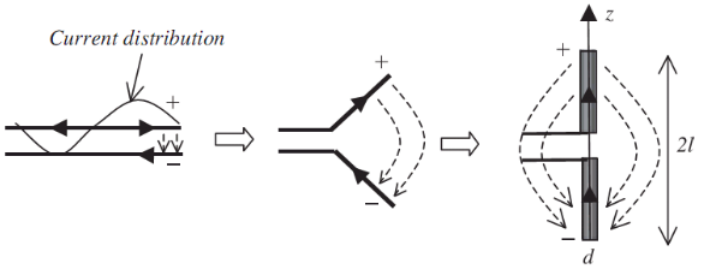
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนเพาะเห็ดนั้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบ ได้แก่ ทฤษฎีสายอากาศโมโนโพล ทฤษฎีโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และสภาพอากาศที่ส่งต่อการเจริญเติบโตของเห็ด

2.1 สายอากาศโมโนโพล

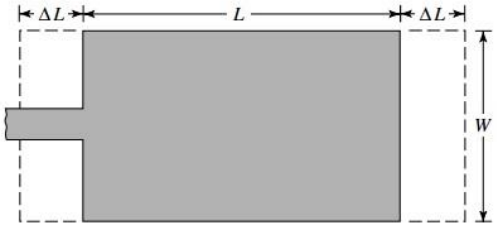
สายอากาศชนิดโมโนโพล เป็นสายอากาศที่พัฒนารูปแบบและการทำงานมาจากสายอากาศชนิดไดโพล โดยพื้นฐานการทำงานของสายอากาศไดโพลแสดงดังภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสายอากาศไดโพล มีลักษณะเป็นสายส่งตัวนำปลายเปิดสองเส้น จุดที่ความยาวจากปลายสุดเป็น $\lambda/4$ เมื่อโค้งหรือหักงอให้ปลายสายมีลักษณะบานออกหรือหันไปทางตรงข้ามกัน ทำให้สายตัวนำเกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไปซึ่งเรียกว่าสายอากาศไดโพล ความยาวทั้งหมดของสายอากาศไดโพลเป็นเท่ากับ $\lambda/2$ ของความถี่ที่ใช้งาน ส่วนสายอากาศโมโนโพลจะใช้ตัวนำด้านบนเพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่นและตัวนำด้านล่างเป็นระนาบกราวด์ ซึ่งเห็นได้ว่าที่ความถี่เดียวกันสายอากาศโมโนโพลจะมีความยาวตัวแผ่กระจายคลื่นเท่ากับ $\lambda/4$ ซึ่งน้อยกว่าสายอากาศไดโพล สายอากาศโมโนโพลอาศัยหลักการทำงานครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล โดยมีระนาบกราวด์เข้ามาทดแทนอีกครึ่งหนึ่ง เพื่อให้การทำงานของสายอากาศนั้นสมบูรณ์ สายอากาศโมโนโพลจะป้อนสัญญาณเพียงขั้วเดียวและใช้ระนาบกราวด์แทนขั้วที่เหลือ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลคล้ายกับสายอากาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของระนาบกราวด์ซึ่งในทางอุดมคติแล้วระนาบกราวด์ของสายอากาศโมโนโพลจะเป็นระนาบกราวด์สมบูรณ์แบบ และเป็นอนันต์ ส่งผลให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นมีเพียงด้านบนหรือเพียงครึ่งด้านบนของสายอากาศไดโพล แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถออกแบบระนาบกราวด์ได้ตามอุดมคติได้ ดังนั้นระนาบกราวด์สายอากาศโมโนโพลในทางปฏิบัติจึงเล็กกว่าในทางทฤษฎีมาก ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเกิดการเปลี่ยนทิศทางออกไปด้านหลังของระนาบกราวด์ด้วย ซึ่งหากออกแบบสายอากาศโมโนโพลให้มีระนาบกราวด์ขนาดเล็กมากจะพบว่ารูปแบบการแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ซึ่งเรียกว่ามีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นคล้ายรอบตัว (Like omnidirectional) (เจษฎา สี่ประการพร และ เสกสรร ปิ่นแก้ว, 2556)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

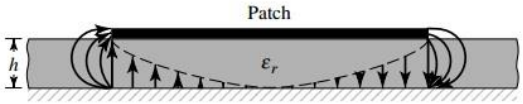


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไดโพล
ที่มา : (เจษฎา สี่ประการพร และ เสกสรร ปิ่นแก้ว, 2556)

สายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับสายอากาศโมโนโพลที่สร้างจากลวดตัวนำคือมีขนาดเป็น $\lambda/4$ ของความยาวคลื่นที่ใช้งาน การออกแบบสายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์ เริ่มจากการกำหนดคุณลักษณะของสายอากาศที่ต้องการ คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (Dielectric substrate) ที่นำมาใช้สร้างสายอากาศ กำหนดความถี่ที่ใช้งาน (f_r) และกำหนดความหนาของตัวนำที่นำมาใช้สร้างเป็นแพทช์และระนาบกราวด์ โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลชนิดแพทช์รูปสี่เหลี่ยมแสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งสามารถออกแบบความกว้าง (W) ได้ดังสมการที่ (2.1)-(2.2) และความยาวของแพทช์ (L) ได้ดังสมการที่ (2.3)-(2.4)



(ก) ด้านบน



(ข) ด้านข้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.2 สายอากาศแพทช์ (ก) ด้านบน (ข) ด้านข้าง
ที่มา : (Balanis, C. A., 1982)

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-1/2} \quad (2.1)$$

เมื่อ ε_{reff} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล

ε_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแผ่นวัสดุฐานรอง

h คือ ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรอง

W คือ ความกว้างของสายอากาศแพทช์

$$W = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \tag{2.2}$$

เมื่อ f_r คือ ความถี่ที่กำหนด

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{\left(\varepsilon_{reff} + 0.3\right)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{\left(\varepsilon_{reff} - 0.258\right)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \tag{2.3}$$

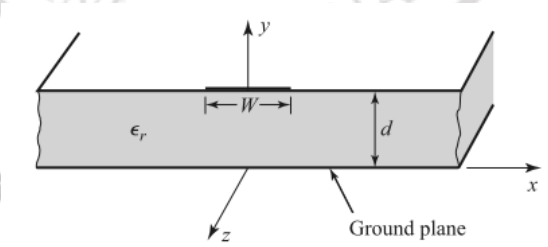
$$L = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\varepsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} - 2\Delta L \tag{2.4}$$

เมื่อ L คือ ความยาวของสายอากาศแพทช์

ε_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ

μ_0 คือ ค่าซึมซาบแม่เหล็กของสุญญากาศ

ขั้นตอนต่อมาคือ การออกแบบสายส่งสัญญาณไมโครสตริปไลน์ ที่ใช้สำหรับป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ โดยคำนวณความกว้างของไมโครสตริปไลน์โดยใช้สมการที่ (2.5)-(2.6)



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของไมโครสตริปไลน์

ที่มา : (Pozar, D. M., 2011)

$$\frac{W}{d}=\begin{cases}\dfrac{8e^{A}}{e^{2A}-2}, \dfrac{W}{d}<2 \\ \dfrac{2}{\pi}\left[B-1-\ln\left(2B-1\right)+\dfrac{\varepsilon_r-1}{2\varepsilon_r}\left\{\ln\left(B-1\right)+0.39-\dfrac{0.61}{\varepsilon_r}\right\}\right], \dfrac{W}{d}>2\end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของไมโครสตริปไลน์

d คือ ความหนาของแผ่นวัสดุฐานรองซึ่งมีค่าเท่ากับ h หรือความสูงของวัสดุฐานรองที่ใช้สร้างสายอากาศ

ค่า A และ B สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$A=\frac{Z_0}{60}\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}+\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1}\left(0.23+\frac{0.11}{\varepsilon_r}\right) \quad (2.6)$$

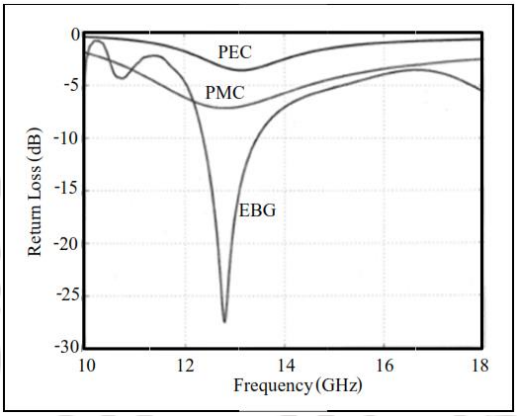
$$B=\frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\varepsilon_r}}$$

เมื่อ Z_0 หมายถึงค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งไมโครสตริปไลน์ เมื่อแทนค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) ของแผ่นวัสดุฐานรองและค่าอิมพีแดนซ์แทนลงในสมการ (2.6) จะได้ค่า A และ B จากนั้นนำไปแทนที่สมการ (2.5) ทำให้ได้ค่าความกว้างของไมโครสตริปไลน์

2.2 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า

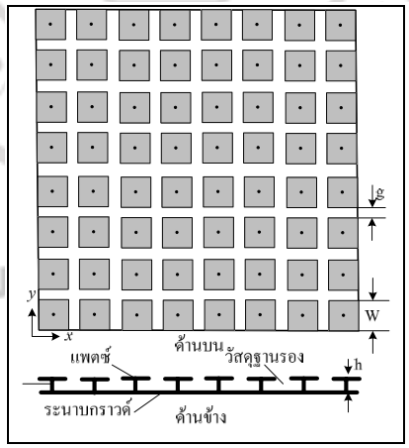
โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic band gap: EBG) หรือเรียกว่าอีบีจี สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกรองความถี่เกรตติ้ง พื้นผิวเลือกความถี่ ผลึกพลังแสง และช่องแถบพลังงานแสง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเรียกว่าโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นกีดขวางหรือเสริมรูปแบบการแพรกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเฉพาะในช่วงแถบของความถี่ทำงาน เนื่องจากความก้าวหนาของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไรสายส่งผลให้ความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จากสายอากาศธรรมดาสามารถพัฒนาให้มีอัตราการขยายที่สูงขึ้นด้วยการเพิ่มตัวสะท้อนที่ด้านหลังของสายอากาศจากเดิมนิยมใช้เป็นแผ่นตัวนำโลหะ แต่ก็ยังพบปัญหาในเรื่องของคลื่นผิว (Surface wave) โครงสร้างชองว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าจึงไดรับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก และถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นตัวสะท้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปไดโพลรูปทรงโค้ง (Li, L., et al, 2006) กล่าวถึงคือ การจัดวางสายอากาศไดโพลชนิดเส้นตรงบนแผ่นสะท้อนซึ่งทำจากแผ่นตัวนำโลหะเปรียบเทียบกับแผ่นช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยระยะห่างระหว่างสายอากาศและแผ่นสะท้อนที่ใกล้มากๆ ผลการเปรียบเทียบพบว่าสายอากาศไดโพลบนช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในกรณีที่เป็นแผ่นตัวนำ แสดงดังภาพที่ 2.4 เนื่องจากโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าไม่กลับเฟสของการสูญเสียย้อนกลับ ณ ความถี่

ทำงาน สายอากาศจึงสามารถวางใกล้แผ่นสะท้อนได้มากๆ ส่งผลให้สายอากาศเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและสร้างได้ง่าย (นุชนาฏ ฝาเฟี้ยม, 2553)



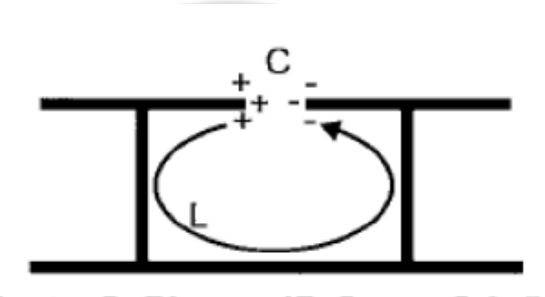
ภาพที่ 2.4 การสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไดโพลบนแผ่นตัวนำและบนโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา : (นุชนาฏ ฝาเฟี้ยม, 2553)

โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ดเป็นลักษณะที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากง่ายต่อการออกแบบ โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ดมีส่วนประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ระนาบกราวด์ วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก แพทซ์โลหะบนวัสดุฐานรอง และเส้นลวดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นโลหะถึงระนาบกราวด์ ลักษณะของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ดแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ด
ที่มา : (นุชนาฏ ฝาเฟี้ยม, 2553)

ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ดสามารถอธิบายได้ด้วยการใช้การจำลองแบบจากตัวกลางที่มีประสิทธิผลด้วยวงจรสมมูลซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ดังภาพที่ 2.6 โดยตัวเก็บประจุเป็นผลมาจากช่องว่างระหว่างแพทช์โลหะบนวัสดุ และตัวเหนี่ยวนำมีผลมาจากกระแสไหลไปตามแพทช์ที่ติดกัน (ธีรพล ภัทรชัยกุล, 2558)



ภาพที่ 2.6 วงจรสมมูล LC ของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ด
ที่มา : (Sridhar Raja .D, 2013)

โดยความถี่รีโซแนนท์ (ω_0) ของวงจรสมมูล LC หาได้จากสมการที่ (2.7)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{2.7}$$

ค่าตัวเก็บประจุหาได้จากแนวความจุระหว่างแพทช์โลหะระนาบร่วมที่ใกล้เคียง ซึ่งสามารถนำมาเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยเทคนิคสำหรับกำหนดการกระจายของสนามไฟฟ้าแบบสองมิติ เริ่มต้นจากแผ่นกึ่งอนันต์คู่ถูกแยกออกโดยช่องว่างและทำการตัดทอนขนาดแพทช์ที่จำกัด ขอบค่าตัวเก็บประจุสำหรับเงื่อนไขที่ช่องว่างแคบได้จากสมการที่ (2.8)

$$C = \frac{W\varepsilon_0(1+\varepsilon_r)}{\pi}\cosh^{-1}\left(\frac{W+g}{g}\right) \tag{2.8}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เมื่อ W คือความกว้างของแพทช์โลหะบนวัสดุฐานรอง
ε_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานและ
ε_0 คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ
g คือระยะของช่องว่างระหว่างแพทช์โลหะบนวัสดุฐานรอง

ส่วนค่าตัวเหนี่ยวนำนั้นหาได้จากกระแสลูปในภาพที่ 2.5 ประกอบด้วยเส้นลวดเชื่อมและแผ่นโลหะ สำหรับกระแสในขดโซลินอยด์ สนามแม่เหล็กคำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ และการคำนวณตัวเหนี่ยวนำจากการจัดเก็บพลังงานสนามแม่เหล็กและการกระตุ้นกระแส โดยค่า

การเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการที่ (2.9) ซึ่งค่าการเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุฐานรอง (h) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) (ธีรพล ภัทรชัยกุล, 2558)

$$L = \mu h \tag{2.9}$$

เมื่อทำการคำนวณตามสมการที่ (2.7) – (2.9) จะทำให้สามารถหาขนาดของโครงสร้างช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้ารูปดอกเห็ดได้

2.3 คุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริก

วัสดุในธรรมชาติแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เรียกว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric property) ที่แตกต่างกัน จึงสามารถจำแนกความแตกต่างของวัสดุจากคุณสมบัติไดอิเล็กตริกได้ ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์ คุณสมบัติไดอิเล็กตริก ประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity) และความซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความแตกต่างของวัสดุแต่ละประเภทที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์แสดงในรูปแบบเชิงซ้อน คือ $\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} - \varepsilon_r^{''}$ ซึ่ง $\varepsilon_r^{'}$ หรือส่วนจริงเรียกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) เป็นค่าแสดงความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานของสนามไฟฟ้าของวัสดุ และส่วนของจินตภาพ ($\varepsilon_r^{''}$) คือตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนพลังงานสนามไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบของความร้อนของวัสดุ (Hippel, A. V., 1954)

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
อากาศ (แห้ง)	1.00059
เบกาไลท์ (Bakelite)	4.9
ไนลอน	3.4
กระดาษ	3.7
สุญญากาศ	1.00000
น้ำ	80

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ที่มา : (ธัญญา อุดอ้าย, 2547)

2.4 เห็ด

ปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคเห็ดกันมากขึ้น เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพและรสชาติดี ดังนั้นจึงมีเกษตรกรหันมาทำอาชีพเพาะเห็ดกันมากขึ้น การเพาะเห็ดสามารถทำได้ง่ายและ เห็ดที่นิยมเพาะในประเทศนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น เห็ดเข็มทอง เห็ดโคนญี่ปุ่น เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดภูฐาน เห็ดหอม เห็ดนางรม เห็ดนางรมฮังการี เห็ดยานาง เห็ดหูหนู เห็ดขอนขาว เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดเออเรนจิ และเห็ดหลินจือ เป็นต้น เห็ดเป็นตลาดให้การตอบรับดีและมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น เห็ดจึงกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ประเทศไทยมีกำลังการผลิตเห็ดได้ประมาณ 120,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 7,014 ล้านบาท (สำนักงานปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, 2554)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดดอกเห็ดนอกเหนือจากชนิดของวัสดุเพาะ ความเป็นกรด-ด่างของวัสดุเพาะ และคุณภาพของหัวเชื้อเห็ด คือ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง อากาศและสภาพลม ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้เพาะควรให้ความสำคัญเช่นกัน ความชื้นสำหรับการเพาะเห็ดแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ความชื้นของวัสดุเพาะ และความชื้นในอากาศหรือที่เรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยปกติแล้วความชื้นของวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการเพาะเห็ดทุกชนิดอยู่ที่ประมาณ 60-65% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ หรือความชื้นในอากาศภายในโรงเรือนเพาะเห็ดส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 70-80% ยกเว้นเพียงเห็ดหูหนูที่ต้องการความชื้นสูงกว่าอยู่ที่ประมาณ 80-90% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์นี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิ แสงสว่าง และลม การเพิ่มความชื้นในอากาศบริเวณโรงเรือนเพาะเห็ดควรใช้น้ำสะอาดและมีสภาพเป็นกลาง เช่น น้ำฝน น้ำบาดาล หรือบ่อซึม ถ้าเป็นน้ำประปาควรทิ้งน้ำไว้ในภาชนะ 2-3 วัน เพื่อให้คลอรีนระเหยออกไป ก่อนที่จะนำน้ำไปใช้รดเห็ด (ณัฐภูมิ สุดแก้ว และ คมสันต์ หุตะแพทย์, 2558) ความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพาะเห็ดแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมในการเติบโตของเห็ด

ชนิดเห็ด	อุณหภูมิเฉลี่ย (℃)	ความชื้น(%)
เห็ดยานาง	25-32	78-80
เห็ดหอม	25-30	80-90
เห็ดนางฟ้า	28-38	70-80
เห็ดนางรม	28-38	70-80
เห็ดนางนวล	28-38	70-80
เห็ดภูฐาน	28-38	70-80
เห็ดเป๋าฮื้อ	28-38	70-80
เห็ดหูหนู	28-38	70-80
เห็ดตีนแรด	28-38	70-80
เห็ดลม	28-38	70-80
เห็ดขอน	28-38	70-80
เห็ดฟาง	30-38	70-80

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.4.1 เห็ดนางฟ้า

เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่ชอบสภาพอากาศปานกลางหมายถึง สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิประมาณ คือ 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะเห็ด ดังนั้นผู้เพาะเห็ดจึงต้องพยายามปรับอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมกับเห็ดอยู่ตลอด เช่น หากอุณหภูมิโดยทั่วไปอยู่ที่ 39-40 องศาเซลเซียส อาจต้องรดน้ำถี่ขึ้นทั้งที่ก้อนเห็ดและพื้นโรงเรือน รวมถึงเปิดประตูระบายอากาศมากขึ้นเพื่อปรับอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้ลดลง อุณหภูมิเป็นเพียงหนึ่งในปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเห็ดเท่านั้น ปัจจัยอื่นๆ ที่พิจารณาควบคู่กันไปด้วย คือความชื้น สารอาหารในวัสดุ การถ่ายเทอากาศ และแสง (คณวัฒน์ ธีรนิธิวัฒน์, ม.ป.ป.) ลักษณะของเห็ดนางฟ้าภูฐานซึ่งเป็นเห็ดนางฟ้าที่นิยมบริโภค แสดงดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7 เห็ดนางฟ้าภูฐาน
ที่มา : (ฟาร์มเกษตร, ม.ป.ป.)

2.4.2 โรงเรือน

โรงเรือนหรือโรงเรือนเพาะเห็ดเป็นสถานที่สำหรับเปิดดอกเห็ด วัตถุประสงค์ของการสร้างโรงเรือนเพาะเห็ดคือ เพื่อเก็บรักษาความชื้น ป้องกันลมโกรกและแสงแดด สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงาน ป้องกันขโมยและความเสียหายจากสัตว์อื่นๆ เข้าไปรบกวน การสร้างโรงเรือนนั้นผู้เพาะอาจเลือกสร้างได้จากวัสดุทั้งแบบถาวรซึ่งมีอายุใช้งานนาน หรือแบบชั่วคราว อายุใช้งาน 1-3 ปี แต่ใช้ต้นทุนที่น้อยกว่า การเลือกพื้นที่สำหรับสร้างโรงเรือนเพาะเห็ด ควรเป็นที่น้ำไม่ท่วม และอยู่ใกล้ถนน ไม่ควรเป็นที่โล่งเกินไป อยู่ใกล้แหล่งน้ำสะอาดและมีน้ำสะอาดตลอดปี อยู่ใกล้ที่พักเนื่องจากเห็ดจะต้องเก็บหลายครั้งใน 1 วัน (บาสไบโอ, 2012) ลักษณะของโรงเรือนที่เหมาะสมกับการเปิดดอกเห็ดควรมีลักษณะที่สะอาด สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและเก็บรักษาความชื้นได้ ขนาดของโรงเรือนจะขึ้นอยู่กับจำนวนก้อนเห็ดที่ต้องการบรรจุอยู่ภายในโรงเรือน (สำนักงานเกษตรอำเภอโคกสูง, ม.ป.ป.) ทั้งนี้ขนาดของโรงเรือนไม่ควรใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถควบคุมความชื้นและอุณหภูมิได้ ลักษณะตัวอย่างของโรงเรือนมาตรฐานของเห็ดควรจะกว้าง 4.5 เมตร ถ้าความยาว 10 เมตร สามารถจุเห็ดได้ 5,000-6,000 ก้อน ถ้าความยาวโรงเรือนยาว 18-20 เมตร จะจุได้ 10,000 ก้อน โรงเรือนขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 2.5เมตร สามารถบรรจุก้อนเชื้อเห็ดได้ ประมาณ 1,500

ก้อน หรือโรงเรือนเพาะเห็ดขนาดเล็ก ใช้วิธีแขวนก้อนเห็ดทำเป็นโรงเรือนขนาดพื้นที่ 1.5 x 2 ตารางเมตร สำหรับใช้เป็นพื้นที่เพาะเห็ดจำนวน 600 ก้อน เป็นต้น

การสร้างโรงเรือนสำหรับเพาะเห็ดนางฟ้าให้เหมาะสมนั้นควรสร้างในที่เย็น ชื้น และสะอาด ปราศจากศัตรูของเห็ดที่จะเข้ามารบกวน ปูพื้นด้วยทรายซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บความชื้นได้ดี ป้องกันผลกระทบที่เกิดจากลม เนื่องจากสภาพลมส่งผลกระทบต่อการออกดอกของเห็ดได้เช่นเดียวกัน ทิศทางลมในการโรงเพาะเห็ดต้องดูทิศทางของลมเหนือลมใต้เพื่อป้องกันการพัดพาเชื้อโรค ที่จะมีผลต่อก้อนเห็ดและการออกดอกของเห็ด หลังคาโรงเรือนควรจะเป็นหญ้าคา ด้านข้างใช้ผ้าดิบ หรือซาแลนก็ได้หน้าจั่วด้านหน้าและหลังใช้ใบหญ้าคาบัง เห็ดนางฟ้าเป็นเห็ดที่ไม่ชอบแสงแดด ชอบร่มรำไร ไม่ชอบลม ชอบอากาศที่มีฝนตก เย็นสบาย ไม่ชอบอากาศร้อนและลมแรงๆ หากมีลมเยอะเห็ดออกดอกเหมือนกันแต่ดอกจะแห้ง หากอากาศร้อนมากเห็ดจะออกดอกน้อย หรืออากาศหนาวเห็ดจะออกดอกน้อยเช่นกัน อุณหภูมิที่เหมาะกับการออกดอกอยู่ในช่วง 18 - 28 องศาเซลเซียส ชอบความชื้นสูง 70-80% ถ้าอุณหภูมิสูงมากเกิน 30 องศา เห็ดนางฟ้าจะออกดอกน้อย จึงทำให้เห็ดมีปัญหาขาดตลาดช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม การปรับอุณหภูมินั้นสามารถใช้ระบบน้ำฉีดพ่นสเปรย์ช่วยได้ในระดับหนึ่ง (วีโกเทค จำกัด, ม.ป.ป.) ด้านหน้าห้องโรงเรือนเพาะเห็ดสำหรับเปิดเข้าออกในโรงเรือนได้สะดวก สำหรับเข้าไปดูแลให้น้ำ เก็บดอกเห็ด และสามารถเปิดโรงเห็ดเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้บ้างเป็นครั้งคราว (ศูนย์เกษตรอินทรีย์นาโน-ออนไลน์, ม.ป.ป.)

การทำชั้นวางก้อนเห็ดแบบตั้งก้อนเห็ดเป็นอีกวิธีหนึ่ง แต่จะต้องมีพื้นที่มากกว่ากว่าวิธีแขวนก้อนเห็ด การดูและรักษาก้อนเห็ดเกี่ยวกับโรคเชื้อราและแมลงจะมีมากกว่า อายุของก้อนเห็ดจะสั้นกว่าวิธีการแขวนก้อน ซึ่งเกิดจากความสมบูรณ์ของเส้นใยเห็ดในครั้งแรก และน้ำหนักที่ซ้อนทับกันระหว่างก้อนเห็ดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเดินเส้นใยของเห็ด ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงจำนวนก้อนเห็ดในแต่ละชั้นที่วางทับกันด้วย ซึ่งไม่ควรเกิน 4 แถวในชั้นวางเดียวกัน เพื่อให้ก้อนเห็ดได้ถ่ายเทน้ำหนักจากก้อนบนสุดรวมไปถึงก้อนล่าง หรือใช้วิธีการวางแถวในแต่ละแถวให้เหลื่อมกันในลักษณะแบบพีระมิดจนถึงแถวใช้บนสุดจะถ่ายน้ำหนักรวมของก้อนชั้นที่วางก้อนเห็ดได้มาก ช่วยให้ก้อนเห็ดที่มีอายุตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไป จะยังสามารถเดินเส้นใยได้ดี (ศูนย์เกษตรอินทรีย์นาโน-ออนไลน์, ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ของ พรรณี

ภาพที่ 2.8 ชั้นวางก้อนเห็ดแบบตั้ง
ที่มา : (ศูนย์เกษตรอินทรีย์นาโน-ออนไลน์, ม.ป.ป.)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 โรงเรือนเพาะเห็ด ควบคุมอากาศอัตโนมัติ

โรงเรือนมีลักษณะเป็นโครงหลังคาเหล็กทรงจั่วมุงด้วยกระเบื้อง ด้านข้างปิดด้วยซาแลนทึบ พื้นของโรงเรือนเทคอนกรีตซึ่งสะดวกในการทำความสะอาดและจัดการต่างๆ ภายในโรงเรือนได้ง่าย และเพื่อไม่ให้เป็นที่สะสมของเชื้อโรค จากการออกแบบและประเมินราคาโรงเรือนลักษณะดังกล่าวในหลายๆ ขนาดพบว่าโรงเรือนขนาด 6 x 8 เมตร นั้นเป็นขนาดที่เหมาะสมต่อการลงทุนสร้างมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีวางก้อนเชื้อเห็ดแบบแขวนเป็นชั้น ๆ ในแนวตั้งจะมีการระบายอากาศได้ดีกว่าแบบตั้งโต๊ะวางก้อนเชื้อเห็ดแบบตัวเอและยังสามารถทำความสะอาดพื้นโรงเรือนได้ง่าย สะดวกในการเก็บดอกเห็ดและการนำก้อนเชื้อเห็ดออกมา ทำการปรับปรุงและติดตั้งระบบต่างๆ เพื่อลดอุณหภูมิและเป็นการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน คือ เปิดจั่วด้านหน้าและด้านหลังโรงเรือนเพื่อให้ความร้อนใต้หลังคาระบายออกมา พร้อมกับมุงซาแลนใต้คานเพื่อป้องกันความร้อนจากใต้หลังคาแผ่ลงมา และป้องกันความชื้นออกจากโรงเรือน ด้านข้างของโรงเรือนมุง 3 ชั้นด้วยซาแลน 50% พลาสติกหนา 150 ไมครอนและซาแลน 50% อีกชั้นหนึ่งทำให้เก็บความชื้นในโรงเรือนได้ดีขึ้น ติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ ได้แก่ ระบบพ่นฝอยภายในโรงเรือนด้วยปั๊มน้ำ อุณหภูมิและความชื้น โรงเรือนควบคุมการทำงานด้วยชุดตรวจจับสัญญาณ (เซ็นเซอร์) และระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิไม่เกิน 33 องศาเซลเซียส และติดตั้งระบบมินิสปริงเกอร์รดน้ำบนหลังคาโรงเรือน ให้ทำงานอัตโนมัติพร้อมกับระบบพ่นฝอยอัตโนมัติในโรงเรือนโดยใช้ปั๊มตัวเดียวกัน นอกจากนั้นยังติดตั้งระบบรดน้ำอัตโนมัติด้วย นาฬิกาตั้งเวลา วันละ 3 เวลา คือ เช้า กลางวัน และเย็น ด้วยระบบพ่นฝอยป้องกันเห็ดแห้งโดยใช้ปั๊มน้ำชุดเดียวกันกับระบบพ่นฝอยควบคุมสภาพแวดล้อมอัตโนมัติ

2.5.2 การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดของกลุ่มอาชีพเพาะเห็ด ด้วยวิธีการควบคุมการจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติซึ่งมีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเพาะเห็ดที่ส่งสัญญาณทางไฟฟ้ามายังชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งการเขียนโปรแกรมให้บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่ตั้งไว้ เมื่อเกิดมีค่าทั้ง 2 ไม่ตรงตามค่าอ้างอิง ระบบควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังระบบปั๊มน้ำให้ทำงานจ่ายน้ำผ่านท่อน้ำและหัวสปริงเกอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ให้มีการกระจายน้ำทั่วบริเวณโรงเพาะเห็ด