บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 น้ำในดินและน้ำใต้ดิน (8)

2.2 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (8)

2.3 การดูดน้ำจากดินของพืช (8)

2.4 ลักษณะการแผ่กระจายของรากพืช (9)

2.5 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ (11)

2.6 การใช้น้ำของพืช (11)

2.7 เทคโนโลยีการชลประทานและการให้น้ำแก่พืช (12)

2.8 การทดสอบและการผลิตผลิตภัณฑ์ดินเผา (14)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (22)

2.1 น้ำในดินและน้ำใต้ดิน

น้ำในดิน (Soil water) คือ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยกระบวนการน้ำซึมลงสู่ดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อพืชมากพืชใช้น้ำในดินและน้ำที่ไหลซึมมาจากผิวดินในกระบวนการเจริญเติบโต

น้ำใต้ดิน (Ground water) คือ น้ำที่ซึมลงไปสู่ดินในตอนล่างและถูกยึดเก็บไว้ในดินในรูปของความชื้นขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของรูดิน ความหยาบละเอียด และคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

2.2 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต คือ ความชื้นในดินที่อยู่ระหว่างความชื้นที่ Field capacity กับ ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting point) ก็คือความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินนั้นมีความสำคัญกับขนาดอนุภาคของดินหรือเนื้อดิน ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ได้มาก กล่าวคือ ในเนื้อดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตาม ดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินเหนียว เนื่องจากดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียดมาก ๆ จะมีน้ำยึดอยู่รอบ ๆ อนุภาคดินซึ่งไม่สามารถดูดไปใช้เป็นจำนวนมากและดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้น้อย ทั้งนี้เพราะว่าที่ Field capacity น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องระหว่างอนุภาคดิน ซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด จึงมีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มักจะเป็นดินที่มีอนุภาคขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่น ดินที่ประกอบด้วยดินทรายแป้ง (Silt) เป็นส่วนใหญ่ (วิบูลย์, 2536)

2.3 การดูดน้ำจากดินของพืช

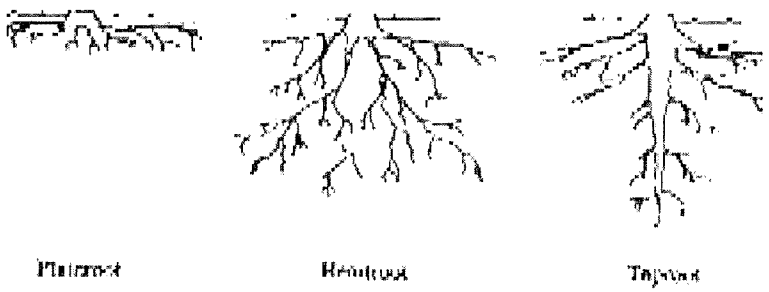
พืชทั่วๆ ไปจะมีรากที่ทำหน้าที่ดูดน้ำจากดินเป็นจำนวนมากในบริเวณใกล้ๆ กับปลายราก คือ ประมาณ 4 ถึง 5 เซนติเมตร นับจากปลายรากขึ้นมาจะมีรากเส้นเล็กละเอียดเกิดขึ้นทั่วๆ ไป ราก เหล่านี้เรียกว่ารากขน (Root hair) ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำ อาหาร และยึดลำต้นให้ติดแน่น รากขนเหล่านี้จะแทรกไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดินและดูดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆ อนุภาคดิน หรือในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินด้วยแรง Osmosis และลักษณะที่พืชได้รับน้ำจากดิน แบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

1) น้ำไหลจากบริเวณที่มีความชื้นมากกว่าไปสู่บริเวณแห้งกว่ารอบๆ รากขนด้วยแรงดูดซับ (Capillary force)

2) รากเจริญเติบโตออกไปสู่บริเวณที่มีความชื้นมากกว่า ในขณะที่รากพืชดูดน้ำจากดินไปใช้นั้น ดินบริเวณรอบ ๆ รากพืชจะแห้งและมีแรงดึงความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำบริเวณถัดไปก็จะไหลเข้ามาแทนที่ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาหารากพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด และไหลซึมเข้ามาด้วยอัตราเร็วเท่าไร การงอกของรากออกไปสู่ในบริเวณที่มีความชื้นมากกว่าอาจจะช่วยให้พืชมีน้ำใช้ได้มากในกรณีที่ดินอ่อนนุ่มอยู่ หรือมีความชื้นอยู่มาก แต่ในขณะที่พืชดูดน้ำจากดินมากขึ้น ดินบริเวณดังกล่าวก็จะแห้งและแข็งมากขึ้นจนรากไม่สามารถงอกออกไปเพื่อดูดน้ำได้ หรือไม่น้ำก็ต้องไหลซึมไปหารากพืช และความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เมื่อดินไม่อิ่มตัว (Capillary conductivity) ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในดินลดลง ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำที่ไหลซึมไปสู่รากพืชทั้งหมดยังน้อยกว่าปริมาณที่พืชคายออกทางใบ พืชก็จะแสดงอาการเหี่ยวเฉาได้ แต่เนื่องจากรากพืชไม่หนาแน่นและไม่แผ่กระจายไปทั่ว จึงได้น้ำไม่พอใช้และเกิดอาการเหี่ยวเฉาได้ และช่วงเวลาที่พืชกำลังเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ รากพืชจะมีการเจริญเติบโตและงอกออกอย่างรวดเร็ว พืชจะมีน้ำใช้พอกับความต้องการโดยไม่ต้องอาศัยแรงดูดซับมากนักและถ้าหากสภาพแวดล้อมของรากดี กล่าวคือดินในเขตรากค่อนข้างโปร่ง มีระดับน้ำใต้ดินต่ำ รากพืชก็จะแผ่กระจายออกไปได้กว้างและลึก ดังนั้นถึงแม้ว่าดินตอนใกล้กับผิวดินมีความชื้นลดลงจนต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร พืชก็อาจจะดูดน้ำจากดินในระดับต่ำกว่าไปใช้ได้พอ และไม่แสดงอาการเหี่ยวเฉาเลยก็ได้

2.4 ลักษณะการแผ่กระจายของรากพืช

การแผ่กระจายของรากพืช (รูปที่ 3) แต่ละชนิดนั้นไม่เหมือนกัน พืชบางชนิดมีรากแผ่กระจายออกเป็นบริเวณกว้างในระดับที่ไม่ลึกนัก พืชบางชนิดมีรากหยั่งลงไปลึกและมีการแผ่กระจายไปในแนวราบน้อย อย่างไรก็ตามสำหรับพืชชนิดเดียวกัน ลักษณะการแผ่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับชนิดและความลึกของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ฤดูการเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง โดยปกติแล้วรากพืชจะไม่สามารถงอกออกในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้นถ้าหากมีชั้นดินที่แห้งมากอยู่ใต้ดิน ก็จะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกผ่านไปได้เหมือนกัน เพราะว่าในระดับนี้จะมีออกซิเจนและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อยมาก ระดับน้ำใต้ดินจึงเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการแผ่กระจายของรากอีกอย่างหนึ่ง



รูปที่ 3 แสดงการแผ่กระจายของรากพืช

ความลึกของรากอาจจะถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง กล่าวคือให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ ความลึกของดินที่เก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ก็จะตื้น ดังนั้นรากก็จะแผ่กระจายอยู่แต่ในบริเวณที่มันสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ ซึ่งทำให้พืชต้องดูดเอาอาหารและแร่ธาตุจากดินชั้นบนและทำให้ดินจืดอย่างรวดเร็วจนต้องใช้ปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น โดยปกติแล้วเราต้องการให้พืชมีรากลึกและแผ่กระจายไปทั่ว เพราะว่านอกจากจะทำให้ไม่ต้องให้น้ำแก่พืชบ่อยครั้งขึ้นแล้ว พืชยังสามารถดูดน้ำและอาหารได้มากกว่าอีกด้วย ความลึกของรากพืชชนิดต่าง ๆ และปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความลึกของรากเมื่อพืชเติบโตเต็มที่ และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูการปลูก

พืช	ความลึกของราก (เมตร)	ปริมาณน้ำที่พืชต้องใช้ (มม.)
กะหล่ำปลี	0.4 – 0.5	380 – 500
ข้าวโพด	1.0 – 1.7	500 – 800
แตงโม	1.0 – 1.5	400 – 600
ถั่วลิสง	0.5 – 1.0	500 – 700
ถั่วเหลือง	0.6 – 1.3	450 – 700
ทานตะวัน	0.8 – 1.5	600 – 1,000
ฝ้าย	1.0 – 1.7	700 – 1,300
พริก	0.5 – 1.0	600 – 900
มะเขือเทศ	0.7 – 1.5	400 – 600
ยาสูบ	0.5 – 1.0	400 – 600
สับปะรด	0.3 – 0.6	700 – 1,000
อ้อย	1.2 – 2.0	1,000 – 1,500

(วิบูลย์, 2526)

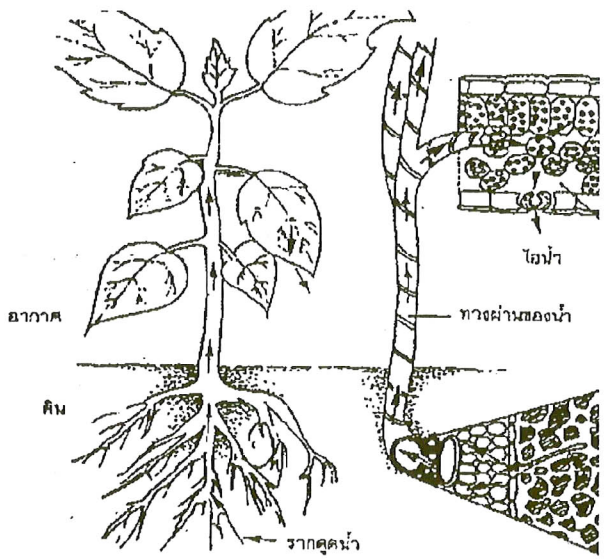
2.5 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ

รากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในเขตรากตอนบนและในบริเวณโคนต้น ดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นดังกล่าวไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากความชื้นในดินที่พืชดูดไปใช้แล้ว ดินยังสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยจากผิวดินด้วย ขณะที่ความชื้นของดินค่อย ๆ ลดลง แรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้น ในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงต้องมาจากดินในระดับต่ำลง ถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรก นับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สอง 20 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สาม และ 10 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สี่ ตามลำดับ

2.6 การใช้น้ำของพืช (Consumptive Use of Water)

วิบูลย์ (2526) ได้กล่าวถึง ปริมาณการใช้น้ำของพืชหรือ (Evapotranspiration) คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วน คือ

1) ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อแล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ คือ การคายน้ำ (Transpiration) (รูปที่ 4)
2) ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำ คือ การระเหย (Evaporation)



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการคายน้ำและระเหยออกทางปากใบ

องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

จากที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อการคายน้ำและการระเหย อาจสรุปได้ว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่างด้วยกัน คือ

1) สภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นพืช คือ แสง อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น
2) พืช คือ ชนิดและอายุของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน โดยทั่วไปเมื่อเริ่มปลูกการใช้น้ำจะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่อถึงวัยขยายพันธุ์ ซึ่งพืชโตเต็มที่จากนั้นการใช้น้ำจะค่อยๆ ลดลง
3) ดิน คือ ปริมาณความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นต้น
4) องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืชและระดับความลึกของการให้น้ำแต่ละครั้ง ฤดูการเพาะปลูก การไถพรวนดิน การคลุมดิน เป็นต้น

2.7 เทคโนโลยีการชลประทานและการให้น้ำแก่พืช

จากความสำคัญด้านการให้น้ำแก่พืช หากมีการจัดการน้ำให้ถูกหลักและวิธีที่เหมาะสมแล้วก็จะสามารถลดปัญหาและเป็นการอนุรักษ์น้ำที่ได้มาจากธรรมชาติไว้ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถควบคุมน้ำเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยวิธีการให้น้ำแบบประหยัดจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เป็นจำนวนมาก เช่น การให้น้ำที่ผิวดิน และการให้น้ำใต้ผิวดินเป็นต้น

การให้น้ำในสภาพปกติ

การให้น้ำในสภาพปกติ (Conventional irrigation: CI) คือ การให้น้ำซึ่งพืชได้รับสภาพน้ำตั้งแต่ท่วมขังในช่วงแรก และขาดน้ำในช่วงท้ายของการให้น้ำแต่ละครั้ง ยิ่งในช่วงแสงแดดจัดอุณหภูมิสูง สถานะของน้ำภายใต้ต้นพืชอาจลดลงต่ำกว่าจุดวิกฤต แม้เพียงเล็กน้อยก็จะมีผลต่อการลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างเด่นชัด (เจริญ, ม.ป.ป. :67 อ้างอิงมาจาก Boyer และคณะ, 1980 ; Nathason และคณะ. 1984)

การให้น้ำทางใต้ผิวดิน

การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface irrigation: SSI) แบบ Flooding และ Furrow จะทำให้พืชเกิดสภาพน้ำท่วมขังในระยะแรกและขาดน้ำในช่วงที่จะให้น้ำครั้งต่อไปเป็นช่วง ๆ มีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา โดยสามารถปลูกพืชได้หลายชนิด

วิบูลย์ (2526) กล่าวถึง การให้น้ำทางใต้ผิวดินเป็นการให้น้ำแก่พืชโดยการยกระดับน้ำใต้ดินให้ขึ้นมาสูงพอที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่ระดับเขตรากได้ วิธีเพิ่มระดับน้ำใต้ดินอาจจะทำได้สองแบบ คือ โดยการให้น้ำในคู และโดยการให้น้ำไหลเข้าไปในท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดิน ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในขณะที่ให้น้ำนั้นจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและความลึกของรากพืชที่ปลูก น้ำใต้ดินจะไหลไปสู่จุดต่าง ๆ ในเขตรากโดยการดูดซับ (Capillary action)

ข้อดีของการให้น้ำทางใต้ผิวดิน

1) การให้น้ำแบบนี้สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน
2) สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุต่างๆ ได้
3) มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก
4) การแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไปน้อย
5) ระบบให้น้ำทางใต้ดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย
6) ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย
7) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

ข้อเสียของการให้น้ำทางใต้ผิวดิน

1) เนื่องจากวิธีนี้ต้องการให้มีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตราก และดินจะต้องมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงใช้ได้กับพื้นที่ เพียงบางแห่งเท่านั้น
2) โดยปกติแล้วพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงจะต้องให้น้ำวิธีนี้เหมือนกัน มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้
3) น้ำชลประทานจะต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินและในเขตรากขึ้นได้

243929

4) ในกรณีที่น้ำชลประทานมีเกลืออยู่บ้าง ก็จะต้องมีการชะล้างเกลือออกจากดินเป็นประจำ
5) การงอกของเมล็ดอาจจะไม่สม่ำเสมอถ้าหากไม่สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้ไหลซึมขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอได้
6) สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พวกพืชที่มีรากลึกเช่น พืชสวนและพืชยืนต้นเหมาะที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้
7) ปุ๋ยที่ให้แก่พืชแผ่กระจายไปทั่วเขตรากได้ช้ากว่าแบบให้น้ำทางผิวดินหรือแบบฉีดฝอย

<u>การให้ปุ๋ยในระบบน้ำ (Fertigation)</u>

คือ การให้ปุ๋ยระบบหนึ่งโดยผสมปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้หมดลงไปในระบบน้ำ ดังนั้นเมื่อพืชดูดน้ำก็จะมีการดูดธาตุอาหารพืชไปพร้อมกับน้ำ เนื่องจากพืชไม่สามารถดูดปุ๋ยในรูปของแข็งได้ ปุ๋ยจะต้องละลายในน้ำก่อนพืชจึงจะดูดขึ้นไปใช้ได้ ดังนั้น การให้ปุ๋ยในระบบน้ำจะเป็นให้นำและปุ๋ยไปพร้อมกันในเวลาและบริเวณที่พืชต้องการ

<u>การให้ปุ๋ยในระบบน้ำให้ประสพความสำเร็จ</u>

1) มีระบบการให้น้ำที่เหมาะสมมีการกระจายของน้ำในพื้นที่สม่ำเสมอ
2) ต้องมีวิธีการควบคุมการให้น้ำที่เหมาะสม ตามความต้องการของพืชไม่มากจนเกินไปจนเกิดการชะล้าง หรือ น้อยเกินไปจนพืชขาดน้ำ
3) มีความเข้าใจการใช้ปุ๋ย และสารเคมีที่ผสมลงในน้ำอย่างถูกต้อง โดยปุ๋ยที่ใช้ต้องละลายน้ำหมดและปุ๋ยเมื่อผสมกันต้องไม่ตกตะกอน
4) ต้องรู้สูตร หรือ สัดส่วนของปุ๋ยตลอดจนอัตราการใส่ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและปริมาณที่ใช้ช่วงเวลาเหมาะสมตามชนิดพืช และชนิดดิน

2.8 การทดสอบและการผลิตผลิตภัณฑ์ดินเผา

วัตถุดิบ (Raw materials) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาที่จัดว่าเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ ดิน หิน และแร่ธาตุต่าง ๆ แต่การที่จะคัดเลือกวัตถุดิบเหล่านั้น นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะผู้ผลิตต้องมีความเข้าใจและรู้คุณสมบัติ ส่วนประกอบต่าง ๆ ทางเคมี (Chemical composition) ความเหนียวของดิน (Plasticity) การหดตัวของดินตลอดจนสีของดินที่เผาแล้ว ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานอันสำคัญในการนำไปใช้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของผู้ผลิต

ความพรุนตัว (Porosity) ความพรุนตัวของดินเป็นคุณสมบัติที่จะช่วยให้ทราบถึง การเผาถึงจุดสุกตัวหรือไม่ อันหมายถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทดสอบได้ด้วยวิธี นำดินที่เผาไฟแล้วที่ยังไม่ได้เคลือบ ชั่งน้ำหนักและแช่ทิ้งไว้ในน้ำประมาณ 1 คืนแล้วนำขึ้นมาชั่งใหม่ ถ้ามีความพรุนตัวมาก น้ำหนักก็จะเพิ่มขึ้นมาก เนื้อดินปั้นที่ถือเป็นมาตรฐานโดยทั่วไป คือ เนื้อดินชนิด Earthen ware ให้มีความพรุนตัวได้ประมาณ 4–10 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินชนิดโตนแวร์ (Stone ware) ให้มีความพรุนตัวได้ 1 - 6 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินชนิดปอร์สเลน (Porcelain) ให้มีความพรุนตัวได้ 0–3 เปอร์เซ็นต์ (ทวี, 2523 : 52)

การหดตัวของดิน (Shrinkage) เนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวมากย่อมเป็นสาเหตุอันหนึ่งทำให้เกิดการแตก การงอ และการบิดเบี้ยวได้มาก การหดตัวจะเกิดขึ้นได้จากผลิตภัณฑ์ที่แห้งจากการเผาดิบ การเผาเคลือบ โดยเฉพาะดินที่มีความเหนียวมาก มีการหดตัวมากที่สุด การหดตัวของดินที่เป็นมาตรฐานคือ ดินที่ตากแห้งจะหดตัวในระหว่าง 5–12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปเผาไฟจะหดตัวประมาณ 8–12 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจถึง 13–24 เปอร์เซ็นต์ ถ้านำไปเผาเคลือบอยู่ในระหว่างประมาณ 15–20 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ย่อมมีการหดตัวมาก สิ่งที่จะช่วยให้การหดตัวของดินน้อยลงโดยเติม ดินเชื้อ (Grog) ประมาณ 20–30 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยในการลดการแตกเสียหายลงได้มาก

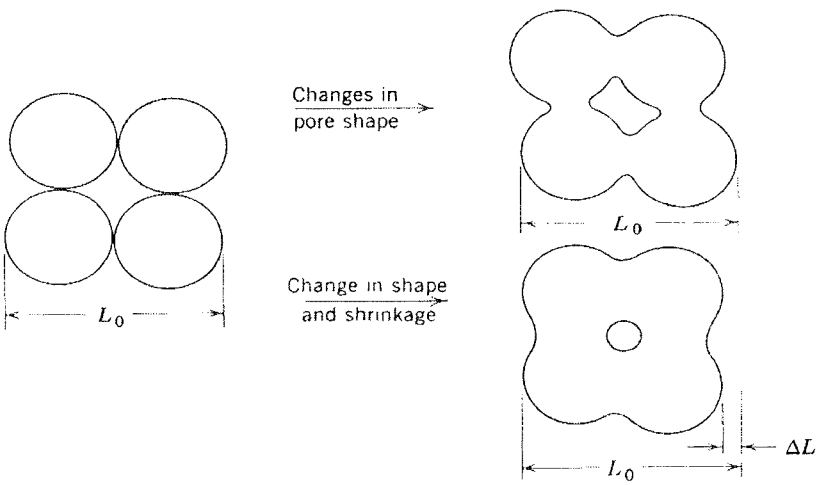
1. การเผาผลิตภัณฑ์ (Firing)

การเผาอิฐเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการเผาอิฐ เพราะขั้นตอนนี้ทำให้สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในเนื้อดินไหม้สลายไปและโครงสร้างแร่ดินเหนียวเกิดการแก้วเชื่อมประสานกันระหว่างอนุภาคทำให้เนื้อแน่นขึ้นทำให้อิฐแข็งแรงขึ้น เนื่องจากขั้นตอนนี้ทำให้เนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี (ไพจิตร, 2541)

<u>การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ</u>

กระบวนการอย่างหนึ่งที่สำคัญเกิดเมื่อเผาเนื้อดิน คือการรวมตัวหลอมละลาย (Sintering) กระบวนการนี้เริ่มจากการหลอมตัวของตัวหลอม (Flux) อย่างเช่น หินฟันม้า (Feldspar) เถ้ากระดูก (Bone ash) ทังค์ (Talc) หินปูน (CaO) และ อัลคาไลน์ (Alkali) เป็นต้น ซึ่งช้าเร็ว มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเผาและปริมาณของตัวหลอมที่อยู่ในเนื้อดินของเหลวที่เกิดขึ้นจากการหลอมละลายนี้จะดึงเอาของแข็งที่อยู่รอบๆ หลอมละลายตามไปด้วย ของเหลวนี้จะไหลผ่านอนุภาคของแข็งและพาไปด้วยกันด้วยแรงตึงผิว (Capillary force) และจะไหลเข้าไปแทนที่ว่างในรูพรุนทำให้รูพรุนลดลงกลายเป็นสารเนื้อแน่น เรียกว่า Vitrified การเกิดการรวมตัวของตัวหลอมละลายที่ทำให้มีค่าความพรุนน้อยมากโดยการช่วยของของเหลวนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า

Vitrification หลังการเผาเนื้อดินจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแก้วประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 นอกนั้นจะเป็นผลึกมัลไลท์ (Mullite, $3Al_2O_3 2SiO_2$) กับควอท์อิสระ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 แสดงผลึกของวัตถุดิบเกิดการรวมตัวหลอมละลาย

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและละเอียดถึงระดับ Microstructure ซึ่งพบว่าเมื่อเผาเนื้อดินจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ เช่น การเกิดผลึกหรือการเกิดสารคล้ายแก้วที่เรียกว่าamorphousและโพรงอากาศ หรือการแตกตัวของแร่เคโอลิไนท์ไปเป็นคริสโตบาไลท์ เป็นต้น

อิทธิพลของพลังงานความร้อนที่มีต่อแร่ดิน Kaolinite (ปรีดา, 2539)

1) เมื่อแร่ดิน kaolinite ถูกเผาจนถึง 450 °C จะมีการสูญเสียน้ำในโครงสร้าง โดยกลุ่ม OH^- จะถูกขจัดออกไป แล้วโครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็น metakaolin ($Al_2O_3 2SiO_3$)
2) ที่อุณหภูมิ 980 °C โครงสร้าง metakaolin จะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ และให้ spinel ออกมาจากนั้น spinel จะกลายเป็น mullite และคาย SiO_2 ในรูป cristobalite
3) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 980 °C mullite จะขยายใหญ่ตามอุณหภูมิที่เพิ่ม
4) ที่อุณหภูมิ 1000 °C น้ำจะถูกขจัดออกไปหมด
5) ที่อุณหภูมิ 1150 °C mullite จะฝังตัวในเนื้อซิลิกา

6) เมื่ออุณหภูมิถึง 1200 °C จะเกิดการประสานกันระหว่างอนุภาค ทำให้รูพรุนลดลง

อิทธิพลของพลังงานความร้อนที่มีต่อแร่ดิน montmorillonite (ปรีดา, 2539)

1) ที่อุณหภูมิ 200 °C น้ำที่ผิวของแร่จะเริ่มถูกขจัดออกไป
2) ที่อุณหภูมิ 600 °C น้ำหนักของแร่จะหายไปเนื่องจากกลุ่ม OH^- ถูกขจัดออกไป
3) ที่อุณหภูมิ 800 °C จะเกิด spinel ซึ่งต่อมาจะละลายในแก้วและสุดท้ายจะตกผลึกเป็น mullite

อิทธิพลของพลังงานความร้อนที่มีต่อซิลิกา (ไพจิตร, 2541)

ซิลิกา (SiO_2) เมื่อโดนเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก โดยอะตอมของรูปผลึกจะจัดเรียงตัวกันใหม่ทำให้เกิดการขยายตัว ซึ่งอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการขยายตัวขึ้นอยู่กับรูปแบบของซิลิกาว่าเป็นรูปแบบใด

อิทธิพลของพลังงานความร้อนที่มีต่ออินทรียวัตถุ (Sveda, 2000)

ดินเหนียวทุกชนิดจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนเสมอ ซึ่งเมื่อนำอิฐสดไปเผาสารอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดการเผาไหม้รวมตัวกับออกซิเจนตั้งแต่อุณหภูมิ 200 – 700 °C การเผาไหม้นี้จะเกิดได้ดีเมื่อเป็นอากาศชื้น เมื่อสารอินทรีย์ไหม้สลายไปแล้วจะทิ้งรูพรุนไว้ในเนื้ออิฐ

ผลิตภัณฑ์ดินเผาเมื่อโดนเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

100 - 200 °C	น้ำที่อยู่รอบๆ อนุภาคดินจะระเหยกลายเป็นไอ
450 °C	น้ำในโครงสร้างโมเลกุลเริ่มระเหย
230 - 573 °C	ผลึกของซิลิกาของควอทซ์ ขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปผลึก
500 – 600 °C	น้ำในโมเลกุลจะหมดไปและสารอินทรีย์ในดินจะถูกเผาไหม้
825 °C	หินปูนที่อยู่ภายในจะเกิดการสลายตัวทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์
900 – 950 °C	เถ้าถ่านของสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป

980 °C	โครงสร้างดินหดตัว เนื่องจากการหลอมละลายรวมตัวของ วัตถุดิบ
1050 - 1100 °C	เฟลด์สปาร์ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลาย เกิดโครงสร้างรูปเข็ม ประสานกันจากผลึกมัลไลท์ในเนื้อดิน ทำให้เนื้อดินแข็งแรง
1200 °C	ผลึกมัลไลท์เพิ่มมากขึ้น ดินหลอมละลายปิดรูพรุนทำให้ ความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น

2. การหดตัวภายหลังการเผา

การหดตัวเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของผลิตภัณฑ์ให้เล็กลง การหดตัวของดินมีอยู่ 2 ระยะ คือ การหดตัวหลังจากการผึ่งแห้งและการหดตัวภายหลังการเผา การหดตัวภายหลังการเผามีความสำคัญมาก เป็นคุณสมบัติที่ต้องทราบเพื่อจะนำมาใช้ในการผลิตว่าจะต้องเพิ่มหรือขยายแบบอีกเท่าไรจึงจะได้ขนาดที่ต้องการ (มนูญ, ม.ป.ป. : 20) และถ้าดินมีการหดตัวมากมีความจำเป็นต้องเผาอย่างช้า ๆ และควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ มิฉะนั้นแล้วผลิตภัณฑ์จะบิดเบี้ยวหรือแตกหักเสียหายได้ ตามปกติการหดตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อเผาเคลือบประมาณร้อยละ 10 – 20 ในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นที่มีหินฟันม้า และหินเขี้ยวหนุมานอยู่ด้วย อาจจะหดตัวน้อยกว่านี้ก็ได้ วิธีการหาค่าการหดตัวภายหลังการเผา ทำได้ดังนี้ (1) คือ

สูตรการคำนวณร้อยละของการหดตัวภายหลังการเผา

$$\text{ร้อยละของการหดตัวภายหลังการเผา} = \frac{\text{ความยาวของดินเปียก} - \text{ความยาวของดินหลังเผา}}{\text{ความยาวของดินเปียก}} \times 100 \quad \text{..... (1)}$$

3. ความพรุน (Porosity)

ความพรุน (Porosity) เป็นอัตราส่วนระหว่างรูพรุนต่อปริมาตรดินเผาทั้งหมด มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพของดินเผา เช่น ความหนาแน่น สภาพนำความร้อน การป้องกันเสียง การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงเป็นต้น ความพรุนมี 2 ชนิดคือ (ปรีดา, 2538)

1) ความพรุนจริง (True porosity) เป็นอัตราส่วนของรูพรุนเปิดและรูพรุนปิดต่อปริมาตรเนื้อดิน หาค่าได้โดยทำการบดดินเผาให้ละเอียดมากพอที่จะทำให้รูพรุนทั้งหมดแตก ดังสมการ (2)

$$P = \left(\frac{dt - db}{dt} \right) x100 \quad \text{..... (2)}$$

เมื่อ P = ร้อยละของความพรุนทั้งหมด

dt = ความหนาแน่นจริงของดินเผา

db = ความหนาแน่นปรากฏของดินเผา

2) ความพรุนปรากฏ (Apparent porosity) เป็นอัตราของรูพรุนเปิดที่สามารถดูดซึมน้ำได้ต่อปริมาตรของดินเผา ดังสมการ (3)

$$P = \left(\frac{W - D}{W - A} \right) x100 \quad \text{..... (3)}$$

เมื่อ P = ร้อยละของความพรุนปรากฏ

W = น้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำของดินเผา

A = น้ำหนักของดินเผาที่แช่อยู่ในน้ำ

D = น้ำหนักของดินเผาเมื่ออบแห้ง

4. รูพรุน (Pore) ในเนื้อดินเผา

รูพรุนคือช่องว่างที่อยู่ภายในวัสดุซึ่งของเหลว เช่นอากาศ หรือน้ำ สามารถเข้าไปอยู่ในช่องว่างได้ รูพรุนแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ (ปรีดา, 2538)

1) รูพรุนเปิด (Opened pores) หมายถึงรูพรุนที่เชื่อมต่อกันระหว่างรูพรุนและผิวภายนอกของดินเผา ทำให้ของไหลสามารถผ่านเข้ามาในช่องว่างในเนื้อดินเผา แล้วทะลุออกไปอีกด้านหนึ่งได้

2) รูพรุนปิด (Closed pores) หมายถึงรูพรุนที่ไม่เชื่อมต่อกันระหว่างรูพรุน ทำให้ของไหลไม่สามารถผ่านเข้าไปภายในช่องว่างในเนื้อดินเผาและทะลุออกไปอีกด้านของดินเผาได้

5. การสร้างรูพรุนให้เกิดขึ้นในเนื้อดินเผา

การทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อดินเผานั้นทำได้หลายวิธีแต่วิธีการที่ง่ายและประหยัดนั้นอาจทำได้โดยใช้สารอินทรีย์ขนาดเล็กที่สามารถไหม้ไฟได้ผสมลงไปกับเนื้อดินที่จะ

ขึ้นรูปอิฐ เมื่อนำอิฐไปเผาสารอินทรีย์เหล่านี้ก็จะไหม้สลายไป โดยจะทิ้งรูพรุนในเนื้อดินเผาไว้ (ศิริพงษ์, 2526)

6. ความพรุนกับการดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่ใช้บอกปริมาณรูพรุนที่เชื่อมต่อกับผิวภายนอกของวัสดุหรือความพรุนปรากฏของวัสดุ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปร้อยละของน้ำหนักของเหลวที่ดูดซึมต่อน้ำหนักแห้งของวัสดุ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ (4)

$$W_A = \left(\frac{m_w - m_d}{m_d} \right) x100 \qquad \text{..... (4)}$$

เมื่อ W_A = ร้อยละของการดูดซึมน้ำ

m_w = น้ำหนักของวัสดุที่เปียก

m_d = น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

ดินเผาที่มีความพรุนสูง ไม่จำเป็นว่าจะต้องมีค่าการดูดซึมน้ำสูงตามไปด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของรูพรุนว่าเป็นชนิดเปิดหรือปิด (เอก, 2547) ดินเผาที่มีรูพรุนน้อยจะมีความแข็งแรงสูง มีการดูดซึมต่ำ แต่ก็จะมีความหนาแน่นและสภาพการนำความร้อนสูงตามไปด้วย

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของดินเผาดินเหนียว (Clay bricks)</u>

ก. องค์ประกอบของดินเหนียว

ข. ปริมาณน้ำ ตามปกติแล้วปริมาณน้ำที่ใช้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการขึ้นรูป แต่ถ้ามีปริมาณน้ำมากเมื่อน้ำระเหยออกไปจะเหลือช่องว่างไว้มากทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แข็งแรง

ค. ความละเอียดของเม็ดดิน ยิ่งเม็ดละเอียดยิ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่แข็งแรง

ง. ขนาดคละ การที่มีขนาดคละที่ดีจะทำให้มีการ interlocking ของเม็ดดินทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์อีกด้วย

จ. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สดที่ถูกอัดแน่นด้วยแรงกดสูงๆ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ผสมจะทำให้มีช่องว่างและการดูดซึมน้อยลงและยังทำให้รับน้ำหนักได้มากขึ้น

ฉ. การทำให้แห้งก่อนการเผา ผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้แห้งอย่างรวดเร็วอาจเกิดการหดตัวและมีรอยแตกร้าว ทำให้กำลังลดลง ดังนั้นกระบวนการทำให้แห้งจึงมีความสำคัญ

เช่นกัน การอบแห้งโดยใช้เตาอบ ควรตั้งอุณหภูมิระหว่าง 50-90 °C ในกรณีที่ตากให้แห้งด้วยกระแสอากาศ ผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นเหลืออยู่ 2-3 %

ช. การเผา ต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้วัตถุดิบเกิดผลึกที่สมบูรณ์และมีแก้วเกิดขึ้นบางส่วน โดยผลึกที่โตขึ้นทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น ส่วนแก้วจะทำหน้าที่คล้ายกาว

ซ. ปริมาณและความละเอียดของส่วนผสมเพิ่ม เช่น แกลบ ขี้เถ้า ทราย

ฌ. ขนาดของตัวผลิตภัณฑ์ กำลังของตัวอย่างชิ้นใหญ่จะน้อยกว่าตัวอย่างชิ้นเล็กเพราะมีโอกาสเกิด stress concentration มากกว่า

7. ค่าโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR)

ค่าโมดูลัสการแตกหักเป็นสมบัติที่บอกว่าวัสดุสามารถรับแรงดัดได้เท่าใด ซึ่งหาค่าได้จากสมการ (5) (ปรีดา, 2539: 430-432 อ้างอิงมาจาก Andrew. 1957: 44)

$$MOR = \frac{3}{2}\frac{PL}{bd^2} \qquad \text{..... (5)}$$

เมื่อ MOR = โมดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture)

P = แรงกดที่กึ่งกลางคาน

L = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง

b = ความกว้างของตัวอย่าง

d = ความลึกของตัวอย่าง

8. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นอัตราส่วนระหว่างมวล (Mass) กับปริมาตร (Volume) ของวัตถุ ซึ่งโดยทั่วไปมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อปริมาตร หาได้จากสมการ (6)

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \text{..... (6)}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร

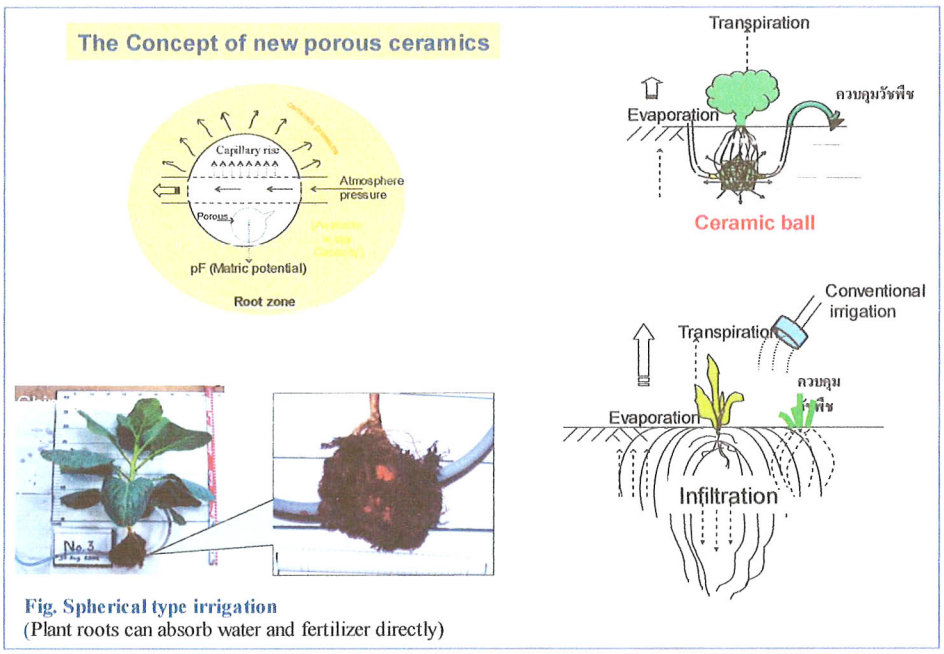
m = มวลของวัตถุ

V = ปริมาตรของวัตถุ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยภายในประเทศ

สุขทัย (2544) การพัฒนาระบบระบบการให้น้ำใต้ผิวดินโดยใช้ดินเผามีจุดมุ่ง หมายเพื่อความคุมการใช้ทรัพยากรน้ำให้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงประดิษฐ์ดินเผารูพรุนที่สามารถอุ้มน้ำและควบคุมการปลดปล่อยน้ำสำหรับการปลูกพืช ผลการทดสอบระบบการให้น้ำใต้ผิวดินโดยใช้ดินเผาทรงกลมพบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่าการให้น้ำแบบปกติ นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้ดินเผารูพรุนโดยการให้น้ำทางใต้ผิวดินนั้นสามารถลดปริมาณการระเหยได้ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงระบบการให้น้ำใต้ผิวดินโดยใช้ดินเผารูพรุน (สุขทัย, 2544)

นิจพร (2543) ได้ศึกษาถึงผลการให้น้ำระบบหยดน้ำ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคะน้ายอด จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของหัวหยดในระบบน้ำหยดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคะน้าที่ดีที่สุด คือ หัวหยดที่มีอัตราการไหลของน้ำ 4 ลิตรต่อวันต่อต้น โดยให้ผลตอบสนองคิดเป็นค่าเฉลี่ยในด้านความสูงของต้นเท่ากับ 14.20 เซนติเมตร จำนวนใบเท่ากับ 7.23 ใบ น้ำหนักสดเท่ากับ 154.95 กรัม และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 13.65 กรัม ดังนั้นอัตราการไหลของหัวหยด ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคะน้า คือ 4 ลิตรต่อวัน

มนตรี (ม.ป.ป.) ได้ทำการศึกษาถึงการใช้ลำไม้ไผ่เป็นท่อสำหรับการชลประทานแบบหยดน้ำ ดังรายละเอียด คือ การชลประทานแบบหยดน้ำไม่เป็นที่แพร่หลายหรือรู้จักกันดีในประเทศไทย วิธี การนี้เป็นการส่งน้ำในแก่พืชทีละน้อยๆ และช้าๆ บริเวณพื้นดินรอบๆ โคนต้นพืชแต่ละต้นหรือกำหนดให้จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายๆ จุด ที่รากพืชสามารถแพร่กระจายไปดูดน้ำได้ตามปริมาณที่พืชต้องการ วิธีนี้จึงประหยัดน้ำมาก และสามรถผสมปุ๋ยรวมเข้าไปพร้อมกับการส่งน้ำได้ด้วย ระบบนี้ถ้ามีการจัดการที่ดีและเหมาะสมจะมีประสิทธิภาพชลประทานสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามระบบการชลประทานแบบหยดน้ำนี้จะต้องใช้ท่อส่งน้ำและหัวปล่อยน้ำเป็นจำนวนมากซึ่งโดยทั่วไปมักใช้ท่อที่ทำด้วย PVC และ Polyethylene เป็นส่วนมาก ส่วนหัวปล่อยน้ำที่ใช้กันโดยมากผลิตขึ้นด้วยเทคนิคชั้นสูง เพื่อที่ จะให้แต่ละหัวปล่อยน้ำได้เองด้วยอัตราไหลของน้ำที่ใกล้เคียงกันที่สุดจึงมีราคาค่อนข้างแพง ฉะนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุน ของการชลประทานแบบหยดน้ำ จึงพยายามนำท่อไม้ไผ่มาดัดแปลงเป็นท่อส่งน้ำ ซึ่งก็สามารถทำได้ไม่ยากนัก โดยสร้างเครื่องเจาะทะลุปล้องให้ตลอดทั้งลำ ส่วนอุปกรณ์หัวปล่อยน้ำ ที่ใช้บังคับน้ำให้ไหลทีละน้อยๆ ตามปริมาณที่ต้องการและใกล้เคียงกันทุกหัวนั้นก็ดัดแปลงมาจากชุดให้น้ำเกลือคนไข้ตามโรงพยาบาลที่ไม่ใช้แล้ว โดยใช้ท่อพลาสติกเล็กๆ เสียบต่อให้น้ำกับท่อไม้ไผ่ แต่ต้องเปลี่ยนสายจากพลาสติกใสมาเป็นสีดำ เพื่อป้องกันการเกิดตะไคร้น้ำจับในท่อพลาสติก จากการทดลองนำมาใช้งานจะสามารถดำเนินงานได้ดีพอสมควร

ศิริพงษ์ (2526) ได้ทำการปรับปรุงความพรุนในสารดินเผา ซึ่งใช้วัตถุดิบ 3 ชนิดคือ ดินดำจากอำเภอแม่ริม ดินขาว จากจังหวัดนราธิวาส และดวอทซ์จากจังหวัดตาก โดยแบ่งตัวอย่างเป็น 2 แบบคือแบบไม่ผสมผงถ่าน และผสมผงถ่าน ผงถ่านที่นำมาผสมนั้นมีขนาด 0.740, 0.174, 0.105 และ 0.053 มิลลิเมตรในอัตราส่วน 5, 7.5, 10, 12.5 และ15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100 และ1200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเผาประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง แล้วคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ 1 ชั่วโมง พบว่า

1) การเติมถ่านช่วยทำให้เกิดรูพรุนเพิ่มขึ้นเพราะถ่านสามารถไหม้สลายได้
2) ความพรุนขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิการเผา ปริมาณและขนาดของสารช่วยให้เกิดรูพรุน
3) ความพรุนทำให้กำลังของวัสดุลดลง
4) ความพรุนมีปริมาณมากที่สุดเมื่อใช้ผงถ่านที่มีขนาดอนุภาค 0.053 มิลลิเมตร และใช้อุณหภูมิการเผา 1000 องศาเซลเซียส

เอก (2547) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ ปั้นขึ้นรูปอิฐในแบบไม้ขนาด 75.4 x 160.1 x 45.6 มิลลิเมตร ด้วยวิธี soft-mud process โดยใช้แกลบที่ไม่ได้ทำการบดผสมลงในเนื้อดินในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งร้อยละ 0, 3.4, 4.9 และ 7.8 แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 800, 1000 และ1200 องศาเซลเซียส จากนั้นคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ 1 ชั่วโมง พบว่า การใช้แกลบผสมลงในเนื้อดินที่ทำอิฐทำให้กำลังรับแรงอัดของอิฐลดลงและลดลงในอัตราที่เร็วกว่าความพรุนที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซึมเพิ่มขึ้นตามความพรุนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบทำให้สภาพนำความร้อนลดลง ปริมาณแกลบที่เหมาะสมในการผสม คือ ร้อยละ 2.2 และเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้อิฐที่มีความเหมาะสมที่สุดทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และประหยัดในด้านเวลาและพลังงานในการผลิต

<u>งานวิจัยต่างประเทศ</u>

Michihiro Hara and others.(1998) ได้ทำการศึกษาระบบชลประทานพื้นที่ลาดชันและคุณสมบัติทางกายภาพต่อความสัมพันธ์ของการชะล้างพังทลายของดิน โดยพบว่า จากการสังเกตปริมาณการให้น้ำแก่พริก (เดือนมีนาคม 1998) แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ค่อนข้างกว้าง คือ เฉลี่ย 1,100 มิลลิลิตรต่อวันต่อต้น ของการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวนอน และเฉลี่ย 1,100 มิลลิลิตรต่อวันต่อต้น ของการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวตั้ง และจากการให้ในช่วงแรกซึ่งดินค่อนข้างที่จะแห้ง แต่ในช่วงหลังๆ ปริมาณการให้น้ำน้อยลง คือ ระหว่าง 600 - 1,200 มิลลิลิตรต่อวันต่อต้น ของการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวนอนและระหว่าง 700 - 1,100 มิลลิลิตรต่อวันต่อต้น ของการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวตั้ง ความผันแปรของปริมาณน้ำเฉลี่ยของการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวนอน ที่น้อยกว่าการให้น้ำโดยดินเผาทรงกระบอกในทางแนวตั้ง ทำให้ต้นพริกสามารถเจริญเติบโตจากการให้น้ำโดยแท่งดินเผาในฤดูแล้ง

Sveda (2000) ทำการศึกษาอิทธิพลของขี้เลื่อยต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐ โดยใช้ดินเหนียว montmorillonite ผสมกับขี้เลื่อยแต่ละขนาด แต่ละชนิด ดังตารางที่ 4 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งร้อยละ 4 และ 8 โดยมีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 0, 50, 100, 150 และ 200 ขึ้นรูปอิฐที่มี 100 x 50 x 20 มิลลิเมตร หลังจากขึ้นรูปแล้วทิ้งไว้ 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องทดลอง 20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และเผาที่อุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส แล้วคงอุณหภูมิไว้ 1 ชั่วโมง พบว่า

1) อิฐที่ผลิตขึ้นสามารถลดสภาพนำความร้อนได้ร้อยละ 30 – 40 และยังมีกำลังรับแรงอัด 40 – 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2) ขี้เลื่อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ สามารถไหม้สลายได้ง่ายและเริ่มไหม้สลายไปที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส
3) อิฐที่ผสมขี้เลื่อยขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีความหนาแน่น สภาพนำความร้อน และกำลังอัดที่น้อยกว่าอิฐที่ใช้ขี้เลื่อยเล็กกว่าทั้งที่เป็นขี้เลื่อยชนิดเดียวกัน

Wang, Shaoying (1998) ได้ทำการศึกษาระบบการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบปกติ โดยมีแนวทางการแก้ไขปัญหา 3 แนวทาง คือ

1) การจัดหาน้ำให้เพียงพอต่อการเพาะปลูก
2) การให้น้ำพืชบริเวณรากพืชโดยตรง
3) การให้น้ำพืชในปริมาณที่พืชต้องการ

ระบบการให้น้ำพืชแบบ Tree irrigation system (TIS) นี้มีส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ถังเก็บน้ำ หัวจ่ายน้ำให้พืชที่ต่อจากถังเก็บน้ำ (porous ceramic cups) และตัวควบคุมอัตราการให้น้ำในปริมาณที่พืชต้องการ (porous ceramic column) การใช้ระบบให้น้ำพืชแบบ Negative pressure สามารถประหยัดน้ำและค่าใช้จ่ายในการลงทุน เมื่อเทียบกับการให้น้ำแบบระบบอื่นๆ เช่น การให้น้ำแบบสปริงเกอร์ ระบบน้ำหยด และยังสามารถปรับนำไปใช้กับการปลูกพืชในกระถาง โรงเรือน สวนหย่อมในบ้านพักอาศัยที่ไม่ต้องการรดน้ำบ่อย และยังสามารถใช้อุปกรณ์นี้ในการทำแปลงทดสอบทางวิทยาศาสตร์ เกษตรกรรม และการวิจัยทางด้านชีววิทยา เพื่อเป็นการพัฒนาระบบการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระบบการให้น้ำแบบ TIS กับการใช้ระบบน้ำหยดบนพื้นที่ภูเขาที่มีการลงทุนในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท่อส่งน้ำ เครื่องปั๊มน้ำ และหัวหยดน้ำ ส่วนในการให้น้ำแบบปกติที่รดน้ำโดยใช้มือ และแบบสปริงเกอร์ จะมีการสูญเสียน้ำมากกว่าระบบอื่นจากการระเหยสู่บรรยากาศ ไหลออกจากแปลงปลูก และซึมลงผ่านบริเวณรากพืชไป ระบบการให้น้ำพืชแบบ TIS นี้ใช้หลักการวอเตอร์โพเทนเชียล (water potential) ที่พืชสามารถดูดน้ำจากดินที่ได้รับน้ำจากการจ่ายน้ำของดินเผารูพรุน ที่ต่อจากถังเก็บน้ำที่มีตัวควบคุมอัตราการให้น้ำ

ประโยชน์ของระบบ TIS

1. เป็นระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติที่สอดคล้องต่อความต้องการน้ำของพืช
2. การลงทุนต่ำกว่าการติดตั้งระบบการให้น้ำแบบอื่น และสามารถติดตั้งได้ง่าย
3. สามารถให้น้ำบริเวณรากพืชได้โดยตรง และให้น้ำคงที่และมีประสิทธิภาพในการให้น้ำในสภาพพื้นที่แห้งแล้ง และพื้นที่ลาดชัน

4. สามารถปรับปริมาณให้น้ำ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการพืชในระยะต่างๆ และประหยัดเวลา

H.K. Barth (1999) ศึกษาวิธีการป้องกัน และแก้ไขปัญหา ลดการสูญเสียน้ำ โดยเลือกวิธีการและระบบชลประทานที่ดีที่สุด การจัดการที่ดีทางด้านสังคมและเศรษฐศาสตร์ วิธีการใช้ระบบ Subsoil irrigation system (SIS) เป็นตัวอย่างหนึ่งที่เป็นระบบการให้น้ำใต้ผิวดินที่เป็นประโยชน์ ระบบการนี้เปลี่ยนแปลงจากระบบน้ำหยด ที่ประหยัดน้ำได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีประโยชน์ทางด้านระบบการจัดสรรน้ำ ลดการใช้พลังงาน การขนส่ง ตอบสนองต่อความต้องการและการใช้สอยอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ปัญหาความต้องการน้ำกับการสูญเสียน้ำที่มากจนเกินไป การใช้เทคโนโลยีในการประหยัดน้ำและพลังงาน จะเป็นตัวชดเชยการลงทุนไปโดยระบบการกลับคืน ที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถจัดสรรน้ำและพลังงาน ได้โดยไม่ต้องมีลงทุนที่สูง ระบบ SIS มีส่วนประกอบที่คล้ายกับระบบการให้น้ำหยด ประกอบด้วยท่อส่งน้ำหลัก ท่อส่งน้ำรอง และท่อปล่อยน้ำด้านข้างที่ปล่อยน้ำตามจุดปล่อย โดยน้ำที่ถูกส่งมาจะมาจากการสูบน้ำด้วยเครื่องปั๊มน้ำผ่านการกรอง และมีการเพิ่มปุ๋ยจากถังบรรจุก่อนส่งน้ำและปุ๋ยไปยังท่อหลัก โดยฝังลงใต้ดินประมาณ 60 – 80 เซนติเมตร ลักษณะพิเศษของระบบการปล่อยน้ำด้านข้างคือ การออกแบบท่อปล่อยน้ำ และแผ่นป้องกันน้ำที่ไม่ให้น้ำซึมผ่านลงใต้ดินของแต่ละท่อปล่อยน้ำ น้ำที่ถูกส่งมาจะซึมออกผ่านช่องที่เจาะรูไว้ และไม่เกิดการอุดตันจากรากพืช และดิน ท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร มีช่องขดลวด ขนาด 1.8 มิลลิเมตร ระยะการปล่อยน้ำ ทั้งความลึกและการเว้นช่วงความห่างของการปล่อยน้ำขึ้นอยู่กับความต้องการของการเพาะปลูก โดยมีรูปแบบท่อ 2 แบบ คือ แบบ A: 33 เซนติเมตร หรือ 66 เซนติเมตรหรือ 99 เซนติเมตร และแบบ B: 66 เซนติเมตร หรือ 132 เซนติเมตร การเว้นช่องขึ้นอยู่กับความต้องการในการเพาะปลูก ความสามารถของน้ำในการซึมตามสภาพพื้นที่ที่ต้องการ อัตราการหยดของน้ำมีความแตกต่างตามการทำงานของแรงดัน และทางระบายออก การป้องกันการไหลซึมของน้ำลงใต้ดินของระบบการให้น้ำ โดยเฉพาะดินที่ปนทรายจะใช้แผ่น Polyethylene ฝังไว้บริเวณใต้ท่อปล่อยน้ำด้านข้าง ลักษณะคล้ายตัว V กว้าง 60 เซนติเมตร หนา 0.06 มิลลิเมตร ระยะการเว้นช่วง ประมาณ 2 – 5 เมตร ระหว่างแถว เพราะฉะนั้นน้ำส่วนเกินจากฝนตกสามารถไหลซึมลงชั้นดิน แผ่น Polyethylene จะกักเก็บน้ำเอาไว้ เป็นแหล่งให้ความชื้นบริเวณรากพืช การวางท่อปล่อยน้ำด้านข้าง และแผ่น Polyethylene ลงใต้ดินต้องใช้เทคนิคพิเศษที่มีการพัฒนา การฝังแผ่น Polyethylene ต้องใช้ไถลึกลงไปประมาณ 30 – 70 เซนติเมตร แล้ววางแผ่น Polyethylene และท่อปล่อยน้ำด้านข้างพร้อมกัน สามรถใช้รถแทร็คเตอร์ในการวางตาม

ความเหมาะสมของสภาพดิน เมื่อติดตั้งแล้วไม่จำเป็นต้องมีการขุดพื้นที่ปล่อย จะทำให้ดินมีสภาพดี ระบบสามารถอยู่ได้ตลอดทั้งปี ถ้ามีการวางแปลง และเว้นช่วงการปล่อยน้ำที่เหมาะสม

ประโยชน์ของการใช้ระบบ SIS

จากการใช้มาหลายปีในประเทศฮังการี อียิปต์ และปากีสถาน ได้รับผลที่หน้าสนใจคือ เป็นเทคโนโลยีที่ประหยัด และจากประเมินผลพบว่าเป็นวิธีการที่ดีมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาสนับสนุนระบบชลประทานเพื่อการเกษตร

1) การอนุรักษ์ทรัพยากร และระบบนิเวศ

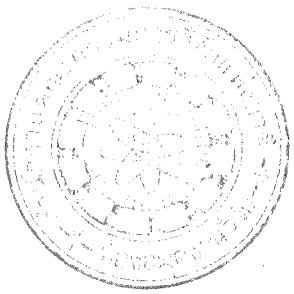
จากการเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำแบบต่างๆ พบว่าระบบการให้น้ำใต้ผิวดิน (SIS) มีลักษณะเด่นคือประสิทธิภาพการให้น้ำ จากการทดสอบในการปลูกสตรอเบอร์รี่และพืชไร่ พบว่าใช้น้ำประหยัดกว่าการใช้ระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และระบบน้ำหยด 30 เปอร์เซ็นต์ โดยการให้น้ำ และปุ๋ยแบบช้าๆ ตรงบริเวณรากพืช รวมทั้งการประหยัดพลังงานซึ่งเป็นผลดีต่อระบบนิเวศ ลดการรั่วและการซึมออกของน้ำได้ดี ไม่มีการปนเปื้อนของปุ๋ยและสารปราบศัตรูพืชในแหล่งน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ยังไม่รบกวนโครงสร้างของดิน ทำให้ความหนาแน่นของดินน้อยกว่าการให้น้ำแบบระบบน้ำหยดและป้องกันการเกิดปรสิตและเชื้อรา จึงสามารถลดสารปราบศัตรูพืชและปุ๋ยในการเพาะปลูกได้เป็นอย่างดี

2) ส่งเสริมด้านการจัดการ และเศรษฐศาสตร์สังคม

ระบบ SIS เป็นระบบที่ประหยัดน้ำและพลังงานและเพิ่มผลผลิตที่มีคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่นๆ ในการทดสอบในประเทศฮังการีได้ผลการผลิตอยู่ระหว่าง 30 – 70 เปอร์เซ็นต์ เศรษฐศาสตร์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสังคมเกษตรกร สามารถประเมินความเป็นอยู่ และความต้องการ รวมทั้งลดความเสียหาย การใช้แรงงาน และเครื่องจักร ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศ เศรษฐศาสตร์สังคม การจัดการผลประโยชน์ ล้วนมีความสัมพันธ์กัน และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการสนับสนุนในทุกๆด้าน การใช้ระบบการให้น้ำใต้ผิวดิน (SIS) ก็จะเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และการป้องกันระบบนิเวศน้ำที่ต้องการในอนาคต และเป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จทางด้านสังคม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม จากระบบชลประทานการเกษตร

Tanigawa and Yabe (1996) ได้ศึกษาระบบการให้น้ำแบบ ประหยัด ที่มีลงทุนต่ำ และสามารถให้น้ำใต้ผิวดินแบบต่อเนื่องโดยแรงดัน (Negative pressure) ระบบนี้จะให้น้ำแก่รากพืชโดยผ่านรูพรุนของดินเผา ทำให้ดินบริเวณรอบๆ ดินเผามีความชื้นให้แก่รากพืช แต่วิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมมากหนัก เพราะประสบปัญหามากมายที่ยังขาดวิธีการแก้ไข ซึ่งสามารถแบ่งปัญหาที่เกี่ยวกับการให้น้ำใต้ผิวดินโดยแรงดัน ได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

1. การให้น้ำใต้ผิวดินโดยแรงดัน
2. หลักการการเคลื่อนที่ของน้ำมีผลต่อบริเวณรากพืช
3. คุณสมบัติทางกายภาพของท่อดินเผารูพรุน
4. Ceramic ภายใต้ Bare soil และ ดินที่มีพืช
5. การพัฒนาระบบแยกฟองอากาศในท่อรูพรุน



เมื่อฝังท่อดินเผารูพรุนลงใต้ผิวดิน ดินเผาจะเป็นตัวปล่อยน้ำแบบ Negative pressure อย่างต่อเนื่อง เป็นความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นระหว่างความดันในรูพรุนของดินเผา และความดันในดิน จึงเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากรูพรุนไปยังดิน หรือจากดินไปยังดินเผารูพรุน ปัญหาสำคัญคือ การเลือกความพรุน และ Negative pressure ที่เหมาะสมในการนำมาสร้างเป็นระบบการให้น้ำที่ประสิทธิภาพ

การพัฒนาระบบแยกฟองอากาศในท่อรูพรุน

ฟองอากาศมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในท่อรูพรุน และท่อน้ำในวันที่มีอากาศร้อน ส่งผลให้เกิดการเพิ่มและลดของ Negative pressure วิธีการแยกฟองอากาศโดยการใช้กาลักน้ำเป็นวิธีการป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ดีที่สุด วิธีการให้น้ำโดยใช้แรงดัน Negative pressure ไม่เป็นที่นิยมมากนัก แต่ยังมีการพัฒนาเรื่องการควบคุมความชื้นในดินในการปลูกพืชในกระถางอยู่อย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินในการทำวัสดุรูพรุนนั้นยังไม่ชัดเจน และการประยุกต์การใช้ประโยชน์ยังน้อยกว่าการปลูกในกระถาง ดังนั้นการพัฒนาระบบการให้น้ำโดยใช้แรงดัน Negative pressure ให้มีประสิทธิภาพจะเป็นประโยชน์มากในอนาคต

Wang, Shaoying (1998) ได้ทำการประดิษฐ์กระถางให้น้ำอัตโนมัติ Water supplier pot (WSP) เป็นการพัฒนาระบบการให้น้ำพืชที่มีประสิทธิภาพการให้น้ำที่สอดคล้องต่อความต้องการของพืชตลอดการเจริญเติบโต เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการขาดน้ำของพืช

หลักการทำงานของกระถาง

1. การดึงน้ำของดิน และพืช (Negative pressure)
2. การให้น้ำที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช
3. การเคลื่อนที่ของน้ำจากแหล่งเก็บน้ำไปยังดิน

ระบบการทำงานของกระถาง WSP นี้ จะใช้หลักการทำงานของแรงดัน Negative pressure โดยพืชจะดึงน้ำออกจากดินไปใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อน้ำในดินถูกพืชนำไปใช้หรือ จากการระเหยออกจากหน้าดิน ดินจะดึงน้ำจากดินเผารูพรุนที่เป็นตัวปล่อยน้ำจากแหล่งเก็บน้ำของกระถาง WSP อย่างต่อเนื่อง และสามารถควบคุมอัตราการปล่อยน้ำให้พืชได้ตามความต้องการของพืช