บทที่ 5

บทวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

ข้อมูลจากระบบวัดโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงที่วัดได้ จะถูกนำมาหาค่าองค์ประกอบทั้ง 4 ของเมทริกซ์การกระเจิงเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทพืชไร่ แนวทางในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทั้ง 4 สามารถแบ่งได้เป็นสองแนวทางด้วยกันคือ แนวทางแรกเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติ และแนวทางที่สองเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติ คือการพิจารณาข้อมูลของพืชแต่ละชนิดด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยทางสถิติของข้อมูลในการบอกความแตกต่างของพืชต่างชนิดกัน ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง คือการพิจารณาโพลาไรเซชันที่เกิดขึ้นของคลื่นกระเจิงซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยค่าต่างๆ เช่น ระดับพลังงานของการโพลาไรซ์ สถานะการโพลาไรซ์ และระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้ว เป็นต้น ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึง การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทั้ง 4 ของเมทริกซ์การกระเจิงด้วยวิธีต่างๆ ทั้งการวิเคราะห์ด้วยค่าทางสถิติ และการวิเคราะห์คุณสมบัติ โพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง พร้อมทั้งเปรียบเทียบการแยกประเภทพืชไร่ด้วยการใช้วิธีวิเคราะห์แบบต่างๆ และท้ายสุดเป็นบทสรุปของการใช้วิธีวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทของพืชไร่

<u>แนวทางสำหรับการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทั้ง 4 ของเมทริกซ์การกระเจิง</u>

แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลมีสองแนวทางใหญ่ๆ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าทางสถิติแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 วิธีคือ 1. การพิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าแปรปรวนขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิง และ 2. การพิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิงสององค์ประกอบร่วมกัน ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงแบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 วิธีคือ 1. การวิเคราะห์ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์ 2. การวิเคราะห์ด้วยการพิจารณาวงรีของการโพลาไรซ์ และ 3. การวิเคราะห์ด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์ในแต่ละวิธี มีดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิง

สิ่งที่ใช้บอกสมบัติการกระเจิงของพืชไร่ คือเมทริกซ์การกระเจิงมีองค์ประกอบทั้งหมด 4 องค์ประกอบอันได้แก่ S_{HH} S_{VH} S_{HV} และ S_{VV} วัดพืชไร่ชนิดละ 10 ตำแหน่งในช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนของขนาดขององค์ประกอบทั้ง 4 ซึ่งค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนในเชิงความถี่ขององค์ประกอบ S_{HH} หาจากสมการที่ (5.1ก) และ (5.1ข) ตามลำดับ

$$m_{HH} = \frac{1}{N} \sum_{i=3.3GHz}^{4.2GHz} |S_{HH}(i)| \qquad \text{.....(5.1ก)}$$

$$v_{HH} = \frac{1}{N} \sum_{i=3.3GHz}^{4.2GHz} (|S_{HH}(i)| - |m_{HH}|)^2 \qquad \text{.....(5.1ข)}$$

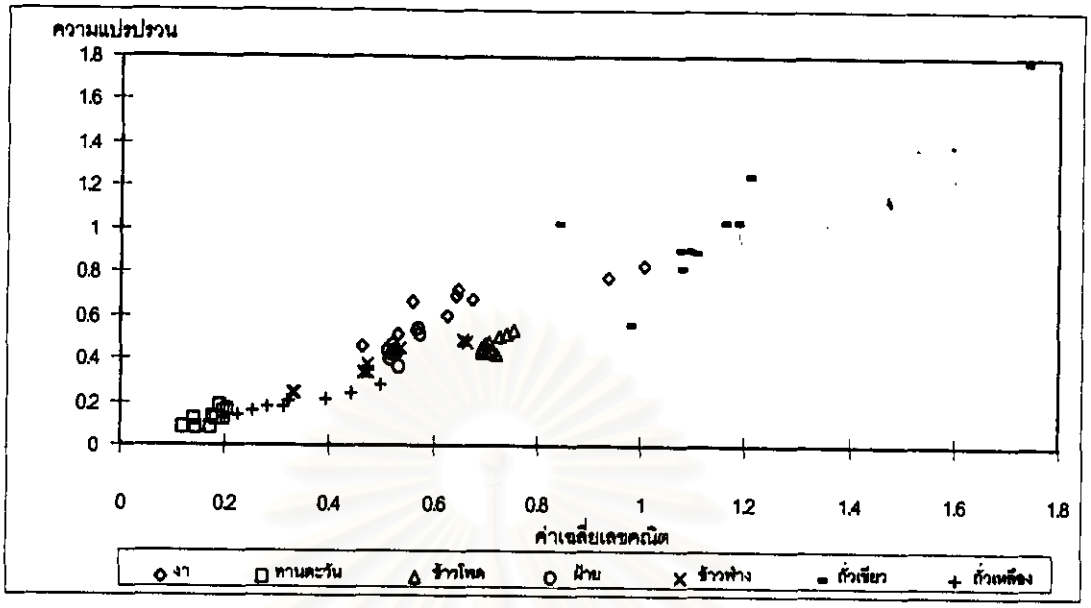
โดยที่ m_{HH} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH}

v_{HH} คือ ค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH}

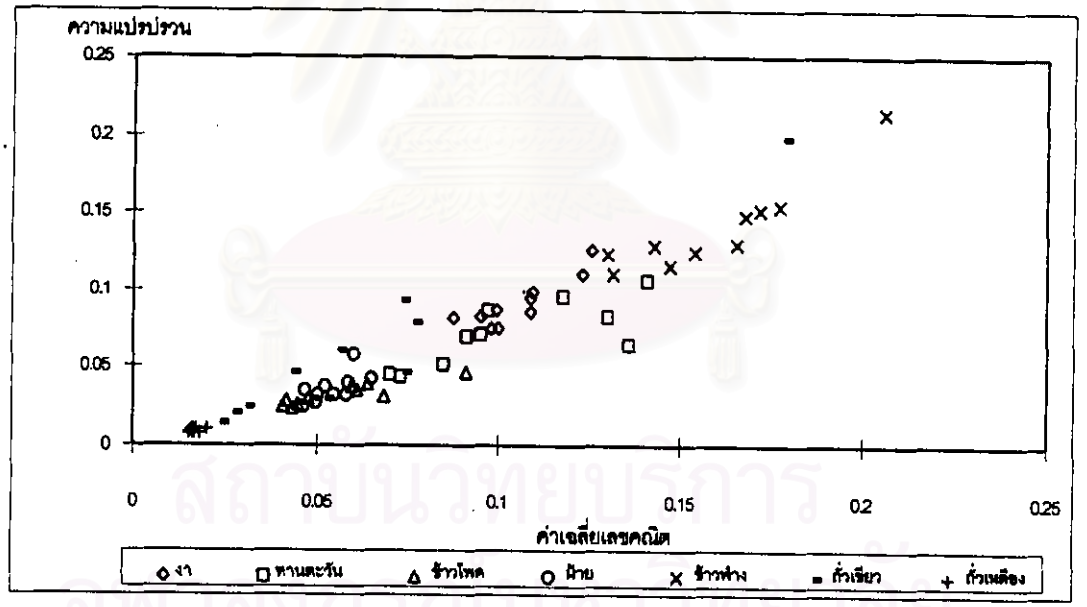
N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz

$S_{HH}(i)$ คือ องค์ประกอบ S_{HH} ที่ความถี่ i

ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนของค่าองค์ประกอบ S_{HV} S_{VH} และ S_{HH} หาได้ในลักษณะเดียวกันกับสมการที่ (5.1ก) และ (5.1ข) เมื่อได้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนของทุกองค์ประกอบ นำมาวาดลงบนกราฟความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนในแนวแกนนอนและแกนตั้งตามลำดับ ดังแสดงในรูป 5.1ก ถึง 5.1ง

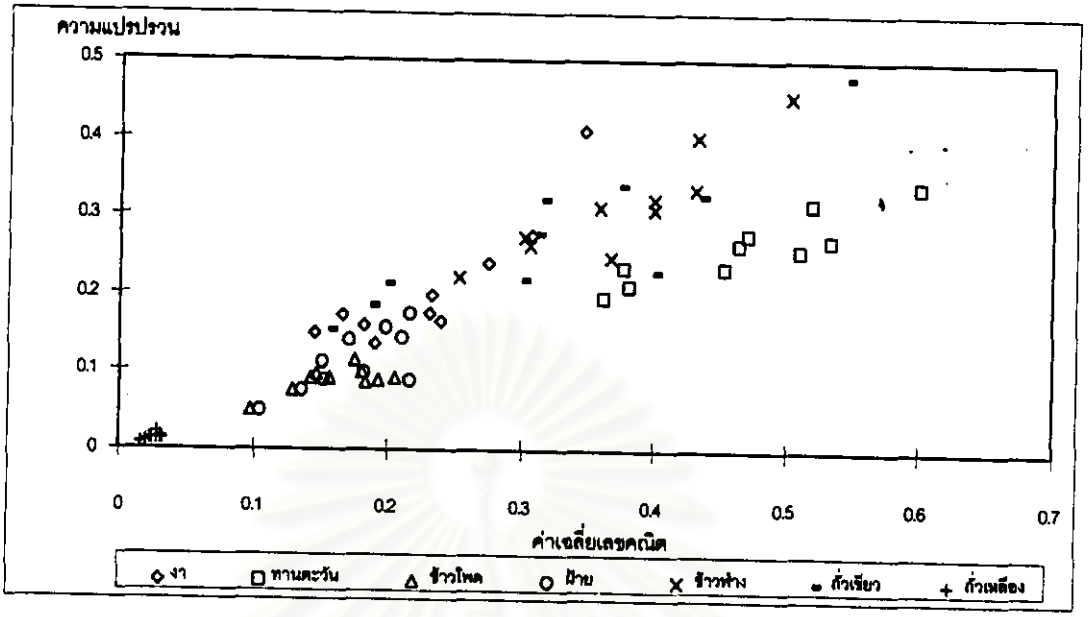


ก.) องค์ประกอบของ S_{HH}

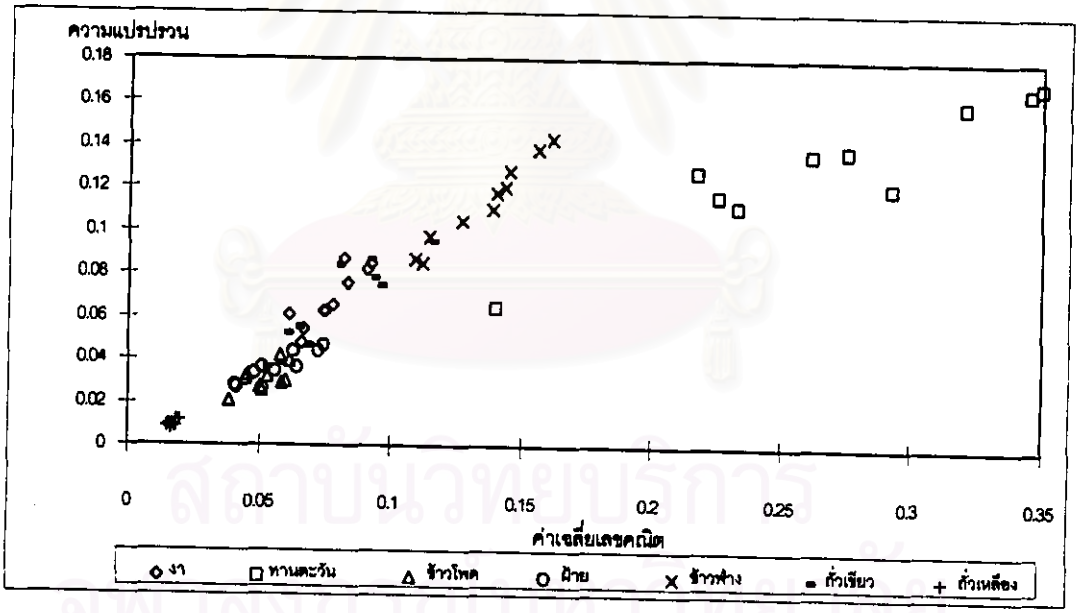


ข.) องค์ประกอบของ S_{VH}

รูป 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตกับค่าความแปรปรวนของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด



ค.) องค์ประกอบของ S_{VV}



ง.) องค์ประกอบของ S_{HV}

รูป 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตกับค่าความแปรปรวนของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด

จากรูป 5.1ก ถึง 5.1ง พบว่าลักษณะของกลุ่มข้อมูลของพืชแต่ละชนิดมีการกระจายที่แตกต่างกัน และข้อมูลของพืชชนิดเดียวกันที่ค่าองค์ประกอบต่างๆ ของเมทริกซ์การกระเจิงมีการ

กระจายของกลุ่มข้อมูลแตกต่างกันด้วย แสดงว่าสมบัติการกระเจิงของพืชแต่ละชนิดมีความเฉพาะตัว สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่บอกความเป็นชนิดของพืชไร่ได้ ถ้ากลุ่มข้อมูลจากพืชไร่ทั้ง 10 ตำแหน่งมีค่าใกล้กันมากๆ แสดงว่าสามารถบอกค่าที่แน่นอนหรือใกล้เคียงของเมทริกซ์การกระเจิงของพืชไร่ชนิดนั้นได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการออกแบบระบบวัดและวิเคราะห์ผลให้มี ประสิทธิผลยิ่งขึ้น

รูป 5.1ก พิจารณาองค์ประกอบ S_{HH} ของพืชแต่ละชนิด กลุ่มข้อมูลของทานตะวัน ข้าวโพด และฝ้าย จะรวมกลุ่มกันที่ค่าเฉลี่ยเลขคณิตประมาณ 0.1-0.2 0.7-0.8 และ 0.5-0.6 ตามลำดับและค่าความแปรปรวน 0.05-0.2 0.3-0.5 และ 0.3-0.5 ตามลำดับ ถั่วเขียว งา และถั่วเหลืองมีกลุ่มข้อมูลกระจายกว้าง แต่แยกออกมาจากพืชชนิดอื่น ๆ ส่วนข้าวฟ่างมีการกระจายของกลุ่มข้อมูลไม่เป็นระเบียบซึ่งไม่สามารถแยกออกจากพืชชนิดอื่น ๆ ได้

พิจารณาองค์ประกอบ S_{VH} ตามรูป 5.1ข มีพืชไร่ 2 ชนิดที่มีกลุ่มข้อมูลอยู่รวมกัน คือ ถั่วเหลืองและข้าวฟ่าง ข้าวฟ่างมีการกระจายเป็นช่วงกว้าง ๆ ส่วนถั่วเหลืองจะเป็นกลุ่มแคบ ๆ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนประมาณ 0.01-0.025 และ 0-0.01 ตามลำดับ สำหรับพืชชนิดอื่น ๆ ข้อมูลกระจัดกระจายอยู่ปนกันไม่สามารถแยกออกมาเป็นกลุ่มได้ชัดเจน

พิจารณาองค์ประกอบ S_{VV} ตามรูป 5.1ค กลุ่มข้อมูลของถั่วเหลืองรวมกลุ่มกันมาก และแยกออกมาจากพืชชนิดอื่นๆ อย่างเด่นชัด ส่วนพืชไร่ชนิดอื่นกระจายปนกัน ยกเว้นทานตะวันซึ่งสามารถแยกเป็นกลุ่มได้ แต่การกระจายของกลุ่มข้อมูลกว้าง

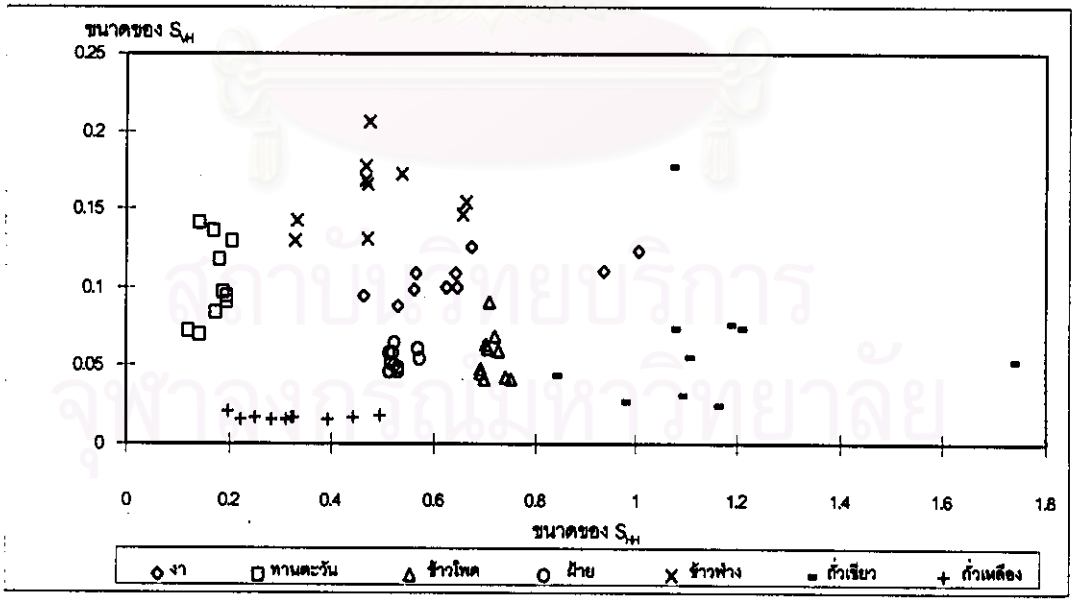
พิจารณาองค์ประกอบ S_{HV} ตามรูป 5.1ง กลุ่มข้อมูลของถั่วเหลือง ข้าวฟ่างและทานตะวันแยกกลุ่มออกมาจากพืชไร่ชนิดอื่นได้ แต่มีการกระจายของข้อมูลที่กว้าง ส่วนพืชไร่ชนิดอื่นไม่สามารถแยกกลุ่มมาพิจารณาได้

เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 4 องค์ประกอบ กลุ่มข้อมูลของทานตะวันจะอยู่ใกล้กันมากที่สุดที่องค์ประกอบ S_{HH} แสดงว่าสามารถใช้ค่าขององค์ประกอบ S_{HH} เพื่อบอกความเป็นชนิดทานตะวันได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนในช่วง 0.1-0.2 และ 0.05-0.2 ตามลำดับ ส่วนถั่วเหลืองสามารถใช้ค่าขององค์ประกอบ S_{VH} S_{VV} หรือ S_{HV} องค์ประกอบใดก็ได้เพื่อบอกความเป็นชนิดของถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนสำหรับ S_{HV} ในช่วง 0.01-0.025 และ 0-0.01 ตามลำดับ ข้าวฟ่างใช้ค่าขององค์ประกอบ S_{HV} พิจารณาซึ่งมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต

และค่าความแปรปรวนในช่วง 0.11-0.17 และ 0.08-0.14 ตามลำดับ ฝ้ายใช้ค่าขององค์ประกอบ S_{HH} ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนในช่วง 0.5-0.6 และ 0.3-0.8 ตามลำดับ ส่วนงา และ ถั่วเขียวไม่สามารถใช้องค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเพื่อพิจารณาแยกกลุ่มข้อมูลของพืชทั้งสองนี้ออกจากชนิดอื่นได้

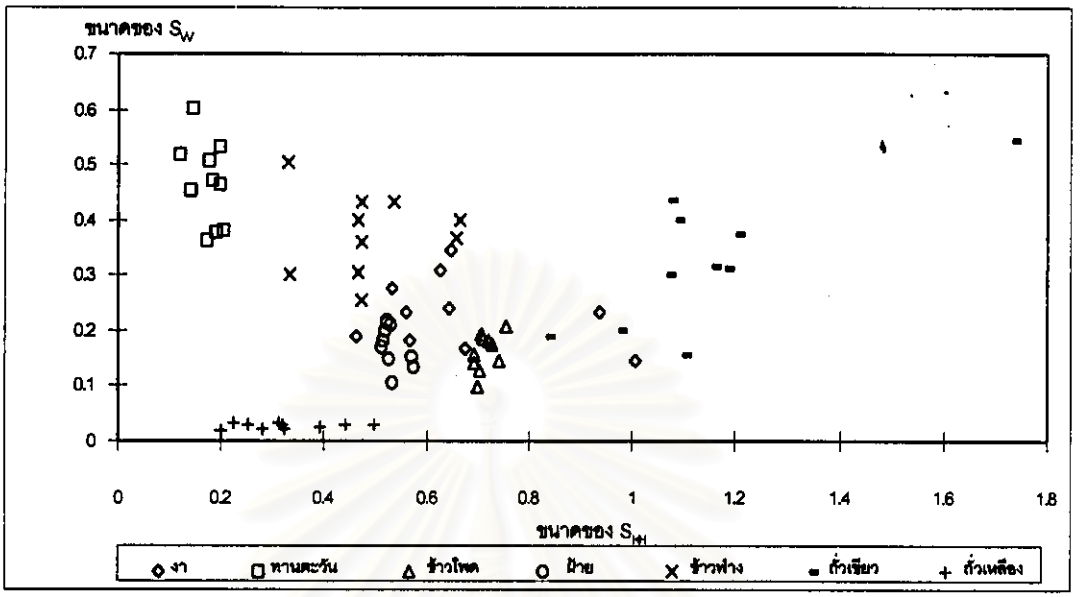
2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิงสององค์ประกอบร่วมกัน

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีนี้พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบร่วมกัน ซึ่งสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากคลื่นกระเจิงในแนวโพลาไรเซชันที่ต่างกัน การพิจารณาข้อมูลด้วยการวิเคราะห์วิธีนี้มีทั้งหมด 6 กรณีคือ 1. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน 2. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VV} ร่วมกัน 3. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{HV} ร่วมกัน 4. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VH} และ S_{VV} 5. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VH} และ S_{HV} ร่วมกัน 6. พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VV} และ S_{HV} ร่วมกัน ทั้ง 6 กรณีนี้แสดงได้ดังรูป 5.2ก ถึง 5.2ฉ

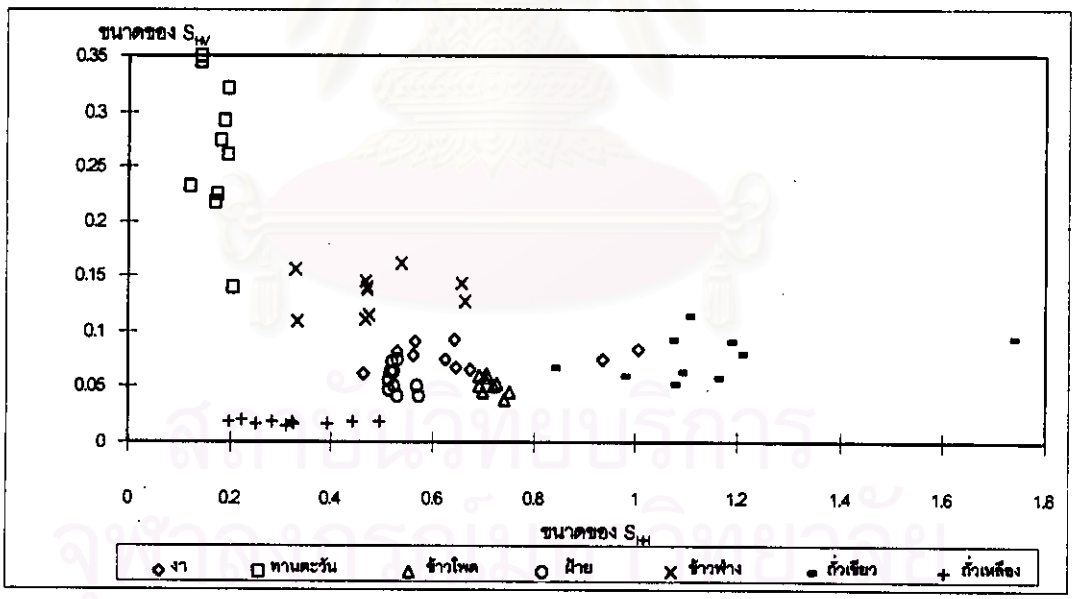


ก.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน

รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ 2 องค์ประกอบ

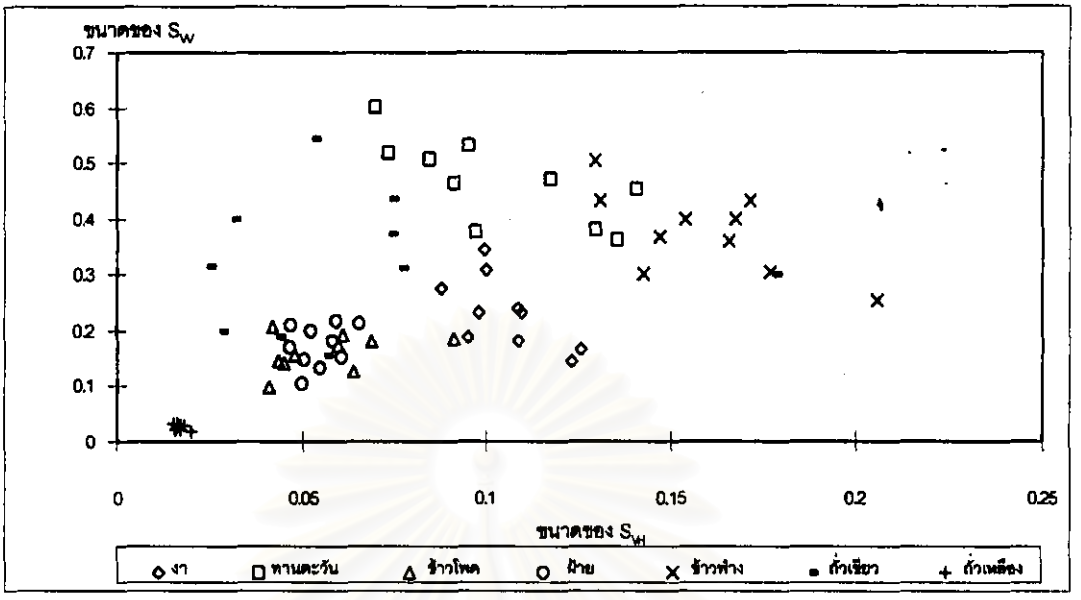


ข.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VV} ร่วมกัน

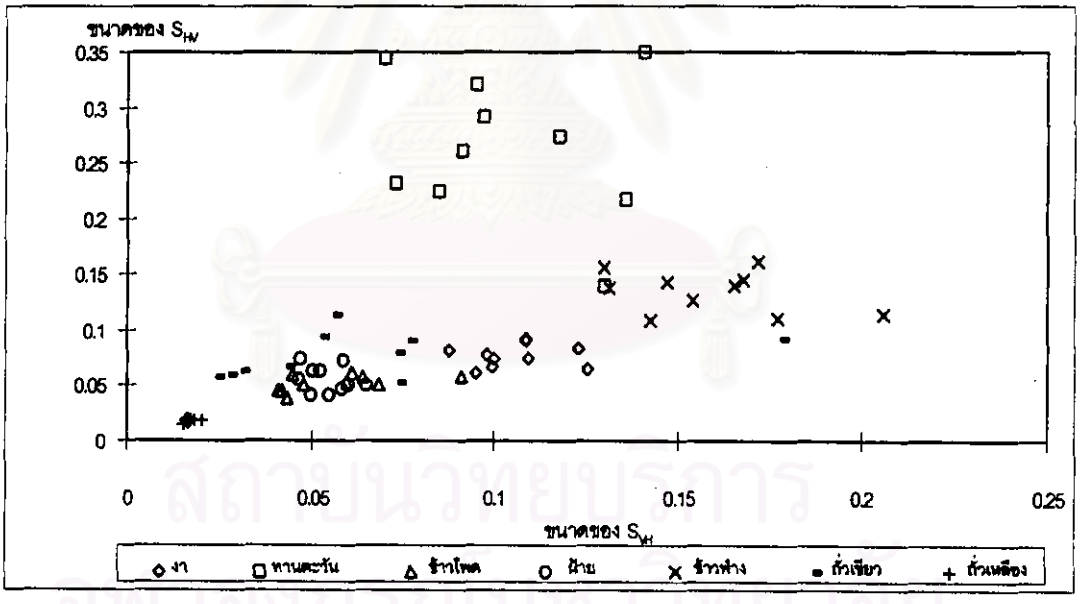


ค.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{HV} ร่วมกัน

รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ 2 องค์ประกอบ

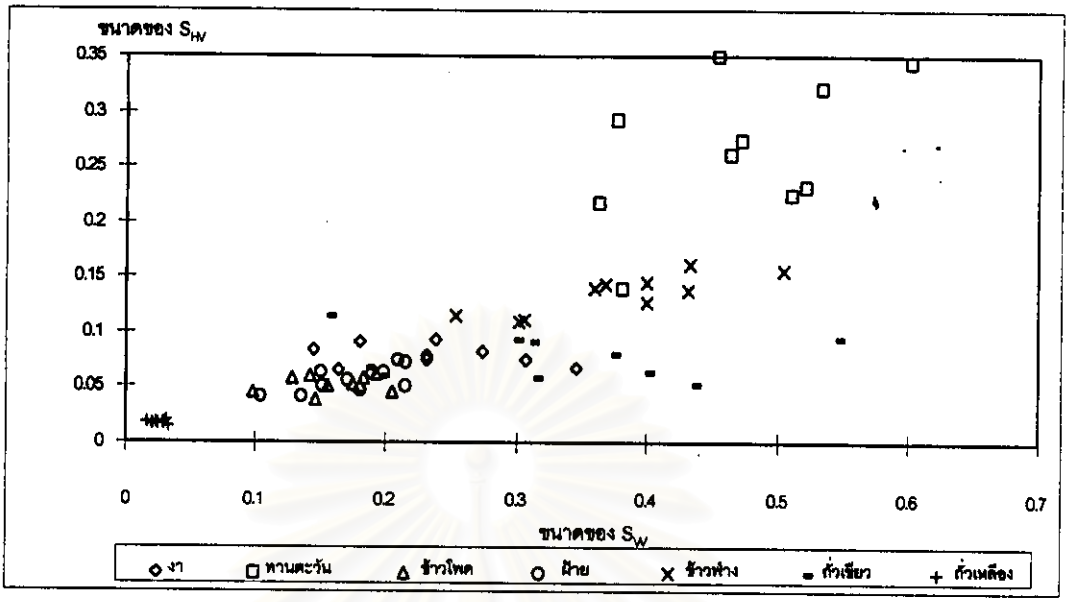


ง.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VH} และ S_{VV} ร่วมกัน



จ.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VH} และ S_{HV} ร่วมกัน

รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ 2 องค์ประกอบ



ฉ.) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{VV} และ S_{HV} ร่วมกัน

รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ 2 องค์ประกอบ

จากรูป 5.2ก ถึง 5.2ฉ พบว่าลักษณะของกลุ่มข้อมูลของพืชแต่ละชนิดมีการเกาะเป็นกลุ่ม ซึ่งสามารถแยกชนิดของพืชไร่ได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรก เมื่อพิจารณาองค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน จะเห็นได้ว่าพืชทุกชนิดมีการกระจายของกลุ่มข้อมูลที่แคบและแยกออกจากกันหมดทั้ง 7 ชนิด กลุ่มข้อมูลของข้าวโพดและฝ้ายอยู่รวมกันมากที่สุด ที่ค่าองค์ประกอบ S_{HH} ประมาณ 0.7-0.8 และ 0.5-0.6 ตามลำดับ และที่ค่าองค์ประกอบ S_{VH} ประมาณ 0.03-0.06 และ 0.03-0.08 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มข้อมูลของพืชชนิดอื่นมีการกระจายของกลุ่มข้อมูลที่กว้างกว่าข้าวโพด และฝ้าย แต่สามารถแยกออกเป็นกลุ่ม ๆ ได้ และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบ S_{VH} และ S_{HV} ร่วมกัน กลุ่มข้อมูลของถั่วเหลืองและงาอยู่รวมกันเป็นกลุ่มมากที่สุด ที่ค่าองค์ประกอบ S_{VH} ประมาณ 0.01-0.03 และ 0.08-0.13 ตามลำดับ และที่ค่าองค์ประกอบ S_{HV} ประมาณ 0.01-0.03 และ 0.04-0.10 ตามลำดับ ส่วนการพิจารณาในกรณีอื่น ๆ ไม่พบความน่าสนใจของกลุ่มข้อมูลของพืชไร่ชนิดอื่นได้อีก ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมจะเห็นว่าการพิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน เพียงกรณีเดียวสามารถแยกกลุ่มข้อมูลของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดออกจากกันได้

3. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์

นอกจากการพิจารณาข้อมูลในเชิงสถิติแล้ว การพิจารณาคุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการวิเคราะห์ เพราะข้อมูลที่วัดได้จากการส่งและรับคลื่นทั้ง 4 กรณี สามารถบอกถึงโพลาไรเซชันของคลื่นที่กระเจิงกลับจากพืชไร่ได้อย่างสมบูรณ์ ระดับขั้นการโพลาไรซ์เป็นปริมาณอย่างหนึ่งที่สามารถบอกสมบัติการโพลาไรซ์ของคลื่นกระเจิงได้ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 จากสมการที่ (2.7) สามารถคำนวณหาค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ได้ แต่ข้อมูลที่วัดได้มี 4 กรณี ดังนั้นการพิจารณาระดับขั้นการโพลาไรซ์จึงแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

1. ระดับขั้นการโพลาไรซ์เมื่อส่งคลื่นตกกระทบด้วยแนว H (d_H)

พิจารณา E_x และ E_y ของคลื่นที่กระเจิงกลับในสมการที่ (2.7) ด้วยค่าขององค์ประกอบทั้ง 4 จะได้ว่า

$$E_x = E_H^S = S_{HH} \cdot E_H^i \quad \text{.....(5.2ก}$$

$$E_y = E_V^S = S_{VH} \cdot E_H^i \quad \text{.....(5.2ข}$$

$$\delta = \phi_{HH} - \phi_{VH} \quad \text{.....(5.2ค}$$

2. ระดับขั้นการโพลาไรซ์เมื่อส่งคลื่นตกกระทบด้วยแนว V (d_V)

พิจารณา E_x และ E_y ของคลื่นที่กระเจิงกลับในสมการที่ (2.7) ด้วยค่าขององค์ประกอบทั้ง 4 จะได้ว่า

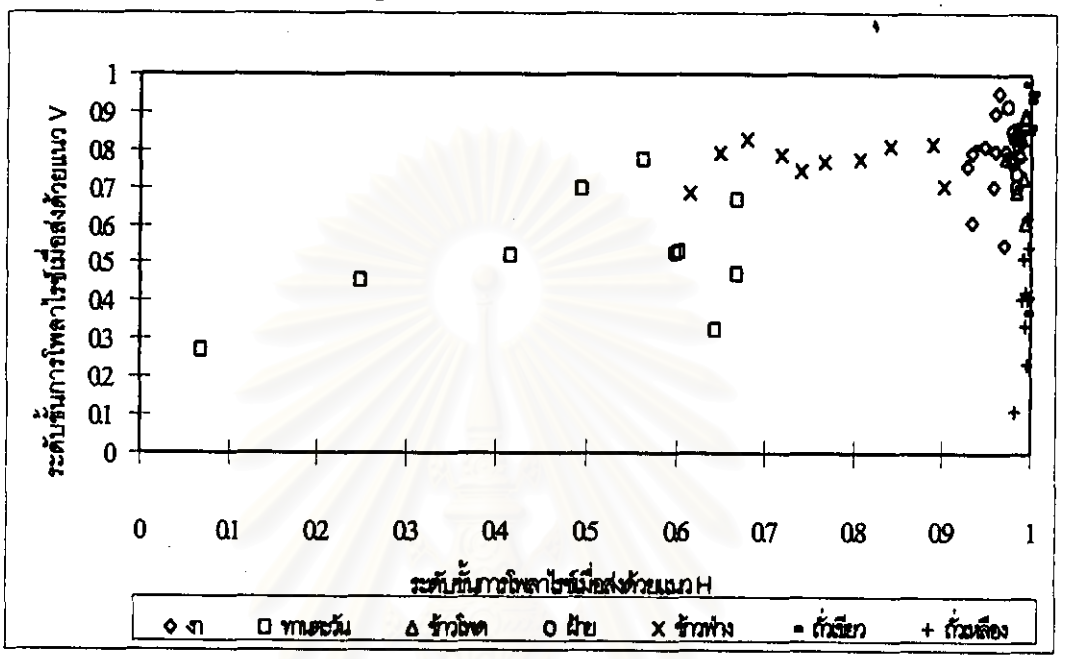
$$E_x = E_H^S = S_{HV} \cdot E_V^i \quad \text{.....(5.2ง)}$$

$$E_y = E_V^S = S_{VV} \cdot E_V^i \quad \text{.....(5.2จ}$$

$$\delta = \phi_{HV} - \phi_{VV} \quad \text{.....(5.2ฉ}$$

โดยที่ การหาค่าเฉลี่ยทางเวลาในสมการที่ (2.7) ทำได้จากการแปลงค่าในเชิงความถี่เป็นค่าในเชิงเวลาด้วยการแปลงฟูเรียร์ผกผัน (แสดงโปรแกรมการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค. [20]) ค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ทั้ง d_H และ d_V บอกถึงระดับพลังงานของการโพลาไรซ์เทียบกับพลังงานทั้งหมดของคลื่น ถ้าค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์นี้เข้าใกล้ 1 แสดงว่าคลื่นกระเจิงมีการโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าเข้าใกล้ 0 คลื่นกระเจิงนั้นไม่มีการโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์

พิจารณาระดับขั้นการโพลาไรซ์ของการส่งทั้งสองแนว H และ V (d_H และ d_V) ร่วมกัน ดังแสดงในรูป 5.3 ซึ่งแกนนอนคือระดับขั้นการโพลาไรซ์เมื่อคลื่นส่งอยู่ในแนว H และแกนตั้งคือ ระดับขั้นการโพลาไรซ์เมื่อคลื่นส่งอยู่ในแนว V



รูป 5.3 ระดับขั้นการโพลาไรซ์ของพืชทั้ง 7 ชนิด

จากรูป 5.3 พิจารณากรณีที่ส่งคลื่นด้วยแนว H พบว่ากลุ่มข้อมูลของถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพด และฝ้าย มีระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_H) อยู่ในช่วง 0.97-1.00 ซึ่งใกล้ค่า 1 มากแสดงว่าพืชไร่เหล่านี้มีการโพลาไรซ์ค่อนข้างสมบูรณ์ กลุ่มของพืชไร่ที่มีระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_H) รองลงมา คือ งา มีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_H) อยู่ที่ช่วง 0.91-0.97 ส่วนทานตะวันและข้าวฟ่างมีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_H) อยู่ในช่วง 0.05-0.65 และ 0.61-0.90 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากรณีที่ส่งคลื่นด้วยแนว V พบว่าไม่มีกลุ่มข้อมูลของพืชชนิดใดมีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_V) เข้าใกล้ 1 อย่างชัดเจน ถั่วเขียวมีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์อยู่ที่ประมาณ 0.80-1.00 ถั่วเหลืองมีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_V) อยู่ที่ประมาณ 0.10-0.50 ฝ้ายและข้าวโพดมีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_V) อยู่ที่ประมาณ 0.60-0.90 งามีค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ (d_V) อยู่ที่ประมาณ 0.50-0.95 ข้าวฟ่างอยู่ที่ประมาณ 0.68-0.85 และทานตะวันอยู่ที่ประมาณ 0.25-0.70 ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวม ข้าวฟ่างและทานตะวันมีกลุ่มข้อมูลที่สามารถแยกออกมาจากกลุ่มได้ โดยการพิจารณา d_H แล้วแยกข้าวฟ่างออกจากทานตะวันด้วยค่า d_V ส่วนถั่วเหลืองและถั่วเขียวแยกออกจากพืชไร่ชนิดอื่นด้วยการพิจารณาค่า d_H แล้วแยกถั่วเขียวออกอีกทีด้วยค่า d_V งาสามารถใช้การพิจารณาค่า d_H เพียง

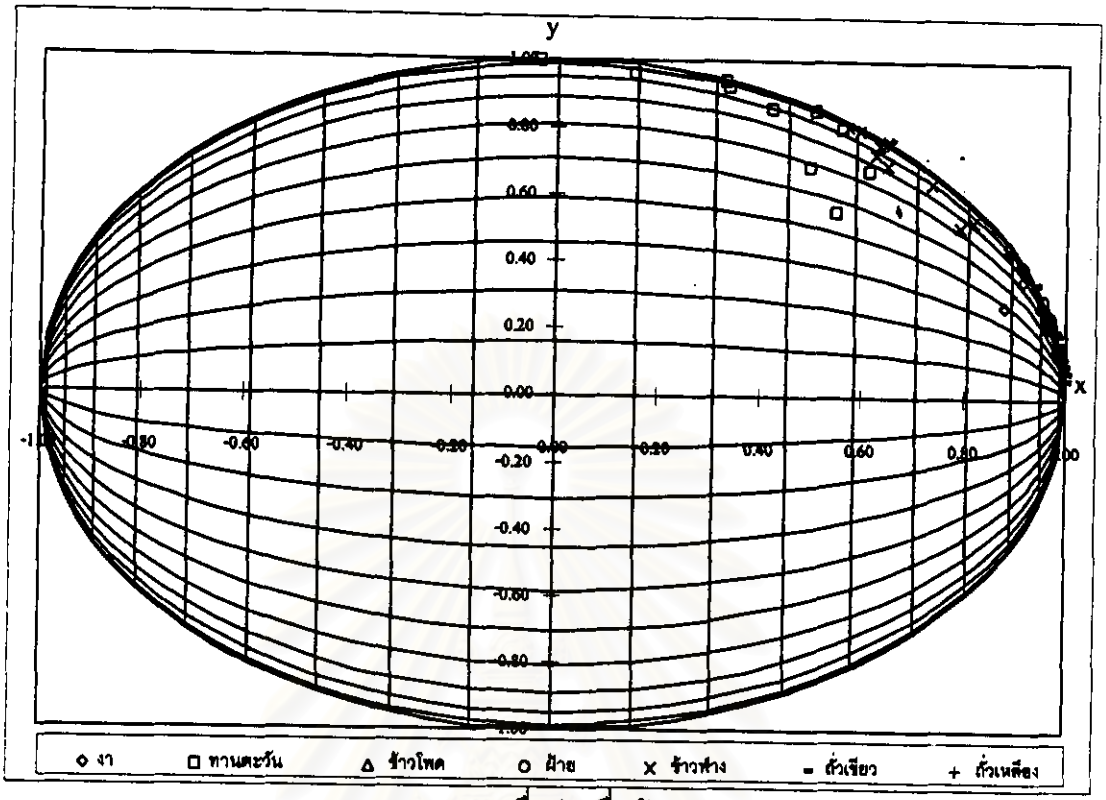
อย่างเดียวก็พอ ส่วนข้าวโพดและฝ้ายแยกออกจากกลุ่มพืชไร่ชนิดอื่น ๆ แต่ไม่สามารถแยกออกจากกันได้

4. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการพิจารณาวงรีของการโพลาไรซ์

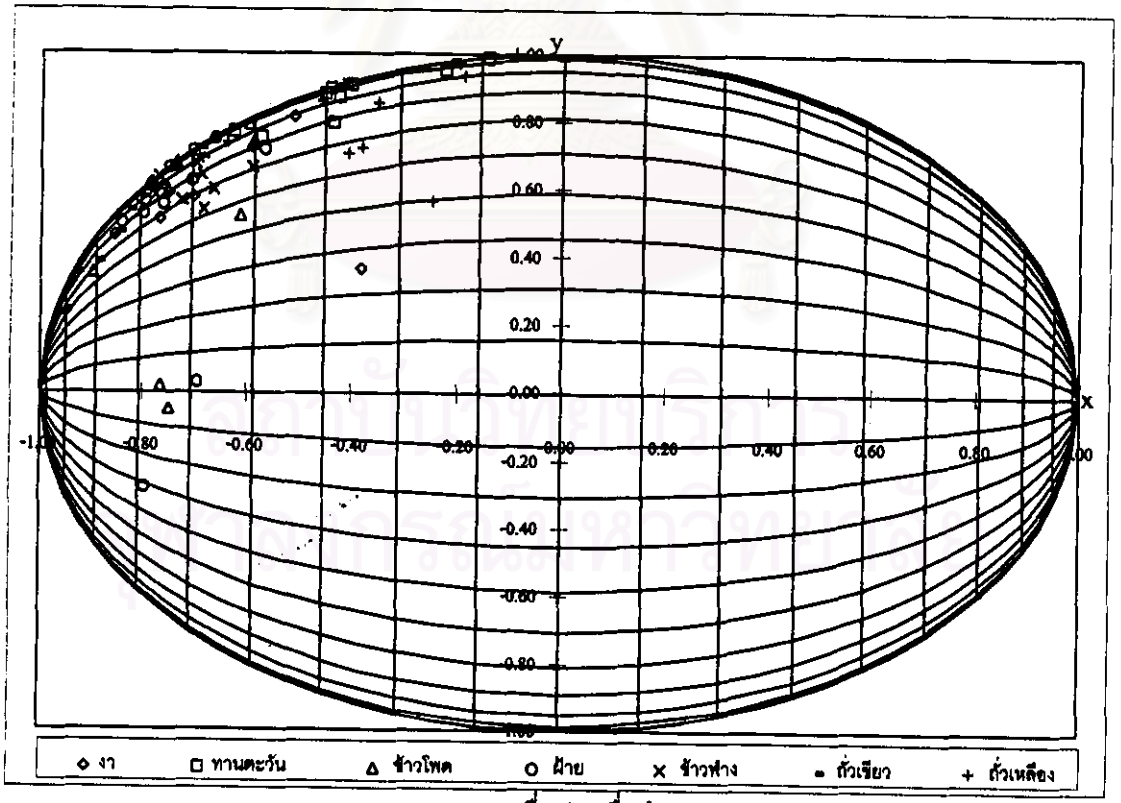
การอธิบายถึงวงรีของการโพลาไรซ์ของคลื่นกระเจิงอาศัยการบอกตำแหน่งของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเรเพื่อบอกลักษณะวงรีของการโพลาไรซ์ของคลื่น ซึ่งตำแหน่งของสถานะการโพลาไรซ์มีความสัมพันธ์กับมุม ε กับ มุม τ หรือมุม γ กับ มุม δ ตามรูป 2.9 การพิจารณาตำแหน่งของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเรจะแยกเป็น 2 กรณีเหมือนกับการวิเคราะห์ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์ คือ กรณีแรกส่งคลื่นตกกระทบด้วยแนวโพลาไรเซชัน H และกรณีที่สองส่งคลื่นตกกระทบด้วยแนวโพลาไรเซชัน V

การพิจารณาตำแหน่งต่าง ๆ ของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลม 3 มิติ ของข้อมูลของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดทำได้ยาก และไม่สะดวกในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงแบ่งการพิจารณาทรงกลม 3 มิติเป็นระนาบ 2 มิติ 2 ระนาบด้วยกัน คือ ระนาบ xy และ ระนาบ yz ส่วนระนาบ xz ไม่นำเสนอเพราะการกระจายของกลุ่มข้อมูลของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดบนระนาบ xz ไม่เป็นระเบียบ ยากต่อการวิเคราะห์ และอีกเหตุผลหนึ่ง การอธิบายด้วยระนาบ 2 ระนาบก็เพียงพอที่จะทราบตำแหน่งสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมได้ ดังนั้นจึงพิจารณาตำแหน่งสถานะการโพลาไรซ์ของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด บนระนาบ xy และระนาบ yz เท่านั้น ดังแสดงในรูป 5.4ก ถึง 5.4ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

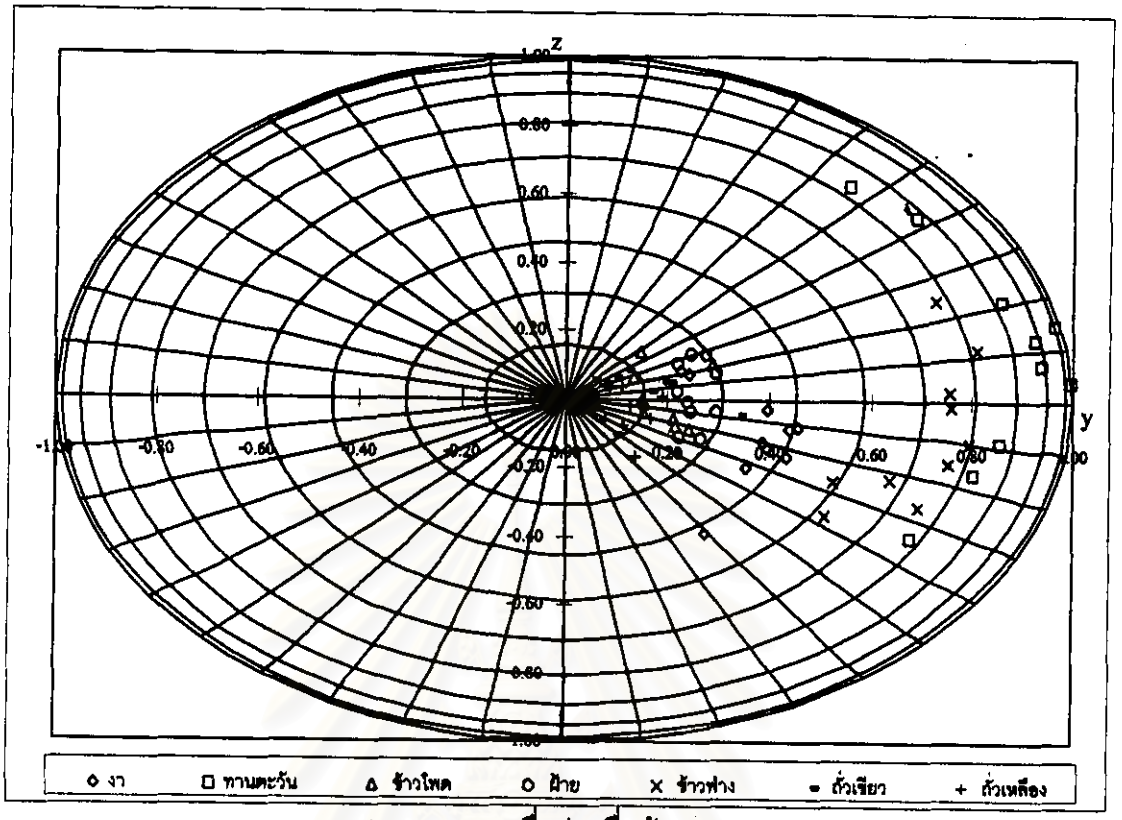


ก.) ระนาบ xy เมื่อส่งคลื่นด้วยแนว H

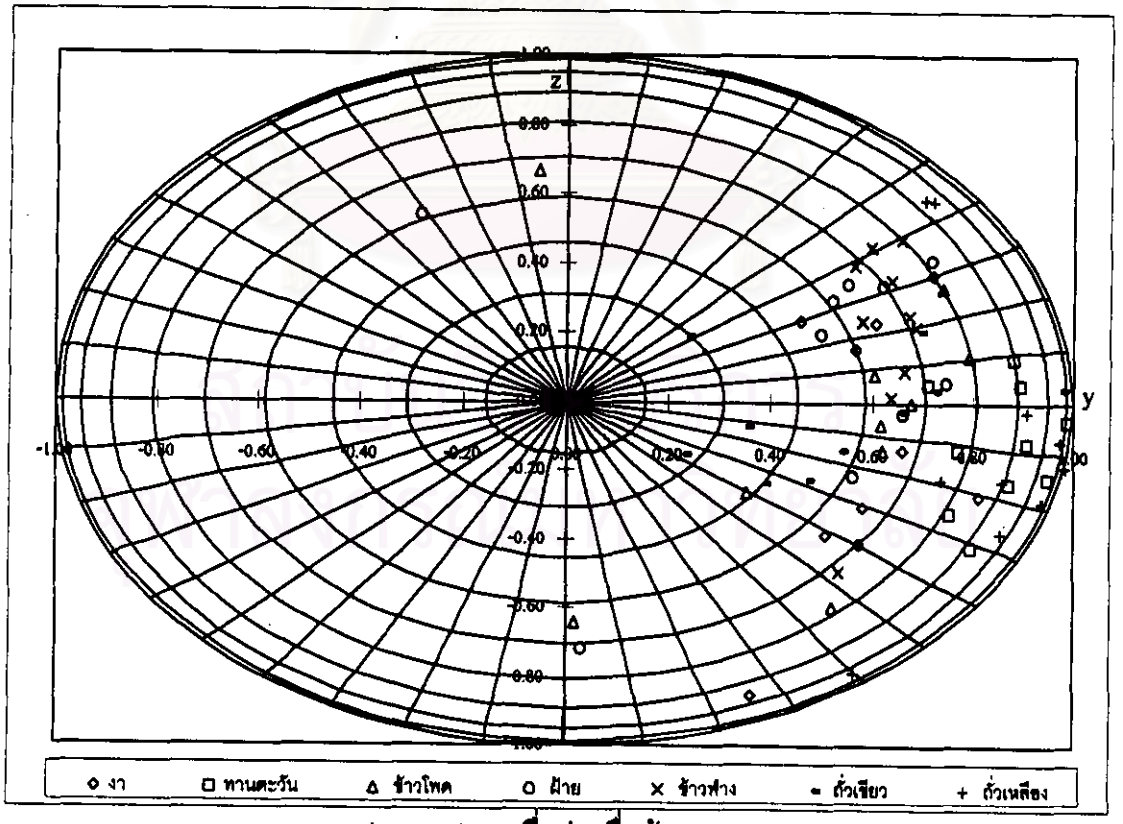


ข.) ระนาบ xy เมื่อส่งคลื่นด้วยแนว V

รูป 5.4 ความสัมพันธ์ของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร



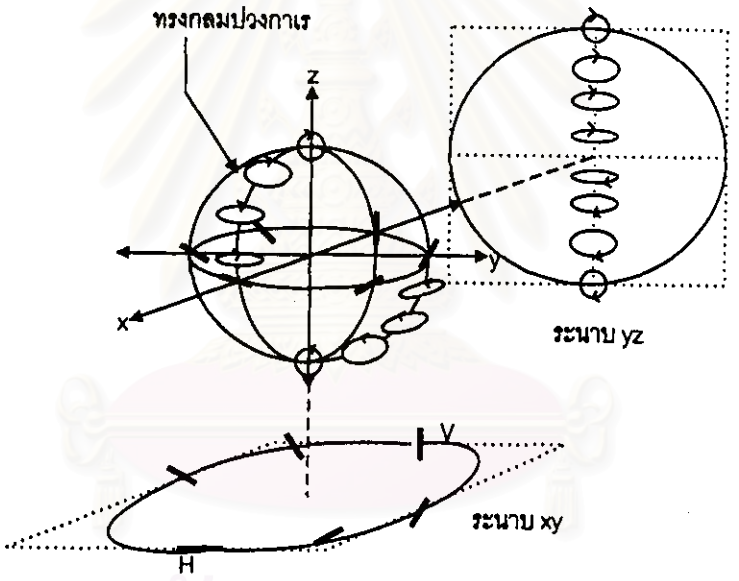
ค.) ระนาบ yz เมื่อส่งคลื่นด้วยแนว H



ง.) ระนาบ yz เมื่อส่งคลื่นด้วยแนว V

รูป 5.4 ความสัมพันธ์ของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร

การพิจารณาสถานะการโพลาไรซ์ของคลื่นกระเจิงบนระนาบ xy คือการพิจารณาความเอียงของวงรีของการโพลาไรซ์ ถ้าอยู่ที่ตำแหน่ง x=1 y=0 คลื่นจะมีโพลาไรเซชันเป็นเส้นตรงอยู่ในแนว H และเมื่อ x น้อยลงเรื่อย ๆ คลื่นจะมีมุมเอียงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่ง x=-1 y=0 คลื่นจะมีโพลาไรเซชันเป็นเส้นตรงที่อยู่ในแนว V ส่วนที่จุดศูนย์กลาง x=0 y=0 คลื่นมีโพลาไรเซชันเป็นวงกลม ดังแสดงในรูป 5.5 ส่วนการพิจารณาสถานะการโพลาไรซ์ของคลื่นกระเจิงบนระนาบ yz คือการพิจารณาความรีของวงรีของการโพลาไรซ์ ถ้าอยู่ที่ตำแหน่ง z=0 คลื่นจะมีโพลาไรเซชันเป็นเส้นตรง เมื่อ z เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ความรีของวงรีของการโพลาไรซ์ก็จะลดน้อยลง จนถึงตำแหน่ง z=1 คลื่นมีโพลาไรเซชันเป็นวงกลม ซึ่งเมื่อ z<0 ก็จะเหมือนกัน เพียงแต่ทิศทางการวนต่างกัน ถ้า z>0 จะวนทางซ้าย แต่ถ้า z<0 ทิศการวนจะวนทางขวา ดังแสดงในรูป 5.5



รูป 5.5 ระนาบ xy และ yz ของทรงกลมป่วงกาเร

พิจารณาระนาบ xy จากรูปที่ 5.4ก และ 5.4ข พบว่าตำแหน่งสถานะการโพลาไรซ์ของพีชจากคลื่นที่ส่งด้วยโพลาไรเซชันเป็นเส้นตรงในแนว H และ V อยู่ที่บริเวณเส้นรอบนอกวงกลม แสดงว่าคลื่นที่กระเจิงส่วนใหญ่มีโพลาไรเซชันเป็นเส้นตรง แต่มีมุมเอียงที่แตกต่างกัน จากรูป 5.4ก พิจารณาคลื่นที่ส่งด้วยแนว H พบว่าทานตะวันมีมุมเอียงที่มากกว่าพีชชนิดอื่น ซึ่งมีมุมเอียง

ประมาณ 10 ถึง 15 องศา ข้าวโพดและฝ้าย มีมุมเอียงประมาณ 5 ถึง 10 องศา ถั่วเหลืองและถั่วเขียวมีมุมเอียงประมาณ 2 ถึง 5 องศา แต่จากรูป 5.4ข เมื่อส่งคลื่นด้วยแนว V พบว่าพืชทุกชนิดมีคลื่นที่กระเจิงมีมุมเอียงกระจัดกระจาย ในช่วงกว้าง ๆ 15 ถึง 32 องศานับจากแนว V

พิจารณาระนาบ yz จากรูป 5.4ค และ 5.4ง พบว่าไม่ว่าจะส่งคลื่นด้วยแนวใด กลุ่มข้อมูลของพืชทั้ง 7 ชนิดมีการกระจายของข้อมูลอยู่ในช่วง z>0 และ z<0 เท่า ๆ กัน แสดงว่าคลื่นที่กระเจิงจากพืชไร่มีโอกาสที่โพลาไรเซชันจะวนซ้าย และวนขวาเท่า ๆ กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งมุมเอียงและความรีของวงรีของการโพลาไรซ์ จะสามารถบอกความแตกต่างของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดได้ด้วยตำแหน่งของสถานะการโพลาไรซ์บนระนาบ xy และบนระนาบ yz

5. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง

การพิจารณาระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง คือการพิจารณาความไม่สมมาตรของคลื่นกระเจิงที่เกิดจากสมบัติการกระเจิงของพืช ซึ่งองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิงมีอยู่สองกลุ่มคือ กลุ่มขั้วเหมือน (S_{HH} และ S_{VV}) และกลุ่มขั้วต่าง (S_{HV} และ S_{VH}) ดังแสดงในรูป 2.9 โดยที่ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง สามารถแสดงด้วยสมการที่ (5.3) ดังต่อไปนี้

$$\vec{E}^{S} = E_H^S \vec{h} + E_V^S \vec{v} \quad \text{.....(5.3ก)}$$

$$= (S_{HH} E_H^i \vec{h}_S + S_{VV} E_V^i \vec{v}_S) + (S_{HV} E_V^i \vec{h}_S + S_{VH} E_H^i \vec{v}_S) \quad \text{.....(5.3ข)}$$

$$= (E_H^{SC} \vec{h}_S + E^{SC} \vec{v}_S) + (E_H^{SX} \vec{h}_S + E_V^{SX} \vec{v}_S) \quad \text{.....(5.3ค)}$$

$$= \vec{E}^{SC} + \vec{E}^{SX} \quad \text{.....(5.3ง)}$$

โดยที่ $\vec{E}^{SC}$ คือ คลื่นกระเจิงจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วเหมือนของเมทริกซ์การกระเจิง

$\vec{E}^{SX}$ คือ คลื่นกระเจิงจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วต่างของเมทริกซ์การกระเจิง

E_H^{SC} คือ คลื่นกระเจิงกลับซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วเหมือนในแนว H

E_V^{SC} คือ คลื่นกระเจิงกลับซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วเหมือนในแนว V

E_H^{SX} คือ คลื่นกระเจิงกลับซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วต่างในแนว H

E_V^{SX} คือ คลื่นกระเจิงกลับซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของกลุ่มขั้วต่างในแนว V

ถ้าส่งคลื่นตกกระทบเป็นคลื่นที่มีองค์ประกอบในแนว H และ V เท่ากัน ($E_H^i = E_V^i$) จะได้ว่า

$$\left|E_H^{SC}\right| - \left|E_V^{SC}\right| = \left(\left|S_{HH}E_H^i\right| - \left|S_{VV}E_V^i\right|\right)$$

$$= \Delta C \cdot \left|E_H^i\right| \qquad \text{.....(5.4ก)}$$

$$\left|E_H^{SX}\right| - \left|E_V^{SX}\right| = \left(\left|S_{HV}E_V^i\right| - \left|S_{VH}E_H^i\right|\right)$$

$$= \Delta X \cdot \left|E_H^i\right| \qquad \text{.....(5.4ข)}$$

$$\left(\left|E_H^{SC}\right| - \left|E_V^{SC}\right|\right) + \left(\left|E_H^{SX}\right| - \left|E_V^{SX}\right|\right) = \Delta C \cdot \left|E_H^i\right| + \Delta X \cdot \left|E_H^i\right|$$

$$= CXgap \cdot \left|E_H^i\right| \qquad \text{.....(5.4ค)}$$

ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่า

$$\begin{bmatrix} E_H^S \\ E_V^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot E_H^{SC} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot E_H^{SX} - \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta C + \Delta X \end{bmatrix} \cdot E_H^i \qquad \text{.....(5.4ง)}$$

โดยที่ ΔC คือ ขนาดความแตกต่างของคลื่นกระเจิงในแนว H และ V ของกลุ่มขั้วเหมือน

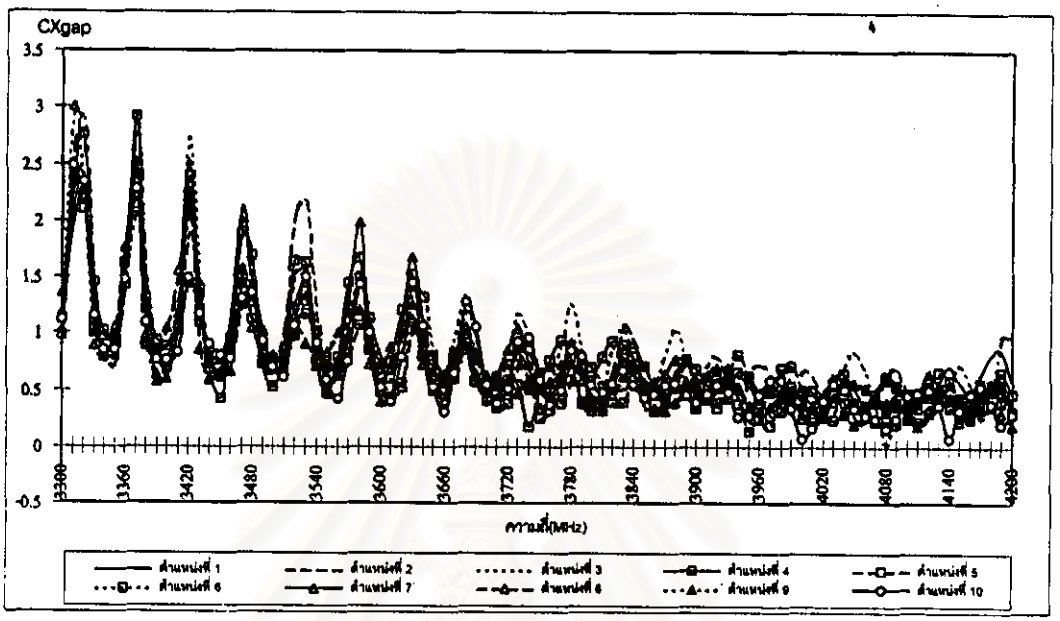
ΔX คือ ขนาดความแตกต่างของคลื่นกระเจิงในแนว H และ V ของกลุ่มขั้วต่าง

CXgap คือ ระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง

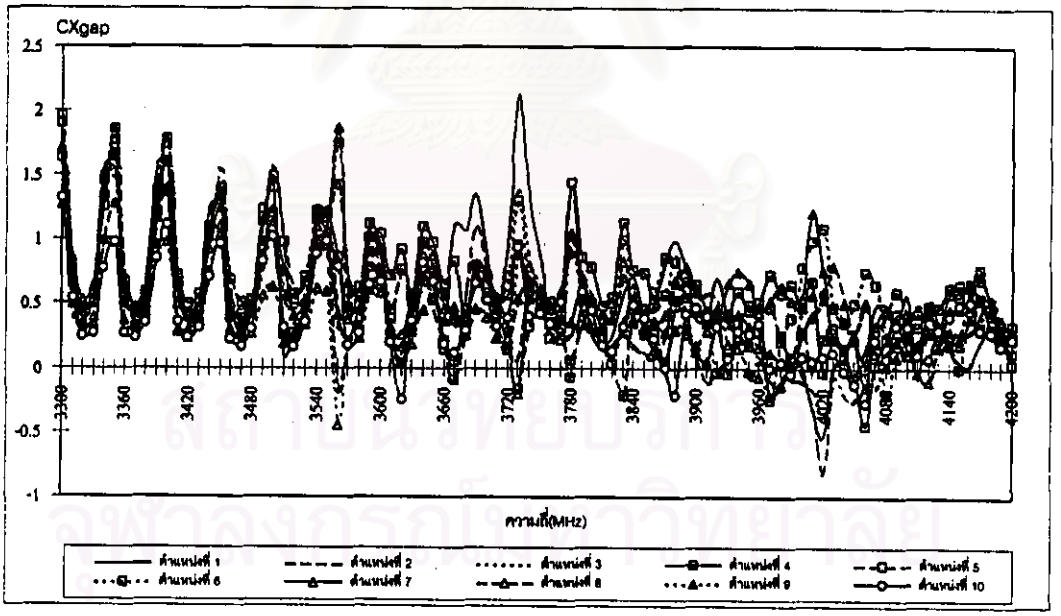
ความหมายของ ΔC และ ΔX คือค่าที่แสดงถึงความไม่สมมาตรของคลื่นกระเจิงที่เกิดจากค่าองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิงในกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง ตามลำดับ เพราะถ้าส่งคลื่นที่มีขนาดของแนวโพลาไรเซชัน H และ V เท่ากัน ($E_H^i = E_V^i$) แล้วคลื่นที่กระเจิงกลับมีองค์ประกอบของแนวโพลาไรเซชัน H และ V เท่ากัน จะเรียกว่าพืชชนิดนั้นมีสมบัติการกระเจิงที่สมมาตร แต่ถ้าไม่เท่ากัน สามารถบอกความไม่สมมาตรของคลื่นกระเจิงด้วยความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของคลื่นกระเจิงในแนว H และ V ของกลุ่มขั้วเหมือน (ΔC) และกลุ่มขั้วต่าง (ΔX) ฉะนั้นผลรวมของทั้งสองกลุ่มนี้ (CXgap) สามารถนำมาใช้บอกความไม่สมมาตรของสมบัติการกระเจิงของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดได้

ถ้าพิจารณาค่า ΔC และ ΔX ขององค์ประกอบทั้ง4 ของเมทริกซ์การกระเจิงของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดในรูป 4.15 ถึง 4.21 พบว่าไม่สามารถแยกความแตกต่างของพืชไร่ชนิดต่างๆ ออกจากกันได้

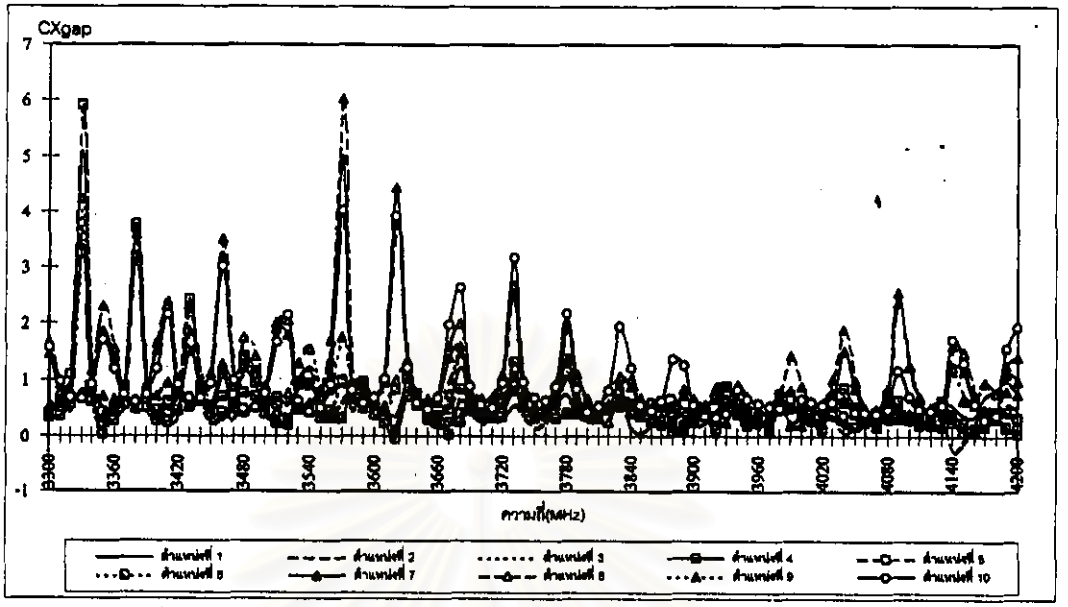
แต่ถ้าพิจารณา CXgap พบว่าสามารถบอกความแตกต่างของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดได้ ดังแสดงในรูป 5.6 ถึง 5.12



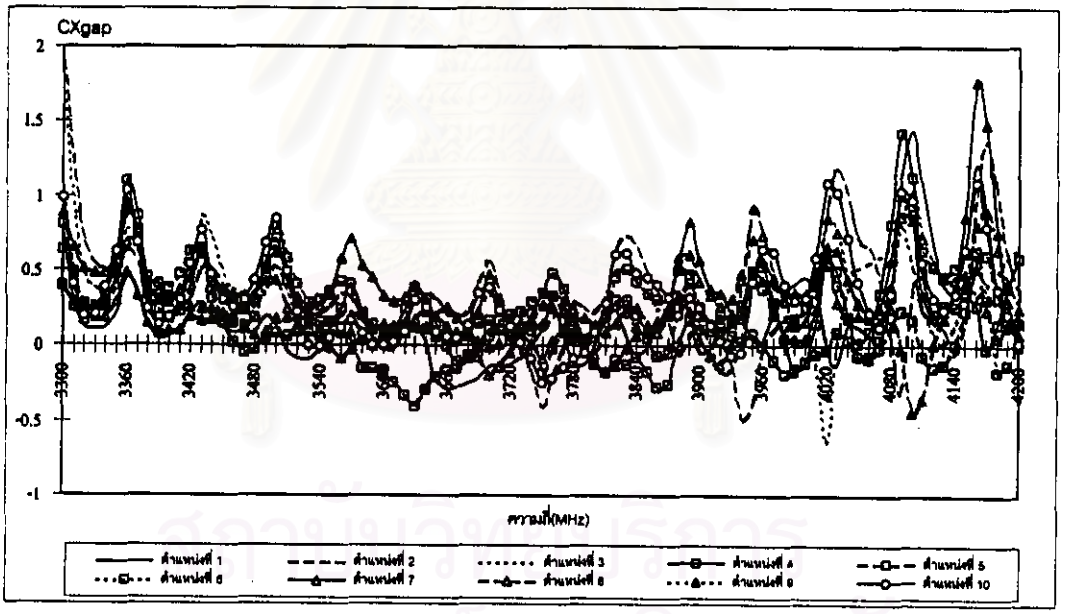
รูป 5.6 CXgap ของข้าวโพด



รูป 5.7 CXgap ของข้าวฟ่าง

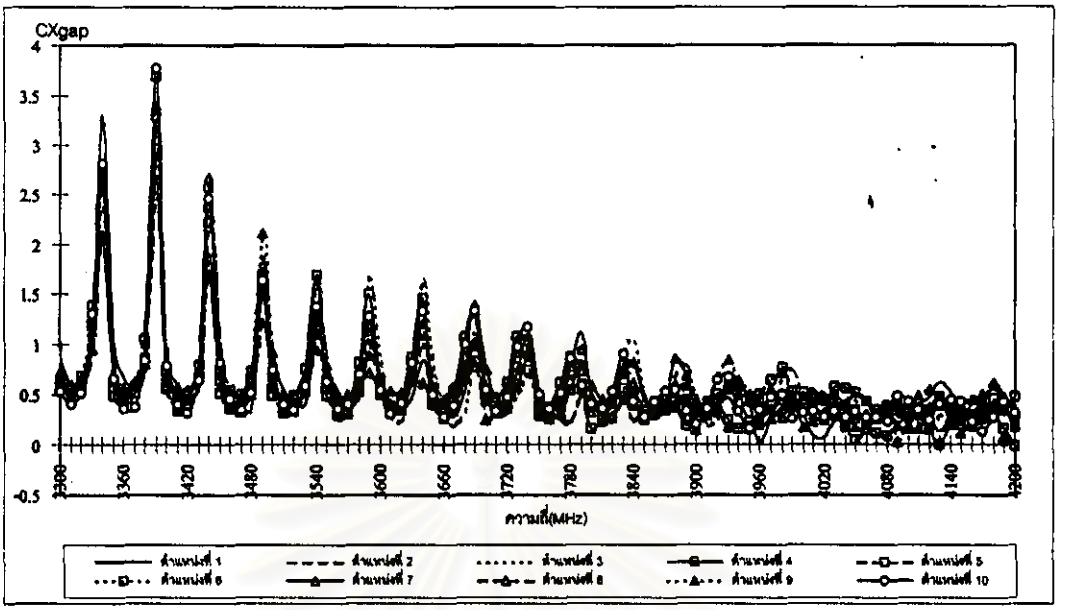


รูป 5.8 CXgap ของงา

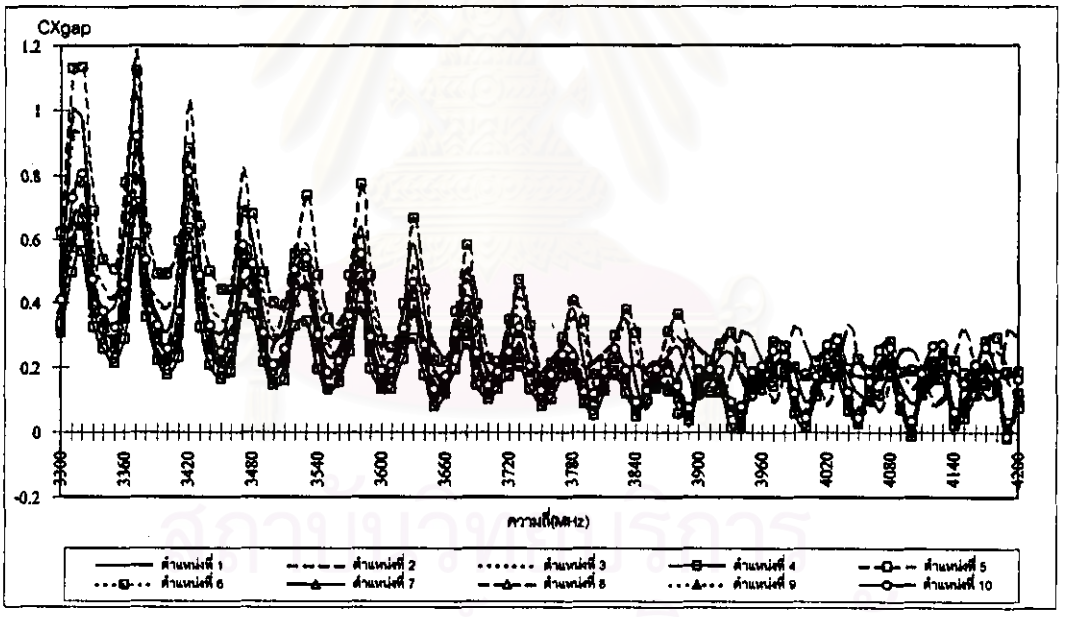


รูป 5.9 CXgap ของทานตะวัน

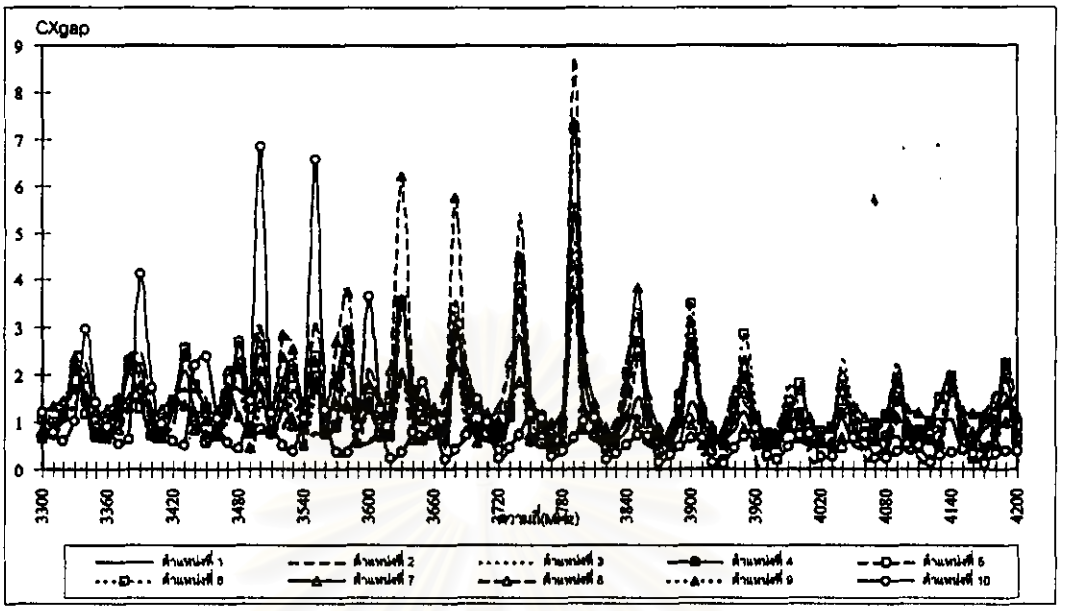
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.10 CXgap ของฝ้าย



รูป 5.11 CXgap ของถั่วเหลือง



รูป 5.12 CXgap ของถั่วเขียว

จากรูป 5.6 ถึง 5.12 พบว่าข้าวโพด ฝ้าย และถั่วเหลือง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ CXgap จากมากไปน้อยที่ช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz แต่พืชทั้ง 3 ชนิดนั้นมีขนาด และอัตราการลดลงที่ไม่เท่ากัน คือข้าวโพดเริ่มต้นที่ 1-1.25 และไปสิ้นสุดที่ 0.25-0.5 ฝ้ายเริ่มที่ 0.5-2.25 และสิ้นสุดที่ 0.1-0.3 ส่วนถั่วเหลืองเริ่มที่ 0.4-0.8 และสิ้นสุดที่ 0.1-0.3 นอกจากพืชทั้ง 3 ชนิดนี้ พืชชนิดอื่นมีแนวโน้มที่แตกต่างกัน ข้าวฟ่างมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ที่ประมาณ 0.2-1.4 ถั่วเขียวมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนความถี่ประมาณ 3.7 ถึง 4.0 GHz แล้วจะค่อยๆลดลงจนเกือบเท่าเดิม ทานตะวันมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับถั่วเขียว และสุดท้ายงามีแนวโน้มขึ้น ๆ ลง ๆ เป็นช่วง ๆ ดังนั้นเมื่อพิจารณา CXgap ของพืชไร่ทุกชนิดพบว่าสามารถบอกความแตกต่างของพืชไร่แต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน

<u>การแยกประเภทพืชไร่</u>

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้นั้นมีความสามารถในการแยกกลุ่มของพืชไร่แต่ละชนิดไม่เท่ากัน สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พยายามหาวิธีวิเคราะห์ที่สามารถบอกความแตกต่างของพืชไร่ชนิดต่าง ๆ ด้วยการพิจารณาพืชทุกชนิดบนวิธีวิเคราะห์เดียวกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาวิธีวิเคราะห์นั้นว่าสามารถบอกชนิดของพืชไร่ได้ถูกหรือผิดอย่างไร และพิจารณาว่าไม่

สามารถบอกชนิดของพืชไร่ได้มากน้อยแค่ไหน ซึ่งมีรายละเอียดของการแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์แบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

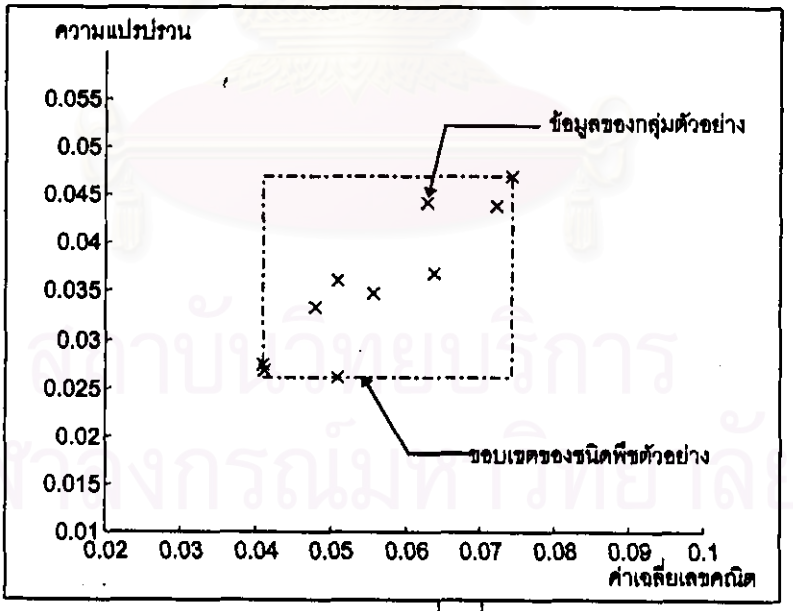
1. การแยกประเภทพืชไร่ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH}

จากรูป 5.1ก ถึง 5.1ง พบว่าการพิจารณาด้วยองค์ประกอบทั้ง 4 ร่วมกันให้ผลที่ดีสำหรับการบอกชนิดพืชแต่ละชนิด แต่เมื่อพิจารณาโดยรวม การแยกประเภทพืชไร่ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH} มีความถูกต้องมากที่สุด

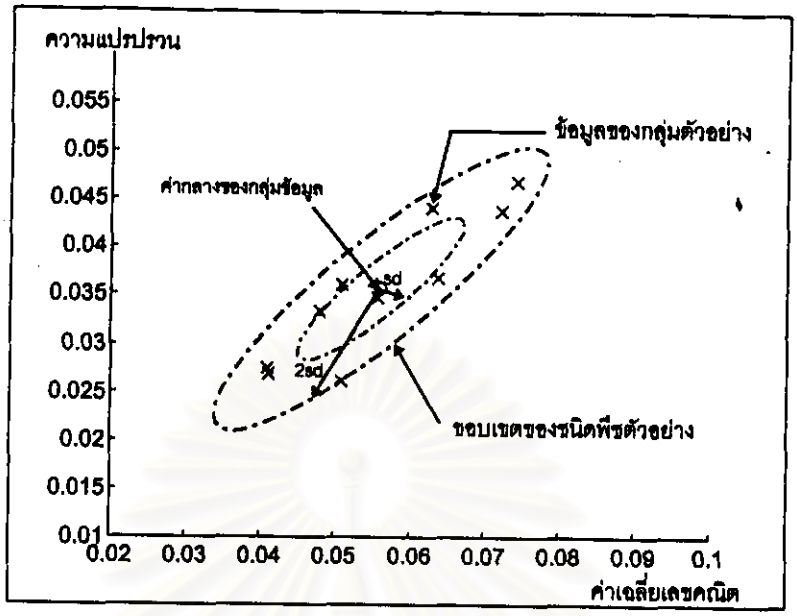
การกำหนดขอบเขตพื้นที่ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH} เพื่อบอกความเป็นชนิดของพืชนั้น สามารถกำหนดได้ 2 วิธีคือ

1. แบบกรอบสี่เหลี่ยม โดยการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าครอบคลุมบริเวณที่ข้อมูลของพืชไร่ชนิดนั้นอยู่มากที่สุด และไม่ทับกับกรอบของพืชชนิดอื่น ดังแสดงในรูป 5.13ก

2. แบบการแจกแจงปกติ โดยการนำข้อมูลทั้งหมดหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนแล้วสร้างกรอบรอบค่าเฉลี่ยเลขคณิต ด้วยระยะห่างเป็นจำนวนเท่าของความแปรปรวนดังแสดงตัวอย่างในรูป 5.13ข



ก.) แบบกรอบสี่เหลี่ยม



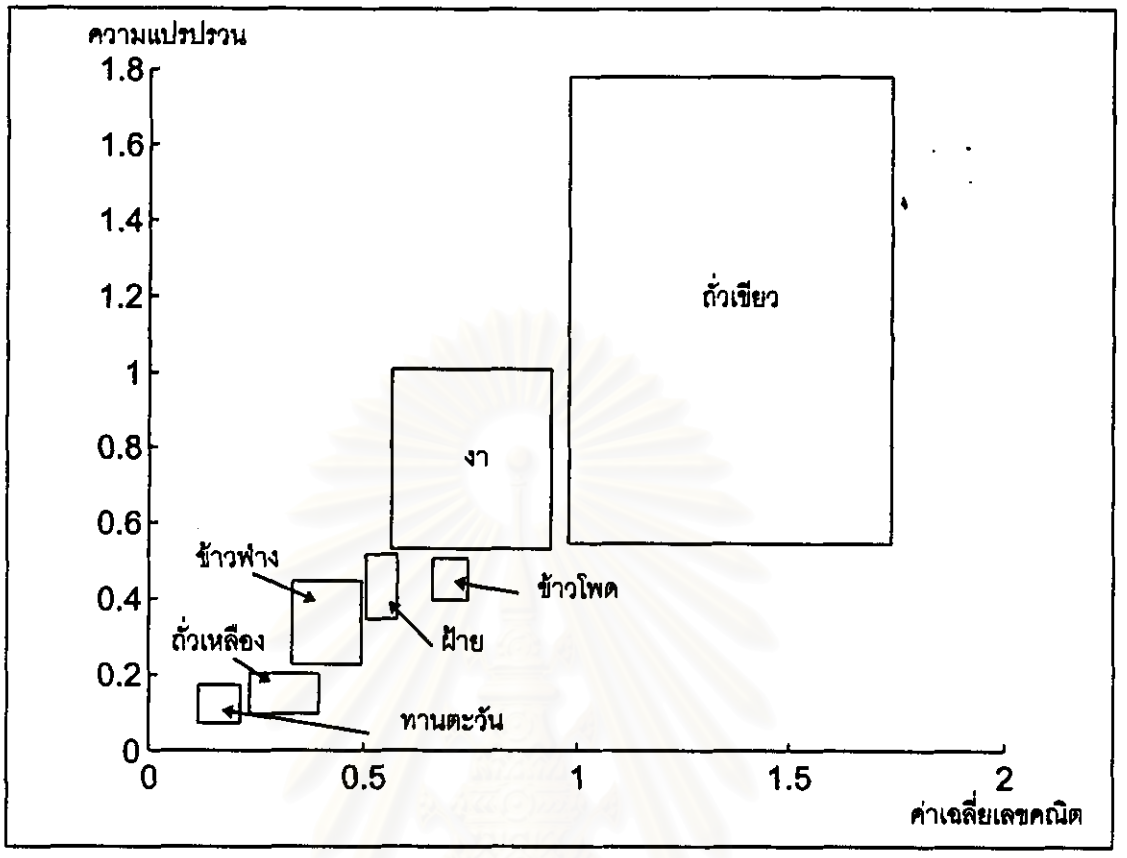
ข.) แบบการแจกแจงปกติ

รูป 5.13 แสดงตัวอย่างของการกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อบอกชนิดของพืช

พิจารณาค่าองค์ประกอบ S_{HH} จากรูป 5.1ก สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อบอกชนิดพืชไร่ได้ดังแสดงในรูป 5.14 และ 5.15 ด้วยวิธีแบบกรอบสี่เหลี่ยม และแบบการแจกแจงปกติตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} รวมกัน และแสดงตารางของการแยกประเภทของพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ ในตาราง 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

การพิจารณาการแยกประเภทพืชไร่ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ จะพิจารณาจากขอบเขตที่บอกชนิดพืชไร่ ถ้าข้อมูลที่อยู่ภายในขอบเขตนั้น จะถือว่าเป็นพืชไร่ชนิดนั้น แต่ในความเป็นจริง จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกเป็นความสามารถในการแยกประเภทพืชไร่ผิดชนิด หมายถึง ข้อมูลที่อยู่ภายในขอบเขตที่บอกชนิดพืชไร่เป็นข้อมูลของพืชไร่ชนิดอื่น ในลักษณะนี้เรียกว่า แยกประเภทพืชไร่ผิด ส่วนลักษณะที่สองนั้นคือขอบเขตที่บอกชนิดพืชไร่ทุกชนิดไม่สามารถครอบคลุมทุกข้อมูลได้ หมายถึง เราไม่สามารถจัดข้อมูลนั้นเป็นพืชไร่ชนิดใดได้ เรียกว่า ไม่สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้

ในตารางจะแสดงชนิดพืชไร่ที่สามารถจัดกลุ่มเป็นชนิดต่าง ๆ ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ ส่วนคำว่า อื่น ๆ คือมีข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของพืชไร่ชนิดใดเลย จึงแสดงความสามารถในการแยกประเภทพืชไร่ไว้ 3 แบบคือ แยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้อง แยกประเภทพืชไร่ผิด และ แยกประเภทพืชไร่ไม่ได้



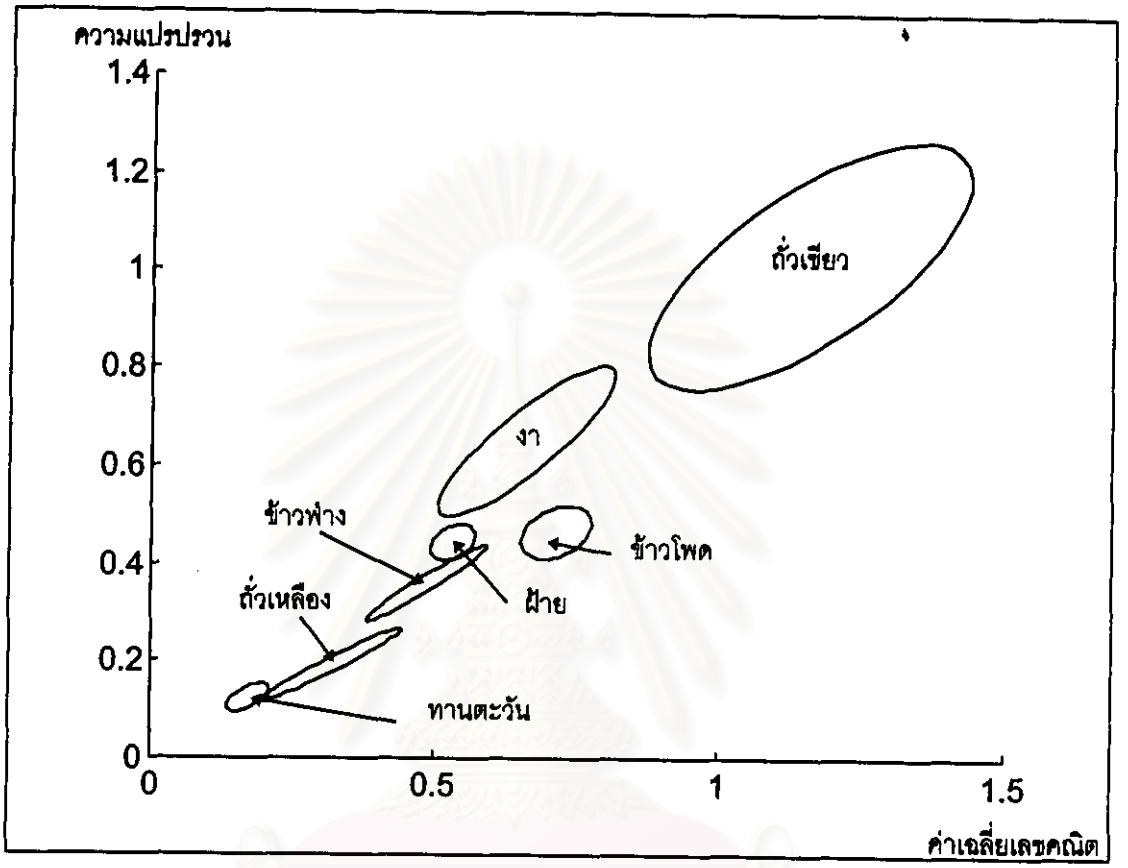
รูป 5.14 ขอบเขตพื้นที่ของพืชทั้ง 7 ชนิดแบบกรอบสี่เหลี่ยม เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH}

ตาราง 5.1 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH} (แบบกรอบสี่เหลี่ยม)

	(ตำแหน่ง)	ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ S_{HH} (แบบกรอบสี่เหลี่ยม)							
		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	9	_	_	_	_	_	_	1
	ข้าวฟ่าง	2	7	_	_	1	_	_	0
	งา	_	1	7	_	1	_	1	0
	ทานตะวัน	_	_	_	10	_	_	_	0
	ฝ้าย	_	_	1	_	9	_	_	0
	ถั่วเหลือง	_	1	_	1	_	7	_	1
	ถั่วเขียว	_	_	1	_	_	_	9	0

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 58 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม	10	ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)
ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม	2	ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)



รูป 5.15 ขอบเขตพื้นที่ของพืชทั้ง 7 ชนิดแบบการแจกแจงปกติ เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.2 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH} (แบบการแจกแจงปกติ)

(ตำแหน่ง)		ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ S_{HH} (แบบการแจกแจงปกติ)							
		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	9	_	_	_	_	_	_	1
	ข้าวฟ่าง	_	8	_	_	1	_	_	1
	งา	_	_	8	_	_	_	2	0
	ทานตะวัน	_	_	_	9	_	_	_	1
	ฝ้าย	_	_	2	_	7	_	_	1
	ถั่วเหลือง	_	_	_	_	_	8	_	2
	ถั่วเขียว	_	_	_	_	_	_	8	2

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 57 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

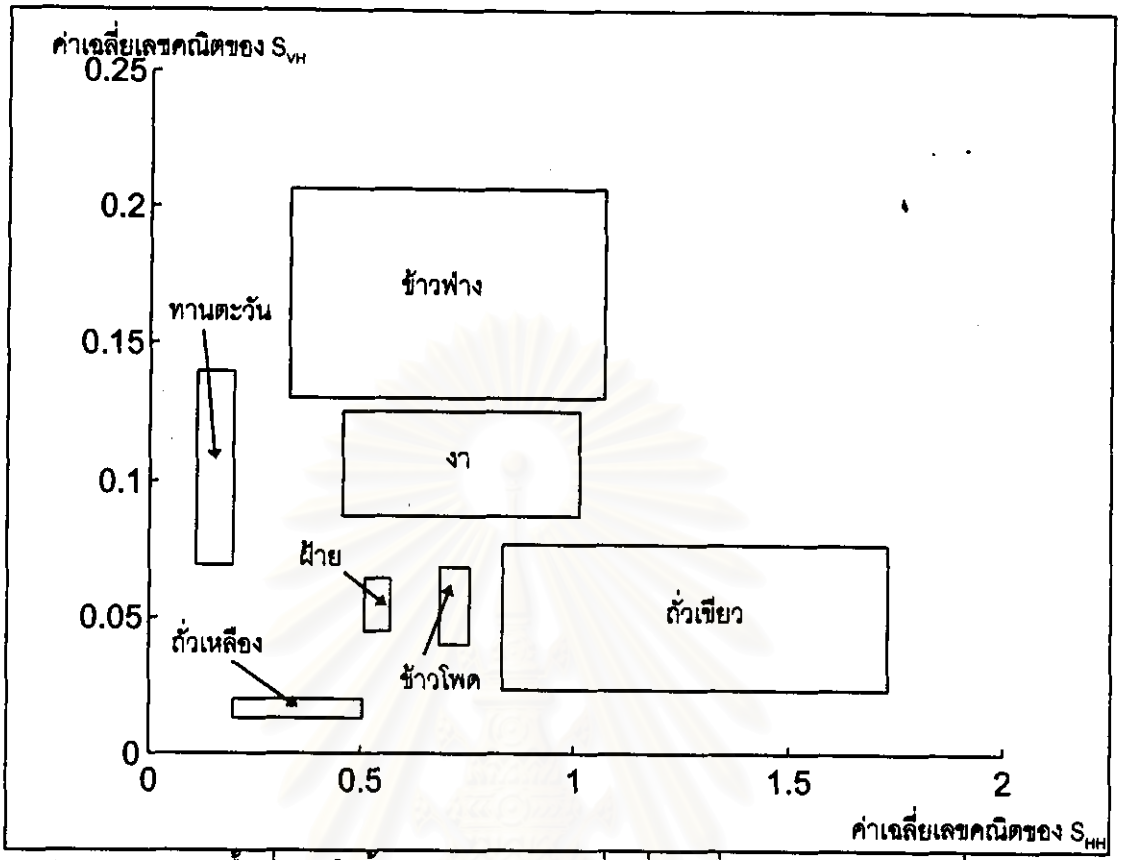
แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 8 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 5 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

2. การแยกประเภทด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน

พิจารณารูป 5.2ก ถึง 5.2ฉ องค์ประกอบ 2 องค์ประกอบที่ให้ผลที่น่าสนใจที่สุดคือการใช้องค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกันโดยจะกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อบอกชนิดพืชเหมือนกับหัวข้อที่แล้ว คือแบบกรอบสี่เหลี่ยม และแบบการแจกแจงปกติ ดังแสดงในรูป 5.16 และ 5.17 ตามลำดับ และแสดงตารางของการแยกประเภทของพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ ในตาราง 5.3 และ 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.16 ขอบเขตพื้นที่ของพืชทั้ง 7 ชนิดแบบกรอบสี่เหลี่ยม เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน

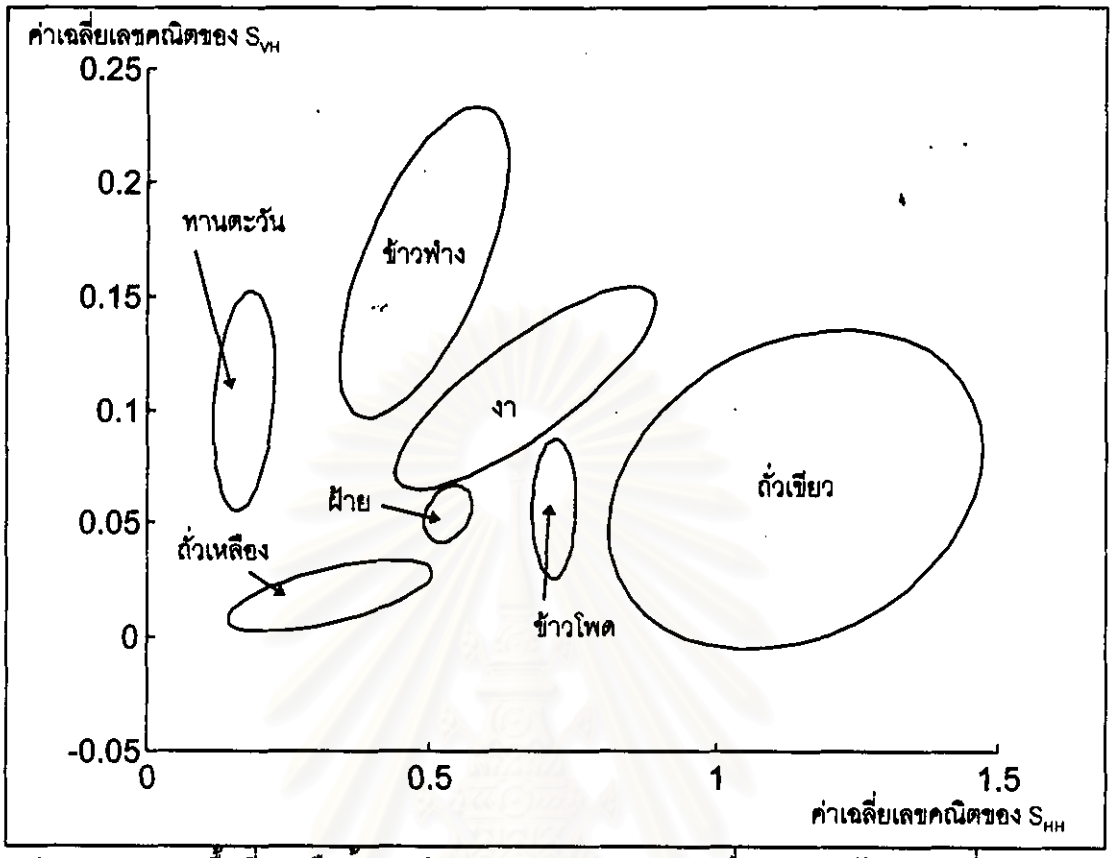
ตาราง 5.3 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน (แบบกรอบสี่เหลี่ยม)

		ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน (แบบกรอบสี่เหลี่ยม)							
(ตำแหน่ง)		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	9	_	_	_	_	_	_	1
	ข้าวฟ่าง	_	10	_	_	_	_	_	0
	งา	_	_	10	_	_	_	_	0
	ทานตะวัน	_	_	_	10	_	_	_	0
	ฝ้าย	_	_	_	_	10	_	_	0
	ถั่วเหลือง	_	_	_	_	_	10	_	0
	ถั่วเขียว	_	1	_	_	_	_	9	0

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 68 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 1 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 1 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)



รูป 5.17 ขอบเขตพื้นที่ของพืชทั้ง 7 ชนิดแบบการแจกแจงปกติ เมื่อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน

ตาราง 5 .4 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน (แบบการแจกแจงปกติ)

		ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน (แบบการแจกแจงปกติ)							
	(ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	10	_	_	_	_	_	_	0
	ข้าวฟ่าง	_	8	_	_	_	_	_	2
	งา	_	_	8	_	_	_	_	2
	ทานตะวัน	_	_	_	10	_	_	_	0
	ฝ้าย	_	_	_	_	10	_	_	0
	ถั่วเหลือง	_	_	_	_	_	10	_	0
	ถั่วเขียว	_	_	_	_	_	_	8	2

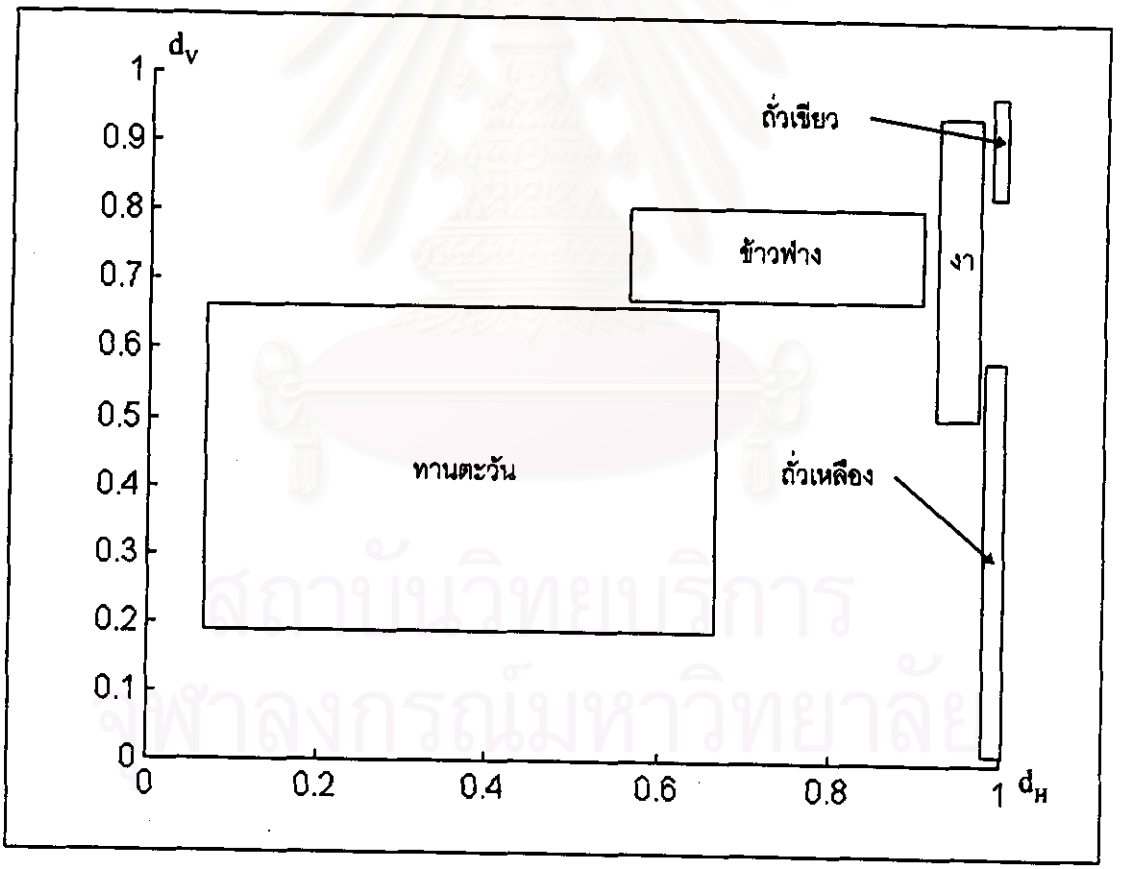
แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 64 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 0 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 6 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

3. การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์

จากรูป 5.3 พบว่า กลุ่มข้อมูลของพืชไร่บางชนิด เช่น ฝ้ายและข้าวโพด ไม่สามารถแยกออกจากกันด้วยวิธีวิเคราะห์นี้ได้ แต่สำหรับพืชชนิดอื่น ๆ สามารถพิจารณาเป็นกลุ่ม ๆ ได้ ดังนั้น การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์จึงบอกได้เพียงพืชไร่ 5 ชนิดเท่านั้นอันได้แก่ ข้าว ฟ่าง งา ทานตะวัน ถั่วเหลือง และถั่วเขียว ซึ่งการกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อบอกชนิดของพืชไร่ ใช้แบบกรอบสี่เหลี่ยมเพียงอย่างเดียว เพราะค่าของระดับขั้นการโพลาไรซ์มีค่าไม่เกิน 1 ฉะนั้นถ้าใช้แบบการแจกแจงปกติจะทำให้มีค่าที่เกิน 1 ซึ่งไม่สามารถหาได้จริง จึงกำหนดขอบเขตด้วยวิธีกรอบสี่เหลี่ยมเท่านั้น ดังแสดงในรูป 5.18 และแสดงตารางของการแยกประเภทของพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ ในตาราง 5.5



รูป 5.18 ขอบเขตพื้นที่ของพืชทั้ง 7 ชนิด เมื่อวิเคราะห์ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์

ตาราง 5.5 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระดับขั้นการโพลาไรซ์

	(ตำแหน่ง)	ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ระดับขั้นการโพลาไรซ์					
		ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	–	1	–	1	2	6
	ข้าวฟ่าง	9	–	1	–	–	0
	งา	–	10	–	–	–	0
	ทานตะวัน	1	–	9	–	–	0
	ฝ้าย	–	–	–	–	–	10
	ถั่วเหลือง	–	–	–	10	–	0
	ถั่วเขียว	–	–	–	–	9	1

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 47 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

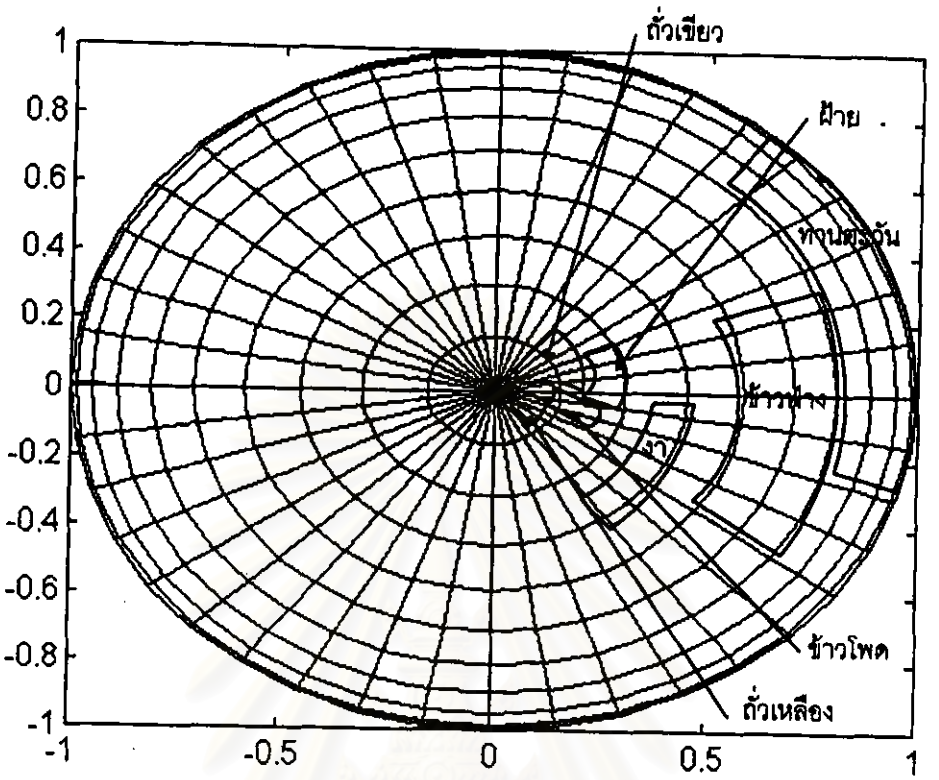
แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 6 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 17 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

4. การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการพิจารณาวงรีของการโพลาไรซ์

จากรูป 5.4ก ถึง 5.4ง พบว่ากลุ่มข้อมูลของพืชไร่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยการพิจารณาตำแหน่งสถานะการโพลาไรซ์บนระนาบ yz เมื่อส่งคลื่นด้วยแนวโพลาไรเซชัน H ซึ่งการกำหนดขอบเขตพื้นที่เพื่อบอกชนิดพืช จะคล้าย ๆ กับแบบกรอบสี่เหลี่ยมแต่อยู่บนผิวทรงกลม ดังแสดงไว้ในรูป 5.19 และตาราง 5.8 แสดงการแยกประเภทพืชไร่ด้วยวิธีวิเคราะห์นี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.19 ขอบเขตสถานะโพลาไรเซชันของพืชทั้ง 7 ชนิด บนระนาบ yz

ตาราง 5.6 การแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ตำแหน่งของสถานะการโพลาไรเซชันของพืชทั้ง 7 ชนิด บนระนาบ yz

(ตำแหน่ง)		ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์สถานะการโพลาไรซ์							
		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลที่วัดจากพืชไร่ (ชนิดละ 10 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	6	–	–	–	1	–	2	1
	ข้าวฟ่าง	–	10	–	–	–	–	–	0
	งา	–	–	8	–	2	–	–	0
	ทานตะวัน	–	1	–	9	–	–	–	0
	ฝ้าย	1	–	–	–	7	–	–	2
	ถั่วเหลือง	1	–	–	–	–	3	3	3
	ถั่วเขียว	–	–	–	–	–	–	8	2

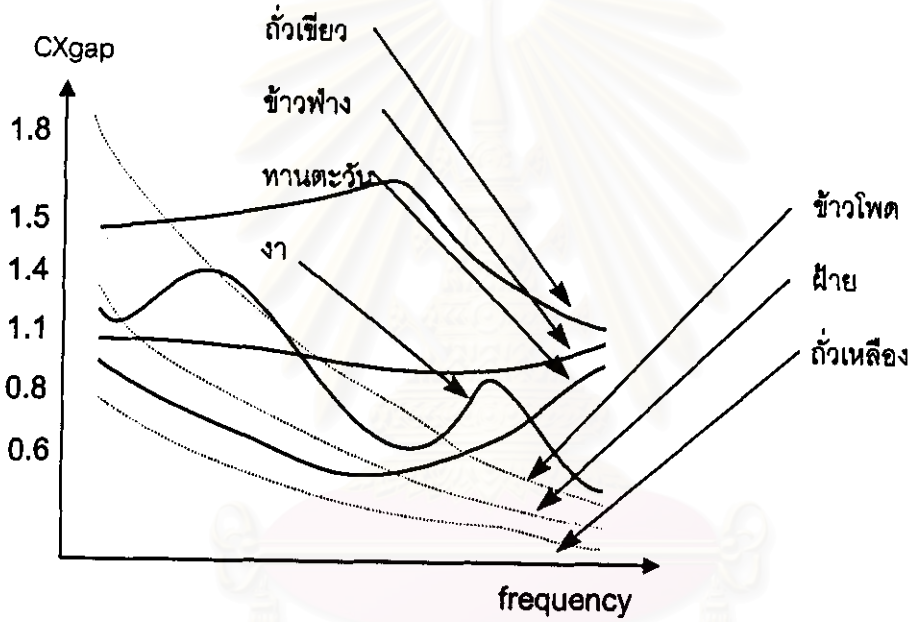
แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 51 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 11 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 8 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง)

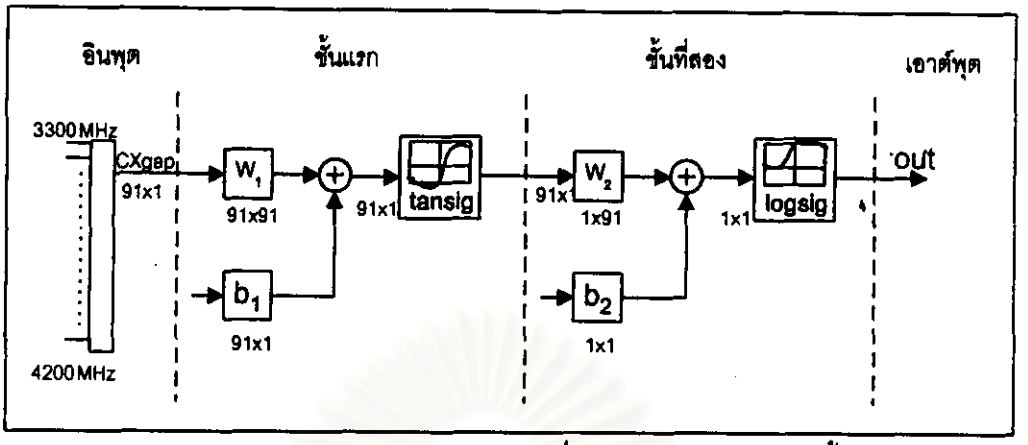
5. การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง

จากรูป 5.6 ถึง 5.12 พบว่าแนวโน้มของ CXgap ที่ความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz ของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูป 5.20 จึงใช้แนวโน้มนี้เพื่อบอกความแตกต่างของพืชทั้ง 7 ชนิด โดยที่อาศัยการรู้จำของระบบโครงข่ายประสาท (neural network) ให้จำลักษณะที่ต่างกันของแนวโน้มของ CXgap ของพืชแต่ละชนิด ข้อมูลของพืชแต่ละชนิดมีจำนวน 10 ชุด จึงแบ่งข้อมูลเพื่อให้เรียนรู้จำ 7 ชุด และเหลือไว้อีก 3 ชุดเพื่อทดสอบ



รูป 5.20 แนวโน้ม CXgap ของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด

ระบบโครงข่ายประสาทที่ใช้เป็นระบบพื้นฐานที่ใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน[18] มีลักษณะเป็นชั้น ๆ โดยแต่ละชั้นจะแปลงค่าอินพุต ไปเป็น เอาต์พุตด้วยการคูณกับเมทริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (weighting matrix) และบวกด้วยค่าไบแอส (bias matrix) ก่อนผ่านฟังก์ชันไม่เชิงเส้น เพื่อเป็นเอาต์พุต สำหรับระบบโครงข่ายประสาทที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 2 ชั้นดังแสดงในรูป 5.21



รูป 5.21 ระบบโครงข่ายประสาทที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากรูป 5.19 ค่าเอาต์พุต สุดท้ายของระบบเขียนได้ด้วยสมการ (5.4)

$$out_2 = logsig\ (\ w_2 * tansig\ (\ w_1 * CXgap + b_1\ )\ +\ b_2\ ) \qquad .....(5.4)$$

โดยที่กำหนดให้ เอาต์พุต สุดท้ายมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเป็นพืชชนิดที่เรียนรู้ แต่ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าไม่เป็นพืชชนิดนั้น ดังนั้นสำหรับพืชชนิดหนึ่งก็จะมีค่า w_1 w_2 b_1 และ b_2 ที่เหมาะสมแตกต่างกัน นำข้อมูลที่ให้รู้จำ 7 ชุดและข้อมูลที่ทดสอบ 3 ชุดมาทดสอบ สรุปเป็นตารางได้ดังตาราง 5.7ก และ 5.7ข

ตาราง 5.7ก การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง โดยอาศัยการรู้จำจากระบบโครงข่ายประสาท (ข้อมูลที่เรียนรู้ทั้งหมด 7 ชุดต่อพืชหนึ่งชนิด)

	(ตำแหน่ง)	ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ CXgap							
		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลพืชไร่ที่สอนให้จำ (ชนิดละ 7 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	7	_	_	_	_	_	_	0
	ข้าวฟ่าง	_	7	_	_	_	_	_	0
	งา	_	_	7	_	_	_	_	0
	ทานตะวัน	_	_	_	7	_	_	_	0
	ฝ้าย	_	_	_	_	7	_	_	0
	ถั่วเหลือง	_	_	_	_	_	7	_	0
	ถั่วเขียว	_	_	_	_	_	_	7	0

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม	49	ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 49 ตำแหน่ง)
แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม	0	ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 49 ตำแหน่ง)
ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม	0	ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 49 ตำแหน่ง)

ตาราง 5.7ข การแยกประเภทพืชไร่ด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง โดยอาศัยการรู้จำจากระบบโครงข่ายประสาท (ข้อมูลที่ทดสอบทั้งหมด 3 ชุด)

(ตำแหน่ง)		ชนิดพืชไร่ที่บอกด้วยการวิเคราะห์ CXgap							
		ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	งา	ทานตะวัน	ฝ้าย	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	อื่นๆ
ข้อมูลพืชไร่ที่นำมาทดสอบ (ชนิดละ 3 ตำแหน่ง)	ข้าวโพด	3	_	_	_	_	_	_	0
	ข้าวฟ่าง	_	3	_	_	_	_	_	0
	งา	_	_	3	_	_	_	_	0
	ทานตะวัน	_	_	_	3	_	_	_	0
	ฝ้าย	_	_	_	_	3	_	_	0
	ถั่วเหลือง	_	_	_	_	_	3	_	0
	ถั่วเขียว	_	_	_	_	_	_	3	0

แยกชนิดพืชไร่ได้ถูกต้องทั้งหมดรวม 21 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 21 ตำแหน่ง)
แยกชนิดพืชไร่ผิดทั้งหมดรวม 0 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 21 ตำแหน่ง)
ไม่สามารถแยกชนิดของพืชได้รวม 0 ตำแหน่ง (จากทั้งหมด 21 ตำแหน่ง)

<u>สรุปการแยกประเภทพืชไร่</u>

จากการวิเคราะห์และแยกประเภทพืชไร่ทั้ง 5 แบบที่ผ่านมา ในแต่ละแบบอธิบายความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับว่าใช้อะไรเป็นตัวแปรในการบอกความแตกต่าง แบบที่ 1 ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{HH} วิธีนี้สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้องด้วยขอบเขตพื้นที่แบบกรอบสี่เหลี่ยมและแบบการแจกแจงปกติ 58 และ 57 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง ตามลำดับ มีพืชที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีนี้ 2 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง สำหรับแบบกรอบสี่เหลี่ยม และ 5 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง สำหรับแบบการแจกแจงปกติ แบบที่ 2 ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกัน วิธีนี้สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้องด้วยขอบเขตพื้นที่แบบกรอบสี่เหลี่ยมและแบบการแจกแจงปกติ 68 และ 64 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง ตามลำดับ มีพืชที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีนี้ 1 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง สำหรับแบบกรอบสี่เหลี่ยม และ 6 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง สำหรับแบบการแจกแจงปกติ แบบที่ 3 ใช้ระดับขั้นการโพลาไรซ์ซึ่งบอกถึงระดับพลังงานการโพลาไรซ์ของคลื่นที่กระเจิงกลับ วิธีนี้สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้องด้วยขอบเขตพื้นที่แบบกรอบสี่เหลี่ยม 47 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง มีพืชที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีนี้ 17 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง แบบที่ 4 ใช้

ตำแหน่งของสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร โดยพิจารณาเฉพาะระนาบ yz เพราะให้ข้อมูลที่ชัดเจนมากที่สุดสำหรับแยกประเภทพืชแต่ละชนิด วิธีนี้สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้อง 51 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง และมีพืชที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีนี้ 8 ตำแหน่งจาก 70 ตำแหน่ง แบบที่ 5 ใช้ระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่าง ซึ่งเป็นการบอกความไม่สมมาตรของสมบัติการกระเจิงของพืชไร่ การบอกความแตกต่างของพืชแต่ละชนิดของวิธีนี้จะอาศัยการรู้จำแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ CXgap ของระบบโครงข่ายประสาท สามารถแยกประเภทพืชไร่ได้ถูกต้อง 49 ตำแหน่งจาก 49 ตำแหน่ง และ 21 ตำแหน่งจาก 21 ตำแหน่ง เมื่อเป็นข้อมูลที่เรียนรู้และข้อมูลที่ใช้ทดสอบตามลำดับ

การวิเคราะห์ทั้ง 5 แบบอธิบายคุณค่าของข้อมูลแตกต่างกัน และมีความถูกต้องของการแยกประเภทพืชไม่เท่ากัน การวิเคราะห์ด้วยระยะห่างระหว่างกลุ่มขั้วเหมือนและกลุ่มขั้วต่างให้ความถูกต้องมากที่สุด แต่ข้อมูลที่ใช้วิธีนี้วิเคราะห์เป็นชุดของข้อมูลทั้งช่วงความถี่ ทำให้การจำแนกชนิดมีความยืดหยุ่นสูงกว่าการใช้วิธีอื่น ๆ ถ้าพิจาณาเฉพาะ 4 วิธีแรกพบว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของ S_{HH} และ S_{VH} ร่วมกันให้ความถูกต้องมากที่สุด แต่วิธีนี้มีข้อเสียที่ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของคลื่นที่กระเจิงกลับจากพืชไร่ได้ ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ระดับขั้นการโพลาไรซ์ หรือการใช้สถานะการโพลา-ไรซ์ สามารถที่จะบอกโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงได้ ซึ่งอาจจะช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของพืชไร่กับคลื่นที่กระเจิงออกมา ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์เพื่อแยกประเภทพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดอันได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง งา ทานตะวัน ฝ้าย ถั่วเหลือง และถั่วเขียว จึงขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งาน เพราะแต่ละวิธีให้ความถูกต้อง และอธิบายความหมายของกลุ่มข้อมูลไม่เหมือนกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย