

การพัฒนาชุดจำลองน้ำฝน Development of Rainfall Simulator

สันติ ทองพำนัก^{1*} นิมิตร เจริญพันธ์พัฒน์¹ และระวี อยู่สำราญ¹
Santi Tongpumnu^{1}, Nimit Cherdchanpipat¹ and Rawee Yoosamran¹*

ABSTRACT

Natural rainfall is essential for the research concerning hydrology, irrigation and soil conservation, particularly soil erosion. Several researches associating with natural rainfall face time constraints. It is virtually difficult to predict where and when the rain they will fall. The predictions of the rainfall intensity and duration are also very difficult. The researchers need a simulator to control rainfall variation. However, the imported simulators from developed countries are very expensive. Therefore, invention of a cheaper simulator is useful and the main objective of this research was to invent a cheaper simulator using locally made nozzles. It was found that No. 4 KE-SORN nozzles of 2 and 3 holes modified from 9 hole ones were the best for making artificial rainfall. With these modified nozzles, the rainfall intensities varied from 65 to 258 mm/h when the pressures of about 0.3-1.0 bars were applied at the nozzles. The variations of the Christiansen uniformity coefficients (CU) were from 72 to 91 percent. The median diameters of the raindrops varied from 2.05 to 2.60 mm. In conclusion the result of this research confirms that the invented rainfall simulator can make the artificial rainfall similar to the natural one.

Key word: Rainfall simulator, Raindrop, Terminal velocity, Artificial rainfall

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน
จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen
Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0-3435 - 1897, Fax. 0 - 3435 - 1404, E-mail address: fengrwy@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ฝนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำวิจัยทางด้านอุทกวิทยา ชลประทานและการอนุรักษ์ดิน โดยเฉพาะในงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการกัดเซาะของดิน แต่การรอฝนตามธรรมชาติจะเกิดปัญหาสำคัญต่องานวิจัยที่มีระยะเวลาจำกัด เนื่องจากเราไม่สามารถคาดคะเนฝนได้อย่างแม่นยำว่าฝนจะตกที่ไหนและเมื่อไร หรือการตกแต่ละครั้งมีความเข้มของฝนเท่าใด ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้ชุดจำลองน้ำฝนเพื่อสร้างฝนเทียมขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามชุดจำลองน้ำฝนที่ใช้อยู่ในต่างประเทศนั้นมีราคาค่อนข้างแพง งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างชุดจำลองน้ำฝน โดยได้ทำการคัดเลือกหัวจ่ายน้ำที่มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศไทย นำมาเป็นหัวจ่ายน้ำเพื่อสร้างฝนเทียมที่สามารถเลียนแบบฝนตามธรรมชาติให้ได้มากที่สุด เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะจัดซื้อชุดจำลองน้ำฝนจากต่างประเทศ จากการค้นคว้าและทดลองจึงได้นำหัวจ่ายน้ำยี่ห้อ KE-SORN No.4 มาดัดแปลงให้เหลือรูน้ำออก 2 รู และ 3 รู ผลการสอบเทียบเครื่องมือที่แรงดัน ณ หัวจ่ายน้ำ 0.3 ถึง 1.0 บาร์ พบว่าค่าความเข้มฝนอยู่ระหว่าง 65-285 มิลลิเมตร/ชั่วโมง มีความสม่ำเสมอของ Christiansen uniformity coefficient (CU) ตั้งแต่ 72-91 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเม็ดฝนที่ได้มีค่ากลางอยู่ระหว่าง 2.05-2.60 มิลลิเมตร ผลการศึกษายืนยันว่าเครื่องผลิตน้ำฝนขึ้นนี้สามารถเลียนแบบลักษณะของฝนได้ดี

คำสำคัญ: ชุดจำลองน้ำฝน เม็ดฝน ความเร็วท้ายสุด ฝนเทียม

คำนำ

การทำงานวิจัยทางด้านอุทกวิทยา ชลประทาน และการอนุรักษ์ดินนั้น ฝนเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญของการวิจัย เช่น การหาปริมาณการสูญเสียหน้าดิน ความชื้นในดิน การใช้น้ำของพืชเป็นต้น การที่จะควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวกับฝนเป็นเรื่องยากยิ่งในทางธรรมชาติ ถึงแม้ว่าจะมีระบบพยากรณ์อากาศที่แม่นยำก็ตาม แต่บางครั้งจำเป็นต้องรอเป็นเวลานานเพื่อจะได้ฝนที่ตกตามธรรมชาติให้มีความเข้มและช่วงเวลาของการตกเป็นดังที่ออกแบบไว้ บางงานวิจัยจำเป็นต้องมีการทำซ้ำเพื่อยืนยันผลที่ถูกต้อง การที่จะได้ฝนสองเหตุการณ์มีลักษณะเหมือนกันทุกอย่างจากฝนธรรมชาติเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นได้ยากมาก ดังนั้นการทำฝนเทียมจากชุดจำลองน้ำฝนจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหาเหล่านี้ นักวิจัยหลายท่านได้เคยใช้ชุดจำลองน้ำฝนเพื่อสร้างฝนเทียมเพื่อการวิจัย พบว่ามีความสะดวกและสามารถประยุกต์ใช้กับการทดลองได้ (Akanro, 1983; Bryan & De Ploey, 1983; Arnaez *et al.*, 2007) ด้วยเหตุนี้ชุดจำลองน้ำฝนจึงเป็นที่ยอมรับของการวิจัยและได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพสามารถเลียนแบบฝนตามธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

ขนาดเม็ดฝนนั้นมีขนาดตั้งแต่ที่เป็นฝอยละเอียดจนถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 6 ถึง 7 มิลลิเมตร โดยมีขนาดเฉลี่ยระหว่าง 2 ถึง 3 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับความเข้มฝน (Hudson, 1993) จากการสำรวจที่ผ่านมาพบว่าเม็ดฝนที่ใหญ่ที่สุดที่ตกลงถึงผิวโลกนั้นตกที่ ประเทศบราซิล และ หมู่เกาะมาร์แชล ในปี ค.ศ. 2004 โดยมีขนาดใหญ่ถึง 10 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ของเม็ดฝนนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากละอองน้ำในอากาศที่มีขนาดใหญ่ หรือ จากการรวมตัวกันของเม็ดฝนหลายเม็ดเนื่องมาจากความหนาแน่นฝนที่ตกลงมา เม็ดฝนที่ตกลงมาจากฟ้าจะมีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลม (ไม่ได้มีรูปร่างเหมือนหยดน้ำตาอย่างที่หลายคนเข้าใจ) เมื่อฝนตกลงจนกระทั่งแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับแรงต้านของอากาศที่กระทำกับเม็ดฝนมีค่าเท่ากันจะมีรูปร่างดัง Figure 1 โดยเม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีรูปร่างที่ค่อนข้างแบนคล้ายขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ ส่วนเม็ดที่ใหญ่มาๆนั้นจะมีรูปร่างคล้ายร่มชูชีพ

ฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งจะมีสัดส่วนขนาดของเม็ดฝนแตกต่างกันออกไป ทำให้การบอกขนาดเม็ดฝนสำหรับการตกแต่ละครั้งค่อนข้างยุ่งยาก ตัวแปรที่ดีที่สุดที่จะบอกขนาดของเม็ดฝนคือค่าตัวกลางของขนาดเม็ดฝน (median drop size, d_{50}) มากกว่า

พารามิเตอร์อื่น (นิพนธ์, 2545) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ค่า d_{50} มีค่าอยู่ระหว่าง 2-3 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้น 25-200 มิลลิเมตร/ชั่วโมง (Hudson, 1993)

เม็ดฝนที่ตกลงมาทุกเม็ดจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงความเร็วท้ายสุด (Terminal velocity, V_t) เมื่อแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงต้านของอากาศที่กระทำกับเม็ดฝนมีค่าเท่ากัน เม็ดฝนจะมีความเร็วคงที่จนกระทั่งกระทบผิวดิน ความเร็ว ณ จุดที่กระทบผิวดินเรียกว่า ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน (Hudson, 1993) ซึ่งจะอยู่ในอัตราความเร็วมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเม็ดฝนขณะตกเป็นสำคัญ (นิพนธ์, 2545)

Chow et al., (1988) ได้อาศัยสมมูลของแรงที่กระทำกับเม็ดฝน และนำเสนอสมการเพื่อคำนวณหาความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝนดังสมการที่ 1

$$V_t = \left[\frac{4gD}{3C_d} \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

เมื่อ V_t คือ ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ

ชุดจำลองน้ำฝนนั้นจะให้ฝนเทียมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับฝนตามธรรมชาติมากที่สุดเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรเหล่านี้คือ ขนาดและรูปร่างเม็ดฝน ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน ทิศทางของเม็ดฝนที่ตกกระทบพื้น ความเข้มข้น ช่วงเวลาของฝนตก และความสม่ำเสมอของการตก งานวิจัยได้สร้างชุดจำลองน้ำฝน โดยทำการคัดเลือกหัวจ่ายน้ำที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทย นำมาทดสอบกับชุดจำลองน้ำฝนเพื่อหาหัวจ่ายน้ำที่ดีที่สุด ที่ให้ลักษณะฝนเทียมเลียนแบบฝนธรรมชาติได้มากที่สุด

ชุดจำลองฝน (Rainfall Simulator)

ชุดจำลองน้ำฝนเป็นเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างฝนเทียมเลียนแบบลักษณะของฝนตามธรรมชาติ ด้วยเหตุผลทางด้านการวิจัยเช่น การควบคุมตัวแปรของฝนซึ่งไม่สามารถทำได้ในเหตุการณ์ทางธรรมชาติ งานวิจัยบางอย่างจำเป็นต้องมีการทำซ้ำเพื่อยืนยันผลที่ถูกต้อง ซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยมากที่ฝนสองเหตุการณ์จะมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกัน เช่น มีความเข้มข้น ช่วงเวลาของการตก

และรูปแบบการกระจายที่เหมือนกัน Bryan (1981) กล่าวว่าปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยจำลองฝนตกในห้องปฏิบัติการโดยใช้ชุดจำลองน้ำฝน ดังนั้นชุดจำลองน้ำฝนจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในขณะนี้ที่จะใช้ในการสร้างน้ำฝนโดยสามารถควบคุมตัวแปรของฝนได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น ๆ ซึ่งสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดีและข้อเสียของชุดจำลองน้ำฝน

1. ข้อดี

- สามารถสร้างลักษณะของฝนที่ตกได้ตามจุดประสงค์ของงานวิจัยนั้น เช่น การกำหนดรูปแบบฝน ความเข้มข้นและช่วงเวลาของฝนตก
- ไม่จำเป็นต้องใช้เวลารอฝนที่ตกตามธรรมชาติในการทำวิจัย
- สามารถสร้างข้อมูลฝนในกรณีที่ต้องการข้อมูลมาก ๆ ในการทำวิจัยทางด้านสถิติ
- สามารถกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ของฝนได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งไม่สามารถกำหนดได้ในเหตุการณ์ฝนที่ตกตามธรรมชาติ
- การเก็บข้อมูลในเหตุการณ์ธรรมชาติเป็นไปได้ด้วยความยุ่งยากแต่สามารถทำได้โดยใช้ชุดจำลองน้ำฝน เช่น การวัดปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ตกค้างในดิน และขบวนการพัดพาขณะฝนตก

2. ข้อเสีย

- งานวิจัยบางอย่างต้องทำในพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าใช้ชุดจำลองน้ำฝนจำเป็นต้องลงทุนมหาศาล
- การจำลองฝนในชุดจำลองน้ำฝนไม่สามารถเลียนแบบธรรมชาติได้สมบูรณ์

ชนิดของแบบจำลองน้ำฝน

การเลือกใช้ชุดแบบจำลองน้ำฝนนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น ๆ ชุดจำลองน้ำฝนนั้นมีหลายชนิดที่ใช้กันอยู่ทั่วโลก แต่สามารถแบ่งได้สองประเภทคือใช้แรงดันและไม่ใช้แรงดัน (Meyer, 1994)

1. ประเภทที่ใช้แรงดัน (Pressurized water rainfall simulation)

การใช้แบบจำลองน้ำฝนนั้นได้เริ่มใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องมือทางด้านชลประทาน เช่น เครื่องมือวัดอัตราการซึมของดินในสหรัฐอเมริกา (USDA, 1979) การพัฒนาเริ่มต้นจาก

การใช้หัวสปริงฉีดน้ำภายใต้แรงดัน โดยกำหนดอัตราการจ่ายน้ำของหัวฉีดภายใต้ความดันต่าง ๆ หัวจ่ายน้ำแต่ละชนิดจะให้ความดันที่แตกต่างกันออกไป ชุดจำลองน้ำฝนส่วนใหญ่จะให้ความสม่ำเสมอของการตกที่ความดันสูง ๆ แต่ความเข้มข้นจะมากเกินไป ความต้องการ ซึ่งเหมาะสำหรับการจำลองฝนตกที่มีความเข้มข้นมาก ๆ ส่วนที่ความดันต่ำ ๆ ความสม่ำเสมอของการตกจะมีน้อยลง และขนาดเม็ดฝนที่ได้จะขนาดใหญ่เกินความต้องการ แต่มีข้อดีในกรณีที่ต้องการความเข้มข้นน้อย ดังนั้นหัวจ่ายน้ำและเครื่องสูบน้ำเพื่อกำหนดแรงดันจึงเป็นอุปกรณ์หลักในการเลือกใช้สำหรับงานวิจัยที่แตกต่างกัน

2. ประเภทที่ไม่ใช้แรงดัน (Non-pressurized water rainfall simulation)

ชุดจำลองฝนตกแบบไม่ใช้แรงดันอาศัยแรงจากโน้มถ่วงของโลกเพื่อสร้างฝน โดยมีหลักการที่ว่าความเร็วสุดท้ายของฝนที่ตกต้องเป็นไปตามฝนที่เกิดตามธรรมชาติ ดังนั้นปัญหาหลักคือต้องการความสูงที่มากพอเพื่อให้ได้ความเร็วสุดท้ายที่ต้องการ Epema and Riezebos (1983) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและความเร็วที่ตก เช่น ขนาดเม็ดฝน 5 มิลลิเมตรต้องการความสูงที่จะใช้ในการตกอย่างน้อย 12 เมตร เพื่อที่จะได้ค่าความเร็วสุดท้ายเท่ากับฝนตามธรรมชาติ Morgan (1995) พบว่าเม็ดฝนที่ตกลงมาจากความสูงที่ 7.5 เมตร จะให้ความเร็วสุดท้ายเท่ากับหรือมากกว่า 95% ของความเร็วสุดท้ายที่เกิดฝนตามธรรมชาติ ห้องปฏิบัติการเพื่อการทดลองทางด้านวิชาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงของธรณี ของ Leuven ณ ประเทศเบลเยียม ได้ใช้ความสูงที่ 7.1 เมตร ในการปล่อยให้เม็ดฝนตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ฝนมีความเร็วสุดท้ายเท่ากับความเร็วสุดท้ายที่เกิดจากฝนตามธรรมชาติ (Bryan & De Ploey, 1983)

จากการเปรียบเทียบชุดจำลองน้ำฝนทั้งแบบภายใต้แรงดันและแบบที่ไม่ใช้แรงดัน พบว่า แบบภายใต้แรงดันมีความเหมาะสมและง่ายต่อการประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้ดีกว่า เนื่องจากมีขนาดชุดจำลองน้ำฝนแบบไม่ใช้แรงดันต้องการถังเก็บน้ำขนาดใหญ่และต้องติดตั้งที่ความสูงที่ต้องการ (อย่างน้อย 7.1 เมตร, (Bryan & De Ploey, 1983) ทำให้เคลื่อนย้ายลำบากในขณะที่แบบใช้จ่ายแรงดันแทนการใช้ถังเก็บน้ำและสามารถติดตั้งได้ในตำแหน่งที่ต้องการโดยการควบคุมการจ่ายน้ำได้จากวาล์ว ทำให้

สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่ายเช่นความเข้มข้นเป็นต้น ดังนั้นการศึกษาและประดิษฐ์ชุดจำลองน้ำฝนครั้งนี้ ได้มุ่งเน้นและทำการออกแบบเพื่อจะประดิษฐ์ชุดจำลองน้ำฝนภายใต้แรงดันซึ่งเป็นเครื่องมือสร้างน้ำฝนสำหรับใช้ในงานวิจัยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

รูปแบบของเครื่องมือผลิตน้ำฝนที่ใช้โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือแบบใช้แรงดันและแบบไม่ใช้แรงดันดังรายละเอียดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกสร้าง ชุดจำลองน้ำฝนที่ใช้แรงดัน เพราะมีความสะดวก และสามารถสร้างได้จริงในวงเงินที่จำกัด อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการสร้างประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำ ท่อส่งน้ำ ค้ำยัน เครื่องมือวัดความดัน หัวจ่ายน้ำ กำแพงกันลม

อุปกรณ์

1. เครื่องสูบน้ำ

ได้ใช้เครื่องสูบน้ำยี่ห้อ ZEAR ของประเทศอิตาลี สามารถจ่ายน้ำได้ในอัตรา 300 ถึง 750 ลิตร/วินาที ที่ความดัน 2 ถึง 11.5 เมตร

2. ท่อส่งน้ำ

ท่อส่งน้ำประกอบด้วยท่อสายหลักสำหรับลำเลียงน้ำใช้ท่อ Polyvinyl chloride (PVC) ขนาด 2 นิ้ว ยาวท่อนละ 2 เมตร มาประกอบกัน โดยทำการติดตั้งวาล์วน้ำเพื่อควบคุมการจ่ายน้ำทุกท่อน จากนั้นต่อด้วยท่อ Polyethylene (PE) เพื่อส่งน้ำต่อไปยังหัวจ่ายน้ำ

3. ค้ำยัน

ใช้ท่อเหล็ก Galvanize ขนาด 1.5 นิ้วความยาวท่อนละ 1 เมตร สามารถถอดประกอบได้สะดวก และทำการเคลื่อนย้ายได้ง่าย

4. หัวจ่ายน้ำ

ได้ใช้หัวจ่ายน้ำยี่ห้อ KE-SORN NO.4 หัวจ่ายน้ำชนิดนี้มีคุณสมบัติเด่นที่สามารถให้ขนาดเม็ดฝนสมจริงตามธรรมชาติ แต่มีข้อเสียที่ให้อัตราการจ่ายน้ำสูงเกินความต้องการสำหรับเลียนแบบความเข้มข้นตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงได้ดัดแปลงหัวชนิดนี้ ให้มีรูการจ่ายน้ำจาก 9 รู เหลือ 2 รู และ 3 รู (Figure 2) เพื่อที่จะควบคุมอัตราการจ่ายน้ำตามให้ได้ความต้องการโดยการติดตั้งระยะห่างระหว่างหัวจ่ายน้ำเท่ากับ 1.05 เมตร

5. เครื่องมือวัดความดัน

ใช้เครื่องมือวัดความดันที่ใช้ทั่วไปสำหรับการวัดแรงดันในท่อ ซึ่งสามารถวัดแรงดันน้ำได้ตั้งแต่ 0 ถึง 4 บาร์

6. อุปกรณ์อื่น

อุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับบางงานวิจัย เช่น อุปกรณ์ควบคุมอิทธิพลของลม ได้แก่ กำแพงกันลม (wind shield, ดู Figure 3) วาล์วน้ำโดยใช้วาล์วน้ำที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด

จากอุปกรณ์ทั้งหมดสามารถนำมาประกอบเป็นเครื่องมือจำลองน้ำฝนดัง Figure 3

การสอบเทียบเครื่องมือ

การสอบเทียบเพื่อหาตัวแปรต่าง ๆ ที่เครื่องสร้างน้ำฝนนี้มีความสามารถเลียนแบบพฤติกรรม จริงของฝนได้ขนาดไหนนั้นจำเป็นต้องตรวจ สอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับฝน ได้แก่ ขนาดเม็ดฝน (drop diameter) ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน (terminal velocity) ทิศทางของเม็ดฝนที่ตกกระทบพื้น (direction) ความเข้มฝน (intensity) ช่วงเวลาของฝนตก (duration) และความสม่ำเสมอ (uniform) มีวิธีดำเนินการหาตัวแปรดังกล่าวมีดังนี้

1. ตรวจสอบและคัดเลือกหัวจ่ายน้ำที่มีข้ออยู่ทั่วไปเช่นหัวสเปรย์หรือสปริงเกอร์สำหรับการเกษตรและอื่น ๆ
2. สร้างชุดจำลองน้ำฝนชนิดใช้แรงดันดัง Figure 3
3. ทำการตรวจสอบชุดจำลองน้ำฝน โดยตรวจสอบหัวจ่ายน้ำที่นำมาเป็นหัวให้น้ำ ซึ่งจะทำการวัดขนาดเม็ดฝนและความเข้มฝน
4. นำค่าที่ตรวจวัดได้ เปรียบเทียบกับตัวแปรของน้ำฝนตามธรรมชาติ
5. ปรับปรุงแก้ไขชุดจำลองน้ำฝน
6. ตรวจสอบชุดจำลองน้ำฝนอีกครั้งโดยการตรวจสอบค่าความสม่ำเสมอ ขนาดเม็ดฝน ความเข้มฝน ความสูงที่เม็ดฝนลอยตัวสูงขึ้น ที่ความดันต่าง ๆ โดยละเอียด
7. จัดทำกราฟและสมการเพื่อใช้เป็นค่าที่จะใช้ออกแบบน้ำฝนสำหรับการวิจัยต่อไป

ผลการทดลอง

การสร้างน้ำฝนเทียมเพื่อเลียนแบบลักษณะของฝนตามธรรมชาติ โดยการประดิษฐ์เครื่องจำลองน้ำฝนนั้น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่สำคัญได้แก่ ขนาดของเม็ดฝน

การกระจายตัวของเม็ดฝน ความเร็วท้ายสุดที่ตกกระทบ ความสม่ำเสมอของฝนตลอดแปลงทดลอง และรูปแบบการตก ช่วงเวลา และความเข้มฝน (Blanquies *et al.*, 2003) ในการสร้างชุดจำลองน้ำฝนครั้งนี้ได้ทำการสอบเทียบตัวแปรที่สำคัญทั้งหมดปรากฏตามรายละเอียดดังนี้

ความเข้มฝน (Rainfall intensity)

ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดน้ำฝนที่ใช้กันทั่วไปตามมาตรฐานสากล ผลการตรวจสอบพบว่า ความเข้มฝนมีค่าแปรผันตามแรงดันโดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันที่หัวจ่ายน้ำเพิ่มขึ้น จากการดัดแปลงหัวจ่ายน้ำให้เหลือรูน้ำออก 2 รู พบว่าที่ประสิทธิภาพการกระจายตัวตามค่า CU ของ Christiansen ระหว่าง 71-92 % ชุดจำลองน้ำฝนให้ค่าความเข้มฝนตั้งแต่ 65 ถึง 125 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ที่ความดัน ณ หัวจ่าย 0.3 ถึง 1.0 บาร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 สำหรับหัวจ่ายน้ำแบบ 3 รู พบว่าที่ประสิทธิภาพการกระจายตัวตามค่า CU ระหว่าง 82-90 % ชุดจำลองน้ำฝนให้ค่าความเข้มฝนตั้งแต่ 126 ถึง 285 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ที่ความดัน ณ หัวจ่าย 0.4 ถึง 1.0 บาร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3

$$I = 136 P^{0.56}$$

$$R^2 = 0.98$$

(2)

$$I = 292 P^{0.91}$$

$$R^2 = 0.96$$

(3)

เมื่อ I คือ ความเข้มฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)

P คือ ความดันที่หัวจ่าย (บาร์)

ผลการทดลองได้นำเสนอในรูปของกราฟอย่างง่ายเพื่อสะดวกต่อการใช้งานดัง Figure 4

ขนาดของเม็ดฝน

ขนาดของเม็ดฝนได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพ (Figure 5) โดยใช้กล้องยี่ห้อ Fuji รุ่น S9500 ผลการทดลองพบว่าขนาดเม็ดฝนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 4.25 มิลลิเมตร ที่ความดัน ณ หัวจ่ายน้ำเท่ากับ 0.3 ถึง 1.0 บาร์ โดยมีค่าแปรผกผันกับแรงดันที่หัวจ่ายโดยเมื่อแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นขนาดเม็ดฝนจะมีคาลดลงเล็กน้อย

การกระจายตัวของเม็ดฝน

การตกของฝนแต่ละครั้ง เม็ดฝนที่ตกลงมาจะไม่ได้มีขนาดเดียวกันเสมอ ดังนั้นจำเป็นต้องทราบ

สัดส่วนของขนาดเม็ดฝนที่ตกแต่ละครั้งว่ามีขนาดคละอย่างไร จากเทคนิคการถ่ายภาพ ทำให้ทราบว่าฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งมีขนาดเม็ดเท่าใดและจำนวนเท่าใดสามารถแสดงผลออกมาในรูปของกราฟ (Figure 6) โดยใช้ค่าตัวกลางของขนาดเม็ด (median drop size, d_{50}) ซึ่งเป็นดัชนีที่ดีที่สุดที่จะใช้เป็นตัวแทนถึงลักษณะการกระจายของเม็ดฝน (นิพนธ์, 2545) ในการทดลองครั้งนี้พบว่ามีความเร็วเท่ากับ 2.60 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 0.4 บาร์ 2.39 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 0.6 บาร์ และ 2.05 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 1.0 บาร์

ความเร็วท้ายสุดที่ตกกระทบ

ความเร็วท้ายสุดที่ตกกระทบนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรง ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือวัด การทดลองครั้งนี้ได้ใช้ค่าของ Laws & Parson (1943) เพื่อมาอ้างอิงในการหาความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝน (นิพนธ์, 2545)

สำหรับชุดจำลองน้ำฝนชุดนี้ได้ทำการสอบเทียบเครื่องมือที่ระดับหัวจ่ายน้ำสูง 1.80 เมตร จากระดับพื้นดิน โดยให้ความสูงในการตกของเม็ดฝนมีระยะการตกเฉลี่ยประมาณ 3.7 เมตร เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณความเร็วการตกถึงพื้นของเม็ดฝนได้โดยใช้การทดลองของ Laws & Parson (1943) พบว่ามีความเร็วท้ายสุด 6.2 เมตร/วินาที เมื่อขนาดเม็ดฝนเท่ากับ 2.50

มิลลิเมตร ซึ่งมีความน้อยกว่าความเร็วท้ายสุดของฝนที่ตกตามธรรมชาติเท่ากับ 16% (ฝนที่ตกตามธรรมชาติมีความเร็วท้ายสุดเท่ากับ 7.41 เมตร/วินาที)

ความสม่ำเสมอของฝน

ทำการวัดความสม่ำเสมอฝนที่ตกลงมาโดยใช้แก้วน้ำที่มีขนาดเท่ากันวางระยะกิริติเท่ากับ 0.4×0.4 ตารางเมตร บนพื้นที่ขนาด 3.0×10.0 ตารางเมตร เพื่อวัดความสม่ำเสมอของฝน และแสดงผลออกมาในค่าความสม่ำเสมอของ Christainsen uniformity coefficient (CU) จากการทดลองพบว่าค่า CU จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นถ้าความเข้มฝนมากขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 85.64% ทั้งนี้ชุดจำลองน้ำฝนได้ทำการสอบเทียบค่า CU ที่ดีที่สุดสำหรับความเข้มฝนค่าหนึ่ง เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ โดยมีความสัมพันธ์กับมุมเอียงของหัวจ่ายและความดันที่ให้กับหัวจ่าย (Table 1)

สำหรับช่วงเวลากการเกิดฝนสามารถควบคุมได้โดยการปิดและเปิดชุดจำลองน้ำฝน ส่วนรูปแบบการตกของฝนควบคุมโดยการปรับวาล์วบริเวณท่อด้านจ่ายจากเครื่องสูบน้ำ ซึ่งสามารถตรวจสอบความเข้มฝนเบื้องต้นได้จากกราฟระหว่างความเข้มฝนกับความดันที่ได้นำเสนอใน Figure 4

Table1 Uniformities of rainfall

Type of nozzle	Nozzle incline, θ (degree)	Pressure (bars)	Intensity (mm/h)	CU
2 holes	20°	0.30	65.8	71.9
2 holes	20°	0.45	86.7	75.3
2 holes	30°	0.55	98.0	85.3
2 holes	30°	0.75	113.0	88.1
2 holes	30°	0.85	121.0	85.0
2 holes	30°	1.00	130.0	88.4
2 holes	35°	0.35	76.0	84.7
2 holes	35°	0.55	102.0	88.1
2 holes	35°	0.60	111.0	90.1
2 holes	35°	0.80	123.0	91.2
3 holes	20°	0.40	126.0	85.8
3 holes	20°	0.45	142.5	82.3
3 holes	20°	0.55	168.0	82.2
3 holes	25°	0.50	155.0	87.6
3 holes	25°	0.60	189.0	83.0
3 holes	25°	0.75	225.0	90.2
3 holes	25°	0.80	255.0	88.6
3 holes	30°	0.65	192.0	87.4
3 holes	30°	0.70	202.5	87.1
3 holes	30°	0.90	264.0	87.8
3 holes	30°	1.00	285.0	88.4

Note: Nozzle incline was measured in positive degrees versus vertical reference line.

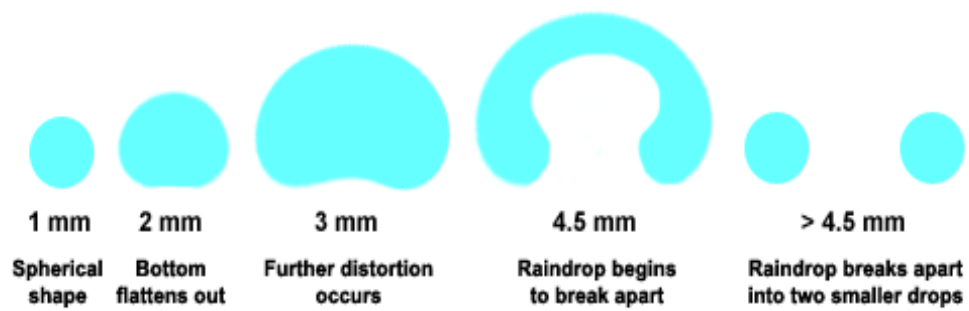
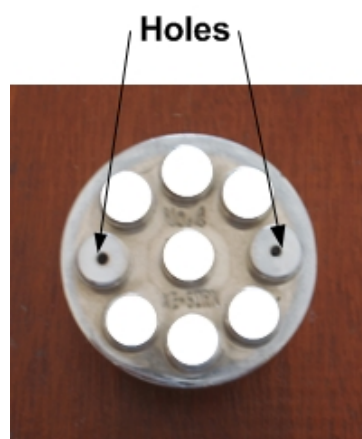
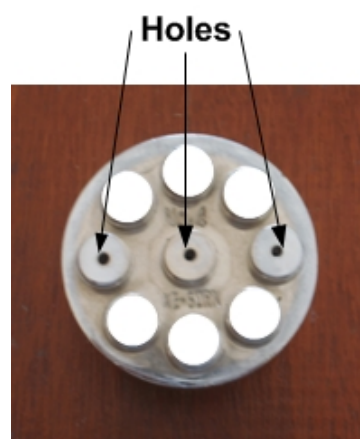


Figure1 Shapes of rainfall

source: (Envirocast™ Weather and Watershed Newsletter, 2003)



Nozzle 2 of holes



Nozzle 3 of holes

Figure 2 The Nozzles

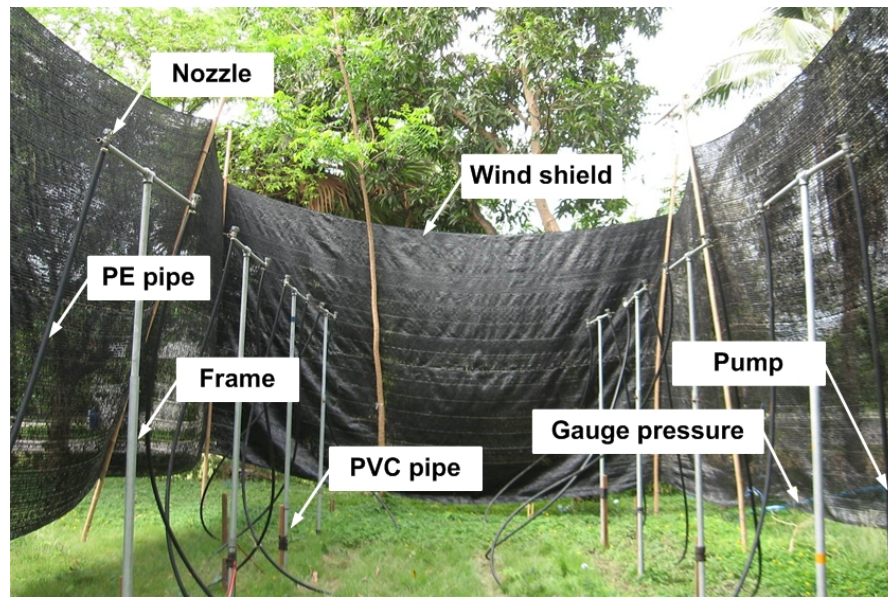


Figure 3 Rainfall simulator

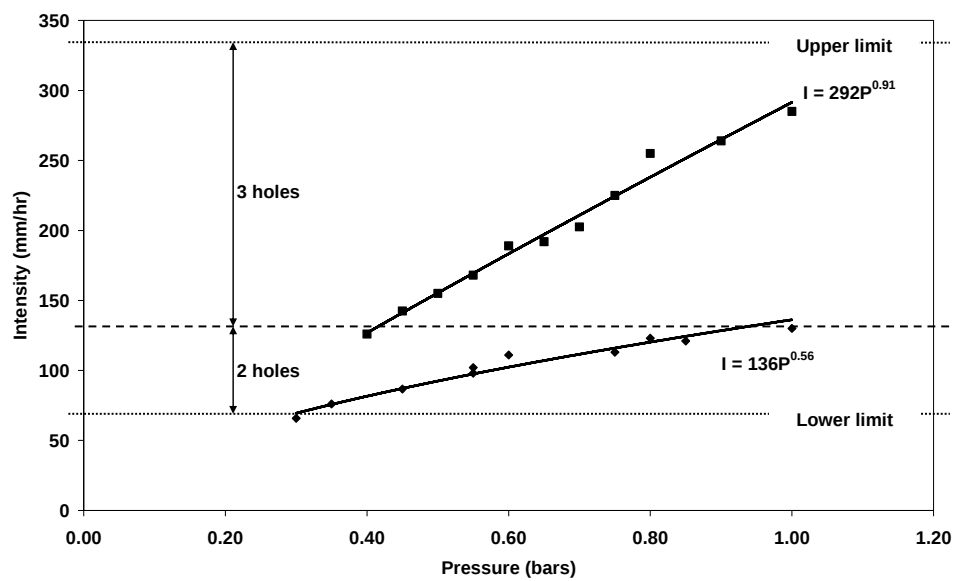


Figure 4 The effect of pressures applied at nozzles on the rainfall intensity.



Figure 5 Raindrop sizes

Note: A grid size is 1 x 1 square millimeter

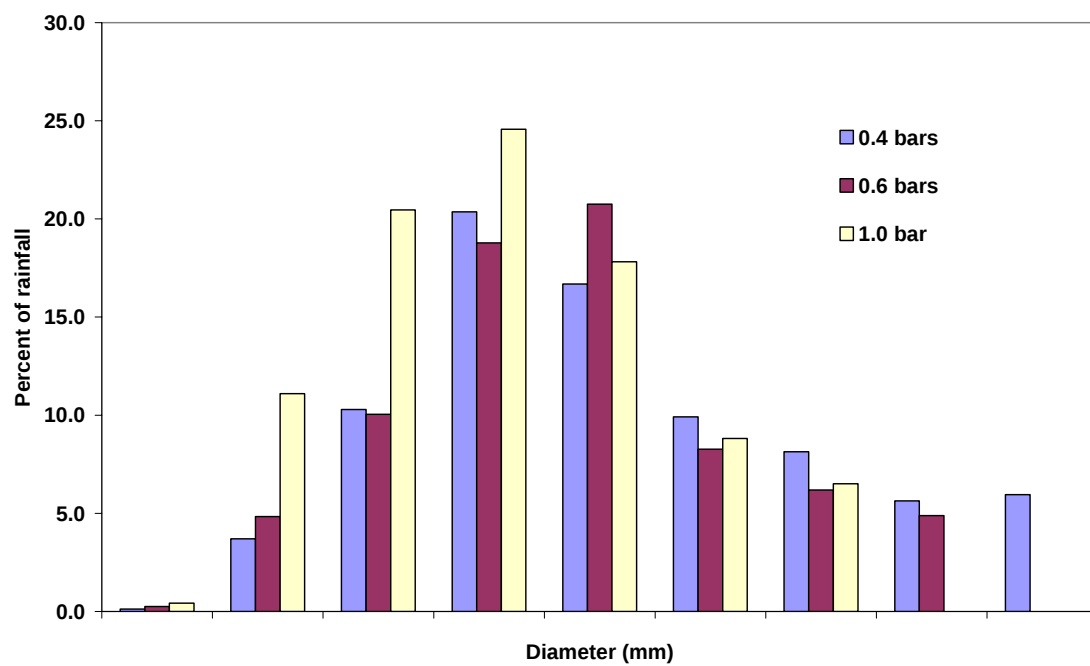


Figure 6 Raindrop size distributions

สรุป

จากผลการทดลองชุดจำลองน้ำฝนที่จัดสร้างขึ้นเพื่อผลิตน้ำฝนเทียมสามารถเลียนแบบลักษณะของฝนตามธรรมชาติได้ดี โดยการเปรียบเทียบกับตัวแปรของฝนตามธรรมชาติสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ความชื้นฝนมีความสัมพันธ์แปรผันตามความดัน ณ หัวจ่ายน้ำ จากการดัดแปลงหัวจ่ายน้ำให้เหลือรูน้ำออก 2 รู พบว่าชุดจำลองน้ำฝนให้ค่าความชื้นฝนตั้งแต่ 65 ถึง 125 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพการกระจายตัวของฝนตามค่า CU ของ Christiansen ระหว่าง 71-92% ณ ความดันที่หัวจ่ายน้ำเท่ากับ 0.3 ถึง 1.0 บาร์ สำหรับหัวจ่ายน้ำแบบ 3 รู พบว่าที่ประสิทธิภาพการกระจายตัวตามค่า CU ของ Christiansen ระหว่าง 82-90% ชุดจำลองน้ำฝนให้ค่าความชื้นฝนตั้งแต่ 126 ถึง 285 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ณ ความดันที่หัวจ่ายน้ำเท่ากับ 0.4 ถึง 1.0 บาร์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ $I = 136 P^{0.56}$ สำหรับหัวจ่ายน้ำ 2 รู และ $I = 292 P^{0.91}$ สำหรับหัวจ่ายน้ำ 3 รู เมื่อ I คือ ความชื้นฝน (มม./ชม.) และ P คือ ความดันที่หัวจ่าย (บาร์)

ขนาดของเม็ดฝนมีค่าตั้งแต่ 0.25 ถึง 4.25 มิลลิเมตร และมีค่าแปรผกผันกับแรงดันที่หัวจ่ายโดยเมื่อแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นขนาดเม็ดฝนจะมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยมีค่ากลางเท่ากับ 2.60 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 0.4 บาร์ 2.39 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 0.6 บาร์ และ 2.05 มิลลิเมตร ที่แรงดัน 1.0 บาร์

ความเร็วท้ายสุดที่ตกกระทบนั้นได้ใช้ผลการทดลองของ Laws & Parson (1943) เพื่อมาอ้างอิงในการหาความเร็วท้ายสุดโดยการวัดความสูงของเม็ดฝนที่ตกลงมา

มุมที่ตกกระทบของเม็ดฝนนั้นส่วนมากเป็นผลมาจากลม ดังนั้นชุดจำลองน้ำฝนที่สร้างขึ้นได้ป้องกันแรงลม โดยใช้แผงกันลม ทำให้มุมที่เม็ดฝนตกกระทบกับพื้นผิวจะมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว

ช่วงเวลาการตกของฝนสามารถควบคุมได้โดยการปิดและเปิดชุดจำลองน้ำฝน สำหรับรูปแบบการตกของฝนสามารถควบคุมโดยการปรับวาล์วที่จ่ายออกจากเครื่องสูบน้ำ ซึ่งสามารถตรวจสอบความชื้นฝนเบื้องต้นได้จากกราฟระหว่างความชื้นฝนกับความดันที่ได้นำเสนอใน Figure 4

ข้อเสนอแนะ

การจัดสร้างชุดจำลองน้ำฝนชุดนี้ ได้มีวัตถุประสงค์เพื่องานวิจัย โดยได้กำหนดพื้นที่งานวิจัยครั้งนี้ไว้ขนาด 10.0 x 2.0 ตารางเมตร (จากการสอบเทียบสามารถใช้ได้กับพื้นที่ขนาด 10.0 x 3.0 ตารางเมตร) และสามารถนำไปสาธิตในการเรียนการสอนวิชาที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นในการสร้างได้นำเสนอชุดจำลองน้ำฝนที่สามารถถอดประกอบได้สะดวก และเลียนแบบพฤติกรรมฝนได้จริง จากการจัดสร้างเครื่องมือชิ้นนี้สามารถตอบสนองตามวัตถุประสงค์ได้ แต่ยังมีบางส่วนที่จะต้องทำการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้ชุดจำลองน้ำฝนมีความสะดวก ใช้งานได้รวดเร็ว รวมทั้งใช้งานกับพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น ดังนี้

1. ควรตรวจสอบความชื้นฝนที่ความดันมากกว่า 1.0 บาร์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากเครื่องสูบน้ำที่มีอยู่สามารถให้แรงดัน ณ หัวจ่ายมากที่สุดเท่ากับ 1 บาร์
2. ควรใช้เครื่องสูบน้ำที่มีอัตราการจ่ายน้ำน้อยที่ความดันสูง ๆ
3. เนื่องจากชุดน้ำฝนที่สร้างขึ้นให้ค่าความชื้นฝนตั้งแต่ 65 – 285 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ซึ่งเพียงพอสำหรับงานวิจัยที่ต้องการค่าความชื้นฝนระดับนี้ แต่หากงานวิจัยชิ้นนี้ต้องการค่าความชื้นฝนที่น้อยกว่า 65 มิลลิเมตร/ชั่วโมง จำเป็นต้องตรวจสอบหัวจ่ายน้ำชนิดอื่นต่อไป ซึ่งอาจต้องนำเข้าจากต่างประเทศ สำหรับงานวิจัยที่ต้องการค่าความชื้นฝนมากกว่า 285 มิลลิเมตร/ชั่วโมง สามารถทำได้โดยการเพิ่มความดัน ณ หัวจ่ายน้ำ
4. สำหรับงานวิจัยที่ต้องการพื้นที่มากกว่า 10.0 x 3.0 ตารางเมตร สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแถวของชุดจำลองน้ำฝน
5. การปรับเปลี่ยนมุมเอียงของหัวจ่ายน้ำยังต้องใช้แบบมือหมุน ซึ่งในการพัฒนาครั้งต่อไปควรควบคุมแบบอัตโนมัติซึ่งจะให้ค่าความถูกต้องมากขึ้น (ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย)
6. ความเร็วตกกระทบพื้นที่เกิดจากการติดตั้งหัวจ่ายน้ำที่ระดับความสูง 1.80 เมตร นั้นยังมีความน้อยกว่าความเร็วท้ายสุดที่ฝนธรรมชาติตกกระทบพื้น ดังนั้นหากงานวิจัยบางอย่างที่ต้องการใช้ความเร็วท้ายสุดของเม็ดฝนเป็นตัวแปรร่วมในการวิจัย จำเป็นต้องติดตั้งหัวจ่าย

น้ำที่ระดับความสูงตามต้องการโดยใช้ข้อมูล
ของ Laws & Parson (1943)

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์
กำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนวิจัย นิสิตและเจ้าหน้าที่
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่มีส่วนช่วยเหลือใน
การสร้างและทดสอบเครื่องมือ

เอกสารอ้างอิง

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะ
ล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนใน
พื้นที่ลุ่มน้ำ. กรุงเทพฯ: ธุรการภาควิชาอนุ
รักษวิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ๑๓๖๖
กรุงเทพฯ.

Akanro, J. O. (1983). An experimental
investigation to test the validity of
Wischmeier's erodibility nomograph.
(M.Sc. Cranfield Institute of
Technology, 1983). Silsoe College:
Cranfield Institute of Technology.

Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P., &
Ortigosa, L. (2007). Factors affecting
runoff and erosion under simulated
rainfall in Mediterranean vineyards.
Soil and Tillage Research, 93(2),
324-334.

Blanquies, J., Scharff, M., & Hallock, B. (2003).
The design and construction of a rainfall
simulator. Paper presented at the
International Erosion Control Association (IECA),
34th Annual Conference and Expo., Las
Vegas, Nevada, February 24-28,
2003.

Bryan, R. B. (1981). Soil erosion under
simulated rainfall in the field and in
the laboratory: variability of erosion
under controlled conditions. Erosion
and sediment transport measurement.
IAHS Public, 133, Florence, p 391 - 403.

Bryan, R. B., & De Ploey, J. (1983).
Comparability of soil erosion
measurements with different rainfall
simulators. In De Ploey, J. (Ed), Rainfall
simulation, runoff and soil erosion. Catena
Supp. 4, p 33 - 56.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W.
(1988). Applied hydrology.
Singapore: McGraw-Hill, Inc.

EnvirocastTM Weather and Watershed
Newsletter. (2003). Raindrops and
Erosion. Available source
[http://www.stormcenter.com/envirocast-
article2.php](http://www.stormcenter.com/envirocast/2003-04-01/envirocast-article2.php), July 3, 2007.

Epema, G. F., & Riezebos, H. T. (1983). Fall
velocity of water drops at different
heights as a factor influencing erosivity
of simulated rainfall. In De Ploey, J. (Ed). 1983.
Rainfall simulation, runoff and soil erosion.
1983. Rainfall simulation, runoff and soil
erosion, p 1-17.

Hudson, N. W. (1993). Field measurement of
soil erosion and runoff, Soils Bulletin
68: Food and Agriculture
Organization of the United Nations,
Rome, 1993.

Laws, J.O., and D.A. Parson. 1943. The relation of raindrop size to intensity. Transactions of the American Geophysics Union, (24):452-459.

Meyer, L. D. (1994). Rainfall simulators for soil erosion research. In R. Lal (Ed.), Soil Erosion Research Methods (pp. pp 83-103). Ankeny: Soil and Water Conservation Society.

Morgan, R. P. C. (1995). Soil Erosion and Conservation (2 ed.): Longman, UK.

USDA. (1979). Proceedings of the rainfall simulator workshop. In Science and education administration Agricultural Reviews and Manuals. ARM-W-10. 1979. Tucson, Arizona

Received 23 July 2007

Accepted 6 April 2008