1205
14313
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะเทคโนโลยีการเกษตร ห้องสมุด

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

ภาควิชาปฐพีวิทยา

เรื่อง

เครื่องวัดความชื้นในดิน แบบ Tensiometer ราคาประหยัด

LOW COST TENSIOMETER

T099782

โดย

นาย ไพบูลย์ ศุทธิพจีพงศ์

....

(ผศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว

....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่....เดือน...........พ.ศ.....

ปพ.
พ978ค
2536
เลขหมู่......
เลขทะเบียน 99782
วัน.เดือน.ปี......
ปพ.
พ978ค
2535
บ 10743440

ห้องสมุด

เครื่องวัดความชื้นในดิน แบบ Tensiometer ราคาประหยัด

LOW COST TENSIOMETER

บทคัดย่อ

เป็นการศึกษาการประกอบเครื่อง Tensiometer แบบประดิษฐ์ โดยนั้นเน้นถึงการศึกษาการนำวัสดุต่างๆ ที่หาได้ภายในประเทศ มีคุณภาพ ตลอดจนมีราคาไม่แพงจนเกินไป มาประกอบเป็นเครื่องมือชนิดนี้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการประดิษฐ์เครื่องมือชนิดนี้ ซึ่งจะทำให้การเกษตรภายในประเทศมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น การทดลองเริ่มจากการประกอบส่วนต่างๆ ต่างๆ ของ Tensiometer คือในส่วนที่เป็นท่อพลาสติกใส ได้ดัดแปลงโดยใช้ท่อ PVC ขนาด 3/8 " มาประกอบเป็นตัว Tensiometer และส่วนของ porous ก็ใช้ดินที่ทำเครื่องปั้นดินเผาภายในประเทศมาทำการผลิต โดยนำดินนั้นมาหล่อแบบกระเปาะดินเผาที่ความหนา 2 มม. เผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งทดสอบอัตราการนำน้ำโดยการตั้งเครื่องวัดความชื้นในดินในแนวดิ่งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 1 วัน) จนกระทั่งเข็มของเครื่องวัดความเครียดมีค่าสูงถึง 60 - 70 CmHg จากนั้นจุ่มส่วนที่เป็น porous ลงในน้ำ ซึ่ง porous ที่ทดสอบจะใช้เวลาประมาณ 50 - 60 วินาทีในการทำให้เข็มของเกย์วัดความเครียดลดระดับลงจนถึง 0 CmHg จากนั้นก็ได้มีการนำเครื่องมือไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดของน้ำในดินกับค่าเปอร์เซนต์ความชื้นของดิน เพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการชลประทาน ตลอดจนการติดตั้งและการนำเครื่องมือชนิดนี้ไปใช้งานและเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในอนาคต

คำนิยม

ปัญหาพิเศษที่จัดทำขึ้นในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในวิชาเรียนนี้ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดจนเป็นที่ปรึกษาที่ดีตลอดมา และต้องขอขอบคุณ ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม หัวหน้าภาคปรฐพีวิทยา ที่ได้จัดหาทุนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษแก่นักศึกษาทุกคนรวมทั้งข้าพเจ้า อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือจาก คุณนุจรี บุญแปลง และ คุณสำราญ ช้างน้อย ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้เป็นกำลังใจในการทำงานที่ดีตลอดมา

ผลความดีจากผู้ที่ได้ประโยชน์จากงานวิจัยในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ บิดา มารดา ตลอดจนครูอาจารย์ที่ได้สั่งสอนข้าพเจ้าทุก ๆ ท่าน

ไพบูลย์ ศุทธิพจีพงศ์

มีนาคม 2536

สิ่งประดิษฐ์เครื่องวัดความชื้นในดินราคาประหยัด

คำนำและวัตถุประสงค์

คำนำ

การใช้น้ำชลประทานเพื่อการเกษตรของประเทศไทยในปัจจุบันยังขาดมาตรฐานในการกำหนดปริมาณและการใช้น้ำในการเพาะปลูก ซึ่งส่วนใหญ่จะอาศัยจากความชำนาญของแต่ละบุคคลไม่มีเครื่องมือที่สามารถแสดงถึงปริมาณ (ความชื้น) ที่มีอยู่ในดินได้อย่างแน่นอน ทำให้ประสิทธิภาพการใช่น้ำชลประทานต่ำ ผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งส่วนใหญ่เครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นในดินต่างๆ เหล่านี้ปัจจุบันต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง ทำให้ไม่สะดวกในด้านการใช้งาน จึงไม่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง

ในการชลประทานหรือการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโต และให้ผลตอบแทนสูงนั้นปัญหาที่สำคัญ และมักพบอยู่เสมอสำหรับการชลประทานคือเมื่อไรจึงควรให้น้ำแก่พืช และให้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด การที่จะรู้คำตอบต่างๆ เหล่านี้เราจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับ พืช ดิน และน้ำ เช่นปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดอายุของมัน ความสามารถในการเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก ปริมาณน้ำที่จะหามาทำการชลประทานได้ และการกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น

การกำหนดการให้น้ำอาจพิจารณาได้จากลักษณะอาการของพืชที่ปลูก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับจำนวนความชื้นของดิน ซึ่งอาจวัดความชื้นของดินโดยตรง หรือการดูจากลักษณะและความรู้สึกโดยสัมผัสจากดิน ตลอดจนการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์วัดคุณสมบัติบางอย่างแล้วเปรียบเทียบเป็นจำนวนความชื้นที่ดินมีอยู่ในขณะนั้น

ความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในดิน โดยมากเป็นน้ำที่ไม่เป็นอิสระ กล่าวคือ มักจะถูกดูดยึดไว้ที่ผิวของอนุภาคดินและช่องว่างขนาดเล็กในดิน (capillary pore) จึงทำให้น้ำในดินขณะที่ดินยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated) จะอยู่ในสภาวะที่มีความเครียด (tension) ซึ่งความเครียดนี้จัดเป็นแรงประเภทเดียวกับความดัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามซึ่งก็คือแรงดูดนั่นเอง ซึ่งค่าความเครียดของน้ำในดินจะแสดงถึง ความยากง่ายในการที่รากพืชจะดูดน้ำแต่ละหน่วยปริมาตรไว้เมื่อ

น้ำกับอนุภาคดินอยู่ร่วมกัน ดังนั้นความเครียดของน้ำในดิน จึงเป็นสิ่งที่พืชจะต้องเอาชนะในการดูดแต่ละอณูของน้ำไปจากดิน กล่าวคือพืชจะต้องใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำอย่างน้อยเท่ากับความเครียดของน้ำในดินจึงจะสามารถดูดน้ำไปใช้ได้ การบอกถึงปริมาณน้ำในดินเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ เพราะไม่ทราบว่าน้ำในดินขณะนั้น มีระดับความเป็นประโยชน์มากน้อยเพียงใด แต่ถ้าบอกเป็นระดับความเครียดของน้ำในดิน ก็เท่ากับบอกให้ทราบถึงระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินขณะนั้น ๆ ซึ่งระดับความเครียดของน้ำในดินสามารถวัดโดยเครื่องมือที่เรียกว่า Tensiometer ซึ่งจะวัดความเครียดออกมาในรูปของความเครียดเมตริกของน้ำในดิน Tensiometer นี้เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้วัดและศึกษาเกี่ยวกับความชื้นในดินได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากที่จะใช้ประกอบการพิจารณาการให้น้ำชลประทานแก่ดินและพืช

Tensiometer นี้ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ คือกระเปาะดินเผา (ceramic cup), ท่อกลวงที่เชื่อมระหว่างกระเปาะดินเผากับเครื่องวัดความเครียด, เครื่องวัดความเครียดและฝาปิด การศึกษาเกี่ยวกับการทำเครื่องมือชนิดนี้ ได้ทำการดัดแปลงเพียงส่วนประกอบบางส่วนของ Tensiometer ที่เป็นต้นแบบจากต่างประเทศเท่านั้น แต่ยังคงอาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตให้ต่ำที่สุด เพื่อให้มีการใช้เครื่องมือชนิดนี้เพื่อการชลประทานทางการเกษตรอย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพ การดัดแปลงส่วนประกอบของ Tensiometer นี้ ตระหนักถึงค่าใช้จ่ายและความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ในการทำ และวิธีการประกอบ การทำเครื่องมือในครั้งนี้ได้นำเอาวัสดุดินเผา (ceramic) ในประเทศไทยมาทำเป็นกระเปาะดินเผา (porous cup) ใช้ท่อ PVC แทนท่อพลาสติกใสที่เชื่อมต่อระหว่างกระเปาะดินเผากับเครื่องวัดความเครียด ใช้เครื่องวัดความเครียดแบบ Vacuum guage ของไต้หวันและใช้จุกยางเป็นฝาปิด อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประกอบเหล่านี้ สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงไปเป็นอย่างมาก ซึ่งทำให้เครื่องมือชนิดนี้มีราคาถูกและเกษตรกรทั่วไปสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้อย่างกว้างขวาง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประดิษฐ์เครื่องวัดความชื้นในดิน(Tensiometer) ที่มีราคาถูก
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดความเครียดของน้ำในดิน
3. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้เกิดทักษะแนวความคิดในการใช้วัสดุที่มีภายในประเทศมาดัดแปลงเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองงานวิจัยในอนาคตต่อไป

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถที่จะประดิษฐ์ Tensiometer ที่มีราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดีทัดเทียมหรือดีกว่าจากต่างประเทศ โดยใช้วัสดุต่าง ๆ ที่มีภายในประเทศ ตลอดจนสามารถนำมาใช้งานในภาคสนามได้สะดวกและมีคุณภาพ

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ผู้ทำการทดลอง

นายไพบูลย์ ศุทธิพจีพงศ์ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ระยะเวลาทำการทดลอง

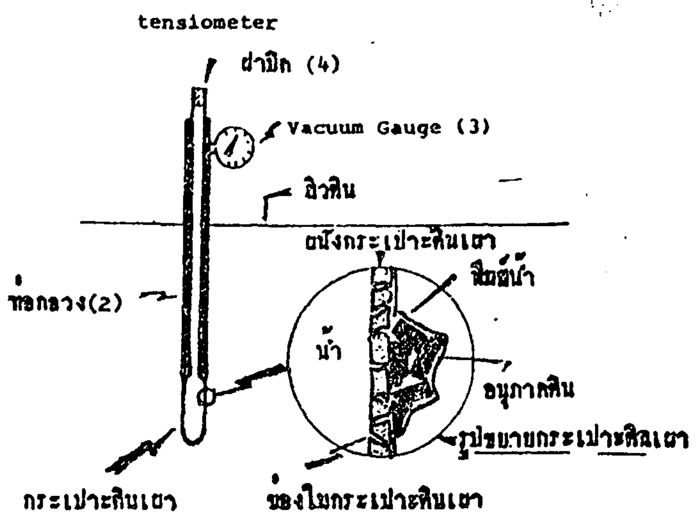
มีนาคม 2535 - เมษายน 2536

ตรวจเอกสาร

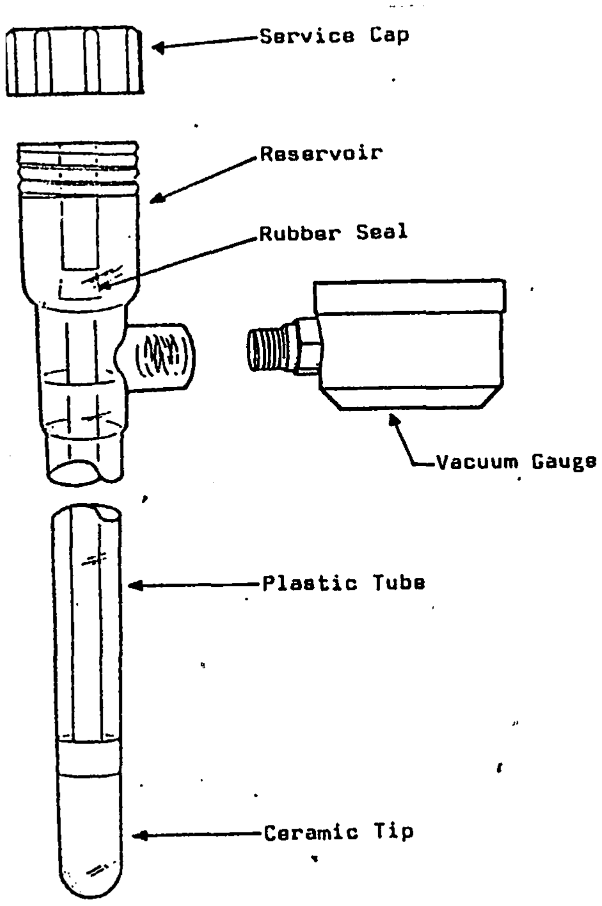
ศุภมาศ และคณะ (2523) Tensiometer เป็นคำสนธิระหว่างคำว่า Tension กับคำว่า Meter

สำอาง (2513) Tensiometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเครียดเมตริก (matric tension or matric suction) ของน้ำในดิน ความเครียดประเภทนี้เกิดจากอิทธิพลดูดยึดที่อนุภาคดินมีต่อน้ำในดิน ซึ่งความเครียด หมายถึง แรงดึงหรือแรงฉุด (pull) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ จึงเป็นแรงประเภทเดียวกับความดัน (pressure) แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับความดัน ดังนั้นสารใดก็ตามที่มีแรงดึงหรือแรงฉุดมากระทำย่อมเป็นสารที่มีความเครียด ความชื้นที่ดินดูดยึดไว้จึงเป็นความชื้นที่มีความเครียด ความเครียดประเภทนี้จะผันแปรกลับกับระดับความชื้นของดิน กล่าวคือเมื่อระดับความชื้นของดินสูง ความเครียดเมตริกของความชื้นของดินจะต่ำและเมื่อระดับความชื้นของดินต่ำ ความเครียดเมตริกของดินจะสูง

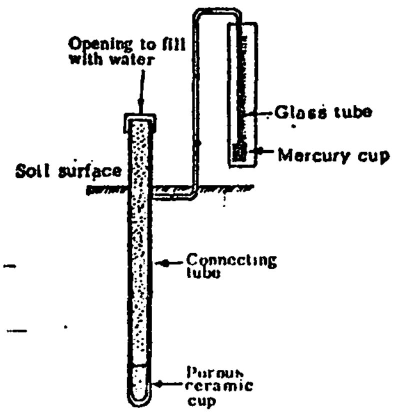
วิบูลย์ (2526) Tensiometer ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ท่อกลม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกใส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร (3/4 นิ้ว) ยาวตั้งแต่ประมาณ 15 ถึง 150 เซนติเมตร แล้วแต่ความลึกของดินตรงจุดที่ต้องการวัด ที่ปลายของท่อจะมีกระเปาะพรุน (porous cup) ขนาดเดียวกับท่อ ยาวประมาณ 6 เซนติเมตร และมีปลายกลมมน ปลายอีกด้านหนึ่งมีฝาเกลียวปิด-เปิดได้ ก่อนที่จะถึงท่อด้านข้างจะมีฝาเกลียวเป็นข้อต่อเข้ากับเกย์วัดสูญญากาศเพื่อใช้วัดค่าสูญญากาศในท่อพลาสติก



รูปที่ 2



รูปที่ 1



รูปที่ 3

อิทธิสุนทร (2526) จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นส่วนขยายของกระเปาะดินเผาขณะที่สัมผัสกับอนุภาคของดิน ผนังของกระเปาะดินเผามีคุณสมบัติพิเศษโดยมีช่องว่างขนาดเล็ก และมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมออยู่เป็นจำนวนมาก ขณะที่กระเปาะดินเผาเปียกช่องว่างในกระเปาะดินเผาจะบรรจุน้ำเต็มทุกส่วน ความตึงผิวของน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศจะเป็นตัวอุดรูของช่องว่างขนาดเล็กนี้ไว้ โดยน้ำจะสามารถไหลผ่านช่องว่างนี้ได้ แต่ฟิล์มน้ำจะไม่ยอมให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านโดยฟิล์มน้ำจะทำหน้าที่คล้ายแผ่นยางบางๆ เคลือบปิดช่องว่างนี้ และฟิล์มน้ำจะเชื่อมต่อเป็นผืนเดียวกับฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคของดิน ขณะที่ดินแห้งฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคดินจะบางลง และยึดติดกับอนุภาคดินด้วยแรงที่มากขึ้น จะเกิดแรงดึงน้ำออกจาก Tensiometer ผ่านทางช่องว่างของกระเปาะดินเผา ทำให้น้ำใน Tensiometer เกิดความเครียด (Tension) ขึ้น และความเครียดนี้จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งการไหลของน้ำจากภายใน Tensiometer ออกสู่ดินหยุด จุดนี้ความเครียดน้ำในดินจะเท่ากับความเครียดน้ำใน Tensiometer ในทางกลับกันถ้ามีการให้น้ำแก่ดินเนื่องมาจากฝนตกหรือการชลประทาน จะทำให้ความเครียดของน้ำในดินลดลง ในขณะที่ความเครียดของน้ำใน Tensiometer ยังสูงอยู่ น้ำจะไหลจากดินเข้าสู่ Tensiometer ผ่านทางช่องกระเปาะดินเผา มีผลทำให้ความเครียดของน้ำใน Tensiometer ลดลงเท่ากับความเครียดของน้ำในดิน น้ำก็จะหยุดไหล

Richards and Wadleigh (1952) ช่วงการทำงานของ Tensiometer จะสามารถวัดความเครียดของน้ำในดินได้ตั้งแต่ 0 - 0.85 บรรยากาศ ถ้าความเครียดสูงกว่า 0.85 บรรยากาศ กระเปาะดินเผาจะเกิดการรั่วอากาศ ทำให้เครื่องมือไม่สามารถวัดความเครียดสูงกว่านี้ได้

Richards (1965) กล่าวว่า ส่วนประกอบของ Tensiometer ควรประกอบไปด้วยวัสดุที่คงทนต่อการใช้งานทั้งในสภาพไร่นาและในกระถางทดลอง จุดข้อต่อต่าง ๆ และวัสดุที่ใช้ยกเว้นกระเปาะดินเผาเท่านั้นจะต้องไม่มีการรั่วของน้ำและอากาศ เมื่อทำให้เปียกจะต้องทนต่อแรงกดจากอากาศได้อย่างน้อย 1 บาร์ (15 ปอนด์/ตารางนิ้ว) โดยไม่มีฟองอากาศซึมออกเมื่อแช่อยู่ในน้ำ ความสามารถของกระเปาะดินเผาที่ดีอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในการให้น้ำซึมผ่านนั้นจะต้องมีน้ำซึมผ่านผนังกระเปาะดินเผาได้ในปริมาตร มากกว่า 1 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อให้ความดัน

1 บาร์ ส่วนความไวของเครื่องวัดสุญญากาศจะต้องการปริมาตรเพียงเล็กน้อยในการให้น้ำเข้าแทนที่คือ ประมาณ 1 มิลลิลิตรต่อการเปลี่ยนความกดดัน 1 บาร์

อิทธิสุนทร (2533) เครื่องวัดความเครียดมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ คือ Vacuum guage, mercury manometer, closed-arm manometer นอกจากนี้ยังมีแบบ backword guage-type transducer ซึ่งเป็นเครื่องวัดความเครียดที่อาศัยหลักทางอิเลคโทรนิคมาใช้งาน ซึ่งหลักการทำงานของ transducer คือ สัญญาณที่ส่งออกจาก pressure transducer ขนาดเป็นมิลลิโวลต์ (mV) จะถูกขยายสัญญาณโดยภาคสัญญาณและถูกนำไปเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่เราตั้งไว้ [คือค่าความเครียดที่เราตั้งไว้ (คือค่าความเครียดที่เราตั้งไว้เพื่อให้สวิสซ์ทำงาน)] เมื่อค่าความเครียดวัดได้เท่ากับค่าอ้างอิง อุปกรณ์เปรียบเทียบสัญญาณจะสั่งให้รีเลย์ (relay) ทำงาน ซึ่งรีเลย์จัดเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เหมือนกับสวิสซ์ปิดหรือเปิดวงจรไฟฟ้าตามต้องการ ข้อดีของอุปกรณ์นี้ คือ สามารถต่อพ่วง Tensiometer กับเครื่อง Recorder หรือกับ Microcomputer เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียดของน้ำในดินอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาความชื้นในดิน

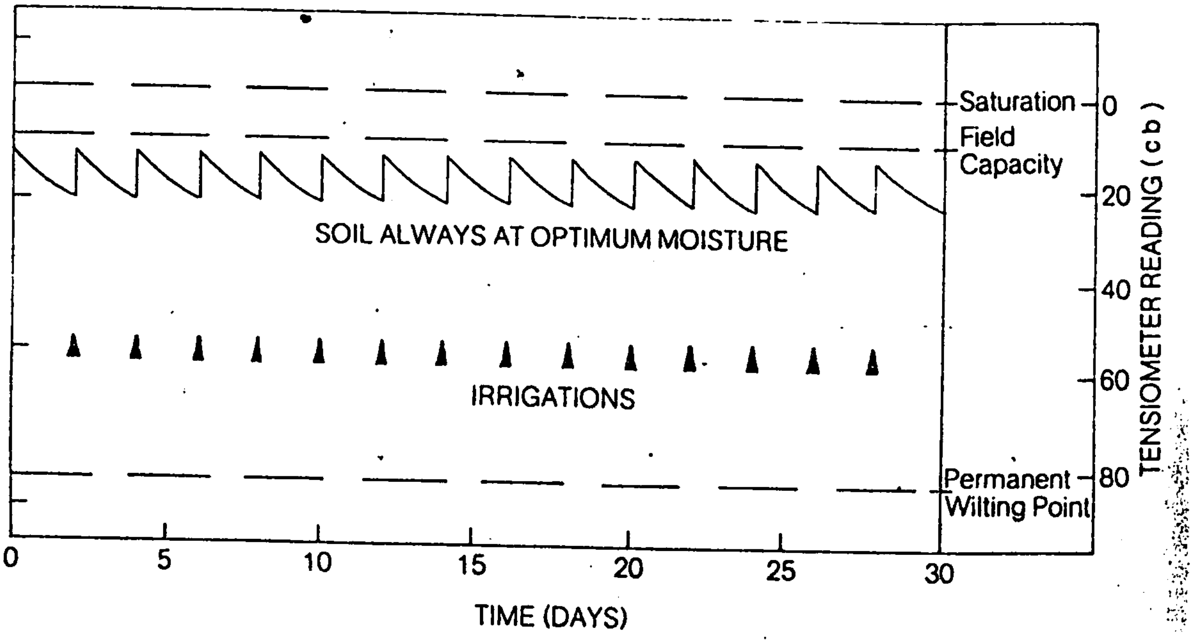
Michaell (1984) Tensiometer สามารถช่วยให้ระบบชลประทานมีประสิทธิภาพ ถ้าเรารู้ถึงวิธีการที่จะประยุกต์ (apply) ใช้เพื่อให้มีน้ำใช้ได้อย่างพอเพียงตลอดฤดูกาลเพาะปลูกโดยมีวิธีการติดตั้งที่มีระเบียบแบบแผนและถูกต้องในพื้นที่เพาะปลูก รากพืชที่มีประสิทธิภาพจะถูกจำกัดให้อยู่ในบริเวณที่มีการให้น้ำแก่พืช ซึ่ง Tensiometer ก็จะถูกจำกัดให้อยู่ในบริเวณนั้น ปัจจัยที่เป็นกุญแจสำคัญของตำแหน่งของ Tensiometer คือความไวต่อการตอบสนองของส่วนปลายของ Tensiometer ในเขตที่ความชื้นแพร่กระจายไปถึง (wetted onion) ปกติ Tensiometer จะปักในตำแหน่งที่ไกลกว่า 12 นิ้ว แต่ไม่เกิน 18 นิ้ว นับจากจุดที่มีการกระจายความชื้น (emitter) ซึ่งการติดตั้ง Tensiometer สามารถทำได้ดังนี้ คือใช้แท่งเหล็กกลมขนาด 7/8 นิ้ว (หรือท่อเหล็กมาตรฐานขนาด 1/2 นิ้ว) นำร่องลงไปในดินเพื่อขุดให้เป็นหลุมในตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นดัน Tensiometer ลงไปให้ถึงระดับความลึกที่ต้องการ ณ ที่ตำแหน่งนี้เกย์วัดความเครียดจะต้องอยู่สูงจากพื้นดิน 2 - 3 นิ้ว ดินบริเวณรอบ ๆ Tensiometer จะต้องถูกอัดแน่นเพื่อไม่ให้น้ำจากผิวดินไหลลงสู่ด้านล่าง ที่สำคัญคือ วัตถุพรุนที่อยู่ส่วนปลายจะต้องสัมผัส

อย่างใกล้ชิดกับดินที่ตำแหน่งนั้น จึงจะทำให้ Tensiometer อ่านค่าได้ถูกต้อง ในระหว่างการติดตั้งถ้าพบหินหรือสิ่งกีดขวางที่ปะทะเมื่อทำการเจาะหลุม ให้ย้ายตำแหน่ง Tensiometer ไปตำแหน่งที่ใกล้เคียง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากการติดตั้ง

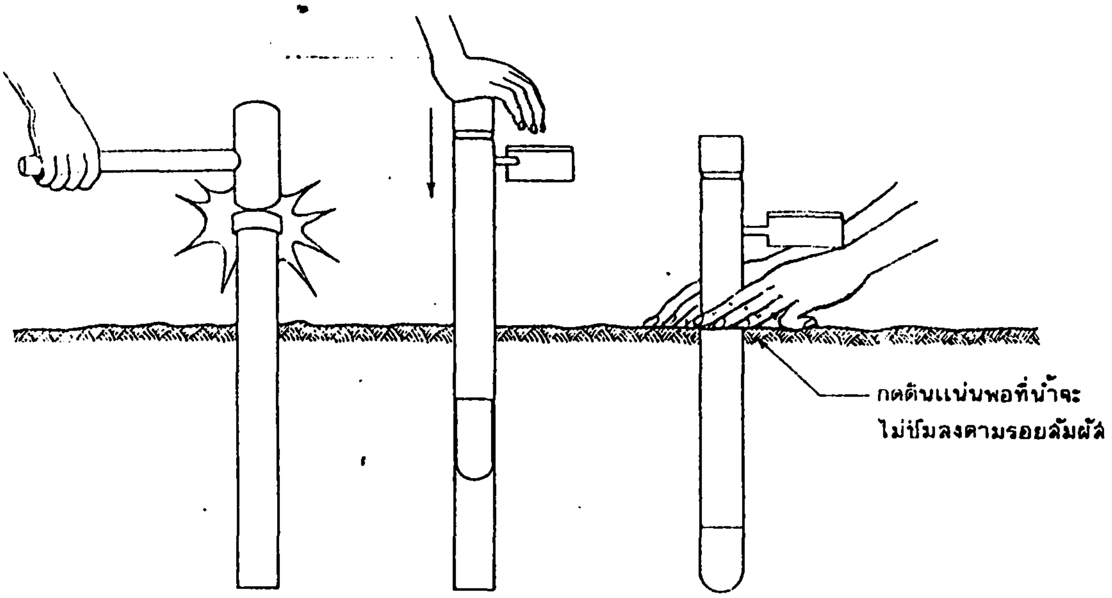
อภิชาติ และคณะ (2524) หลังจากการติดตั้งแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง แรงดึงความชื้นของดินที่อยู่รอบๆ กระเปาะพรุนจะอยู่ในสภาวะสมดุลย์กับสูญญากาศในกระเปาะพรุน ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากเกย์สูญญากาศ ซึ่งปกติจะมีสเกล 0 - 100 เซนติบาร์ ซึ่งค่าที่อ่านได้ต่างๆ มีความหมายดังนี้

0	เซนติบาร์	หมายความว่า	ดินเปียกมาก ความชื้นอยู่ที่จุดอิ่มตัว
10 - 25	"	"	ความชื้นพอเหมาะสำหรับพืชที่ต้องการความชื้นสูงความชื้นอยู่ที่ประมาณความชื้นชลประทาน
> 25	"	"	พืชที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดน้ำ และพืชรากตื้นจะรู้สึกขาดน้ำ
40 - 50	"	"	พืชทั่วไปที่มีรากลึกกว่า 50 เซนติเมตรจะเริ่มรู้สึกขาดน้ำ
70	"	"	พืชที่มีรากลึกกว่า 75 เซนติเมตร ที่ปลูกในดินเนื้อละเอียดปานกลางจะเริ่มรู้สึกขาดน้ำ
80	"	"	ควรจะให้น้ำได้แล้วถึงแม้ว่าพืชจะไม่แสดงอาการขาดก็ตาม

และหลังจากการติดตั้งแล้วควรตรวจสอบน้ำใน Tensiometer อีกครั้งหนึ่ง ถ้าพบว่า มีน้ำหายไปจะต้องเติมน้ำให้เต็ม ในการติดตั้ง Tensiometer ควรจะเลือกบริเวณที่จะไม่กีดขวางการทำงานในแปลงเพาะปลูก แต่ถ้าจำเป็นจะต้องทำก็ควรจะมีเครื่องหมายบอกไว้ หรือทำที่ป้องกันดังรูป



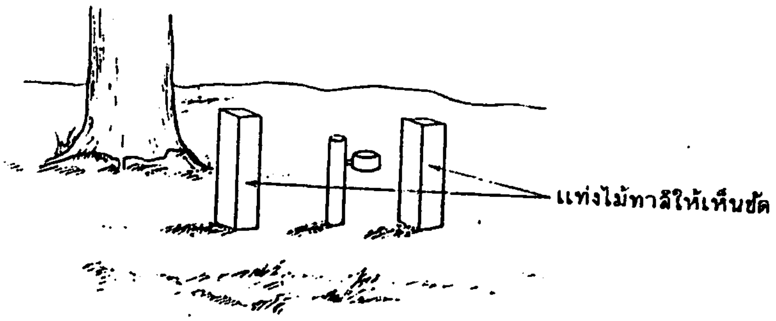
Michaell (1984) ตารางการให้น้ำที่อ่านได้จาก Tensiometer ปริมาตรของน้ำที่จะใช้ในการชลประทานจะต้องมีปริมาณเพียงพอสำหรับดินที่อยู่ในบริเวณรากพืช แต่จะต้องมีค่าน้อยกว่า ความจุความชื้นสนาม (field capacity) เหตุผลก็คือ ถ้าปริมาณน้ำที่ให้มากกว่าจุด F.C. เพียงเล็กน้อย จะเกิดการสูญเสียน้ำ คือน้ำจะถูกส่งผ่านลึกลงไปเลยขอบเขตรากพืช ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารเกิดขึ้นด้วย ในทางเดียวกัน ถ้าสามารถรักษาระดับความชื้นในดินให้มีค่าต่ำกว่า F.C. ได้แล้วนั้นจะทำให้สามารถเพิ่มแหล่งกักเก็บน้ำไว้ได้เมื่อเกิดฝนตก

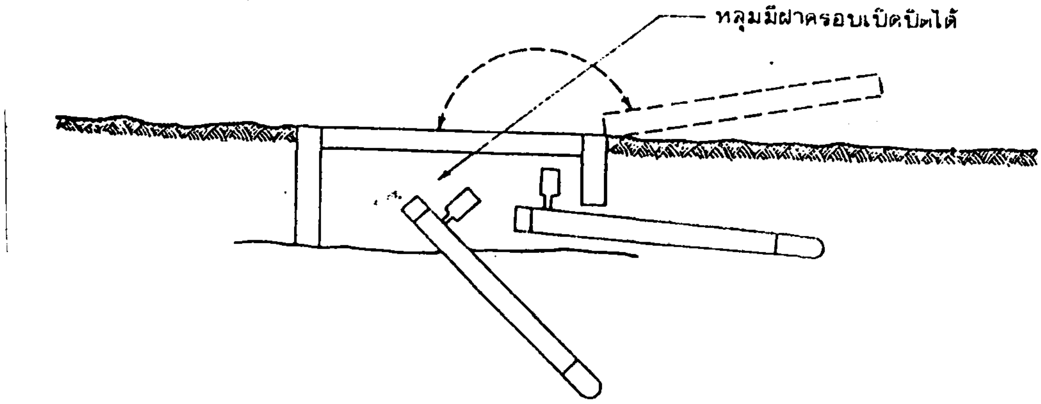


การเตรียมหลุม

การสอด Tensiometer ลงไปในหลุม

Tensiometer ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว





การติดตั้ง Tensiometer

วิธีการทดลอง

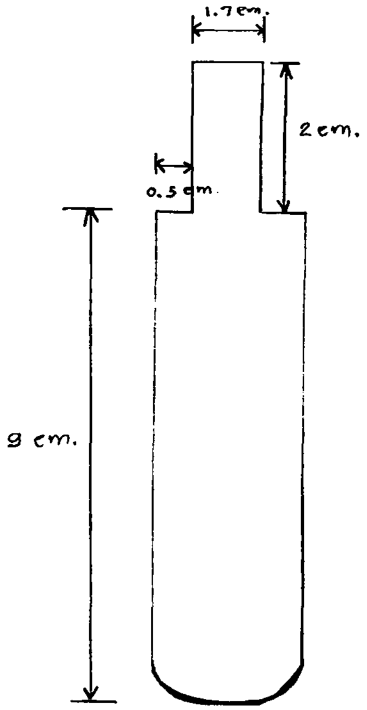
วิธีการทำกระเปาะดินเผา

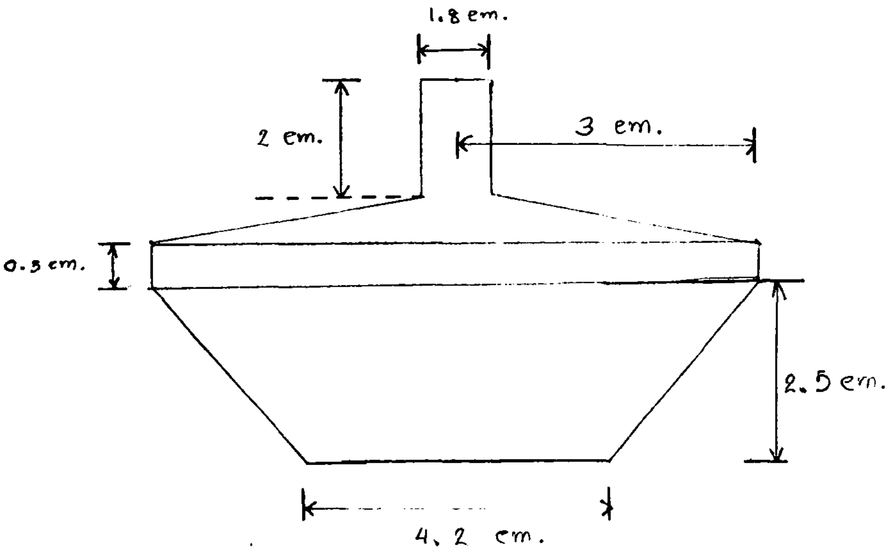
1. การทำแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทำนั้น ทำจากเหล็กที่กลึงให้มีรูปร่างลักษณะต่างกัน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ

1.1 รูปทรงกระบอกปลายมน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1.8 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร ส่วนบนมีลักษณะเป็นก้านทรงกระบอกขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 เซนติเมตร มีความยาวก้าน 2 เซนติเมตร แม่พิมพ์ที่มีลักษณะแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่มีระบบรากลึกทั่วๆ ไป เช่นไม้ผล, ไม้ยืนต้น ฯลฯ

1.2 รูปถ้วยฐานแคบ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่กว้างที่สุดเท่ากับ 6 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่เป็นฐานเท่ากับ 4.2 เซนติเมตร จากส่วนที่กว้างที่สุดของส่วนที่เป็นฐานยาว 6 เซนติเมตร ด้านบนมีลักษณะเป็นก้านเช่นเดียวกับแบบแรก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร แม่พิมพ์ลักษณะเช่นนี้เหมาะสำหรับการทำแม่พิมพ์ porous เพื่อใช้กับพืชระบบรากตื้น เช่นพืชผักชนิดต่าง ๆ





สาเหตุที่ต้องออกแบบให้ porous มีลักษณะภายนอกที่แตกต่างกัน ก็คือ เมื่อติดตั้ง Tensiometer ลงไปในดินแล้ว ทุกส่วนของ porous จะต้องสัมผัสกับดิน ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นเมื่อประกอบ porous ในแบบที่ 1.1 เข้ากับ Tensiometer แล้วนำมาติดตั้งใช้กับพืชในระบบรากตื้น (ลึกประมาณ 5 - 10 ซ.ม.) โดยติดตั้งลงบนพื้นที่เพาะปลูกในแนวดิ่ง จะทำให้ Tensiometer ไม่สามารถตั้งตรงได้ในแนวดิ่ง อาจเกิดการหักล้มได้ง่ายเนื่องพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง porous กับดินมีน้อย จึงต้องออกแบบให้ porous มีพื้นที่ผิวค่อนข้างมากในแนวราบเพื่อให้เกิดความมั่นคงในทางตำแหน่งมากขึ้น

2. การทำแม่แบบปูนปลาสเตอร์

2.1 การทำที่ล้อมแบบ

- ที่ล้อมแบบที่ใช้ในการทำแม่แบบปูนปลาสเตอร์นั้น ทำด้วยไม้อัดตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 2 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว และ กว้าง 4 นิ้ว ยาว 3 นิ้ว สำหรับแม่พิมพ์เหล็กแบบ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

2.2 การทำแม่แบบปูนปลาสเตอร์

2.2.1 นำที่ล้อมแบบที่ได้จากข้อ 2.1 อย่างละ 2 แผ่น มาประกอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม แล้วใช้ยางรัดให้แน่น

2.2.2 ทาวาสลีนที่ล้อมแบบและแม่พิมพ์เหล็กให้ทั่วทุกด้าน

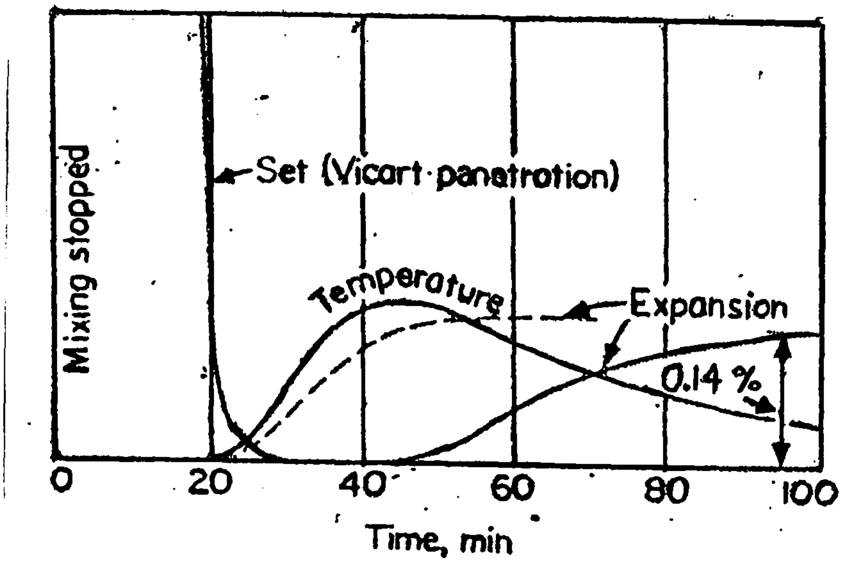
2.2.3 ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำในอัตราส่วน ปูน : น้ำ = 2:1 กวนให้เข้ากัน โดยพยายามคนไปในทิศทางเดียวกัน เพื่อให้เกิดฟองอากาศน้อยที่สุด จากนั้นเทปูนปลาส-เตอร์ลงในที่ล้อมแบบประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของที่ล้อมแบบ ทิ้งไว้สักครู่นำแม่พิมพ์เหล็กกดลงบนปูนปลาสเตอร์ ให้แม่พิมพ์เหล็กจมลงในปูนปลาสเตอร์ลึกประมาณเลยครึ่งหนึ่งของความหนาของแท่งเหล็กกลึงเล็กน้อย โดยให้ส่วนที่เป็นก้านของแท่งเหล็กกลึงชิดขอบด้านหนึ่งของที่ล้อมแบบ

2.2.4 ทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง จากนั้นแกะที่ล้อมแบบออกและทำการตกแต่งผิวหน้าของแม่แบบปูนปลาสเตอร์ให้เรียบด้วยมีด การตกแต่งแม่แบบปูนปลาสเตอร์นี้จะต้องทำในขณะที่ปูนปลาสเตอร์ยังหมาด ๆ อยู่

2.2.5 เจาะรูเพื่อทำเป็นที่ล็อคแม่แบบทั้ง 4 ด้าน ของแม่แบบปูนปลาสเตอร์โดยใช้แท่งแก้วด้านปลายกลมหมุนลงบนผิวหน้าของแม่แบบปูนปลาสเตอร์ในขณะที่ยังอ่อนตัวอยู่

2.2.6 ทาวาสลีนให้ทั่วทั้งแม่พิมพ์เหล็กและแม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่ได้จากขั้นต้นให้ทั่ว จากนั้นดำเนินตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 2.2.1 - 2.2.5 ก็จะได้แม่แบบปูนปลาสเตอร์สำหรับการทำ porous

หมายเหตุ : เมื่อได้แม่แบบปูนปลาสเตอร์ 1 ชุดแล้วควรเขียนหมายเลขกำกับที่ด้านข้างของแม่แบบปูนปลาสเตอร์ทั้ง 2 แผ่น เพื่อป้องกันการสับสนในการเทแบบหล่อ (แม่แบบปูนปลาสเตอร์ทั้งคู่จะต้องประกบกันได้สนิท ไม่มีร่องใดๆ เพราะจะทำให้น้ำ slip ที่เทลงในแบบเกิดการรั่วซึมตามร่องออกมาได้) และอาจจะใช้แม่แบบปูนปลาสเตอร์แผ่นใดแผ่นหนึ่งเป็นแม่แบบในการเตรียมแบบปลาสเตอร์ในคู่ๆ ต่อๆ ไปได้



ปรีดา (2527) กราฟหลังจากการผสมน้ำและปลาสเตอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมให้เข้ากันดี ประมาณ 20 นาที ปลาสเตอร์จะเริ่มแข็งตัวสมบูรณ์ภายในเวลา 30 นาที การแข็งตัวจะเกิดจากผลึกรูปเข็ม (Viscart needle) สายก่ายกันไปมา อุณหภูมิจะเริ่มสูงสุดเมื่อเวลา

ผ่านไปประมาณ 40 นาที การขยายตัวจะเริ่มช้าลง จากกราฟแสดงว่า การรวมตัวของปลาสเตอร์กับน้ำจะกินเวลาถึง 20 นาที จะทำให้ส่วนผสมข้นขึ้นมีลักษณะคล้ายวุ้นและจะแข็งตัวภายในเวลา 10 นาที แล้วตกผลึกออกมาพร้อมกับคายความร้อนออกมาและมีการขยายตัว

สิ่งสำคัญในการทำแบบปลาสเตอร์คือ การทำให้แบบปลาสเตอร์มีคุณสมบัติทางกายภาพที่สม่ำเสมอ ซึ่งทำได้โดยการชั่งทั้งน้ำและปลาสเตอร์อย่างถูกต้องก่อนที่จะผสมกัน นอกจากนี้เวลาที่แช่ปลาสเตอร์กับน้ำทิ้งไว้ก่อนกวนผสมกัน เวลาที่ใช้ในการกวนผสมก็ต้องมีการควบคุม เวลาที่ใช้ในการกวนผสมนาน การแข็งตัวของปลาสเตอร์ก็จะเร็ว ปัจจุบันเรายอมรับว่า การกวนผสมควรใช้อัตราเร็ว 1700 รอบต่อนาที ผิวหน้าของแบบมักจะเกิดรูเล็ก ๆ เนื่องจากฟองอากาศถูกกักอยู่ ฟองอากาศเหล่านี้ขจัดออกได้ด้วยการใช้เครื่องผสมที่ดี พร้อมกับการสั่นสะหรือเคาะทั้งก่อนเทและหลังเทน้ำปลาสเตอร์ นอกจากนี้ การช้อนฟองอากาศที่ผิวหน้าของน้ำปลาสเตอร์ออกก็จะช่วยลดรูที่อาจเกิดขึ้นได้บ้าง ถ้ามีการเทน้ำปลาสเตอร์ลงบนแบบปลาสเตอร์ ต้องทาผิวปลาสเตอร์ด้วยน้ำสบู่เสียก่อน เพื่อให้ลื่นและป้องกันแรงดูดซึ่งกันและกันระหว่างปลาสเตอร์ทั้งสอง ซึ่งจะทำให้แกะแบบได้ง่ายขึ้น

3. การหล่อแบบกระเปาะดินเผาแบบหล่อกลวง (Drain casting) มีดังนี้ คือ

3.1 บดดินแล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

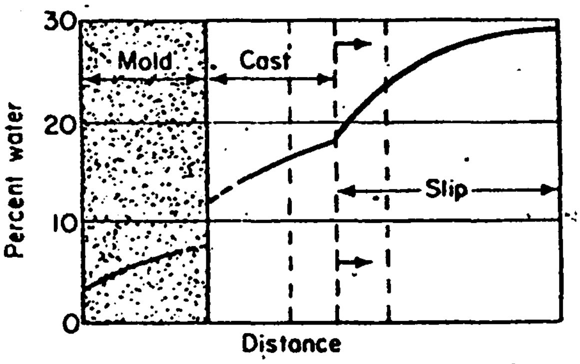
3.2 ผสมดินกับน้ำในอัตราส่วน 30 - 40 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร จากนั้นเติมโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) ที่เตรียมไว้ในรูปของสารละลาย 2 - 3 หยด

3.3 ใช้เครื่องปั่นดิน ทำการตีดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน ของผสมที่ได้จะเรียกว่า Slip ซึ่งน้ำ Slip ที่ดีเมื่อนำแท่งแก้วจุ่มลงไปใน Slip แล้วยกขึ้นมา น้ำ Slip จะต้องไหลเป็นสาย

3.4 นำแม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่แห้งสนิท มาประกอบกันเป็นแม่พิมพ์จากนั้นทำการเทน้ำ Slip ลงในแม่พิมพ์โดยเทผ่านแท่งแก้วให้ไหลเป็นทางเดียวกันโดยตลอด เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศในระหว่างการเทน้ำ Slip น้ำ Slip จะค่อย ๆ แห้งจนได้ความหนาประมาณ 2 มิลลิลิตร เทสารละลายดินที่เหลือออกจากแบบหล่อและตั้งทิ้งไว้จนดินเกือบแห้ง แกะแบบออก นำกระเปาะดินที่ได้ตั้งทิ้งไว้ให้ดินแห้งสนิท

3.5 ทำการเผา(Firing)นำกระเปาดินที่ได้มาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ปรีดา (2527) น้ำดิน (Slip) ที่เทลงในแบบประกอบด้วยน้ำประมาณ 25 % น้ำในน้ำดินจะถูกปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากรูพรุนในแบบ น้ำดินบริเวณผิวแบบจะข้นขึ้นเรื่อย ๆ ในที่สุดจะเหลือแต่เนื้อดินสะสมที่ผิวแบบ กลายเป็นผนังของผลิตภัณฑ์ ผนังผลิตภัณฑ์ (cast) หนามากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป แบบ (mold) ก็จะชื้นมากขึ้นเช่นกัน ดังรูป



น้ำดินสำหรับเทแบบประกอบด้วย ดินและวัสดุอื่น ๆ ซึ่งกระจายลอยตัวอยู่ในน้ำ น้ำในดินควรจะมี % ต่ำเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่น้ำดินก็ต้องมีการไหลตัวดี การที่จะทำให้น้ำดินมีคุณสมบัติเช่นนี้ จะต้องนำสารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติช่วยทำให้กลุ่มดินมีการกระจายและลอยตัวได้ดีใส่ลงไป สารเคมีที่ใช้ช่วยการกระจายตัวและการลอยตัวของเนื้อดินนั้นเป็นของผสมระหว่างโซเดียมซิลิเกตและโซดาแอช โซเดียมซิลิเกตที่นิยมใช้มีอัตราส่วน Na_2/Sio_2 1:3.90

นพพร (2525) ทำการหล่อ porous แบบหล่อกลวง (Drain casting) พบว่า การหล่อ porous แบบหล่อกลวงหนา 2 มิลลิเมตร ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติดีที่สุด กล่าวคือ มีอัตราการนำน้ำใช้เวลาเพียง 4 นาที ในการทำให้ระดับปรอทสูงถึง 55 เซนติเมตร ลดลงเหลือที่ระดับ 0 เซนติเมตร และถ้าทำการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการนำน้ำยิ่งลดต่ำลงมาก

ทวี(2525) เนื้อดินบริสุทธิ์เมื่อนำมาเผาจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ผลจากการเผา
400 - 1400	น้ำในอณูดินเกิดจากการแยกตัวออก
	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O = 2H_2O+2SiO_2Al_2O_3$
	เกิดการจับตัวระหว่าง $Al_2O_3+SiO_2$
2200	เกิดการรวมตัวกันของผลึกแร่ในดินซึ่งอยู่ในรูป
	Cristobalite หรือ Tristobalite
2280	เกิดการรวมตัวระหว่าง Mulite และ
	Cristobalite
2280 - 3290	เนื้อดินเริ่มหลอมตัว
3290	เนื้อดินหลอมเป็นจุดสุกตัว

ผลการทดลอง

น้ำหนักก่อนเผา

ความหนาของ porous (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)		
	Rep. I	Rep. II	Rep. III
1 mm.	21.15	22.67	23.21
2 mm.	22.23	21.76	26.45

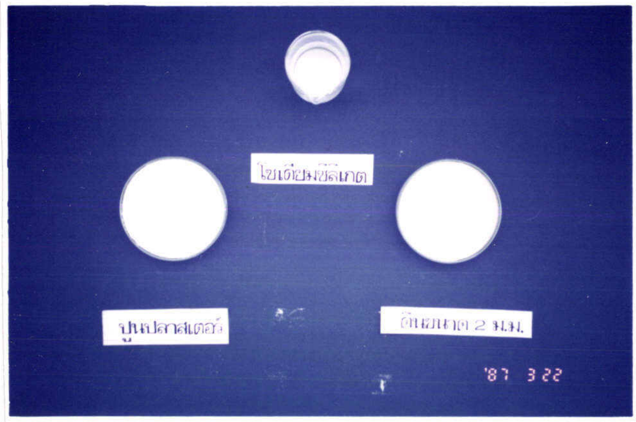
น้ำหนักหลังเผา

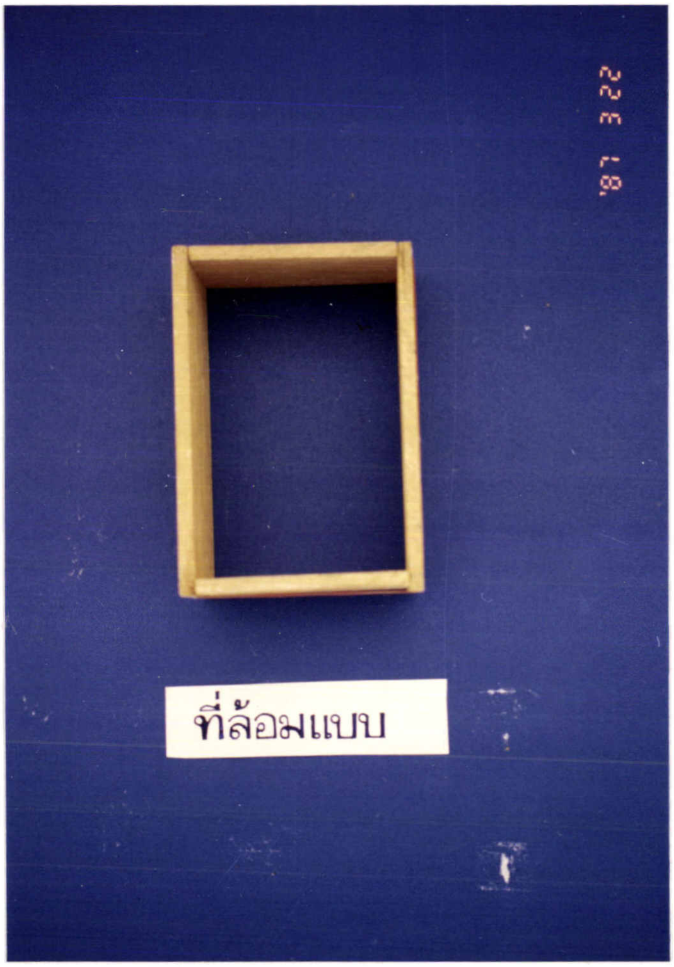
ความหนาของ porous (มม.)	น้ำหนัก (กรัม)		
	Rep. I	Rep. II	Rep. III
1 mm.	19.74	21.19	21.69
2 mm.	20.73	21.42	24.88

99782

จากผลการทดลองการเผา porous ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่า เราสามารถจะประเมินคุณภาพของ porous ได้คร่าวๆ โดยสังเกตุที่พิสัยของน้ำ-หนัก porous โดยการชั่งน้ำหนัก porous ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพทางด้านความพรุนต่างๆ ตลอดจนความหนาของผลิตภัณฑ์ จนได้มาตรฐานแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำ porous ที่ได้จากการเผามาชั่งน้ำหนักเพื่อเปรียบเทียบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับ porous มาตรฐานหรือไม่ จากตาราง พบว่า porous ที่ความหนา 2 mm. ใน Rep. III มีน้ำหนักแตกต่างจากกลุ่มเดียวกันเป็นอย่างมาก และเมื่อทำการผ่า porous เพื่อพิสูจน์พบว่า ความหนาของ porous ที่บริเวณส่วนปลายด้านที่กลมมน มีความหนามากผิดปกติ คือประมาณ 3.5 mm. ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในขั้นตอนการเทน้ำ slip ออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอรช้าจนเกินไปหรืออาจเกิดจากการที่ไม่ได้คว่ำแม่พิมพ์ในแนวดิ่งโดยให้ด้านที่เป็นก้าน porous คว่ำลง ทำให้ดินในน้ำ slip เกิดการตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ทำให้ส่วนปลายของ porous มีความหนาผิดปกติ

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแม่แบบปูนปลาสเตอร์</u>

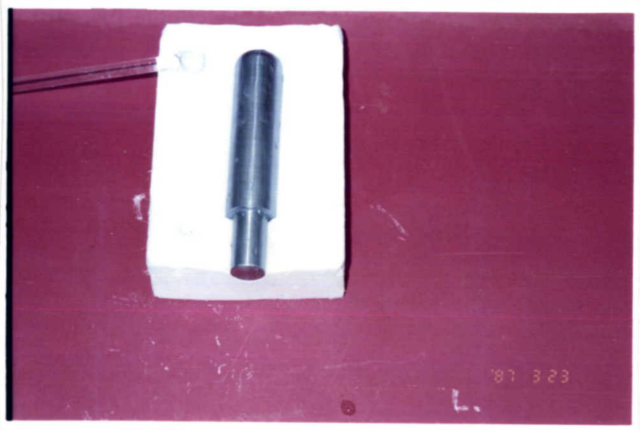



ที่ล้อมแบบ

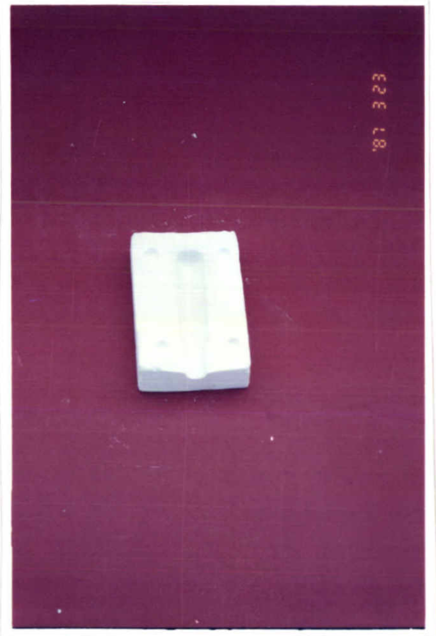
14373

การกดแม่พิมพ์เหล็กลงบนแบบปลาสเตอร์

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง



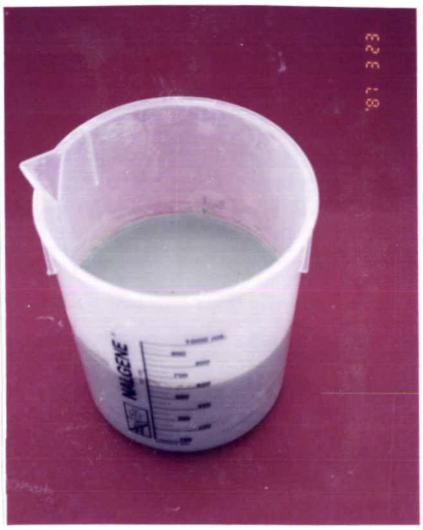
แม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่ได้รับการตกแต่งและกำลังเจาะรูล็อคแบบ



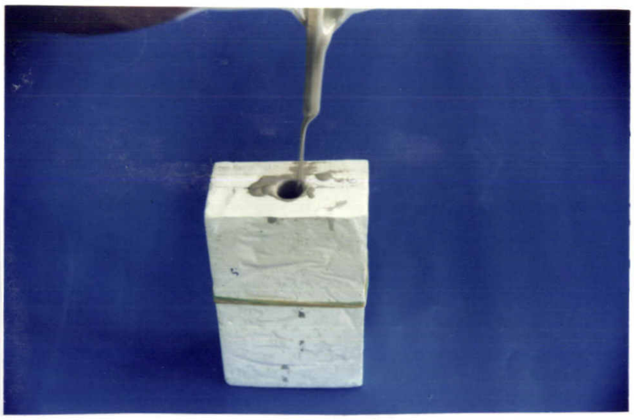
แม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ (ครึ่งแรก)

แม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่สมบูรณ์แบบที่พร้อมจะเทแบบ

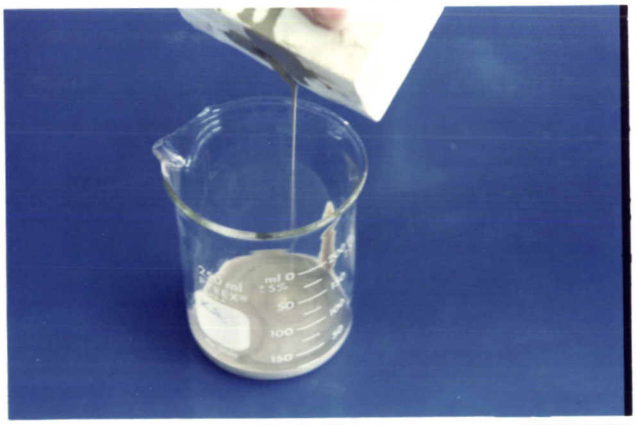
การร่อนดิน



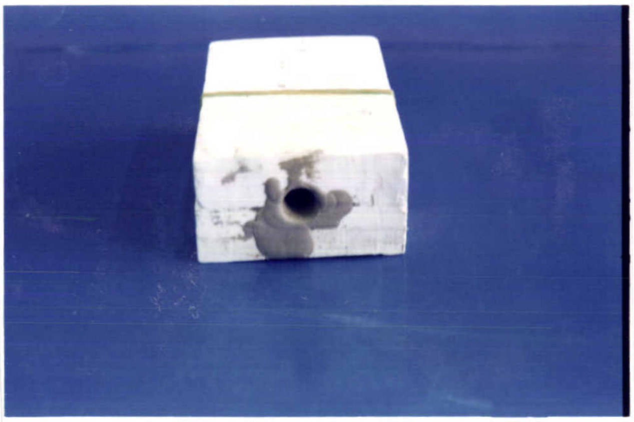
น้ำดิน (slip) ที่เตรียมได้



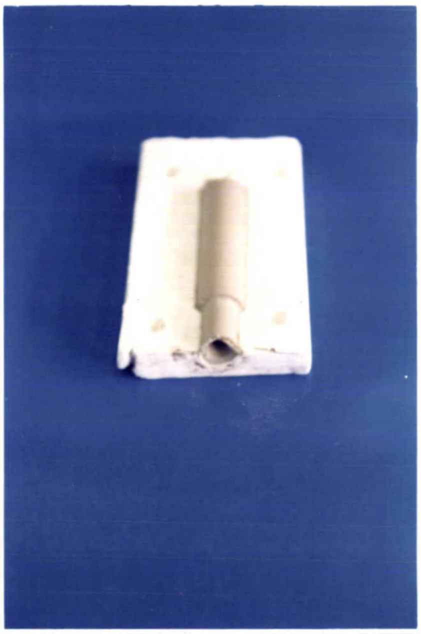
การเทน้ำดิน (slip) ลงไปในแบบปลาสเตอร์



การเทน้ำดิน (slip) ส่วนที่เหลือออกจากแม่แบบปลาสเตอร์

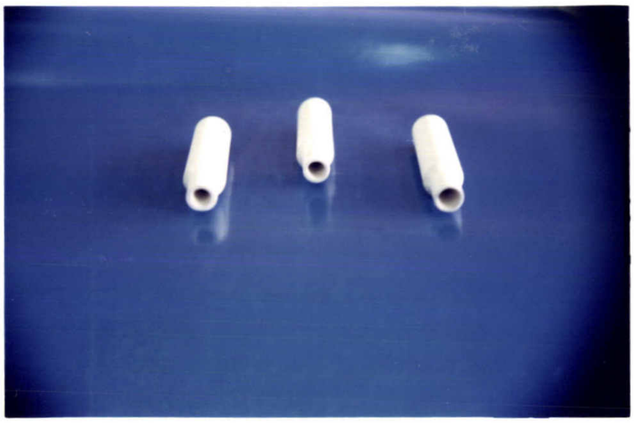


แบบดินภายหลังจากการเทสลิป

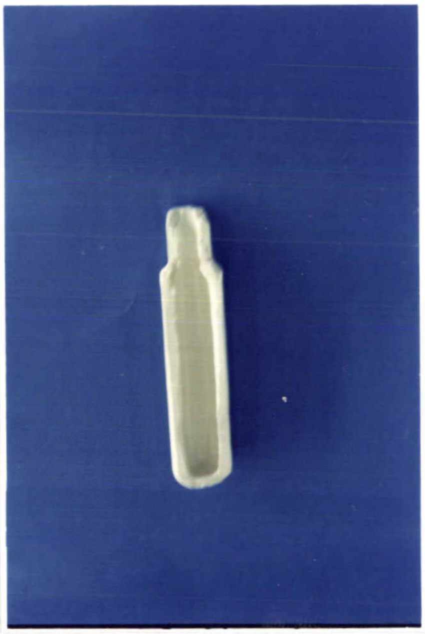


แท่งดินที่ได้จากการเทสลิปก่อนการเผา

เตาเผา



porous ที่ได้จากการเผาแท่งดินที่อุณหภูมิ 1,000 °c เป็นเวลา 10 ชม.



แสดงให้เห็นถึงภายในของแท่งดินที่ได้จากการเทน้ำดิน (slip)

วิธีการทำ TENSIOMETER

อุปกรณ์

1.ท่อ PVC ขนาด 3/8 นิ้ว และขนาด 4/8 นิ้ว

2.ท่ออะครีลิกใส

3.กาวทาท่อน้ำไทย

4.กาวอีป็อกซี่ ชนิดแห้งช้า

5.สว่าน+ชุดดอกสว่าน

6.เครื่องขัด+หัวทราย

7.จุกยางเบอร์ 2

8.porous

9.vacuum pump

10. ตาร์ปเกลียว

วิธีการทำ

1. ตัดท่อ pvc ขนาด 3/8 นิ้ว ยาว 30 เซนติเมตร และตัดท่อขนาด 4/8 นิ้ว พร้อมทั้งท่ออะครีลิกใส ยาวท่อนละ 5 เซนติเมตร

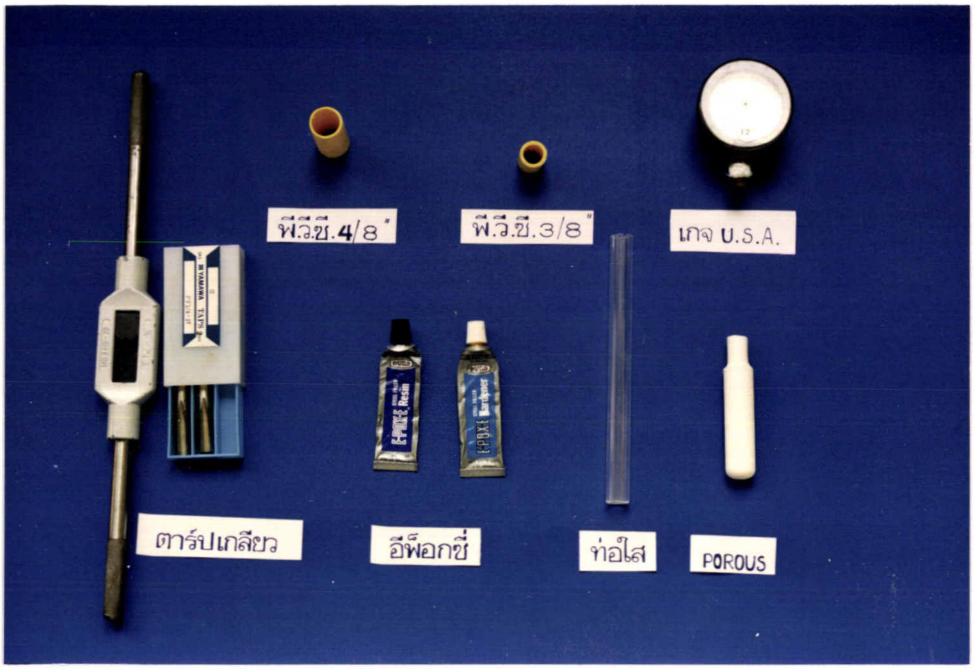
2. ต่อหัวทรายเข้ากับเครื่องขัดเพื่อใช้ขัดด้านในของท่อ pvc ขนาด 3/8 นิ้ว ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขัดด้านในของท่อทั้ง 2 ด้าน ซึ่งด้านหนึ่งจะประกอบเข้ากับ porous และอีกด้านหนึ่งจะประกอบเข้ากับท่ออะครีลิกใส

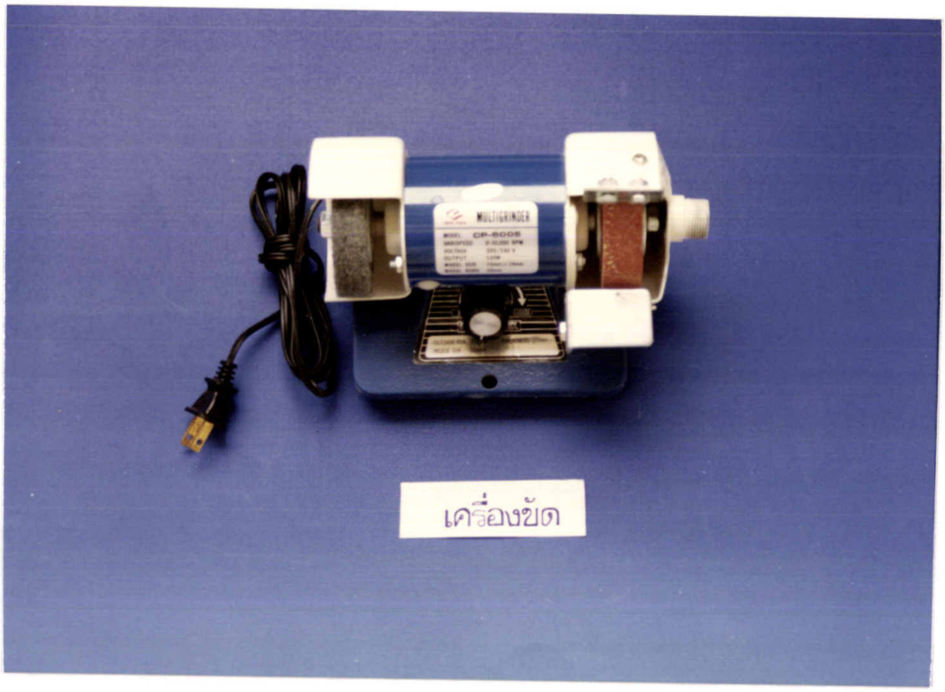
3. นำท่อ pvc ขนาด 4/8 นิ้วสวมเข้ากับปลายด้านหนึ่งของท่อ pvc 3/8 นิ้ว พร้อมทั้งกากาวท่อน้ำไทยให้เรียบร้อย (ด้านที่ต่อเข้ากับท่ออะครีลิกใส)

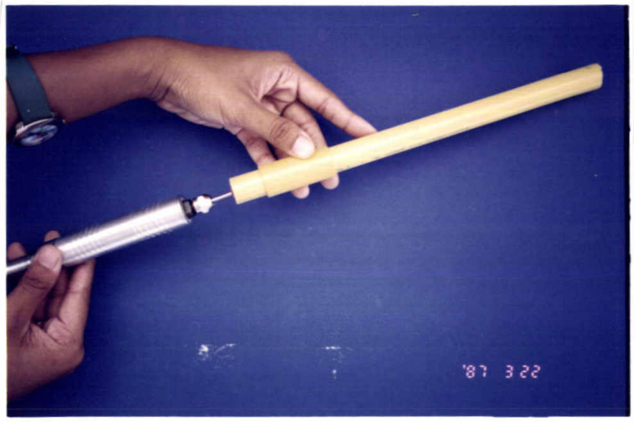
4. เจาะรูที่ตำแหน่งตรงกลางของท่อ pvc ขนาด 4/8 นิ้ว ให้มีขนาด 7/16 นิ้ว โดยใช้สว่านไฟฟ้า จากนั้นทำการตาร์ปเกลียวที่ตำแหน่งนี้

5. ผสมชุดกาวอีป็อกซี่ (epoxy) ทั้ง 2 หลอดในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นนำ porous และ ท่ออะครีลิกใสประกอบเข้ากับปลายทั้ง 2 ด้านของท่อขนาด 3/8 นิ้ว แล้วนำเกย์วัดความเครียดประกอบเข้ากับท่อที่ตำแหน่งที่ได้ทำการตาร์ปเกลียวไว้แล้ว จากนั้นชีนตำแหน่งต่างๆ ด้วยกาว epoxy ในเรียบร้อย

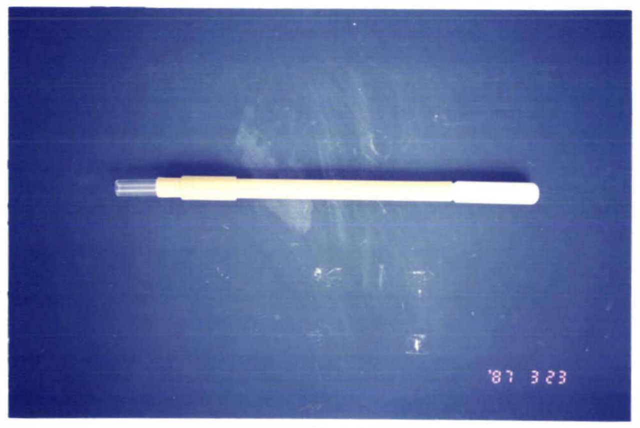
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ Tensiometer





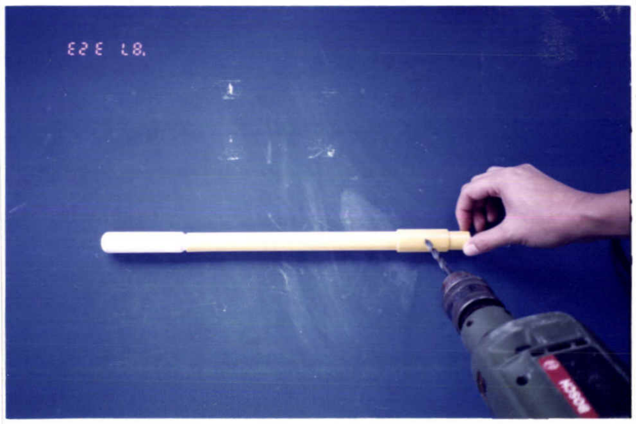


การขัดท่อด้วยเครื่องขัด

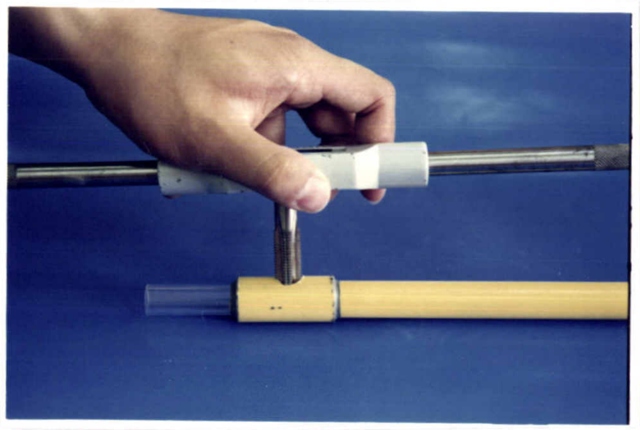


ท่อที่ประกอบเข้ากับท่ออะครีลิกใสและ porous ก่อนการซึมด้วย epoxy

การเจาะท่อด้วยสว่านไฟฟ้า



การตาร์ปเกลียว



Tensiometer สจล.

วิธีการทดสอบเครื่องมือ

1. เติมน้ำกลั่นลงในท่อกลวง (ท่อ pvc) ของ Tensiometer จนเต็ม จากนั้นใช้กระบอกฉีดยาที่ประกอบเข้ากับจุกยางเบอร์ 2 เสียบเข้ากับปลายท่อพลาสติกใสของ Tensiometer จากนั้นดึงกระบอกฉีดยาขึ้นทำการไล่อากาศที่ขังอยู่ในกระเปาะดินเผา, vacuum guage และน้ำออก หลังจากผ่านขั้นตอนนี้แล้วน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศใน Tensiometer ทำให้น้ำภายใน Tensiometer มีปริมาณน้อยลง

2. เติมน้ำกลั่นจนเต็ม Tensiometer และทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ประมาณ 3 - 4 ครั้ง

3. ตั้ง Tensiometer ในแนวดิ่งในที่ ๆ มีการถ่ายเทอากาศดี เพื่อให้น้ำระเหยออกจากกระเปาะดินเผาสู่บรรยากาศรอบๆ ประมาณ 1 วัน เมื่อน้ำระเหยจากกระเปาะดินเผาสู่อากาศจะทำให้น้ำใน Tensiometer เกิดความเครียดเนื่องจากน้ำระเหยออกจากเครื่องมือ ดังนั้นจะทำให้เข็มของ vacuum guage สูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเมื่อเราปล่อยทิ้งไว้เช่นนี้เป็นเวลา 1 วัน ถ้าเข็มของ vacuum guage สามารถขึ้นสูงถึง 60-70 cmHg ก็แสดงว่า Tensiometer เครื่องนั้นไม่มีรอยรั่วของอากาศที่ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือ (ยกเว้นส่วนที่เป็นกระเปาะดินเผา)

วิธีการหา Soil Moisture Characteristic Curve

อภิชาติ และคณะ (2524) Tensiometer จะบอกเฉพะค่าแรงดึงความชื้นของดินซึ่งทำให้ทราบเพียงว่า ขณะนั้นถึงจุดที่จะสามารถให้น้ำได้แล้วหรือยัง แต่ไม่สามารถทราบได้ว่าจะให้ในปริมาณเท่าใด ดังนั้นก่อนที่จะนำเอา Tensiometer ไปใช้ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชจะต้องมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับจำนวนความชื้นเสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำ Tensiometer ไปติดตั้งในแปลงตามหลักวิธีการที่ถูกต้องและอ่านค่าจากเกย์วัดความเครียด พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินรอบ ๆ กระเปาะดินเผาไปทำการหาความชื้นในดินจากช่วงที่ดินเปียกที่สุดและแห้งที่สุด (แต่ค่าแรงดึงความชื้นต้องไม่เกิน 85 เซนติบาร์) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ ซึ่งกราฟที่ได้นี้จะเรียกว่า Soil Moisture Characteristic Curve

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งบีกเกอร์ ขนาด 250 ซี.ซี. แล้วนำ บีกเกอร์ที่ได้มาใส่ดินสูงประมาณ 2/3 ของความสูงของบีกเกอร์ ต่อจากนั้นนำดิน+บีกเกอร์มาชั่งอีกครั้งหนึ่ง นำค่าที่ชั่งได้ทั้งสองหักลบกัน ก็คือค่าของน้ำหนักดิน

2. นำ Tensiometer มาปักลงในบีกเกอร์ที่มีดินบรรจุอยู่ (Tensiometer นั้นจะต้องอยู่ในสภาพที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที) นำ Tensiometer + บีกเกอร์ + ดิน ไปชั่งบนตาชั่ง จดบันทึกน้ำหนักเอาไว้

3. เติมน้ำลงในบีกเกอร์จนกระทั่งเข็มวัดความเครียดของเกย์วัดอ่านค่าได้ 0 เซนติบาร์ นำบีกเกอร์ที่มีดิน, Tensiometer และน้ำไปชั่งบนตาชั่ง และนำค่าที่ได้หักลบกับค่าในข้อ 2 จะได้น้ำหนักของน้ำ

4. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วบันทึกค่าของเกย์วัดความเครียดและน้ำหนักของบีกเกอร์ทุกๆ 3 วัน แล้วนำค่าความเครียดที่ได้และน้ำหนักของบีกเกอร์ ไปพล็อตกราฟ (น้ำหนักของบีกเกอร์ต้องแปลงเป็นเปอร์เซนต์ความชื้นของดินก่อนแล้วจึงจะนำไปพล็อตกราฟได้) โดยให้ค่าความเครียดจากเกย์วัดความเครียดอยู่บนแกน y และเปอร์เซนต์ความชื้นของดินอยู่บนแกน x

<u>ผลการทดลอง</u>

น้ำหนักบีกเกอร์	=	82.24	g
น้ำหนักดิน + บีกเกอร์	=	1352.93	g
น้ำหนักดิน	=	1270.69	g
น้ำหนักดิน + tensiometer + บีกเกอร์	=	1651.28	g
น้ำหนัก tensiometer	=	318.35	g
น้ำหนักดิน + บีกเกอร์ + tensiometer + น้ำ	=	1936.22	g

น้ำหนักที่วัดได้ (g)	ค่าความเครียด(cmHg)
1936.22	0
1878.32	8.0
1820.22	12.5
1786.50	30.0
1770.53	40.0
1735.96	58.0

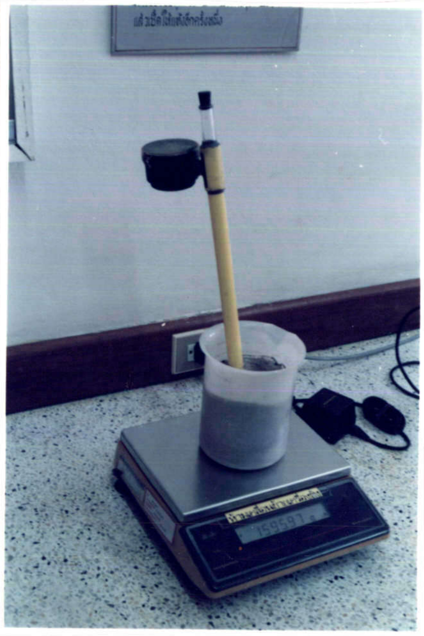
% ความชื้นของโดยน้ำหนักของดิน = M_w / M_s

M_w =น้ำหนักของน้ำในดิน

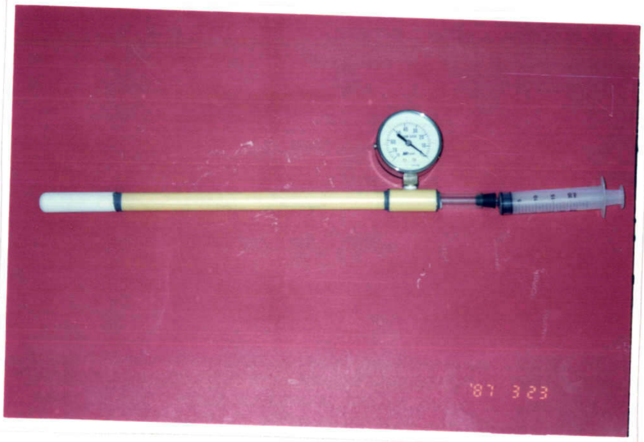
M_s =น้ำหนักของส่วนที่เป็นของแข็งในดิน

M_s =1270.69 g

น้ำหนักของน้ำ (g)	% ความชื้นโดยน้ำหนัก (g)	ค่าความเครียด (เซนติบาร์)
284.94	22.4%	0
227.04	17.9%	8
168.94	13.3%	12.5
135.22	10.6%	30.0
119.25	9.4%	40.0
104.68	8.2%	58.0



วิธีการหา Soil Moisture Characteristic Curve



การไล่อากาศใน Tensiometer

วิจารณ์ผลการทดลองและสรุปผล

จากผลการทดลองในการตรวจสอบเครื่องมือ โดยการตั้ง Tensiometer (ที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นจำนวน 10 เครื่อง พบว่าเข็มของเครื่องวัดความเครียดส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 50 - 60 Cm-Hg และระดับน้ำใน Tensiometer จะลดลงเป็นอย่างมากแต่เมื่อมีการทดสอบเช่นนี้หลายๆ ครั้งโดยทำตามขั้นตอนการทดสอบเครื่องมือเช่นเดียวกับวิธีข้างต้น พบว่าในครั้งต่อๆ ไปของการทดสอบเข็มของเครื่องวัดความเครียด จะสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสูญญากาศ (ความเครียด) ของน้ำที่สะสมอยู่ภายในเครื่องมือได้เร็วขึ้น (มี sentivity สูง) คือ ใช้เวลาเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 50-60 นาที ในที่ๆ มีการถ่ายเทอากาศดี) เข็มของเครื่องวัดความเครียดสามารถสูงถึง 50-60 Cm-Hg แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิของอากาศรอบๆ Tensiometer อีกทั้งระดับน้ำภายในเครื่องมือจะลดระดับลงน้อยกว่าระดับน้ำที่ทดสอบในตอนแรก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าในระยะแรกของการทดสอบเครื่องมืออาจจะมีการสะสมอากาศภายในเครื่องวัด เช่น อากาศที่สะสมอยู่ในเกย์วัดความเครียด, อากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง porous อากาศที่แทรกอยู่ตามจุดขันต่อต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นเมื่อน้ำภายในเครื่องวัดมีความเครียดสูงขึ้นจะทำให้อากาศที่แทรกอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเครื่องมือลอยขึ้นสู่ด้านบน (อากาศเบากว่าน้ำ) น้ำจะเข้าไปแทนที่ ถ้ามีอากาศสะสมอยู่มากปริมาณน้ำใน Tensiometer ก็จะยิ่งลดลงมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้จึงทำให้เครื่องมือมีการตอบสนองต่อสูญญากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ช้าและปริมาณน้ำภายในเครื่องมือจะลดลงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการทดลองเครื่องมือในครั้งต่อๆ ไป มีการไล่อากาศภายในเครื่องมือมากขึ้น ทำให้อากาศที่สะสมอยู่ภายในเครื่องมือมีน้อยลงจนกระทั่งทุกส่วนภายในเครื่องมือถูกแทนที่ด้วยน้ำ ทำให้เครื่องมือชนิดนี้มีการตอบสนองต่อสูญญากาศภายในเครื่องมือได้รวดเร็วขึ้น และปริมาณน้ำลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อระดับความเครียดภายในเครื่องมือมีค่าสูงขึ้น

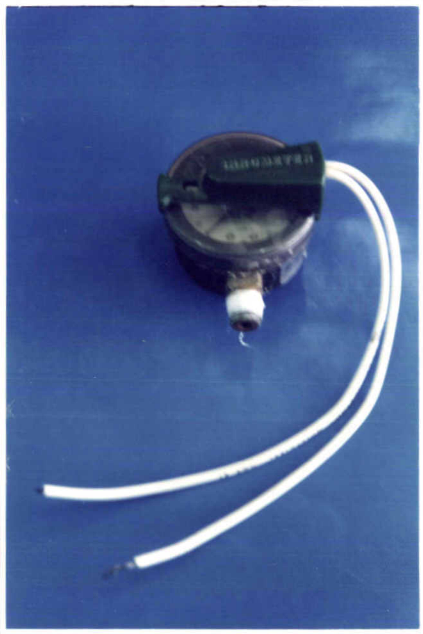
การทดสอบเครื่องมือในขั้นต่อมาโดยการประกอบเครื่องวัดความเครียด (vacuum guage) ของ irrometer (U.S.A.) เข้ากับส่วนที่เป็นท่อของ Tensiometer ที่ประดิษฐ์ขึ้นแล้วทำการทดสอบเครื่องมือวิธีเดียวกับที่กล่าวมาในขั้นต้น โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเครียดของไต้หวันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเกย์วัดความเครียด (sensitivity) พบว่าปริมาณน้ำภายในเครื่องวัดความชื้นที่ประกอบเข้ากับเครื่องวัดความเครียดของไต้หวัน มีปริมาณน้ำ

ลดลงมากกว่าเครื่องวัดความชื้นที่ประกอบเข้ากับเกย์วัดความเครียดของ irrometer เป็นอย่างมากซึ่งทำให้สรุปได้ว่า ถ้าเราใช้เกย์วัดความเครียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสูญญากาศสูง มาประกอบเข้ากับเครื่องวัดความชื้นในดินที่ผลิตขึ้น จะทำให้เครื่องวัดความชื้นในดินมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

แนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องวัดความชื้นในดิน นอกเหนือไปจากเกย์วัดความเครียดแล้วยังมีส่วนประกอบของเครื่องมืออีกส่วนหนึ่งที่ควรจะให้ความสำคัญคือ ส่วนที่เป็นท่อ (tube) ซึ่งส่วนนี้จะบรรจุน้ำของเครื่องวัดความชื้นในดิน ท่อที่ดีและมีประสิทธิภาพควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก, ใส, ไม่เปราะหรือแตกหักง่าย และไม่บิดเบี้ยวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งท่อของ irrometer นั้นเป็นท่ออะครีลิกใส ข้อดีของท่อชนิดนี้คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กและใส ทำให้การไล่อากาศภายในเครื่องมือชนิดนี้สามารถทำได้สะดวกแต่มีข้อเสียคือ แต่เมื่อใช้งานในภาคสนามท่อพลาสติกอะครีลิกใสเมื่อถูกแสงจะเปราะและแตกหักง่าย โดยเฉพาะในส่วนของข้อต่อระหว่างตัวท่อกับเครื่องวัดความเครียด ซึ่งส่วนที่เป็นท่อของ Tensiometer ที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้นทำจากท่อ PVC ซึ่งมีข้อดีคือ หาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก แต่มีข้อเสียอยู่มากคือ มีสีทึบ (ไม่ใส) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่, เมื่อใช้งานในภาคสนามในที่ๆ มีอุณหภูมิสูงเช่น ในกองปุ๋ยหมัก จะทำให้ท่อเกิดการบิดเบี้ยว ซึ่งลักษณะต่างๆ เหล่านี้ทำให้เครื่องมือที่ผลิตขึ้นมีประสิทธิภาพด้อยกว่า Tensiometer จากต่างประเทศ ซึ่งแนวทางการพัฒนาส่วนประกอบของ Tensiometer ทั้งในส่วนที่เป็นท่อ (tube) และส่วนที่เป็นเกย์วัดความเครียดก็ คือ ใช้เกย์วัดความเครียดของประเทศเยอรมัน ซึ่งมีข้อดีก็คือ เป็นเกย์วัดที่ฝาครอบทำด้วยพลาสติกทำให้ไม่แตกหักง่าย และไม่เป็นสนิมเมื่อใช้งานในภาคสนามและมีความไวต่อการตอบสนองของสูญญากาศสูงพอสมควร อีกทั้งมีราคาไม่แพง ในส่วนประกอบที่เป็นท่อก็ใช้ เรซิน ซึ่งเรซินนี้มีข้อดีอยู่หลายอย่าง ก็คือ สามารถทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาดเล็กได้ มีความใส ไม่เปราะหรือแตกหักง่าย ซึ่งเมื่อสามารถที่จะพัฒนา Tensiometer ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นจนทัดเทียมหรือดีกว่าต่างประเทศได้แล้ว รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่ใช้มีราคาไม่แพงจนเกินไป คาดว่าจะมีการใช้เครื่องมือชนิดนี้ในการชลประทานอย่างกว้างขวางในอนาคต

Vacuum gauge ของไต้หวัน

Vacuum gauge ของ U.S.A.



Vacuum gauge แบบ automatic

Tensiometer ของ Irremeter

เอกสารอ้างอิง

นพพร อกนิษฐ์. 2525. การศึกษาการทำเครื่องมือวัดความเครียดของน้ำในดิน แบบกระเปาะดินเผาที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย (ปัญหาพิเศษ). ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. หน้า 27)

ทวีพร พรหมฤกษ์. 2525. เอกสารการนิเทศการศึกษาฉบับที่ 245. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศน์ กรมฝึกหัดครู. หน้า 100.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2527. เซรามิกส์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 96-105.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2526. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. หน้า 7-16.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2533. รายงานผลการวิจัยในการประชุมทางวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน. หน้า 50-51.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา และคณะ. 2523. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์รุ่งเรืองธรรม. หน้า 165-191.

สำอางค์ ศรีนิลทา. 2513. คู่มือปฏิบัติการปฐพีศาสตร์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. หน้า 78-79.

อภิชาติ อนุกูลอำไพ และคณะ. 2524. คู่มือการชลประทานระดับไร่นา. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. หน้า 29-37.

Michaell, J. Boswell. 1984. <u>Harde Irrigation</u>.

Richards, S.J. 1965. <u>Soil suction measurements with Tensiometers</u> In Black, C.A. (Editor in Chief) Method of soil analysis. Part I. Agronomy No. 9 : American Society of Agronomy. Inc., Publishing. 153-163.

Richards, L.A. and C.H. Wedleigh. 1953. <u>Soil water and plant growth.</u> Agronomy. Academic Press.

ภาคผนวก

สเกลของ Vacuum gauge มีอยู่ด้วยกัน 2 สเกล คือ หน่วยเซนติเมตรของปรอทกับหน่วยเซนติบาร์ ซึ่ง Tensiometer ของ U.S.A. (Irrometer) สเกลของ Vacuum guage เป็นสเกลในหน่วยของเซนติบาร์ ส่วน Tensiometer ของสจล. มีหน่วยเป็นเซนติเมตรปรอท ดังนั้นในการนำไปใช้จึงควรระวังอย่าสับสนในการอ่านค่าจากสเกลวัด กล่าวคือ 1 หน่วยบรรยากาศ = 76 หน่วยเซนติเมตรปรอท = 100 หน่วยเซนติบาร์

เพราะฉะนั้น	76 เซนติเมตรปรอท	=	100 เซนติบาร์			
	1 "	=	100/76	=	1.32	เซนติบาร์

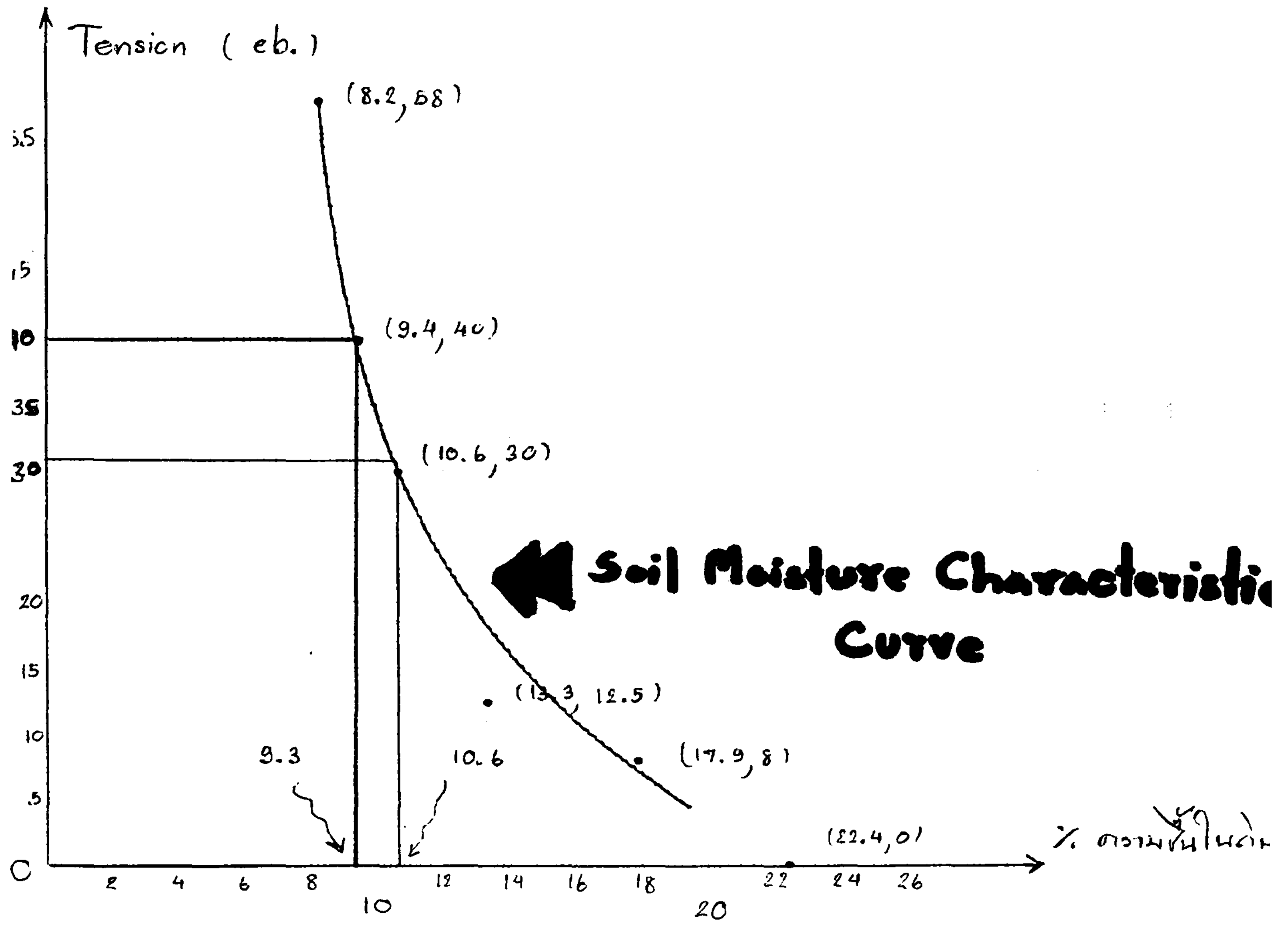
เช่น ในการนำ Tensiometer ไปใช้ในภาคสนามจะควบคุมให้ดินมีความชื้นอยู่ที่ประมาณจุด Field Capacity (F.C.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/3 บรรยากาศ ดังนั้นเมื่อนำ Tensiometer ของ U.S.A. (Irrometer) ไปใช้งานจึงต้องควบคุมให้ค่าความเครียดของดินที่อ่านได้จาก Vacuum gauge มีค่าเท่ากับ 1/3 x 100 เซนติบาร์ = 33.33 เซนติบาร์ แต่ถ้านำ Tensiometer ของ สจล. ไปติดตั้งจะต้องควบคุมให้ดินมีค่าความเครียดของน้ำในดินที่อ่านได้จากเกย์วัดความเครียดอยู่ในช่วง 1/3 x 76 เซนติเมตรของปรอท = 25.33 เซนติเมตรปรอท

จากรูปเป็น Tensiometer ชนิด automatic ซึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญของ Tensiometer ในระบบนี้ที่แตกต่างจาก Tensiometer ชนิดธรรมดาก็คือ ส่วนประกอบที่เป็นเกย์วัดความเครียด ซึ่งจะอาศัยอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิกที่เรียกว่า I.C. (Integate circuit) I.C. ที่ใช้ในส่วนนี้เป็น I.C. พวกที่เป็น switch ถูกฝังอยู่ที่ส่วนใต้ของเกย์วัดความเครียดและใช้แท่งแม่เหล็ก (เข็ม) ยึดติดกับเข็มของเกย์วัดความเครียด และจะใช้แท่งเหล็กที่ประกอบเข้ากับแท่งแม่เหล็กปิดติดอยู่ที่ฝาครอบ ซึ่งจะสามารถตั้งค่าความเครียดที่พร้อมที่จะให้มีการชลประทาน (การให้น้ำ) เกิดขึ้น

หลักการทำงานก็คือ เมื่อพืชมีการใช้น้ำจากดินหรือดินมีการสูญเสียน้ำ น้ำในดินจะอยู่ในสภาวะที่มีความเครียดทำให้น้ำจาก Tensiometer แพร่เข้าสู่ดิน ทำให้น้ำใน Tensiometer เกิดความเครียดมีผลให้เข็มของเกย์วัดความเครียดมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเข็มของเกย์วัดสูงจนกระทั่งสัมผัสกับแท่งเหล็กที่ติดอยู่ที่บนหน้าปัทท์ ทำให้เกิดการครบวงจร I.C. จะอยู่ในสภาวะ 1 (วงจรปิด) ซึ่งจะไปสั่งงานให้ solinoid valve ซึ่งเป็นวาล์วน้ำที่ทำงานด้วยไฟฟ้า ทำงาน ทำให้มีการให้น้ำแก่ดิน ทำให้น้ำในดินมีความเครียดลดลง และเมื่อเข็มของเกย์วัดความเครียดลดต่ำลงจนกระทั่งไม่สัมผัสกับแท่งเหล็กที่ติดอยู่ที่หน้าปัทม์ของเกย์วัด จะทำให้ I.C. อยู่ในสภาวะ 0 (วงจรเปิด) ซึ่งจะทำให้ solinoid valve หยุดการทำงาน และเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อดินมีการสูญเสียความชื้นอีก จะทำให้เข็มของเกย์วัดความเครียดสูงขึ้นอีก ทำให้เกิดการครบวงจรขึ้นอีก ซึ่งจะทำงานวนเวียนเป็นระบบอัตโนมัติเช่นนี้อยู่ตลอดเวลา

ส่วนการใช้ประโยชน์จาก Soil Moisture Characteristic curve นั้นเหมาะสำหรับแต่ละสภาพท้องถิ่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่นคุณสมบัติของดิน อัตราการนำน้ำของ porous ความไวของเกย์วัดความเครียด อุณหภูมิ ฯลฯ ดังนั้นการนำ Tensiometer ไปใช้ในการชลประทานในภาคสนาม ควรมีการทำ Soil Moisture Characteristic curve ก็คือตำแหน่งและความลึกของดินที่จะนำมาหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น นั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของ Tensiometer กล่าวคือ ตำแหน่งที่จะนำดินมาหาความชื้นจะต้องเป็นดินบริเวณรอบๆ Tensiometer และในการขุดดินจะต้องทำให้ดินมีความพรุนใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด อาจจะเก็บในลักษณะของ Soil Column โดยใช้แท่ง PVC. กดดันลงไปในดิน แทน Soil column และความลึกของดินจะต้องเท่ากับความลึกของกระเปาะดินเผาของ Tensiometer เพื่อจะได้ตัวอย่างที่ดีในการนำไปคำนวณ

วิธีการประเมินค่าปริมาณให้น้ำจาก Soil Moisture Characteristic curve นั้นทำได้โดยอ่านค่าจากเกย์วัดความเครียด แล้วนำไปหาค่าเปอร์เซนต์ความชื้นของดินในกราฟ เช่น เมื่อค่าความเครียดของดินมีค่า = 40 cbar แต่ต้องการหาปริมาณน้ำที่จะให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีค่าความเครียดลดลงเหลือ 33.3 cbar (F.C.)



Tension (cb.)
(8.2, 58)
(9.4, 40)
(10.6, 30)
(13.3, 12.5)
(17.9, 8)
(22.4, 0)
9.3
10.6
Soil Moisture Characteristic Curve
% ความชื้นในดิน

จากกราฟ

ที่ระดับความเครียด 40 cb. ดินมี % ความชื้น = 9.3

ส่วนที่ระดับความเครียด 33.3 cb. ดินมี % ความชื้น = 10.6

สมมติว่า ดินที่ใช้ในการหา Soil Moisture Characteristic Curve หนัก 500 กรัม (น้ำหนักดินแห้ง)

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องการในการชลประทานหาได้ดังนี้

% ความชื้นที่ระดับความเครียดที่อ่านได้จากเครื่อง-% ความชื้นที่ระดับความเครียดที่ต้องการ

= % ความชื้นที่ระดับความเครียด 40 cb.- % ความชื้นที่ระดับความเครียด 33.3 cb.

= 10.6 - 9.3

= 1.3

จาก % ความชื้น (W) = $(M_s / M_w) \times 100$

แทนค่า 1.3 = $(500 / M_w) \times 100$

M_w = 38, 461.54 ml/ดิน 500 กรัม

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน 500 กรัม เพื่อให้ดินที่มีค่าความเครียด 40 cb. มีค่าความเครียดลดลงเหลือ 30 cb. มีค่าเท่ากับ 38,461.54 มิลลิลิตร ดังนั้น ถ้าต้องการหาปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการชลประทานในพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ก็ให้คำนวณเพิ่มตามลำดับสัดส่วนของน้ำหนักดิน

ภาพแสดงการติดตั้ง Tensiometer ที่มี Vacuum guage เป็นสวิสช์ไฟฟ้า

Vacuum guage ชนิดสวิสช์ไฟฟ้าของ สจล.

Vacuum guage ชนิดสวิสช์ไฟฟ้าของ Irrometer

ภาพแสดงผลผลิตที่ได้จากการใช้ Temsiometer แบบสวิสซ์ไฟฟ้า
ที่ระดับความเครียด 10 cb., 30 cb. และ 50 cb.

ภาพแสดงการต่อระบบ Tensiometer แบบสวิสซ์ไฟฟ้า
เข้ากับระบบชลประทานในการปลูกพืชระบบน้ำหยด