มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วยาน C สำหรับการแยกประเภทพืชไร่

C-band polar Scatterometer for Crop Classification

พีระพงษ์ อุฑารสกุล และ ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร
กลุ่มวิทยาการแม่เหล็กไฟฟ้าประยุกต์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร (02)218-6502 โทรสาร (02)251-8891 E-mail : wchatcha@chula.ac.th

บทคัดย่อ

มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้ว คือระบบวัดคลื่นที่กระเจิงกลับจากวัตถุ แล้วประมวลผลการวัดที่ได้เพื่อบ่งบอกสมบัติการกระเจิงของวัตถุ ซึ่งทำให้สามารถบอกความแตกต่างของวัตถุแต่ละชนิดในระยะไกลได้ งานวิจัยนี้พัฒนามาตรวัดการกระเจิงขั้วเพื่อใช้สำหรับการแยกประเภทพืชไร่ โดยเก็บข้อมูลจากชุดเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และประมวลผลด้วยวิธีการต่าง ๆ 4 วิธี ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วเพื่อแยกประเภทพืชไร่ได้จริง และมีความถูกต้องในการแยกประเภทพืชไร่อยู่ในช่วง 47 ถึง 68 ตำแหน่งวัดจากทั้งหมด 70 ตำแหน่งวัด

Abstract

Polar scatterometer is a measurement system that collects the scattered waves from the target and analyze the measured data to obtain target properties, which leads to targets identification capability. This work has developed a polar scatterometer for crop classification application. The results from field trials are very successful. for the accuracy of crop classification is in the range from 47 to 68 correct classified spots out of 70 measured spots.

1. คำนำ

ในปัจจุบันประชากรร้อยละ 80 ของประเทศมีอาชีพเกี่ยวข้องกับเกษตรกรรม ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรจึงมีส่วนช่วยส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรให้มีประสิทธิผลมากขึ้น และช่วยเพิ่มรายได้ของประเทศ การสำรวจพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่เศรษฐกิจ หรือการตรวจสอบขอบเขตที่แน่นอนของพืชไร่ สามารถช่วยในการวางแผนการปลูก การทำนายผลผลิต และการจัดสรรทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันอาศัยข้อมูลที่ได้จากระบบวัดที่มีอยู่แล้วนำมาประมวลผลเพื่อบอกความแตกต่างของพืชไร่ และใช้บอกพื้นที่การเพาะปลูกได้ แต่ในบางพื้นที่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้เพราะปัญหาคือ ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่นอกเหนือจากการวัดแบบเดิมได้ และยังไม่มีวิธีประมวลผลที่เหมาะสมสำหรับพืชไร่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสร้างระบบวัดการกระเจิงเชิงขั้วขึ้น เพื่อเก็บข้อมูล และประมวลผลสำหรับการแยกประเภทพืชไร่

การสร้างมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วย่าน C เพื่อใช้สำหรับการแยกประเภทพืชไร่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จากชุดวัดเบื้องต้นในปี 2538 ที่ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการแยกประเภทพืชไร่ [1] ซึ่งพบว่าคลื่นที่กระเจิงกลับสามารถใช้บอกความแตกต่างของพืชชนิดต่าง ๆ ได้ และต่อมาในปี 2539 ระบบวัดได้รับการปรับปรุงเพื่อศึกษาการแยกประเภทพืช [2] ผลที่ได้พบว่าการใช้สมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงสามารถแยกพืช 4 ชนิดออกจากกันได้ (ละน้ำ กวางตุ้ง ผักบุ้ง และ ผักกาดขาว) ดังนั้นในบทความนี้จึงสร้างมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วย่าน C เพื่อเก็บข้อมูลจากองค์ประกอบทั้ง 2 แนวโพลาไรเซชันที่ตั้งฉากกันของคลื่นที่กระเจิงกลับจากพืชไร่ 7 ชนิด อันได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง งา ฝ้าย และทานตะวัน ซึ่งปลูกที่สถาบันวิจัยพืชไร่พระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ข้อมูลที่บันทึกจากมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วคือ คลื่นที่กระเจิงกลับจากวัตถุซึ่งสามารถบอกสมบัติการกระเจิงของวัตถุได้ และใช้สมบัตินี้เป็นดรรชนีในการแยกวัตถุที่แตกต่างกัน การวัดการกระเจิงขั้วคือการวัดคลื่นกระเจิงโดยพิจารณาองค์ประกอบสององค์ประกอบที่ตั้งฉากกันของคลื่นกระเจิง เพราะข้อมูลที่วัดได้สามารถวิเคราะห์สมบัติการกระเจิงของวัตถุชัดเจนกว่าใช้เพียงองค์ประกอบเดียว

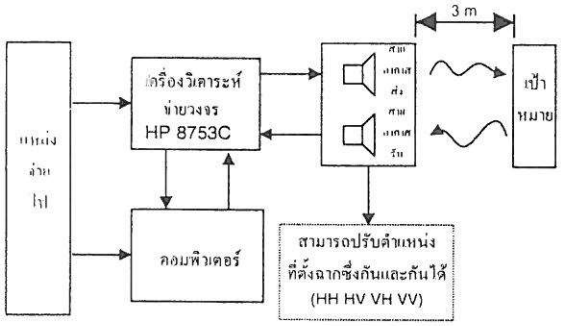
จากงานวิจัยที่ใช้การวัดการกระเจิงเชิงขั้วเพื่อแยกประเภทวัตถุที่ผ่านมา [3,4,5] อาศัยข้อมูลในการวัดที่เหมือนกัน แต่มีการวิเคราะห์เพื่อจำแนกลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกัน งานวิจัยแรก [3] ใช้การแยกลักษณะผิวน้ำกับน้ำแข็งออกจากกันด้วยค่าสัดส่วนของสัมประสิทธิ์การกระเจิงในกลุ่มขั้วเหมือน งานวิจัยที่สอง [4] ใช้ขอบเขตของค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับที่เหมาะสมของวัตถุแต่ละ

RECEIVED 16 JULY, 1999
ACCEPTED 9 AUGUST, 2001

ชนิดในการแยกประเภท และงานวิจัยสุดท้าย [5] ใช้ระดับขั้นการโพลาไรซ์เพื่อบอกความแตกต่างของพื้นผิวผสมในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ข้อมูลของพืชไร่ชุดเดียวกันด้วยวิธีต่าง ๆ และเปรียบเทียบความสามารถในการแยกประเภทพืชไร่แต่ละวิธีที่จะสามารถใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการแยกประเภทพืชไร่ได้จริง

2. มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้ว

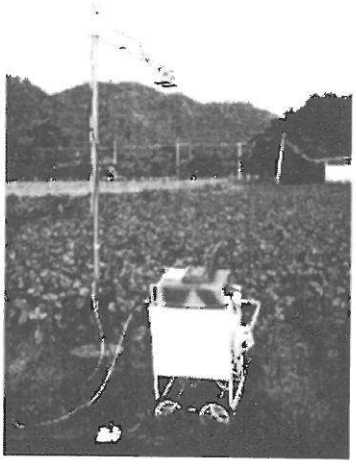
อาศัยหลักการที่พืชไร่แต่ละชนิดมีลักษณะโครงสร้างภายในและภายนอกที่แตกต่างกันทำให้สามารถทราบคุณสมบัติการกระเจิงของพืชไร่แต่ละชนิดได้จากคลื่นที่กระเจิงกลับ ซึ่งคลื่นที่กระเจิงกลับในแต่ละโพลาไรเซชันก็จะให้ความหมายของสมบัติการกระเจิงของพืชไร่ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นออกแบบมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วให้สามารถเก็บข้อมูลของคลื่นกระเจิงได้ครบทั้งสองแนวโพลาไรเซชันที่ตั้งฉากกัน ในรูปที่ 1 แสดงผังระบบวัดการกระเจิงเชิงขั้ว



รูปที่ 1 ผังระบบมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้ว

มาตรวัดนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายงงจร (network analyzer) รุ่น HP8753C ทำหน้าที่กำเนิดคลื่น และรับคลื่นที่กระเจิงกลับมาวิเคราะห์ทั้งขนาด และเฟส โดยบันทึกลงเครื่องคอมพิวเตอร์ สายอากาศที่ใช้ส่งและรับเป็นสายอากาศปากแตรสองต้นที่เหมือนกันทุกประการ และสามารถปรับตำแหน่งในแนวที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันได้ เพื่อเก็บข้อมูลทั้ง 4 กรณี (HH HV VH และ VV โดยที่ H หมายถึง โพลาไรเซชันในแนวนอน และ V หมายถึง โพลาไรเซชันในแนวตั้ง) ดังแสดงในรูปที่ 2

ข้อมูลที่บันทึกลงเครื่องคอมพิวเตอร์ คือสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของเครื่องที่วัดทั้ง 4 กรณีจากพืชไร่ 7 ชนิด ชนิดละ 10 ตำแหน่ง ซึ่งข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะนำมาหาค่าของเมทริกซ์การกระเจิงของพืชไร่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคลื่นตกกระทบ และคลื่นกระเจิงกลับตามสมการที่ (1) และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิงในสมการที่ (2) ถึง (5)



รูปที่ 2 มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้ว

$$\begin{bmatrix} E_v^s \\ E_h^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{vv} & S_{vh} \\ S_{hv} & S_{hh} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_v^i \\ E_h^i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S_{HH} = 10^{\sigma_{HH}/20} \cdot e^{j\phi_{HH}} \quad (2)$$

$$S_{HV} = 10^{\sigma_{HV}/20} \cdot e^{j\phi_{HV}} \quad (3)$$

$$S_{VH} = 10^{\sigma_{VH}/20} \cdot e^{j\phi_{VH}} \quad (4)$$

$$S_{VV} = 10^{\sigma_{VV}/20} \cdot e^{j\phi_{VV}} \quad (5)$$

โดยที่

E_H^S, E_V^S คือองค์ประกอบของคลื่นกระเจิงในแนว H และ V ตามลำดับ

E_H^i, E_V^i คือองค์ประกอบของคลื่นตกกระทบในแนว H และ V ตามลำดับ

$S_{HH}, S_{HV}, S_{VH}, S_{VV}$ คือองค์ประกอบทั้งสี่ของเมทริกซ์การกระเจิง

$\sigma_{HH}, \sigma_{VH}, \sigma_{HV}, \sigma_{VV}$ คือสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับที่วัดได้ทั้ง 4 กรณี

$\phi_{HH}, \phi_{VH}, \phi_{HV}, \phi_{VV}$ คือมุมของสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับที่วัดได้ทั้ง 4 กรณี

เมทริกซ์การกระเจิงเป็นสมบัติเฉพาะตัวของพืชไร่ ซึ่งสามารถใช้แยกความแตกต่างของพืชไร่แต่ละชนิดได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ค่าขององค์ประกอบทั้ง 4 ของเมทริกซ์การกระเจิงเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์

3. การวัดการกระเจิงเชิงขั้ว

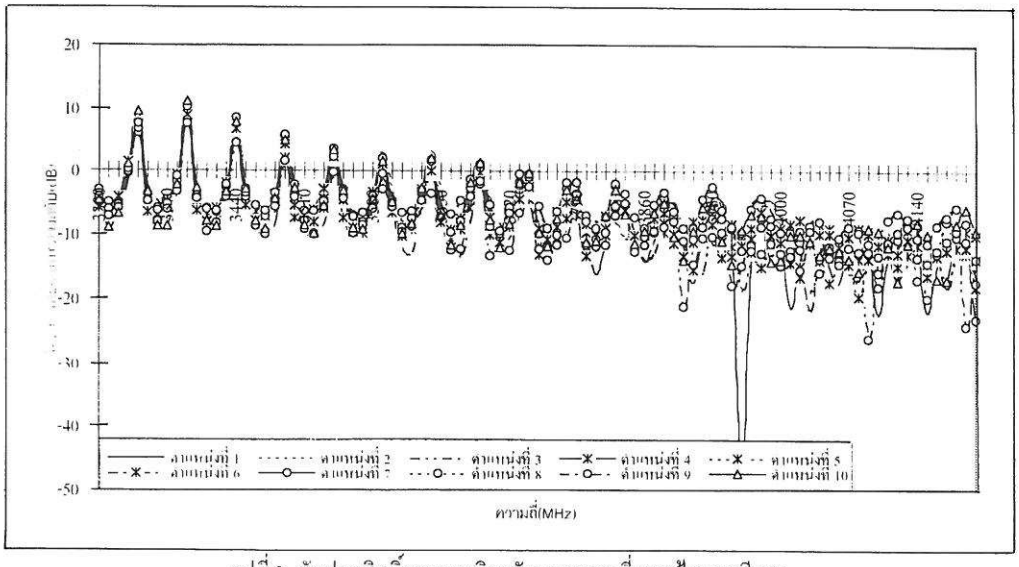
ระบบการวัดการกระเจิงเชิงขั้วที่ออกแบบขึ้นเป็นระบบวัดบนภาคพื้นดินที่สามารถวัดคลื่นกระเจิงกลับจากพืชไร่ได้ครบทั้งสองแนวโพลาไรซ์ชันที่ตั้งฉากกัน โดยคลื่นที่ตกกระทบและกระเจิงกลับมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบพื้นดินในย่านความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz

สำหรับพืชไร่ที่เป็นเป้าหมายในงานวิจัยนี้เป็นพืชไร่เศรษฐกิจของประเทศทั้งหมด 7 ชนิด อันได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง งา ทานตะวัน และฝ้าย ซึ่งพืชไร่ทุกชนิดปลูกที่สถาบันวิจัยพืชไร่พระพุทธบาท สระบุรี กรมวิชาการเกษตร ดังนั้นข้อมูลที่วัดได้จึงมีความน่าเชื่อถือ สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้นสำหรับพืชไร่ที่เพาะปลูกในที่ต่าง ๆ ได้รายละเอียดของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิดแสดงในตารางที่ 1

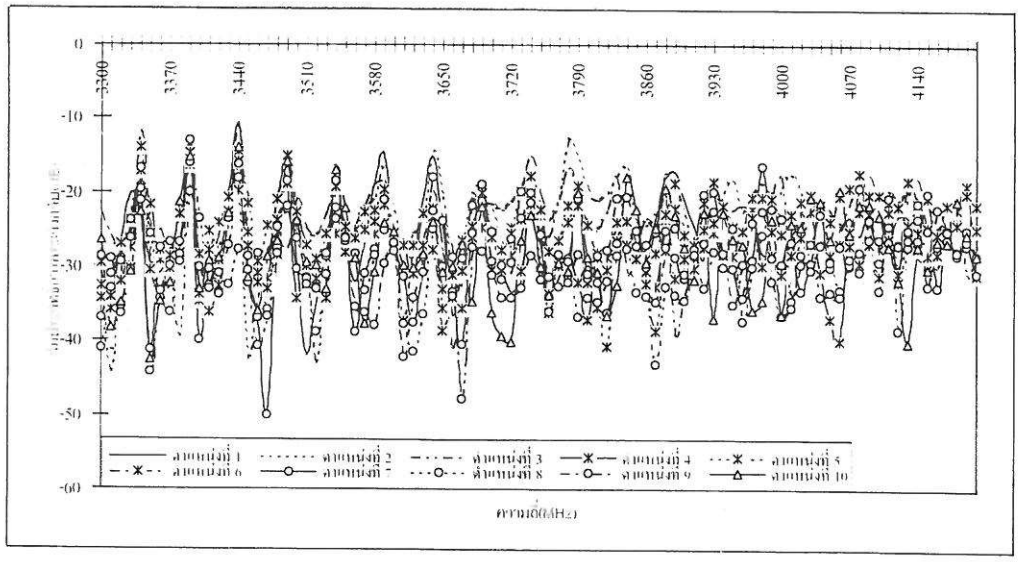
ในการเก็บผลการวัดจำทำการวัด 10 ตำแหน่งต่อพืชไร่แต่ละชนิด โดยที่แต่ละตำแหน่งจะวัดคลื่นกระเจิงทั้ง 4 กรณี (HH HV VH และ VV) ข้อมูลเบื้องต้นที่วัดได้คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของพืชไร่ ซึ่งนำไปหาค่าองค์ประกอบทั้งสี่ของเมทริกซ์การกระเจิงตามสมการที่ (2) ถึง (5) ในรูปที่ 3 ถึง 6 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่วัดได้จากพืชไร่ในช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz (เป็นข้อมูลของฝ้ายทั้ง 10 ตำแหน่งในแต่ละกรณี)

ตารางที่ 1 ข้อมูลของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด

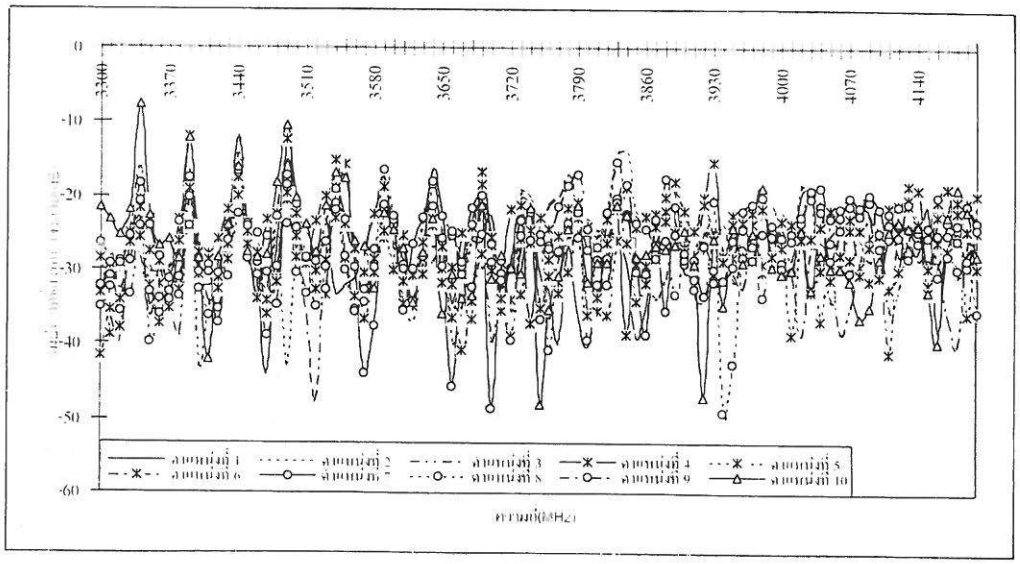
ลำดับ	ชนิด	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อวงศ์	อายุ(ณ วันเก็บผล) (วัน)	ความสูง (ณ วันเก็บผล) (ซม.)
1	ข้าวโพด	Zea may L.	Graminease	50	150
2	ข้าวฟ่าง	Sorghum vulgare L.	Graminease	50	140
3	ถั่วเขียว	Vigna vadiata L.	Papilionacease	55	55
4	ถั่วเหลือง	Glycine max L.	Papilionacease	70	30
5	งา	Seasame indicum L.	Pedaliacease	85	140
6	ทานตะวัน	Helianthus annus L.	Compositace	70	135
7	ฝ้าย	Gossypium herbaceun L.	Maivacease	50	105



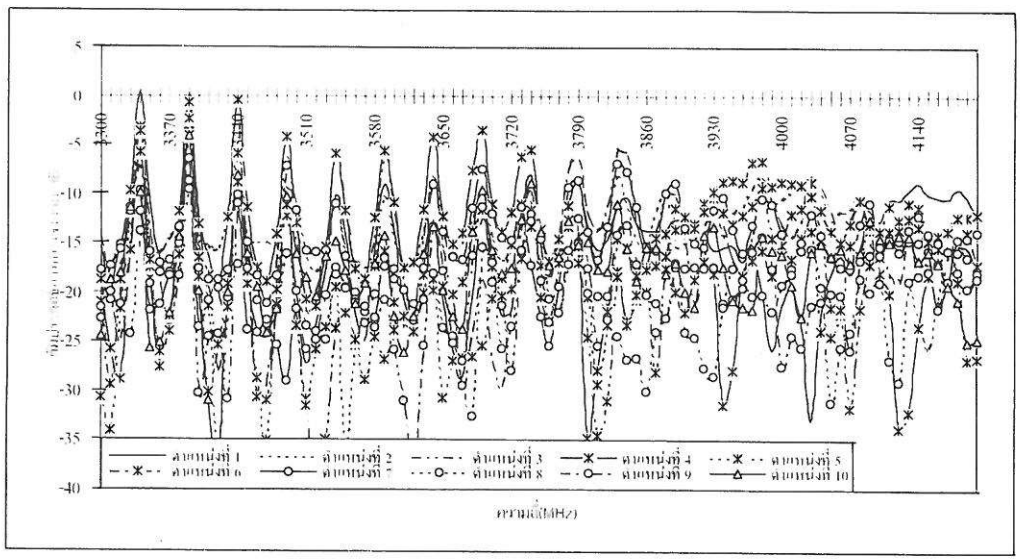
รูปที่ 3 สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับและความถี่ ของฝ้าย กรณี HH



รูปที่ 4 สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับและความถี่ ของฝ้าย กรณี HV



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับและความถี่ ของฝ้าย กรณี VH



รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับและความถี่ของฝ้าย กรณี VV

4. การประมวลผลเพื่อแยกประเภทพืชไร่

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ คือค่าองค์ประกอบทั้ง 4 ของเมทริกซ์การกระเจิงที่ช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz โดยที่วัดพืช 7 ชนิด ชนิดละ 10 ตำแหน่ง มีแนวทางในการวิเคราะห์ 2 แนวทางคือ 1) การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสถิติของข้อมูล และ 2) การพิจารณาคุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง ผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปกราฟซึ่งแสดงขอบเขตของอุลข้อมูลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของพืชแต่ละชนิด ดังนี้

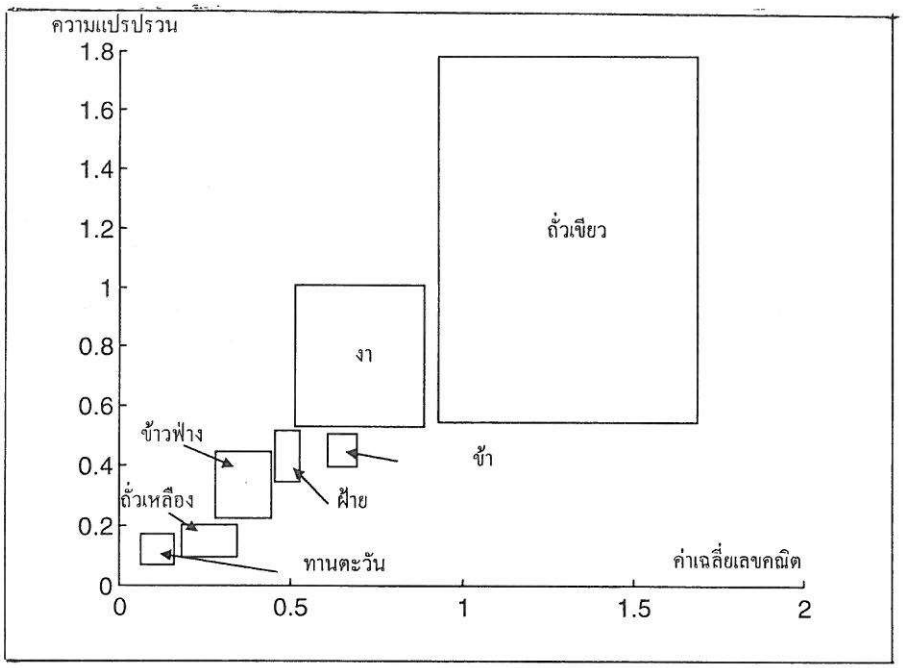
1) การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงสถิติของข้อมูล คือการใช้ข้อมูลทางสถิติเพื่อเป็นตัวแทนแต่ละองค์ประกอบของเมทริกซ์การกระเจิง ค่าที่ใช้คือค่าเฉลี่ยเลขคณิต และความปรวนแปรในเชิงความถี่ ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้นี้แสดงถึงค่ากลางของช่วงความถี่ 3.3 ถึง 4.2 GHz ดังนั้นการแยกประเภทพืชไร่จะใช้ค่ากลางนี้เพื่อบอกความแตกต่างของพืชไร่แต่ละชนิด

1.1) พิจารณาค่าเฉลี่ยเลขคณิตและความแปรปรวนที่ละองค์ประกอบ วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ละองค์ประกอบซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของพืชทุกชนิดบนกราฟเดียวกัน ทั้ง 4 กรณี (HH HV VH และ HH) พบว่าองค์ประกอบ S_{HH} ให้การกระจายของกลุ่มข้อมูลที่แสดงความแตกต่างของพืชแต่ละชนิดได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 7

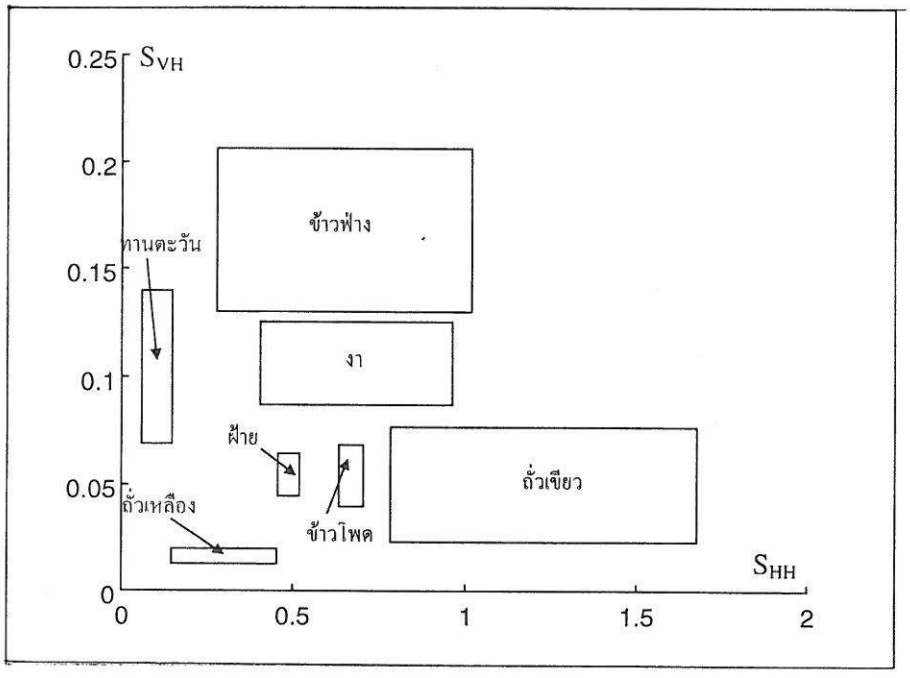
1.2) พิจารณาค่าเฉลี่ยของสององค์ประกอบร่วมกัน วิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสององค์ประกอบมาพิจารณาร่วมกัน ซึ่งกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้นแสดงความหมายทางสถิติมากกว่าการอธิบายคุณสมบัติโพลาไรเซชันคลื่นกระเจิง เมื่อพิจารณากรณีทั้งหมดพบว่าการใช้องค์ประกอบ S_{HH} และ S_{VV} ร่วมกัน ทำให้กลุ่มข้อมูลพืชไร่แต่ละชนิดแยกกลุ่มกันอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 8

2) การพิจารณาคุณสมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิง เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูล เพราะปัจจัยเบื้องต้นที่ใช้ในการแยกประเภทพืชไร่คือสมบัติการกระเจิง ซึ่งสมบัตินี้ทำให้คลื่นที่กระเจิงกลับมีค่าต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์สมบัติโพลาไรเซชันของคลื่นกระเจิงกลับจากพืชไร่ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถบอกชนิดพืชไร่ได้

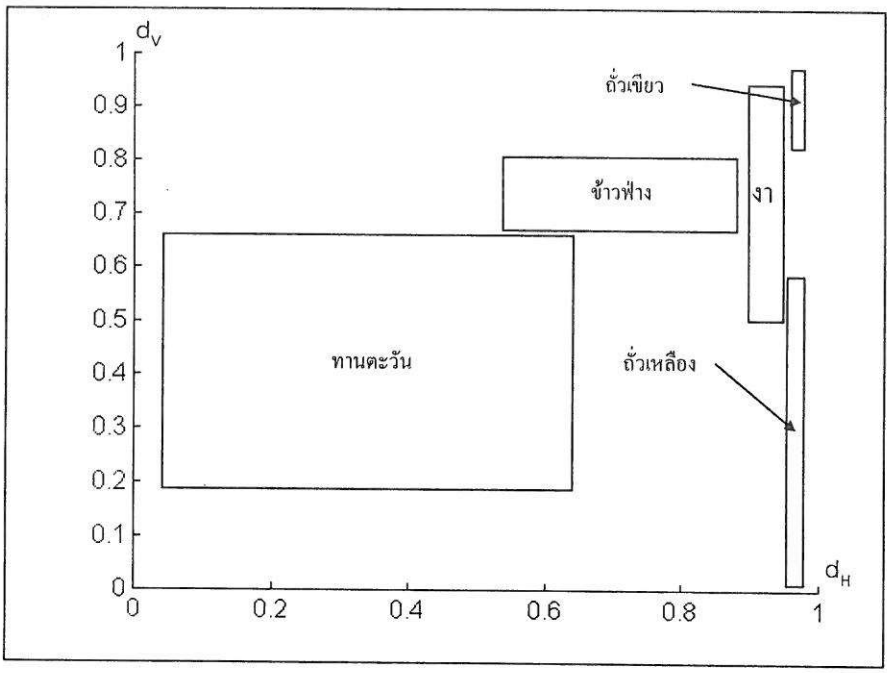
2.1) การพิจารณาระดับขั้นการโพลาไรซ์ (degree of polarization) คือการพิจารณาระดับขั้นของพลังงานในการโพลาไรซ์เทียบกับพลังงานทั้งหมดของคลื่น มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าคลื่นกระเจิงนี้มีการโพลาไรซ์อย่างสมบูรณ์ จากข้อมูลที่วัดได้ทั้ง 4 กรณีสามารถหาระดับขั้นการโพลาไรซ์ได้ 2 ลักษณะคือ เมื่อส่งคลื่นด้วยแนวโพลาไรเซชัน H (d_H) และเมื่อส่งคลื่นด้วยแนวโพลาไรเซชัน V (d_V) แล้วนำค่าระดับขั้นการโพลาไรซ์ทั้งสอง มาพิจารณาร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าไม่สามารถจำแนกชนิดพืชไร่ได้ครบทั้ง 7 ชนิด เพราะกลุ่มข้อมูลของข้าวโพด และฝ้ายอยู่ผสมอย่างไม่เป็นระเบียบ



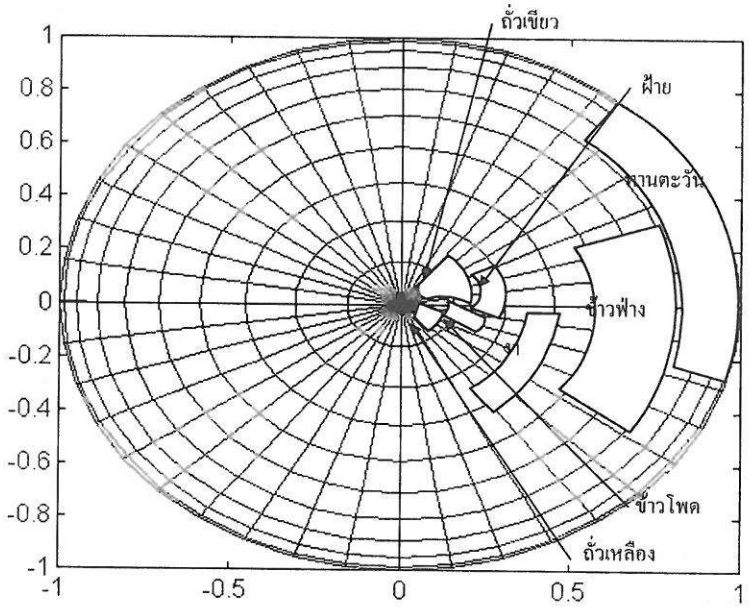
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตและความแปรปรวนของ S_{III}



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตขององค์ประกอบ S_{III} และ S_{VH}



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของระดับขั้นการโพลาไรซ์ d_H และ d_V ของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด



รูปที่ 10 สถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร

ตารางที่ 2 สรุปวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบวัดการกระเจิงเชิงขั้ว

ประเภทพืชไร่	ความถูกต้องของการแยกประเภทพืชไร่ (ตำแหน่ง)								แยกประเภทผิด (ตำแหน่ง)	แยกประเภทพืชไม่ได้ (ตำแหน่ง)
	ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง	ถั่วเหลือง	ถั่วเขียว	ฝ้าย	งา	ทานตะวัน	รวม		
ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ SHH	9	7	7	9	9	7	10	58	10	2
ค่าเฉลี่ยของ SHH และ SVH	9	10	10	9	10	10	10	68	1	1
ระดับขั้นการโพลาไรซ์	-	9	10	9	0	10	9	47	6	17
สถานะการโพลาไรซ์	6	10	3	10	7	8	9	51	11	8

2.2) การพิจารณาสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร คือการพิจารณาวงรีของการโพลาไรซ์ของคลื่นกระเจิง ซึ่งจะอธิบายได้ด้วยสถานะการโพลาไรซ์บนทรงกลมปวงกาเร ถ้าพิจารณาเป็นทรงกลม 3 มิติจะพิจารณากลุ่มของข้อมูลลำบาก จึงแสดงด้วยระนาบ yz ซึ่งสามารถอธิบายกลุ่มข้อมูลง่ายกว่า และแยกประเภทพืชไร่ได้ดังแสดงในรูปที่ 10

เมื่อพิจารณาการแยกประเภทพืชไร่ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 4 วิธีดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ามีความถูกต้องในการแยกประเภทอยู่ในช่วง 47 ถึง 68 ตำแหน่งจากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง โดยที่วิธีวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบ S_{III} และ S_{VII} ให้ความถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือการใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนขององค์ประกอบ S_{III} ซึ่งทั้งสองวิธีนี้เป็นการใช้ค่าทางสถิติเพื่อพิจารณามีความถูกต้องสูงกว่าการใช้สมบัติโพลาไรเซชัน แต่วิธีทั้งสองไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของคลื่นกระเจิงกลับได้ เมื่อเทียบกับการใช้ระดับขั้นการโพลาไรซ์ หรือ สถานะการโพลาไรซ์ที่สามารถบอกถึงลักษณะของคลื่นที่กระเจิงกลับได้ดีกว่า นอกจากนั้นยังอาจช่วยในการหาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพของพืชไร่ และคลื่นที่กระเจิงกลับได้

5. สรุป

มาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วย่าน C ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เก็บข้อมูลของพืชไร่ทั้ง 7 ชนิด และประมวลผลด้วยวิธีต่าง ๆ สามารถแสดงให้เห็นว่ากลุ่มข้อมูลของพืชไร่แต่ละชนิดจะแยกออกเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งง่ายแก่การจำแนกชนิด และมีความถูกต้องอยู่ในช่วง 47 ถึง 68 ตำแหน่งจากทั้งหมด 70 ตำแหน่ง ดังนั้นมาตรวัดการกระเจิงเชิงขั้วย่าน C นี้สามารถใช้ในการแยกประเภทพืชไร่ได้จริง และสามารถพัฒนาเป็นระบบวัดเบื้องต้นในการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกของประเทศได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณ ดร. ธีรศักดิ์ มานุพีรพันธ์ นักวิชาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับคำแนะนำ และความอนุเคราะห์ในการปฏิบัติงาน ณ สถานีทดลองพืชไร่พระพุทธบาท คุณอรุณกิจ ซอสุขไพบูลย์สำหรับความอนุเคราะห์อินเวอร์เทอร์เพื่อใช้ในแหล่งจ่ายไฟเคลื่อนย้ายได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สีหราช ไชยกำเนิด, ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร, "การศึกษาความเป็นไปได้ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ 1-3 จิกะเฮิรตซ์ ในการแยกประเภทพืช", การประชุมวิชาการไฟฟ้าครั้งที่ 18 เดือนพฤศจิกายน 2538 จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร พัทยา ชลบุรี หน้า 311-316

[2] พีระพงษ์ อุฑารสกุล, ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร, "การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการแยกประเภทพืชโดยอาศัยการวัดเชิงขั้ว", การประชุมวิชาการไฟฟ้าครั้งที่ 19 เดือนพฤศจิกายน 2539 จัดโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น หน้า 122-126

[3] Yueh, S. H. and others, "Sea Ice Identification Using Daul-Polarized Ku-Band Scatterometer Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 35, no. 3, May 1997, pp.560-569.

[4] Pierce, Leland E. and others, "Knowledge-Based Classification of Polarimetric SAR Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 32, no. 5, SEPT. 1994, pp. 1081-1086.

[5] Haroto Hirosawa, "Degree of Polarimetric of Radar Backscattering from Mixed Target", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 35, no. 2, March 19997, pp.466-470.