QuikSCAT in ROI is estimated based on the nearest interpolation on a uniformly gridded local map. The area of the expanded ROI is partitioned into 121 ( $11 \times 11$ ) sub-blocks as presented in Figure 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. Fuzzy Inference System (FIS).

3.2.1. *Fuzzification.* In this research, the expert knowledge for the storm locating with a standard mamdani FIS [41] was proposed. The Membership Functions (MF) are constructed from crisp inputs consisting of the density of wind information, the weighted average of wind speed, the HWSC and the intensity statistics of cloud image as demonstrated in Figure 6. The details of the meteorological inputs are illustrated in Table 3.

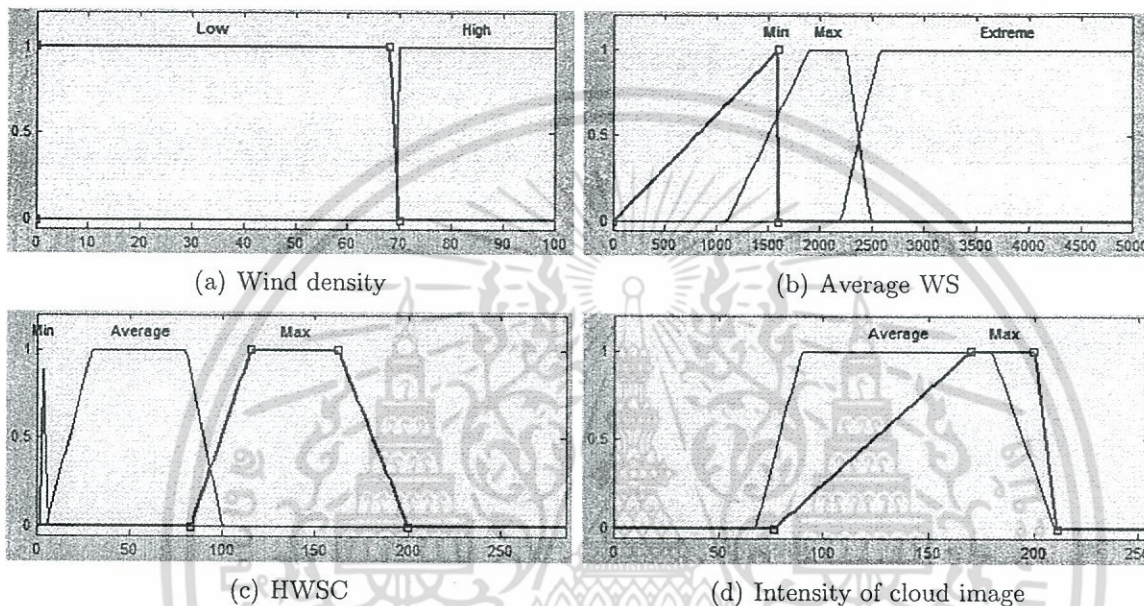


FIGURE 6. Fuzzy input partitions of the proposed system

TABLE 3. The details of meteorological inputs

Name	Symbol	Range	Unit	Membership Function (MF)
Density	$\sigma$	1-100	%	Low, High
Weight average of WS	W	0-50	m/s	Min, Max, Extreme
HWSC function	HWSC	0-300	-	Min, Average, Max
Intensity of cloud image	I	0-255	level	Average Max

3.2.2. *Inference.* The fuzzy inference rules are generated for searching the feasible position of the storm eye location within the 121 sub-blocks in the candidate ROI. Figure 7 presents the decision tree of the proposed FIS system. Considering Multi-Input and Single-Output (MISO) systems derived from the decision tree, four fuzzy IF-THEN rules are constructed as followed:

1. If (Wind density is Low) then (Eye is No)
2. If (Wind density is High) and (AvgWS is Min) and (HWSC is Max) and (Intensity of cloud image is Max) then (Eye is Yes)
3. If (Wind density is High) and (AvgWS is Max) and (HWSC is Min) and (Intensity of cloud image is Average) then (Eye is Yes)
4. If (Wind density is High) and (AvgWS is Min) and (HWSC is Min) and (Intensity of cloud image is Max) then (Eye is Yes)

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

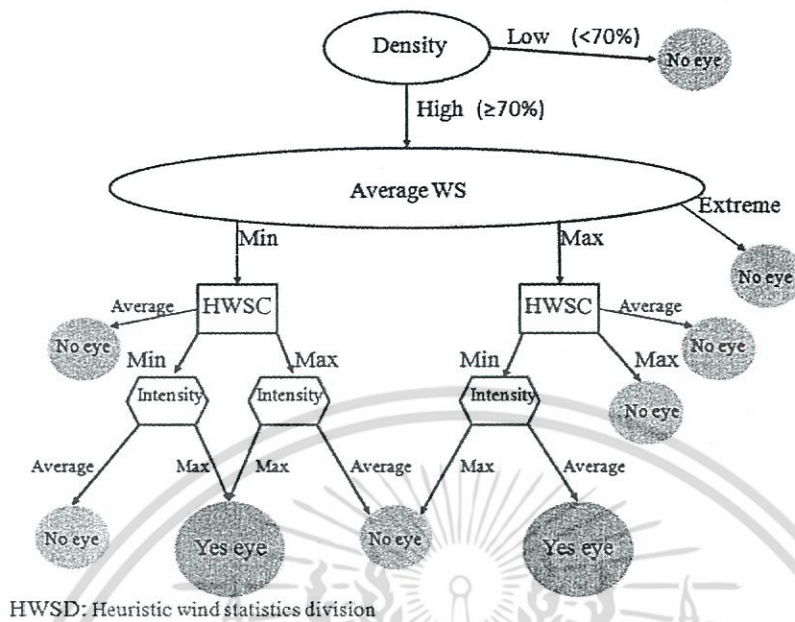


FIGURE 7. Fuzzy decision tree for storm eye location

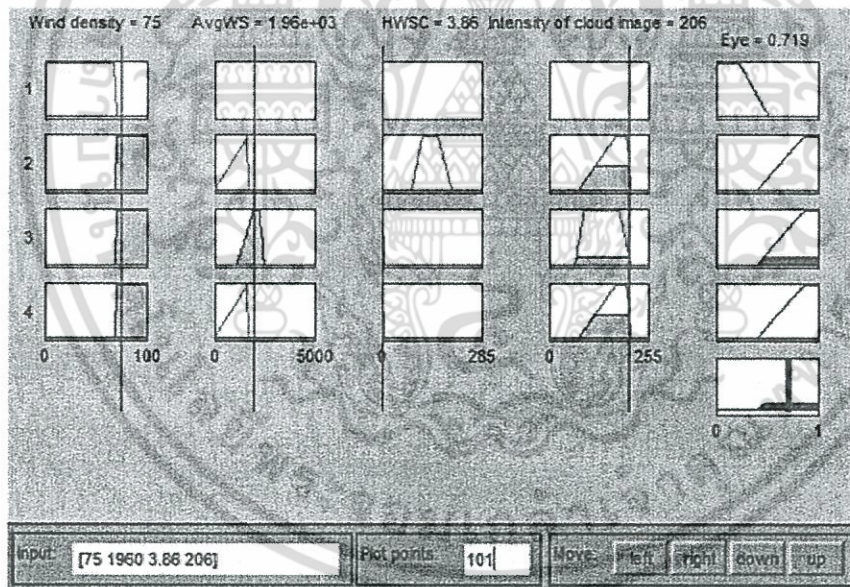


FIGURE 8. The example of FIS based storm eye location

3.2.3. *Defuzzification.* Several defuzzification techniques are available such as the Center of Area (COA), the Smallest of Maxima (SOM), the Largest of Maxima (LOM), and the Mean of Maxima (MOM). However, the most general defuzzification method is the Center of Area (COA) method. An example of our FIS storm eye location analysis for storm Melor at the sub-block number 50 of 121 candidate sub-blocks is illustrated in Figure 8. Its corresponding crisp input of the density of wind information, the weighted average of wind speed, the HWSC and the intensity of cloud image are 75%, 19.6 m/s, 3.86, and 206 respectively. The COA defuzzification is performed and resulted in the crisp output value of 0.719. This output value is then interpreted as Yes and the center of the identified block can be designated as a feasible storm center. However, to achieve the accurate

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

eye location, the spiral curve matching should be performed for eye location refinement, detailed in the next section.

**3.3. Storm eye location refinement using spiral curve model.** Spiral curve model was proposed to extract the Spiral Cloud-Rain Bands (SCRBs) of the TCs. In [18], it has been shown that pixels in Spiral Curve Model (SCM) of TC are often outstandingly bright. Therefore, the search is performed in order to find the fitted spiral curve with the brightest pixels along the crest line of the SCRb and their grayscales are homogeneously well distributed. The storm's center is supposed to be the center of the best-fitting spiral. The SCM is represented as following (1).

$$x(\theta) = ae^{b(\theta+\theta_0)} \cos(\theta + \theta_0) + c_x, \quad y(\theta) = ae^{b(\theta+\theta_0)} \sin(\theta + \theta_0) + c_y \quad (1)$$

where  $(c_x, c_y)$  is the center of the spiral and the values are the real number.  $\theta_0$  is an initial rotary angle.  $a, b$  are arbitrary constants or constant parameters to adjust spiral radius and circulating direction, respectively.  $\Theta$  is the angular distance of spiraling from  $\theta_0$ .

In the SCM, the four spiral parameters  $a, b, \theta_0$  and  $\Theta$ , are important since they dictate the shape and eye location of a spiral curve. In (1), the sign of  $b$  defines whether the spiral is clock-wise or anti-clock wise. While  $b$  is zero, the spiral becomes a circle of radius  $a$ . In addition, as suggested for the TCs in the Northern Hemisphere [18], most of the TCs are spirally clock-wise, and this resulted in the negative value of  $b$  as shown in Figure 9. The spiral curve model is depicted in Figure 9 in which the spiral parameter  $b$  is equal to  $-0.175$ . This makes the spiral circulating clock-wise from the center  $(c_x, c_y)$ . The polar angle  $\theta$  is in the range of  $[\theta_0 + \Theta, \Theta]$ .

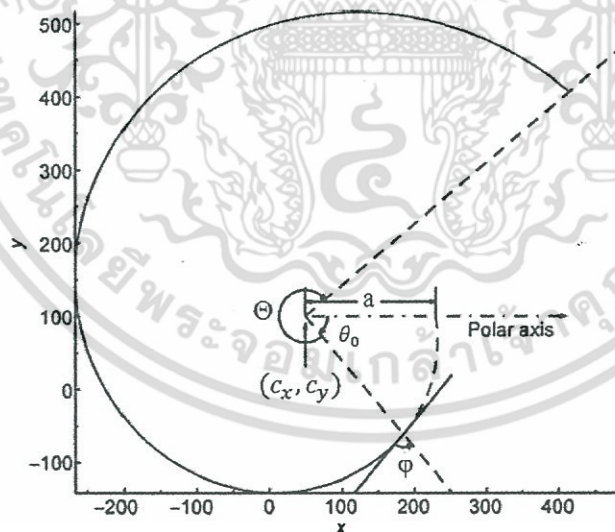


FIGURE 9. A logarithmic spiral to illustrate the spiral curve model where  $(c_x, c_y) = (50, 100)$ ,  $a = 180$ ,  $b = -0.175(-10^\circ)$ ,  $\theta \in [-320^\circ, -50^\circ]$ ,  $\theta_0 = -50^\circ$ ,  $\Theta = -270^\circ$  [18]

This process is to refine the TC eye location obtained from the previous section using the SCM curve fitting technique. The full search with searching step of 0.1 degree is performed on expanded area of  $1.3 \times 1.3$  degree center at the candidate eye location. The spiral searching criteria depend on the brightness distribution of the spiral cloud image ( $f_{11}$ ) [18] defined in (2). As the result, the best SCM fitting position with the maximum

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

brightness parameter is identified as the final TC eye location.

$$f_{11} = \frac{\text{Grayscale mean along spiral}}{\text{Grayscale SD along spiral}} = \frac{m_1}{s_1} \quad (2)$$

where  $m_1$  and  $s_1$  can be represented as

$$m_1 = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} I(x(\theta), y(\theta)) d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \quad (3)$$

$$s_1 = \left( \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} |I(x(\theta), y(\theta)) - m_1|^2 d\theta}{\int_{\theta_0}^{\theta_0+\theta} d\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

where  $I(x(\theta), y(\theta))$  denotes the grayscale at position  $(x, y)$ .

**4. Results.** For performance evaluation, wind information from QuikSCAT and cloud images from Joint Typhoon Warning Center (JTWC) are obtained from the west of the Pacific Ocean between  $0^\circ$ - $40^\circ$  N and  $110^\circ$ - $160^\circ$  E of six storms; Man-yi, Yutu, and Hagibis in 2007, Jangimi in 2008, and Melor and Morakot in 2009 are chosen as our data sets. Table 4 illustrates lifetime, storm duration, and storm scale of all six storm examples.

TABLE 4. The storm information

Track no.	Name	Lifetime	Storm scale	Duration	Max speed	
				days	mph	m/s
1	Melor	30 Sep-9 Oct 2009	5	10	165	73.8
2	Morakot	2-10 Aug 2009	2	8	100	44.7
3	Man-yi	7-16 Jul 2007	3	8	114	50.1
4	Yutu	16-22 May 2007	2	7	104	46.5
5	Hagibis	20-27 Nov 2007	1	8	75	33.5
6	Jangimi	24-30 Sep 2008	4	7	137	61.2

mph: mile per hour

The storm scale is categorized into 5 levels according to the Saffir-Simpson hurricane scale [49]. In our experiments, the feasible ranges of four spiral parameters are determined according to covering conditions of six storm examples with the storm scale of the Saffir-Simpson hurricane from level 1 to 5. The storm eye is specified at the position containing the maximum of  $f_{11}$  from all ranges of parameters.

Spiral curve fitting is quite sensitive to parameter changes. Therefore, all the parameters ( $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$  and  $\Theta$ ) should be carefully evaluated. In addition, the diameter of storm is about 100-2000 km [40]. Therefore, the possible range of parameter  $a$  is approximately 10 to 480. The feasible range of parameter  $b$  is  $-0.160$  to  $+0.160$  while the parameter range of  $\theta_0$  and  $\Theta$  is  $-270$  to  $540$ . Example results of SCM with several sample parameters for Morakot are demonstrated together with the values of  $f_{11}$  and the ground truth center positions in Figure 10. Each row represents the results of parameter  $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$ , and  $\Theta$ , respectively. The experiments are performed with the range of parameters as  $10 < a < 50$ ,  $-0.190 < b < -0.170$ ,  $-180^\circ < \theta_0 < 0^\circ$ , and  $180^\circ < \Theta < 540^\circ$ .

A comparison of distance errors among difference defuzzification techniques (COA, LOM, MOM, and SOM) with the best tracks from JTWC, HKO and JMA is evaluated. The proposed system is implemented on a machine running Windows 7 with 2.00 GHz Intel Core i7 processor with 8.0 GB RAM. The experiments are performed using Mamdani's fuzzy inference method in MATLAB R2013a for Melor between September 30 to October

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





















Evaluated Parameter	SCM Results on Cloud Images				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
$a$	The examples of the SCM results with variation in parameter $a$ . ( $Lat, Lon$ ) = (23.3, 134.7), $b = -0.182$ , $\theta_0 = -180^\circ$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$a = 20$ , $f_{11} = 1.43$	$a = 30$ , $f_{11} = 1.58$	$a = 45$ , $f_{11} = 1.70$	$a = 50$ , $f_{11} = 1.74$	$a = 52$ , $f_{11} = 1.72$
$b$	The examples of the SCM results with variation in parameter $b$ . ( $Lat, Lon$ ) = (23.3, 134.7), $a = 44$ , $\theta_0 = -180^\circ$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$b = -0.262$ , $f_{11} = 1.65$	$b = -0.175$ , $f_{11} = 1.66$	$b = 0$ , $f_{11} = 1.58$	$b = 0.175$ , $f_{11} = 1.81$	$b = 0.262$ , $f_{11} = 1.73$
$\theta_0$	The examples of the SCM results with variation in parameter $\theta_0$ . ( $Lat, Lon$ ) = (23.3, 134.7), $a = 44$ , $b = -0.182$ , $\Theta = 540^\circ$				
					
	$\theta_0 = -180^\circ$ , $f_{11} = 1.77$	$\theta_0 = -90^\circ$ , $f_{11} = 1.72$	$\theta_0 = 0^\circ$ , $f_{11} = 1.65$	$\theta_0 = 90^\circ$ , $f_{11} = 1.58$	$\theta_0 = 180^\circ$ , $f_{11} = 1.67$
$\Theta$	The examples of the SCM results with variation in parameter $\Theta$ . ( $Lat, Lon$ ) = (23.3, 134.7), $a = 44$ , $b = -0.182$ , $\theta_0 = -180^\circ$				
					
	$\Theta = 180^\circ$ , $f_{11} = 2.11$	$\Theta = 270^\circ$ , $f_{11} = 1.86$	$\Theta = 360^\circ$ , $f_{11} = 1.78$	$\Theta = 450^\circ$ , $f_{11} = 1.81$	$\Theta = 540^\circ$ , $f_{11} = 1.77$

FIGURE 10. The example of the SCM on cloud image resulting from different values of the parameter  $a$ ,  $b$ ,  $\theta_0$  and  $\Theta$  from the storm Morakot on August 3, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9, 2009. The average distance errors of COA, LOM, MOM and SOM are 130.3, 140.6, 139.9 and 153.2 km, respectively. This shows that the COA defuzzification technique offers greater performance than the other techniques. It provides the best performance with the minimum distance error of 9.4 km on October 6, 2009.

The distance errors obtained from the five eye location estimation algorithms: the QuikSCAT Method (QM) [14], the QuikSCAT & Spiral Cloud Method (QSM), the best first search on QuikSCAT & Spiral Cloud Method (BQSM) [15], the proposed FIS on QuikSCAT Method (FQM), and the proposed FIS on QuikSCAT & Spiral Cloud Method (FQSM) are compared to the three references and illustrated in Figure 11(a) to demonstrate the efficiency of the proposed algorithm. The QM provides poor estimation performance with the maximum average distance error of 312.6 km since the estimation results rely only on the threshold of wind speed from QuikSCAT. The BQSM performs the search for the optimum ROI's candidate. This can help to reduce the problem of deficient information from resources. However, the BQSM is based on heuristic search strategy, in which the searching algorithm sometimes does not provide accurate result. It can be seen that the proposed FQSM outperforms the other techniques with the minimum average distance error of 93.3 km. In terms of time efficiency, a comparison of processing time from five algorithms estimated from Morakot is presented in Figure 11(b). The processing performance of BQSM and FQSM are 19.362 and 15.859 seconds, respectively. This result shows that the FQSM provides the better performance with minimum average distance error and processing time compared to the BQSM.

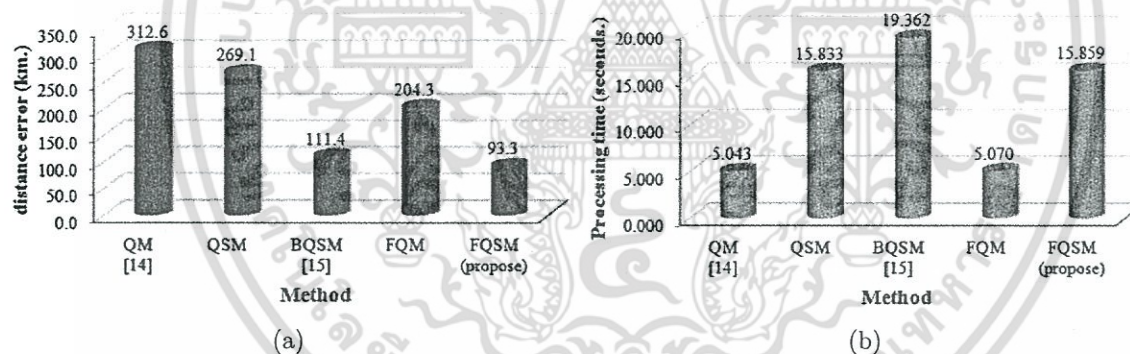


FIGURE 11. Performance comparison using QM, QSM, BQSM, FQM and FQSM of storm Morakot, (a) the average distance errors (km) from three references, (b) the processing time (seconds)

The performance comparison of the BQSM, FQM, and FQSM for six example storms is demonstrated in Figure 12. The results illustrate the performance improvement of the proposed FQSM over the other techniques for all storms. This indicates that the FQSM offers greater flexibility in analyzing various storm patterns. The flexibility comes from the key knowledge extracted from the observations and statistics from QuikSCAT wind information and cloud images. Even though the performance of the BQSM seems to be close to that of the FQSM for Morakot, it is quite difficult for the BQSM to cope with more complicated storm having dynamic behaviors without integrating the expert knowledge of the storm into the decision criteria. In addition, the linguistic parts of FQSM are similar to human thinking. It can apply if-then rules and express knowledge to linguistic statements. This can help to increase performance of the FQSM algorithm even the case of deficient information.

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

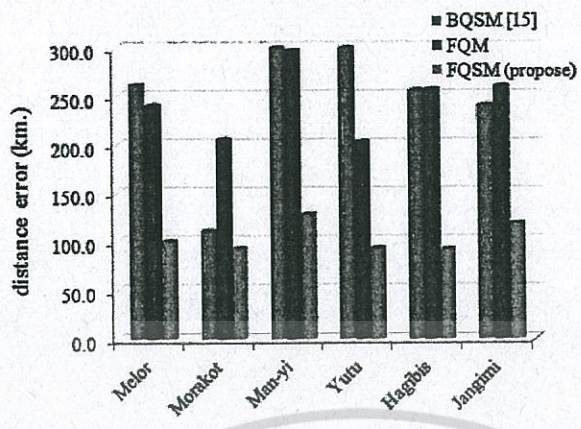


FIGURE 12. Performance comparison in terms of the average distance errors (km) from three references using BQSM, FQM and FQSM of six example storms

TABLE 5. The average distance errors (km) obtained from the FQSM compared with the best tracks from JTWC, HKO and JMA

Track no.	Name	Year	Distance error (DTE) (km)			
			JTWC	HKO	JMA	Average
1	Melor	2009	100.3	99.3	102.2	100.6
2	Morakot	2009	90.5	94.8	79.7	93.3
3	Man-yi	2007	139.2	114.9	131.4	128.5
4	Yutu	2007	106.5	94.5	79.7	93.6
5	Hagibis	2007	91.0	90.7	96.0	92.8
6	Jangimi	2008	115.7	121.8	118.2	118.5
Average			107.2	102.7	103.7	104.5

According to the distortion examination of the storm centers reported from the three references in Table 1, the minimum distortion of 25.4 km occurs for the case of a comparison between JTWC and HKO. The maximum distortion of 38.8 km is resulted from a comparison between JTWC and JMA. The average disparity between analyses by different references is approximately 13.4 km. The average distance errors and the storm tracks obtained from the FQSM technique compared to the three references are presented in Table 5 and Figure 13, respectively. For Morakot, the average distance error reported by the BQSM in [15] is 111.4 km while that of the proposed algorithm is 93.3 km. The proposed storm tracking can achieve 16.25% better performance over the BQSM.

**5. Conclusions.** This research paper aims to develop a novel approach for locating the eye of the storm using FIS based detection on wind information from QuikSCAT satellite and cloud image. Both wind information and cloud intensity are utilized to compensate deficiency from each resource. The proposed FIS identifies the storm eye location based on expert knowledge derived from the statistics of the past storm data. Spiral curve fitting is then employed to enhancing the search accuracy. Analysis of parameters is thoroughly conducted. The experimental results indicate that the FQSM demonstrates higher flexibility in analyzing different storm trajectories and can achieve up to 16.25% performance improvement. However, the performance reduction may occur in the case of high level of storm scale and would be further improved in the future research.

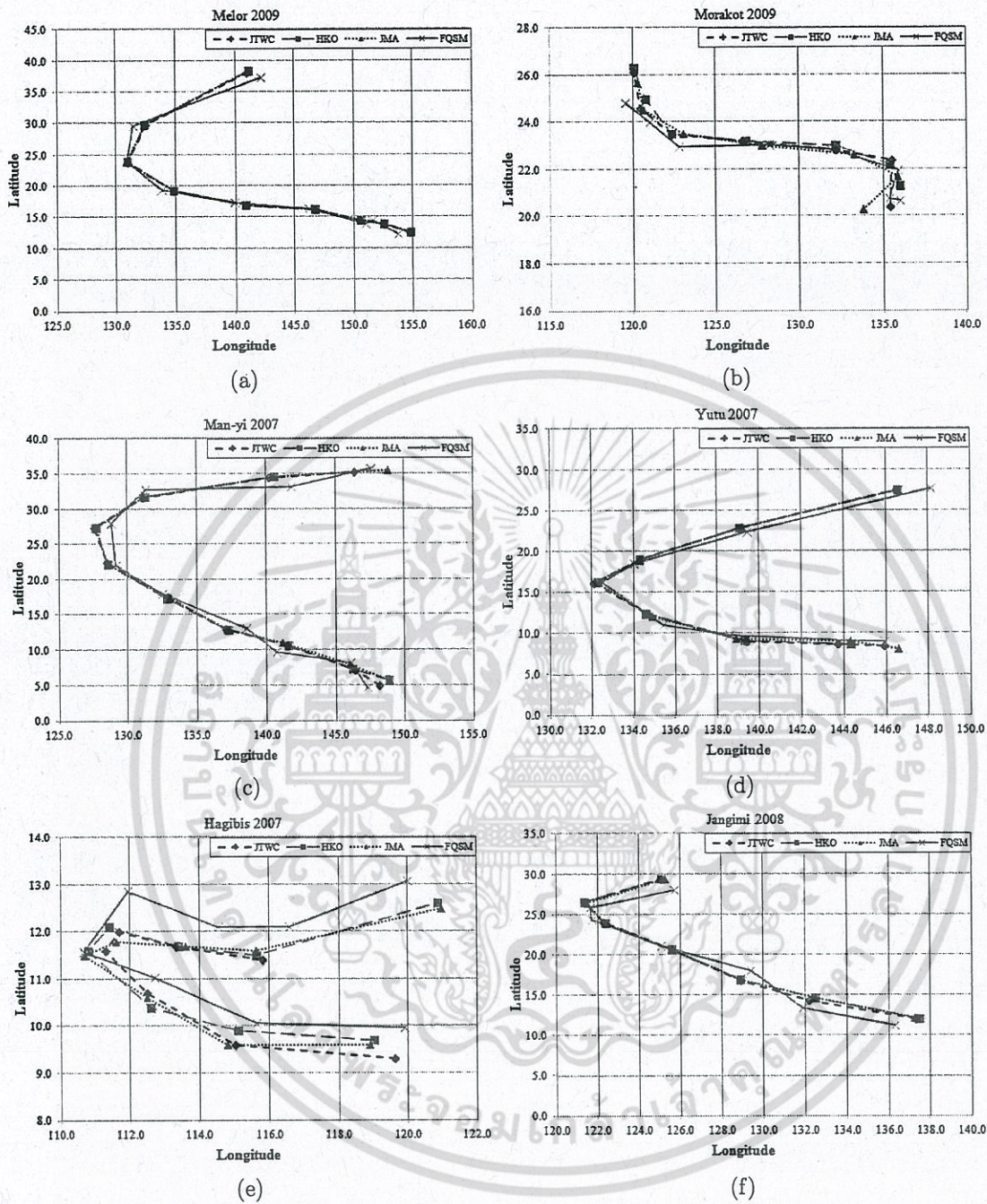


FIGURE 13. The storm tracks obtained from the FQSM compared with the best tracks from JTMC, HKO, and JMA

**Acknowledgment.** This research is financially sponsored under the program “Strategic Scholarships for Frontier Research Network for the Ph.D.” of the Office of the Higher Education Commission, Thailand. Deep gratitude also goes to the Meteorological Observations Bureau of the Thai Meteorological Department (TMD) for the satellite cloud image.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## REFERENCES

- [1] V. F. Dvorak, Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, *Monthly Weather Review*, vol.103, no.5, pp.420-430, 1975.
- [2] K. Y. Wong, C. L. Yip and P. W. Li, Automatic identification of weather systems from numerical weather prediction data using genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, vol.35, pp.542-555, 2008.
- [3] J. Zou, M. Lin, X. Xie, S. Lang and S. Cui, Automated typhoon identification from QuikSCAT wind data, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp.4158-4161, 2010.
- [4] S.-S. Ho and A. Talukder, Automated cyclone identification from remote QuikSCAT satellite data, *IEEE Aerospace Conference*, pp.1-9, 2008.
- [5] P. Kumar, K. P. H. Kumar and P. K. Pal, Impact of oceansat-2 scatterometer winds and TMI observations on phet cyclone simulation, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol.51, no.6, pp.3774-3779, 2013.
- [6] J. Zhong, J. Fei, S. Huang, H. Du and L. Zhang, An improved QuikSCAT wind retrieval algorithm and eye locating for typhoon, *Acta Oceanologica Sinica*, vol.31, no.1, pp.41-50, 2012.
- [7] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, Prediction of tropical cyclogenesis using scatterometer data, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol.49, no.12, pp.4904-4909, 2011.
- [8] P. G. Rodríguez, M. E. Polo, A. Cuartero, Á. M. Felicísimo and J. C. Ruiz-Cuetos, VecStatGraphs2D, a tool for the analysis of two-dimensional vector data: An example using QuikSCAT ocean winds, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol.11, no.5, pp.921-925, 2014.
- [9] R. S. T. Lee and J. N. K. Lui, Tropical cyclone identification and tracking system using integrated neural oscillatory elastic graph matching and hybrid RBF network track mining techniques, *IEEE Trans. Neural Networks*, vol.11, no.3, pp.680-689, 2000.
- [10] R. S. T. Lee and J. N. K. Lui, Automatic track mining and objective satellite pattern hunting system using enhanced RBF and EGDLM, *AAAI-00 Proceedings*, p.6, 2000.
- [11] R. S. T. Lee and J. N. K. Lui, iJADE WeatherMAN: A weather forecasting system using intelligent multiagent-based fuzzy neuro network, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews*, vol.34, no.3, pp.369-377, 2004.
- [12] K. Y. Wong and C. L. Yip, An intelligent tropical cyclone eye fix system using motion field analysis, *The 17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Hong Kong, pp.652-656, 2005.
- [13] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, Cyclone identification using fuzzy C mean clustering, *The 13th International Symposium on Communications and Information Technologies*, pp.369-373, 2013.
- [14] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, Automatic typhoon eye identification using QuikSCAT data and spiral cloud image, *The 14th International Conference on Control, Automation and Systems*, pp.212-216, 2014.
- [15] K. Warunsin and O. Chitsobhuk, Heuristic search on statistics of wind data and cloud images for automatic typhoon eye location, *The 7th Knowledge and Smart Technology*, pp.60-64, 2015.
- [16] J. P. Terry and C. C. Feng, On quantifying the sinuosity of typhoon tracks in the western North Pacific basin, *Applied Geography*, vol.30, no.4, pp.678-686, 2010.
- [17] Q. C. Bai and K. Wei, Cloud system extraction in tropical cyclones by mountain-climbing, *Atmospheric Research*, pp.611-620, 2011.
- [18] Q. C. Bai, K. Wei, Z. L. Jing, Y. X. Li, H. Y. Tuo and C. G. Liu, Tropical cyclone spiral band extraction and center locating by binary ant colony optimization, *SCIENCE CHINA Earth Sciences*, vol.55, no.2, pp.332-346, 2012.
- [19] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, Automatic determination of center of tropical cyclone in satellite-generated IR images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol.8, no.3, pp.460-463, 2011.
- [20] N. Jaiswal and C. M. Kishtawal, Objective detection of center of tropical cyclone in remotely sensed infrared images, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol.6, no.2, pp.1031-1035, 2013.
- [21] V. Lakshmanan, R. Rabin and V. DeBrunner, Multiscale storm identification and forecast, *Atmospheric Research*, vol.67, pp.367-380, 2003.
- [22] T. Hiraoka, H. Maeda and N. Ikoma, Two-stage prediction method of typhoon position by fuzzy modeling - Fusion of outline prediction and detailed prediction, *Proc. of Systems Man and Cybernetics*, vol.6, pp.581-585, 1999.
- [23] T. L. Pao, J. H. Yeh, M. Y. Liu and Y. C. Hsu, Locating the typhoon center from the IR satellite cloud images, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp.484-488, 2006.

- [24] K. Y. Wong, C. L. Yip and W. L. Ping, A novel algorithm for automatic tropical cyclone eye fix using Doppler radar data, *Meteorological Applications*, vol.14, no.1, pp.49-59, 2007.
- [25] P. A. Harr and R. L. Elsberry, Large-scale circulation variability over the tropical western north pacific. Part I: Spatial patterns and tropical cyclone characteristics, *Monthly Weather Review*, vol.123, pp.1225-1246, 1995.
- [26] Y. Fang, K. Sugano, K. Oku and K. Kawagoe, Applying a multi-dimensional time-series similarity method to typhoon-track prediction, *IEEE the 11th International Conference on eScience*, pp.259-262, 2015.
- [27] J. A. Knaff, Revisiting the maximum intensity of recurving tropical cyclones, *International Journal of Climatology*, vol.29, pp.827-837, 2009.
- [28] M. F. Pineros, E. A. Ritchie and J. S. Tyo, Objective measures of tropical cyclone structure and intensity change from remotely sensed infrared image data, *Geoscience and Remote Sensing*, vol.46, no.11, pp.3574-3580, 2008.
- [29] M. F. Pineros, E. A. Ritchie and J. S. Tyo, Estimating tropical cyclone intensity from infrared image data, *Weather Forecasting*, vol.26, pp.690-698, 2011.
- [30] O. G. Rodríguez-Herrera, K. M. Wood, K. P. Dolling, W. T. Black, E. A. Ritchie and J. S. Tyo, Automatic tracking of pregenesis tropical disturbances within the deviation angle variance system, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol.12, no.2, pp.254-258, 2015.
- [31] J. P. Kossin and C. S. Velden, A pronounced bias in tropical cyclone minimum sea level pressure estimation based on the Dvorak technique, *Monthly Weather Review*, vol.132, pp.165-173, 2004.
- [32] W. K. Yan, Y. C. Lap, L. P. Wah and T. W. Wan, Automatic template matching method for tropical cyclone eye fix, *Proc. of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, p.4, 2004.
- [33] S. J. Pedro, F. Burstein and A. Sharp, A case-based fuzzy multicriteria decision support model for tropical cyclone forecasting, *European Journal of Operational Research*, vol.160, no.2, pp.308-324, 2005.
- [34] T. Lungu et al., *QuikSCAT Science Data Product User's Manual*, 2006.
- [35] F. J. Wentz, *Remote Sensing Systems [online]*, [http://images.remss.com/qscat/scatterometer\\_data\\_daily.html](http://images.remss.com/qscat/scatterometer_data_daily.html), 2009.
- [36] P. Laupattarakasem, W. L. Jones, C. C. Hennon, J. R. Allard, A. R. Harless and P. G. Black, Improved hurricane ocean vector winds using SeaWinds active/passive retrievals, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol.48, no.7, pp.2909-2923, 2010.
- [37] C. B. Hasager, A. Mouche, M. Badger, F. Bingöl, I. Karagali, T. Driesenaar, A. Stoffelen, A. Peña and N. Longépé, Offshore wind climatology based on synergetic use of Envisat ASAR, ASCAT and QuikSCAT, *Remote Sensing of Environment*, vol.156, pp.247-263, 2015.
- [38] C. Roy and R. Kovordányi, Tropical cyclone track forecasting techniques – A review, *Atmospheric Research*, vol.104, pp.40-69, 2012.
- [39] M. A. Lander, A comparison of typhoon best-track data in the western north pacific: Irreconcilable differences, *The 28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, p.9, 2008.
- [40] R. T. Merrill, A comparison of large and small tropical cyclones, *Monthly Weather Review*, vol.112, pp.1408-1418, 1984.
- [41] L. S. Riza, C. Bergmeir, F. Herrera and J. M. Benítez, frbs: Fuzzy rule-based systems for classification and regression in R, *Journal of Statistical Software*, vol.65, no.6, p.30, 2015.
- [42] Jet Propulsion Laboratory, *Open-source Project for a Network Data Access Protocol (OPeNDAP)*, <http://opendap.jpl.nasa.gov>, 2015.
- [43] *The National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS)*, <http://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/QuikSCATData.php>, 2015.
- [44] *Hong Kong Observatory*, <http://www.hko.gov.hk>, 2015.
- [45] *Hurricane Satellite (HURSAT) Data*, <http://www.ncdc.noaa.gov/hursat>, 2015.
- [46] *NOAA GOES Geostationary Satellite Server*, <http://www.goes.noaa.gov>, 2015.
- [47] *MTSAT-1R*, <http://www.dvrcpod.ru/MTSAT-1R.php?lan=eng>, 2015.
- [48] *Bureau of Meteorology Research Centre, Melbourne, Victoria, Australia*, <http://cawcr.gov>, 1993.
- [49] J. F. Hasling, *The Freeman/Hasling Hurricane Damage Potential Scale*, Weather Research Center, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.  
การทดสอบหาค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$   
ในฟังก์ชันฮิวริสติก  
(heuristic wind statistics division: HWSD)  
ร่วมกับพายุมรกด 2009 ระหว่าง 3-9 สิงหาคม 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$  ในฟังก์ชันฮิวริสติก (heuristic wind statistics division: HWS) ตามสมการ (ข.1) โดยทำการทดสอบร่วมกับเหตุการณ์พายุมรสุม 2009 ระหว่าง 3-9 สิงหาคม 2009

$$H = \begin{cases} (\alpha_1 W(x, y)) + (\beta_1 \sigma_{WS}) + (\delta_1 \sigma_{WD}); & W(x, y) \leq 16.3 \text{ m/s} \\ (\alpha_2 W(x, y)) + (\beta_2 \sigma_{WS}) + (\delta_2 \sigma_{WD}); & W(x, y) > 16.3 \text{ m/s} \end{cases} \quad (\text{ข.1})$$

โดยกำหนดให้

$H$	คือ	ค่าฟังก์ชันฮิวริสติกของตำแหน่ง $(x, y)$
$\sigma_{WS}, \sigma_{WD}$	คือ	ค่าการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมและทิศทางลมตามลำดับ
$W(x, y)$	คือ	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกันของตำแหน่ง $(x, y)$
$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$	คือ	ค่าน้ำหนักของ $W(x, y), \sigma_{WS}, \sigma_{WD}$ ตามลำดับ กรณีที่ $W(x, y)$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 16.3 เมตรต่อวินาที
$\alpha_2, \beta_2, \delta_2$	คือ	ค่าน้ำหนักของ $W(x, y), \sigma_{WS}, \sigma_{WD}$ ตามลำดับ กรณีที่ $W(x, y)$ มากกว่า 16.3 เมตรต่อวินาที

โดยหลังจากได้พื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดพายุและทำการแบ่งพื้นที่สนใจออกเป็น 121 ช่องย่อย นำพื้นที่ 5x5 ช่องย่อยจากจุดศูนย์กลางมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาโอกาสที่จะตรวจพบตาพายุประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกัน  $W(x, y)$  ตามสมการที่ (4.1) ค่าการกระจายของทิศทางลมและความเร็วลม ( $\sigma_{WS}, \sigma_{WD}$ ) แสดงได้ดังสมการที่ (4.2) และนำค่าระยะทางผิดพลาด (Distance Error) โดยคำนวณได้จากการทดลองนำจุดศูนย์กลางแต่ละช่องย่อยมาระบุตำแหน่งตาพายุโดยละเอียดด้วยเทคนิคโค้งกันหอยร่วมกับภาพเมฆ

เพื่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเลือกค่าที่ดีที่สุด (Best First Search) เริ่มต้นจัดเรียงพื้นที่ที่สนใจขนาด 5x5 ช่องย่อยเป็นโครงสร้างต้นไม้ ด้วยการพิจารณาค่า  $W(x, y)$  ตามตัวอย่างรูปที่ ข.1 กำหนดให้ช่องย่อยที่อยู่กึ่งกลางของพื้นที่ 5x5 เป็นโหนดราก (root node) จากนั้นสร้างโหนดลูกจากเพื่อนบ้านทั้ง 8 ทิศของโหนดราก ขึ้นตอนถัดไปคำนวณหาค่า  $H$  ของแต่ละโหนดตามสมการ (ข.1) ด้วยการพิจารณาโหนดรากก่อนเพื่อเลือกเงื่อนไขการคำนวณค่า  $H$  โดยจะคำนวณตามเงื่อนไขน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16.3 เมตร/วินาที เมื่อโหนดรากมีค่า Average WS น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1630 หน่วย และคำนวณค่า  $H$  ด้วยสมการตรงข้ามสำหรับเงื่อนไขค่า Average WS มีค่ามากกว่า 1630 หน่วย

เมื่อสร้างโครงสร้างต้นไม้และหาค่า  $H$  ของแต่ละโหนดแล้วทำการเลือกเส้นทางการค้นหาแบบกว้างก่อนโดยค้นหาที่ระดับของโครงสร้างต้นไม้ ด้วยการพิจารณาเลือกเส้นทางที่โหนดคำนวณค่า  $H$  น้อยที่สุดของแต่ละระดับและตรวจสอบว่าโหนดใดเป็นสถานะสุดท้าย จนการค้นหาสิ้นสุด

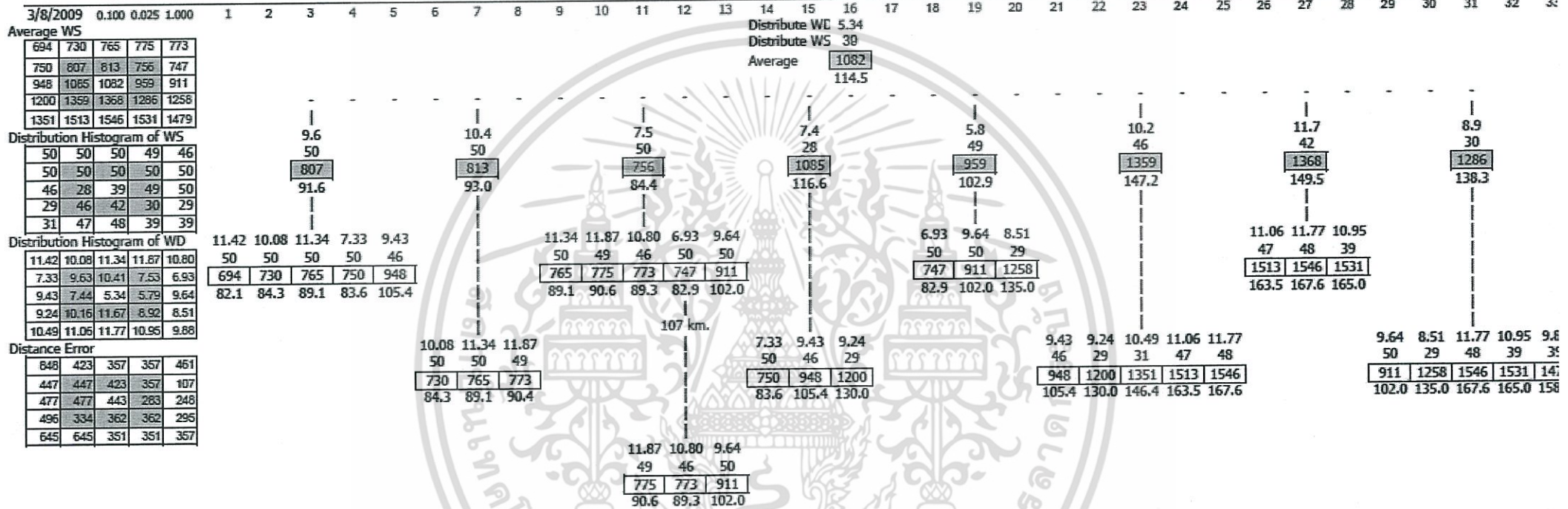
ทำการทดลองปรับค่า  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$  น้ำหนักของพารามิเตอร์เพื่อให้จุดเส้นทางการค้นหาให้สอดคล้องกับระยะทางผิดพลาด โดยแต่ละพารามิเตอร์มีขอบเขตดังนี้ ค่า  $\alpha_1, \alpha_2$  คือค่าน้ำหนักของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างช่องย่อยที่อยู่ติดกันของตำแหน่ง  $(x, y)$  มีค่า 0-0.5 ค่า  $\beta_1, \beta_2$  คือค่าน้ำหนักของการกระจายฮีสโตแกรมของความเร็วลมมีค่า 0-1 และค่า  $\delta_1, \delta_2$  คือค่าเอกซ์โพเนนเชียลของการกระจายฮีสโตแกรมของทิศทางลมมีค่านั้น 0-1 หน่วย สำหรับผลการทดลองปรับค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์สามารถแสดงได้ในรูปที่ ข1-ข7 โดยรูป ข1-ข3 เป็นการหาค่าน้ำหนักของค่าพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  และรูป ข4-ข7 เป็นการหาค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ทำให้สามารถสรุปน้ำหนักของพารามิเตอร์ทั้ง 6 ค่าได้ดังนี้คือ  $\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 0.0003 (1/2900), \beta_1 = 0.025, \beta_2 = 0.001, \delta_1 = 1, \delta_2 = 0.030$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\alpha_1 \beta_1 \delta_1$



รูป ข.1 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 3-8-2009

$\alpha_1 \beta_1 \delta_1$

4/8/2009 0.100 2.500 1.000

Average WS 6

1103	1107	1097	1108	1179
1149	1137	1147	1231	1349
1228	1302	1337	1428	1488
1422	1561	1599	1611	1577
1582	1750	1763	1681	1546

Distribution Histogram of WS

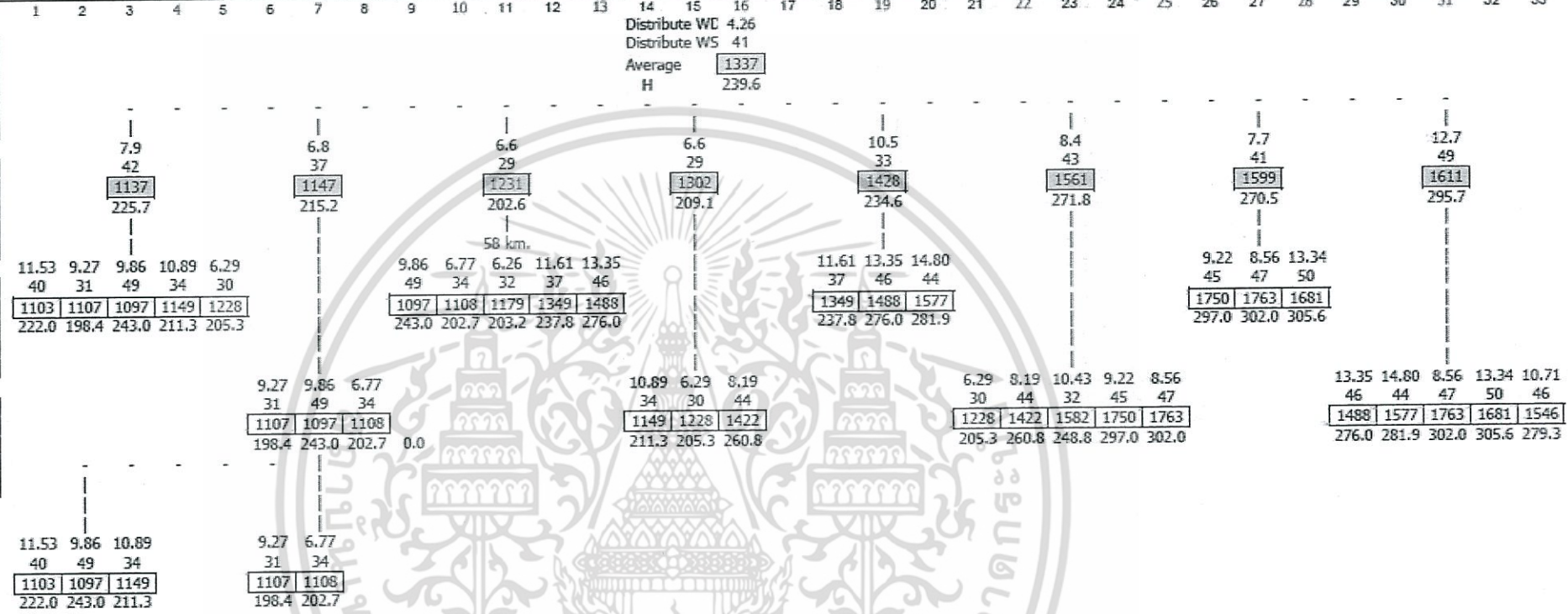
40	31	49	34	32
34	42	37	29	37
30	29	41	33	46
44	43	41	49	44
32	45	47	50	46

Distribution Histogram of WD

11.53	9.27	9.86	6.77	6.29
10.89	7.67	6.77	6.58	11.61
6.29	6.57	4.26	10.46	13.35
8.19	8.43	7.74	12.75	14.80
10.43	9.22	6.56	13.34	10.71

Distance Error

333	279	159	467	510
377	80	80	58	467
258	258	189	395	416
267	267	262	379	379
525	486	515	519	519



รูป ข.2 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 4-8-2009

$\alpha_1 \beta_1 \delta_1$

5/8/2009 0.100 0.025 1.000

Average WS

1470	1490	1545	1484	1418
1482	1496	1584	1542	1482
1516	1556	1625	1567	1451
1444	1487	1533	1461	1324
1406	1438	1455	1356	1203

Distribution Histogram of WS

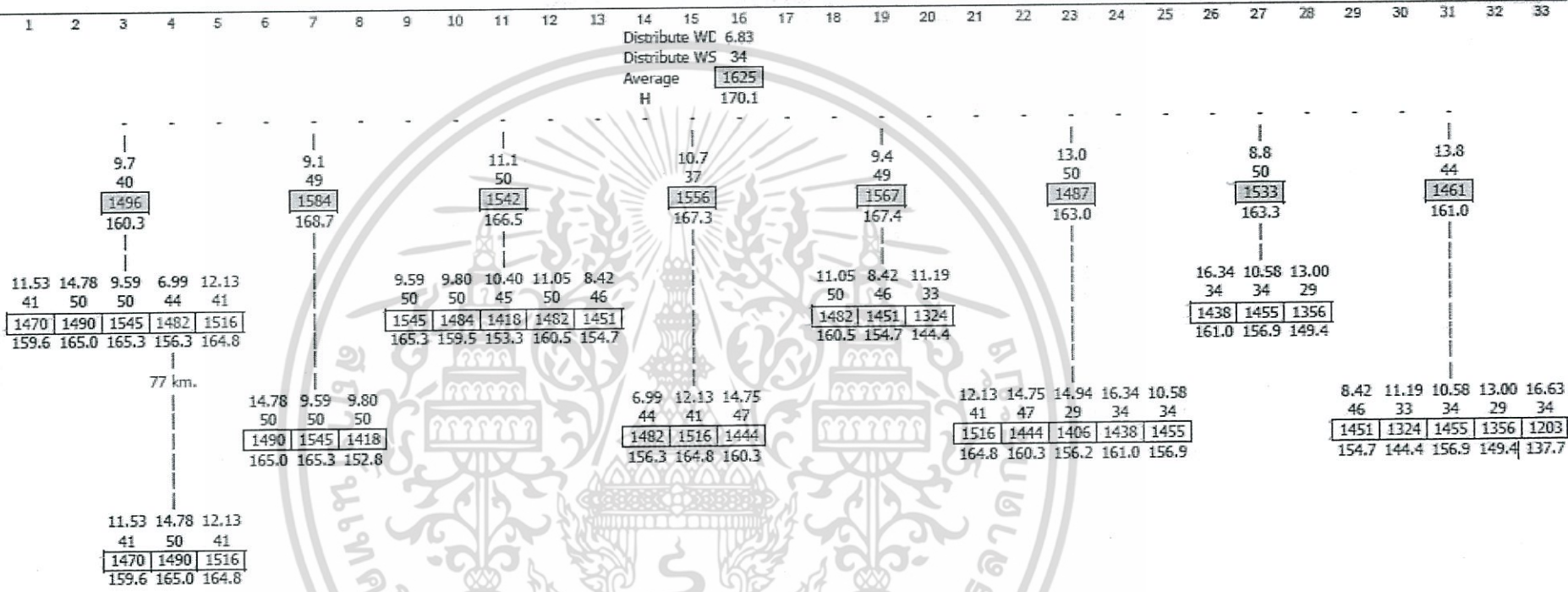
41	50	50	50	45
44	40	49	50	50
41	37	34	49	46
47	50	50	44	33
29	34	34	29	34

Distribution Histogram of WD

11.53	14.78	9.59	6.99	12.13
41	50	50	44	41
6.99	9.68	9.11	11.06	11.05
12.13	10.73	6.63	9.41	8.42
14.75	13.03	8.61	13.60	11.19
14.94	16.34	10.58	13.00	16.63

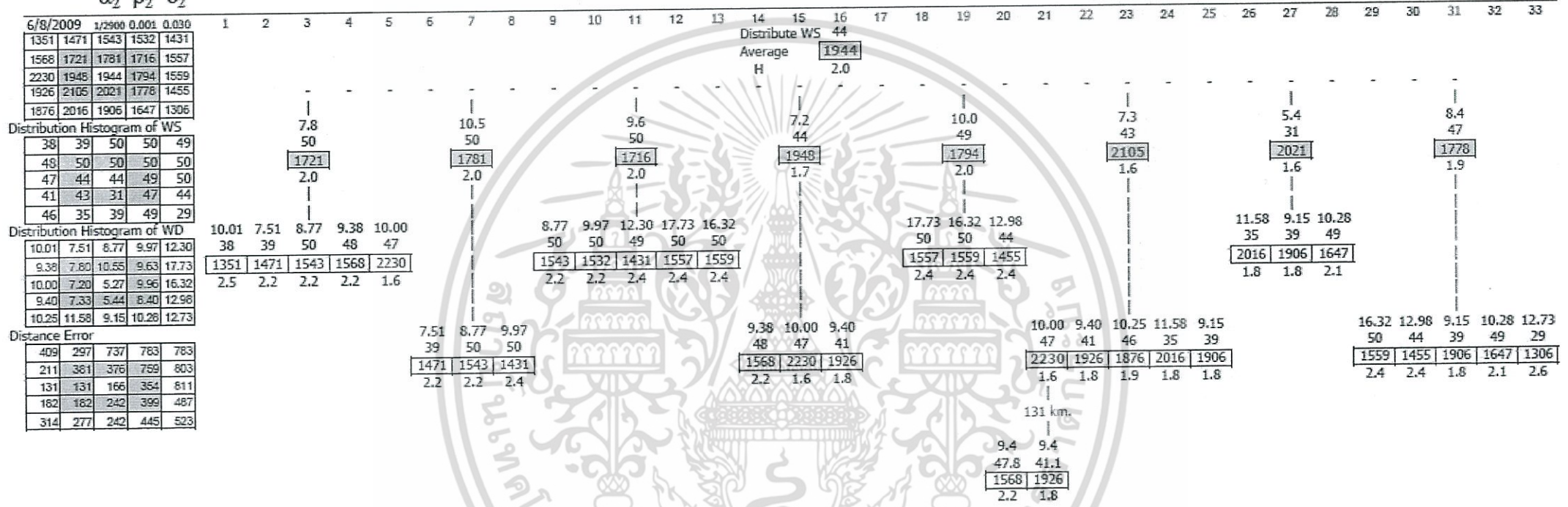
Distance Error

79	105	613	727	761
77	164	247	701	761
272	231	339	680	802
272	440	339	649	803
304	440	356	596	596

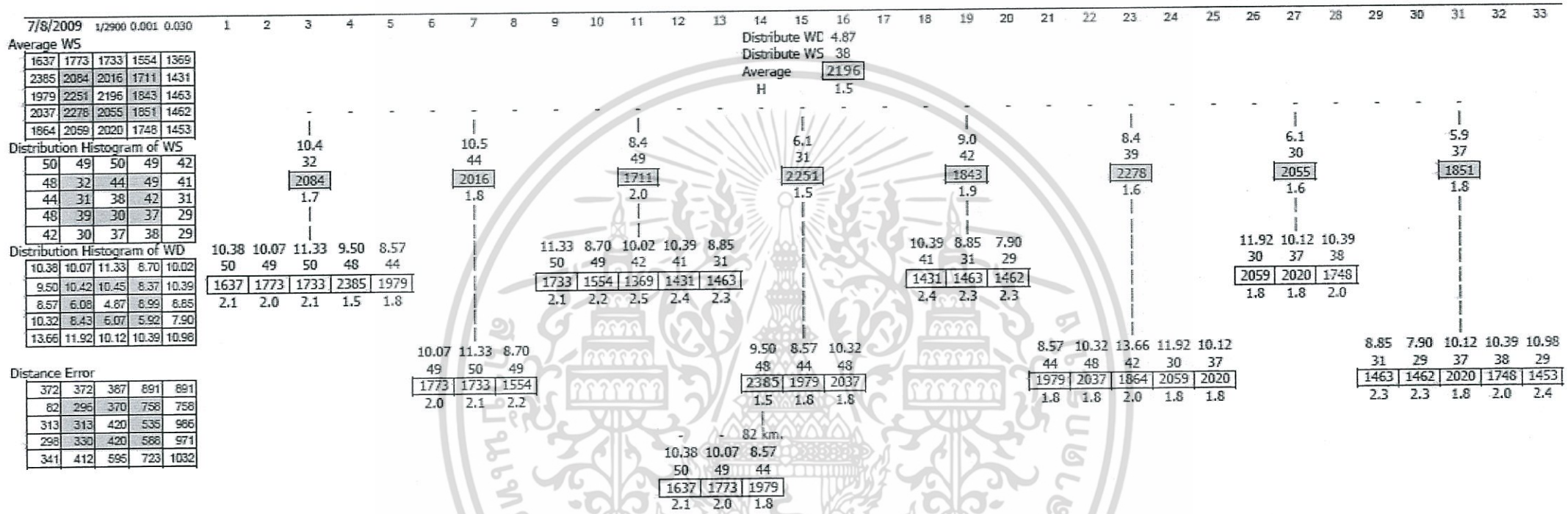


รูป ข.3 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  ของวันที่ 5-8-2009

$\alpha_2 \beta_2 \delta_2$

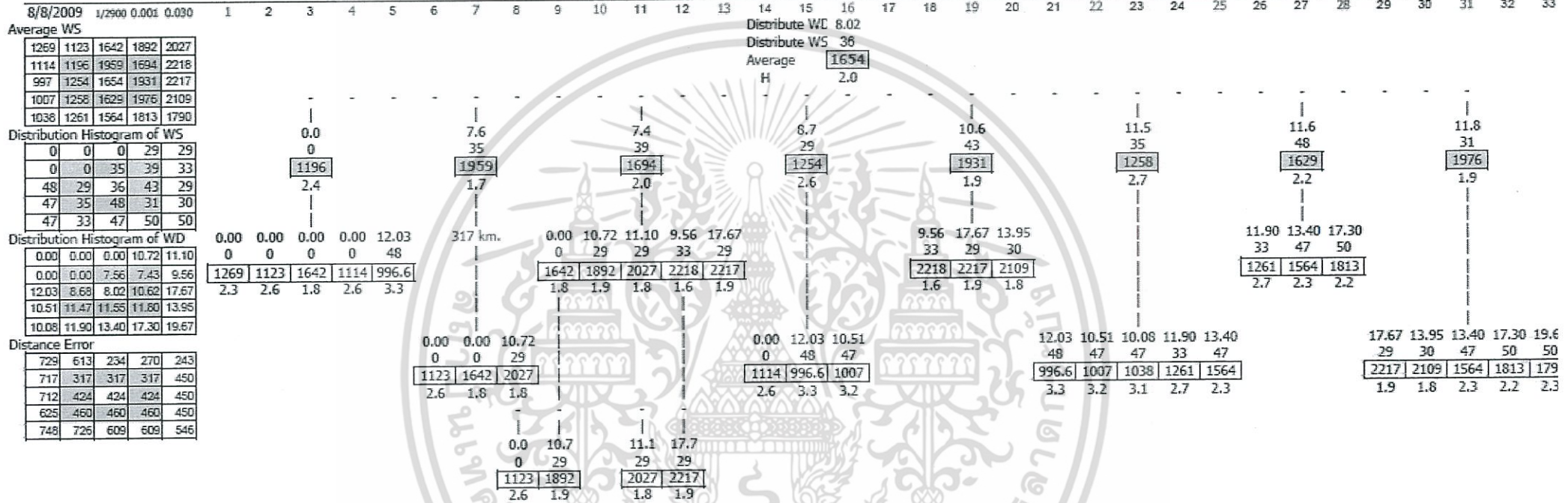


รูป ข.4 ปรับหน้าห้กพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 6-8-2009

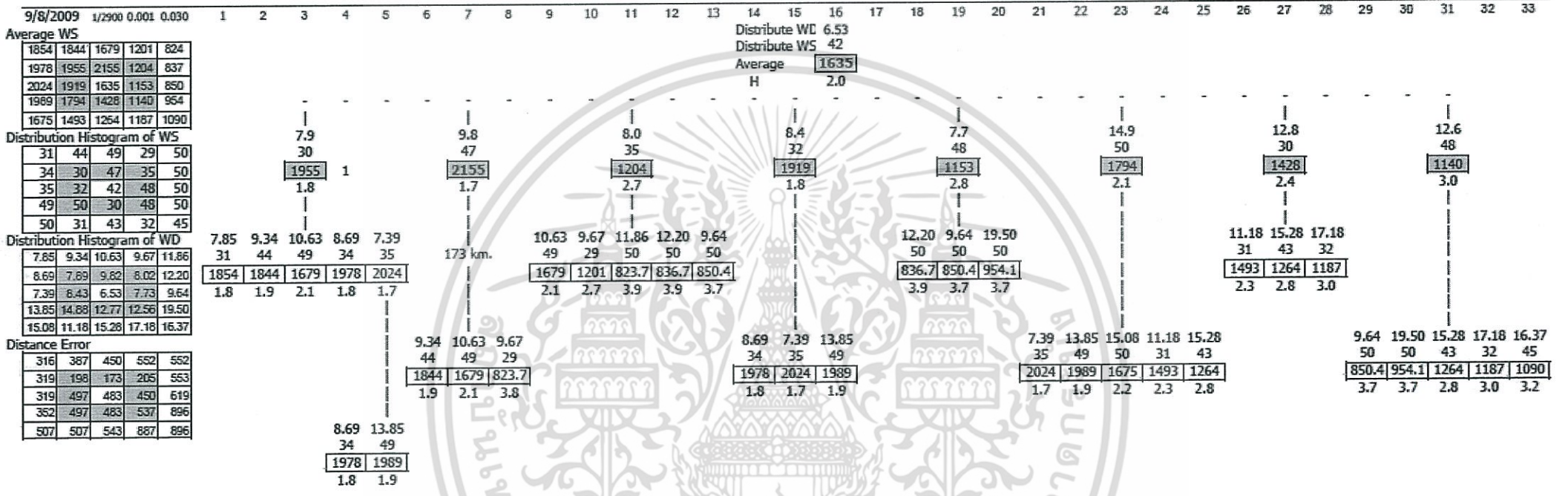


รูป ข.5 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 7-8-2009

$\alpha_2 \beta_2 \delta_2$



รูป ข.6 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 8-8-2009



รูป ข.7 ปรับน้ำหนักพารามิเตอร์  $\alpha_2, \beta_2, \delta_2$  ของวันที่ 9-8-2