การตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกภายในกระถางบอนไซโดยไม่สัมผัสด้วยคลื่นความถี่วิทยุ 2.5 กิกะเฮิรตซ์

ประพัน ลี้กุล[1*], พรพิมล ฉายแสง[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Email: prapan.l@rbru.ac.th[1*], pornpimon.c@rbru.ac.th[1]

Received: January 23, 2019
Revised: May 1, 2019
Accepted: May 13, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกภายในกระถางบอนไซ ด้วยการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ร่วมกับการตรวจวัดแบบเทคนิคอวกาศว่าง เพื่อตรวจสอบความชื้นของวัสดุปลูกโดยไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัสดุทดสอบ ระบบประกอบด้วยสายอากาศส่งไมโครสตริปที่มีค่าพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -16 เดซิเบล ทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดความถี่สูงที่ใช้กำลังส่ง 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ กำลังความถี่ที่สร้างขึ้นจะถูกส่งผ่านวัสดุปลูกภายในกระถางบอนไซไปยังด้านรับและถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน แล้วแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยดิจิทัลมัลติมิเตอร์ วัสดุปลูกตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือหินพัมมิสสีขาว การตรวจสอบระดับความชื้นเริ่มจากวัสดุปลูกที่มีความชื้นสูงสุด 61.43% กำลังงานส่งผ่านของคลื่นวิทยุที่ตรวจสอบได้เมื่อเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ที่ 1.405 โวลต์ จากนั้นให้วัสดุปลูกคายความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ความชื้นลดลงอยู่ที่ 61.33% ระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ 1.475 โวลต์ เมื่อเวลาการคายความชื้นเพิ่มเป็น 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง ส่งผลโดยตรงกับระดับความชื้นที่ลดลงจาก 57.08% เป็น 39.61% ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 1.724 ถึง 2.013 โวลต์ นอกจากนี้ที่ระยะเวลา 14 ถึง 28 ชั่วโมง ความชื้นลดลงเล็กน้อยจาก 34.37% เป็น 32.82% ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 2.053 โวลต์ จากความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นและระดับแรงดันไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าคลื่นวิทยุสามารถตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกภายในกระถางบอนไซได้โดยไม่สัมผัส

คำสำคัญ : สายอากาศไมโครสตริป, ความชื้น, วัสดุปลูก, คลื่นความถี่วิทยุ, อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน

Non-contact Moisture Content Monitoring of Growing Media in Bonsai Pot by Using Radio Wave Frequency at 2.5 GHz

Prapan Leekul[1*], Pornpimon Chaisaeng[1]

[1]Department of Telecommunication and Information Engineering,
Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
Email: Email: prapan.l@rbru.ac.th[1*], pornpimon.c@rbru.ac.th[1]

Received: January 23, 2019
Revised: May 1, 2019
Accepted: May 13, 2019

Abstract

This paper proposes the growing media moisture monitoring in bonsai pots using the electromagnetic waves at frequency of 2.5 GHz based on a free space technique. This technique monitors the growing media moisture content without contacting the samples and uses a non destructive testing material method. The proposed system consists of a microstrip patch antenna having the $|S_{11}|$ less than -16 dB. The antenna works with the high frequency synthesizer which has the transmitted power of 0 dBm. The generated power of frequency is transmitted to the bonsai pot and then the received power will be converted to DC voltage by using the power detector and displayed by digital multi-meter. The growing media sample under test is a pumice stone. The experiment started from fully saturated growing media of 61.43% moisture content. The measured power of radio frequency was 1.405 volt. Leaving the growing media to dehydrate in 2 hour, the moisture was decreased to 61.33% with the voltage of 1.475 volt. When increasing time from 4 6 8 to 10 hours, the moisture content levels decreased from 57.08% to 39.61% which voltage continuously increased from 1.724 to 2.013 volts. In addition, the dehydration time from 14 to 18 hours could cause a few impact on the reduction of moisture content from 34.37% to 32.82% with the average voltage of 2.053 volt. From the measured results, the relation between voltage and moisture content showed that the electromagnetic wave was able to efficiently use in monitoring the level of moisture content of growing media in bonsai pots by non-contact.

Keywords : Microstrip antenna, Moisture content, Growing media, Radio frequency Power detector

บทนำ

บอนไซคือศิลปะการปลูกต้นไม้ลงในกระถางให้มีลักษณะเสมือนต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ย่อส่วน ใช้การดัด ตกแต่งลำต้น กิ่งและใบ ต้นไม้ที่นิยมนำมาเลี้ยง ได้แก่ พืชตระกูลสน (Juniper) (Relf, 2009) บอนไซอายุ 500 ปี ในพิพิธภัณฑ์บอนไซชุนคะเอ็น (Shunkaen bonsai museum) เมืองโตเกียวประเทศญี่ปุ่น มีราคาถึง 1 ล้านเหรียญสหรัฐ บอนไซถูกปลูกในกระถางการเจริญเติบโตจึงช้ากว่าต้นไม้ปกติ (Bonsai effect) (Passioura, 2002, pp. 311-318) ความชื้นหรือปริมาณของน้ำในวัสดุปลูกจึงสำคัญต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม รองมาคือการระบายน้ำและอากาศในวัสดุปลูก (Coder, 2007) ความชื้นที่น้อยเกินไปส่งผลให้วัสดุปลูกแห้งและบอนไซตายในที่สุด ระดับความชื้นสูงทำให้ความโปร่งลดลง อากาศถูกแทนที่ด้วยอนุภาคของน้ำ การหายใจของรากทำได้ไม่ดี (Kumar & Dwivedi, 2011, pp. 115-118) รวมถึงความชื้นเปลี่ยนแปลงง่ายเนื่องจากวัสดุปลูกภายในกระถางมีปริมาณน้อย และความชื้นในวัสดุปลูกควรมีค่าระหว่าง 5–50% การวัดความชื้นจึงเป็นเรื่องสำคัญและมีการนำเสนอไว้หลายเทคนิค เช่น การตรวจวัดความชื้นดินแบบเวอร์ริบ (Virrib) รีเฟลคโตมิเตอร์ ใช้วิธีการตรวจวัดองค์ประกอบของน้ำ (Water content reflectometer) แต่การติดตั้งมีความซับซ้อนเนื่องจากใช้วิธีฝังลงใต้ดิน จึงไม่สะดวกสำหรับการเปลี่ยนตัวอย่างทดสอบ Fatta et al. (2005, pp. 553-563) ได้ศึกษาวิธีการตรวจวัดความชื้นด้วยทีดีอาร์ ร่วมกับการวัดความเร็วของคลื่นพี (P wave velocity) วิธีนี้ใช้อุปกรณ์หลายส่วนมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ให้ความผิดพลาดที่ 10% ต่อมา Piuzzi et al. (2010, pp. 2747-2754) ศึกษาการตรวจสอบความชื้นด้วยระบบทีดีอาร์และพัฒนาวิธีปรับเทียบ (Calibration) จึงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการตรวจวัดแบบทีดีอาร์ยังคงใช้วิธีการเสียบเซนเซอร์ลงในวัสดุทดสอบเพื่อให้มีความแม่นยำ รวมถึงมีข้อจำกัดในการวัดบริเวณกว้าง ต่อมามีการพัฒนาการตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกภายในกระถาง โดย Darshna et al. (2015, pp. 32-36) นำเสนอการจำลองระบบตรวจสอบความชื้นและอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์เพียงจุดเดียว ซึ่งไม่ครอบคลุมความชื้นทั้งหมดและไม่ถูกนำไปใช้งานจริง จากนั้นมีการพัฒนาการวัดด้วยเซนเซอร์สำเร็จรูปใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการอ่านค่าระดับความชื้นและควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดย Amardas & Rahim (2016, pp. 55-62) และ Imteaj et al. (2017, pp. 830-835) ในขั้นตอนการติดตั้งเซนเซอร์ใช้วิธีการเสียบลงในกระถางเพื่อวัดความชื้นจึงเสี่ยงต่อการทำลายรากพืช โดยเฉพาะรากของบอนไซที่มีความหนาแน่นของรากภายในกระถางสูง แต่สำหรับการวัดด้วยคลื่นวิทยุสามารถวัดได้ในบริเวณกว้างและไม่สัมผัสกับวัสดุทดสอบ รวมถึงการเปลี่ยนตัวอย่างทดสอบสามารถทำได้ต่อเนื่อง เช่น การวัดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเทคนิคอวกาศว่าง (Free space techniques) ที่มีประสิทธิภาพสูง (Limpiti & Krairiksh, 2012, pp. 2230-2241) รวมถึงได้มีการประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตรเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเทียบกับระดับความแก่และความชื้น (Seker & Abatay, 2005) (Nelson, 2006, pp. 688-702) จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการวัดความชื้นด้วยเทคนิคการส่งผ่านคลื่นวิทยุ เหมาะสำหรับการตรวจวัดความชื้นเนื่องจากไม่สัมผัสกับวัสดุปลูกและสามารถตรวจวัดได้ในบริเวณกว้าง

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้คลื่นวิทยุเพื่อตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกด้วยเทคนิคอวกาศว่างใช้การส่งกำลังงานคลื่นผ่านกระถางบอนไซ อาศัยการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่มีผลมาจากความชื้น เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่คุณสมบัติต่างกัน กำลังงานเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและถูกดูดกลืน (Kharkovsky et al., 2002,

pp. 546-550) การลดทอนจึงต่างกัน การตรวจสอบแบ่งเป็นภาคส่ง ภาครับและแสดงผล ภาคส่งใช้แหล่งกำเนิดความถี่ที่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ร่วมกับสายอากาศ ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังงานความถี่ผ่านกระถางบอนไซ ภาครับทำหน้าที่รับกำลังงานและเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นแสดงผลด้วยเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ และเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดกับความชื้นของวัสดุปลูก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นวัสดุปลูกต่อกำลังงานการส่งผ่านคลื่นวิทยุด้วยระบบตรวจสอบความชื้นโดยไม่สัมผัสต้นแบบ

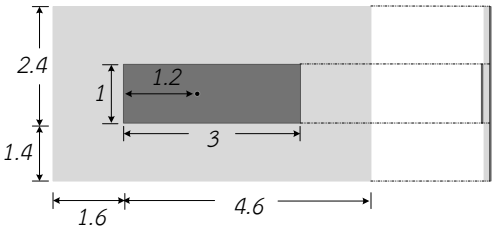
ระเบียบวิธีวิจัย

1. การพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปใช้สำหรับรับส่งคลื่นความถี่วิทยุ ได้รับการพัฒนาให้ทำงานได้ดีที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ การพัฒนาเริ่มจากคำนวณขนาดตัวนำ (PEC) คำนวณโครงสร้างและคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (Substrate) ด้วยสมการที่ (1) (Balanis, 2016)

$$w = \frac{c}{2 f_r} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} \qquad (1)$$

ขนาดจากการคำนวณถูกจำลองด้วยโปรแกรมจำลองสนามแม่เหล็กไฟฟ้า HOBBIES (Zhang et al., 2012) เพื่อปรับโครงสร้างอย่างละเอียด ผลการจำลองสมรรถนะให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ($|S_{11}|$) ต่ำกว่า -20 เดซิเบล โครงสร้างและขนาด (หน่วยเซนติเมตร) แสดงดังในรูปที่ 1

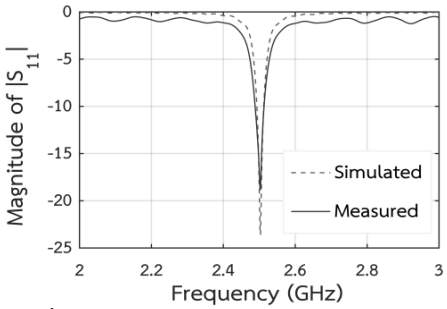


รูปที่ 1 ขนาดสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปได้รับการพัฒนาขึ้นจริงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง 4.1 ขนาดกว้างและยาว 6.2x2.8 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 สายอากาศไมโครสตริป

ทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (VNA) รุ่น KEYSIGHT E5063A ENA ให้ค่า $|S_{11}|$ ที่ -16.6 เดซิเบล ซึ่งต่างจากการจำลองเล็กน้อย เนื่องจากคุณสมบัติและความหนาวัสดุฐานรอง



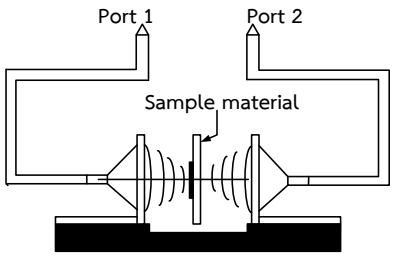
รูปที่ 3 ผลการจำลองเทียบผลวัดจริง ($|S_{11}|$)

อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ ยังคงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 สายอากาศที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้าง

ไม่ซับซ้อน กะทัดรัด เหมาะสำหรับติดตั้งกับกระถางบอนไซเพื่อตรวจสอบความชื้น

2. เทคนิคอวกาศว่าง

การตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุด้วยเทคนิคอวกาศว่างเป็นวิธีที่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างพิเศษ ใช้ได้กับวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงหรือไม่เป็นสารเนื้อเดียว เช่น การตรวจวัดความหวานของสารละลายด้วยการส่งผ่านความถี่และตรวจสอบกำลังงานที่ได้รับ (Chaisaeng, 2016, pp. 14-24) เทคนิคนี้จึงเหมาะสำหรับการตรวจสอบความชื้นวัสดุ วิธีการคือนำวัสดุทดสอบวางระหว่างสายอากาศส่งและรับ วัดขนาดของสัญญาณส่งจากตัวส่งไปยังตัวรับที่ผ่านวัสดุทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวัดแบบเทคนิคอวกาศว่าง

ในส่วนของการคำนวณค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟ อธิบายได้ดังสมการที่ (2)

$$\gamma = \alpha + j\beta \qquad (2)$$

α คือ ค่าคงที่การลดทอน และ β คือ ค่าคงที่เฟส ในวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำ ($\sigma = 0$) ค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ ประกอบด้วย ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ε) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟ ตามสมการที่ (2) (Pozar, 2012)

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\varepsilon'(1 - j\tan\delta)} \qquad (3)$$

เมื่อ ε' คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุบอกถึงการสะสมพลังงานสนามไฟฟ้า $\tan\delta$ คือ ค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียไดอิเล็กตริกเป็นปริมาณการสูญเสียพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุที่เป็นฉนวนไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ค่าความซึมซาบแม่เหล็กเท่ากับในอากาศ (Kaye & Laby, 1986) การลดทอนของคลื่นจึงมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุ

3. เปอร์เซ็นต์ความชื้นและโครงสร้างต้นแบบ

วิธีมาตรฐานในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นแบ่งออกเป็นรูปแบบเชิงน้ำหนัก (Gravimetric) และเชิงปริมาตร (Volumetric) ในงานนี้ใช้การวัดแบบเชิงน้ำหนักเนื่องจากมีความละเอียดและให้ความแม่นยำสูง

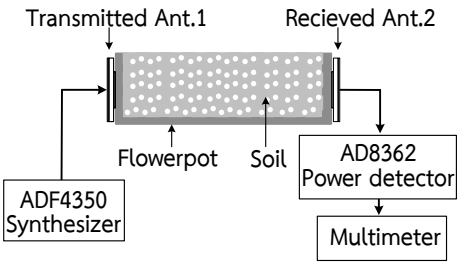
เมื่อ m_a คือ น้ำหนักถ้วย
m_b คือ น้ำหนักถ้วยและวัสดุปลูก
m_c คือ น้ำหนักถ้วยและวัสดุปลูกอบแห้ง

เริ่มต้นด้วยการตวงวัสดุปลูกใส่ถ้วย เพื่อใช้เป็นตัวแทนวัสดุปลูกในแต่ละระดับความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักแต่ละตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักถ้วยตวง ชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้ง คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นในสมการที่ (4) (Bilskie, 2001)

$$\%\text{moisture content} = \frac{m_b - m_c}{m_c - m_a} \times 100 \qquad (4)$$

การตรวจสอบความชื้นใช้การส่งคลื่นวิทยุผ่านวัสดุปลูกภายในกระถางบอนไซ สายอากาศถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างกระถางในลักษณะตรงข้าม ภาคส่งใช้อุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่เชื่อมต่อกับอากาศส่งทำหน้าที่สร้างและส่งออกกำลังงานเพื่อให้คลื่นวิทยุเดินทางผ่านกระถางบอนไซ ภาครับทำหน้าที่

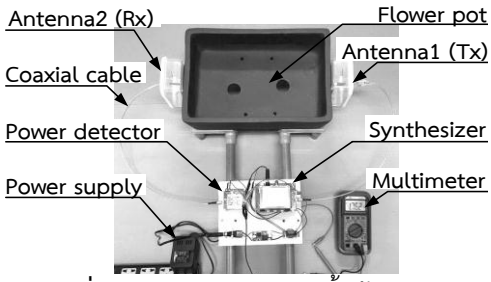
ตรวจจับกำลังงานคลื่นวิทยุ ส่งต่อไปอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานและเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแสดงค่าแรงดันในแต่ละระดับความชื้น ไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไดอะแกรมระบบตรวจสอบความชื้น

4. ระบบตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูก

ภาคส่งประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดความถี่สูง (Synthesizer) ของบริษัท Analog Devices รุ่น ADF4351 สร้างความถี่ในช่วง 0.35 ถึง 4.4 กิกะเฮิรตซ์ กำลังงานสร้างได้ในช่วง -5 ถึง +5 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ความถี่ถูกส่งไปยังสายอากาศ (Antenna 1: Tx) เพื่อแพร่กระจายคลื่นให้เดินทางผ่านวัสดุปลูก จากนั้นภาครับใช้สายอากาศ (Antenna 2: Rx) รับกำลังงานความถี่สูงและส่งต่อไปยังอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน (Power Detector) ของบริษัท Analog Devices รุ่น AD8362 ที่ตรวจจับความถี่ได้ในช่วง 0.05 ถึง 3.8 กิกะเฮิรตซ์ กำลังงานที่ตรวจจับได้ -52 ถึง +8 เดซิเบลมิลลิวัตต์ เอาท์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0.3 ถึง 3.6 โวลต์ และแสดงผลด้วยเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ระบบแสดงในรูปที่ 6



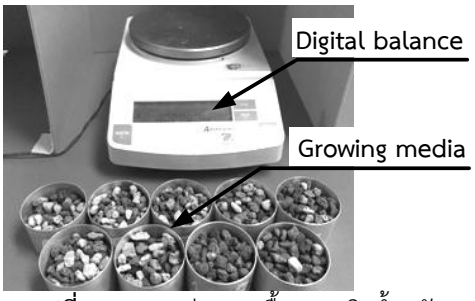
รูปที่ 6 ระบบตรวจวัดความชื้นต้นแบบ

การวัดใช้คลื่นวิทยุย่านอิสระ (ISM bands) กำลังส่ง 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงานให้เอาท์พุตเป็นเชิงเส้นแปรผันกับกำลังงานที่ตรวจจับ จึงมีความซับซ้อนต่ำ และวัดด้วยดิจิทัลมัลติมิเตอร์ที่มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ซึ่งเพียงพอต่อการแบ่งระดับความชื้น การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นใช้เครื่องชั่งดิจิทัลรุ่น ARB120 Digital balance แสดงผลเป็นตัวเลขทศนิยม มีความแม่นยำ ±3% มีการป้องกันเครื่องชั่งจากสิ่งรบกวนต่างๆ

5.การทดสอบ

การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นแบบเชิงน้ำหนัก ถูกทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ.จันทบุรี โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การทดสอบเริ่มจากการเตรียมวัสดุปลูกคือ หินพัมมิสสีขาว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ของก้อน 0.5 ถึง 1.5 เซนติเมตร วัสดุปลูกได้รับการปรับความชื้นด้วยการแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง และแบ่งวัสดุปลูกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความชื้นด้วยระบบต้นแบบและใช้สำหรับหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชิงน้ำหนัก วัสดุปลูกตัวอย่างที่ 1 ถูกบรรจุลงในกระถาง ก และตัวอย่างที่ 2 บรรจุลงกระถาง ข กระถางทั้งสองมีขนาดเท่ากันคือกว้างยาวสูง 20x30x8 เซนติเมตร บรรจุวัสดุปลูกในปริมาณที่พอดีกับกระถาง โดยที่กระถาง ก ใช้สำหรับระบบตรวจสอบความชื้นด้วยการส่งกำลังงานความถี่ผ่านวัสดุปลูก ในเวลาเดียวกันวัสดุปลูกในกระถาง

ข ถูกตวงใส่ถ้วยอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและสูง 6.2x4.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 8

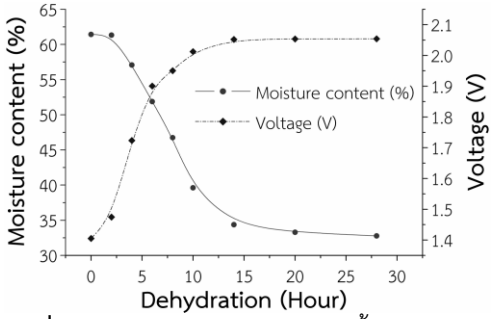


รูปที่ 8 การหาค่าความชื้นแบบเชิงน้ำหนัก

การวัดความชื้นครั้งที่ 1 ทำในขณะที่วัสดุปลูกมีความชื้นสูงสุดคือ หลังจากแช่น้ำมาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นกระถาง ก ถูกวัดด้วยการส่งผ่านคลื่นวิทยุและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับได้ของภาครับ ในเวลาเดียวกันกระถาง ข ถูกตวงใส่ถ้วยอลูมิเนียมเพื่อเป็นตัวอย่างในการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นวัสดุปลูก การวัดครั้งแรกกำหนดเป็นระยะการคายความชื้นที่ 0 ชั่วโมง ดังนั้นวัสดุปลูกจึงมีความชื้นสูงสุด การวัดในครั้งที่ 2 ทำโดยการปล่อยให้วัสดุปลูกคายความชื้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบในลักษณะเดียวกับครั้งแรกด้วยการส่งผ่านคลื่นวิทยุผ่านกระถาง ก บันทึกระดับแรงดันที่ได้รับ และในเวลาเดียวกันเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกในกระถาง ข ใส่ถ้วยอลูมิเนียมเช่นเดียวกับครั้งแรก การวัดความชื้นครั้งที่ 3 ให้วัสดุปลูกคายความชื้น 4 ชั่วโมง ทำการวัดค่าการส่งผ่านกระถาง ก ในลักษณะเดียวกับการวัดก่อนหน้าเก็บวัสดุปลูกตัวอย่างในกระถาง ข แบบเดียวกับครั้งก่อนหน้า การวัดในครั้งที่ 4 ใช้เวลาคายความชื้นเพิ่มเป็น 6 ชั่วโมง การวัดในครั้งที่ 5 ใช้เวลา 8 ชั่วโมง การวัดครั้งที่ 6 ใช้เวลา 10 ชั่วโมง ครั้งที่ 7 ใช้เวลา 14 ชั่วโมง ครั้งที่ 8 ใช้เวลา 20 ชั่วโมง และครั้งสุดท้าย ใช้เวลา 28 ชั่วโมง การทดสอบทำซ้ำทั้งหมด 5 รอบ และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์

ผลการวิจัย

วัสดุปลูกถูกตวงและถูกชั่งน้ำหนักเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น การชั่งวัสดุปลูกพร้อมถ้วยตวง ชั่งเฉพาะถ้วยตวง (m_a) วัสดุปลูกทั้ง 9 ตัวอย่าง ถูกชั่งในครั้งที่ 1 (m_b) จากนั้นถูกนำไปอบเพื่อให้ความชื้นลดและเปลี่ยนเป็นวัสดุปลูกแห้ง ชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกแห้ง (m_c) ทั้ง 9 ตัวอย่าง แบ่งเป็นน้ำหนักของวัสดุปลูกที่มีความชื้นปะปนอยู่ที่ 80.2 ถึง 90.2 กรัม น้ำหนักวัสดุปลูกแห้งอยู่ที่ 56.2 ถึง 73.53 กรัม และน้ำหนักถ้วยตวงอยู่ที่ 16.35 ถึง 22.73 กรัม ข้อมูลถูกคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยสมการที่ (4) น้ำหนักของวัสดุปลูกที่มีความชื้นปะปน น้ำหนักวัสดุปลูกแห้ง น้ำหนักถ้วยตวงและเปอร์เซ็นต์ความชื้น แสดงในตารางที่ 1 จากนั้นตรวจวัดความชื้นด้วยระบบวัสดุปลูกที่ความชื้นสูงสุดแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ 1.405 โวลต์ ความชื้นอยู่ที่ 61.43% เมื่อเวลาคายความชื้น 2 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เพิ่มเล็กน้อย 1.475 โวลต์ แปรผันกับความชื้นที่ลดลง 61.33% ที่เวลา 4 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าเพิ่มเป็น 1.724 โวลต์ ค่าความชื้นลดลงเหลือ57.08% ที่เวลาเพิ่มเป็น 6 8 และ 10 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง 1.901 1.951 และ 2.013 โวลต์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลง 51.88% 46.75% 39.61% ตามลำดับ เมื่อเวลาการคายความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 14 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าวัดได้ 2.052 โวลต์ ค่าความชื้น 34.37% ที่เวลา 20 ชั่วโมง ค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มเล็กน้อยคือ 2.054 โวลต์ ความชื้นลดลงอยู่ที่ 33.29% และที่เวลาสูงสุดคือ 28 ชั่วโมง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ที่ 2.054 โวลต์ ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง แต่ระดับความชื้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่ที่ 32.82% ข้อมูลการเปรียบเทียบแสดงดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระดับแรงดันไฟฟ้าต่อความชื้นวัสดุปลูก

ทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุปลูกต่อความชื้น บรรจุวัสดุปลูกลงกระถางในปริมาณเท่ากัน ทดสอบส่งผ่านกำลังงานในวัสดุปลูกก้อนเล็กและก้อนใหญ่ ผลที่ได้คือวัสดุปลูกที่ก้อนเล็กลงการลดทอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุปลูกก้อนเล็กเมื่อบรรจุลงในกระถางให้ความหนาแน่นมากกว่าก้อนใหญ่ จึงส่งผลต่อปริมาณความชื้นโดยรวมสูงกว่า แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานต่อระดับความชื้นยังคงสอดคล้องกัน ดังรูปที่ 9 รวมถึงสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Nelson et al., 1998, pp. 483-487) (Trabelsi & Nelson, 2004, pp. 1999-2008)

ตารางที่ 1 น้ำหนักและระดับความชื้นวัสดุปลูก

Dehydration	Weight (grams)			Dry weight
(Hour)	Growing media(m_b)	Growing media (m_c)	Cup (m_a)	(%)
0	80.20	56.20	17.13	61.43
2	84.52	58.73	16.68	61.33
4	87.52	61.76	16.63	57.08
6	84.43	61.35	16.86	51.88
8	86.17	63.94	16.39	46.75
10	80.67	62.42	16.35	39.61
14	86.94	69.09	17.15	34.37
20	84.47	67.57	16.80	33.29
28	90.20	73.53	22.73	32.82

สรุปและอภิปรายผล

ระบบตรวจสอบความชื้นวัสดุปลูกด้วยคลื่นวิทยุด้วยเทคนิคอวกาศว่าง สามารถตรวจสอบได้ครอบคลุมและไม่สัมผัสวัสดุปลูก สายอากาศไมโครสตริปถูกพัฒนาให้ทำงานที่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ให้ค่า $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -16เดซิเบล ทดสอบความชื้นวัสดุปลูก 9 ระดับ เริ่มตั้งแต่ 32.82% ถึง 61.43% แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ในช่วง 2.054 ถึง 1.405 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 28 ชั่วโมง ระดับความชื้นที่แยกได้ชัดเจนอยู่ในช่วง 34.37% ถึง 61.43% แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ตอบสนองต่อความชื้นอย่างเป็นเชิงเส้น ความชื้นที่ลดลงแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจสอบความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการตรวจสอบความชื้นที่นำเสนอสามารถตรวจสอบความชื้นได้โดยไม่สัมผัสกับวัสดุปลูก การเปลี่ยนตัวอย่างทดสอบทำได้อย่างต่อเนื่องและไม่เซนเซอร์ติดตั้งลงในกระถาง จึงไม่เสี่ยงต่อความเสียหายของรากบอนไซ และเหมาะกับการใช้งานเมื่อเทียบกับงาน Amardas.

กับ Rahim (2016, pp. 55-62.) และ Imteaj et al. (2017, pp. 830-835) การวัดด้วยคลื่นวิทยุสามารถตรวจสอบความชื้นในวัสดุปลูกได้ดีกว่างานของ Darshna et al. (2015, pp.32-36) เนื่องจากคลื่นเดินทางผ่านวัสดุปลูกครอบคลุมทั้งกระถาง

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนวิจัย ภายใต้การบริหารงานของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี สัญญาเลขที่ 2215/2561

References

Amardas, S. & Rahim, R. A. (2016). Development of Automated Solar Watering System. *The International Journal Of Engineering And Science,* Vol.5 (12) pp. 55-62.

Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory, analysis and design.* (4th ed.), John Wiley & Sons. USA.

Bilskie, J. (2001). *Soil water status: content and potential.* Application note, Campbell Scientific. USA.

Chaisaeng, P. (2016). Study of correlation between sugar content of solution and transmission coefficient with microwave. *The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University.* Vol.4(2). pp.14-24.

Coder, K. D. (2007). *Soil compaction stress & Trees: symptoms, measures, treatments.* Warnell School Outreach Monograph, University of Georgia. USA.

Darshna, S. Sangavi, T. Mohan, S. Soundharya, A. & Desikan, S. (2015). Smart irrigation system. *Journal of Electronics and Communication Engineering,* Vol. 10 (3), pp.32-36.

Fratta, D. Alshibli, K. A. Tanner, W. M. & Roussel, L. (2005). Combined TDR and P-wave velocity measurements for the determination of In Situ soil density-experimental study. *Geotechnical Testing Journal*, Vol.28 (6), pp. 553-563.

Imteaj, A. Rahman, T. Alam, M. S. & Alam, T. (2017). Automated expedient watering system for small plants and acquaintance about deficit in water supply. *Proceedings of the International Conference on Engineering Research, Innovation and Education 2017,* 13-15 January, Bangladesh. pp. 830-835.

Kaye, G.W.C. & Laby, T.H. (1986) *Table of physical and chemical constants.* (15th ed.), Longman.

Kharkovsky, S. N. Akay, F. Hasar, U. C. & Atis, C. D. (2002). Measurement and monitoring of microwave reflection and transmission properties of cement-based specimen. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 51 (6), pp. 546-550.

Kumar, P. & Dwivedi, P. (2011). Bonsai: symbol of culture, ideals, money and beauty. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology,* Vol. 4 (2), pp.115-118.

Limpiti, T. &Krairiksh, M. (2012). In Situ moisture content monitoring sensor detecting mutual coupling magnitude between parallel and perpendicular dipole antennas. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* Vol.61 (8), pp 2230 – 2241.

Nelson, S. O. Trabelsi, S. Kraszewski, A. W. (1998). Advances in sensing grain moisture content by microwave measurements. *Transactions of the ASAE.* Vol. 41(2), pp.483-487.

Nelson, S. O. (2006). Agricultural applications of dielectric measurements. *IEEE Transactions Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 13(4), pp. 688-702.

Passioura, J. B. (2002). Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment,* Vol.25, pp. 311–318.

Piuzzi, E. Cataldo, A. Cannazza, G. & Benedetto, D. E. (2010). Improved reflectometric method for soil moisture measurement exploiting an innovative triple-short calibration. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* Vol.59 (10), pp. 2747-2754.

Pozar, D. M. (2012). *Microwave engineering.* (4th ed.), John Wiley & Sons: USA.

Relf, D. (2009). *The art of bonsai.* Virginia Cooperative Extension. Publication. USA.

Seker, S. & Abatay, H. (2005). New frequency-dependent parametric modeling of dielectric materials. *Int. J. Electron. Commun*. (AEU), Vol. 60 (4), pp.320-327.

Trabelsi, S. & Nelson, S. O. (2004). Calibration methods for nondestructive microwave sensing of moisture content and bulk density of granular materials. *Transactions of the ASAE.* Vol. 47(6), pp.1999–2008

Zhang, Y. SARKAR, T. K. Zhao, X. Garcia-donoro, D. Zhao, W. Salazar-palma, M. & Ting, S. (2012). *Higher Order Basis Based Integral Equation Solver (HOBBIES).* John Wiley & Sons: USA.