เทคโนโลยีในการออกแบบระบบโถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ : กรณีศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อระบายน้ำ

วิทยานิพนธ์

ของ

อนุรักษ์ กุศลชู

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2560

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เทคโนโลยีในการออกแบบระบบโถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ : กรณีศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อระบายน้ำ

วิทยานิพนธ์

ของ

อนุรักษ์ กุศลชู

พหุน ปญฺ ศิโต ชีเว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Design Technology for Water-Efficient Toilet : A Case Study of Drainage System Performance

Anurak Kusolchoo

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Environmental Technology)

Academic Year 2017

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนาย อนุรักษ์ กุศลชู แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อ. ดร. วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. พลกฤษณ์ จิตร์โต)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รศ. ดร. ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ผศ. ดร. ยรรยงค์ อินทร์ม่วง)
คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง เทคโนโลยีในการออกแบบระบบโถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ : กรณีศึกษาประสิทธิภาพของระบบท่อระบายน้ำ
ผู้วิจัย อนุรักษ์ กุศลชู
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีการศึกษา** 2560

บทคัดย่อ

การอนุรักษ์น้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืน ผลของการลดการไหลของน้ำผ่านการทำงานของระบบระบายน้ำทำให้เกิดความวิตกกังวลเป็นอย่างมากเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการลดปริมาณการใช้น้ำภายในอาคารลง การเลือกใช้ชักโครกเพื่อประหยัดน้ำจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการประหยัดน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค ซึ่งมีความสำคัญและมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึง ดังนั้นการออกแบบสุขภัณฑ์ชักโครกที่มีประสิทธิภาพการประหยัดน้ำจึงได้รับความสนใจมากขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างผ่านการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อระบายน้ำที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ ความชัน ระยะทาง เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และความสูงในแนวดิ่งของท่อระบาย ซึ่งการวิจัยได้ดำเนินการทดลองติดตั้งภายใต้เงื่อนไขเพื่อตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายและประสิทธิภาพการประหยัดน้ำของชักโครกในการถ่ายเทของเสียในท่อระบาย นอกจากนี้ยังได้รับการตรวจสอบคุณลักษณะของของแข็งและตำแหน่งการตกสะสมของของแข็งในท่อระบาย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน การติดตั้งท่อระบายที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อ 8 เมตร จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากที่สุดเมื่อท่อระบายมีขนาด 2 และ 3 นิ้ว และเมื่อมีการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งที่ระดับสูงสุด 800 มิลลิเมตรและเพิ่มขนาดความยาวท่อระหว่าง 8 - 12 เมตร จะทำให้ระบบท่อระบายมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากยิ่งขึ้นในท่อระบายทั้งสามขนาดคือ 2, 3 และ 4 นิ้ว โดยท่อระบายที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากกว่าท่อระบายที่มีขนาดใหญ่กว่า และในสภาพการณ์ที่มีความชันพบว่า ความชันของท่อระบายเป็นปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดความเร็วของน้ำในท่อและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือที่ความชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความเร็วของน้ำในท่อเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาหากต้องการติดตั้งในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่มีความชันพบว่าความชันที่ดีที่สุดคือ 1:50, 1:100 และ 1:200 ตามลำดับ ซึ่งทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วของน้ำในท่อเป็นไปได้และระบบมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำควรติดตั้งความยาวท่อระบายไม่เกิน 12 เมตร ผลจากการศึกษาที่ได้

นี้ถูกนำไปใช้ในการศึกษากลไกการเคลื่อนที่ของของแข็งและตำแหน่งของการตกสะสมของของแข็งในท่อระบายน้ำ พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทได้ในโถสุขภัณฑ์คือปริมาณน้ำ 4 ลิตร โดยเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันของแข็งจะตกสะสมในเส้นท่อในระยะทางที่สั้น แต่เมื่อเพิ่มความชันและความสูงในแนวดิ่งจะทำให้ระบบท่อมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทของแข็งมากยิ่งขึ้นและพบว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะสามารถถ่ายเทของเสียไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า ซึ่งผลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ระบบท่อระบายน้ำ, ปริมาณการล้าง, ประสิทธิภาพการประหยัดน้ำของสุขภัณฑ์

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE Design Technology for Water-Efficient Toilet : A Case Study of Drainage System Performance

AUTHOR Anurak Kusolchoo

ADVISORS Wichitra Singhirunnusorn , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Environmental Technology

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2017

ABSTRACT

Water conservation is a prerequisite to sustainable environment. The effect of reductions in water throughflow on the operation of drainage systems has led to anxiety is very much about the possibility to reduce the consumption of water in the building down. Selecting use the toilet to save water so it is a viable way for saving water consumption. Which are important and necessary to take into consideration, so that water-saving efficiency toilet design, thus get more attention. This study therefore focused on reducing the volume of water used to flush through the drainage system, by factors affecting the efficiency of the sewer system of inspection such as; drainline slope, drain distance, drainline diameter and vertical drop height of the drain. Where the research was conducted under the terms of the installed trial to determine the velocity of water flowing in the drain and water-saving efficiency of a toilet in the solid transport in the drain. It also has been investigating the characteristic of solids and solid deposition position in the drain. The study shows that in the condition there is no slope. Install the drain at vertical drop height 150 millimeters and drain distance 8 meters, will be effective in saving water when there is drainline diameter 2 and 3 inches when increase a vertical drop height of 800 millimeters and increase a drain distance between the size 8-12 meters make drain systems are effective in saving even more water. In drainline diameter all three size is 2, 3, and 4 inches by drain is small, effective in water saving more than a larger drain. And in condition where there is a slope of the drain, found that the slope of the drainage are factors that determine the velocity of

the water in the pipes and the flush volume effectively. That is the slope rise will result in increased velocity of water in the pipeline as well. The results of the study, if installed in the 2, 3 and 4 inch drainage pipelines, in slope condition found slope that the best is 1:50, 1: 100 and 1: 200, respectively. In order to ensure the velocity of the water in the pipeline is possible and the system is effective in saving water, it should be installed the drain distance is not more than 12 meters. The results of this study were used for the study the mechanism of solid transport and solid deposition position in the drain. The study found that flush volume used at lowermost can make the solid transport in the toilet is 4 liters. When installed in a condition where no slope. Solid are deposition in the drain at the short distance. However, when increasing slope and vertical drop height, it will make the pipe system more efficient in solid transport. And found that small drain diameter can be transported at a distance far larger than the larger drain diameter. The results will be used to design alternatives suitable for water-efficient-toilets.

Keyword : Drainage System, Flush Volume, Water-Efficient Toilet

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จผลตามประสงค์อย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและปรารถนาดีของหน่วยงานและบุคคลต่างๆ ดังต่อไปนี้ โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้รับทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี 2557 และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2558

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงจาก อาจารย์ ดร.วิจิตรา สิงห์หิรัญนุสรณ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยตลอดจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณศูนย์วิจัยสหวิทยาการการวิจัยเพื่อความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ได้ให้การสนับสนุน ด้านสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในระหว่างการวิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.ดร.นพดล สหชัยเสรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูงที่ได้ให้แนวคิดซึ่งได้มาซึ่งงานวิจัยนี้และช่วยให้ผู้วิจัยได้มีทิศทางในการศึกษาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล ผศ.ดร.พลกฤษณ์ จิตร์โต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ รศ.ดร. ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณาจารย์และนิสิตสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม รวมถึงบุคลากรของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ที่ให้ความรู้ ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือสนับสนุนการทำงานของผู้วิจัยในทุกๆด้านด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้บรรลุผลสำเร็จ

อนุรักษ์ กุศลชู

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ปัญหาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 กรอบการวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ความสำคัญของการประหยัดน้ำ 5

2.2 องค์ประกอบของโถสุขภัณฑ์ 6

2.3 ประเภทและรูปแบบของโถสุขภัณฑ์ 9

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย 17

2.5 คุณลักษณะของแข็ง (solid characteristics) 27

2.6 การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร 30

บทที่ 3 วิธีการศึกษา 37

3.1 การดำเนินการวิจัย 37

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 46
4.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ 46
4.1.1 อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน 47
4.1.2 อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชัน 60
4.1.3 การศึกษากลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย 74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 85
5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 87
บรรณานุกรม 93
ภาคผนวก 96
ภาคผนวก ก การออกแบบการทดลอง 97
ภาคผนวก ข ตัวอย่างภาพประกอบในงานวิจัย 102
ประวัติผู้เขียน 105

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงการออกแบบความชันของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบ 39

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อทั้ง 3 ขนาดที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน ... 47

ตารางที่ 3 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน 49

ตารางที่ 4 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่ความสูงในแนวดิ่งและความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน 53

ตารางที่ 5 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ที่มีความยาวท่อ 4 เมตรโดยติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันที่แตกต่างกัน 61

ตารางที่ 6 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 2 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน 65

ตารางที่ 7 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 3 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน 66

ตารางที่ 8 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่าง 67

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้าน ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อปริมาณน้ำ ระยะทางและความสูงในแนวดิ่งกับความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย 71

ตารางที่ 10 สรุปผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว 73

ตารางที่ 11 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว เมื่อติดตั้งในระดับที่ไม่มีความชันของท่อระบาย 75

ตารางที่ 12 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน 78

ตารางที่ 13 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 3 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน 80

ตารางที่ 14 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน 82

ตารางที่ 15 ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ 89

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบที่ 1 แสดงกรอบการวิจัยและตัวแปลที่เกี่ยวข้อง 4

ภาพประกอบที่ 2 โถส้วมนั่งราบ 8

ภาพประกอบที่ 3 โถส้วมนั่งยอง 8

ภาพประกอบที่ 4 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของอุปกรณ์ถังพักน้ำ 9

ภาพประกอบที่ 5 แสดงลักษณะของ Dual flush toilets และรูปแบบของปุ่มกด 10

ภาพประกอบที่ 6 ลักษณะของ Dual flush handle 11

ภาพประกอบที่ 7 แสดงแผนภาพโครงสร้างและลำดับของชักโครกแบบ Gravity feed toilet 12

ภาพประกอบที่ 8 แสดงแผนภาพลำดับของชักโครกแบบ Tankless toilets 13

ภาพประกอบที่ 9 แสดงรูปแบบของ 4.5/3L dual flush toilets 14

ภาพประกอบที่ 10 รูปแบบของ Dual flush toilets with integrated hand basin 15

ภาพประกอบที่ 11 รูปแบบของ Urine separating toilets 15

ภาพประกอบที่ 12 รูปแบบของ Air assisted flush toilets 16

ภาพประกอบที่ 13 ความชันของท่อที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียและปริมาณการล้างที่ลดลง 18

ภาพประกอบที่ 14 ความชันกับระยะทางในการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย 19

ภาพประกอบที่ 15 แสดงการติดตั้งความสูงท่อในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) 20

ภาพประกอบที่ 16 แสดงกลไกการถ่ายเทของเสียในท่อระบายเมื่อของเสียถูกปลดปล่อยหรือถ่ายเทออกจากโถสุขภัณฑ์ 22

ภาพประกอบที่ 17 แสดงประสิทธิภาพของการถ่ายเทของแข็งที่ปริมาณการล้าง 6 ลิตร ในแต่ละขนาดท่อที่ความชัน 1/60 24

ภาพประกอบที่ 18 แสดงการถ่ายเทของเสียในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร 25

ภาพประกอบที่ 19 แสดงการถ่ายเทของเสียในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร 26

ภาพประกอบที่ 20 แสดงตำแหน่งของของแข็งในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน 27

ภาพประกอบที่ 21 ลักษณะของกระดาษทิชชูและถั่วเหลืองบดที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ 28

ภาพประกอบที่ 22 ลักษณะของ Water Wigglers ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ..... 28

ภาพประกอบที่ 23 การเปรียบเทียบระยะทางในการถ่ายเทของเสียของถั่วเหลืองบดและ Water - Wigglers 29

ภาพประกอบที่ 24 แสดงการติดตั้งการทดสอบและตัวอย่างของเสียที่ใช้ทดสอบ 30

ภาพประกอบที่ 25 แสดงตัวอย่างการติดตั้งความชันเพื่อใช้ในการทดสอบ 40

ภาพประกอบที่ 26 แสดงการติดตั้งความสูงในแนวดิ่งในระดับที่สูงและต่ำตามลำดับ..... 41

ภาพประกอบที่ 27 แสดงรูปแบบของการติดตั้งความยาวของท่อระบายในแนวนอน 42

ภาพประกอบที่ 28 จะแสดงลักษณะของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบ 43

ภาพประกอบที่ 29 แสดงตัวอย่างของเสียที่ใช้ในการทดสอบ 44

ภาพประกอบที่ 30 โถสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ 45

ภาพประกอบที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน 48

ภาพประกอบที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความยาวท่อต่างๆในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน 50

ภาพประกอบที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายที่มีความยาว 4 เมตร ทั้ง 3 ขนาด ที่ความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน..... 55

ภาพประกอบที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำของท่อระบายทั้ง 3 ขนาดที่ความยาว 8, 12 และ 16 เมตร ที่ความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน 56

ภาพประกอบที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ที่ความยาวท่อ 4 เมตรและมีความชันที่แตกต่างกัน..... 62

ภาพประกอบที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความยาวท่อต่างๆที่ความชัน 1: 50 68

ภาพประกอบที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างกับระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน 76

ภาพประกอบที่ 38 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายโดยไม่มีความชัน 98

ภาพประกอบที่ 39 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:50 99

ภาพประกอบที่ 40 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:100 100

ภาพประกอบที่ 41 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:200 101

ภาพประกอบที่ 42 ตัวอย่างการติดตั้งระบบท่อระบายน้ำ 103

ภาพประกอบที่ 43 การติดตั้งท่อพีวีซีที่หุ้มด้วยแผ่นพีวีซีใส 103

ภาพประกอบที่ 44 ถั่วเหลืองบดที่ใช้ในการทดสอบ 104

ภาพประกอบที่ 45 ตัวอย่างการตกสะสมของของแข็งในท่อระบาย 104

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการใช้น้ำสำหรับภาคครัวเรือนและอาคารพาณิชย์ต่างๆ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร จึงทำให้มีความต้องการที่จะใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคมากขึ้นตามไปด้วย การใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคนี้ ส่วนใหญ่นั้นจะมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากห้องน้ำหรือห้องสุขา โดยส่วนของการใช้น้ำที่สำคัญโดยจะมีการใช้น้ำในปริมาณที่มากก็คือ การใช้น้ำสำหรับการชะล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการขับถ่ายของมนุษย์ ซึ่งในส่วนนี้ต้องการใช้น้ำในปริมาณมากในการทำให้เกิดแรงดันน้ำเพื่อช่วยในการทำให้ของเสียหรือสิ่งปฏิกูลถูกถ่ายเท (Solid Transport) จากชักโครกลงไปยังถังเกรอะ (Septic tank) ได้ สำหรับชักโครกในแบบเดิมโดยทั่วไปนั้นจะมีการใช้น้ำสำหรับการชะของเสียหรือสิ่งปฏิกูลให้ถ่ายเทในการใช้ส้วมประมาณ 13 ลิตรต่อ 1 ครั้ง ถ้าแต่ละคนกด ชักโครกโดยเฉลี่ย 4 ครั้งต่อวัน จะใช้น้ำทั้งสิ้น 52 ลิตรต่อวันต่อคน (สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2554) และในแต่ละวันมนุษย์เรากดชักโครกโดยเฉลี่ยประมาณ 3 - 4 ครั้งต่อคน ซึ่งในแต่ละครัวเรือนนั้นก็ยังมีสมาชิกในครอบครัวอีกจำนวนหนึ่ง จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำเป็นจำนวนมาก

การเลือกใช้เทคโนโลยีสุขภัณฑ์ชักโครกเพื่อประหยัดน้ำก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการประหยัดน้ำที่ใช้ในการชะล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล ซึ่งมีความสำคัญและมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเพราะอาจจะทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้ในอนาคตได้ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ยังต้องการการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีชักโครกประหยัดน้ำ เพื่อที่จะนำมาช่วยลดปริมาณการใช้น้ำจากการอุปโภคบริโภคลง ดังนั้นการเลือกใช้เทคโนโลยีชักโครกสำหรับการประหยัดน้ำจึงมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการใช้น้ำและยังเป็นการอนุรักษ์น้ำได้อีกวิธีหนึ่งด้วย

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพยายามที่จะศึกษาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถที่จะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและลดค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำสำหรับการล้างโถสุขภัณฑ์อย่างหลากหลาย นั้นคือการพยายามที่จะนำน้ำที่ใช้แล้วเวียนกลับมาใช้ใหม่ในการชะล้างของเสีย ซึ่งเป็นการใช้น้ำที่คุ้มค่าที่สุดแต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความสกปรกของน้ำที่ใช้ในการล้าง การสร้างถังเก็บน้ำที่สามารถควบคุมปริมาณการล้างได้โดยมีปุ่มกดสองปุ่มสำหรับการล้างในปริมาณที่ต้องการ (Dual flush toilets) การออกแบบชักโครกที่มีด้ามจับให้เลือกกดสำหรับการล้างสองแบบในปริมาณที่มากน้อยตามต้องการ (Dual flush handle) เป็นต้น เทคโนโลยีเพื่อการประหยัดน้ำเหล่านี้ล้วนแต่ผลิตขึ้นเพื่อที่จะช่วยลดปริมาณการใช้

น้ำและค่าใช้จ่ายจากการใช้น้ำลง และนอกจากการใช้เทคโนโลยีเพื่อการประหยัดน้ำเหล่านี้แล้ว ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยในการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในโถสุขภัณฑ์ลงได้นั้น ได้มีการศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะช่วยให้การล้างนั้นใช้น้ำในปริมาณที่น้อย ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญดังกล่าวนั้นก็คือ ความลาดชัน (slope) ของเส้นท่อระบาย ความยาวหรือระยะทางของเส้นท่อระบาย เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นท่อระบาย และความสูงในแนวดิ่งจากชักโครกถึงท่อระบาย (Bill Gauley and John Koeller 2005) พารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้มีความสำคัญและมีผลต่อปริมาณหรืออัตราการไหลของของเสียหรือสิ่งปฏิกูลที่ถูกชะล้างในท่อออกมา ซึ่งก็จะมีผลกับการลดปริมาณน้ำในการล้างด้วยเช่นกัน

การศึกษาในครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์ ซึ่งจะศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายสิ่งปฏิกูล วิเคราะห์ระบบท่อระบายที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสิ่งปฏิกูลในเส้นท่อ ศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบายและเสนอแนะเทคโนโลยีการออกแบบระบบท่อที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายสิ่งปฏิกูลสำหรับระบบโถสุขภัณฑ์ชักโครกประหยัดน้ำ
2. เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสิ่งปฏิกูลในเส้นท่อ
3. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย
4. เพื่อเสนอแนะเทคโนโลยีการออกแบบระบบท่อที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบเพื่อการออกแบบและพัฒนาระบบท่อระบายเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์

1.1) ความชันของท่อระบาย (Drain slope) ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นอัตราส่วนท่อในแนวดิ่งต่อแนวระนาบคือ 0, 1:50, 1:100 และ 1:200

1.2) ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง (Vertical drop height) ที่ใช้ ในการทดสอบคือ 150 มิลลิเมตร, 500 มิลลิเมตร และ 800 มิลลิเมตร

1.3) ระยะทาง (Distance) หรือความยาวของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบคือ 4 เมตร, 8 เมตร, 12 เมตร และ 16 เมตร

1.4) เส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย (Drain diameter) ที่ใช้ในการทดสอบคือ 50 มิลลิเมตร (2”), 75 มิลลิเมตร (3”) และ 100 มิลลิเมตร (4”)

2. ท่อระบายใช้ท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 50 (2”), 75 (3”) และ 100 (4”) มิลลิเมตร

3. การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งใช้ท่อพีวิซีหุ้มแผ่นพีวีซีใส โดยเป็นท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 50 (2”), 75 (3”) และ 100 (4”) มิลลิเมตร

4. ตัวอย่างของเสียที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ถั่วเหลืองบด โดยถั่วเหลืองบดจะใช้ 200-250 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (ประมาณส่วนละ 50 กรัม)

5. โถสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นโถสุขภัณฑ์มาตรฐานที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดซึ่งเป็นโถสุขภัณฑ์แบบสองชิ้นขนาด 6 ลิตร

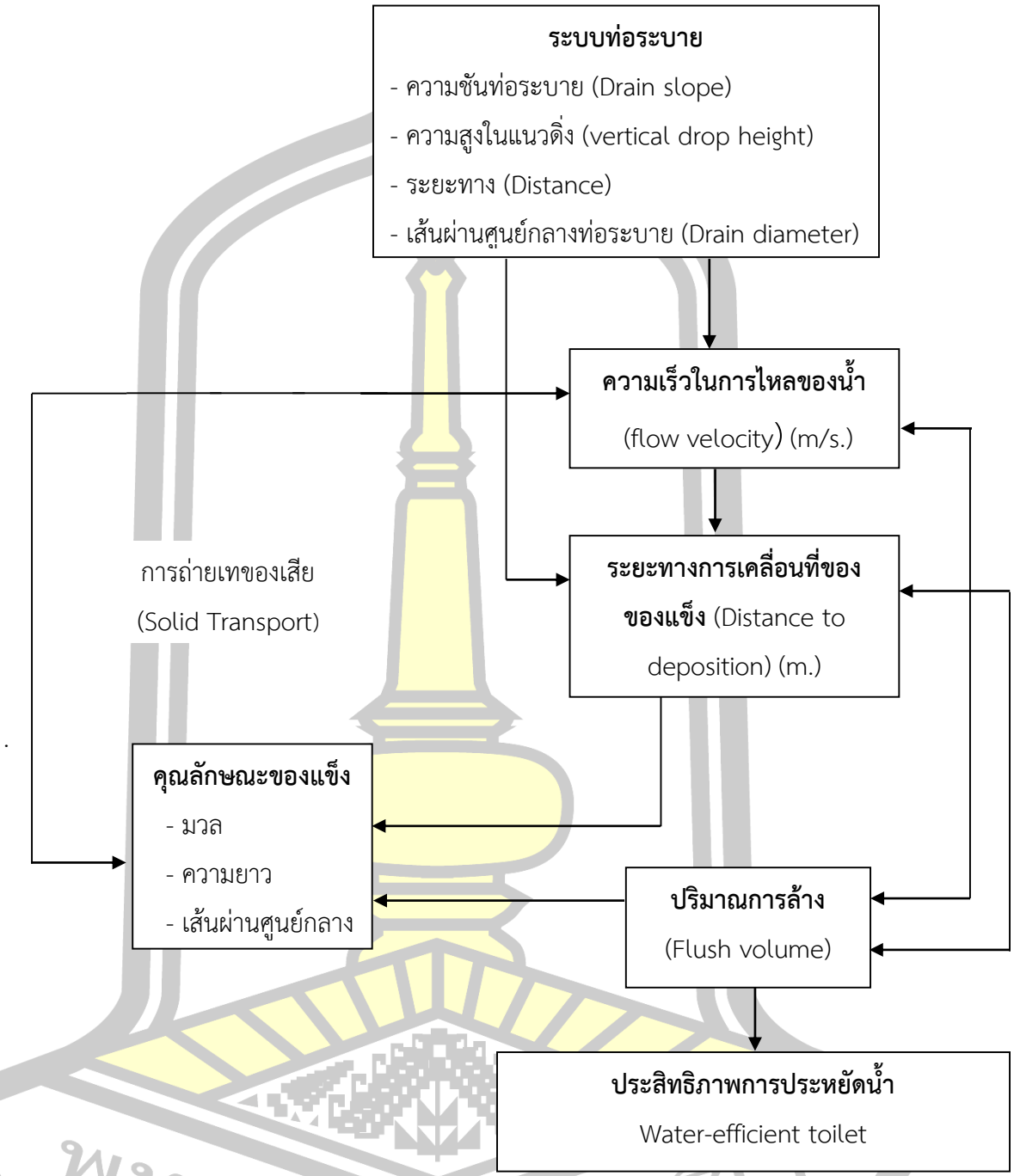
6. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบและพัฒนาระบบท่อระบายสิ่งปฏิกูลสำหรับโถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ
2. ทราบถึงปัจจัยในการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสิ่งปฏิกูลในท่อ
3. ทราบถึงคุณลักษณะ กลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในท่อระบาย
4. สามารถออกแบบระบบท่อที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์

1.5 กรอบการวิจัย

จากพื้นฐานความรู้ ทฤษฎีและแนวคิดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม ภาพประกอบที่ 1 จะแสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องจากการวิจัยและความเชื่อมโยงของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง การวิจัยในครั้งนี้มีเป้าประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์ ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการประหยัดน้ำของโถสุขภัณฑ์ดังจะแสดงในกรอบการวิจัยต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 1 แสดงกรอบการวิจัยและตัวแปลที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการออกแบบระบบท่อระบายสำหรับการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์ ซึ่งจะอธิบายถึงปัจจัยด้านต่างๆที่มีผลต่อการระบายของสิ่งปฏิกูลในท่อ โดยมีกรอบแนวคิดของการวิจัยดังต่อไปนี้

1.) ความสำคัญของการประหยัดน้ำ
2.) องค์ประกอบของโถสุขภัณฑ์
3.) ประเภทและรูปแบบของโถสุขภัณฑ์
4.) ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย
   - ความชันของท่อระบาย (Drain slope)
   - ความสูงท่อในแนวดิ่ง (Vertical drop heights)
   - ระยะทางหรือความยาวของท่อระบาย (Drain distance)
   - เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย (Drain diameter)
5.) คุณลักษณะของแข็ง (solid characteristics)
6.) การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร

2.1 ความสำคัญของการประหยัดน้ำ

ประเทศไทยเคยเผชิญกับวิกฤตการณ์น้ำในช่วงปี 2537-2538 เนื่องจากได้เกิดภาวะฝนแล้งและแหล่งน้ำในแหล่งที่เก็บกักไว้มีปริมาณน้อยกว่าทุกปี โดยเฉพาะเขื่อนใหญ่ 2 เขื่อนคือ เขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิตต์ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรถึงประมาณ 20 ล้านคน ใน 22 จังหวัดในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทำให้เกิดสถานการณ์ตึงเครียดระหว่างผู้ที่อยู่ในฐานะที่ต้องมาจัดสรรน้ำให้เพียงพอกับผู้ที่ต้องการใช้น้ำมาดำเนินกิจกรรมของตน เกิดการแย่งน้ำขึ้นตามจุดต่างๆ ซึ่งการขาดแคลนน้ำนี้ทำให้เกิดผลกระทบทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม นอกจากปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำแล้ว ความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำก็เป็นปัญหาสำคัญที่ต้องเร่งรีบแก้ไข

องค์การยูเนป (UNEP) แห่งสหประชาชาติได้คาดการณ์ไว้ว่า ในอีก 25 ปีข้างหน้า ปริมาณน้ำจืด คุณภาพดีของประเทศไทยจะลดปริมาณลงเหลือถึงร้อยละ 40 หรือร้อยละ 20 เป็นอย่างน้อย ซึ่งสาเหตุที่ทำให้น้ำดีมีปริมาณลดลงคือน้ำเน่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น กล่าวคือน้ำดีถูกแปรสภาพไปเป็นน้ำ

โสโครก น้ำปนเปื้อน ที่มีคุณภาพต่ำจนไม่อาจใช้ประโยชน์อะไรได้ สาเหตุของความสกปรกเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยตรงคือการทิ้งขยะและน้ำเสียของครัวเรือน โรงงาน ฯลฯ ลงในแหล่งน้ำธรรมชาติและกิจกรรมทางอ้อมที่ทำให้น้ำปนเปื้อน เช่น การใช้สารเคมีการเกษตร ทั้งปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ฯลฯ นอกจากนี้สาเหตุยังมีสาเหตุที่ทำให้ปริมาณน้ำดีลดลงคือปริมาณน้ำจืดโดยรวมมีน้อยลง เนื่องจากการลดลงของพื้นที่ป่าทำให้แหล่งดูดซับน้ำตามธรรมชาติลดลง จึงส่งผลให้ปริมาณน้ำจืดลดลงไปด้วย ซึ่งอาจทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำดีสำหรับการอุปโภคบริโภคในระยะเวลาอันใกล้ได้ ดังนั้นการใช้น้ำอย่างประหยัดและรู้คุณค่าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง

ต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงเครื่องสุขภัณฑ์ที่ใช้อยู่ทั่วไปมีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กันกับปริมาณการใช้น้ำ ซึ่งจากผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำ โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คาดว่าประชากรในกรุงเทพมหานครใช้น้ำเฉลี่ยถึงประมาณ 320-340 ลิตรต่อคนต่อวัน และจากการศึกษาปริมาณผู้ใช้น้ำของการประปานครหลวงในปี 2553 พบว่า ปริมาณผู้ใช้น้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของที่พักอาศัยถึงร้อยละ 79 และธุรกิจ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และราชการ จะมีผู้ใช้น้ำอยู่ที่ร้อยละ 21 นอกจากนี้การประปานครหลวง ยังได้สำรวจผู้ใช้น้ำในส่วนบ้านพักอาศัย 814 ราย และในธุรกิจ 487 ราย โดยกลุ่มตัวอย่างได้รับเลือกแบบสุ่ม แบ่งประเภทเพื่อเป็นตัวแทนของผู้บริโภคแต่ละระดับ และตามสภาพภูมิศาสตร์ของตำแหน่งสถานที่ตั้ง พบว่าใน ส่วนของบ้านเรือน มีการใช้ฝักบัวร้อยละ 71 ส้วมชักโครกร้อยละ 21 อ่างอาบน้ำร้อยละ 1 เครื่อง ซักผ้าร้อยละ 28 ซึ่งการใช้ส้วมชักโครกแบบทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ 13 ลิตรต่อ 1 ครั้ง ถ้าแต่ละคนกด ชักโครกโดยเฉลี่ย 4 ครั้งต่อวัน จะใช้น้ำทั้งสิ้น 52 ลิตรต่อวันต่อคน เทียบเป็นร้อยละ 30 ของการใช้ น้ำทั้งหมด เนื่องจากจำนวนประชากรได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทำให้มีการใช้น้ำในปริมาณมาก ขณะที่น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปามีจำกัด ดังนั้นการพัฒนาเครื่องสุขภัณฑ์โถส้วมเป็นหนทางหนึ่งที่ส่งเสริมให้มีการประหยัดน้ำ ซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้น้ำลงได้ถึงประมาณ 1 เท่า หรือ 24 ลิตรต่อคนต่อวัน (สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2554)

2.2 องค์ประกอบของโถสุขภัณฑ์

ก่อนจะกล่าวถึงองค์ประกอบของสุขภัณฑ์นั้นก็จะให้เข้าใจคำจำกัดความของเครื่องสุขภัณฑ์ก่อนซึ่งเครื่องสุขภัณฑ์ หมายถึง ภาชนะ อุปกรณ์หรือเครื่องอุปกรณ์เครื่องใช้ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำรองรับของเหลวและจ่ายของเหลว น้ำเสีย น้ำโสโครกที่เกิดจากการใช้งานชำระล้างขับถ่ายออกจากร่างกายมนุษย์ เพื่ออำนวยความสะดวก ความสบายและสุขภาพอนามัยของผู้ใช้ แล้วส่งถ่ายโดยตรงหรือโดยอ้อมเข้าสู่ระบบระบายน้ำหรือแหล่งขจัดที่เหมาะสมอื่น หรือท่อระบายน้ำสาธารณะที่อนุญาตให้ระบายสิ่งเหล่านี้ลงได้

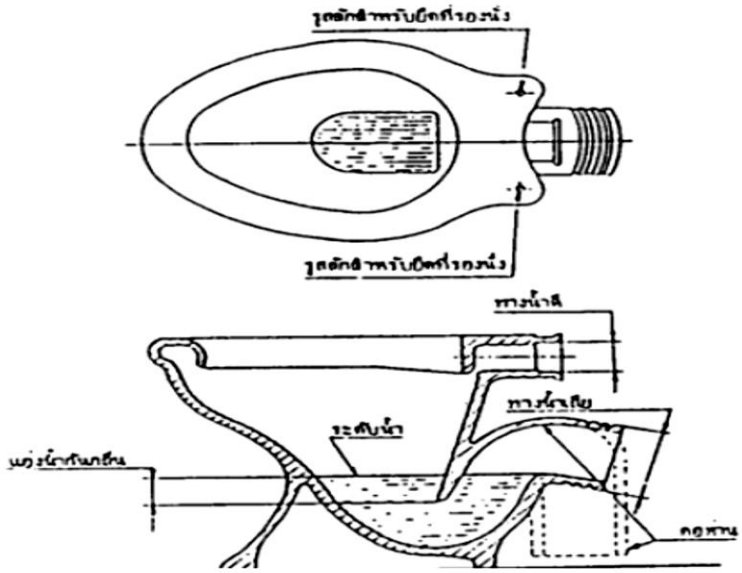
องค์ประกอบของโถสุขภัณฑ์ต่อไปนี้เป็นรูปแบบของโถส้วมที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งโถส้วมต้องมีอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ 2 ประเภท เพื่อช่วยให้ตัวผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่

1.) ฝารองนั่ง ซึ่งออกแบบให้เข้ากับขนาดลักษณะของโถส้วม ฝารองนั่งผลิตขึ้นจากพลาสติกชั้นคุณภาพพิเศษ ขึ้นรูปด้วยการฉีดโดยเครื่องจักรที่ออกแบบไว้เป็นการเฉพาะ

2.) อุปกรณ์ประกอบถังพักน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่บรรจุอยู่ในถังพักน้ำให้เหมาะสมตามความต้องการใช้น้ำของโถส้วมแต่ละแบบ เช่น ออกแบบสำหรับโถส้วมที่ใช้น้ำในการชักโครกครั้งละ 3.75, 6 หรือ 12 ลิตร อุปกรณ์ประกอบถังพักน้ำผลิตขึ้นจากวัสดุที่เป็นพลาสติกเป็นส่วนใหญ่ ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดโดยเครื่องจักรที่ออกแบบไว้เป็นการเฉพาะ โดยภาพประกอบที่ 2 และ 3 จะแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโถส้วม (สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2554)

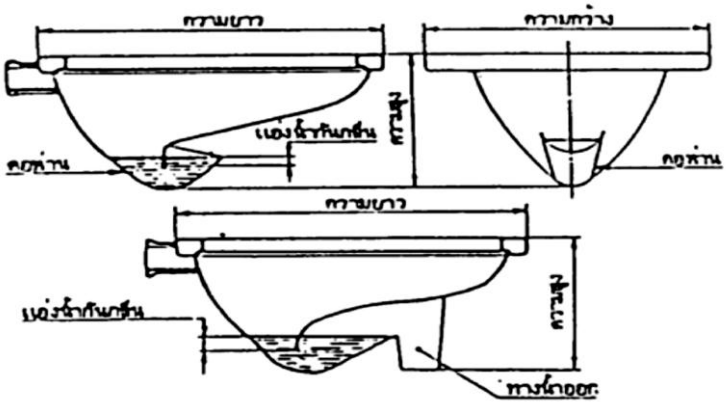
ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : ถังพักน้ำและฝาปิด มอก.793-2531 ได้แบ่งถังพักน้ำออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ ถังพักน้ำแบบแยกออกจากโถส้วม (closed-coupled toilet combination low level cistern) และถังพักน้ำแบบติดโถส้วม (combination or two piece) โดยถังพักน้ำแบบแยกออกจากโถส้วมนั้นถังเก็บน้ำจะวางอยู่ด้านหลังของโถส้วมแยกออกได้เป็นชิ้น โถส้วมแบบนี้เป็นแบบที่แขวนติดกับผนังหรือถังเก็บน้ำซ่อนในช่องท่อและถังพักน้ำแบบติดโถส้วม จะมีลักษณะที่โถส้วมกับถังพักน้ำแยกออกจากกันได้ (สุริยน ศิริธรรมปิติ 2547)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



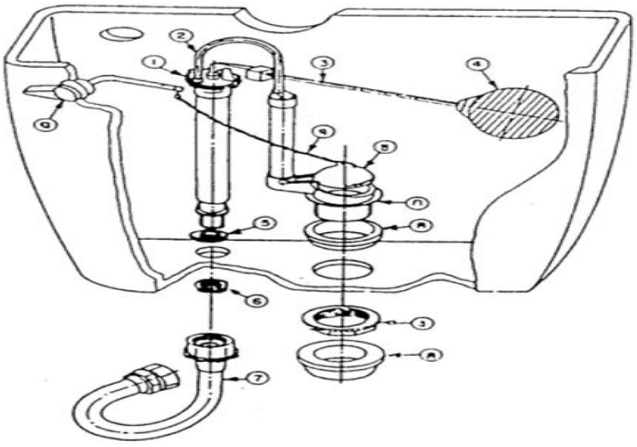
ที่มา : สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียวสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554

ภาพประกอบที่ 2 โถส้วมนั่งราบ



ที่มา : สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียวสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554

ภาพประกอบที่ 3 โถส้วมนั่งยอง



ชุดน้ำเข้า

1.) วาล์วบังคับด้วยลูกลอย
2.) ท่อเติมน้ำ
3.) แขนยก
4.) ลูกลอย
5.) แหวนยางกันซึม
6.) แปล้นเกลียวกันคลาย
7.) สายต่อน้ำเข้า

ชุดน้ำออก

ก. ตัวเรือน
ข. วาล์วเปิดปิด
ค. แหวนยางกันซึม
ง. แปล้นเกลียวกันคลาย
จ. สายดึงวาล์วเปิดปิด
ฉ. มือปิดหรือมือกด

ที่มา : สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียวสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554

ภาพประกอบที่ 4 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของอุปกรณ์ถังพักน้ำ

2.3 ประเภทและรูปแบบของโถสุขภัณฑ์

รูปแบบของชักโครกหรือโถสุขภัณฑ์นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ออกแบบ เพื่อให้โถสุขภัณฑ์สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมมีสะดวกสบายและช่วยในการประหยัดน้ำหรือค่าใช้จ่ายมากขึ้นโดยมีการออกแบบโถสุขภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำสำหรับการชำระล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล ซึ่งในแต่ละแบบก็จะมีประสิทธิภาพในการล้างที่แตกต่างกันออกไป ต่อไปนี้จะกล่าวถึงรูปแบบของชักโครกในแบบต่างๆ ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์น้ำหรือเพื่อการประหยัดน้ำ ซึ่งในที่นี้ทางผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างรูปแบบของโถสุขภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่แบบใช้มือกด (Dual flush toilets)

2. ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่แบบใช้มือจับ (dual flush handle)
3. ชักโครกถังพักน้ำไหลตามแรงโน้มถ่วง (gravity feed toilet)
4. ชักโครกแบบ Tankless toilets
5. ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่ 3 ลิตรและ 4.5 ลิตร (4.5/3L dual flush toilets)
6. Dual flush toilets with integrated hand basin
7. ชักโครกแบบแยกโถปัสสาวะ (Urine separating toilets)
8. ชักโครกแบบใช้แรงดันอากาศช่วย (Air assisted flush toilets)

1) ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่แบบใช้มือกด (Dual flush toilets)

ลักษณะของ Dual flush toilets จะมีปุ่มให้เลือกกดสำหรับการล้าง 2 แบบ โดยปุ่มกดจะมีขนาดเล็กและมีขนาดใหญ่ ซึ่งการทำงานทั้งสองแบบก็คือ ปุ่มกดที่มีขนาดเล็กจะออกแบบสำหรับการล้างของเสียที่เป็นของเหลว เช่น ปัสสาวะ เป็นต้น และปุ่มกดที่มีขนาดใหญ่จะออกแบบสำหรับการล้างของเสียที่เป็นของแข็ง ในชักโครกแบบ Dual flush toilets นี้ การล้างแต่ละครั้งจะสามารถเลือกกดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างได้ คือ ปุ่มปุ่มกดที่มีขนาดเล็กจะใช้น้ำน้อยกว่าปุ่มกดที่มีขนาดใหญ่ ลักษณะของ Dual flush toilets แสดงในภาพประกอบที่ 5

ที่มา : Harrison and Candidate, 2010

ภาพประกอบที่ 5 แสดงลักษณะของ Dual flush toilets และรูปแบบของปุ่มกด

2) ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่แบบใช้มือจับ (dual flush handle)

ลักษณะของ Dual flush handle จะมีด้ามจับให้เลือกกดสำหรับการล้าง 2 แบบ คือ แบบhandle down และแบบ handle up ซึ่งการทำงานทั้งสองแบบก็คือ แบบ handle down ในการล้างของเสียในแต่ละครั้งจะใช้น้ำประมาณ 1.6 แกลลอนต่อการล้าง (gpf.) หรือประมาณ 6 ลิตร

ต่อครั้ง ซึ่งแบบนี้เหมาะสำหรับการล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูลที่เป็นของแข็ง และแบบ handle up จะใช้น้ำน้อยลง ในการล้างแต่ละครั้งจะใช้น้ำประมาณ 1.1 แกลลอนต่อการล้าง (gpf.) หรือประมาณ 4 ลิตร ซึ่งเหมาะสำหรับการล้างของเสียที่เป็นของเหลว ลักษณะของ Dual flush handle แสดงในภาพประกอบที่ 6

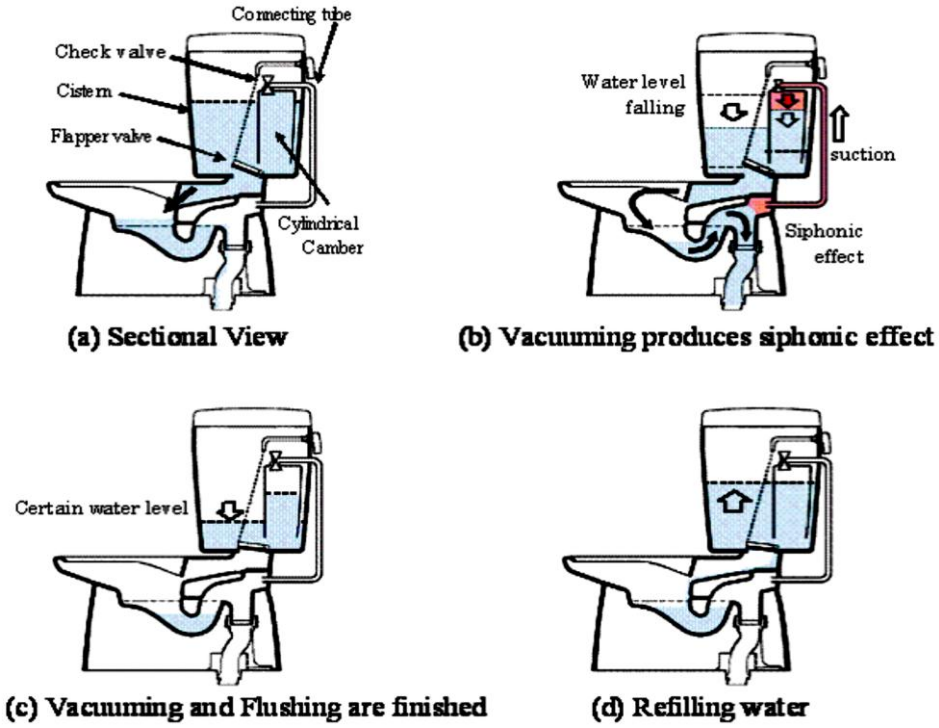
ที่มา : Harrison and Candidate, 2010

ภาพประกอบที่ 6 ลักษณะของ Dual flush handle

3) ชักโครกถังพักน้ำไหลตามแรงโน้มถ่วง (gravity feed toilet)

ลักษณะของ Gravity feed toilet ระบบนี้เป็นระบบที่มีลักษณะที่เป็นชักโครกที่มีการจ่ายน้ำในการล้างตามแรงโน้มถ่วงธรรมดา โดยชักโครกนี้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นให้มีโถและถังเก็บน้ำด้านบนที่แตกต่างจากสองแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น นั้นก็คือชักโครกในรูปแบบนี้จะไม่สามรถกำหนดหรือเลือกปริมาณน้ำที่ใช้ในการชำระล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูลได้ เนื่องจากถูกออกกแบบมาให้มีที่กดสำหรับการชำระล้างเพียงที่เดียว ชักโครกในรูปแบบนี้จะมีท่อที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกซึ่งเป็นส่วน

หนึ่งของถังชักโครกอยู่ตรงกลางทำหน้าที่ในการระบายน้ำที่ใช้ในการชำระล้างและมี flapper valve ที่มีลักษณะเหมือนลูกยางทำหน้าที่เป็นตัวที่ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในการล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล (Keisuke Hirai 2012) ลักษณะของ Gravity feed toilet แสดงในภาพประกอบที่ 7



ที่มา : Hirai, Otsuka and Kitamura, 2012

ภาพประกอบที่ 7 แสดงแผนภาพโครงสร้างและลำดับของชักโครกแบบ Gravity feed toilet

4) ชักโครกแบบ Tankless toilets

ลักษณะของ Tankless toilets มีการดำเนินการสำหรับการล้างของเสีย ดังนี้

1.การไหลเวียนของน้ำทำให้เกิดน้ำวนเกิดขึ้น ซึ่งจะชำระล้างโถได้อย่างทั่วถึง

2.น้ำที่ใช้ในการล้างจะถูกปล่อยออกจากหัวฉีดเจ็ทที่ทางเข้าของ trap way และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด siphonic effect

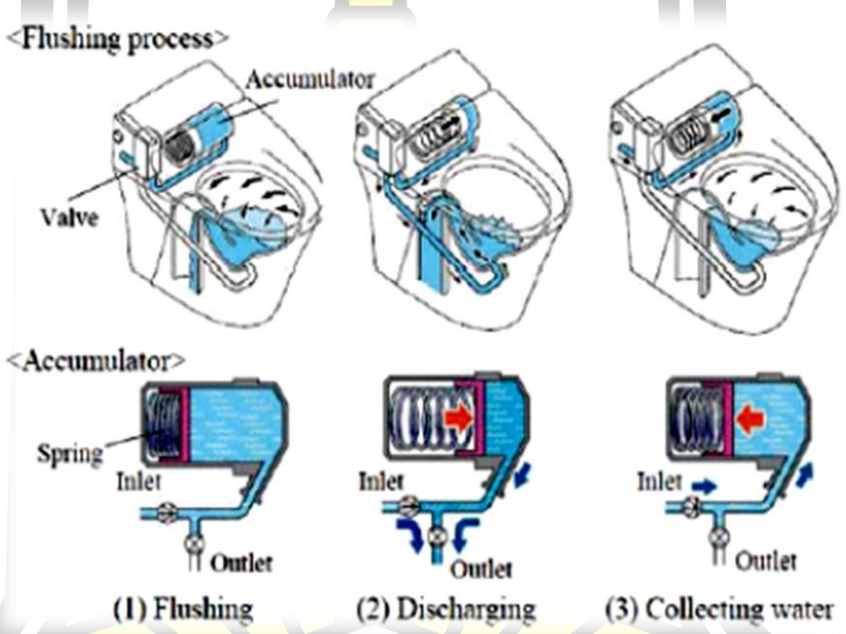
3.การเติมน้ำในโถ: accumulator ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นสปริงเหล็กและไดอะแฟรมที่เป็นอุปกรณ์สำหรับช่วยในการที่จะก่อให้เกิดการสะสมความดันเมื่อระบบไม่ได้ใช้งาน และเมื่อต้องการที่จะใช้งานก็จะก่อให้เกิดการปล่อยน้ำที่มีแรงดันสูงจากการผลักของสปริงเพื่อที่จะชำระล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล (Keisuke Hirai 2012)

ชักโครกแบบ Tankless toilets มีการดำเนินการล้าง ดังต่อไปนี้

1) สปริง accumulator จะหดตัวลงก่อนที่จะมีการล้างเพราะแรงดันของน้ำที่เติม

2) กำลังการขยายตัวของสปริงจะเพิ่มขึ้นเกินกว่าแรงอัด เนื่องจากแรงดันน้ำที่ลดลง จากนั้นสปริงก็จะดันน้ำที่สะสมออกมาเมื่อมีการใช้งาน ดังนั้นห้องน้ำ tankless สามารถรับระดับความดันที่สูงได้ชั่วคราวจากน้ำที่เข้ามา

3) หลังจากการดำเนินการล้างแล้ว สปริงจะมีการหดตัวตามแรงดันน้ำอีกครั้ง และสำหรับห้องน้ำ tankless 4 ลิตร ประกอบด้วย accumulator เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ไม่ต้องมีการใช้ไฟฟ้าระบบนี้จะช่วยลดปริมาณการล้างเมื่อเทียบกับห้องน้ำทั่วไป (Keisuke Hirai 2012) ลักษณะของ Tankless toilets แสดงในภาพประกอบที่ 8



ที่มา : Hirai, Otsuka and Kitamura, 2012

ภาพประกอบที่ 8 แสดงแผนภาพลำดับของชักโครกแบบ Tankless toilets

5) ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่ 3 ลิตรและ 4.5 ลิตร (4.5/3L dual flush toilets)

ชักโครกถังพักน้ำระบบคู่ 4.5/3L dual flush toilets เป็นรูปแบบของชักโครกมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพสูง ในประเทศออสเตรเลีย โดยมีปริมาณการล้างเฉลี่ยอยู่ที่ 3.3 ลิตร (Anna Schlunke 2008) อย่างไรก็ตามได้มีการรายงานจากการทดลองภาคสนามพบว่าชักโครกแบบ 4.5/3L dual flush toilets มีปริมาณการล้างเฉลี่ยประมาณ 4.5 ลิตร ความผิดปกตินี้อาจจะเป็นเพราะการทดลองนั้นได้มีการติดตั้งหรือมีทดสอบอยู่ในสถานการณ์ก่อนการผลิตโถสุขภัณฑ์ นอกจากนี้ส่วนหนึ่ง

อาจเป็นผลเนื่องจากแนวโน้มจากอัตราส่วนการลดลงของการล้างที่เต็มรูปแบบกับการลดปริมาณการล้างที่โรเบิร์ตสังเกตจากการทดลอง ผู้ผลิตจึงมีความจำเป็นในการที่จะดำเนินการวิจัยและพัฒนารูปแบบของโถสุขภัณฑ์นี้เพื่อที่จะเพิ่มพลังงานในการขจัดและการทำความสะอาดของผลิตภัณฑ์ โดยให้มีการใช้น้ำในปริมาณที่ต่ำและปรับปรุงการไหลของน้ำในตัวโถสุขภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบ 4.5/3L toilets ใหม่เพื่อเพิ่มพลังงานในการขจัดและเพื่อออกแบบตัวของโถใหม่เพื่อปรับปรุงการไหลของน้ำ รูปแบบของ 4.5/3L dual flush toilets แสดงในภาพประกอบที่ 9

ที่มา : http://www.designcontent.com.au/wp-content/uploads/2013/10/WC-Wall-Faced-Caroma-Stirling-Suite.jpg

ภาพประกอบที่ 9 แสดงรูปแบบของ 4.5/3L dual flush toilets

6) Dual flush toilets with integrated hand basin

โถสุขภัณฑ์รูปแบบนี้เป็นการบูรณาการรวมเอาอ่างล้างหน้าเข้ามาร่วมด้วย เพื่อให้สามารถนำน้ำจากอ่างล้างหน้ามาใช้ในการล้างของเสีย โดยวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดปริมาณการใช้น้ำลง ซึ่งโถสุขภัณฑ์รูปแบบนี้มีการออกแบบให้มีการวางอ่างล้างมือไว้ด้านบนของถังบรรจุน้ำที่ใช้ในการล้างของโถสุขภัณฑ์ โดยเมื่อมีการล้างมือของผู้ใช้ น้ำจะถูกส่งเข้าไปในถังน้ำเพื่อใช้ในการล้าง โถสุขภัณฑ์แบบบูรณาการรูปแบบนี้มีการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศตัวอย่างเช่น การใช้งานในประเทศญี่ปุ่น (Anna Schlunke 2008) รูปแบบของ Dual flush toilets with integrated hand basin แสดงในภาพประกอบที่ 10

ที่มา : http://www.caroma.com.au/ProductImages/Products/6308/6308/jpeg-800px-24bpp.jpg

ภาพประกอบที่ 10 รูปแบบของ Dual flush toilets with integrated hand basin

7) ชักโครกแบบแยกโถปัสสาวะ (Urine separating toilets)

เป็นโถสุขภัณฑ์ที่มีการแยกอุจจาระและปัสสาวะซึ่งจะมีสองโถภายในหนึ่งโถสุขภัณฑ์สำหรับใช้ในการเก็บรวบรวม ซึ่งจะสามารถช่วยลดปริมาณล้างที่ต่ำมากหรือลดปริมาณการล้างลงเมื่อเทียบกับโถสุขภัณฑ์ที่มีการล้างปัสสาวะแบบเต็มรูปแบบโดยไม่มีการแยกปัสสาวะ สำหรับโถสุขภัณฑ์ที่มีการแยกปัสสาวะนี้ มักจะใช้น้ำสำหรับการล้างประมาณ 0.2 ลิตรต่อล้างหนึ่งครั้ง ซึ่งนับว่าต่ำมาก ซึ่งปกติแล้วการล้างที่เต็มรูปแบบจะใช้น้ำในการล้างปัสสาวะอยู่ระหว่าง 4 และ 6 ลิตรต่อล้างหนึ่งครั้ง ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณการล้างเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1 และ 1.4 ลิตร (Anna Schlunke 2008) รูปแบบของ Urine separating toilets แสดงในภาพประกอบที่ 11

ที่มา : http://www.greenlaunches.com/wp-content/uploads/2013/01/NoMix_toilets.jpg

ภาพประกอบที่ 11 รูปแบบของ Urine separating toilets

8) ชักโครกแบบใช้แรงดันอากาศช่วย (Air assisted flush toilets)

เป็นโถสุขภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่มีการใช้อากาศช่วยให้เกิดแรงดันร่วมกับน้ำ เพื่อให้การล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ในการล้างใช้น้ำปริมาณ 1.5 ลิตร โดยในการล้างนั้นผู้ใช้ที่จำเป็นในการปิดฝาห้องน้ำก่อนที่จะล้าง โดยมรการใช้น้ำในปริมาณเล็กน้อยให้ไหลผ่านลงไปในโถสุขภัณฑ์จากนั้นตามด้วยอากาศเข้าไปแทนที่ โดยการเคลื่อนที่ของอากาศนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งวงจรการล้างต้องใช้เวลาสามวินาที การใช้ความดันจากอากาศช่วยประกอบด้วยถังชั้นในซึ่งปิดผนึกอย่างสมบูรณ์ เมื่อน้ำถูกป้อนจากท่อน้ำจะมีอากาศอยู่ภายในถังที่ปิดสนิทได้รับการบีบอัด (ดังนั้นความดันถูกสร้างขึ้นโดยแรงดันน้ำ) และเมื่อมีการชำระล้างของเสีย น้ำจะถูกบังคับให้ออกไปกับแรงกดดันที่เกิดจากการอัดอากาศ ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบของ Propelair ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการไล่อากาศเพื่อช่วยในการล้างในการล้าง (Anna Schlunke 2008) รูปแบบของชักโครกแบบใช้แรงดันอากาศช่วย (Airassisted flush toilets) แสดงในภาพประกอบที่ 12

ที่มา : http://ecofriend.com/wp-content/uploads/2012/07/propel_air_toilet_edlsw.jpg

ภาพประกอบที่ 12 รูปแบบของ Air assisted flush toilets

จากประเภทและรูปแบบของโถสุขภัณฑ์ในแบบต่างๆที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่า ในแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบโถสุขภัณฑ์ในแบบต่างๆว่ามีวัตถุประสงค์หรือความต้องการที่จะออกแบบให้เป็นอย่างไร เช่น การออกแบบให้มีความสะดวกสบายเหมาะแก่การใช้งานและยังสามารถช่วยให้เกิดการประหยัดน้ำ เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบโถสุขภัณฑ์นั้นบางรูปแบบก็จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ามาเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำที่มากขึ้น บางรูปแบบก็ออกแบบให้มีการนำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลือง ซึ่งสิ่ง

ต่างๆเหล่านี้ที่ได้กล่าวมาก็จะเป็นการออกแบบในส่วนของตัวโถสุขภัณฑ์เพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำ และสำหรับในส่วนของการออกแบบเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำนั้นยังสามารถที่จะออกแบบระบบท่อระบายน้ำที่มีความเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ ซึ่งการออกแบบระบบท่อระบายน้ำเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความชันของท่อระบาย เส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง และระยะทางหรือความยาวท่อ เป็นต้น ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่มีผลต่อการประหยัดน้ำ ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

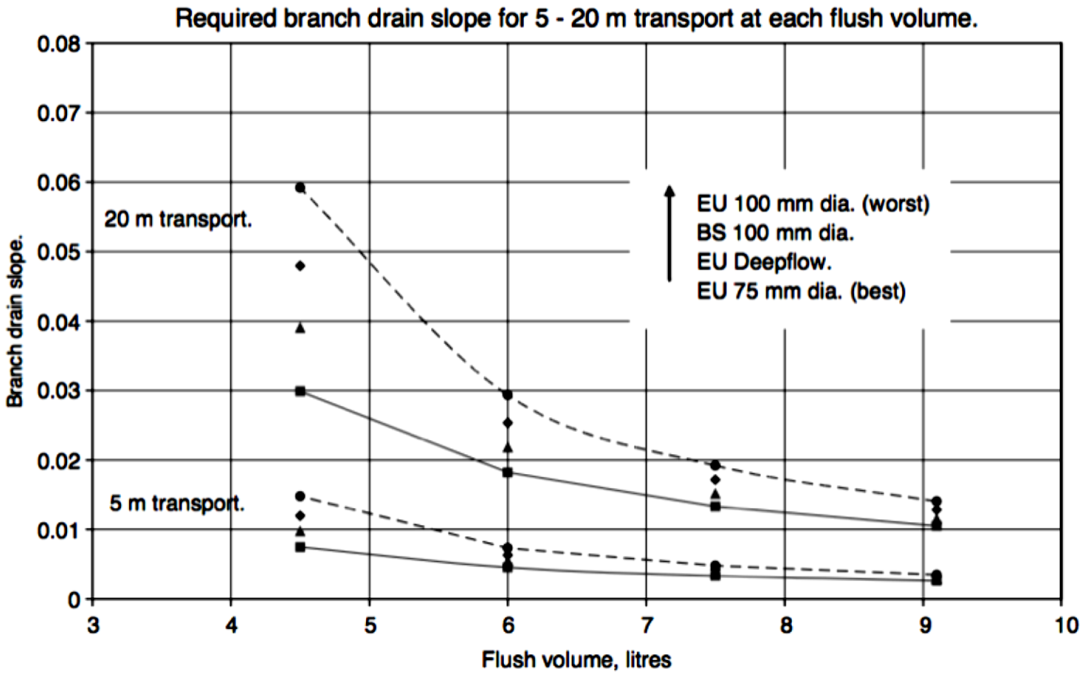
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย

2.4.1 ความชันของท่อระบาย (Drain slope)

ความชันของท่อระบาย (Drain slope) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบายของเสีย ทั้งนี้ประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียไม่ได้ขึ้นกับความชันเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Drain diameter) ระยะทางของท่อ (Distance) ความสูงท่อในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

เนื่องจากได้มีการศึกษาและได้มีการบ่งชี้ว่าความชันของท่อระบายน้ำมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อและยังช่วยให้ลดปริมาณการล้างลงได้ (McDougall and Wakelin 2007) ดังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชันของท่อระบายกับปริมาณในการล้างในภาพประกอบที่ 13 ซึ่งจะบอกถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อที่ระดับความชันต่างๆ โดยมีระยะทางในการถ่ายเทของเสีย 5 เมตร และ 20 เมตร พบว่าที่ระดับความชันที่สูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณในการล้างลดลงทุกกรณี อย่างไรก็ตามยังพบเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถถ่ายเทของเสียได้ดีกว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า

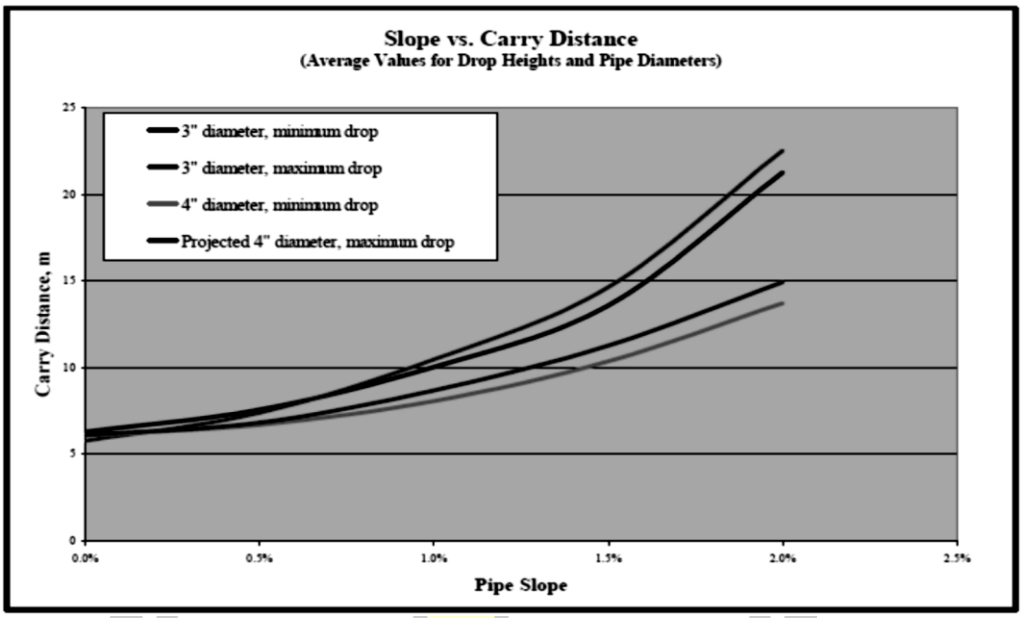
พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ที่มา : McDougall and Wakelin, 2007

ภาพประกอบที่ 13 ความชันของท่อที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียและปริมาณการล้างที่ลดลง

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชันของท่อระบายกับความยาวท่อหรือระยะทางการถ่ายเทของเสีย ซึ่งทำการศึกษาโดยใช้มวลตัวอย่างของเสียซึ่งทำจากถั่วเหลืองบด 200 กรัม ในการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อที่ความชันที่แตกต่างกัน โดยมีการกำหนดความชันที่ 0%, 1% และ 2% ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3 นิ้วและ 4 นิ้ว และระยะทางในการถ่ายเทของเสียที่แตกต่างกัน ดังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ในภาพประกอบที่ 14 ซึ่งพบว่า เมื่อความชันของท่อระบายสูงขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายมีประสิทธิภาพมากขึ้น และจะเห็นได้ว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า ณ ความชันที่สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียในท่อระบายสูงขึ้นตามไปด้วย (Bill Gauley and John Koeller 2005)



ที่มา : Bill and John, 2005

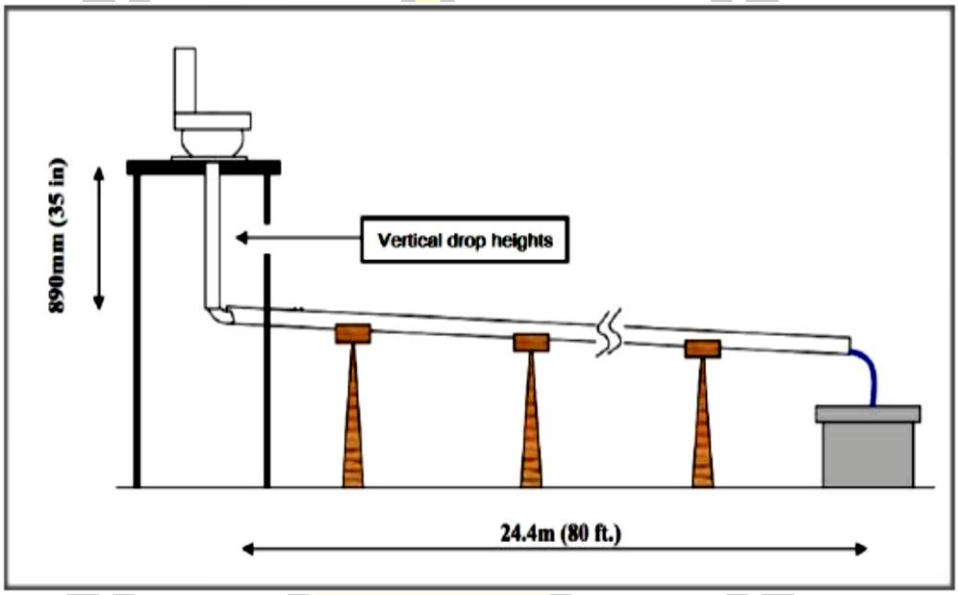
ภาพประกอบที่ 14 ความชันกับระยะทางในการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย

ผลกระทบเนื่องจากความชันของท่อระบาย (Effect of Drainline Slope) จากการศึกษาของ Bill และ John ในปี 2005 พบว่า ความชันของท่อระบายและระยะทางในการถ่ายเทของเสียในท่อระบายเป็นไปตามที่ได้คาดการณ์ไว้ กล่าวคือ ความชันมีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับระยะทางของท่อระบาย นั้นก็คือเมื่อความชันเพิ่มขึ้นทำให้สามารถถ่ายเทของเสียได้ในระยะทางที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำปริมาณ 6 ลิตรในการชำระล้างของเสีย 200 กรัม โดยใช้ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm. พบว่า การติดตั้งที่ความชันของท่อระบายเท่ากับ 0% ทำให้ของเสียจะสามารถถ่ายเทในเส้นท่อได้ในระยะทาง 6 เมตร การติดตั้งที่ความชันเท่ากับ 1% ของเสียจะสามารถถ่ายเทในเส้นท่อได้ในระยะทาง 10 เมตร และการติดตั้งที่ความชันเท่ากับ 2% ของเสียจะสามารถถ่ายเทในเส้นท่อได้ในระยะทางไกลถึง 22 เมตร (Bill Gauley and John Koeller 2005)

2.4.2 ความสูงท่อในแนวดิ่ง (Vertical drop heights)

ความสูงในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบายของเสีย ซึ่งความสูงในแนวดิ่งที่กล่าวถึงในที่นี้คือการต่อท่อจากตัวโถสุขภัณฑ์ลงมาในแนวดิ่งจนถึงท่อระบายดังแสดงให้เห็นในภาพประกอบที่ 15 จากผลของการศึกษาเมื่อมีการเพิ่มหรือติดตั้งท่อในแนวดิ่งไปยังท่อระบาย พบว่าการถ่ายเทของเสียในท่อ

ระบายจะสามารถถ่ายเทได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ติดตั้ง แต่การเพิ่มขึ้นนั้นจะเพิ่มเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานที่อาจจะเห็นได้ชัดจากการชะลอตัวของอัตราการไหลและการเพิ่มขึ้นของความปันป่วนในทิศทางการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจากแนวดิ่งไปแนวนอนในขณะที่ของเสียนั้นเข้าไปในท่อระบาย ในขณะเดียวกันระยะทางที่มีการถ่ายเทของเสียดูเหมือนจะได้รับผลกระทบจากความลาดชันและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อระบายมากกว่าความเร็วของเสียที่มันเข้าสู่ท่อระบายจากการที่มีการติดตั้งท่อในแนวดิ่ง (Bill Gauley and John Koeller 2005)



ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 15 แสดงการติดตั้งความสูงท่อในแนวดิ่ง (Vertical drop heights)

ในการศึกษาของ Bill และ John ในปี 2005 นั้นสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความสูงในแนวดิ่งสองรูปแบบที่มีการติดตั้งได้แก่ Maximum Drop Height และ Minimum Drop Height ที่มีความชันของท่อระบายที่แตกต่างกันและขนาดของท่อระบายที่ต่างกันคือท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วและ 4 นิ้ว ดังแสดงในภาพประกอบที่ 14 ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการติดตั้งท่อที่มีความสูงในแนวดิ่งแบบ Maximum Drop Height จะส่งผลทำให้ระยะทางในการถ่ายเทของเสียไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าที่เป็นแบบ Minimum Drop Height ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องพิจารณาปัจจัยในเรื่องของความชันของท่อระบายประกอบด้วย

2.4.3 ระยะทางหรือความยาวของท่อระบาย (Drain distance)

ระยะทางของท่อระบาย (Drain distance) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบายของเสีย จากการศึกษาของ Bill และ John ในปี 2005 พบว่าระยะทางมีความสัมพันธ์ในทางบวกหรือมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการล้าง นั้นก็คือเมื่อปริมาณการล้างสูงขึ้นทำให้สามารถถ่ายเทของเสียในท่อระบายได้มากขึ้นตามไปด้วย โดยรูปแบบการล้างประสบความสำเร็จในโถสุขภัณฑ์ประเภท flush handle ซึ่งมีปริมาณการล้างระหว่าง 3 และ 8 ลิตร ที่ได้รับการประเมินโดยพบว่าการใช้ปริมาณการล้างที่เพิ่มขึ้นทำให้ตัวกลางหรือของเสียนั้นถูกถ่ายเทออกจากปลายของท่อระบาย ซึ่งการทดสอบไม่ได้รวมโถสุขภัณฑ์รูปแบบที่มีการใช้ความดันช่วยเนื่องจากไม่สามารถกำหนดปริมาณการล้างได้ และยังพบว่าการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและปริมาณการล้างเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้คือ การถ่ายเทของเสียในท่อระบายในระยะทาง 2.7 เมตร จะใช้ปริมาณการล้าง 6 ถึง 7 ลิตร ที่มีการติดตั้งท่อที่ความชันเท่ากับ 1% และสามารถถ่ายเทของเสียในท่อระบายได้ในระยะทาง 4.7 เมตร ที่ติดตั้งท่อที่ความชันเท่ากับ 2% (Bill Gauley and John Koeller 2005)

ในอีกด้านหนึ่งจะเป็นการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการถ่ายเทของเสียในท่อระบายกับความเร็วของของเสีย (solid velocities) ซึ่งก็จะแสดงให้เห็นถึงแนวคิดของการถ่ายเทของเสียในแต่ละบริเวณของท่อระบายที่ของเสียไหลผ่าน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงระยะทางในการถ่ายเทของเสียที่บอกถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสีย ซึ่งจะบอกได้ว่าของเสียที่เป็นของแข็งนั้นเมื่อมีการไหลในเส้นท่อจะมีการตกข้างหรือถ่ายเทเป็นอย่างไร

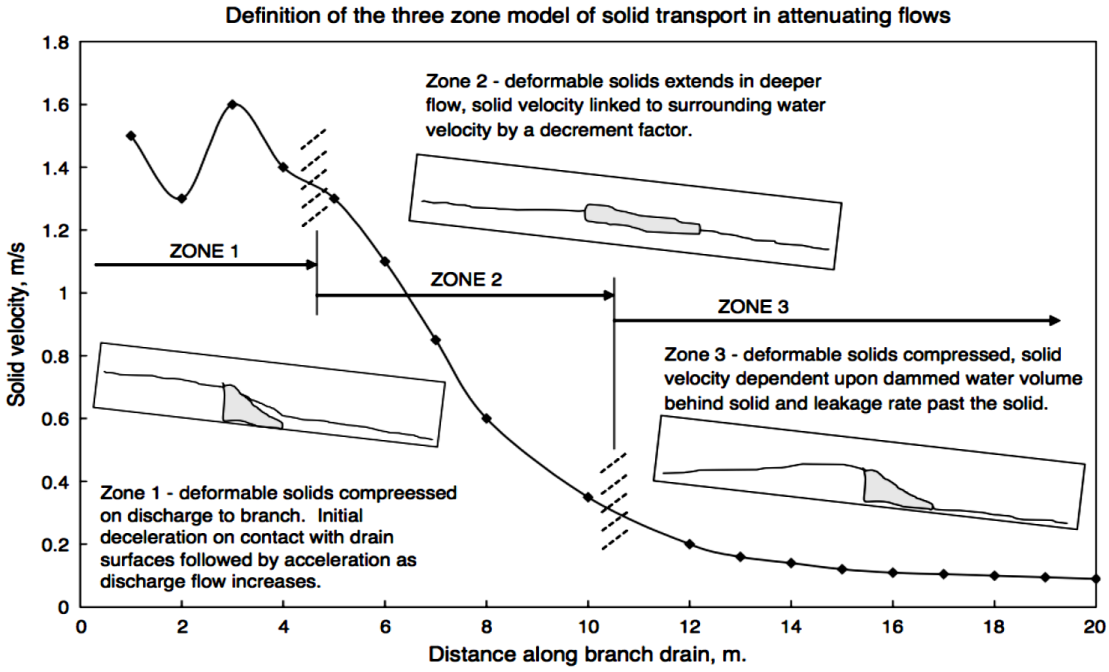
การถ่ายเทของเสียในเส้นท่อนั้นสามารถอธิบายบริเวณ (zone) ต่างๆในเส้นท่อได้สามบริเวณดังแสดงในภาพประกอบที่ 16 การถ่ายเทของเสียในท่อระบายเมื่อของเสียถูกปลดปล่อยหรือถ่ายเทออกจากโถสุขภัณฑ์จะไหลไปตามแนวท่อระบายซึ่งของแข็งก็จะมีการแตกตัว (deformable solid) เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆที่แตกต่างกัน จากภาพในช่วงแรก zone 1 จะมีการชะลอตัวอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากของเสียไหลผ่านอุปกรณ์และสัมผัสกับผิวของท่อระบายจากนั้นอัตราการระบายออกจะเพิ่มขึ้นจากการบีบอัดโดยอุปกรณ์ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันผลักของเสียให้ไหลไปตามท่อระบาย

อย่างไรก็ตามการที่ของแข็งมีการชะลอตัวนั้นจะทำให้ของแข็งมีลักษณ์เหมือนเขื่อนกั้นน้ำเป็นผลทำให้สามารถถ่ายเทของเสียได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันของน้ำที่ตามมาด้านหลังของแข็ง สังเกตลักษณะแบบนี้ได้ดังภาพประกอบที่ 16 ใน zone 1 ของแข็งจะมีการแตกตัวและไหลไปตามแนวท่อระบายภายใต้แรงดันของน้ำโดยรอบ และของแข็งจะไหลไปตามแรงโน้มถ่วง อาจมีการลอยตัวเนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการที่ของแข็งมีการสัมผัสกับพื้นผิวของท่อระบาย ในส่วนที่ลึกลงไปของเส้นท่อระบายจะสังเกตเห็นได้ว่าของแข็งจะมีการขยายตัวออกเนื่องจากแรงเสียดทานหรือแรงเฉือนที่มากระทำและเป็นผลมาจากการที่มีน้ำล้อมรอบทำให้ของแข็งเกิดการลอยตัวและขยายตัวออก

ซึ่งความเร็วของของแข็งที่ถ่ายเทในท่อระบายจะสัมพันธ์กับความเร็วของน้ำที่ล้อมรอบ การเกิดขึ้นในลักษณะนี้จะแสดงในภาพประกอบที่ 16 ใน zone 2

ในความลึกหรือระยะทางของท่อระบายที่ลึกลงไปอีกความเร็วของของแข็งอาจอธิบายได้โดยปัจจัยเนื่องจากการลดลงของปริมาณน้ำที่ไหลโดยรอบ ซึ่งในส่วนนี้อัตราการระบายหรือความเร็วของของแข็งจะต่ำลงเนื่องจากมีปริมาณน้ำที่น้อยของแข็งจะถูกบีบอัดตัวโดยความเร็วของของแข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่หลงเหลืออยู่ในท่อระบาย ความเร็วของของแข็งที่ต่ำและระยะเวลาของการถ่ายเทของเสียขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความลึกและการรั่วไหล

การเปลี่ยนแปลงของสภาพการไหลอย่างช้าๆ อาจเกิดขึ้นจากมีการไหลผ่านท่อแยกหรือท่อรวมหรือเกิดจากการที่ปริมาณน้ำลดลงจึงทำให้นำไปสู่การสะสมของของเสียในเส้นท่อระบายซึ่งมีผลทำให้ความเร็วต่ำกว่า 0.2 เมตร / วินาที การเกิดขึ้นในลักษณะนี้จะแสดงในภาพประกอบที่ 16 ใน zone 3 การที่จะทราบว่าของแข็งนั้นเคลื่อนที่ช้าหรือเร็วในระยะทางหรือความชันใดๆสามารถคำนวณความเร็วของของเสียที่เคลื่อนที่ในท่อระบายได้จากสมการที่ 1 และคำนวณตำแหน่งที่มีการสะสมหรือทับถมของของเสียได้ดังสมการที่ 2 ดังต่อไปนี้ (McDougall and Wakelin 2007)



ที่มา : McDougall and Wakelin, 2007

ภาพประกอบที่ 16 แสดงกลไกการถ่ายเทของเสียในท่อระบายเมื่อของเสียถูกปลดปล่อยหรือถ่ายเทออกจากโถสุขภัณฑ์

การคำนวณความเร็วของของเสียที่เคลื่อนที่ในท่อระบายได้จากสมการที่ 1

$$V_{solid} = C_1 - C_2\sqrt{\frac{L}{G}} \qquad (1)$$

หมายเหตุ : เมื่อ V_{solid} คือ ความเร็วของของแข็ง (m/s.)

C_1 คือ ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของความเร็วของของแข็งเมื่อเทียบกับระยะทางที่ 1

C_2 คือ ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของความเร็วของของแข็งเมื่อเทียบกับระยะทางที่ 2

L คือ ระยะทางตามแนวท่อระบาย (m.)

G คือ ความชันของท่อระบาย

การคำนวณตำแหน่งที่มีการสะสมหรือทับถมของของเสียได้จากสมการที่ 2

$$L_{deposition} = G\left\{\frac{C_1}{C_2}\right\}^2 = GC_3^2 \qquad (2)$$

หมายเหตุ : เมื่อ $L_{deposition}$ คือ ตำแหน่งที่มีการสะสมหรือทับถมของของเสีย (mm.)

C_1 คือ ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของความเร็วของของแข็งเมื่อเทียบกับระยะทางที่ 1

C_2 คือ ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของความเร็วของของแข็งเมื่อเทียบกับระยะทางที่ 2

C_3 คือ ค่าคงที่ความสัมพันธ์ของความเร็วของของแข็งเมื่อเทียบกับระยะทางที่ 3

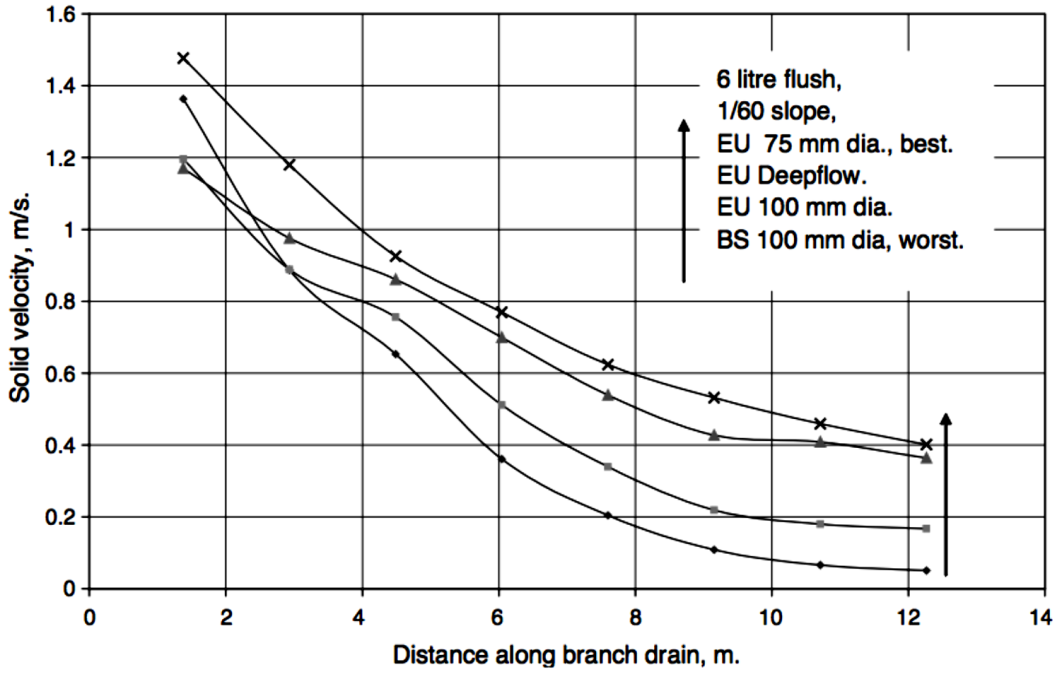
G คือ ความชันของท่อระบาย

2.4.4 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย (Drain diameter)

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย (Drain diameter) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบายของเสีย เนื่องจากการใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันนั้นมีผลทำให้ความเร็ว ระยะทางในการถ่ายเทของเสียและปริมาณการล้างแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการล้างหรือประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำของสุขภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งในการออกแบบนั้นจึงจำเป็นจะต้อง

พิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายรวมกับความชันของท่อระบาย เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างของเสียหรือประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำของสุขภัณฑ์ได้

จากการศึกษาของ McDougall and Wakelin ในปี 2007 ซึ่งได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียโดยใช้ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตรทดสอบโดยใช้ปริมาณการล้าง 6 ลิตรและความชันที่ 1/60 พบว่า ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าคือ 75 มิลลิเมตร มีการถ่ายเทของเสียด้วยความเร็วในการไหลที่สูงที่สุดและมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียได้ดีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ผลที่พบดังแสดงในภาพประกอบที่ 17

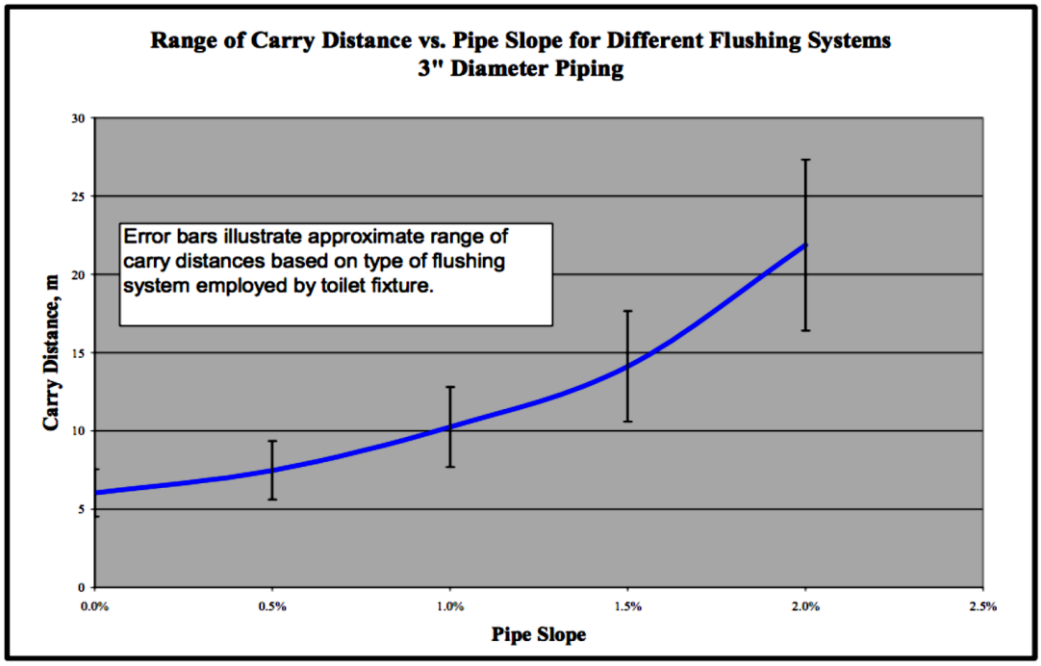


ที่มา : McDougall and Wakelin, 2007

ภาพประกอบที่ 17 แสดงประสิทธิภาพของการถ่ายเทของแข็งที่ปริมาณการล้าง 6 ลิตร ในแต่ละขนาดท่อที่ความชัน 1/60

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาของ Bill and John ในปี 2005 ซึ่งได้ทำการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบายกับระยะทางในการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อ โดยทำการศึกษาท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร ที่ระดับความชันที่แตกต่างกัน ผลที่พบเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้คือ ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางท่อและระยะทางในการ

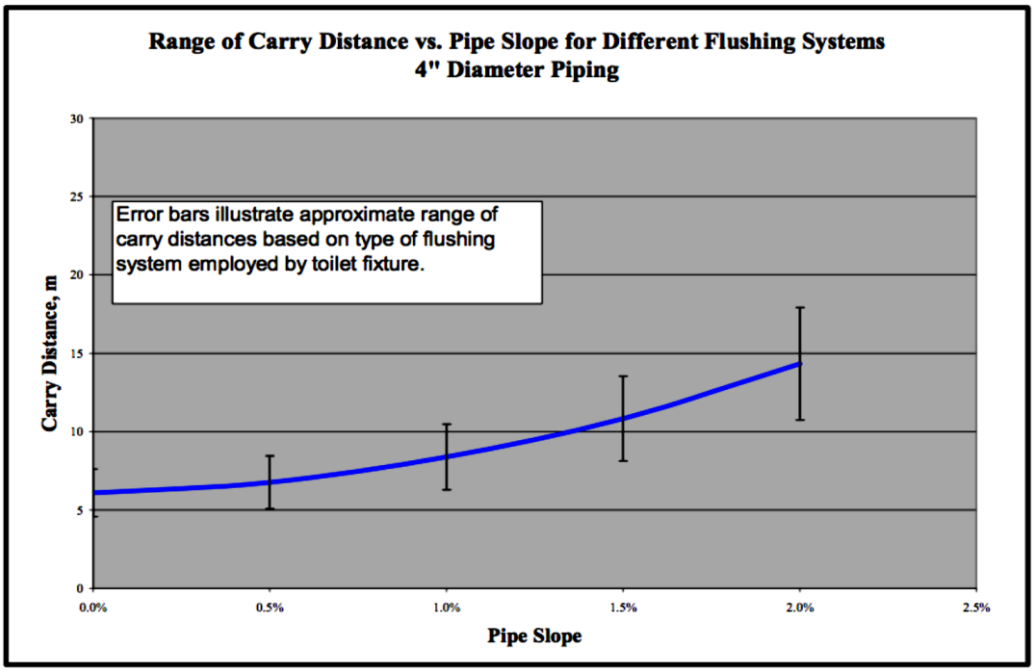
ถ่ายเทของเสียภายในเส้นท่อมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกัน นั้นก็คือเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ (100 มิลลิเมตร) การไหลของน้ำหรือการเคลื่อนที่ของของเสียหรือของแข็งนั้นจะมีความเร็วต่ำกว่าการเคลื่อนที่ในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เล็กกว่า (75 มิลลิเมตร) และที่สำคัญท่อที่มีขนาดเล็กกว่ายังสามารถถ่ายเทของเสียได้ในระยะทางที่ไกลกว่าท่อที่มีขนาดใหญ่ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายที่มีขนาด 75 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการล้างหรือการถ่ายเทของเสียดีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ผลที่พบแสดงในภาพประกอบที่ 18 และ 19 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้ ได้รับการสนับสนุนหรือสอดคล้องกับข้อมูลจากการศึกษาของ Swaffield และ Galowin ในปี 1992 (Bill Gauley and John Koeller 2005)



ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 18 แสดงการถ่ายเทของเสียในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

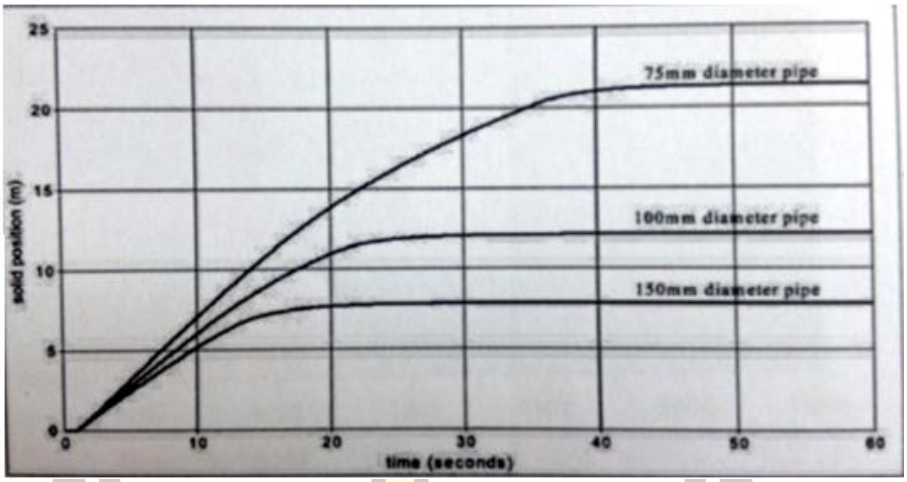


ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 19 แสดงการถ่ายเทของเสียในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร

นอกจากนี้แล้วยังได้มีการศึกษาตำแหล่งของของแข็ง (solid position) ที่มีการถ่ายเทในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันที่เวลาต่างๆ โดยการศึกษาใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร , 100 มิลลิเมตร และ 150 มิลลิเมตร ผลที่ได้เป็นการยืนยันความสัมพันธ์ที่แสดงให้เห็นถึงปัจจัยในเรื่องของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายมีผลต่อการถ่ายเทของเสียภายในท่อ ซึ่งในภาพประกอบที่ 20 แสดงให้เห็นว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีตำแหล่งของของแข็ง (solid position) หรือการถ่ายเทของแข็งได้ในระยะทางที่ไกลกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า เมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาที่เท่ากัน (McDougall and Swaffield 2003)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



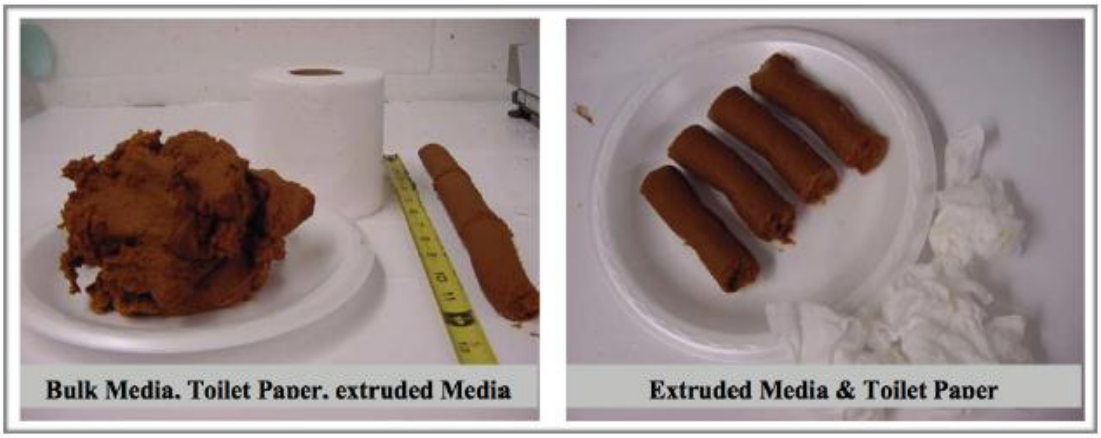
ที่มา : McDougall and Wakelin, 2003

ภาพประกอบที่ 20 แสดงตำแหน่งของของแข็งในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน

2.5 คุณลักษณะของแข็ง (solid characteristics)

คุณลักษณะของแข็ง (solid characteristics) เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้สามารถจำลองตัวอย่างของเสียที่มีการถ่ายเทในท่อระบายให้มีลักษณะคล้ายของจริงของมนุษย์ และเพื่อให้การทดสอบหรือการประเมินมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งคุณลักษณะของแข็งที่จะต้องพิจารณาประกอบไปด้วย มวล (mass), ความยาว (length), เส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) และ ความถ่วงจำเพาะ(specific gravity) เป็นต้น จากการศึกษาของ Bill and John ในปี 2005 ได้ทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพการประหยัดน้ำและการถ่ายเทของเสียในท่อระบาย โดยทำการทดสอบและประเมินโดยใช้ตัวอย่างของเสียที่เป็น กระดาษทิชชู และถั่วเหลืองบด โดยพิจารณามวลของของเสียจากค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยของเสียของมนุษย์ซึ่งมีค่าประมาณ 130 - 250 กรัม ซึ่งการทดสอบจะใช้ถั่วเหลืองบด 200 กรัม โดยแบ่งเป็นสี่ส่วนส่วนละ 50 กรัม และมีความยาวในแต่ละส่วนเท่ากับ 7 เซนติเมตร (Bill Gauley and John Koeller 2005) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 21

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



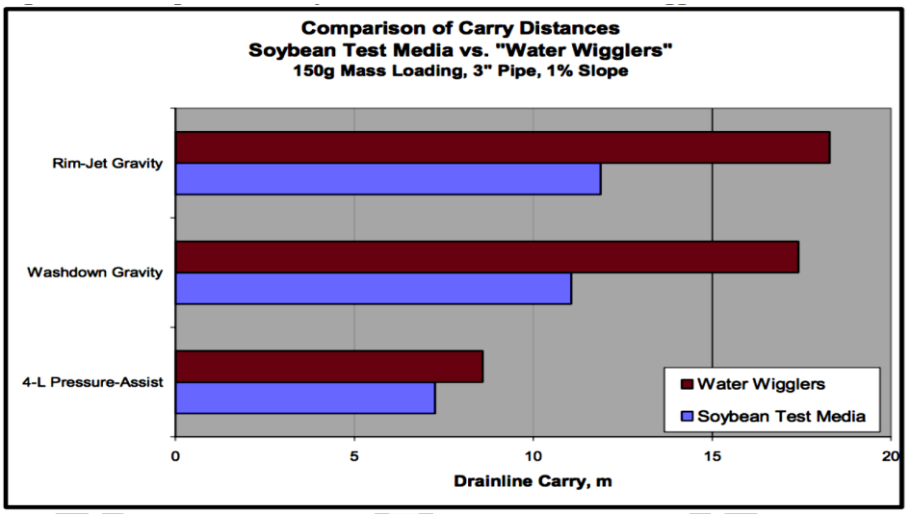
ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 21 ลักษณะของกระดาษทิชชูและถั่วเหลืองบดที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ

ในการศึกษาเดียวกันของ Bill and John ในปี 2005 ยังได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระยะทางในการถ่ายเทของเสียสำหรับโถสุขภัณฑ์ที่แตกต่าง โดยใช้ถั่วเหลืองบด (Soybean Test Media) จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนำมาเปรียบเทียบกับ Water Wigglers ดังแสดงลักษณะของ Water Wigglers ในภาพประกอบที่ 22 การศึกษานี้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างสีเขียวยาวประมาณ 12 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร และมีมวลประมาณ 160 กรัม และตัวอย่างสีแดงยาวประมาณ 12 ซม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และมีมวลประมาณ 132 กรัม ผลการศึกษาเปรียบเทียบระยะทางในการถ่ายเทของเสียตัวอย่างทั้งสองพบว่า Water Wigglers สามารถถ่ายเทได้ในระยะทางที่ไกลกว่าถั่วเหลืองบดในทุกๆรูปแบบของโถสุขภัณฑ์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 23

ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 22 ลักษณะของ Water Wigglers ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ



ที่มา : Bill and John, 2005

ภาพประกอบที่ 23 การเปรียบเทียบระยะทางในการถ่ายเทของเสียของถั่วเหลืองบดและ Water -Wigglers

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ William และ John ในปี 2003 ที่ได้มีการศึกษาขนาดอุจจาระเฉลี่ยสูงสุดของผู้เข้าร่วมทั้งนี้เพศหญิงและเพศชาย ซึ่งพบว่าเพศชายมีขนาดเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 250 กรัม และเพศหญิงมีขนาดเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 237 กรัม และค่าเฉลี่ยของขนาดผู้เข้าร่วมทั้งเพศหญิงและเพศชายทั้งหมดเท่ากับ 130 กรัม ดั้งนั้นด้วยเหตุที่ว่าในเรื่องของสุขอนามัยและความพึงพอใจของผู้บริโภคในเรื่องของปริมาณการล้างที่ต่ำ การศึกษานี้จึงได้ใช้ตัวอย่างของเสีย 250 กรัม (William and John 2003)

ตัวอย่างในการทดสอบได้เลือกเป็นถั่วเหลืองบดเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพ (ความหนาแน่นและ ความชื้น) คล้ายคลึงกับของเสียของมนุษย์ ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้ ความชื้นร้อยละ 51.5, ค่า pH 4.78 และความหนาแน่น 1.16 กรัม / มิลลิลิตร และถูกอัดขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ในแต่ละชิ้น ความยาวของตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 50 กรัม (± 5 กรัม) ภาพประกอบที่ 24 แสดงให้เห็นถึงสื่อที่ใช้ในการทดสอบ (William and John 2003)

ที่มา : William and John, 2003

ภาพประกอบที่ 24 แสดงการติดตั้งการทดสอบและตัวอย่างของเสียที่ใช้ทดสอบ

2.6 การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร

การออกแบบท่อระบายน้ำทิ้งภายในอาคารมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อให้ระบบท่อระบายเป็นไปตามมาตรฐานที่มีการกำหนดไว้สำหรับการออกแบบ ซึ่งเกณฑ์ในการออกแบบ ระบบท่อระบายน้ำทิ้งภายในอาคาร มีดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ 2549)

1.) น้ำทิ้งควรไหลภายในท่อระบายอยู่ประมาณ 1/4 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

2.) ขนาดท่อน้ำโสโครกเล็กสุดที่ยอมให้มีได้เท่ากับ 100 mm. (4")

3.) ความเร็วของน้ำทิ้งไหลในท่อระบายควรจะไม่ต่ำกว่า 0.6 ม./วินาที

4.) ความลาดชันของท่อระบายควรจะมีประมาณ 2% (หรือ 1:50) แต่ไม่ควรน้อยกว่า 1% (หรือ 1:100) ความลาดชันถูกจำกัดด้วยความยาวของท่อและความเร็วของน้ำไหลพาเศษของแข็งไปได้แต่ไม่เร็วเกินไป จนอาจเกิดการดูดเอาอากาศในท่อ

5.) ควรมีช่องล้างท่อทุกแห่งมีมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลเกิน 45 องศา และบริเวณต้นทางน้ำไหลของท่อระบายน้ำทิ้ง

6.) ระยะห่างระหว่างช่องล้างท่อควรมีไม่เกิน 15 เมตร และ 30 เมตร สำหรับท่อระบายที่มีขนาดเล็กกว่า 100 mm. (4”) และขนาดใหญ่กว่า 100 mm. ตามลำดับ

7.) ขนาดท่ออากาศควรมีขนาดท่อเท่ากับหรือใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของขนาดท่อน้ำทิ้งที่ต่อกันอยู่แต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 30 mm. (1/4 นิ้ว)

สำหรับการติดตั้งท่อโสโครกและท่อระบาย การติดตั้งท่อโสโครกและท่อระบายที่ขนาดเล็กกว่า 75 มิลลิเมตร. (3 นิ้ว) ลงมา ต้องติดตั้งให้มีความ ลาดเอียงลงไปสู่ปลายท่อ ไม่น้อยกว่า 1: 50 เว้นไว้แต่จะแสดงในแบบไว้เป็นอย่าง อื่น สำหรับขนาด 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าจะต้องมีความลาดเอียงไม่น้อยกว่า 1:100 (หมวดงานวิศวกรรมสุขาภิบาล)

สำหรับการออกแบบระบบท่อน้ำทิ้งนั้นใช้หลักการว่า น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ คำนวณขนาดท่อและความลาดเอียงให้เหมาะสม เพื่อให้น้ำไหลในท่อได้เร็วพอที่จะพาขยะ สิ่งโสโครกที่เราขับถ่ายปกติไปสู่บ่อน้ำเสียได้โดยสะดวก ดังนั้นการเดินท่อแนวนอนต้องมีความลาดเอียงลงอย่างน้อย 1:100 (1 เมตร/1 เซนตอเมตร.) จากห้องน้ำไปยังบ่อบำบัดน้ำเสีย (สภาวิศวกร 2554)

2.6.1 การดำเนินการติดตั้งท่อและอุปกรณ์ท่อ

การดำเนินการติดตั้งท่อและอุปกรณ์ท่อ ต้องเป็นไปตามที่ระบุในข้อกำหนดนั้นทุกประการ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้

- ท่อ อุปกรณ์ท่อ วาล์วและส่วนประกอบท่อต้องเป็นของใหม่ไม่เคยใช้งานมาก่อน และต้องไม่เก่า เก็บจนทำให้เสื่อมคุณสมบัติ มีคุณภาพเหมาะสมตามลักษณะงานและความปลอดภัย โดยต้องตรวจสอบเสียก่อน

- ท่อ อุปกรณ์ท่อ วาล์วและส่วนประกอบท่อที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานต่างๆ ที่ระบุ นอกจากจะระบุไว้เป็นอย่างอื่น

- ต้องเลือกใช้วัสดุและกรรมวิธีในการดำเนินงานให้เป็นไปตามที่ปรากฏในมาตรฐานนั้นๆ ไม่ว่า ผลิตจากแห่งใดต้องมีคุณสมบัติได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานและหากกรณีมาตรฐานต่างๆ ที่อ้างอิงได้มีการปรับปรุงแก้ไขขึ้นใหม่ ให้ยึดถือตามมาตรฐานล่าสุดดังกล่าว

- มาตรฐานต่างๆ ที่อ้างอิง ซึ่งมิใช่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) หากสำนักงาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ได้ประกาศใช้มาตรฐานดังกล่าวแล้วก็ให้ใช้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นแทน

- ท่อ อุปกรณ์ท่อ วาล์วและส่วนประกอบท่อทุกชนิดที่ใช้ในมาตรฐานนี้ต้องมีความเหมาะสมที่ใช้ งานในประเทศเขตร้อนได้ดี ภายใต้สภาพแวดล้อม ดังนี้

(1) ความสูงใกล้เคียงระดับน้ำทะเลปานกลาง

(2) อุณหภูมิสูงสุด 40 องศาเซลเซียส

(3) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีร้อยละ 55

(4) ความชื้นสมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 79 (กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย 2551)

2.6.2 ท่อและอุปกรณ์ท่อ

ต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดทั่วไปของท่อและอุปกรณ์ท่อประปาภายนอกและภายในอาคาร

- ท่อและอุปกรณ์ท่อประปาทุกชนิดที่ใช้ในมาตรฐานนี้เป็นท่อและอุปกรณ์ท่อชนิดทนความดัน

- ท่อและอุปกรณ์ท่อประปาจะต้องมีเครื่องหมายและอักษรย่อหรือข้อความที่สั้นกะทัดรัด เข้าใจง่าย เพื่อแสดงชื่อและขนาดโดยใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ

- การขนส่งท่อและอุปกรณ์ท่อต้องระมัดระวัง ไม่ให้ท่อและอุปกรณ์เกิดการเสียดสีอันจะทำให้ผิวเคลือบท่อและปลายท่อเสียหายได้ การกองท่อบนรถบรรทุกต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการบิดเบี้ยวในระหว่างขนส่ง

- การยกท่อขึ้นลงจากรถบรรทุกต้องระมัด ระวังมิให้ผิวเคลือบท่อเกิดความเสียหาย อุปกรณ์ที่ใช้ยกท่อขึ้นลงต้องใช้วัสดุที่ไม่ทำให้ผิวท่อเสียหาย เช่น ผ้าใบผืนกวาง แถบผ้าไนลอน ลวดสลิงที่มีสิ่งห่อหุ้มเป็นต้น ห้ามใช้ขอหรือแคล้มป์รัดเกี่ยวหรือหนีบรัดกับปากท่อโดยตรงห้ามทิ้งหรือกลิ้งท่อลงจากรถบรรทุก

- การจัดเก็บท่อและอุปกรณ์ท่อต้องเก็บไว้ในที่ปลอดภัย การกองเก็บให้จัดเรียงท่อเป็นชั้นๆอย่างเป็นระเบียบ ความสูงของกองท่อต้องไม่สูงเกินกว่าที่ผู้ผลิตแนะนำ สำหรับปลายท่อจะต้องมีสิ่งปกปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกสิ่งแปลกปลอมเข้าภายในท่อชนิดของสิ่งปกปิดจะต้องมั่นคงแข็งแรง

- การเลือกใช้อุปกรณ์ท่อ ควรใช้ผลิตภัณฑ์จากโรงงานแห่งเดียวกันกับโรงงานผลิตท่อหรือจากการแนะนำของผู้ผลิตท่อนั้นๆ

- สำหรับงานวางท่อประปาภายนอกอาคาร การกองท่อประปาในไหล่ทางต้องใช้ท่อนไม้ ถุงทรายหรือกองทรายรองรับที่ปลายท่อทั้งสองข้าง จุดที่รองรับควรมีระยะห่างจากปลายท่อประมาณหนึ่งในสี่เท่าของความยาว

- สำหรับงานวางท่อประปาภายในอาคาร จะต้องตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารใน ส่วนที่จะใช้ในการเก็บรักษาท่อและอุปกรณ์ท่อประปา และในส่วนที่จะต้องขนท่อและอุปกรณ์ ท่อประปาผ่านเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับโครงสร้างอาคารการเก็บรักษาท่อและอุปกรณ์ท่อประปาจะต้องทำชั้นที่เก็บในร่มให้ถูกต้อง

2.6.3 การติดตั้งท่อโสโครกและท่อระบาย

- ท่อใต้ดิน ท่อโสโครก ท่อระบายและข้อต่อต่างๆ ที่ฝังใต้ดินให้ใช้วิธีการและวัสดุตาม ที่กำหนดไว้ในหมวดวัสดุท่อ และข้อต่อ การติดตั้งให้ปฏิบัติดังต่อไปนี้

(1.) การอุดรอยต่อสำหรับท่อเหล็กหล่อ ชนิดปากระฆัง (HUB AND SPIGOT) ให้ใช้เชือกมะนิลา หรือเชือกปอ หรือเชือกแอสเบสตอสพันโดยรอบ แล้วใช้ตะกั่วเทอุดให้เรียบร้อยไม่มีรอยรั่ว กรณีเป็นท่อ PVC ให้ใช้น้ำยาต่อท่อตามคำแนะนำผู้ผลิต

(2.) ก้นร่อง ต้องกระทุ้งดินให้แน่นโดยตลอด ถ้าดินเดิมไม่ดีต้องขุดออกให้หมด แล้วนำวัสดุอื่นซึ่งได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของโครงการมาใส่แทนแล้วกระทุ้งให้แน่น

(3.) แนวท่อต้องตรงไม่คดไปมา ความลาดต้องถูกต้องตามแบบ

(4.) รอยต่อทุกรอยต่อต้องแน่นสนิท น้ำซึมไม่ได้ เมื่อหยุดพักงานต้องอุดปากท่อเพื่อป้องกันมิให้น้ำ ทราย ดิน เข้าไปในท่อ

(5.) ท่อลอดถนน ท่อลอดถนนต้องเดินภายใน SLEEVE ซึ่งทำด้วย คสล. หรือท่อเหล็ก และดินที่อยู่ใต้และเหนือท่อส่วนนี้ต้องกระทุ้งให้แน่นเป็นชั้นๆไป

- ท่อเหนือพื้นดินสำหรับท่อระบาย ท่อโสโครกให้ใช้ท่อและอุปกรณ์ตามข้อกำหนดการใช้ข้อต่อและอุปกรณ์ต่างๆให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตท่อแนะนำ การหักมุมให้ใช้ข้อโค้งเสมอ เว้นไว้แต่กรณีพิเศษซึ่งระบุให้ใช้ข้องอ การต่อในระยะสั้นๆอาจใช้ต่อด้วยข้อต่อเหล็กเหนียว หรือด้วยข้อต่อเหล็กหล่อประเภทที่ใช้กับท่อระบายน้ำก็ได้

- ท่อโสโครกและท่อระบายที่ขนาดเล็กกว่า 75 มม. (3 นิ้ว) ลงมา ต้องติดตั้งให้มีความลาดเอียงลงไปสู่ปลายท่อ ไม่น้อยกว่า 1: 50 เว้นไว้แต่จะแสดงในแบบไว้เป็นอย่าง อื่น สำหรับขนาด 100 มม. (4 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าจะต้องมีความลาดเอียงไม่น้อยกว่า 1 : 100

2.6.4 การประกอบท่อให้ทำตามข้อกำหนดดังนี้

1.) การลดขนาดของท่อให้ใช้ข้อลดด้วยขนาดและแบบที่เหมาะสม

2.) การหักเลี้ยวให้ใช้ข้อต่อรูปตัว Y ประกอบกับข้อโค้งเพื่อให้ได้แนวตามความต้องการ เว้นไว้แต่

ก. การหักเลี้ยวอาจใช้สามตาก็ได้ (T-Y FITTING)

ข. ในกรณีที่น้ำโสโครกไหลจากแนวราบลงสู่แนวดิ่ง จะใช้ข้อโค้งสั้น 90 องศาก็ได้

ค. การหักเลี้ยวของท่อส่งน้ำโสโครกจากหม้อส้วม จะใช้ข้อโค้ง 90 องศาก็ได้

3.) การติดตั้งที่ดักผงซึ่งหมายรวมถึงคอห่านและถ้วยสำหรับระบายน้ำ มีข้อกำหนดดังนี้

ก. ที่ดักผง ต้องติดตั้งใกล้กับเครื่องสุขภัณฑ์และอุปกรณ์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ข. เครื่องสุขภัณฑ์และอุปกรณ์แต่ละชุด ห้ามมิให้ติดเครื่องดักผงมากกว่า 1 แห่ง

ค.ที่ดักผงซึ่งติดตั้งต้องอยู่ในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ง่ายและติดปลั๊กหรืออุปกรณ์อื่นใดที่ผู้ควบคุมงานเห็นเหมาะสมในการถอดออก เพื่อถ่ายผงทิ้งและทำความสะอาดภายในได้สะดวก

ง. ข้อต่อแบบสรวม จะนำมาใช้ต่อเข้ากับที่ดักผงได้ก็แต่เฉพาะเมื่อต่อที่ดักผงขึ้นมาเท่านั้น

4.) TRAP SEAL ของเครื่องสุขภัณฑ์แต่ละชนิดต้องมี LIQUID SEAL ไม่น้อยกว่า 50 มม. และไม่มากกว่า 100 มม. นอกจากจุดที่ต้องการ SEAL มากกว่านั้น

5.) PIPE CLEANOUT ผู้รับจ้างจะต้องติดตั้งช่องทำความสะอาดท่อสำหรับท่อส้วมหรือท่อระบายน้ำ ตามจุดต่างๆและให้มีขนาดดังนี้

ก. มีช่องทำความสะอาดที่พื้น (FLOOR CLEANOUT) ทุกๆระยะ 15 ม. สำหรับท่อส้วมหรือท่อน้ำทิ้งในแนวนอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว หรือเล็กกว่าและติดตั้งทุกๆระยะ 30 ม. สำหรับท่อส้วมหรือท่อน้ำทิ้งในแนวนอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 มม. ขึ้นไป

ข. ในกรณีที่ท่อ หรือท่อน้ำทิ้งเปลี่ยนทิศทางเกินกว่า 45 องศา

ค. ที่ฐานของท่อส้วม หรือท่อน้ำทิ้งในแนวดิ่ง (BASE OF STACKS)

ง. ในส่วนที่ใกล้ส่วนต่อระหว่างท่อส้วม ท่อน้ำภายในอาคาร DRAIN และส่วนที่อยู่นอกอาคาร BUILDING SEWER

จ. ท่อส้วมหรือท่อน้ำที่ฝังดิน ต้องมีช่องทำความสะอาด (SERVICE CLEANOUTS OR YARD CLEANOUT) ต่อขึ้นมาจนถึงระดับดิน

ฉ. ช่องทำความสะอาดต้องมีขนาดเท่ากับท่อส้วมหรือท่อน้ำทิ้ง สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. และต่ำกว่า สำหรับท่อขนาดใหญ่กว่า 100 มม. ขึ้นไป ช่องทำความสะอาดจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 100 มม. (กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย 2551)

2.6.5 การติดตั้งท่อระบายอากาศ

การจัดระบบท่อระบายอากาศให้อาศัยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- ท่อระบายอากาศจากท่อโสโครกนั้น ต้องต่อท่อให้สูงพ้นระดับหลังคาเสมอ เว้นไว้แต่จะปรากฏในแบบเป็นอย่างอื่น

- หากกระทำได้ ถ้ามีท่อระบายอากาศจากท่อโสโครกมากกว่าท่อเดียว ให้ต่อท่อเหล่านี้รวมกันเป็นท่อเดียวกันเสีย แล้วต่อท่อให้สูงพ้นระดับหลังคาอาคาร

- ท่อระบายอากาศที่ติดตั้งแนวดิ่งเหนือเครื่องสุขภัณฑ์ทั้งหลาย อาจต่อรวมเข้าเป็นท่อเดียวกันได้

- ท่อรับน้ำโสโครกซึ่งรับจากเครื่องสุขภัณฑ์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป จะต้องต่อท่อระบายอากาศออกทางปลายข้างหนึ่งของท่อ เว้นไว้แต่จะปรากฏว่าเครื่องสุขภัณฑ์ แต่ละเครื่องมีท่อระบายอากาศของตนเองอยู่แล้ว

- การต่อท่ออากาศเข้ากับท่อระบายน้ำที่วางตามแนวนอนนั้น ให้ต่อที่ด้านบนของท่อระบายน้ำ

- ท่อระบายอากาศนั้นจะต้องติดตั้งให้ปลายท่อบนสุดอยู่สูงจากหลังคาขึ้นไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 15 ซม.และต้องมีแผ่นกันหลังคาตามแบบ (กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย 2551)

2.6.6 วัสดุท่อและข้อต่อ

2.6.6.1 ท่อน้ำประปา (CW) ชนิดของท่อให้ยึดถือถามที่ระบุในแบบ โดยแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

- ท่อที่อยู่ภายในอาคารทั้งหมด

1.) ท่อเหล็กอาบสังกะสี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.277-2521 และ มอก. 281- 2521, CLASS Bหรือมาตรฐาน BS – 1387 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว และเล็กกว่า ให้ต่อแบบเกลียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้วและใหญ่กว่าให้ต่อแบบหน้าแปลน ข้อต่อเหล็กอาบสังกะสีที่เป็นข้อต่อตรง (SOCKET) ข้องอ (ELBOW) ข้อโค้ง (BEND) สามทาง (TEE) ข้อลด (REDUCER) นิปเปิล (NIPPLE) ยูเนียน (UNION) ฯลฯ สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว และเล็กกว่าให้ใช้เป็นข้อต่อเหล็กหล่อเหนียวอาบสังกะสี (GALVANIZED MALLEABLE CAST-IRON) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 249-2520 ข้อต่อสำหรับท่อขนาดที่โตกว่า 4 นิ้ว ทำด้วย WROUGHT CARBON AND ALLOY STEEL WITH HOT-DIP GALVANIZED ตามมาตรฐาน ASTM A 234 และต่อท่อแบบหน้าแปลน หรือการต่อแบบเชื่อมไฟฟ้า

2.) ท่อพีวีซี ตามมาตรฐาน อุตสาหกรรมที่ มอก. 17-2523 CLASS 13.5

3.) ท่อพีบี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.910-2532 ชั้นคุณภาพ SDR 11

- ท่อภายนอกอาคารที่ฝังอยู่ใต้ดิน หรืออยู่ใน TRANCH

1.) ท่อ HDPE, PN10 หรือ PN16 (ตามที่ระบุในแบบ) ตามมาตรฐาน มอก. 982-2533, DIN 8074, 8075 หรือ SFS 2336, 4231ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 90 มม. ต่อด้วยการเชื่อมความร้อน ส่วนท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มม. และเล็กกว่าใช้ข้อต่อแบบสวมอัด ในกรณีที่มีการต่อกับท่อชนิดอื่น หรืออุปกรณ์ที่มีหน้าจาน ให้ทำการต่อโดยใช้ข้อต่อแบบหน้าจาน

(FLANGE ADAPTER OR STUB END) แล้วใช้สกรูยึดระหว่างแหวนหน้าจาน (BACKING RING) โดยน็อตยึดให้ใช้น็อตสแตนเลสทั้งหมด

2.) ท่อพีบี ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก.910-2532 ชั้นคุณภาพ SDR 11

2.6.6.2 ท่อน้ำโสโครก ท่อน้ำเสีย และท่อน้ำทิ้งจากครัว (S, W, KW) ชนิดของท่อให้ยึดถือตามที่ระบุในแบบ โดยแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

- ท่อเหล็กหล่อ ให้ใช้ชนิดปากระฆัง (HUB AND SPIGOT) ชนิดหนาพิเศษ (EXTRA HEAVY GRADE) เคลือบด้วยวัสดุป้องกันสนิมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.533-2527 หรือท่อเหล็กหล่อชนิด HUBLESS ต่อด้วยแหวนยางพร้อม STAINLESS STEEL CLAMP

- ท่อพีวีซี (POLYVINYL CHLORIDE : PVC) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 17-2532 CLASS 8.5 ข้อต่อสำหรับใช้กับท่อ พีวีซี เป็นแบบ INJECTION MOLDED ชนิดหนา การต่อท่อเข้ากับข้อต่อที่เป็นชนิดเกลียวต้องพันเกลียวด้วย PTFE (TEFLON) TAPE เท่านั้น ข้อต่อชนิดไม่มีเกลียว แต่เป็นการต่อแบบสวมเข้ากับท่อ ปลายท่อที่จะสวมใส่จะต้องทำความสะอาด และขัดผิวหน้าหยาบเสียก่อน แล้วทาด้วยน้ำยาทาท่อพีวีซี ตามคำแนะนำของผู้ผลิตแล้วจึงต่อท่อเข้าและกดให้แน่นรอจนน้ำยาแข็งตัวจึงปล่อยมือ ท่อที่ติดตั้งภายนอกอาคาร และต่ออยู่ระหว่างบ่อพักน้ำเสีย สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. – 250 มม. ให้ใช้ท่อพีวีซี ชนิดต่อด้วยแหวนยาง โดยแหวนยางจะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM F 477 ส่วนท่อขนาด 300 มม. และใหญ่กว่าให้ใช้เป็นท่อเสริมใยแก้ว (GLASS REINFORCEC PIPE – GRP) ตามมาตรฐาน ASTM-D 3262-88 ชั้นความคงรูป 2500 นิวตันต่อตารางเมตร ทนแรงดันใช้งานภายในท่อไม่น้อยกว่า 245 กิโลปาสคาล (35 PSI) ข้อต่อเป็นชนิด SLEEVE COUPLING แบบมีแหวนยางภายในข้อต่อ

- ท่อพีพี (POLY PROPYLENE PIPE) ตามมาตรฐาน BS 4991 CLASS B การต่อแบบ MACHANICAL JOINT (กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย 2551)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการออกแบบโถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ ซึ่งในที่นี้จะเป็นการศึกษาในส่วนของระบบท่อระบายน้ำที่มีผลต่อการประหยัดน้ำจากการชะล้างของเสียในโถสุขภัณฑ์ซึ่งการที่จะออกแบบระบบท่อระบายน้ำเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำได้นั้นจะต้องมีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเหล่านั้นทางผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้มาซึ่งปัจจัยที่จะต้องศึกษา โดยพบว่าปัจจัยที่จะต้องศึกษา ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย (Drain diameter) ความชันของท่อระบาย (Drain slope) ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) และระยะทางหรือความยาวของท่อ (Drain distance)

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้มีการศึกษาปัจจัยดังกล่าวข้างต้นเพื่อที่จะออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำและวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสิ่งปฏิกูลในเส้นท่อ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยจะทำการพิจารณาจากความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของของแข็ง โดยจะทำการเลือกระบบที่ดีที่สุดที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ เพื่อนำไปศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบายและสิ่งสุดท้ายที่ได้จากการวิจัยคือการเสนอแนะเทคโนโลยีการออกแบบระบบท่อระบายที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำในการล้างโถสุขภัณฑ์ โดยขั้นตอนหรือวิธีการในการศึกษาจะแสดงดังต่อไปนี้

3.1.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบท่อระบาย

ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนหรือวิธีการในการศึกษานั้น จะกล่าวให้ทราบก่อนว่าการศึกษาปัจจัยในด้านการ ออกแบบระบบท่อระบายที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของของแข็งในเส้นท่อ โดยการดำเนินการศึกษานั้นในการทดสอบแต่ละปัจจัยจะทำการทดสอบในรูปแบบเดียวกัน ผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างในการทดสอบที่ความชัน 1:50 กล่าวคือ ติดตั้งอุปกรณ์ที่ความชัน 1:50 โดยใช้ความสูงในแนวดิ่งที่ 150 mm. ใช้ท่อยาว 4 m. และใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. เป็นต้น จากนั้นก็จะทำการเปลี่ยนความยาวท่อและเส้นผ่านศูนย์กลางท่อให้ครบตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้โดยให้ความชันและความสูงท่อในแนวดิ่งเท่าเดิม จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปแบบเดิมโดยเปลี่ยนความชันเป็น 1:100 ,1:200 และ 0 ตามลำดับ และเปลี่ยนความสูงท่อในแนวดิ่ง ความยาวท่อและเส้นผ่าน

ศูนย์กลางท่อให้ครบตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.1.1.1 - 3.1.1.4 โดยการทดสอบในแต่ละเงื่อนไขจะทำการทดสอบสามซ้ำ ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองได้ดังต่อไปนี้

3.1.1.1 การศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายที่มีผลต่อการประหยัดน้ำ

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย (Drain diameter) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณา เนื่องจากการใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลทำให้ความเร็ว ระยะทางในการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อระบาย และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการล้างหรือการถ่ายเทได้ดีของของเสียในท่อระบาย และยังสามารถช่วยในการประหยัดน้ำได้ ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเพื่อให้เกิดการประหยัดน้ำขึ้น ดังต่อไปนี้

1.) ศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นท่อระบาย (Drainline pipe diameters) โดยในการทดสอบจะใช้ ท่อพีวีซีใสที่มีขนาดเท่ากับ 50 mm. (2 นิ้ว), 75 mm. (3 นิ้ว) และ 100 mm. (4 นิ้ว)

2.) ศึกษาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ชักโครกโดยใช้ท่อระบายที่มีขนาดต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 1 โดยให้มีความชัน (0, 1:50, 1:100 และ 1:200) ความสูงท่อในแนวดิ่ง (150 mm., 500 mm. และ 800 mm.) และความยาวท่อระบาย (4 m., 8 m., 12 m. และ 16 m.) ตามที่ได้กำหนดไว้

3.) ทำการทดสอบการล้างที่ปริมาณต่างๆ คือ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร

4.) พิจารณาความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยการตรวจสอบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างและความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที

3.1.1.2 การศึกษาอิทธิพลของความชันที่มีผลต่อการประหยัดน้ำ

เนื่องจากว่าความชันของท่อระบายนั้นมีผลต่อการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อและยังเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในเรื่องของระยะทางหรือประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำจากที่ได้ทบทวนวรรณกรรมมาในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ท่อระบายมีความชันสูงขึ้นจะมีผลทำให้สามารถถ่ายเทของเสียได้ในระยะทางที่ไกลกว่าท่อระบายที่มีความชันต่ำกว่า และสำหรับการประหยัดน้ำนั้นต้องคำนึงถึงปริมาณการล้างที่เพียงพอเพื่อให้ของเสียมีการถ่ายเทได้ในระยะทางที่ไกลและไม่ติดค้างในเส้นท่อระบาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมี

การศึกษาความชันและปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ความชันของท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการออกแบบการทดลองเป็นดังนี้

1.) ความชันของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะในแนวดิ่งต่อระยะในแนวระนาบได้แก่ 0, 1:50, 1:100 และ 1:200 ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นค่าในการติดตั้งดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยจะลดระดับลงจากแนวระดับเดิมที่ไม่มีความชันลงในหน่วยเซนติเมตร (cm.)

2.) ติดตั้งอุปกรณ์ให้ได้ความชันตามที่กำหนดไว้ในข้อที่ 1 โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 50 mm. (2 นิ้ว), 75 mm. (3 นิ้ว) และ 100 mm. (4 นิ้ว) ที่ความสูงท่อในแนวดิ่ง 150 mm., 500 mm. และ 800 mm. และความยาวท่อระบายเท่ากับ 4 m., 8 m., 12 m. และ 16 m. ตามที่ได้กำหนดไว้

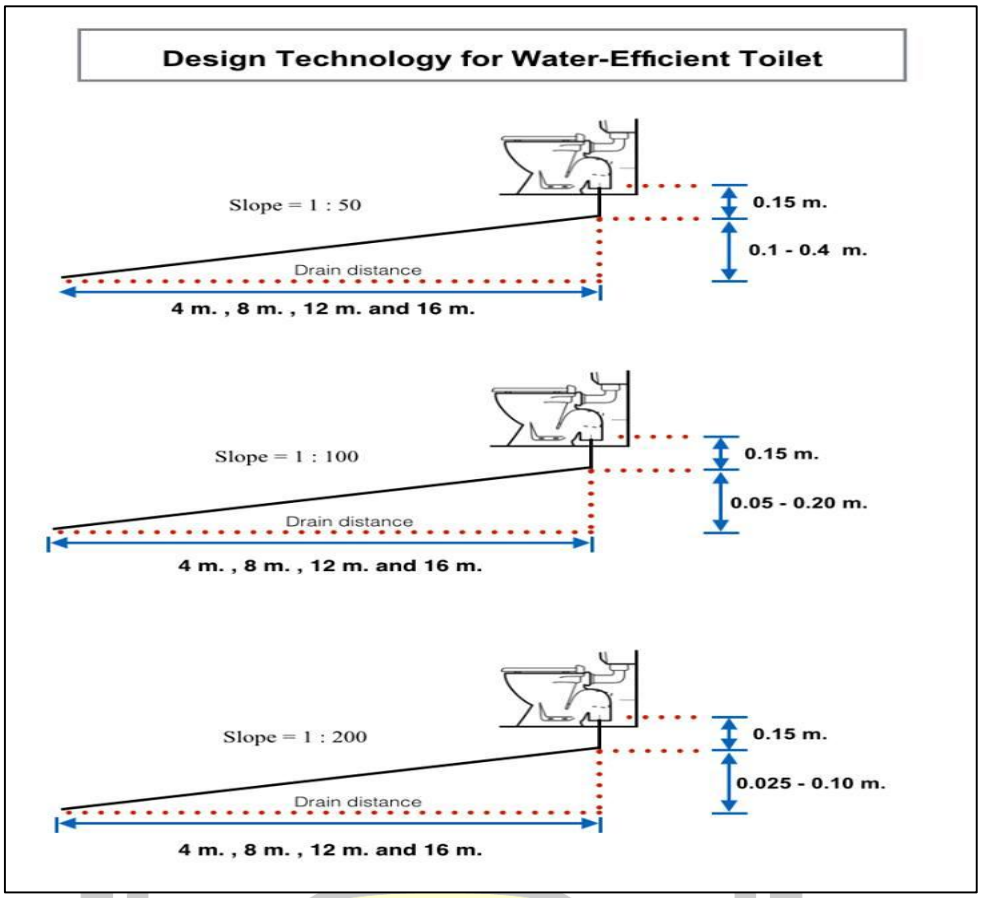
3.) ทดสอบหาความชันที่เหมาะสมและก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยการทดสอบจะใช้น้ำในการล้างในปริมาณ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร

4.) พิจารณาความชันของท่อระบายโดยการตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยการตรวจสอบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง และความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที

ตารางที่ 1 แสดงการออกแบบความชันของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบ

ความชันของท่อระบาย	**ความยาวท่อในแนวนอน (เมตร)**			
	4 m.	**8 m.**	**12 m.**	**16 m.**
ไม่มีความชัน	0 cm.	0 cm.	0 cm.	0 cm.
1:200	2 cm.	4 cm.	6 cm.	8 cm.
1:100	4 cm.	8 cm.	12 cm.	16 cm.
1:50	8 cm.	16 cm.	24 cm.	32 cm.

** คำนวณจาก เช่น ความชัน 1:200 หมายถึง ที่ความยาวท่อในแนวราบ 200 เมตร จะต้องลดระดับความลาดเอียงลง 1 เมตร ดังนั้น ท่อระบายยาว 4 เมตร ต้องลดระดับความลาดเอียงลงเท่ากับ 0.02 เมตร หรือ 2 เซนติเมตร เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างการติดตั้งแสดงดังภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบที่ 25 แสดงตัวอย่างการติดตั้งความชันเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.1.1.3 การศึกษาอิทธิพลของความสูงท่อแนวดิ่งที่มีผลต่อการประหยัดน้ำ

ความสูงในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) จากที่ได้กล่าวมาจากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 คือ การต่อท่อจากตัวโถสุขภัณฑ์ลงมายังท่อระบายดังแสดงในภาพประกอบที่ 26 ซึ่งความสูงในแนวดิ่งที่กล่าวมานี้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีต่อการถ่ายเทของเสียในท่อระบาย กล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่มความสูงในแนวดิ่งจะทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายจะสามารถถ่ายเทได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ติดตั้ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของความสูงท่อแนวดิ่งดังต่อไปนี้

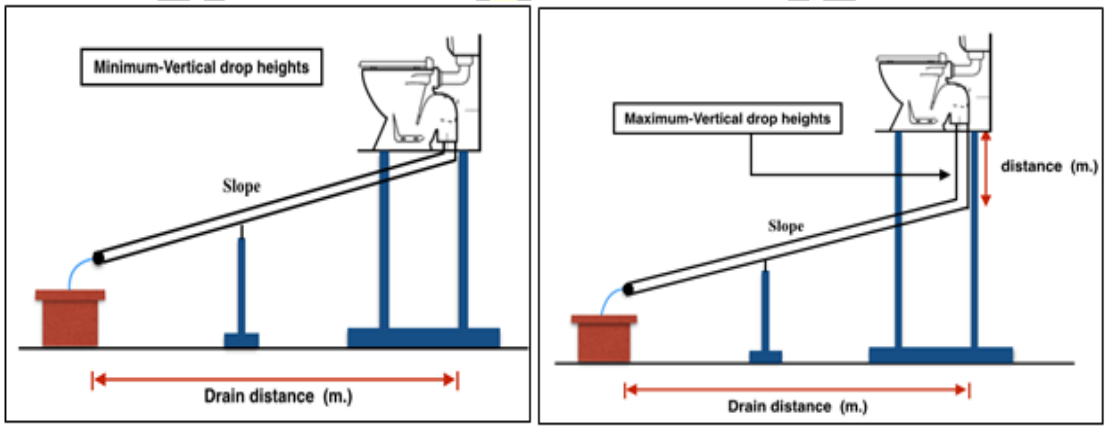
1.) การศึกษาความสูงในแนวดิ่งโดยจะติดตั้งที่ความสูงในระดับที่แตกต่างกันซึ่งจะติดตั้งให้มีความสูงในแนวดิ่งสามระดับคือ 150 mm. 500 mm. และ 800 mm. ดังแสดงในภาพประกอบ 26

2.) ศึกษาอิทธิพลของความสูงท่อแนวดิ่งโดยการติดตั้งอุปกรณ์ให้ได้ความสูงในแนวดิ่งตามที่กำหนดไว้โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 50 mm. (2 นิ้ว), 75 mm. (3 นิ้ว) และ 100

mm. (4 นิ้ว) ที่ความชัน 0, 1:50, 1:100 และ 1:200 และความยาวท่อ 4 m., 8 m., 12 m. และ 16 m. ตามที่กำหนดไว้

3.) ทำการทดสอบการล้างที่ปริมาณต่างๆ คือ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร

4.) พิจารณาความสูงในแนวดิ่งของท่อระบายโดยการตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยการตรวจสอบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง และความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที



ภาพประกอบที่ 26 แสดงการติดตั้งความสูงในแนวดิ่งในระดับที่สูงและต่ำตามลำดับ

3.1.1.4 การศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อระบายที่มีผลต่อการประหยัดน้ำ

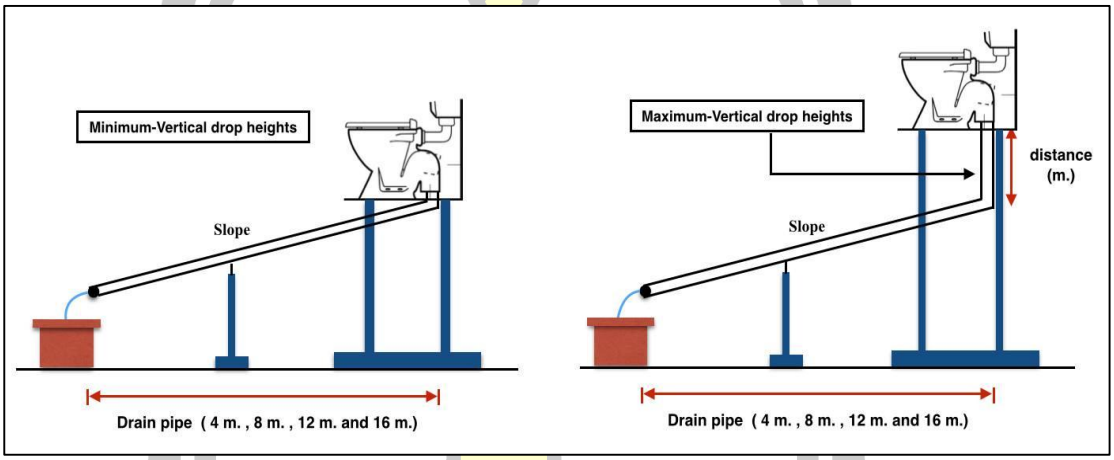
ในการออกแบบระบบท่อระบายของเสีย ระยะทางของท่อระบาย (Distance) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณา ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 ทำให้ทราบว่าระยะทางมีความสัมพันธ์ในทางบวกหรือมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการล้าง กล่าวคือการใช้ความยาวท่อที่มากหรือน้อยนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำสูงและต่ำตามลำดับ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองโดยจะพิจารณาดังต่อไปนี้

1.) ความยาวของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ 4, 8, 12 และ 16 เมตร

2.) ศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อระบายโดยการติดตั้งอุปกรณ์ให้ได้ความยาวของท่อระบายตามที่กำหนดไว้ โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 50 mm. (2 นิ้ว), 75 mm. (3 นิ้ว) และ 100 mm. (4 นิ้ว) ที่ความชัน 0, 1:50, 1:100 และ 1:200 และความสูงในแนวดิ่ง 150 mm., 500 mm. และ 800 mm. ตามที่กำหนดไว้

3.) ทำการทดสอบการล้างที่ปริมาณต่างๆ คือ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร

4.) พิจารณาความยาวของท่อระบายโดยการตรวจสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยการตรวจสอบปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง และความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที โดยภาพประกอบที่ 27 จะแสดงรูปแบบของการติดตั้งความยาวของท่อระบายในแนวนอน



ภาพประกอบที่ 27 แสดงรูปแบบของการติดตั้งความยาวของท่อระบายในแนวนอน

3.1.2 การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย

เมื่อสิ่งปฏิกูลหรือของแข็งถูกถ่ายเทออกจากโถสุขภัณฑ์จะไหลไปตามแนวท่อระบายทำให้ของแข็งมีการแตกตัว (deformable solid) เกิดขึ้น การแตกตัวของของแข็งที่เกิดขึ้นนั้นก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามแนวท่อระบาย โดยลักษณะการแตกตัวของของแข็งดังกล่าวนั้นจะขึ้นอัตราการไหลหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการชะล้างที่แตกต่างกัน ซึ่งอัตราการไหลหรือปริมาณน้ำนั้นก็จะส่งผลทำให้ความเร็วของของแข็งแตกต่างกันด้วยเช่นกัน และเมื่อของแข็งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วถึงจุดหนึ่งในท่อระบายน้ำที่ความเร็วของของแข็งเป็นศูนย์ จะทำให้เกิดการตกสะสมในเส้นท่อระยายซึ่งปัญหาที่ตามมาคืออาจจะทำให้ท่อระบายเกิดการอุดตันได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งที่ไม่ก่อให้เกิดการอุดตันในเส้นท่อระบาย ทางผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลกลที่มีเคลื่อนที่และการแตกตัวในระบบท่อระบาย โดยนำระบบที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อการประหยัดน้ำในหัวข้อที่ 3.1.1 มาศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งดังต่อไปนี้

3.1.2.1 การศึกษากลไกการเคลื่อนที่ของของแข็ง

1.) ในการทดสอบจะใช้ท่อระบายที่เป็นท่อพีวีซีใส เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นลักษณะการแตกตัวของของแข็งในเส้นท่อระบายได้อย่างชัดเจนของแข็งที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ถั่งเหลืองบด 200 - 250 กรัม

2.) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ โดยมีปัจจัยในการทดสอบเพื่อพิจารณาหาระยะทางในการเคลื่อนที่ของของแข็งในเส้นท่อระบาย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนั้นประกอบด้วย ระดับความชัน, ความยาวท่อระบาย, เส้นผ่านศูนย์กลางท่อและระดับความสูงในแนวดิ่ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 0, 1:50, 1:100 และ 1:200 ตามลำดับ
- ติดตั้งท่อระบายที่ความยาวท่อ 16 เมตร
- ติดตั้งท่อระบายโดยใช้ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ 50, 75 และ 100 mm.
- ติดตั้งท่อระบายที่ความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 mm.

3.) ทำการทดลองเพื่อหาระยะทางที่ของแข็งตกสะสมในเส้นท่อระบายโดยใช้ปริมาณการล้างที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้น และทำวัดขนาดความยาวของของแข็งที่มีการตกสะสมในท่อระบายนั้นๆ จากนั้นวิเคราะห์ผลเชื่อมโยงกับการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ โดยภาพประกอบที่ 28 จะแสดงลักษณะของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพประกอบที่ 28 จะแสดงลักษณะของท่อระบายที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2.2 การศึกษาการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย

1.) ในการทดสอบจะใช้ท่อระบายที่เป็นท่อพีวีซีใส เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นลักษณะการแตกตัวของของแข็งในเส้นท่อระบายได้อย่างชัดเจน

2.) ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ถั่งเหลืองบด 200 - 300 กรัม โดยในการศึกษาจะกำหนดให้ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบมีมวลที่แตกต่างกัน (อยู่ระหว่าง 200 - 250 กรัม)

3.) ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง โดยกำหนดค่ามีปัจจัยต่างๆตามหัวข้อ 3.1.2.1 ข้อ 2 เพื่อพิจารณาลักษณะของการแตกตัวของของแข็งในเส้นท่อระยาย

4.) ทำการทดลองโดยการชะล้างของแข็งที่ใช้ปริมาณการล้างที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร แล้วตรวจสอบวัดความกว้างความยาวของของแข็งที่มีการแตกตัวในเส้นท่อ

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างและรูปแบบโถสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างในการทำการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการประหยัดน้ำในการถ่ายเทของเสียผ่านท่อระบาย โดยการทดสอบจะใช้ถั่วเหลืองบดและกระดาษชำระ ปริมาณถั่วเหลืองบดที่ใช้ประมาณ 200-250 กรัม โดยจะต้องทำการแบ่งถัวเหลืองออกเป็นส่วนๆให้ได้ 4 ส่วน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่มีลักษณะใกล้เคียงกับของมนุษย์ ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบที่ 29 และโถสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นโถสุขภัณฑ์แบบสองชิ้นขนาด 6 ลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30

ภาพประกอบที่ 29 แสดงตัวอย่างของเสียที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพประกอบที่ 30 โถสุขภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

ผลการศึกษาต่อไปนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาระบบท่อระบายสิ่งปฏิกูลที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำในการชะล้างของโถสุขภัณฑ์ โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ การศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ และการศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบระบบท่อระบายที่มีความเหมาะสมที่ให้เกิดการประหยัดน้ำ โดยการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำดังกล่าวนี้จะทำการทดสอบหาปัจจัยที่มีความเหมาะสมโดยการติดตั้งโถสุขภัณฑ์มาตรฐานขนาด 6 ลิตร ติดตั้งภายใต้เงื่อนไขของปัจจัยต่างๆได้แก่ ความชันของท่อระบาย (Drain slope) ความสูงในแนวดิ่ง (Flow depth) ระยะทางหรือความยาวของท่อระบาย (Drain distance) และเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย (Drain diameter) ซึ่งกำหนดให้มีการติดตั้งที่ความชันเป็น 0, 1:200, 1:100 และ 1:50 ความสูงในแนวดิ่งเป็น 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ความยาวท่อเป็น 4, 8, 12 และ 16 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งจากผลที่ได้จะพิจารณาปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำของระบบท่อระบาย โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่ลดลงและความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่สามารถเป็นไปได้ ซึ่งจากผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวนี้จะนำผลที่ได้ไปทำการศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย เพื่อที่จะเสนแนะแนวทางหรือเทคโนโลยีในการออกแบบระบบท่อระบายที่มีความเหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดการประหยัดน้ำ ซึ่งจากการศึกษาได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 ทำให้ทราบว่ามีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบระบบท่อระบายน้ำเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมีอยู่ 4 ปัจจัย ได้แก่ ความชันของท่อระบาย (Drain slope) ความสูงในแนวดิ่ง (Flow depth) ระยะทางหรือความยาวของท่อระบาย (Distance) และเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย (Drain diameter) ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองโดยการติดตั้งอุปกรณ์ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด คือ ติดตั้งที่ความชัน 0, 1:200, 1:100 และ 1:50 ความสูงในแนวดิ่งที่ 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ความยาวของ

ท่อระบาย 4, 8, 12 และ 16 เมตร และติดตั้งโดยใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว จากนั้นพิจารณาความเร็วในการไหลของน้ำที่สามารถเป็นไปได้จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายควรจะไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที (เกรียงศักดิ์, 2549) เพื่อหาปัจจัยที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ ซึ่งแบ่งผลการศึกษาออกเป็นดังต่อไปนี้

1.) อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

2.) อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชัน

3.) การศึกษากลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย

4.1.1 อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าความชันของท่อระบายเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบาย เนื่องจากความชันของท่อระบายน้ำนั้นมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อและยังช่วยให้ลดปริมาณการล้างลงได้ แต่ก่อนจะกล่าวถึงการศึกษาในเรื่องของความชัน ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบท่อระบายที่ไม่มีการติดตั้งท่อให้มีระดับความชันในเบื้องต้นก่อน ซึ่งการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในระดับที่ไม่มีความชันนี้ได้รับการติดตั้งโดยใช้ท่อระบาย 3 ขนาดได้แก่ ท่อละบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ติดตั้งที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ความยาวท่อระบาย 4 เมตรและปริมาณน้ำในการล้าง 6, 5, 4, 3 และ 2 ลิตร จากนั้นทดสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางสู่ปลายท่อระบาย โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 2 และภาพประกอบที่ 31

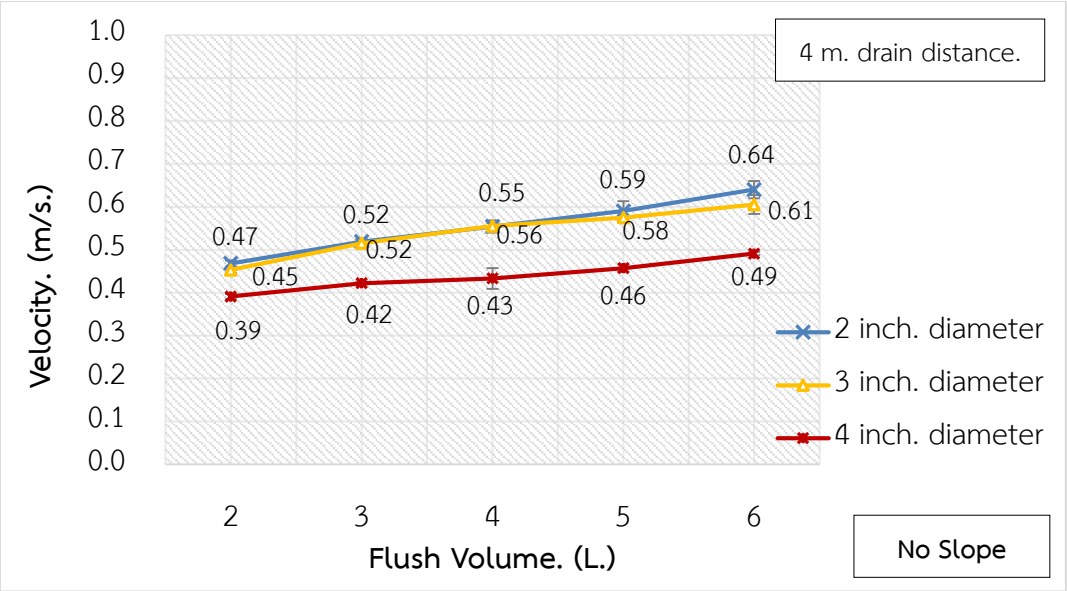
ตารางที่ 2 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อทั้ง 3 ขนาดที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

ขนาดท่อระบาย (นิ้ว)	ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินาที) ที่ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง (ลิตร)									
	2L	S.D.	3L	S.D.	4L	S.D.	5L	S.D.	6L	S.D.
2	0.47*	0.006	0.52*	0.004	0.55*	0.024	0.59*	0.009	0.64*	0.004
3	0.45*	0.007	0.52*	0.008	0.56*	0.007	0.58*	0.005	0.61*	0.022
4	0.39*	0.007	0.42*	0.006	0.43*	0.014	0.46*	0.023	0.49*	0.020

* The mean difference of drain diameter is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

L. คือ หน่วยของปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างมีหน่วยเป็นลิตร



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

จากความสัมพันธ์ในภาพประกอบที่ 31 การติดตั้งท่อระบายที่มีความยาวท่อ 4 เมตร โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน พบว่า เมื่อปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในทุกขนาดท่อ และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายทั้ง 3 ขนาดพบว่า ท่อระบายที่มีขนาดเล็กจะมีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อสูงกว่าท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ การไหลของน้ำหรือการเคลื่อนที่ของของเสียหรือของแข็งนั้นจะมีความเร็วต่ำกว่าการเคลื่อนที่ในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เล็กกว่าซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับกับ Gauley et al. (2005) ที่พบว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายที่มีขนาด 75 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการล้างหรือการถ่ายเทของเสียดีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และเมื่อนำผลผลการศึกษาไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อทั้ง 3 ขนาด พบว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายในทุกปริมาณน้ำ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และหากพิจารณาความเร็วในการไหลของน้ำในท่อที่สามารถออกแบบระบบท่อระบายให้มีความเร็วในการไหลสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดได้ (ความเร็วในการไหลของน้ำ ≥0.6 m/s.) และก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำพบว่า ท่อระบายทั้ง 3 ขนาดไม่สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก็ให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงให้ระบบท่อระบายในสภาพการณ์ดังที่ได้กล่าวมามีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากยิ่งขึ้น ทางผู้วิจัยจึงได้มีศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยผลการศึกษาที่ได้จะแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1.1 อิทธิพลของความยาวท่อเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

เนื่องจากระยะทางของท่อระบายน้ำนั้นมีผลต่อการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อและยังเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูลได้ ซึ่งต่อไปนี้จะเป็นผลการศึกษาอิทธิพลของระยะทางหรือความยาวของท่อระบายที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ โดยอุปกรณ์ได้รับการติดตั้งให้มีความยาวท่อระบายจากเดิมคือ 4 เมตร ไปเป็น 8, 12, และ 16 เมตร ตามลำดับ ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ติดตั้งโดยใช้ท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน และใช้ปริมาณน้ำในการล้าง 6, 5, 4, 3 และ 2 ลิตร ทดสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 3 และ ภาพประกอบที่ 32

ตารางที่ 3 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ขนาดท่อระบาย (นิ้ว)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที)					
		8 m.	S.D.	12 m.	S.D.	16 m.	S.D.
2	2	0.47	0.023	0.46	0.007	0.43	0.018
	3	0.55	0.032	0.55	0.037	0.53	0.010
	4	0.61*	0.015	0.63*	0.033	0.62*	0.005
	5	0.68*	0.008	0.73*	0.014	0.69*	0.004
	6	0.77*	0.015	0.77*	0.007	0.72*	0.021
3	2	0.46*	0.013	0.45*	0.008	0.42*	0.006
	3	0.55*	0.006	0.55*	0.009	0.50*	0.006
	4	0.64*	0.015	0.62*	0.009	0.56*	0.010
	5	0.69*	0.023	0.68*	0.021	0.62*	0.023
	6	0.77*	0.029	0.76*	0.020	0.70*	0.015

* The mean difference of drain distance is significant at the .05 level.

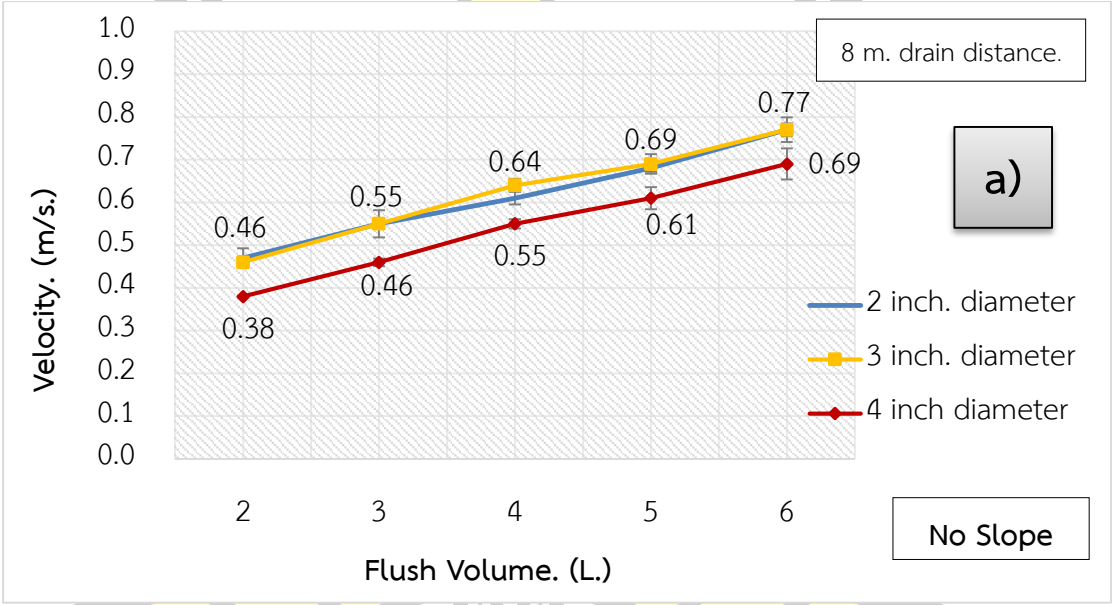
หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 3 (ต่อ) แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ขนาดท่อระบาย (นิ้ว)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที)					
		8 m.	S.D.	12 m.	S.D.	16 m.	S.D.
4	2	0.38*	0.002	0.40*	0.008	0.33*	0.003
	3	0.46*	0.009	0.42*	0.007	0.38*	0.005
	4	0.55*	0.011	0.47*	0.011	0.44*	0.007
	5	0.61*	0.026	0.61*	0.015	0.49*	0.008
	6	0.69*	0.036	0.68*	0.022	0.63*	0.018

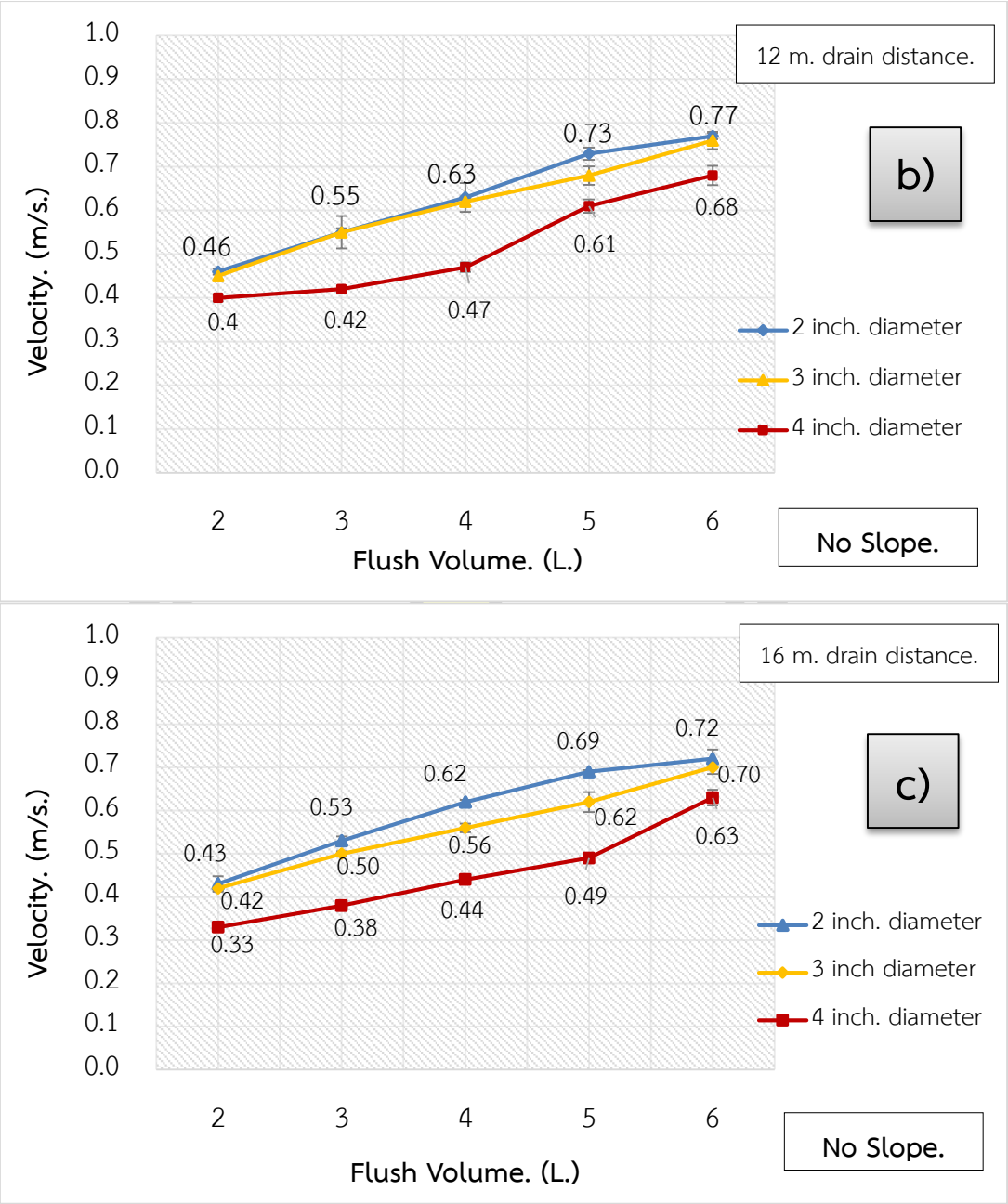
* The mean difference of drain distance is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความยาวท่อต่างๆในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

a) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 8 เมตร

b) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 12 เมตร

c) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 16 เมตร

ภาพประกอบที่ 32 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความยาวท่อต่างๆในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 3 และภาพประกอบที่ 32 การติดตั้งท่อระบายที่มีความยาวท่อเพิ่มขึ้น ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันพบว่า การเพิ่มความยาวของท่อระบายมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างลงได้ โดยจะเห็นได้ว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว เมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้นเป็น 8, 12 และ 16 เมตร จะมีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเท่ากับ 0.61, 0.63 และ 0.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งความเร็วในการไหลที่พบนั้นสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดได้ โดยจะใช้น้ำเพียง 4 ลิตร และพบว่าเมื่อความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วนั้นแตกต่างกันเพียงร้อยละ 3.28 และ 1.64 ตามลำดับ และเมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 2 นิ้วที่ความยาวท่อ 4, 8, 12 และ 16 เมตร ที่ปริมาณน้ำ 4 ลิตร มีค่า F = 5.856 และ Sig. = 0.020 ซึ่งหมายความว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทางเดียวกันจะเห็นได้ว่าที่ท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จะมีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดได้เช่นกันและจะใช้น้ำในการล้างเพียง 4 ลิตร เมื่อความยาวท่อระบายเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 12 เมตร โดยจะมีความเร็วในการไหลของน้ำอยู่ที่ 0.64 และ 0.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 3 นิ้วที่ความยาวท่อ 4, 8, 12 และ 16 เมตร ที่ปริมาณน้ำ 4 ลิตร มีค่า F = 135.111 และ Sig. = 0.000 ซึ่งหมายความว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งการออกแบบท่อระบายที่มีความยาวเพียง 8 เมตร ก็เพียงพอต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ ส่วนท่อระบายขนาด 4 นิ้วซึ่งเป็นท่อระบายที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะต้องใช้ปริมาณน้ำในการล้างมากถึง 5 ลิตร ความเร็วในการไหลของน้ำจึงจะสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดได้ ด้วยเหตุนี้ท่อขนาด 4 นิ้วจึงไม่สามารถออกแบบให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้

ดังนั้นสรุปได้ว่าการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน ท่อระบายที่มีขนาดเล็กลงจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากกว่าท่อระบายที่มีขนาดใหญ่กว่าและการที่เพิ่มระยะความยาวท่อจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ ฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายและความยาวท่อจึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเมื่อติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ดังกล่าว ซึ่งจากผลการศึกษาในสภาพการณ์นี้สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ดังนี้

1.) ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันต้องใช้ท่อระบายขนาด 2 และ 3 นิ้ว โดยติดตั้งที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ที่ความยาวท่อ 8 เมตร และใช้ปริมาณน้ำในการล้างที่น้อยที่สุด 4 ลิตร

และเพื่อปรับปรุงให้ระบบท่อระบายที่ไม่สามารถออกกแบบให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำ ให้สามารถกลับมาเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นมาได้ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยในเรื่องของความสูงใน

แนวดิ่งเพิ่มเติม เพื่อหาแนวทางในการออกแบบให้ระบบท่อระบายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.1.1.2 อิทธิพลของความสูงในแนวดิ่งเมื่อติดตั้งท่อในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

เนื่องจากความสูงในแนวดิ่ง (Vertical drop heights) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบท่อระบาย ซึ่งการเพิ่มความสูงในแนวดิ่งนั้นเป็นการเพิ่มความปั่นป่วนในทิศทางการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจากแนวดิ่งไปยังแนวราบ เพื่อให้มีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาได้รับการติดตั้งให้มีความยาวท่อระบายจากเดิมคือ 4, 8, 12, และ 16 เมตร ตามลำดับ ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 500 และ 800 มิลลิเมตร ติดตั้งโดยใช้ท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน และใช้ปริมาณน้ำในการล้าง 6, 5, 4, 3 และ 2 ลิตร ทดสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4 และ ภาพประกอบที่ 33

ตารางที่ 4 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่ความสูงในแนวดิ่งและความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ขนาดท่อ (นิ้ว)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (ความสูงในแนวดิ่ง 500 มิลลิเมตร)							
		4m.	S.D.	8m.	S.D.	12m.	S.D.	16m.	S.D.
2	2	0.48*	0.004	0.52*	0.004	0.47*	0.013	0.48*	0.029
	3	0.52	0.006	0.59*	0.001	0.58*	0.010	0.55*	0.020
	4	0.57	0.045	0.65*	0.068	0.65*	0.044	0.64*	0.063
	5	0.61	0.038	0.77*	0.022	0.78*	0.013	0.70*	0.011
	6	0.67*	0.007	0.85*	0.008	0.83*	0.020	0.82*	0.041
		(ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร)							
	2	0.48*	0.005	0.74*	0.015	0.63*	0.069	0.55*	0.013
	3	0.53	0.024	0.77*	0.083	0.73*	0.034	0.70*	0.006
	4	0.57	0.034	0.83*	0.108	0.76*	0.028	0.79*	0.018
	5	0.62	0.017	0.89*	0.059	0.87*	0.034	0.83*	0.046
	6	0.67*	0.012	1.07*	0.004	1.05*	0.018	0.97*	0.013

***** The mean difference of Vertical drop heights is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

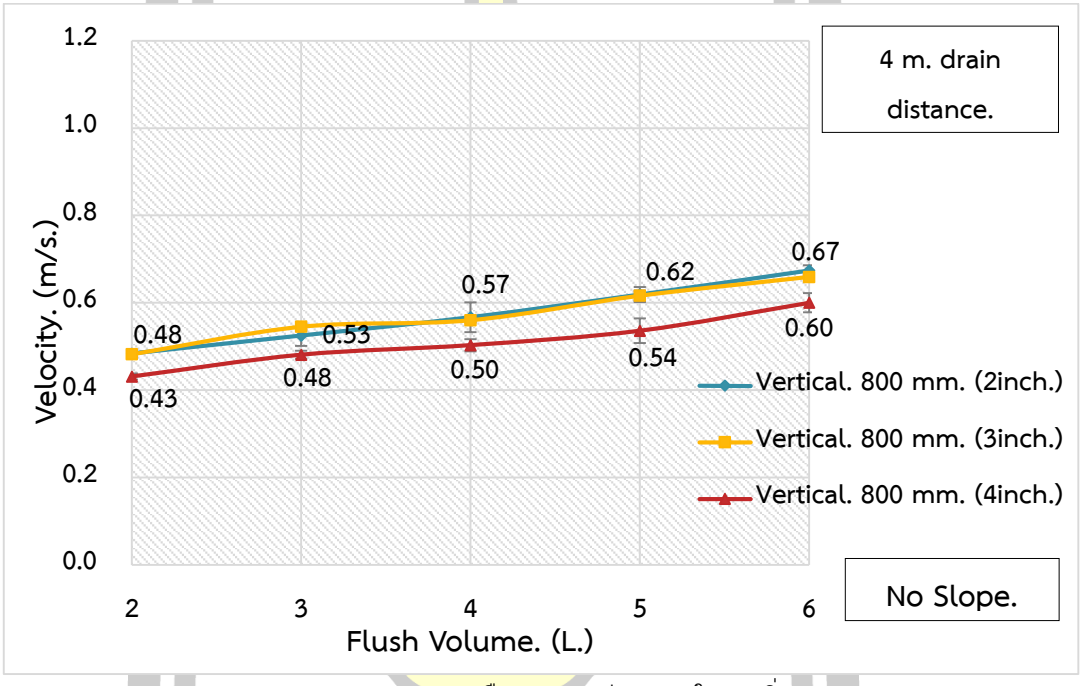
ตารางที่ 4 (ต่อ) แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่ความสูงในแนวดิ่งและความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ขนาดท่อ (นิ้ว)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (ความสูงในแนวดิ่ง 500 มิลลิเมตร)							
		4m.	S.D.	8m.	S.D.	12m.	S.D.	16m.	S.D.
3	2	0.47*	0.008	0.49*	0.004	0.46*	0.005	0.45*	0.01
	3	0.54*	0.007	0.59*	0.007	0.57*	0.016	0.52*	0.005
	4	0.57*	0.008	0.68*	0.011	0.65*	0.006	0.62*	0.015
	5	0.61*	0.013	0.75*	0.013	0.73*	0.015	0.71*	0.022
	6	0.66*	0.018	0.80*	0.02	0.81*	0.01	0.76*	0.015
		(ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร)							
	2	0.48*	0.007	0.51*	0.01	0.48*	0.007	0.46*	0.005
	3	0.55*	0.007	0.61*	0.021	0.59*	0.02	0.54*	0.011
	4	0.58*	0.005	0.72*	0.024	0.69*	0.003	0.63*	0.01
	5	0.64*	0.012	0.77*	0.018	0.78*	0.017	0.75*	0.014
	6	0.66*	0.011	0.84*	0.045	0.84*	0.015	0.78*	0.014
ขนาดท่อ (นิ้ว)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (ความสูงในแนวดิ่ง 500 มิลลิเมตร)							
		4m.	S.D.	8m.	S.D.	12m.	S.D.	16m.	S.D.
4	2	0.39*	0.002	0.43*	0.003	0.42*	0.003	0.40*	0.006
	3	0.45*	0.008	0.52*	0.005	0.49*	0.006	0.45*	0.006
	4	0.49*	0.001	0.59*	0.013	0.55*	0.01	0.49*	0.034
	5	0.50*	0.01	0.65*	0.029	0.63	0.018	0.54*	0.015
	6	0.54*	0.029	0.74*	0.013	0.69	0.012	0.65*	0.006
		(ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร)							
	2	0.43*	0.007	0.45*	0.014	0.43*	0.007	0.40*	0.008
	3	0.48*	0.009	0.54*	0.016	0.50*	0.004	0.46*	0.008
	4	0.50*	0.014	0.62*	0.015	0.59*	0.02	0.50*	0.004
	5	0.54*	0.028	0.69*	0.013	0.65	0.014	0.56*	0.017
	6	0.60*	0.022	0.76*	0.024	0.72	0.012	0.67*	0.008

***** The mean difference Vertical drop heights is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

จากการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันในการออกแบบระบบท่อระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำ พบว่าเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ที่ความยาวท่อ 4 เมตร ไม่สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดการประหยัดน้ำได้ ดังนั้นต่อไปนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ดังกล่าว โดยกำหนดให้ท่อระบายมีความสูงในแนวดิ่ง 500 และ 800 มิลลิเมตร ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะแสดงดังต่อไปนี้



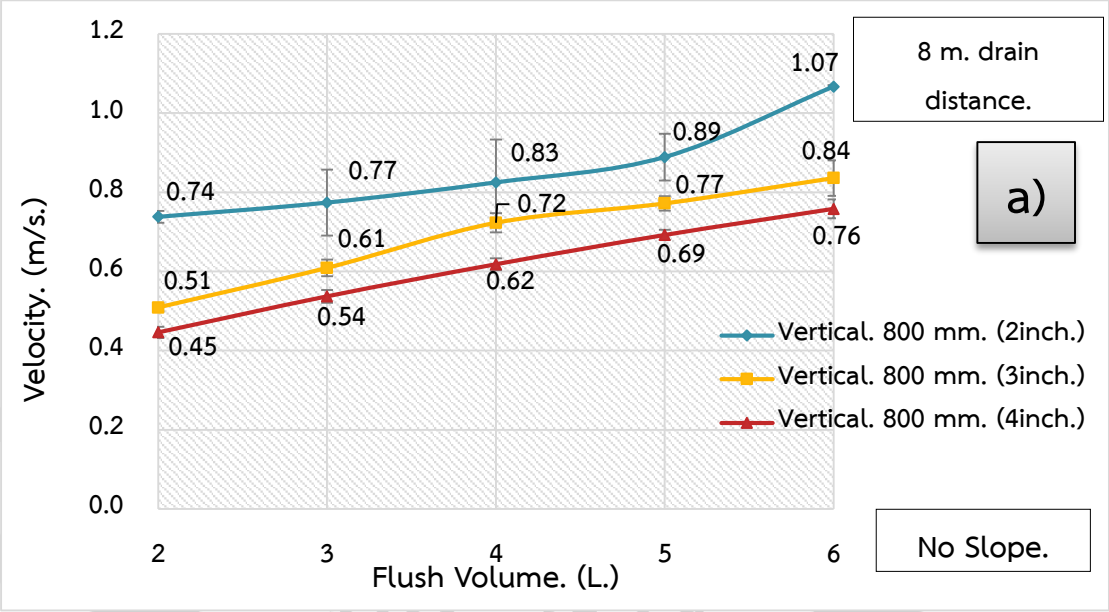
หมายเหตุ : Vertical. = vertical drop height คือ ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง
2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายที่มีความยาว 4 เมตร ทั้ง 3 ขนาด ที่ความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 4 และภาพประกอบที่ 33 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งจากเดิม 150 มิลลิเมตร มาเป็นความสูงในแนวดิ่ง 500 และ 800 มิลลิเมตร มีผลทำให้การใช้น้ำนั้นน้อยลงกว่าเดิมในขนาดท่อ 2 และ 3 นิ้ว โดยจะใช้น้ำน้อยลงจาก 6 ลิตรมาเป็น 5 ลิตร ซึ่งต่างจากเดิมเพียง 1 ลิตรเท่านั้น โดยความเร็วในท่อขนาด 2 นิ้วที่ตรวจพบเท่ากับ 0.61 และ 0.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับความสูงในแนวดิ่ง ซึ่งมีความเร็วต่างจากเดิมร้อยละ 4.92 และ 3.23 ตามลำดับ และความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 3 นิ้วที่ตรวจพบเท่ากับ 0.61 และ 0.64 เมตร

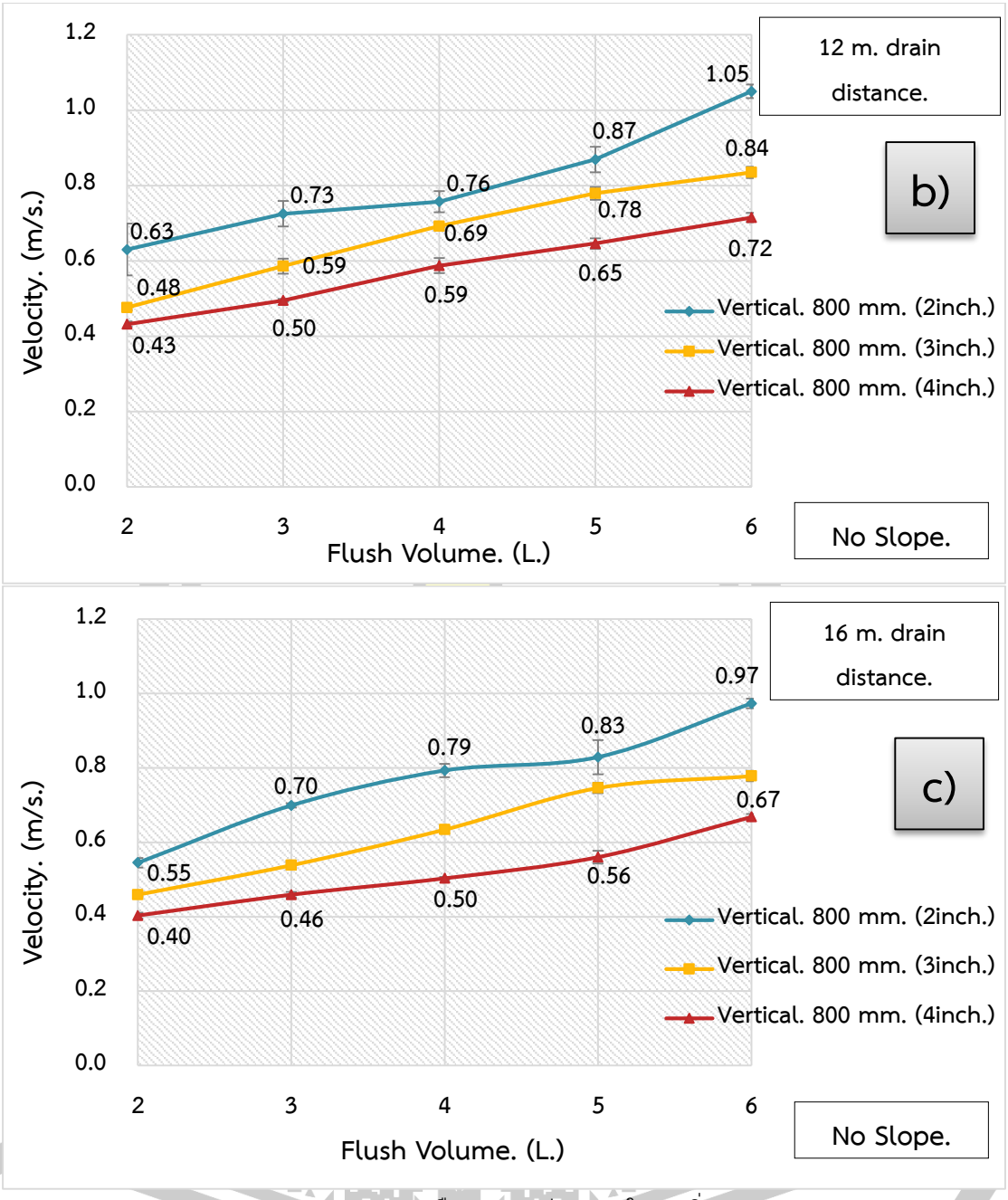
ต่อวินาที ตามลำดับความสูงในแนวดิ่ง ซึ่งต่างจากเดิมร้อยละ 4.92 และ 0.00 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำที่ความสูงในแนวดิ่ง 3 ระดับ พบว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายในปริมาณน้ำ 5 ลิตร ของท่อขนาด 3 นิ้ว (F = 24.111 และ Sig. = 0.001) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนท่อระบายขนาด 4 นิ้ว ก็ยังคงใช้น้ำในปริมาณ 6 ลิตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งทำให้เกิดการชะลอตัวของอัตราการไหลและการเพิ่มขึ้นของความปั่นป่วนในทิศทางการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจากแนวดิ่งไปแนวนอนในขณะที่ของเสียนั้นเข้าไปในท่อระบายทำให้ความเร็วนั้นเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gauley et al. (2005) ดังนั้นสรุปได้ว่า การที่เพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งในสภาพการดังกล่าวนี้ไม่ได้มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างยังเป็นปริมาณที่มาก นั้นก็คือการติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันโดยใช้ท่อระบายที่มีความยาว 4 เมตร จะไม่สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้

ฉะนั้นจากตารางประกอบ 4 ทางผู้วิจัยได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในการไหลของน้ำเมื่อกำหนดให้มีความสูงในแนวดิ่งและความยาวท่อที่ยาวขึ้น ผลที่ได้จะแสดงดังต่อไปนี้



หมายเหตุ : Vertical. = vertical drop height คือ ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง
2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำของท่อระบายทั้ง 3 ขนาดที่ความยาว 8, 12 และ 16 เมตร ที่ความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน



หมายเหตุ : Vertical. = vertical drop height คือ ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง

2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

a) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 8 เมตร

b) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 12 เมตร

c) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 16 เมตร

ภาพประกอบที่ 34 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำของท่อระบายทั้ง 3 ขนาดที่ความยาว 8, 12 และ 16 เมตร ที่ความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 4 และภาพประกอบที่ 34 เนื่องจากการศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน โดยติดตั้งที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นดังผลการศึกษาในภาพประกอบ 34 ที่พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้น้อยที่สุด ที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำคือ 4 ลิตร สำหรับท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว และปริมาณ 5 ลิตร สำหรับท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงในแนวดิ่งเป็น 500 มิลลิเมตร จะพบว่าปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อระบายในสภาพการณ์ดังกล่าวก็ยังเป็นเช่นเดิม แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในแนวดิ่งเป็น 800 มิลลิเมตร ดังผลการศึกษาในภาพประกอบ 34 จะพบว่าที่ปริมาณน้ำ 4 ลิตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว เมื่อความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 150 มิลลิเมตรเป็น 800 มิลลิเมตร ที่ความยาวท่อเพิ่มขึ้นเป็น 8, 12 และ 16 เมตรจะมีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเท่ากับ 0.83, 0.76 และ 0.79 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งความเร็วที่พบต่างจากเดิมร้อยละ 36.07, 20.63 และ 27.42 ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อที่ความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น ที่ความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตร พบว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายในปริมาณน้ำ 4 ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเช่นเดียวกันที่ปริมาณน้ำ 4 ลิตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3 นิ้ว เมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้นเป็น 8, 12 และ 16 เมตร จะมีความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเท่ากับ 0.72, 0.69 และ 0.63 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งความเร็วที่พบต่างจากเดิมร้อยละ 12.50, 9.52 และ 12.50 ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อที่ความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น ที่ความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตร พบว่าความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายในปริมาณน้ำ 4 ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วนั้นพบว่าใช้น้ำน้อยลงกว่าเดิมจาก 6 ลิตร เป็น 5 ลิตร ซึ่งไม่สามารถออกแบบให้ระบบท่อระบายมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้

และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวในตารางที่ 4 และภาพประกอบที่ 34 ยังพบว่าการติดตั้งระบบท่อระบายที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร เมื่อมีการเพิ่มระยะทางหรือความยาวของท่อระบายมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดและสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างลงได้ โดยจะเห็นได้จากท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว เมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 12 เมตร จะใช้ปริมาณน้ำในการล้างที่น้อยที่สุดเพียง 2 ลิตร ที่ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเท่ากับ 0.74 และ 0.63 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 2 นิ้วที่ความยาวท่อ 8 และ 12 เมตร ที่ปริมาณน้ำ 2 ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

และในทางเดียวกันจะเห็นได้ว่าที่ท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 4 นิ้ว จะใช้ปริมาณน้ำในการล้างต่ำที่สุดเพียง 3 และ 4 ลิตร ตามลำดับ เมื่อความยาวท่อระบายเพิ่มขึ้นเป็น 8 เมตร โดยจะมีความเร็วในการไหลของน้ำอยู่ที่ 0.61 และ 0.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งท่อทั้งสองขนาดจะใช้น้ำน้อยลงกว่าเดิม 1 ลิตร เมื่อเทียบกับการติดตั้งในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และจากผลการศึกษายังพบว่าการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งสามารถปรับปรุงให้ท่อระบายขนาด 2 และ 3 นิ้ว ที่ความยาวท่อ 16 เมตร ในสภาพการณ์เดิมที่ไม่มีการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งที่มีการใช้ปริมาณน้ำต่ำสุดเพียง 4 ลิตร และ 5 ลิตร ตามลำดับ ให้สามารถใช้ปริมาณน้ำที่น้อยลง 3 และ 4 ลิตร ตามลำดับเมื่อเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งเป็น 800 มิลลิเมตร ส่วนท่อระบายขนาด 4 นิ้วจะเห็นว่าจากสภาพการณ์เดิมที่ไม่มีการเพิ่มความสูงในแนวดิ่งที่ความยาวท่อ 8 เมตรจะใช้ปริมาณน้ำต่ำสุด 5 ลิตร แต่เมื่อเพิ่มความสูงในแนวดิ่งพบว่าสามารถใช้น้ำในปริมาณที่น้อยลงเพียง 4 ลิตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งก่อให้เกิดการชะลอตัวของอัตราการไหลและมีการเพิ่มขึ้นของความปั่นป่วนภายในท่อที่มีทิศทางการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจากท่อระบายในแนวดิ่งไปแนวราบทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gauley et al. (2005) ที่พบว่าการเพิ่มหรือติดตั้งท่อในแนวดิ่งไปยังท่อระบายทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายจะสามารถถ่ายเทได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ติดตั้ง

ดังนั้นจากผลกรศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันท่อระบายที่มีขนาดเล็กลงจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากกว่าท่อระบายที่มีขนาดใหญ่กว่า และการที่เพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งและความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นนั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ ฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบาย ความยาวท่อและความสูงในแนวดิ่งจึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเมื่อติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน ซึ่งจากผลการศึกษาในสภาพการณ์ดังที่ได้กล่าวมานี้สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ดังต่อไปนี้

1.) ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันเมื่อพื้นที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความสูงในแนวดิ่งควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว ที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อ 8 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 4 ลิตร

2.) ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันเมื่อพื้นที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของความสูงในแนวดิ่งควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ที่ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร และความยาวท่อ 8 ถึง 12 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 2 ลิตร และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 4 นิ้ว ควรติดตั้งที่ความยาวท่อ 8 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 3 เละ 4 ลิตร ตามลำดับ

3.) ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันเมื่อพื้นที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องความสูงในแนวดิ่งและต้องการการถ่ายเทได้ในระยะความยาวท่อที่ไกลควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว ที่ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร และความยาวท่อ 16 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 3 เละ 4 ลิตร ตามลำดับ

4.1.2 อิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชัน

เนื่องจากความชันของท่อระบายนั้นมีผลต่อการถ่ายเทของเสียในเส้นท่อและยังเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างของเสียหรือสิ่งปฏิกูล ซึ่งจากสมมติฐานพบว่าเมื่อความชันของท่อระบายเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบในเรื่องของประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำนั้นจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ท่อระบายมีความชันเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้สามารถถ่ายเทของเสียไปได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นและมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ดีกว่าความชันที่ต่ำกว่า โดยต่อไปนี้จะเป็นผลการศึกษาความชันของท่อระบายที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ โดยมีการติดตั้งที่ระดับความชันเพิ่มขึ้นเป็น 1:200, 1:100 และ 1:50 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1.2.1 อิทธิพลของความชันเมื่อติดตั้งท่อระบายให้มีระดับความชันแตกต่างกัน

การศึกษาอิทธิพลของความชันเมื่อติดตั้งท่อระบายให้มีระดับความชันที่แตกต่างกัน โดยได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ที่ความชัน 1:200, 1:100 และ 1:50 ตามลำดับ ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ที่ความยาวท่อระบาย 4 เมตร และติดตั้งโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว โดยใช้ปริมาณน้ำในการล้าง 6, 5, 4, 3 และ 2 ลิตร ทดสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย ได้ โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 5 และภาพประกอบที่ 35

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

ตารางที่ 5 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ที่มีความยาวท่อ 4 เมตรโดยติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันที่แตกต่างกัน

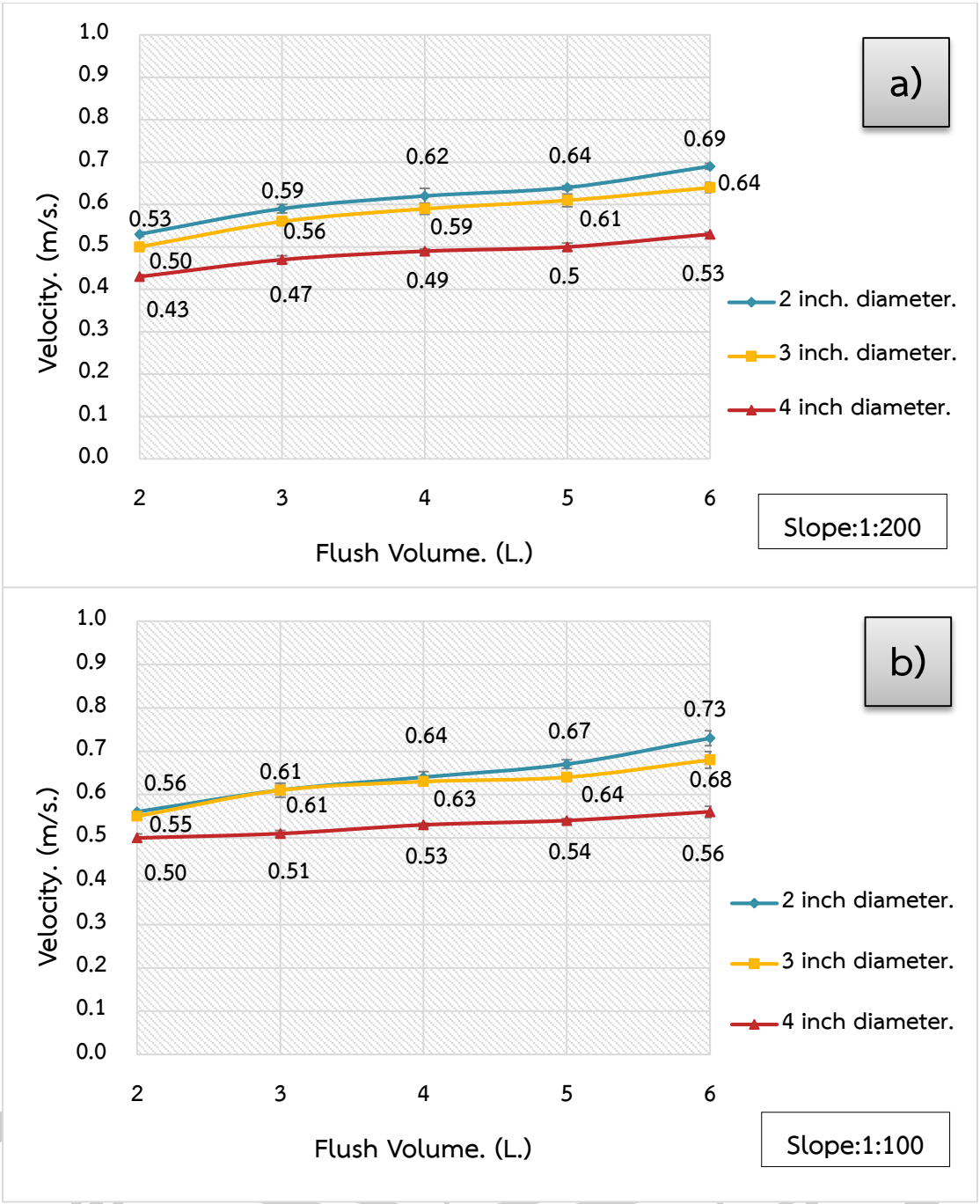
ความชัน	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว)									
	2L.	S.D.	3L.	S.D.	4L.	S.D.	5L	S.D.	6L.	S.D.
1 : 200	0.53*	0.005	0.59*	0.010	0.62*	0.018	0.64*	0.005	0.69*	0.007
1 : 100	0.56*	0.003	0.61*	0.016	0.64*	0.013	0.67*	0.010	0.73*	0.017
1 : 50	0.60*	0.014	0.64*	0.012	0.67*	0.019	0.70*	0.030	0.75*	0.005
ความชัน	(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3 นิ้ว)									
1 : 200	2L.	S.D.	3L.	S.D.	4L.	S.D.	5L	S.D.	6L.	S.D.
	0.50*	0.003	0.56*	0.007	0.59*	0.013	0.61*	0.015	0.64*	0.012
1 : 100	0.55*	0.007	0.61*	0.011	0.63*	0.002	0.64*	0.007	0.68*	0.019
1 : 50	0.59*	0.007	0.63*	0.004	0.65*	0.012	0.67*	0.019	0.71*	0.018
ความชัน	(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4 นิ้ว)									
	2L.	S.D.	3L.	S.D.	4L.	S.D.	5L.	S.D.	6L.	S.D.
1 : 200	0.43*	0.005	0.47*	0.009	0.49*	0.005	0.50*	0.009	0.53*	0.005
1 : 100	0.50*	0.009	0.51*	0.007	0.53*	0.004	0.54*	0.004	0.56*	0.013
1 : 50	0.49*	0.004	0.53*	0.004	0.55*	0.004	0.56*	0.003	0.59*	0.018

* The mean difference of drain slopes is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

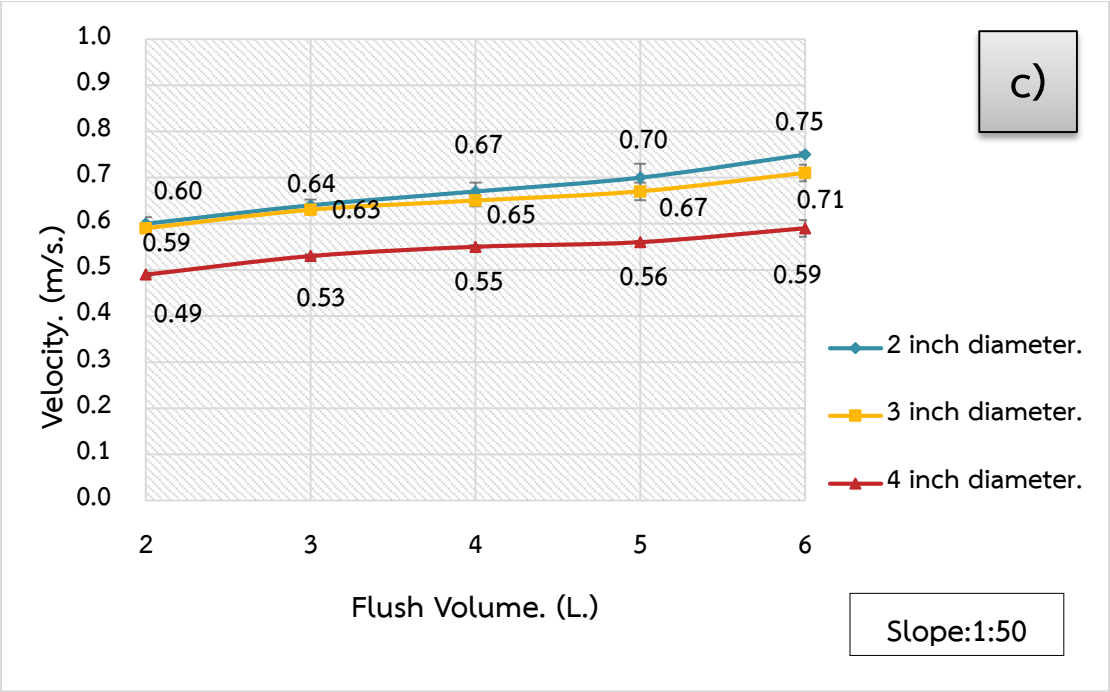
L คือ หน่วยของปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างมีหน่วยเป็นลิตร

เนื่องจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเมื่อมีการติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นที่พบว่า เมื่อต้องการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันโดยใช้ท่อที่มีความยาว 4 เมตร จะไม่สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ ฉะนั้นจากผลการศึกษาจากความสัมพันธ์ในตารางที่ 5 และภาพประกอบที่ 35 ต่อไปนี้ จะเป็นการปรับปรุงการออกแบบระบบท่อระบายที่มีระยะทางที่สั้นเพื่อให้สามารถมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ดียิ่งขึ้น



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ที่ความยาวท่อ 4 เมตรและมีความชันที่แตกต่างกัน



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

a) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 4 เมตร ที่ความชัน 1:200

b) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 4 เมตร ที่ความชัน 1:100

c) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 4 เมตร ที่ความชัน 1:50

ภาพประกอบที่ 35 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ที่ความยาวท่อ 4 เมตรและมีความชันที่แตกต่างกัน

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 5 และภาพประกอบที่ 35 พบว่าท่อระบายทั้ง 3 ขนาด เมื่อมีการติดตั้งให้มีระดับความชันที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 และ 3 นิ้ว ที่มีการติดตั้งที่ระดับความชัน 1:50 พบว่า ความเร็วในการไหลของน้ำสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดซึ่งจะใช้ปริมาณน้ำในการล้างที่น้อยที่สุดเพียง 2 และ 3 ลิตร ที่ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อเท่ากับ 0.60 และ 0.63 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 2 และ 3 นิ้ว ที่ปริมาณน้ำ 2 และ 3 ลิตร ($F = 133.931$ และ $Sig. = 0.000$ และ $F = 77.889$ และ $Sig. = 0.000$ ตามลำดับ) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อมีการลดระดับความชันลงที่ 1: 100 และ 1: 200 พบว่าที่ความชันดังกล่าวท่อระบายขนาด 2 นิ้ว จะสามารถใช้ปริมาณน้ำในการล้างน้อยที่สุดเพียง 3 และ 4 ลิตร โดยจะมีความเร็วในการไหลของน้ำเท่ากับ 0.61 และ 0.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

(ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 2 นิ้ว ที่ปริมาณน้ำ 3 และ 4 ลิตร (F = 57.954 และ Sig. = 0.000, F = 21.041 และ Sig. = 0.000 ตามลำดับ) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และท่อระบายขนาด 3 นิ้ว จะสามารถใช้ปริมาณน้ำในการล้างน้อยที่สุดเพียง 3 ลิตร ที่ความชันลดลงถึง 1: 100 เท่านั้น โดยจะมีความเร็วในการไหลของน้ำเท่ากับ 0.61 เมตรต่อวินาที เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำในท่อขนาด 3 นิ้ว ที่ปริมาณน้ำ 3 ลิตร (F = 77.889 และ Sig. = 0.000) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วนั้นพบว่า ไม่สามารถออกแบบระบบท่อระบายให้มีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ในระยะทางและความชันดังกล่าว

ดังนั้นสรุปได้ว่าการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชัน ท่อระบายที่มีขนาดเล็กลงจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำมากกว่าท่อระบายที่มีขนาดใหญ่กว่าและการที่เพิ่มระดับความชันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโดยทั่วไปแล้วความชันของท่อระบายในแนวนอนจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของน้ำภายในท่อ ถ้าท่อระบายมีความลาดเอียงหรือความชันที่มากขึ้นจะก่อให้เกิดความเร็วของการระบายน้ำที่มากขึ้นด้วย ทำให้เกิดการโกรกของน้ำ (Scouring Action) หรือการชำระล้างที่ดีในการพาของเสียหรือสิ่งปฏิกูลต่างๆภายในท่อไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gauley et al. (2005) ที่พบว่าเมื่อความชันของท่อระบายสูงขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายมีประสิทธิภาพมากขึ้น และจะเห็นได้ว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า ณ ความชันที่สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียในท่อระบายสูงขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายและความชันจึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ ซึ่งจากผลการศึกษาในสภาพการณ์ดังกล่าวสามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ดังนี้

1.) ในสภาพการณ์ที่พื้นที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของความชันและต้องการติดตั้งท่อในระยะทางที่สั้น ควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว ที่ความชัน 1:50 ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อไม่เกิน 4 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 2 และ 3 ลิตร ตามลำดับ

2.) ในสภาพการณ์ที่พื้นที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความชันและต้องการติดตั้งท่อในระยะทางที่สั้น ควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ที่ความชัน 1: 100 และ 1:200 ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อไม่เกิน 4 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 3 และ 4 ลิตร ตามลำดับ และท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ที่ความชัน 1: 100 โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 3 ลิตร

4.1.2.2 อิทธิพลของความยาวท่อเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน

การศึกษาอิทธิพลของระยะทางหรือความยาวของท่อระบายที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบาย โดยอุปกรณ์ได้รับการติดตั้งให้มีความยาวท่อระบายจากเดิมคือ 4 เมตร ไปเป็น 8, 12, และ 16 เมตร ตามลำดับ ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ติดตั้งโดยใช้ท่อขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว และใช้ปริมาณน้ำในการล้าง 6, 5, 4, 3 และ 2 ลิตร ทดสอบความเร็วในการไหลของน้ำในท่อโดยการวัดระยะทางต่อเวลา (วินาที) ในการไหลของน้ำจากต้นทางไปสู่ปลายท่อระบาย โดยต้องมีความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อระบายไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตร/วินาที ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 6 ถึง 8 และ ภาพประกอบที่ 36

ตารางที่ 6 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 2 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ความชัน	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 2 นิ้ว)					
		8 m.	S.D.	12 m.	S.D.	16 m.	S.D.
1:200	2	0.59*	0.009	0.55*	0.007	0.47*	0.010
	3	0.65*	0.013	0.68*	0.015	0.60*	0.002
	4	0.70*	0.014	0.73*	0.005	0.67*	0.006
	5	0.77*	0.026	0.77*	0.011	0.74*	0.004
	6	0.81*	0.003	0.84*	0.004	0.79*	0.006
1:100	2	0.62*	0.017	0.60*	0.006	0.49*	0.007
	3	0.72*	0.015	0.71*	0.005	0.69*	0.010
	4	0.77*	0.019	0.78*	0.013	0.73*	0.012
	5	0.82*	0.005	0.88*	0.042	0.82*	0.015
	6	0.86*	0.029	0.95*	0.013	0.88*	0.021
1:50	2	0.67*	0.012	0.68*	0.007	0.63*	0.009
	3	0.79*	0.002	0.79*	0.006	0.73*	0.012
	4	0.84*	0.022	0.87*	0.021	0.78*	0.004
	5	0.90*	0.005	0.95*	0.033	0.85*	0.016
	6	0.93*	0.008	1.02*	0.033	0.94*	0.015

* The mean difference of drain distance is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ *7* แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 3 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่างกัน

ความชัน	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 3 นิ้ว)					
		8 m.	S.D.	12 m.	S.D.	16 m.	S.D.
1:200	2	0.52*	0.008	0.48*	0.011	0.45*	0.007
	3	0.64*	0.009	0.59*	0.015	0.53*	0.016
	4	0.73*	0.008	0.68*	0.009	0.64*	0.01
	5	0.76*	0.036	0.77*	0.013	0.71*	0.023
	6	0.83*	0.005	0.86*	0.008	0.78*	0.017
1: 100	2	0.58*	0.013	0.56*	0.008	0.53*	0.01
	3	0.69*	0.012	0.68*	0.007	0.63*	0.007
	4	0.77*	0.007	0.77*	0.015	0.74*	0.018
	5	0.82*	0.016	0.89*	0.02	0.86*	0.007
	6	0.87*	0.012	0.94*	0.03	0.92*	0.005
1: 50	2	0.66*	0.004	0.66*	0.01	0.65*	0.009
	3	0.77*	0.007	0.79*	0.011	0.79*	0.01
	4	0.83*	0.026	0.89*	0.012	0.89*	0.014
	5	0.88*	0.034	0.97*	0.021	1.00*	0.017
	6	0.93*	0.041	1.04*	0.008	1.06*	0.011

* The mean difference of drain distance is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 8 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว ที่ติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันและมีความยาวท่อระบายที่แตกต่าง

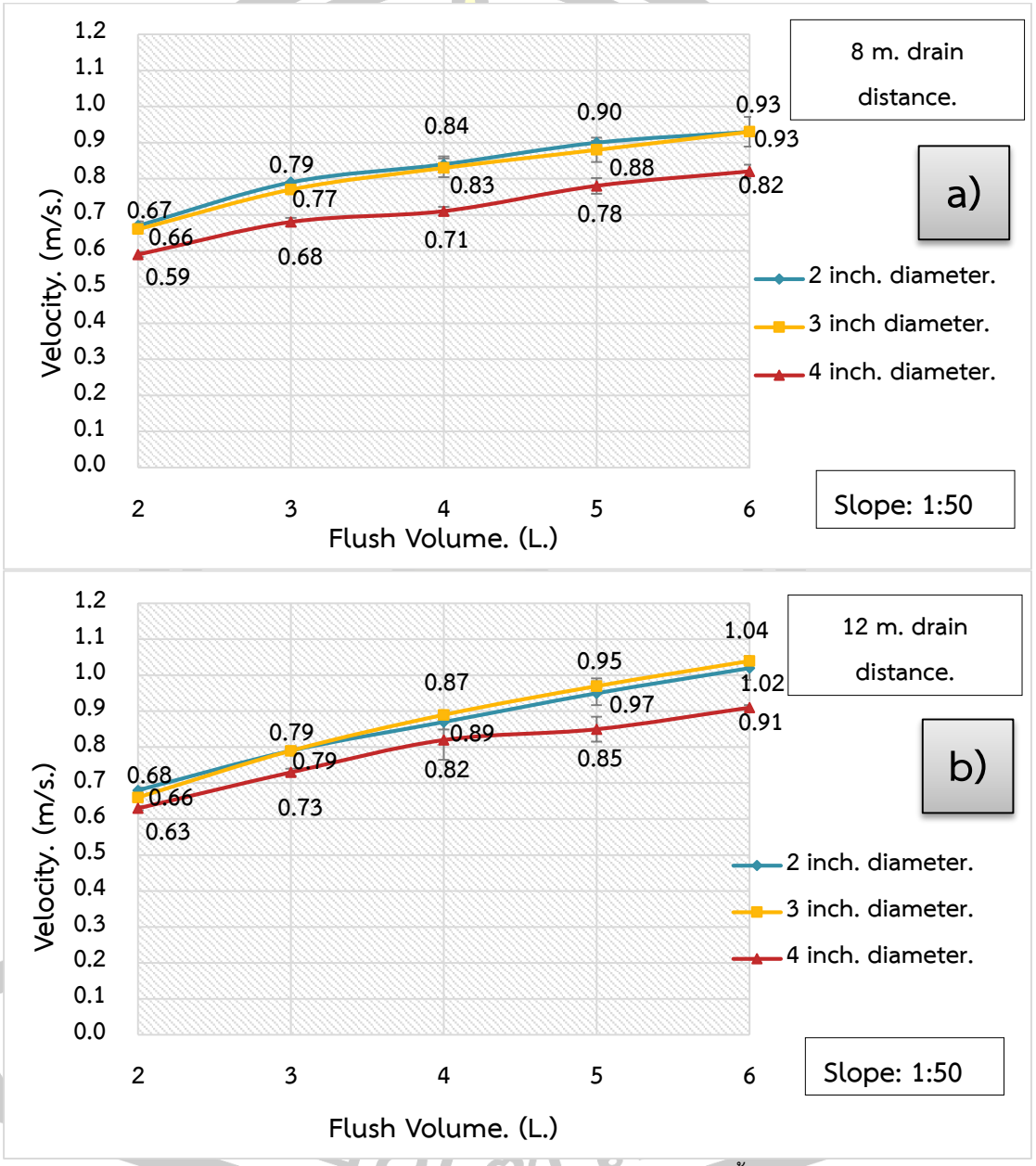
ความชัน	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินที) (เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 4 นิ้ว)					
		8 m.	S.D.	12 m.	S.D.	16 m.	S.D.
1:200	2	0.46*	0.005	0.45*	0.007	0.41*	0.005
	3	0.56*	0.009	0.51*	0.009	0.48*	0.008
	4	0.58*	0.025	0.60*	0.018	0.54*	0.005
	5	0.68*	0.028	0.67*	0.01	0.59*	0.011
	6	0.76*	0.007	0.73*	0.018	0.69*	0.005
1: 100	2	0.50*	0.007	0.50*	0.014	0.45*	0.005
	3	0.60*	0.006	0.59*	0.006	0.54*	0.006
	4	0.67*	0.005	0.69*	0.006	0.60*	0.011
	5	0.69*	0.026	0.78*	0.017	0.74*	0.009
	6	0.80*	0.062	0.82*	0.006	0.79*	0.026
1:50	2	0.59*	0.007	0.63*	0.006	0.59*	0.012
	3	0.68*	0.012	0.73*	0.01	0.70*	0.017
	4	0.71*	0.012	0.82*	0.055	0.77*	0.017
	5	0.78*	0.022	0.85*	0.035	0.82*	0.027
	6	0.82*	0.019	0.91*	0.007	0.91*	0.011

* The mean difference of drain distance is significant at the .05 level.

หมายเหตุ : S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, m. คือ หน่วยของระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร

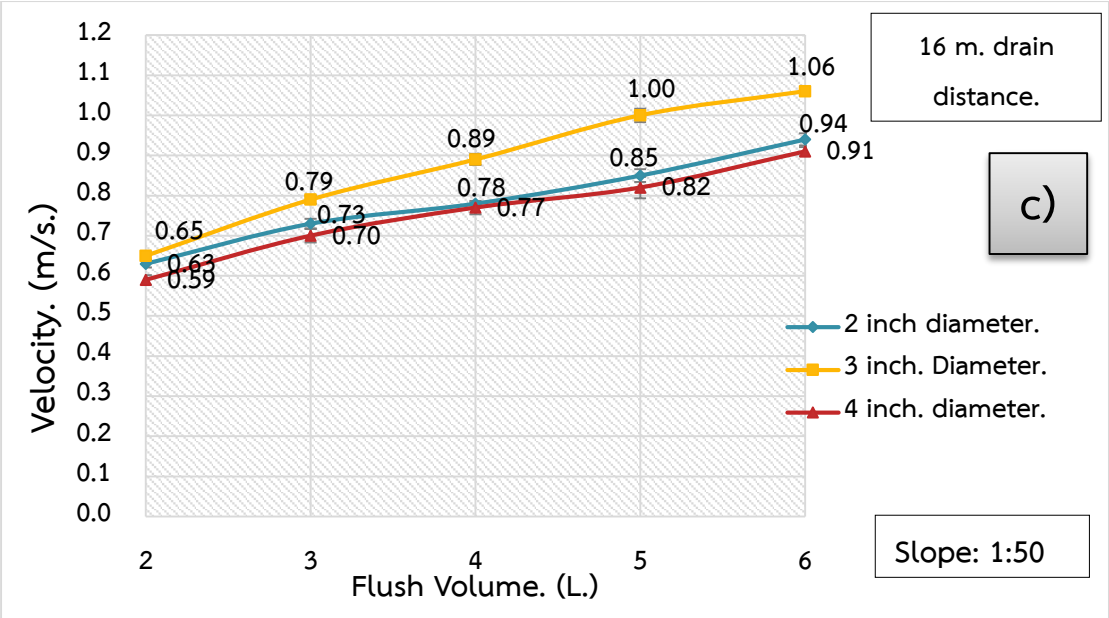
จากผลการศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันพบว่าเมื่อติดตั้งระบบท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายในระดับความชัน 1:200, 1:100 และ 1:50 ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว ความยาวท่อ 4, 8, 12 และ 16 เมตร และทุกปริมาณน้ำ 2, 3, 4, 5 และ 6 ลิตร มีค่าเฉลี่ยของความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากผลการศึกษาการติดตั้งท่อระบายที่มีความยาวท่อเพิ่มขึ้น ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นที่พบว่า การเพิ่มระยะทางหรือความยาวของท่อระบายมีผลทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างลงได้ ดังนั้นการศึกษาต่อไปนี้ จะเป็นการปรับปรุงการออกแบบระบบท่อระบายให้สามารถมีประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมากยิ่งขึ้นโดยการติดตั้งท่อระบายในสภาพการณ์ที่มี

ความชัน ซึ่งจากผลการศึกษาอิทธิพลของความชันที่ได้กล่าวมาในข้างต้นพบว่าความชันที่สูงที่สุดจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำได้ดีที่สุด ผลการศึกษาที่ได้นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

ภาพประกอบที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความยาวท่อต่างๆที่ความชัน 1: 50



หมายเหตุ : 2,3 and 4 inch. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบาย 2,3 และ 4 นิ้ว

a) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 8 เมตร ที่ความชัน 1:50

b) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 12 เมตร ที่ความชัน 1:50

c) การติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 16 เมตร ที่ความชัน 1:50

ภาพประกอบที่ 36 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลของน้ำในท่อกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้วที่ความยาวท่อต่างๆที่ความชัน 1: 50

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 6 ถึง 8 และภาพประกอบที่ 36 การศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อในสภาพการณ์ที่มีความชันที่สูงที่สุดพบว่า การติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ในทุกระยะทางหรือความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำในการล้างน้อยที่สุดเพียง 2 ลิตร ที่ความเร็วในการไหลของน้ำเท่ากับ 0.67, 0.68, 0.63 เมตรต่อวินาที และ 0.66, 0.66, 0.65 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำที่ความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตร ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว โดยมีระดับความชัน 1:50 ที่ปริมาณน้ำ 2 ลิตร (F = 22.010 และ Sig. = 0.000 และ F = 139.000 และ Sig. = 0.000 ตามลำดับ) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งความเร็วที่พบเมื่อมีการเพิ่มความชันในระดับดังกล่าวนี้จะมีความแตกต่างกับสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันเมื่อใช้ปริมาณน้ำเดียวกันร้อยละ 42.55, 47.83, 46.51 และ 43.48, 46.67, 54.76 ตามลำดับ ส่วนท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ก็สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ในทุกระยะทางหรือความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตรเช่นเดียวกันแต่จะใช้ปริมาณ

น้ำที่ใช้ในการล้างน้อยที่สุด 3 ลิตร ที่ความเร็วในการไหลของน้ำเท่ากับ 0.68, 0.73, 0.70 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของน้ำที่ความยาวท่อ 8, 12 และ 16 เมตร ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว โดยมีระดับความชัน 1:50 ที่ปริมาณน้ำ 3 ลิตร (F = 465.944 และ Sig. = 0.000) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีความเร็วแตกต่างจากการติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันเมื่อใช้ปริมาณน้ำเดียวกันร้อยละ 47.82, 73.8, 84.21 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าท่อระบายทั้ง 3 ขนาดที่มีการติดตั้งในระดับความชันดังกล่าวจะมีความเร็วในการไหลของน้ำสูงสุดเมื่อท่อระบายมีความยาว 12 เมตร และจะพบว่าเมื่อความยาวท่อที่เกิน 12 เมตร ความเร็วในการไหลของน้ำนั้นจะลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อระยะทางยาวขึ้นเกินกว่า 12 เมตร ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่ไหลไปในท่อนั้นจะลดลงเมื่อถึงระยะทางดังกล่าวจึงทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำนั้นช้าลง และในช่วงความยาวท่อแรกๆก่อนจะถึงระยะ 12 เมตรจะยังมีปริมาณน้ำหลงเหลืออยู่จึงทำให้มีความเร็วที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับความยาวท่อที่เกินกว่า 12 เมตร

ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าวถ้าต้องการออกแบบระบบท่อระบายให้มีขนาดท่อที่ยาวขึ้นปัจจัยที่จะช่วยเพิ่มความเร็วในการไหลของน้ำในท่อในขณะที่มีการใช้น้ำในปริมาณที่น้อยได้แก่ความชันของท่อระบาย แต่ในกรณีที่ความชันไม่สูงหากต้องการใช้ปริมาณน้ำที่น้อย จะต้องใช้ท่อที่สั้นหรือยาวไม่เกิน 12 เมตร ยกเว้นปริมาณน้ำ 2 ลิตรจะไม่สามารถออกแบบให้ความเร็วสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดได้ (ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อ ≥0.6 m/s.) และไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ในระดับความชันดังกล่าว ซึ่งจากผลการศึกษาในสภาพการณ์ดังกล่าวสามารถเสนอแนะแนวทางการออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ดังนี้

1.) ในสภาพพื้นที่ที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของความชันและต้องการติดตั้งท่อในระยะทางที่ยาวขึ้น ควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความชัน 1:50 ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อไม่เกิน 12 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 2, 2 และ 3 ลิตร ตามลำดับ

2.) ในสภาพพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความชันและต้องการติดตั้งท่อในระยะทางที่ยาวขึ้นควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว ที่ความชัน 1: 100 และ 1:200 ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อไม่เกิน 12 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด 2 - 3 ลิตร ตามลำดับ

3.) ในสภาพพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความชันและต้องการติดตั้งท่อในระยะทางที่ยาวขึ้นและมีขนาดท่อที่ใหญ่ขึ้นเพื่อป้องกันการอุดตันในเส้นท่อ ควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ที่ความชัน 1:100 และ 1:200 ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และความยาวท่อไม่เกิน 12 เมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด 3 - 4 ลิตร

4.1.2.3 อิทธิพลของปัจจัยต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย

ผลการศึกษาต่อไปนี้เป็นผลการทดสอบวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยใช้ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อระบายที่แตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ ท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว โดยมีการติดตั้งภายใต้เงื่อนไขของปัจจัยต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้น ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความสำพันธ์โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของ Hinkle D. E. 1998 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้าน ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อปริมาณน้ำ ระยะทางและความสูงในแนวดิ่งกับความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับความเร็วในการไหลของน้ำ		ความเร็วในการไหลของน้ำ (m/s.)
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (mm.)	Pearson Correlation	-.262**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	2160
ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง (mm.)	Pearson Correlation	.157**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	2160
ความชันของท่อระบาย (%)	Pearson Correlation	.440**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	2160
ระยะทาง (m.)	Pearson Correlation	.241**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	2160
ปริมารน้ำ (L.)	Pearson Correlation	.636**
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	2160
ความเร็วในการไหลของน้ำ (m/s.)	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)	
	N	2160

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

จากตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกับความเร็วในการไหลเฉลี่ยของน้ำในท่อระบายพบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก (r = - .262) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .001 หรือที่ค่าความเชื่อมั่น 99.9% และมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางลบ

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านความสูงท่อระบายในแนวดิ่งกับความเร็วในการไหลเฉลี่ยของน้ำในท่อระบายมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก (r = .157) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .001 หรือที่ค่าความเชื่อมั่น 99.9% และมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางบวก

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านความชันกับความเร็วในการไหลเฉลี่ยของน้ำในท่อระบายมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ (r = .440) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .001 หรือที่ค่าความเชื่อมั่น 99.9% และมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางบวก

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านระยะทางกับความเร็วในการไหลเฉลี่ยของน้ำในท่อระบายมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก (r = .241) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .001 หรือที่ค่าความเชื่อมั่น 99.9% และมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางบวก

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านปริมาณน้ำกับความเร็วในการไหลเฉลี่ยของน้ำในท่อระบายมีความสัมพันธ์กันในระดับปลานกลาง (r = .636) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .001 หรือที่ค่าความเชื่อมั่น 99.9% และมีทิศทางความสัมพันธ์ในทางบวก

ดังนั้นจากผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้าน ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ปริมาณน้ำ ระยะทางและความสูงในแนวดิ่งกับความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อมากที่สุดคือ ปริมาณน้ำ ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะทางของท่อระบาย และความสูงในแนวดิ่ง ตามลำดับ

จากผลการทดสอบในข้างต้นเมื่อนำผลการศึกษาจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาไปทำการวิเคราะห์ถดถอยพหุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำ ในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว สามารถสรุปเป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำได้ดังตารางที่ 10 ที่พบว่า ตัวแปรอิสระทั้ง 5 ตัวร่วมกันอธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายทั้ง 3 ขนาด ได้ร้อยละ 75 โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายคือ ปริมาณน้ำ ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะทางและความสูงในแนวดิ่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือมีความเชื่อมั่นที่ 95% และเมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่มีอำนาจในการทำนายอิทธิพลของปัจจัยต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อได้ดีที่สุดคือ ปริมาณน้ำ ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะทางของท่อ

ระบาย และความสูงในแนวดิ่ง ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์เขียนเป็นสมการถดถอยพหุที่ใช้ในการทำนายความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายได้ดังสมการที่ (1)

ตารางที่ 10 สรุปผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว

ตัวแปร	B	S.E.	Beta
ปริมาณน้ำ (L.)	.071	.001	.636
ความชัน (%)	.094	.002	.440
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (mm.)	-.002	.000	-.262
ระยะทาง (m.)	.009	.000	.241
ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	.000093	.000	.157
ค่าคงที่ (constant)	.342	.010	
	R^2 = .750	SEE. = .079	F = 1291.00**

** ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

$$Y = 0.342 + 0.071X_1 + 0.094\ X_2 - 0.002\ X_3 + 0.009X_4 + 0.00093X_5 \qquad (1)$$

หมายเหตุ : X_1 = ปริมาณน้ำ (ลิตร)

X_2 = ความชัน (เปอร์เซ็นต์)

X_3 = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (มิลลิเมตร)

X_4 = ระยะทางของท่อระบาย (เมตร)

X_5 = ความสูงในแนวดิ่ง (มิลลิเมตร)

Y = ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินาที)

เนื่องจากการศึกษาในเบื้องต้นที่ได้กล่าวมาทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำและทราบถึงข้อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบท่อระบายที่ความเร็วสามารถเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดและสามารถก่อให้เกิดการลดปริมาณการใช้น้ำ ดังนั้นต่อไปนี้จะเป็นการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในท่อระบายเพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งการตกสะสมของของแข็งในเส้นท่อที่สามารถช่วยลดปัญหาการการอุดตันในเส้นท่อได้ ซึ่งผลการศึกษาจะกล่าวในลำดับต่อไป

4.1.3 การศึกษากลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย

เมื่อสิ่งปฏิกูลหรือของแข็งถูกถ่ายเทออกจากโถสุขภัณฑ์จะไหลไปตามแนวท่อระบายทำให้ของแข็งมีการแตกตัว (deformable solid) เกิดขึ้น การแตกตัวของของแข็งที่เกิดขึ้นนั้นก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามแนวท่อระบาย โดยลักษณะการแตกตัวของของแข็งดังกล่าวนั้นจะขึ้นอัตราการไหลหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการชะล้างที่แตกต่างกัน ซึ่งอัตราการไหลหรือปริมาณน้ำนั้นก็จะส่งผลทำให้ความเร็วของของแข็งแตกต่างกันด้วยเช่นกัน และเมื่อของแข็งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วถึงจุดหนึ่งในท่อระบายน้ำที่ความเร็วของของแข็งเป็นศูนย์ จะทำให้เกิดการตกสะสมในเส้นท่อระบายซึ่งปัญหาที่ตามมาคืออาจจะทำให้ท่อระบายเกิดการอุดตันได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งที่ไม่ก่อให้เกิดการอุดตันในเส้นท่อระบาย ทางผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลกลที่มีเคลื่อนที่และการแตกตัวในระบบท่อระบาย โดยนำแนวทางที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายที่มีผลต่อการประหยัดน้ำในเบื้องต้นมาศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

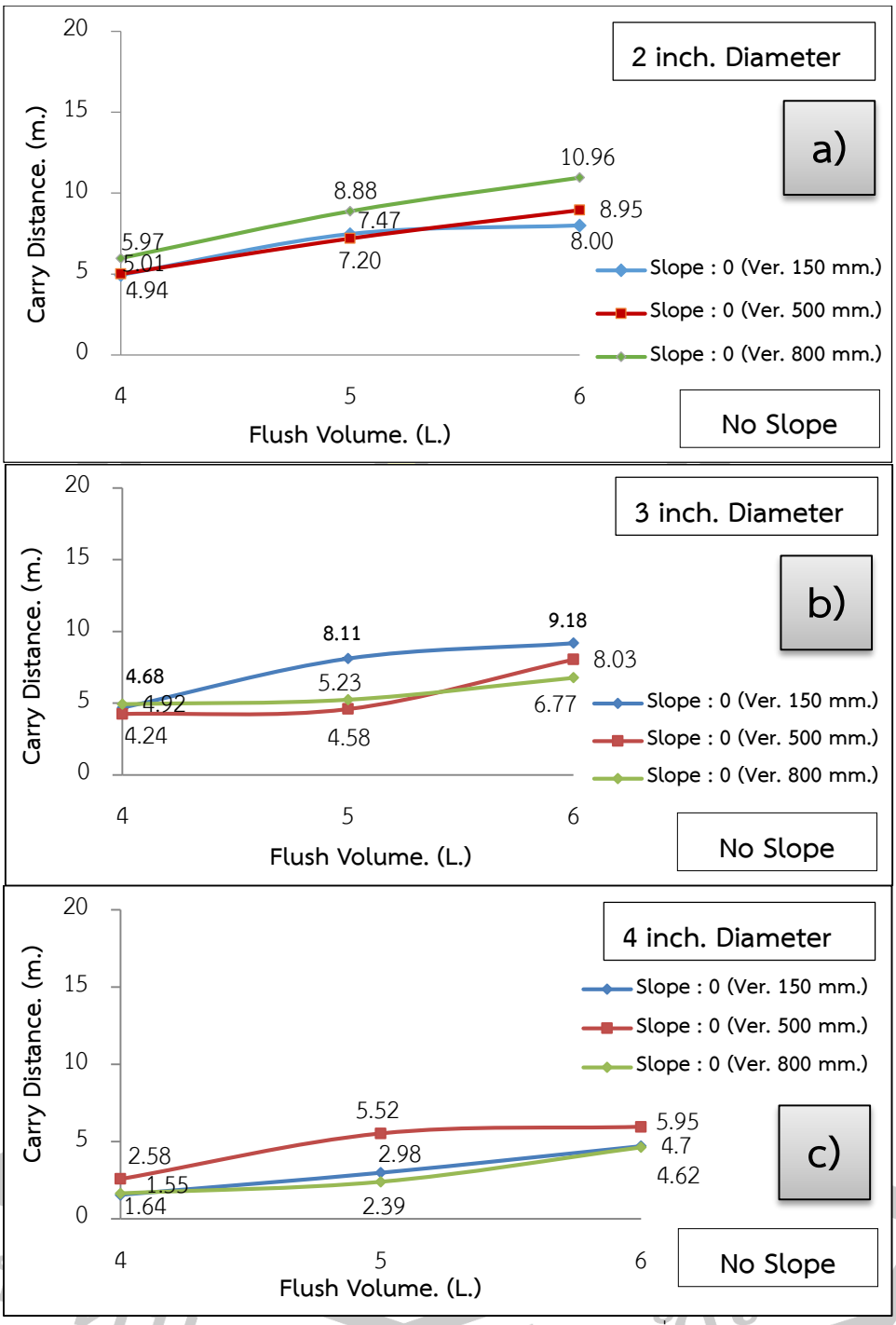
4.1.3.1 กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งของท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ได้รับการติดตั้งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ใช้ระยะความยาวท่อระบายในการทดสอบ 16 เมตร ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบใช้ถั่งเหลืองบด 200 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน และปริมาณน้ำที่ใช้จะพบว่าในส่วนของการเคลื่อนที่นี้ พบว่ามีเพียง 4-6 ลิตร เท่านั้นที่สามารถทำให้ของเข็งที่ใช้ในการทดสอบเกิดการถ่ายเทได้ในโถสุขภัณฑ์ แล้วทำการทดสอบโดยวัดระยะทางที่ของแข็งตกสะสมในเส้นท่อเมื่อมีการล้างเพียงหนึ่งครั้งของแต่ละปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 11 และภาพประกอบที่ 37

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 11 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว เมื่อติดตั้งในระดับที่ไม่มีความชันของท่อระบาย

ขนาดท่อ/ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ระยะการตกสะสม (m.)		ความยาวของแข็ง (cm.)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
2 นิ้ว/ไม่มีความชัน	150	6	8.00	0.512	15.67	3.22
		5	7.47	0.206	12.33	2.52
		4	4.94	0.082	15.50	5.00
	500	6	8.95	1.338	14.67	3.05
		5	7.20	0.333	11.00	1.73
		4	5.01	0.492	13.33	1.15
	800	6	10.96	0.743	14.67	4.62
		5	8.88	0.724	10.67	1.15
		4	5.97	0.611	10.00	2.00
3 นิ้ว/ไม่มีความชัน	150	6	9.18	0.506	12.67	5.13
		5	8.11	0.518	7.00	2.64
		4	4.68	0.127	5.00	1.00
	500	6	8.03	0.643	12.33	2.52
		5	4.58	0.354	11.00	4.58
		4	4.24	0.326	10.33	1.53
	800	6	6.77	0.064	15.00	6.25
		5	5.23	0.015	8367	1.15
		4	4.92	0.225	12.33	2.52
4 นิ้ว/ไม่มีความชัน	150	6	4.70	0.265	11.67	3.51
		5	2.98	0.104	18.00	3.46
		4	1.55	0.383	15.67	1.15
	500	6	5.95	1.309	12.33	2.52
		5	5.52	0.896	12.33	4.04
		4	2.58	0.076	10.67	1.15
	800	6	4.62	0.275	10.67	1.15
		5	2.39	0.354	15.67	2.08
		4	1.64	0.216	12.00	6.92



หมายเหตุ : Ver. = vertical drop height คือ ความสูงท่อระบายในแนวดิ่ง

a) การติดตั้งท่อระบายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว ในระดับที่ไม่มีความชัน

b) การติดตั้งท่อระบายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3 นิ้ว ในระดับที่ไม่มีความชัน

c) การติดตั้งท่อระบายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 4 นิ้ว ในระดับที่ไม่มีความชัน

ภาพประกอบที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างกับระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน

จากความสัมพันธ์ในภาพประกอบที่ 37 การศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันที่พบว่าต้องใช้ท่อระบายขนาด 2 และ 3 นิ้ว ติดตั้งที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเท่ากับ 4 ลิตร ซึ่งผลการศึกษาที่ได้พบว่าที่ปริมาณน้ำดังกล่าวสามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ในระยะทาง 5.01 และ 4.68 เมตร และมีขนาดความยาวของแข็งที่ตกสะสมในเส้นท่อเท่ากับ 15.50 และ 5.00 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อในสภาพที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องความสูงในแนวดิ่งที่พบว่าควรติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว ที่ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร โดยจะใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 2, 3 และ 4 ลิตร ตามลำดับ พบว่าจากผลการศึกษาดังกล่าวไม่สามารถใช้ปริมารน้ำ 2 และ 3 ลิตรได้เนื่องจากปริมาณน้ำดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการถ่ายเทได้ของของแข็งในโถสุขภัณฑ์ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้คือ 4 ลิตร โดยพบว่าเมื่อใช้ปริมาณน้ำดังกล่าวทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2, 3 และ 4 นิ้ว เป็นระยะทาง 5.97, 4.92 และ 1.64 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในขนาดท่อดังกล่าวมีความยาวเท่ากับ 10.00, 12.33 และ 12.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้จะเห็นว่าเมื่อขนาดท่อเพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ในระยะทางที่สั้นลงซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dougall et al. (2007) ที่พบว่า ท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าคือ 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) จะมีการถ่ายเทของเสียด้วยความเร็วในการไหลที่สูงที่สุดและมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียได้ดีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

ดังนั้นจากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อต้องการใช้น้ำในการล้างในปริมาณน้อยๆเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ จะมีผลทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ในระยะทางที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่มากกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราการระบายหรือความเร็วของของแข็งนั้นต่ำลงเนื่องจากมีปริมาณน้ำที่น้อยในความลึกหรือระยะทางของท่อระบายที่ลึกลงไป ดังนั้นในสภาพการที่ไม่มีความชันปริมาณน้ำจึงเป็นปัจจัยที่เป็นตัวที่กำหนดว่าของแข็งว่าจะสามารถถ่ายเทไปในระยะทางเท่าใด

4.1.3.2 กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 2 นิ้ว

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง ได้รับการติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันเท่ากับ 1:200, 1: 100 และ 1: 50 โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ใช้ระยะความยาวท่อระบาย 16 เมตร ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบใช้ถั่งเหลืองบด 200 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง 6, 5 และ 4 ลิตร จากนั้นทำการทดสอบโดยวัดระยะทางที่ของแข็งตกสะสมในเส้นท่อเมื่อมีการล้างเพียงหนึ่งครั้งของแต่ละปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 2 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ระยะการตกสะสม (m.)		ความยาวของแข็ง (cm.)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1: 200	150	6	15.34	0.101	19.00	5.29
		5	14.52	1.119	18.00	5.29
		4	13.43	0.850	24.67	1.15
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a
1: 200	500	6	15.51	0.533	16.32	8.50
		5	15.08	0.240	29.67	10.50
		4	11.84	0.626	22.33	2.08
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a
1: 200	800	6	16	0.00	n/a	n/a
		5	15.32	0.236	19.67	4.62
		4	13.79	0.314	25.67	2.08
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a

หมายเหตุ : n/a คือ หาค่าไม่ได้เนื่องจากของแข็งไม่ได้ตกสะสมในเส้นท่อแต่ตกลงไปยังถังเก็บของเสียเมื่อสิ้นสุดระยะทาง 16 เมตร

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 12 สามารถอธิบายกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 2 นิ้ว ที่ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการถ่ายเทได้ของของแข็งในโถสุขภัณฑ์ ได้ว่า ทุกระดับความสูงในแนวดิ่งที่ระดับความชันเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทถ่ายเทไปได้ตลอดระยะความยาวท่อระบายที่มีความยาวสูงสุด 16 เมตร ยกเว้นที่ความชัน 1: 200 ซึ่งเป็นความชันที่ต่ำที่สุดที่พบว่าที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เมื่อต้องการใช้ปริมาณน้ำในการล้างที่น้อยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำสูงสุดคือจะต้องใช้ปริมาณน้ำ 4 ลิตร ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวนี้ทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 13.43, 11.84 และ 13.79 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในขนาดท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 24.67, 22.33 และ 25.67 เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าของแข็งที่ตกสะสมในเส้นท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวใกล้เคียงกัน ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำที่ลดลงความยาวท่อที่ลึกลงไปทำให้ของแข็งเกิดการขยายตัวออกเนื่องจากแรงเสียดทานหรือแรงเฉือนที่มากระทำและเป็นผลมาจากการที่มีน้ำล้อมรอบทำให้ของแข็งเกิดการลอยตัวและขยายตัวออก

ดังนั้นจากผลการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นในทุกความสูงในแนวดิ่งทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ตลอดระยะความยาวท่อ ยกเว้นที่ความชัน 1: 200 ที่สามารถถ่ายเทได้และตกสะสมในระยะทาง 13.43, 11.84 และ 13.79 เมตร ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Gauley et al. 2005 ที่พบว่าเมื่อความชันของท่อระบายสูงขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อเมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันที่ได้ทำการศึกษามาในข้างต้นที่พบว่า การติดตั้งท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว สามารถออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ในทุกความยาวท่อ

4.1.3.3 กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 3 นิ้ว

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง ได้รับการติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันเท่ากับ 1:200, 1: 100 และ 1: 50 โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ใช้ระยะความยาวท่อระบายในการทดสอบทั้งหมด 16 เมตร ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ถั่งเหลืองบด 200 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง 4-6 ลิตร เนื่องจากพบว่าในการศึกษาในส่วนนี้ปริมาณน้ำ 2 และ 3 ลิตร ไม่สามารถทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทออกไปได้ในโถสุขภัณฑ์ จากนั้นทำการทดสอบโดยวัดระยะทางที่ของแข็งตกสะสมในเส้นท่อเมื่อมีการล้างเพียงหนึ่งครั้ง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 3 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ระยะการตกสะสม (m.)		ความยาวของแข็ง(cm.)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1: 200	150	6	15.42	0.136	10.67	1.15
		5	12.74	0.413	8.33	2.88
		4	6.47	0.153	9.33	3.05
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	11.25	0.617	12.00	2.00
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	15.60	0.131	11.67	1.52
1: 200	500	6	10.59	0.543	10.67	4.16
		5	10.51	0.645	7.67	0.57
		4	7.83	0.064	14.00	3.60
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	14.20	1.153	12.33	4.50
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	15.07	1.229	10.67	1.15
1: 200	800	6	13.79	0.437	14.00	1.73
		5	12.53	0.350	14.00	3.60
		4	8.88	0.391	12.33	2.51
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	14.21	0.367	12.33	2.51
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a

หมายเหตุ : n/a คือ หาค่าไม่ได้เนื่องจากของแข็งไม่ได้ตกสะสมในเส้นท่อแต่ตกลงไปยังถังเก็บของเสียเมื่อสิ้นสุดระยะทาง 16 เมตร

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 13 กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 3 นิ้ว เมื่อต้องการออกแบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำจึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการถ่ายเทได้ของของแข็งในโถสุขภัณฑ์ ซึ่งปริมาณน้ำดังกล่าวคือ 4 ลิตร ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

1.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน 1: 200 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทได้และตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 6.47, 7.83 และ 8.88 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 9.33, 14.00 และ 12.33 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน 1: 100 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในเส้นท่อและตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 11.25, 14.20 และ 14.21 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 12.00, 12.33 และ 12.33 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน 1: 50 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในเส้นท่อและตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 15.60, 15.07 และ >16 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 11.67 และ 10.67 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความชัน 1:50 ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตรจะพบว่า ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้จนถึงปลายท่อ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการติดตั้งในระรับความชันและความสูงในแนวดิ่งที่สูงที่สุดในการทดสอบทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทได้ดีในปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดในการศึกษาในส่วนนี้คือ 4 ลิตร

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้น ณ ความสูงในแนวดิ่งระดับเดียวกันจะทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในระยะทางที่ไกลขึ้น และในทางเดียวกันจะพบว่า ณ ความชันเดียวกัน ความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นก็มีผลทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในระยะทางที่ไกลขึ้นเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาอิทธิพลของความยาวท่อในสภาพการณ์ที่มีความชันที่ได้กล่าวมาในการศึกษาข้างต้นที่พบว่าหารต้องการติดตั้งท่อระบายในระยะทางที่ไกลขึ้นสำหรับท่อระบายขนาด 3 นิ้ว ควรมีการติดตั้งให้มีระดับความชัน 1:200, 1:100 และ 1:50 ตามลำดับ

ดังนั้นจากผลการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งสำหรับท่อระบายขนาด 3 นิ้ว สรุปได้ว่าที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 6.47, 7.83 และ 8.88 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 เป็นระยะทาง 11.25, 14.20 และ 14.21 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 และเป็นระยะทาง 15.60, 15.07 และ >16 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50

4.1.3.4 กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 4 นิ้ว

การศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง ได้รับการติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันเท่ากับ 1:200, 1: 100 และ 1: 50 โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ใช้ระยะความยาวท่อระบายในการทดสอบทั้งหมด 16 เมตร ของแข็งที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ถั่งเหลืองบด 200 กรัม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง 6, 5 และ 4 ลิตร เนื่องจากปริมาณน้ำ 3 และ 2 ลิตร ไม่สามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทได้ในโถสุขภัณฑ์ จากนั้นทำการทดสอบโดยวัดระยะทางที่ของแข็งตกสะสมในเส้นท่อเมื่อมีการล้างเพียงหนึ่งครั้งผลการศึกษาที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ระยะการตกสะสม (m.)		ความยาวของแข็ง (cm.)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1: 200	150	6	10.02	0.414	19.00	4.58
		5	9.04	0.168	12.00	2.00
		4	8.02	0.742	23.00	6.55
1: 100		6	14.25	0.673	11.67	2.88
		5	13.72	1.215	20.00	3.46
		4	9.39	0.797	15.33	2.51
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	13.74	2.284	15.33	4.61
1: 200	500	6	10.79	0.153	8.33	1.15
		5	9.51	0.632	28.67	5.13
		4	8.21	0.864	17.67	2.51
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	14.76	0.458	18.33	5.50
		4	12.92	0.344	20.67	5.50
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	15.27	0.773	13.00	3.00

หมายเหตุ : n/a คือ หาค่าไม่ได้เนื่องจากของแข็งไม่ได้ตกสะสมในเส้นท่อแต่ตกลงไปยังถังเก็บของเสียเมื่อสิ้นสุดระยะทาง 16 เมตร

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงระยะทางที่ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายแตกต่างกัน

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (mm.)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ระยะการตกสะสม (m.)		ความยาวของแข็ง (cm.)	
			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1: 200	800	6	12.03	0.264	10.33	0.57
		5	10.36	0.070	12.00	1.00
		4	9.07	0.512	17.67	0.57
1: 100		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	15.08	0.284	16.67	2.88
		4	13.46	0.219	22.67	3.21
1: 50		6	16	0.00	n/a	n/a
		5	16	0.00	n/a	n/a
		4	16	0.00	n/a	n/a

หมายเหตุ : n/a คือ หาค่าไม่ได้เนื่องจากของแข็งไม่ได้ตกสะสมในเส้นท่อแต่ตกลงไปยังถังเก็บของเสียเมื่อสิ้นสุดระยะทาง 16 เมตร

จากความสัมพันธ์ในตารางที่ 14 สามารถอธิบายกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 4 นิ้ว เมื่อต้องการออกแบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำจึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการถ่ายเทได้ของของแข็งในโถสุขภัณฑ์ ซึ่งจากผลการศึกษาปริมาณน้ำที่มีความเป็นไปได้คือปริมาณน้ำ 4 ลิตร ได้ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน 1: 200 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทได้และตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 8.02, 8.21 และ 9.07 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 23.00, 17.67 และ 17.67 เซนติเมตร ตามลำดับ

2.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชัน 1: 100 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในเส้นท่อและตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 9.39, 12.92 และ 13.46 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้นจะมีความยาวเท่ากับ 15.33, 20.67 และ 22.67 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.) เมื่อติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันเป็น 1: 50 พบว่า ในระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในเส้นท่อและตกสะสมในเส้นท่อระบายเป็นระยะทาง 13.74, 15.27 และ >16 เมตร ตามลำดับ และพบว่าของแข็งที่ตกสะสมในท่อดังกล่าวนั้น

จะมีความยาวเท่ากับ 15.33 และ 13.00 เซนติเมตร ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งในระดับความชันและความสูงในแนวดิ่งที่สูงที่สุดในการทดสอบจะพบว่าของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้จนถึงปลายท่อที่มีความยาว 16 เมตร โดยใช้ปริมาณน้ำเพียง 4 ลิตรเท่านั้น นั้นแสดงว่าความชันและความสูงในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทได้ดีขึ้นตามไปด้วย

จากการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชันของท่อระบายขนาด 4 นิ้ว จะเห็นได้ว่าผลการศึกษาที่ได้จะพบเช่นเดียวกับท่อระบายขนาด 3 นิ้ว ที่พบว่าที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้น ณ ความสูงในแนวดิ่งระดับเดียวกันจะทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในระยะทางที่ไกลขึ้น และในทางเดียวกันจะพบว่า ณ ความชันเดียวกัน ความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้นก็มีผลทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปในระยะทางที่ไกลขึ้นเช่นกัน และยังพบอีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าจะมีการถ่ายเทของเสียด้วยความเร็วในการไหลที่สูงที่สุดและมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียได้ดีกว่าท่อระบายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Gauley et al. (2005) ที่พบว่า เมื่อความชันของท่อระบายสูงขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทของเสียในท่อระบายมีประสิทธิภาพมากขึ้น และจะเห็นได้ว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า ณ ความชันที่สูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทของเสียในท่อระบายสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นจากผลการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งสำหรับท่อระบายขนาด 4 นิ้ว สรุปได้ว่าที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 8.02, 8.21 และ 9.07 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 เป็นระยะทาง 9.39, 12.92 และ 13.46 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 และเป็นระยะทาง 13.74, 15.27 และ >16 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายสิ่งปฏิกูลสำหรับระบบโถสุขภัณฑ์ชักโครกประหยัดน้ำโดยการพิจารณาความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายพบว่าเมื่อติดตั้งระบบท่อระบายในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน ความสูงในแนวดิ่งและความยาวของท่อระบายน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำของระบบท่อระบาย โดยพบว่าการติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 8 - 12 เมตร และความสูงในแนวดิ่งที่สูงที่สุดคือ 800 มิลลิเมตร สามารถก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำโดยที่ความเร็วในการไหลของน้ำเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งจะใช้น้ำในปริมาณ 2, 3 และ 4 ลิตร เมื่อติดตั้งในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว ตามลำดับ และพบว่าหากต้องการติดตั้งที่ระยะความยาวท่อ 16 เมตรที่ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร สามารถก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ โดยใช้น้ำในปริมาณ 3 และ 4 ลิตร เมื่อติดตั้งในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ และเมื่อติดตั้งระบบท่อระบายในสภาพการณ์ที่มีความชัน พบว่า ความชัน ความยาวท่อระบาย และความสูงในแนวดิ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการประหยัดน้ำของระบบท่อระบาย โดยพบว่าที่ระดับความชันที่สูงที่สุดคือ ความชัน 1:50 จะสามารถติดตั้งในระดับความสูงในแนวดิ่งที่ต่ำๆได้ ดังผลการศึกษาที่พบว่าที่ความชัน 1:50 สามารถติดตั้งให้ระบบท่อระบายเกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้โดยที่มีการติดตั้งที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตรและความยาวท่อไม่เกิน 4 เมตร ซึ่งจะใช้น้ำในปริมาณ 2 และ 3 ลิตร เมื่อติดตั้งในท่อระบายขนาด 2 และ 3 นิ้ว ตามลำดับ และหากต้องการติดตั้งในระดับความชัน 1:100 และ 1:200 จะสามารถติดตั้งได้ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้ว โดยต้องติดตั้งที่ความยาวท่อไม่เกิน 4 เมตร

จากผลการศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายที่ได้กล่าวมาเมื่อนำไปศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในระบบท่อระบาย พบว่า จากการศึกษาปัจจัยด้านการออกแบบระบบท่อระบายในส่วนแรกสามารถใช้น้ำในการล้างต่ำที่สุดเพียง 2 ลิตร แต่เมื่อนำมาทำการศึกษาคุณลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ส่งผลต่อกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งผลปรากฏว่าปริมาณน้ำต่ำที่สุดที่สามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ในท่อระบายคือปริมาณน้ำ 4 ลิตร โดยจากผลการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน พบว่าหากต้องการติดตั้งที่ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 และ 3 นิ้วโดยมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่ก่อให้เกิด

ประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเท่ากับ 4 ลิตร ของแข็งจะสามารถถ่ายเทไปได้ในระยะทาง 5.01 และ 4.68 เมตร ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร ในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 3 และ 4 นิ้ว โดยมีปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างที่น้อยที่สุดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำเท่ากับ 4 ลิตร ของแข็งจะสามารถถ่ายเทไปได้ในระยะทาง 5.97, 4.92 และ 1.64 เมตร ตามลำดับ

เมื่อศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งในสภาพการณ์ที่มีความชัน พบว่า หากติดตั้งในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว โดยใช้ปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำคือ 4 ลิตร ที่มีระดับความชันที่เพิ่มขึ้นในทุกความสูงในแนวดิ่งสามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ตลอดระยะความยาวท่อ ยกเว้นที่ความชัน 1: 200 ที่สามารถถ่ายเทได้และตกสะสมใน ระยะทาง 13.43, 11.84 และ 13.79 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ในปริมาณน้ำ 4 ลิตร ที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 6.47, 7.83 และ 8.88 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 เป็นระยะทาง 11.25, 14.20 และ 14.21 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 และเป็นระยะทาง 15.60, 15.07 และ 16 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50 และเมื่อติดตั้งในท่อระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ในปริมาณน้ำ 4 ลิตร ที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 8.02, 8.21 และ 9.07 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 เป็นระยะทาง 9.39, 12.92 และ 13.46 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 และเป็นระยะทาง 13.74, 15.27 และ 16 เมตร ตามลำดับ เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50 และจากผลสรุปของการศึกษาที่กล่าวมานี้สามารถเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบท่อระบายที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้ดังข้อเสนอแนะที่จะกล่าวต่อไป

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ

1.) ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันปัจจัยที่เข้ามาช่วยในการแก้ไขหรือปรับปรุงระบบท่อระบายน้ำให้สามารถเกิดการใช้น้ำในปริมาณน้อยลง คือ ระยะความยาวท่อ ระดับความสูงในแนวดิ่งและเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สำหรับระยะความยาวท่อนั้นควรติดตั้งไม่เกิน 8 เมตร โดยใช้ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางท่อควรเป็น 2 และ 3 นิ้ว และถ้าหากต้องการการติดตั้งที่ระยะทางที่ไกลขึ้นที่มากกว่า 8 เมตร แต่ไม่เกิน 16 เมตร ควรเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งในระดับ 800 มิลลิเมตร โดยใช้ท่อระบายขนาดเดิม และเพื่อป้องกันการอุดตันในเส้นท่ออาจต้องใช้ท่อระบายขนาด 4 นิ้ว โดยติดตั้งที่ความยาวท่อไม่เกิน 8 เมตรที่ความสูงในแนวดิ่ง 800 มิลลิเมตร ทั้งนี้ควรเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยคำนึงถึงการนำไปใช้ ในท่อระบายที่มีขนาดเล็กอาจจะต้องมีการเสนอแนะให้ใช้ในการถ่ายเทของเสียที่เป็นของเหลว ส่วนท่อระบายขนาดใหญ่กว่าก็ใช้ในการถ่ายเทของเสียที่เป็นของแข็งเพื่อให้สามารถลดปัญหาการอุดตันในเส้นท่อลงได้

2.) ในสภาพการณ์ที่มีความชันปัจจัยที่เข้ามาช่วยในการแก้ไขหรือปรับปรุงระบบท่อระบายน้ำให้สามารถเกิดการใช้น้ำในปริมาณน้อยลง คือ การเพิ่มระดับความชันที่เพิ่มขึ้นจาก 1:200, 1:10และ 1:50 ตามลำดับ การเพิ่มระดับความสูงในแนวดิ่งจาก 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่จะเห็นว่าเมื่อมีระดับความชันการติดตั้งโดยใช้ความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร ก็เพียงพอที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ สำหรับข้อเสนอแนะในการติดตั้งแสดงดังต่อไปนี้

2.1 สำหรับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร สามารถติดตั้งได้ในท่อระบายขนาด 2 และ 3 นิ้ว ที่ความชัน 1:200, 1:10 และ 1:50 ติดตั้งโดยใช้ความยาวท่อไม่เกิน 12 เมตร

2.2 สำหรับความสูงในแนวดิ่ง 150 มิลลิเมตร สามารถติดตั้งได้ในท่อระบายขนาด 4 นิ้ว ที่ความชัน 1:200 และ 1:100 ติดตั้งโดยใช้ความยาวท่อไม่เกิน 12 เมตร

ทั้งนี้จะเห็นค่าการติดตั้งในสภาพการณ์ที่มีความชันนั้นสามารถติดตั้งระบบท่อระบายให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำที่มากกว่าในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชัน ดังนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับการนำไปใช้และพื้นที่ในการติดตั้ง โดยสามารถติดตั้งได้ทั้งในระยะทางที่สั้นและยาวไม่เกิน 12 เมตรเพื่อให้ระบบท่อระบายมีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำ

3.) ผลต่อการเคลื่อนที่ของของแข็ง จากข้อสรุปที่เสนอแนะในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยดังที่ได้กล่าวมานั้นว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการศึกษา 2-6 ลิตร แต่จะพบว่าในส่วนของการเคลื่อนที่ของของแข็งนี้มีเพียงปริมาณน้ำ 4-6 ลิตร เท่านั้นที่สามารถทำให้เกิดการถ่ายเทออกไปได้ในโถสุขภัณฑ์ ดังนี้สำหรับข้อเสนอแนะในการติดตั้งแสดงดังต่อไปนี้

3.1 ในสภาพการณ์ที่ไม่มีความชันการติดตั้งในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่มีขนาดเล็กกว่าและมีความสูงในแนวดิ่งเพิ่มขึ้น 800 มิลลิเมตร จะทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้ในระยะทางไม่เกิน 5 เมตร โดยใช้ปริมาณน้ำในการล้าง 4 ลิตร

3.2 ในสภาพการณ์ที่มีความชันมีข้อเสนอแนะในการติดตั้งดังต่อไปนี้

3.2.1 ที่ท่อระบายขนาด 2 นิ้ว เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำคือ 4 ลิตร ที่มีระดับความชันที่เพิ่มขึ้นในทุกความสูงในแนวดิ่งสามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ตลอดระยะความยาวท่อ ยกเว้นที่ความชัน 1: 200 ที่สามารถถ่ายเทได้และตกสะสมในระยะทางไม่เกิน 14 เมตร

3.2.2 ท่อระบายขนาด 3 นิ้ว เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำคือ 4 ลิตร ที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 8 เมตร เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 8 เมตร และเมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 16 เมตร

3.2.3 ท่อระบายขนาด 4 นิ้ว เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่ต่ำที่สุดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำคือ 4 ลิตร ที่ระดับความชันที่เพิ่มขึ้นทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทไปได้และตกสะสมในระยะความยาวท่อที่มีระดับความสูงในแนวดิ่ง 150, 500 และ 800 มิลลิเมตร เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:200 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 9 เมตร เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:100 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 13 เมตร เมื่อติดตั้งท่อที่มีความชันเท่ากับ 1:50 ของแข็งจะถ่ายเทได้เป็นระยะทางไม่เกิน 16 เมตร

จากข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำที่ได้กล่าวมาข้างต้น สรุปเป็นตารางการออกแบบระบบท่อระบายน้ำออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ ซึ่งแนะนำให้นำค่าการออกแบบที่ได้ที่ปริมาณน้ำต่ำกว่า 4 ลิตร ไปใช้ในการถ่ายเทของเหลวในท่อระบาย และส่วนที่สองคือกลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง สามารถนำค่าการออกแบบไปใช้กับการถ่ายเทของเสียได้โดยจะใช้ปริมาณน้ำเพียง 4 ลิตร ทั้งนี้การออกแบบติดตั้งขึ้นอยู่กับพื้นที่และบริเวณที่จะติดตั้งว่าต้องการให้ของแข็งถ่ายเทไปได้ในระยะทางเท่าใด ค่าการออกแบบที่ได้แสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ

1.) การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดน้ำ

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (นิ้ว)	ความยาวท่อ(เมตร)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)
No slope	150	2	8	4
	150	3	8	4
	800	2	8-12	2
	800	3	8	3
	800	4	8	4
	800	2	16	3
	800	3	16	4
1:200	150	2	≤4	3
	150	3	≤12	3
	150	4	≤12	4
1:100	150	2	≤4	4
	150	3	≤4	3
	150	2	≤12	2
	150	4	≤12	3
1:50	150	2	≤4	2
	150	3	≤4	3
	150	2	≤12	2
	150	3	≤12	2
	150	4	≤12	3

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตารางที่ 15 (ต่อ) ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ

2.) กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (นิ้ว)	ระยะตกสะสม(เมตร)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)
No slope	150	2	5.01	4
	150	3	4.68	
	800	2	5.97	
	800	3	4.92	
	800	4	1.64	
1:200	150	2	13.43	
	500	2	11.84	
	800	2	13.79	
1:100	150	2	16	
	500	2	16	
	800	2	16	
1:50	150	2	16	
	500	2	16	
	800	2	16	
1:200	150	3	6.47	4
	500	3	7.87	
	800	3	8.88	
1:100	150	3	11.25	
	500	3	14.20	
	800	3	14.21	
1:50	150	3	15.60	
	500	3	15.07	
	800	3	16	

ตารางที่ 15 (ต่อ) ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคสำหรับการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ

2.) กลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็ง

ความชัน	ความสูงในแนวดิ่ง (มิลลิเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (นิ้ว)	ระยะตกสะสม(เมตร)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)
1:200	150	4	8.02	4
	500	4	8.21	
	800	4	9.07	
1:100	150	4	9.39	
	500	4	12.92	
	800	4	13.46	
1:50	150	4	13.74	
	500	4	15.27	
	800	4	16	

5.2.2 ข้อเสนอแนะสมการที่ใช้ในการทำนายความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย

เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่มีอำนาจในการทำนายอิทธิพลของปัจจัยต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อได้ดีที่สุดคือ ปริมาณน้ำ ความชัน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ระยะทางของท่อระบายและความสูงในแนวดิ่ง ตามลำดับ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ Linear Regression เขียนเป็นสมการถดถอยพหุที่ใช้ในการทำนายความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = 0.342 + 0.071X_1 + 0.094\ X_2 - 0.002\ X_3 + 0.009X_4 + 0.00093X_5$$

หมายเหตุ : X_1 = ปริมาณน้ำ (ลิตร)

X_2 = ความชัน (เปอร์เซ็นต์)

X_3 = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (มิลลิเมตร)

X_4 = ระยะทางของท่อระบาย (เมตร)

X_5 = ความสูงในแนวดิ่ง (มิลลิเมตร)

Y = ความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบาย (เมตรต่อวินาที)

5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อในอนาคต

1.) จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการไหลของน้ำในท่อระบายจะพบว่าปริมาณน้ำที่สามารถออกแบบให้เกิดประสิทธิภาพการประหยัดโดยที่ความเร็วเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดจะมีการใช้น้ำต่ำสุดคือ 2 ลิตร แต่เมื่อนำมาศึกษากลไกลการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งจะพบว่ามี่เพียงปริมาณน้ำ 4-6 ลิตรเท่านั้นที่สามารถทำให้ของแข็งถ่ายเทออกไปได้ในโถสุขภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาต่อไปจึงควรหาวิธีในการพัฒนาโถสุขภัณฑ์หรืออาจใช้ปริมาณน้ำที่น้อยๆในการชำระสิ่งปฏิกูลที่โดยแยกเป็นของเหลวหรือของแข็ง

2.) จากผลการศึกษากลไกการเคลื่อนที่และการแตกตัวของของแข็งจะเห็นว่าที่ความชันของท่อระบายที่สูงๆจะทำให้ของแข็งสามารถถ่ายเทได้ตลอดระยะความยาวท่อ 16 เมตร ดังนั้นหากต้องการติดตั้งท่อระบายในระยะทางที่ไกลขึ้นอาจมีการศึกษาการเพิ่มขนาดความยาวท่อมากกว่า 16 เมตร เพื่อให้ทราบถึงระยะการตกสะสมของของแข็งในเส้นท่อระบายที่แน่นนอนและเพื่อลดการอุดตันของของแข็งในท่อระบายเมื่อต้องการติดตั้งที่ความยาวท่อไกลๆ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2549). *การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อมอาคาร.* พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี, มิตรนราการพิมพ์.

กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2551) . *มาตรฐานการติดตั้งท่อประปา (มยผ. 3501-51).* พิมพ์ครั้งที่ 1. *กรุงเทพฯ, กรมโยธาธิการและผังเมือง.*

วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์. (2551). *การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร*. พิมพ์ครั้งที่ 16. *กรุงเทพฯ*, พิมพลักษณ์.

สุริยน ศิริธรรมปิติ. (2547). *วัสดุและการก่อสร้างสุขภัณฑ์ : ห้องน้ำและสุขภัณฑ์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สภาวิศวกร. “ระบบสุขาภิบาลในบ้าน”. [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2558]; ได้จาก URL : http://www.coe.or.th/_coe/_coenew/appElearnDetail.php?aENo=8&aEType=1.

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. “ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์เซรามิก:โถส้วม”. 2554 [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2558]; ได้จาก: : http:// www. tei .or.th/greenlabel/download/TGL-5-R3-11.pdf.

หมวดงานวิศวกรรมสุขาภิบาล. “การติดตั้งท่อโสโครกและท่อระบาย”. [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2558]; ได้จาก URL : http://www.navy.mi.th/ncd/SPEC_ WEB/SPEChtm /5.htm#_Toc137628288.

J A McDougall, J A Swaffield. The influence of water conservation on drain sizing for building drainage systems. Building Services Engineering Research and Technology. 2003; 24(4) : 229-243

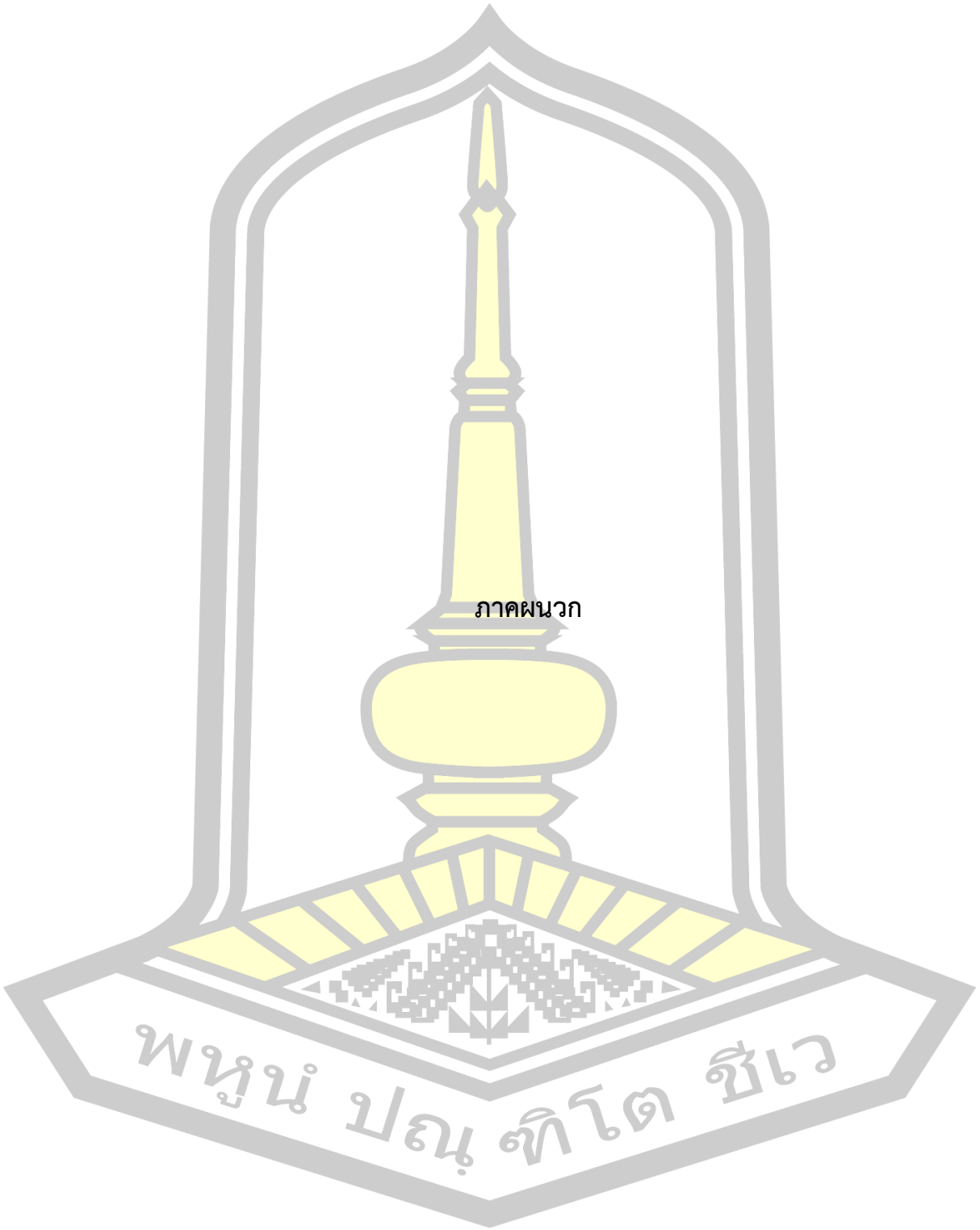
Bill Gauley, John Koeller. Evaluation of Water-Efficient Toilet Technologies to Carry Waste in Drainlines. Canada Mortgage and Housing Corporation Project. 2005; (1) :1-32

J A McDougall, R H M Wakelin. The influence of flush volume and branch drain cross-section on deformable solid transport in attenuating flows. Building Services Engineering Research and Technology. 2007; 28(1) : 7-22

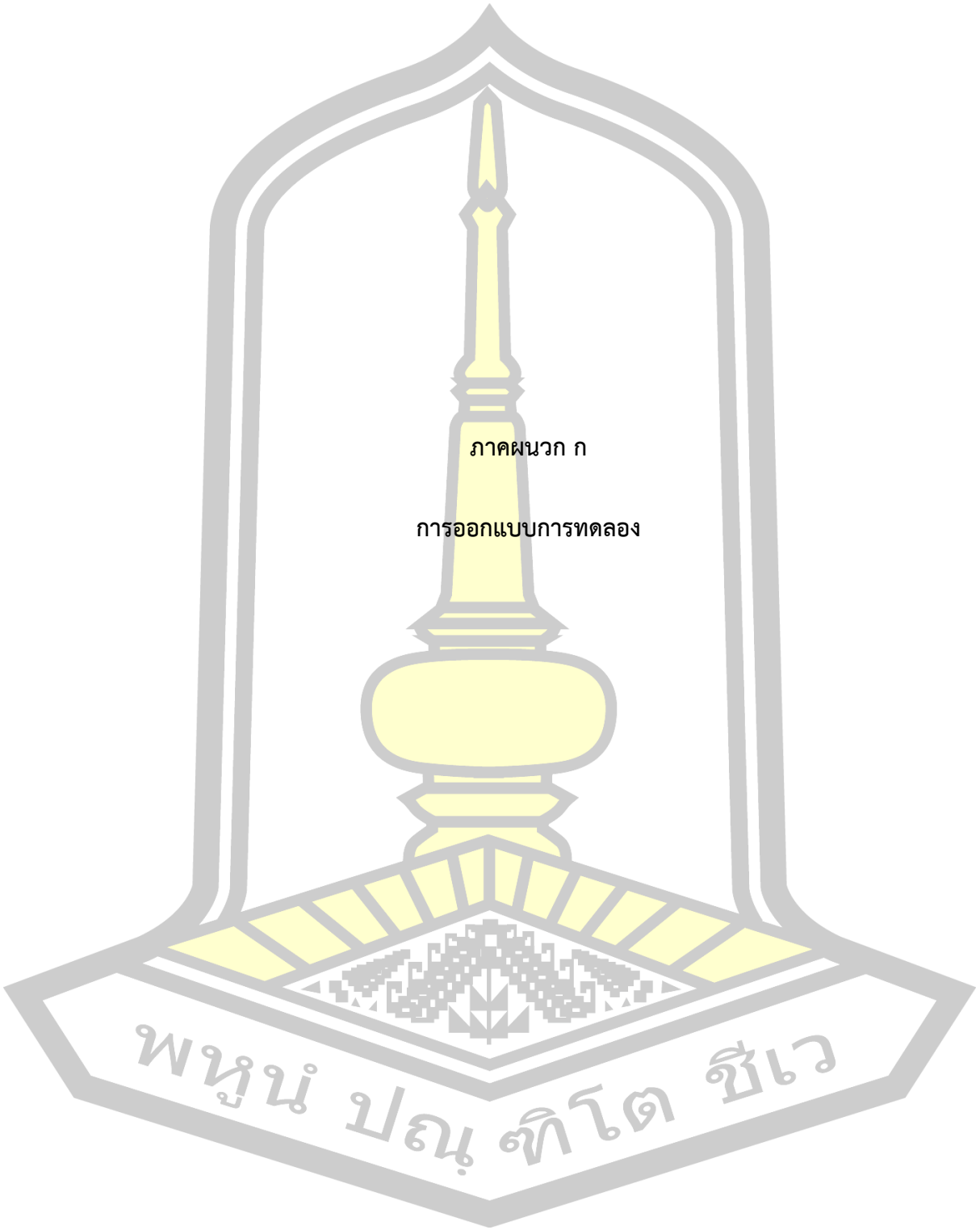
Anna Schlunke, James Lewis and Simon Fane. “Analysis of Australian opportunities for more water-efficient toilets”. [Online]. 2008 [cited 20 August 2016]; Available from: www.waterrating.gov.au/.../water-efficient-toilets.pdf.

Masaye Harrison, M.Arch Candidate. “Flush: examing the efficacy of water conservation in dual flush toilets”. ”. [Online]. 2010 [cited 20 August 2016]; Available from: http://www.map-testing.com/assets/reports/2010-commercial_dual-flush_toilet_study-harrison.pdf.

Keisuke Hirai, Masayuki Otsuka and Satoshi Kitamura. “4-Litre Water Closets with New Flushing Technology”. [Online]. 2012 [cited 12 September 2016]; Available from: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC27055.pdf.

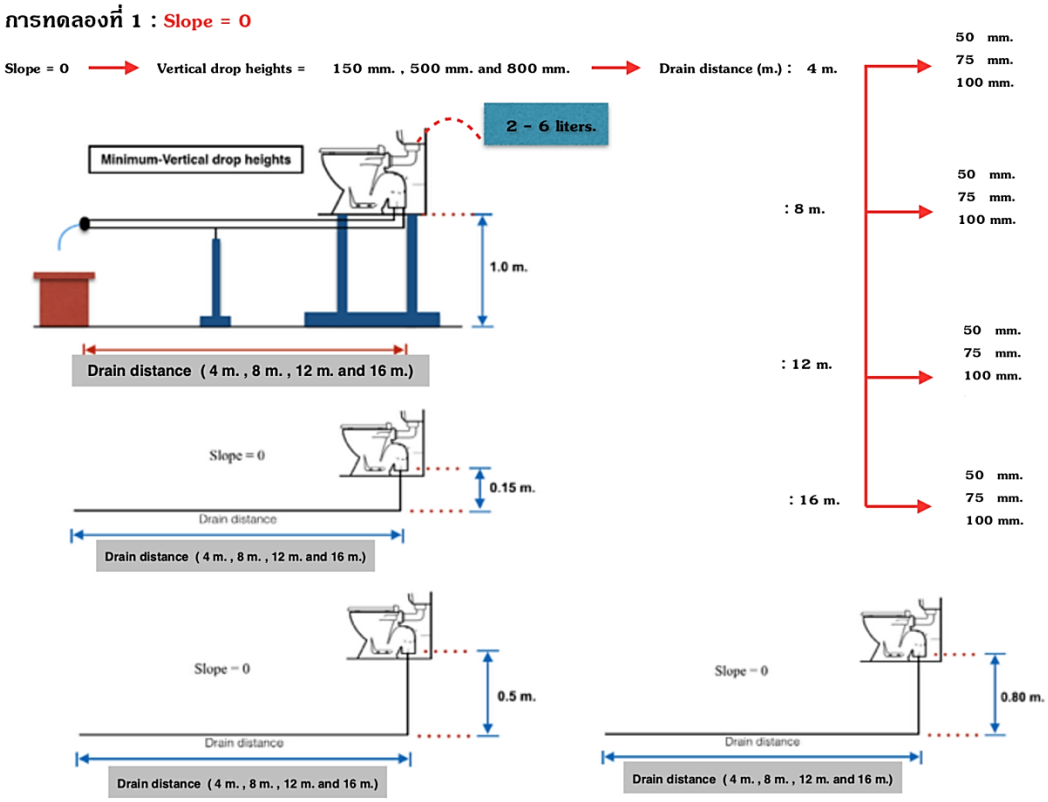


ภาคผนวก



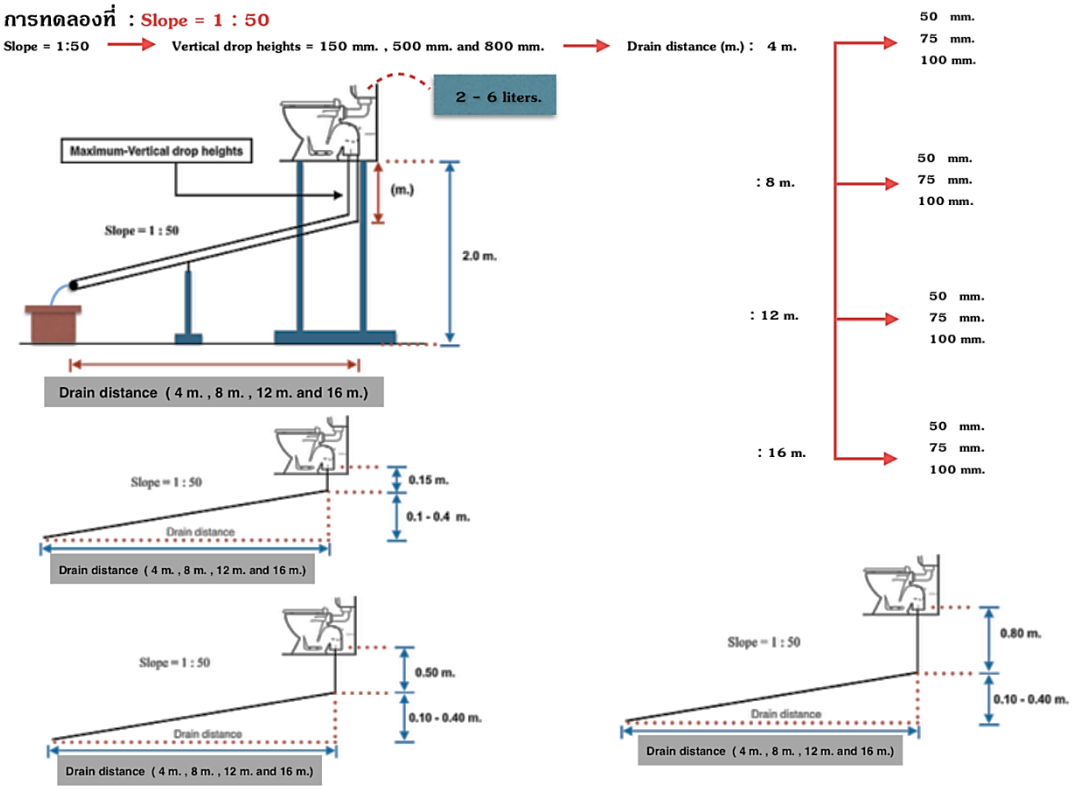
ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลอง



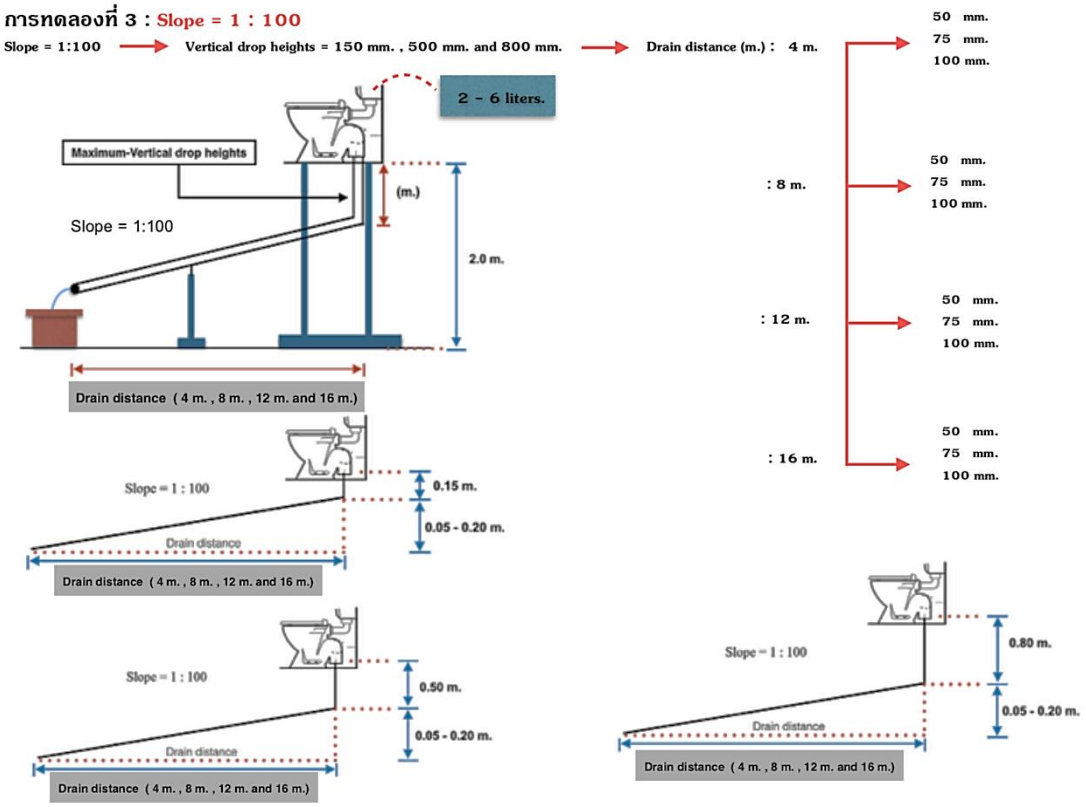
ภาพประกอบที่ 38 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายโดยไม่มีความชัน

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



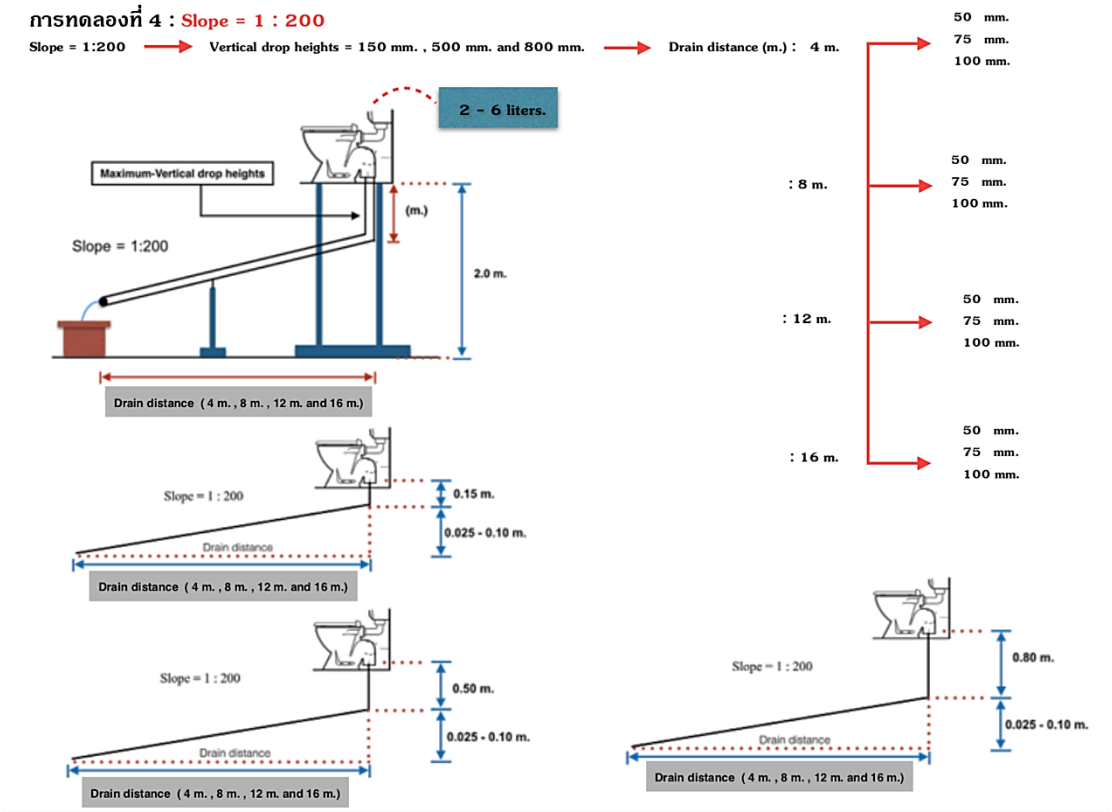
ภาพประกอบที่ 39 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:50

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



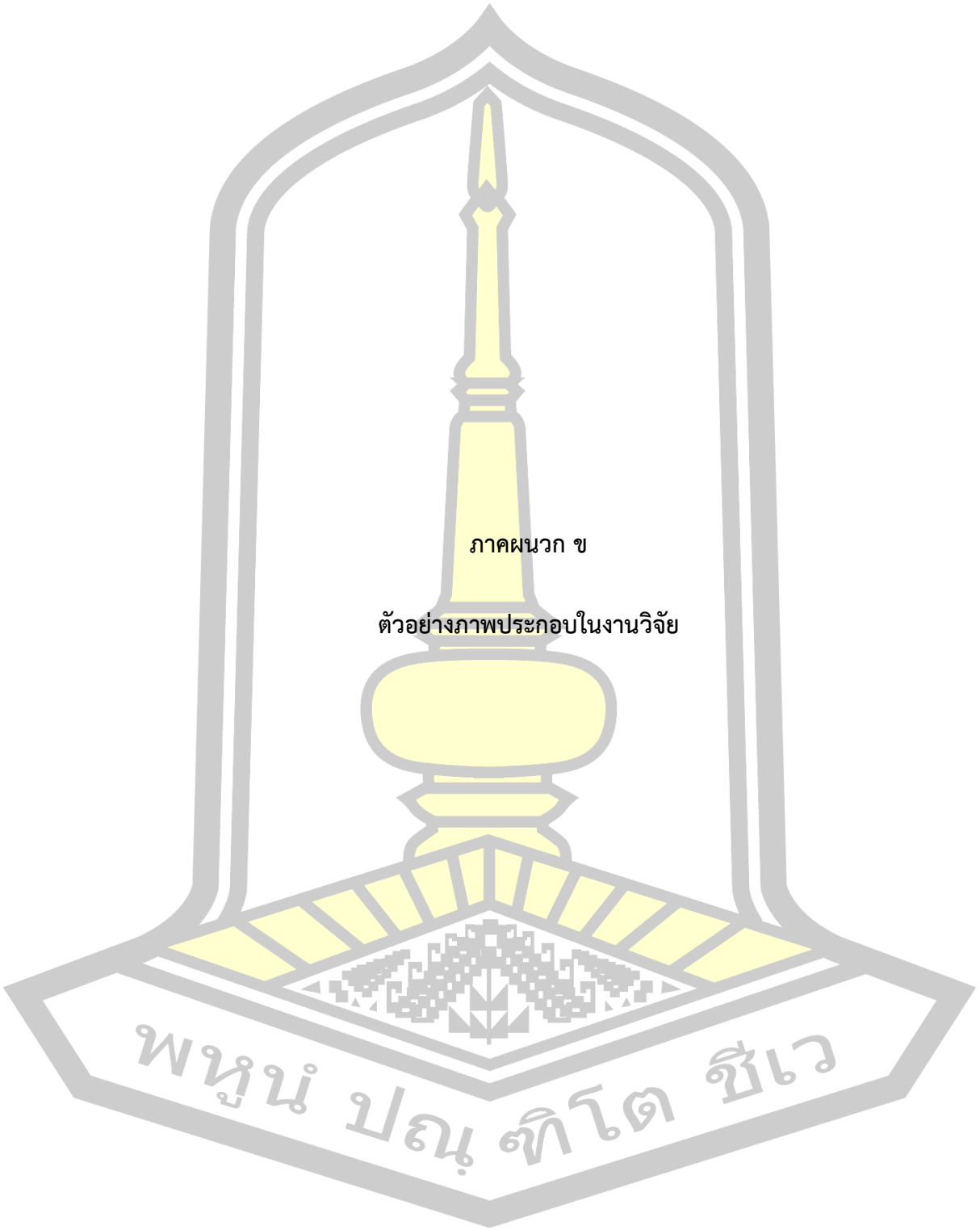
ภาพประกอบที่ 40 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:100

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 41 การออกแบบการทดลองติดตั้งท่อระบายที่ความชัน 1:200

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างภาพประกอบในงานวิจัย

ภาพประกอบที่ 42 ตัวอย่างการติดตั้งระบบท่อระบายน้ำ

ภาพประกอบที่ 43 การติดตั้งท่อพีวีซีที่หุ้มด้วยแผ่นพีวีซีใส

ภาพประกอบที่ 44 ถั่วเหลืองบดที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพประกอบที่ 45 ตัวอย่างการตกสะสมของของแข็งในท่อระบาย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอนุรักษ์ กุศลชู
วันเกิด	วันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2534
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	70/1 หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านเล่า อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสตรีชัยภูมิ 2 จังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. 2556 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ของกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี 2557 ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2558
ผลงานวิจัย	Kusolchoo, A., & Singhirunnusorn, W. (2018, 11-13 July). Investigating the role Factors Determining Drainage System Performance for Water-Efficient Toilet. Paper presented at the 10th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being 2018, Don Chan Palace Hotel & Convention, Vientiane, Lao PDR.

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีเว