

การวิเคราะห์ลักษณะการไหลในระบบอัดสารเคมีกำจัดปลวกความดันสูง

Analysis of Flow in High Pressure Termite Control System

คำนำ

ในประเทศไทยปลวกเป็นแมลงที่นับว่าเป็นศัตรูสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งโดยตรงและทางอ้อม โดยทางด้านการเกษตร ป่าไม้ซึ่งถือว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ปลวกจะเข้าทำลายต้นไม้ที่ยังไม่ตัดโค่นและที่โค่นแล้ว ทำความเสียหายแก่อาคารบ้านเรือน สิ่งก่อสร้าง เครื่องเรือน วัสดุต่างๆ ที่ทำด้วยไม้และฝ้าย เป็นต้น จากผลการสำรวจความเสียหายดังกล่าวข้างต้น ประมาณได้ว่ามีมูลค่าไม่ต่ำกว่าหนึ่งร้อยล้านบาทต่อปี นับว่าปลวกเป็นแมลงที่ทำลายเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง จึงควรมีการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการป้องกันกำจัด ซึ่งวิธีป้องกันกำจัดปลวกก็มีด้วยกันหลายวิธี โดยในงานวิจัยจะศึกษาถึงวิธีการเดินท่อติดกับคานที่อยู่ใต้พื้นบ้านซึ่งเป็นวิธีที่ดี เนื่องจากไม่ต้องเจาะพื้นบ้านเพื่ออัดสารเคมีและสะดวกในการอัดสารเคมีกำจัดปลวก แต่เป็นวิธีที่ใช้ได้เฉพาะบ้านที่สร้างใหม่เพราะต้องเดินท่อตั้งแต่ในขั้นตอนการสร้างบ้าน โดยจะฝังหัวฉีดไว้ตามท่อเพื่อให้สารเคมีกำจัดปลวกพุ่งกระจายออกมาตามหัวฉีดได้อย่างทั่วถึงคานและพื้นดินบริเวณคาน เพราะปลวกจะขึ้นบ้านตามคาน ดังนั้นก่อนการวางท่อจึงต้องมีการออกแบบระบบท่อให้สามารถฉีดสารเคมีกำจัดปลวกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยต้องทำการศึกษาเพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีดและระบบท่อทราบถึงปริมาณของสารเคมีกำจัดปลวกที่เหมาะสมกับเวลาในการอัดเคมี และความดันต่างๆ รวมถึงการกระจายตัวของสารเคมีกำจัดปลวก โดยในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำแทนสารเคมีกำจัดปลวกเพราะว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากมีการวิเคราะห์การไหลโดยการหาค่าการสูญเสียแรงดันจากหัวฉีดและข้อต่อต่างๆ จะทำให้ทราบถึงแรงดันที่เหมาะสมที่จะทำให้สารเคมีกำจัดปลวกเกิดการกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งยังนำผลการทดลองมาพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคำนวณเวลาในการอัดสารเคมี และศึกษาลักษณะการไหลของสารเคมีที่ไหลผ่านหัวฉีดภายในท่อรวมถึงลักษณะความเร็วที่บริเวณจุดต่างๆภายในท่อโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์เชิงคำนวณ FLUENT ซึ่งประโยชน์ของงานวิจัยทำให้ทราบถึงเวลาที่ใช้ในการอัดสารเคมีกำจัดปลวกจากโปรแกรมที่สร้างขึ้น ทำให้ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบผู้ประกอบการ ได้ว่าใช้ปริมาณสารเคมีกำจัด

ปลวกต่อเนื่องที่ ได้ตรงตามมาตรฐาน ที่ความดันที่เหมาะสมและสารเคมีกำจัดปลวกมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีด กรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(Side Flow) และ กรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด(Line flow) และเวลาที่ใช้ในการอัดน้ำ
2. เพื่อหาค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ทำให้กระจายตัวออกจากหัวฉีดได้อย่างทั่วถึง
3. เพื่อสามารถพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้คำนวณหาความดันที่เหมาะสม และระยะเวลาในการอัดสารเคมี โดยที่เวลาขึ้นอยู่กับความดัน ปริมาณสารเคมี และลักษณะการเดินของท่อ
4. เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำที่ไหลผ่านหัวฉีดภายในท่อและศึกษาการกระจายตัวของน้ำจากหัวฉีดที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(CFD)

ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ทำการทดลอง ส่วนที่ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม และส่วนที่ศึกษาลักษณะการไหลของน้ำโดยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

1. ส่วนของการทำการทดลองนั้นจะมีการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีด กรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(Side Flow)และ กรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด(Line flow)และหาเวลาที่ใช้อัดน้ำ โดยมีการออกแบบระบบท่อซึ่งประกอบด้วย ท่อPVC ข้อต่อ ข้องอ และหัวฉีดให้มีลักษณะเหมือนกับในงานกำจัดปลวกจริง โดยจะมีการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ทำให้การกระจายตัวอย่างทั่วถึง

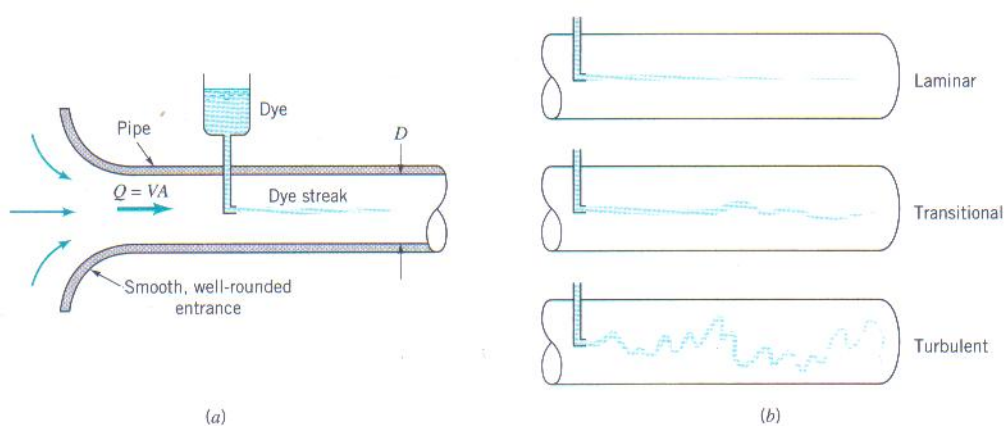
2. ส่วนที่สองจะมีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม โดยอาศัยความรู้ทางทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลเพื่อใช้ในการหาความดันและเวลาที่เหมาะสม โดยมีการนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองเพื่อให้ได้โปรแกรมที่มีความสะดวกและแม่นยำ

3. ส่วนที่สามจะใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น การศึกษาการไหลภายในท่อและการศึกษาการกระจายตัวของน้ำจากหัวฉีดที่ใช้งานปกติกับหัวฉีดที่ปรับปรุงขึ้น

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎี

Munson *et al.* (2002) อธิบายการไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน (Laminar and Turbulent flow) การไหลของของไหลภายในท่ออาจจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ก็ได้ Osborne Reynolds นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นคนแรกที่แบ่ง ชนิดการไหลทั้ง 2 นี้ โดยใช้อุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 1 และได้กล่าวว่าเมื่อน้ำ ถูกฉีดเข้าไปในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D ด้วยความเร็วเฉลี่ย v เมื่อความเร็วเฉลี่ย v มีค่าต่ำๆ จะเห็นว่าน้ำที่ถูกฉีดเข้าไปในท่อนั้นจะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง แต่เมื่อความเร็วมีค่าเพิ่มมากขึ้น น้ำที่ถูกฉีดเข้าไปในท่อจะเริ่มเคลื่อนที่แบบสั่น และที่ความเร็วของน้ำที่ถูกฉีดเข้าไปมีค่ามากจนถึงค่าหนึ่ง จะสังเกตเห็นว่าแนวการเคลื่อนที่ของน้ำที่ถูกฉีดเข้าไปจะเกิดการสั่นอย่างรุนแรง ลักษณะการไหลของของไหลทั้ง 3 แบบนี้จะถูกเรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) การไหลแบบ Transition และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการไหลของของไหลทั้ง 3 แบบ

ที่มา: Munson *et al.* (2002)

สำหรับการจำแนกลักษณะการไหลของของไหลทั้ง 3 แบบดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถจำแนกได้จากตัวเลข Reynolds (Reynolds number ; Re) โดย

$$Re = \rho v D / \mu \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ค่าความหนาแน่น

v คือ ค่าความเร็ว

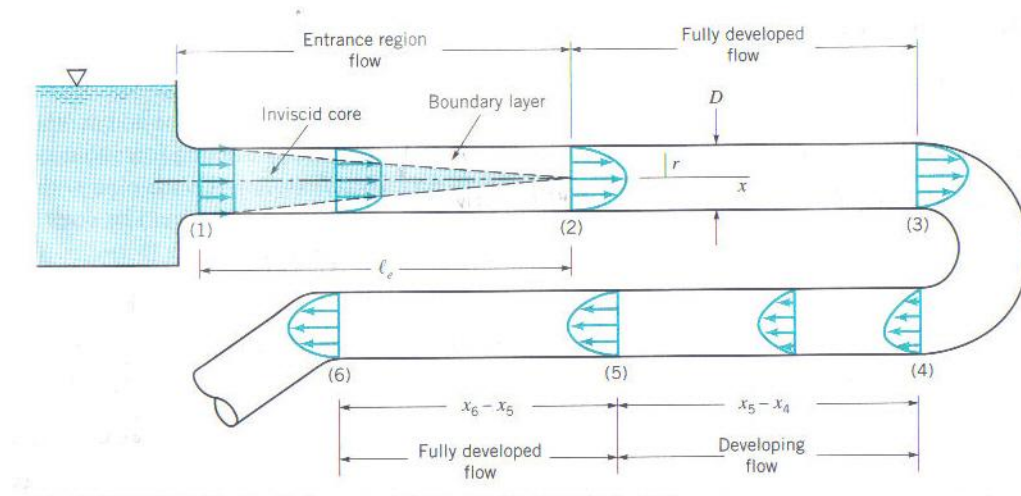
D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

μ คือ ค่าความหนืดตามชนิดของของไหล

การไหลของของไหลภายในท่อกลมที่มีค่า Reynolds number ต่ำกว่า 2100 จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ(Laminar) ส่วนการไหลของของไหลภายในท่อกลมที่มีค่า Reynolds number อยู่ระหว่าง 2100 ถึง 4000 จะเป็นการไหลแบบ Transition และการไหลของของไหลภายในท่อกลมที่มีค่า Reynolds number มากกว่า 4000 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน(Turbulent)

การไหลของของไหลภายในท่อบริเวณช่วงเข้าท่อและบริเวณการไหลพัฒนาเต็มท่อ
(Entrance Region and Fully Developed Flow)

การไหลของของไหลภายในท่อจะต้องมีตำแหน่งที่ของไหลเข้ามาภายในท่อที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ที่บริเวณที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ของไหลไหลเข้ามาภายในท่อ จะถูกเรียกว่า Entrance Region อันเป็นบริเวณที่ การกระจายตัวของความเร็ว(Velocity Profile) นั้นเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยตลอดบริเวณ อันเนื่องมาจากแรงเฉือนที่ผิวของท่อ อันก่อให้เกิดชั้นซิดผิว(Boundary layer) โดยชั้นซิดผิวจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ เมื่อของไหลไหลภายในท่อจนถึงระยะทางหนึ่ง ชั้นซิดผิวจะมาบรรจบกันเกิดเป็นบริเวณการไหลพัฒนาเต็มท่อ(Fully Developed flow) ซึ่งลักษณะของการกระจายตัวของความเร็วจะคงรูปร่าง ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยตรงกลางของท่อจะมีความเร็วสูงที่สุด ซึ่งความเร็วจะมีค่าลดลงตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวโดยรอบของท่อ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงบริเวณ Entrance region ,developing flow และ fully developed flow สำหรับการไหลของของไหลภายในท่อ

ที่มา: Munson *et al.*(2002)

สำหรับค่าความยาวของช่วง Entrance Region สามารถคำนวณออกมาได้ โดยมีค่าแตกต่างกันระหว่างการไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน โดย

$$l_e = 0.06Re \times D \quad \text{สำหรับการไหลแบบราบเรียบ} \quad (2)$$

$$l_e = 4.4D(Re)^{1/6} \quad \text{สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน} \quad (3)$$

ในการวิเคราะห์การไหลภายในท่อ ค่าความดัน ความเร็ว และคุณสมบัติต่างๆ ที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับของไหลที่ไหลภายในท่อสามารถทราบได้จากการใช้สมการพลังงาน(Energy Equation)

$$P_1/\gamma + v_1^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + v_2^2/2g + Z_2 + H_L \quad (4)$$

โดยที่ P_1 คือ ความดันของจุดที่ 1

v_1 คือ ค่าความเร็วของจุดที่ 1

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก

Z_1 คือ ค่าความสูงของจุดที่ 1 กับระนาบอ้างอิง

P_2 คือ ความดันของจุดที่ 2

v_2 คือ ค่าความเร็วของจุดที่ 2

Z_2 คือ ค่าความสูงของจุดที่ 2 กับระนาบอ้างอิง

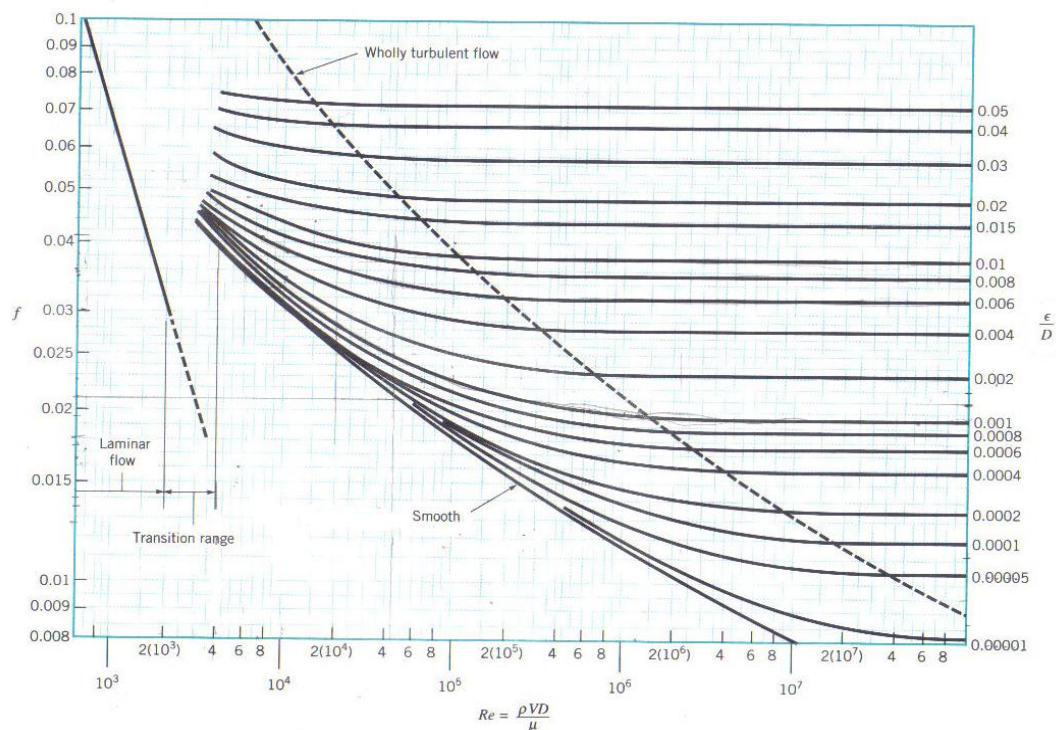
H_L คือ ค่าการสูญเสียแรงดัน

สำหรับ Head Loss(H_L) นั้นถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Major Loss คือการสูญเสียแรงดัน อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล และความขรุขระของผิวท่อ โดยจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการไหลในท่อ โดย

$$\text{Major Loss} = (f \times l \times v^2) / 2Dg \quad (5)$$

ซึ่ง l คือความยาวท่อและ f คือ ตัวประกอบความเสียดทาน(friction factor) ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก moody chart (ภาพที่ 3) และค่าของ f มีค่าขึ้นอยู่กับ Reynolds number และค่า ϵ/D (Relative Roughness) ของท่อกลมและค่า Equivalent Roughness (ϵ) สามารถหาค่าได้จากภาพที่ 4



ภาพที่ 3 Moody chart ที่ใช้ในการหาค่า friction factor

ที่มา: Munson *et al.*(2002)

Pipe	Equivalent Roughness, ϵ	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.00005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

ภาพที่ 4 ตารางแสดงค่า Equivalent Roughness(ϵ) สำหรับท่อใหม่
ที่มา: Munson *et al.*(2002)

2. Minor Loss คือการสูญเสีย แรงดัน อันเนื่องมาจากการที่ของไหลไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบท่อ เช่น วาล์ว ข้อต่อ หรือการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดภายในระบบท่อ ฯลฯ โดย

$$\text{Minor Loss} = (K_L \times v^2) / 2g \quad (6)$$

ซึ่งค่าของ K_L จะเป็นค่าคงที่สำหรับอุปกรณ์ตัวหนึ่งๆ และค่า K_L เป็นค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างของอุปกรณ์นั้นๆ ดังแสดงในภาพที่ 5

■ TABLE 8.2

Loss Coefficients for Pipe Components ($h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$) (Data from Refs. 5, 10, 27)

Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded	0.08	
*e. Valves		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, 1/4 closed	0.26	
Gate, 1/2 closed	2.1	
Gate, 3/4 closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, 1/3 closed	5.5	
Ball valve, 2/3 closed	210	

*See Fig. 8.36 for typical valve geometry

ภาพที่ 5 ตารางการหาค่า loss Coefficient(K_L) ของอุปกรณ์ต่างๆ

ที่มา: Munson *et al.*(2002)

วงจรชีวิตและวิธีการกำจัดปลวก

สสวท. (2547) ปลวกเป็นแมลงที่มีชื่อเรียกภาษาอังกฤษว่า เทอร์ไมต์(Termite) หรือบางทีเรียกว่ามดสีขาว (White ant)จัดเป็นแมลงในอันดับไอโซอปเทอร่า(Order Isoptera) ในอันดับนี้มีปลวกวงศ์ใหญ่อยู่ 3 วงศ์ คือ วงศ์ Kalotermitidae วงศ์ Termitidae และวงศ์ Rhinotermitidae

ปลวกที่เป็นภัยร้ายแรงต่อสิ่งก่อสร้างและส่วนประกอบของอาคารบ้านเรือนที่ทำด้วยวัสดุไม้มี 2 ประเภทคือ ปลวกไม้แห้ง(Drywood termites) ดังแสดงในภาพที่ 6 เป็นปลวกที่สามารถดำรงชีวิตได้ในเนื้อไม้ที่แห้งสนิท เมื่อปลวกกัดกินเนื้อไม้จะทิ้งมูลมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเมล็ดฝิ่นออกจากรูที่มีขนาดเล็ก ซึ่งทำลายวัสดุที่ทำด้วยไม้ในอาคารบ้านเรือนและปลวกใต้ดิน (Subterranean termites)ดังแสดงในภาพที่ 7 เป็นปลวกที่อาศัยอยู่ใต้ดินเกือบตลอด อายุของมันและนับเป็นประเภทที่เป็นภัยร้ายแรงต่ออาคาร และสิ่งก่อสร้างเพราะความเสียหายที่เกิดจากปลวกพวกนี้มีถึง 95%ปลวกจะขึ้นมาหาอาหารโดยการทำท่อทางเดินหรืออุโมงค์ด้วยดินเพื่อใช้เป็นทางเดินไปยังแหล่งอาหาร เช่น ตามผิวไม้ คอนกรีต สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ตามรอยแตกหรือช่องระหว่างพื้นบ้านกับพื้นดิน ปลวกอาศัยอยู่รวมกันเป็นสังคม ในแต่ละสังคมแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ตามรูปร่างและหน้าที่การทำงาน คือ ปลวกแม่รังและพ่อรัง (ปลวกราชินี-ราชา หรือปลวกตัวเมียและตัวผู้) ปลวกทหารและปลวกกรรมกร ปลวกตัวเมียและตัวผู้คือปลวกที่มีปีกบินได้ เราเรียกว่า แมลงเม่าซึ่งจะออกมาบินเล่นไฟในช่วงก่อนฝนตก มีหน้าที่กระจายพันธุ์และจัดตั้งสังคมหรือรังใหม่ เมื่อแมลงเม่าผสมพันธุ์กันแล้วสลัดปีกหลุดจะมุดตัวลงในดินเพื่อวางไข่และสร้างรังต่อไป ปลวกตัวเมียจะพัฒนาตัวเองเป็นปลวกแม่รัง ทำหน้าที่ผสมพันธุ์และวางไข่เพียงอย่างเดียว ปลวกคู่แรกที่ทำหน้าที่เป็นราชินีและราชาของรังบางตัวมีอายุได้นานเกือบ 25 ปี และวางไข่ได้มากถึงวันละ 30,000 ฟอง ความสามารถในการวางไข่จะขึ้นอยู่กับจำนวนปลวกกรรมกรในขณะที่ไข่เจริญเป็นตัวอ่อนและตัวแก่ภายในระยะ 30-50 วันนั้น ปลวกราชินีจะเป็นตัวควบคุมตัวอ่อนให้พัฒนาบทบาทเป็นแบบต่างๆ คือ เป็นตัวผู้-ตัวเมีย เป็นปลวกกรรมกร หรือปลวกทหาร



ภาพที่ 6 ปลวกไม้แห้ง

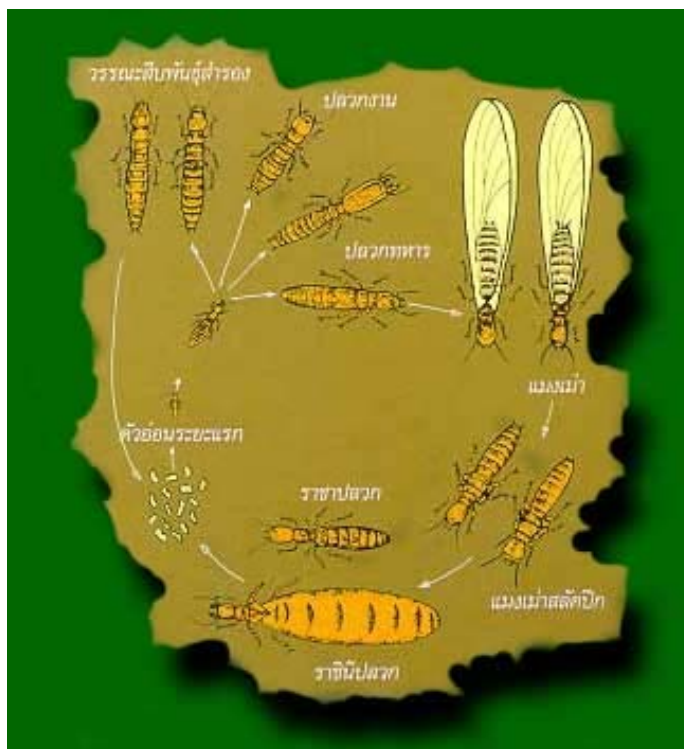
ที่มา: ศสวท. (2547)



ภาพที่ 7 ปลวกใต้ดิน
ที่มา: สสวท. (2547)

ปลวกกรรมกรมีปริมาณมากที่สุดกว่า 90% นั้นลักษณะไม่มีปีก ส่วนปากมีขากรรไกรแบบฟันเลื่อยเหมาะสำหรับตัดไม้ เจาะไม้ สิ่งก่อสร้างต่างๆ มีหน้าที่สร้างซ่อมแซมรัง หาอาหารเลี้ยงดู ปลวกอื่นๆ ปลวกกรรมกรจะเป็นหมัน ผสมพันธุ์และสืบพันธุ์ไม่ได้ ปลวกทหาร ซึ่งมีจำนวนน้อยมากจะมีลักษณะที่แตกต่างจากปลวกกรรมกร คือ มีหัวโตผิดปกติ ไม่มีตาที่มองเห็นได้ ส่วนของปากมีขากรรไกรขนาดใหญ่รูปลักษณะคล้ายคีมหรือดาบ เหมาะสำหรับการต่อสู้แต่ไม่สามารถใช้ตัดหรือเจาะได้จึงมีหน้าที่ต่อสู้เพื่อป้องกันอันตรายให้ปลวกภายในรัง โดยเฉพาะศัตรูสำคัญ คือ มด เมื่อศัตรูทำลายทางเดินหรือรัง มันจะเอาส่วนหัวที่โตอุดช่องโหว่หรือขับไล่ศัตรูจนกว่าปลวกกรรมกรจะทำการซ่อมรังเรียบร้อย ปลวกทหารบางชนิดสามารถกลั่นของเหลวที่มีพิษเป็นกรดเหนียวๆ ออกจากส่วนหัวของมัน เมื่อมดมาถูก็จะเหนียวติดและหมดกำลังนอกจากนี้กรดที่ปลวกทหารกลั่นออกมายังใช้ในการเจาะโลหะและหินปูนได้ดีอีกด้วย จึงเห็นได้ว่า ปลวกจะแบ่งแยกหน้าที่กันอย่างชัดเจนในลักษณะแมลงสังคมชนิดหนึ่ง ปลวกมีการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว ปลวกตัวผู้และตัวเมียในรัง ที่มีอายุ 3 ปี จะกระจายพันธุ์ไปนอกรังเพื่อจัดตั้งรังใหม่ปีละ 1-2 ครั้ง ระหว่างต้นฤดูฝนหลังฝนตกใหม่ๆ โดยบินจากรังเก่าในลักษณะแมลงเม่า ผสมพันธุ์แล้วสลัดปีกมุดลงดินเพื่อสร้างรังใหม่ วงเวียนกันเช่นนี้ ดังนั้นปลวกจึงมีจำนวนมากและเป็นปัญหาใหญ่ยากที่จะกำจัดให้หมดไปได้โดยง่าย วิธีการที่ทำได้คือการป้องกันไม่ให้ปลวกก่อความเสียหายแก่ทรัพย์สินต่างๆ เท่านั้น อาหารหลักของปลวก คือ เซลลูโลสที่ได้จากเนื้อไม้ การกัดทำลายสิ่งของที่มี เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบก็เพื่อนำมาใช้เป็นอาหารและที่อยู่อาศัย นอกจากนี้ซากปลวกหรือวัตถุเหลวๆ ตามตัวปลวกยังใช้กินเป็นอาหารได้ นิষของปลวกใช้การสื่อสารโดยสัมผัสกันตลอด

เวลาจึงเป็นช่องทางหนึ่งในการกำจัดปลวก หากปลวกได้สัมผัสสารพิษที่ใช้กำจัด จะถ่ายทอดสารพิษติดต่อถึงกัน โดยง่ายและจะทำให้ปลวกตายทั้งหมดได้



ภาพที่ 8 วงจรชีวิตของปลวก

ที่มา: สสวท. (2547)

สุทธยา (2547) ได้พัฒนาระบบกำจัดปลวกและแมลง ในรูปแบบระหว่างการปลูกสร้าง 3 ระบบ โดยที่ระบบแรกเป็นระบบวางท่อหัวฉีด 360 องศา (Termite Control System: T.C. System) ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งเป็นระบบป้องกันการกำจัดปลวกใต้พื้นอาคารระหว่างก่อสร้าง โดยมีการติดตั้งหัวฉีดพิเศษสามารถที่จะพ่นเคมีใต้พื้นบ้านอาคาร ได้มาก พร้อมออกแบบติดตั้งตามโครงสร้างของบ้าน (ตามแบบแปลนคานาคอดิน) และระบบที่ 2 จะเป็นระบบวางท่อหัวฉีด 180 องศา ทุกระยะ 0.50 เมตร (Pipe Treatment : P.T. System) ดังแสดงในภาพที่ 10 เป็นระบบวางท่ออัดน้ำยาเข้าไปใต้พื้นอาคารระหว่างก่อสร้าง สามารถควบคุมป้องกันอาคารจากการรุกรานทำลายของปลวกได้ตลอดชั่วอายุบ้าน (ระบบนี้จะเหมาะสมกับโครงสร้างของอาคารที่ถมดินเต็ม ก่อนเทพื้น) และระบบสุดท้ายจะเป็นระบบฉีดพ่นและอัดน้ำยาป้องกันปลวกครอบคลุมพื้นที่ได้ 100% (Soil Treatment System & Pointer: S.T.S.) ดังแสดงในภาพที่ 11 คือการป้องกันปลวกในอาคารซึ่งกำลังอยู่ในระหว่างก่อสร้าง การอัดและฉีดพ่นน้ำยาป้องกันปลวกที่มีฤทธิ์ตกค้างยาวนานลงดิน จะสามารถ

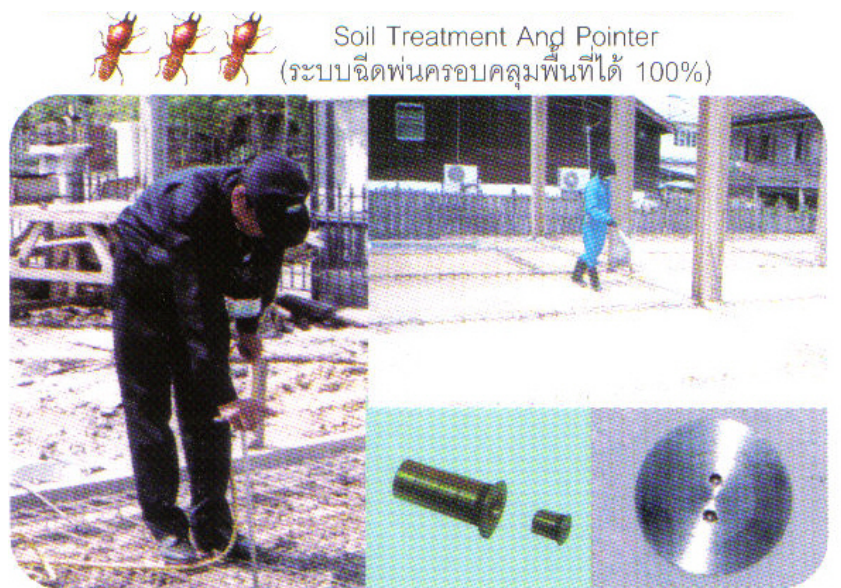
กระทำได้อย่างทั่วถึงทุกจุดบริเวณภายในและภายนอกรอบๆ ตัวอาคาร ส่วนอาคารปลูกสร้างเสร็จแล้วจะมีการฝังหมุด(Pointer Treatment System) ในพื้นบ้านตามจุดที่เหมาะสมเพื่อสะดวกในการเติมน้ำยา โดยไม่ต้องเจาะพื้นใหม่



ภาพที่ 9 แสดงการติดตั้งระบบ TERMITE CONTROL SYSTEM
ที่มา: สุทธิยา (2547)



ภาพที่ 10 แสดงการติดตั้งระบบ PIPE TREATMENT SYSTEM
ที่มา: สุทธิยา (2547)



ภาพที่ 11 แสดงระบบ SOIL TREATMENT SYSTEM & POINTER
ที่มา: สุทธิยา (2547)

กองบรรณาธิการหนังสือ For QUALITY (2547) กล่าวถึงการป้องกันกำจัดปลวก โดยแบ่งเป็นการกำจัดระหว่างก่อสร้างบ้านและในบ้านที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว การใช้สารเคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือนซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่สำคัญ 4 กลุ่มและชนิดของวัตถุอันตรายที่ถูกควบคุมตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 และการเลือกซื้อและเลือกใช้วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านเรือน

บริษัท ADVANCE SERVICE (2547) แนะนำระบบการวางท่อ(RETRICULATION SYSTEM) ดังแสดงในภาพที่ 12 เป็นระบบป้องกันปลวกแบบถาวรที่สามารถป้องกันการรุกรานทำลายของปลวกได้ตลอดชั่วอายุของตัวอาคาร โดยการอัดน้ำยาเคมีผ่านเข้าท่อเข้าไปใต้พื้นอาคารด้วยการอัดสารเคมีชนิดน้ำเข้าท่อ PTT 1 โดยท่อ PTT1จะมีการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี การประปา งานการเกษตร สนามกอล์ฟ เหมืองแร่ ท่อร้อยสายไฟ สายเคเบิล ท่อส่งแก๊สธรรมชาติ ท่อน้ำทิ้ง เป็นต้น ท่อจะมีน้ำหนักเบากว่าท่อเหล็กประมาณ 5 เท่าของท่อเหล็ก สามารถโค้งงอได้ 20-40 เท่า ไม่หักงอ หรือแตกร้าวจากการทรุดตัวของพื้นดิน สามารถทนต่อแสงแดด เพราะมีสารป้องกันแสงแดด ทำให้ไม่กรอบแตก ท่อต่อแรงกระแทก แรงกดทับต่างๆ จากการฝังดินได้ดี นอกจากนี้ท่อชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นกลางทางเคมีจึง

ทนต่อกรด ด่าง ได้ดี ดังนั้นไม่ว่าจะติดตั้งใต้ดิน หรือน้ำทะเล จึงไม่มีการผุกร่อน หรือเป็นสนิม และผิวภายในท่อมีความเรียบมัน จึงมีความเสียดทานต่ำ ทำให้ของเหลวสามารถไหลผ่านท่อได้สะดวก สามารถทนต่อแรงดันได้สูงถึง 259.86 psi (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือ 18.3 บาร์ต่อตารางนิ้ว และสามารถทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี แม้สภาวะที่ร้อนจัด หรือเย็นจัด เหมาะสำหรับอาคารที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง โดยใส่หัวปล่อยสารเคมีตามรูที่เจาะระยะห่างต่อจุดประมาณ 1 เมตร โดยความยาวของท่อ PTT 1 จะเท่ากับ 20 เมตรต่อหัวอัดสารเคมี



ภาพที่ 12 ภาพแสดงการติดตั้งระบบ RETRICULATION SYSTEM
ที่มา: บริษัท ADVANCE SERVICE (2547)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ปืนความดันสูงขนาด 6.5 แรงม้า
2. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร
3. หัวฉีด 180 องศา
4. มาตรวัดความดัน
5. วาล์วน้ำ
6. ถังน้ำขนาด 200 ลิตร
7. อุปกรณ์ในการสร้างระบบท่อ เช่น ข้อต่อ ข้องอต่างๆ
8. อุปกรณ์เก็บข้อมูล
9. เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Pentium4(2.8 GHz)
10. เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์(Laser Printer)
11. โปรแกรมการสร้างแบบจำลอง Solid Works
12. โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT
13. โปรแกรม Visual Basic
14. โปรแกรม Gambit

สมมติฐาน

1. งานวิจัยนี้จะใช้น้ำทำการทดลองแทนสารเคมีกำจัดปลวก เพราะในการกำจัดปลวกจะใช้สารเคมีที่ใช้กำจัดปลวกผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่น้อยมาก
2. หัวฉีดแต่ละหัวมีอัตราการไหลเท่ากัน

วิธีการ

การทดลองได้ถูกออกแบบเป็น 4 ส่วน คือในส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีด สำหรับส่วนที่สอง คือ การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลต่อหัวฉีดที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของน้ำจากหัวฉีด ส่วนที่สาม คือ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์และในส่วนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์ลักษณะการไหลของสารเคมีกำจัดปลวกภายในท่อที่มีหัวฉีดฝังอยู่ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

1. การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีด กรณีน้ำไหลออกหัวฉีด (Side Flow) และ กรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด (Line flow)

การทดลองนี้จำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดออกเป็น 2 กรณี เนื่องจากการไหลของน้ำที่ไหลออกหัวฉีดและไหลผ่านหัวฉีด จะมีค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีดที่แตกต่างกัน จึงต้องมีรูปแบบการทดลองที่ต่างกันดังนี้ คือ

1.1 กรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(Side flow)

เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลออกหัวฉีดเพียงอย่างเดียว โดยการทดลองได้ถูกออกแบบให้น้ำถูกอัดโดยปั้มน้ำแรงดันสูง ซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์เบนซิน ขนาด 6.5 แรงม้า ต่อกับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบสร้างความดันได้ประมาณ 2 บาร์เข้าสู่ระบบท่อ ในการทดลองจะทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกดังแสดงในภาพที่ 13 ทั้งนี้ในการคำนวณค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีดจะทำได้ เมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ(Q)ได้จากสมการ

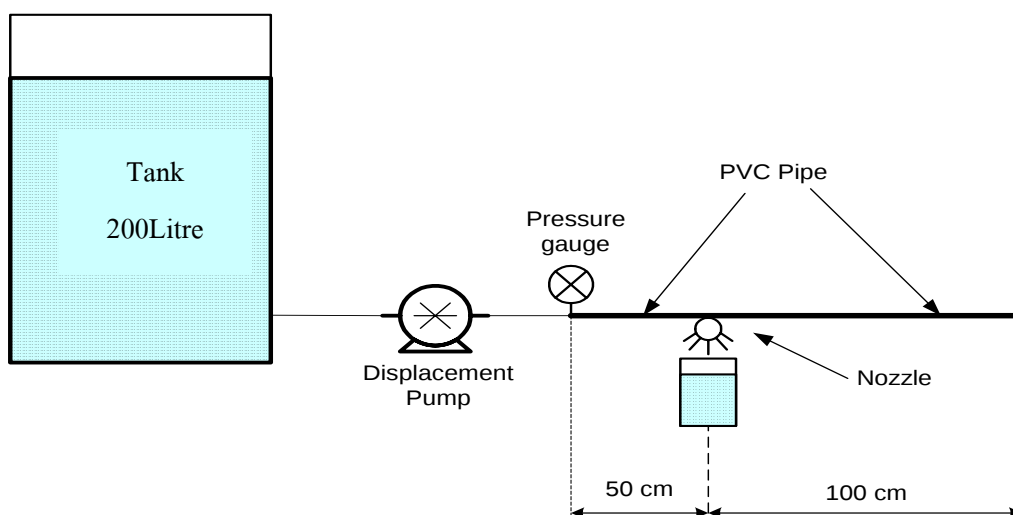
$$Q = V / t \quad (7)$$

โดย V คือ ปริมาตรของน้ำ และ t คือ เวลาในการอัดน้ำ และความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายในท่อ(v) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v = Q / A \quad (8)$$

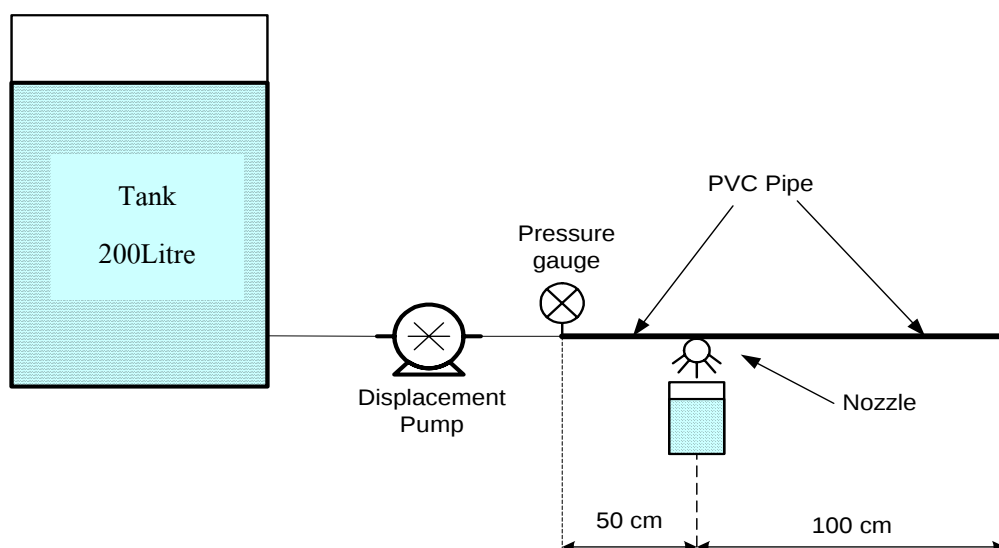
โดยเราสามารถหาอัตราการไหลได้จากการวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากหัวฉีด และทำการจับเวลาและสามารถคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number ; Re) ได้จากสมการ (1) ค่าการสูญเสียแรงดันภายในท่อ(Major loss) สามารถคำนวณได้จากสมการ (5) ค่าการสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ(Minor Loss) สามารถคำนวณได้จากสมการ (6) ซึ่งได้แบ่งรูปแบบการทดลองย่อยออกเป็น 4 รูปแบบดังนี้

การทดลองรูปแบบที่ 1 น้ำจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรจะถูกอัดความดันโดยใช้ปั๊มผ่านท่อตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ซึ่งชุดมาตรวัดความดันถูกนำมาติดตั้งที่บริเวณทางเข้าท่อตรง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งหัวฉีด 180 องศา ห่างจากชุดมาตรวัดความดันเป็นระยะ 50 เซนติเมตร โดยอัดที่ความดัน 1 บาร์เป็นรูปแบบการทดลองดังภาพที่ 13



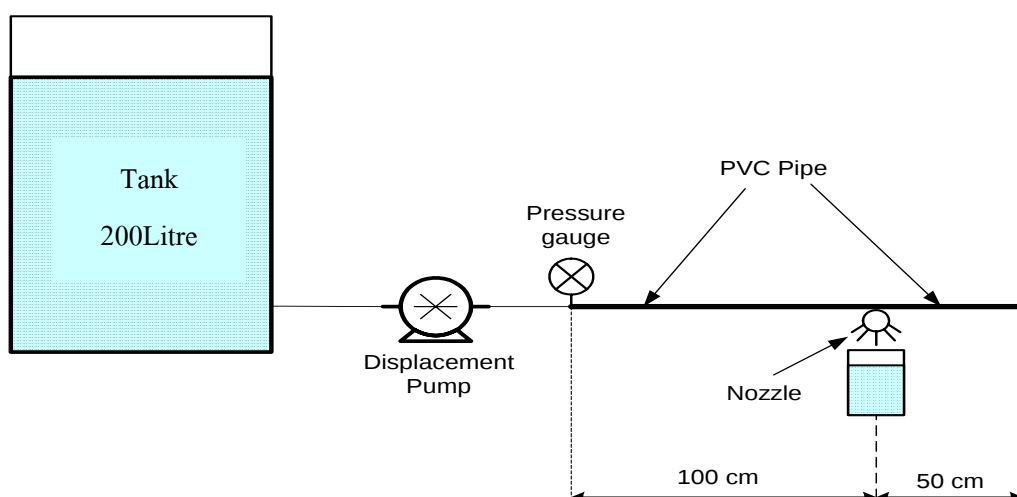
ภาพที่ 13 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีด
กรณีน้ำไหลออกหัวฉีดสำหรับการทดลองรูปแบบที่ 1

การทดลองรูปแบบที่ 2 น้ำจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรจะถูกอัดความดันโดยใช้ปั๊มผ่านท่อตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ซึ่งชุดมาตรวัดความดันถูกนำมาติดตั้งที่บริเวณทางเข้าท่อตรง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งหัวฉีด 180 องศา ห่างจากชุดมาตรวัดความดันเป็นระยะ 50 เซนติเมตร โดยอัดที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นรูปแบบการทดลองดังภาพที่ 14



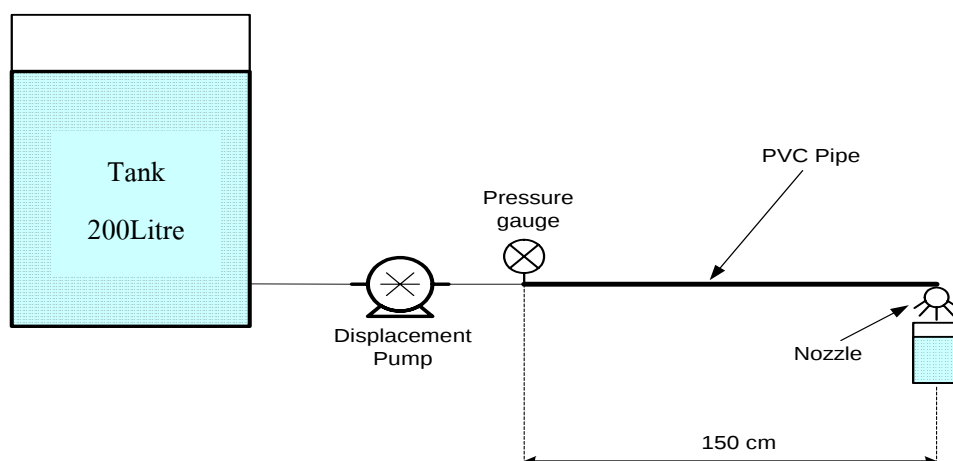
ภาพที่ 14 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีด
กรณีน้ำไหลออกหัวฉีดสำหรับการทดลองรูปแบบที่ 2

การทดลองรูปแบบที่ 3 น้ำจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรจะถูกอัดความดันโดยใช้ปั๊มผ่านท่อตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ซึ่งชุดมาตรวัดความดันถูกนำมาติดตั้งที่บริเวณทางเข้าท่อตรง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งหัวฉีด 180 องศา ห่างจากชุดมาตรวัดความดันเป็นระยะ 100 เซนติเมตร โดยอัดที่ความดัน 1 บาร์เป็นรูปแบบการทดลองดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีด
กรณีน้ำไหลออกหัวฉีดสำหรับการทดลองรูปแบบที่ 3

การทดลองรูปแบบที่ 4 น้ำจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรจะถูกอัดความดันโดยใช้ปั๊มผ่านท่อตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ซึ่งชุดมาตรวัดความดันถูกนำมาติดตั้งที่บริเวณทางเข้าท่อตรง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งหัวฉีด 180 องศา ห่างจากชุดมาตรวัดความดันเป็นระยะ 1.5 เมตร โดยอัดที่ความดัน 1 บาร์เป็นรูปแบบการทดลองดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีด
กรณีน้ำไหลออกหัวฉีดสำหรับการทดลองรูปแบบที่ 4

ในการทดลองจะทำการวัดอัตราการไหลของน้ำเมื่อไหลผ่านหัวฉีด โดยเดินเครื่องสูบน้ำที่ค่าความดันช่วงเข้าท่อค่าต่างๆ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผล เช่น ค่าความดันช่วงเข้าท่อโดยติดตั้งมาตรวัดความดันไว้ที่ทางเข้าท่อ เพื่อวัดค่าความดันช่วงเข้าท่อ(ภาพที่ 17) เวลาที่ใช้ในการอัดน้ำและปริมาตรน้ำที่ใช้อัด หลังจากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลออกหัวฉีดได้



ภาพที่ 17 แสดงการติดตั้งชุดมาตรวัดความดันช่วงเข้าท่อ

1.2 กรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด (Line flow)

สถานที่ที่ใช้ในการทำการทดลองระบบกำจัดปลวก คือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นสถานที่ที่จำลองขึ้นจากสถานที่จริง(ภาพที่ 18) โดยรูปแบบการทดลองจะจำลองมาจากรูปแบบที่ใช้งานจริง ซึ่งส่วนใหญ่การติดตั้งท่อPVCจะมี 2 รูปแบบคือ วงจรเดี่ยวและ2วงจร

การทดลองในรูปแบบนี้จำเป็นต้องเดินปั้มน้ำแรงดันสูง(ภาพที่ 19)ไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ก่อนเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว(น้ำไหลเต็มภายในท่อทั้งระบบ) จากนั้นจึงทำการจับเวลา เทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ไป ทำแบบนี้ในทุกรูปแบบของระบบท่อ โดยเดินเครื่องสูบน้ำที่ค่าความดันช่วงเข้าท่อค่าต่างๆ แล้วบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผล เช่น ค่าความดันช่วงเข้าท่อ เวลาที่ใช้ในการอัด ปริมาณน้ำที่ใช้อัด หลังจากนั้นจึงนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีด



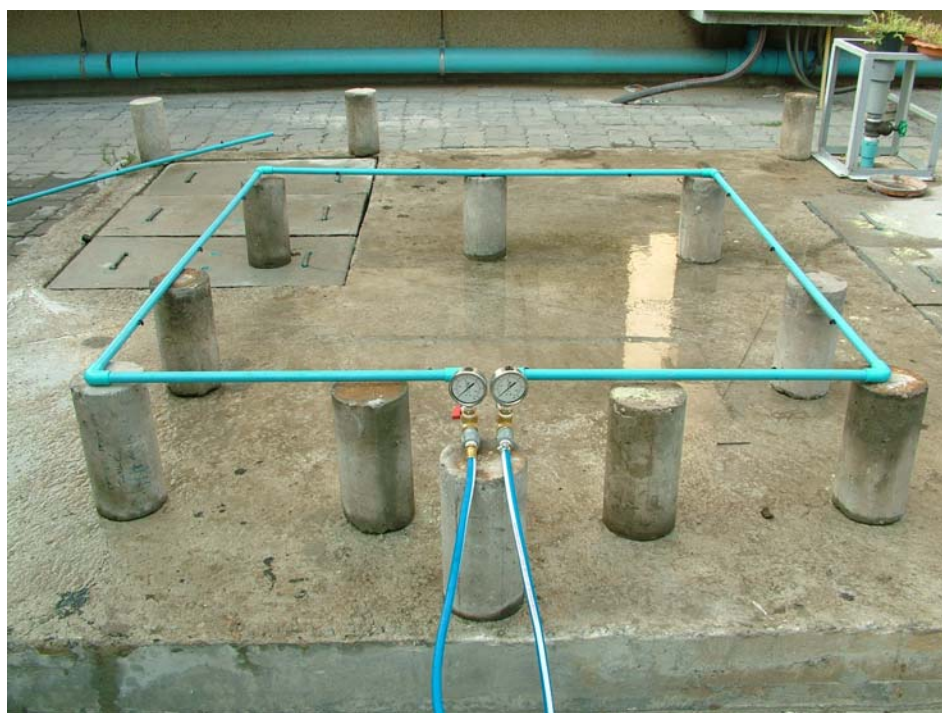
ภาพที่ 18 ลักษณะการเดินท่อในงานจริง



ภาพที่ 19 แสดงการเตรียมปั้มน้ำแรงดันสูงที่ต่อเข้ากับถังน้ำ 200 ลิตร

การทดลองนี้เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดและเวลาที่ใช้ในการอัดน้ำ ในการทดลองนี้จึงออกแบบการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 20, 21 และ 22 และนำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่า $K_{L(\text{Line})}$ โดยใช้สมการ(26)

การทดลองรูปแบบที่ 1 อัดน้ำทางเดียวโดยใช้ความดัน 0.5 บาร์ในวงจรที่มีหัวฉีดจำนวน 13 หัวฉีด ข้องอ 6 อัน ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 1 (จำนวนหัวฉีด 13 หัวฉีด ความดัน 0.5 บาร์ อัดทางเดียว)

การทดลองรูปแบบที่ 2 อัดน้ำสองทางโดยใช้ความดัน 0.8 บาร์ในวงจรที่มีหัวฉีดจำนวน 13 หัวฉีด ข้องอ 6 อัน ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด
สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 2 (จำนวนหัวฉีด 13 หัวฉีด ความดัน 0.8 บาร์ อัดสองทาง)

การทดลองรูปแบบที่ 3 อัดน้ำทางเดียวโดยใช้ความดัน 0.34475 บาร์ในวงจรที่มีหัวฉีด
จำนวน 27 หัวฉีด ข้องอ 14 อัน ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด
สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 3 (จำนวนหัวฉีด 27 หัวฉีด ความดัน 0.34475 บาร์ อัดสองทาง)

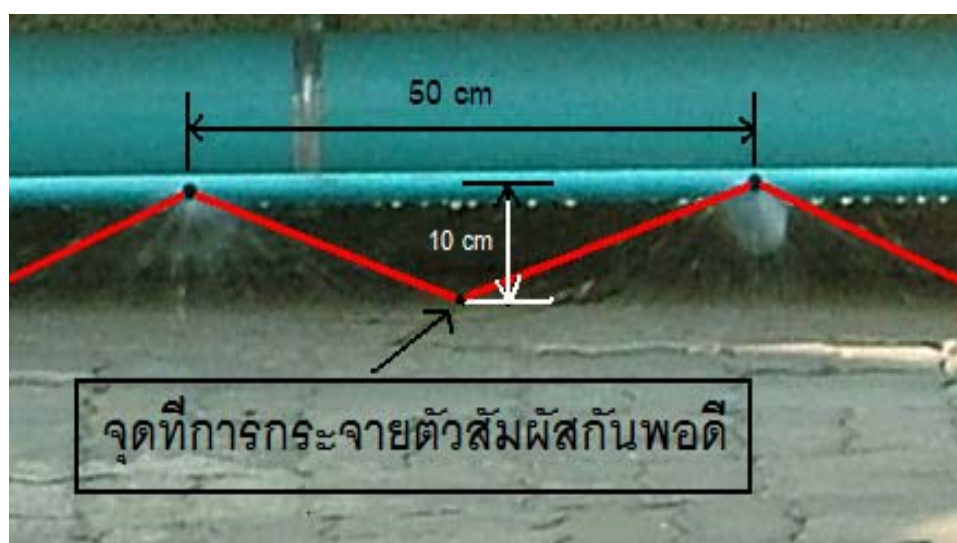
2. การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลต่อหัวนิตที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของน้ำ

ระบบกำจัดปลวกที่มีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องมีการกระจายตัวของสารเคมีเมื่อไหลผ่านหัวนิตอย่างเหมาะสม เพื่อให้สารเคมีกำจัดปลวกครอบคลุมพื้นที่สำคัญทั้งหมด การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราการไหลของของไหลที่เหมาะสมเมื่อไหลผ่านหัวนิต โดยการกระจายตัวของน้ำเมื่อไหลผ่านหัวนิต จะกระจายตัวออกเป็นลักษณะดังภาพที่ 23 เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น การกระจายตัวก็จะมากขึ้นไปด้วย การกระจายตัวจะต้องดูจากมุมที่น้ำกระจายออกจากหัวนิตซึ่งสามารถบันทึกภาพแล้วนำมาคำนวณได้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งทางผู้ประกอบการส่วนใหญ่ได้กำหนดระยะความสูงจากระบบท่อสู่พื้นที่อัดสารเคมีไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร เนื่องจากเหตุผลทางด้านความแข็งแรงของการติดตั้ง ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ทำให้การกระจายตัวของน้ำระหว่างหัวนิตหนึ่งมายังอีกหัวนิตหนึ่งมาชนกันพอดีที่ความสูงจากพื้น 10 เซนติเมตร จำเป็นที่จะต้องมีการทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมดังกล่าว

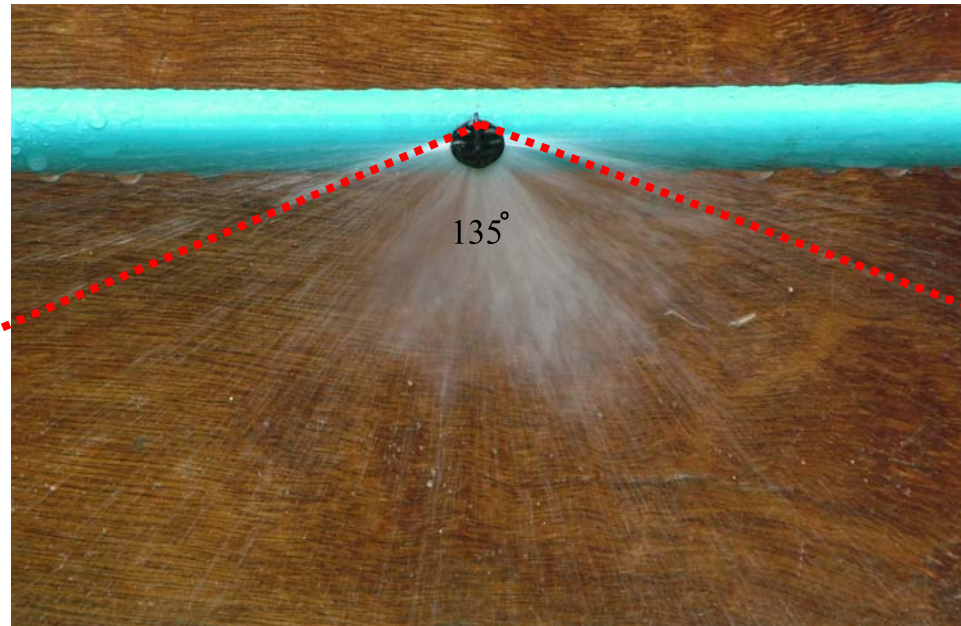


ภาพที่ 23 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของน้ำเมื่อไหลผ่านหัวนิต

โดยรูปแบบการทดลองจะทำการทดลองกับระบบท่อที่จำลองขึ้นโดยติดตั้งหัวฉีดไว้ 2 หัวฉีด กับท่อตรง วัดระยะจากพื้น 10 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะความสูงที่ผู้ประกอบการกำจัดปลวก นิยมติดตั้ง เมื่อเดินปั๊ม น้ำทั้งหมดจะไหลออกจากหัวฉีดด้วยอัตราการไหลเท่าๆกัน หลังจากเมื่อเร่งปั๊มโดยการเพิ่มความเร็วยกขึ้นเพื่อให้อัตราการไหลต่อหัวฉีดเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของน้ำที่ไหลผ่านหัวฉีดก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนกระทั่งการกระจายตัวของน้ำทั้ง 2 หัวฉีดสัมผัสกันพอดี ดังแสดงในภาพที่ 24 อัตราการไหลที่ได้ นั่นคือค่าอัตราการไหลต่อหัวฉีดเหมาะสมต่อการกระจายตัวของหัวฉีด จึงนำปิกเกอร์เข้าไปรองเพื่อวัดปริมาตร พร้อมทั้งจับเวลาเพื่อนำมาคำนวณ นอกจากนั้นแล้วค่าอัตราการไหลต่อหัวฉีดเหมาะสมต่อการกระจายตัวของหัวฉีดที่คำนวณได้มา จะนำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าความดันที่เหมาะสมสำหรับการอัดสารเคมีกำจัดปลวก ค่าการสูญเสียทั้งหมด (Total head loss) และอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับระบบท่อนั้นๆ และภาพที่ 25 แสดงมุมการกระจายตัวของน้ำที่ออกจากหัวฉีด ซึ่งน้ำมีการกระจายตัว เท่ากับ 135 องศา



ภาพที่ 24 แสดงการจัดวางอุปกรณ์เพื่อทดลองหาค่าอัตราการไหลเหมาะสมต่อการกระจายตัวของหัวฉีด



ภาพที่ 25 แสดงมุมการกระจายตัวของหัวฉีด

3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเวลาและความดันที่เหมาะสม

3.1 การสร้างสมการ

เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำภายในระบบท่อสารเคมีกำจัดปลวกจะมีค่าลดลงเมื่อมีการไหลผ่านหัวฉีดแต่ละหัว ส่งผลให้ค่าต่างๆของการไหลเปลี่ยนแปลงไป โดยหัวฉีดแต่ละหัวจะถูกติดตั้งห่างกันเป็นระยะ 50 ซม. ถ้ากำหนดให้อัตราการไหลของสารเคมีผ่านหัวฉีดแต่ละหัวมีค่า Q_N และหัวฉีดแต่ละหัวมีอัตราการไหลผ่านหัวฉีดเท่ากัน ดังนั้นถ้าความยาวของระบบท่อของระบบอัดสารเคมีกำจัดปลวก L เมตร ท่อจะต้องมีอัตราการไหลของสารเคมีภายในท่อ $mQ_N \text{ m}^3/\text{s}$ เมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดหัวแรก อัตราการไหลของน้ำภายในท่อจะมีค่าเท่ากับ $mQ_N - Q_N \text{ m}^3/\text{s}$ เมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดตัวที่ 2 อัตราการไหลของน้ำภายในท่อจะมีค่าเท่ากับ $mQ_N - 2Q_N \text{ m}^3/\text{s}$ และ เมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดตัวที่ i (หัวฉีดตัวสุดท้าย) อัตราการไหลของน้ำภายในท่อจะมีค่าเท่ากับ

$$mQ_N - iQ_N = 0 \quad (9)$$

นั่นคือ จะต้องไม่มีน้ำเหลืออยู่ในท่อเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดตัวสุดท้าย เมื่อ m คือจำนวนหัวฉีดทั้งหมดในระบบท่ออัดสารเคมีกำจัดปลวก

ดังนั้นจะสามารถนำมาเขียนสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำภายในท่อเมื่อไหลผ่านหัวฉีด กับจำนวนหัวฉีดได้ดังนี้

$$Q_{pi} = Q_N(m - i) \quad (10)$$

โดย Q_{pi} คืออัตราการไหลของน้ำภายในท่อเมื่อไหลผ่านหัวฉีดจำนวน i หัว

Q_N คืออัตราการไหลของน้ำของหัวฉีด 1 หัวฉีด

L คือความยาวท่อทั้งหมดของระบบท่ออัดสารเคมีกำจัดปลวก

i คือหมายเลขของหัวฉีด

ดังนั้นความเร็วของการไหลภายในท่อเมื่อไหลผ่านหัวฉีด i หัวฉีด

$$v_{pi} = Q_{pi}/A = [Q_N(m - i)] / (\pi D_p^2/4) = [4Q_N(m - i)]/\pi D_p^2 \quad (11)$$

โดย v_{pi} คือความเร็วของน้ำภายในท่อเมื่อไหลผ่านหัวฉีด i หัว

D_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

จากสมการที่ (5) สามารถนำมาคำนวณหาสมการของ Total Major loss สำหรับการไหลของน้ำภายในท่อโดยนำ v_{pi} จากสมการ(11)แทน v ในสมการ(5)ได้ดังนี้

$$H_{L(p)} = \sum_{i=1}^m [(f_i \times L \times v_{pi}^2)/(2 \times g \times D_p)] = (1/(2D_p \cdot g)) \cdot \sum_{i=1}^m (f_i \times v_{pi}^2) \quad (12)$$

แล้ว

$$v_{Pi} = [4Q_N \cdot (m-i)]/(\pi \cdot D_p^2)$$

$$= (v_i/m) \times (m-i)$$

$$= v_i[(m-1)/m] \quad (13)$$

โดย v_i คือความเร็วของน้ำเมื่อไหลเข้าระบบท่ออัดสารเคมีกำจัดปลวก

เมื่อนำสมการ(13)แทนลงในสมการ(12)จะได้

$$H_{L(P)} = (1 \times v_1^2) / (2D_p \cdot g) \cdot \sum_{i=0}^m \{ f_i [(m-i)/m]^2 \} \quad (14)$$

$$\text{จาก } f_i = 0.316 / Re^{0.25} = 0.316 / [\rho v_{Pi} D_p / \mu]^{0.25} = 0.316 \{ \rho v_1 [(m-i)/m] D_p / \mu \}^{-0.25} \quad (15)$$

นำค่าจากสมการ(15)แทนลงในสมการ(14)จะได้

$$H_{L(P)} = 0.316 \times 1 \times v_1^{1.75} / (2g \times D_p^{1.25}) \times (\rho / \mu)^{-0.25} \times \sum_{i=0}^m [(m-i)/m]^{1.75} \quad (16)$$

จากพจน์ $\sum_{i=0}^m [(m-i)/m]^{1.75}$ สามารถลดรูปโดยการหาสมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

$$\sum_{i=0}^m [(m-i)/L]^{1.75} \text{ กับจำนวนหัวฉีด}(m) \text{ จะได้เป็น } 1.22224m + 1.727$$

แทนค่าจะได้ในสมการ(16)จะได้

$$H_{L(P)} = 0.316 \times 1 \times v_1^{1.75} / (2g \times D_p^{1.25}) (\rho / \mu)^{-0.25} [1.22224m + 1.727] \quad (17)$$

และสมการของ Total Minor loss สำหรับการไหลของน้ำภายในข้องอ 90° สามารถเขียนได้ดังนี้

$$H_{L(EL)} = \sum_{j=1}^n [(K_{L(EL)} \times v_{Pj}^2) / 2g] = (K_{L(EL)} / 2g) \sum_{j=1}^n v_{Pj}^2 \quad (18)$$

เมื่อ j คือ หมายเลขข้องอจากทั้งหมด n ตัว และ v_{Pj} คือความเร็วของการไหลภายในท่อเมื่อผ่านข้องอตัวที่ j

จากสมการ (10) ถ้าให้ m_j คือ จำนวนหัวฉีดของระบบก่อนถึงข้องอ 90° ตัวที่ j

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Q_{Pj} = mQ_N - m_j Q_N$$

จาก

$$v_{pj} = Q_p/A_p = 4Q_N(m - m_j)/\pi D_p^2$$

และจาก

$$Q_p = mQ_N = A_p v_1 = \pi D_p^2 v_1/4$$

จะได้ว่า

$$v_{pj} = v_1 (1 - (m_j/m)) \quad (19)$$

ถ้านำเอาสมการ (19) แทนลงในสมการ (18) จะได้เป็น

$$H_{L(EL)} = (v_1^2 K_{L(EL)}/2g) \sum_{j=1}^n (1 - (m_j/m))^2 \quad (20)$$

ในการหาค่าแรงดันสูญเสียกรณีน้ำไหลออกจากหัวฉีดจึงทำการแปลงสมการการสูญเสียแรงดันรอง ให้อยู่ในรูปแบบของอัตราการไหลแทนความเร็ว คือเปลี่ยน $H_{L(Side)} = K_{L(Side)}(v_N)^2/2g$ มาเป็น $H_{L(Side)} = [(Q_N)^2/2g][K_{L(Side)}/(A_i)^2]$ โดย A_i คือพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดที่ทางเข้า เมื่อคิดจากตำแหน่งที่คิดมาตรวัดความดัน มายังตำแหน่งที่น้ำไหลออกจากหัวฉีด จะพบว่า $(v_2)^2/2g$ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปอัตราการไหลได้คือ $(Q_N)^2/2g(A_0)^2$ โดย A_0 คือพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดที่ทางออก

$$H_{L(Side)} = m[(Q_N)^2/2g][K_{L(Side)}/A_i^2] \quad (21)$$

ดังนั้นเมื่อรวม $(v_2)^2/2g$ กับ minor loss จะได้เป็น

$$(v_2)^2/2g + \text{minor loss} = m[(Q_N)^2/2g][K_{L(Side)}/A_i^2 + 1/A_0^2] \quad (22)$$

ในการหาค่าแรงดันสูญเสียกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด

$$H_{L(Line)} = \sum_{i=1}^m i^2 \cdot (Q_N^2/2g)[K_{L(Line)}/A_p^2] \quad (23)$$

เนื่องจากแรงดันสูญเสียจากหัวฉีดมี 2 กรณีดังนั้นแรงดันสูญเสียรวม คือสมการ(21)+(23)

$$H_{L(N)} = H_{L(Line)} + H_{L(Side)}$$

$$= \sum_{i=1}^m i^2 \cdot (Q_N^2/2g)[K_{L(Line)}/A_p^2] + m[(Q_N)^2/2g][K_{L(Side)}/(A_i)^2] \quad (24)$$

$$\text{จาก } Q_N = Q_i/m = A_p v_i/m$$

$$H_{L(N)} = \sum_{i=1}^m i^2 \cdot (A_p v_i/m)^2/2g[K_{L(Line)}/A_p^2] + m[(A_p v_i/m)^2/2g][K_{L(Side)}/A_i^2] \quad (25)$$

จากสมการที่ได้มาสามารถเขียนรวมให้อยู่ในรูปของสมการพลังงาน คือ

$$P_1/\gamma + (v_1)^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + (v_2)^2/2g + Z_2 +$$

$$0.316 \times 1 \times v_1^{1.75}/(2g \times D_p^{1.25})(\rho/\mu)^{-0.25}[1.22224m + 1.727] +$$

$$(v_1^2 K_{L(EL)}/2g) \sum_{j=1}^n (1-(m_j/m))^2 +$$

$$\sum_{i=1}^m i^2 \cdot (A_p v_i/m)^2/2g[K_{L(Line)}/A_p^2] + m[(A_p v_i/m)^2/2g][K_{L(Side)}/A_i^2] \quad (26)$$

$$\text{แต่เพื่อความสะดวกในการใช้โปรแกรมจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงพจน์ } (v_1^2 K_{L(EL)}/2g) \sum_{j=1}^n (1-(m_j/m))^2$$

ให้มีรูปแบบที่ง่ายในการป้อนค่าจำนวนข้องอ โดยสามารถปรับปรุงได้เป็น

$$(v_1^2/2g).K_{L(EL)} + (v_1^2/4g).K_{L(EL)}(n-1) \quad (27)$$

เพราะฉะนั้นสมการที่จะนำไปพัฒนาโปรแกรมคือ

$$P_1/\gamma + (v_1)^2/2g + Z_1 = P_2/\gamma + (v_2)^2/2g + Z_2 +$$

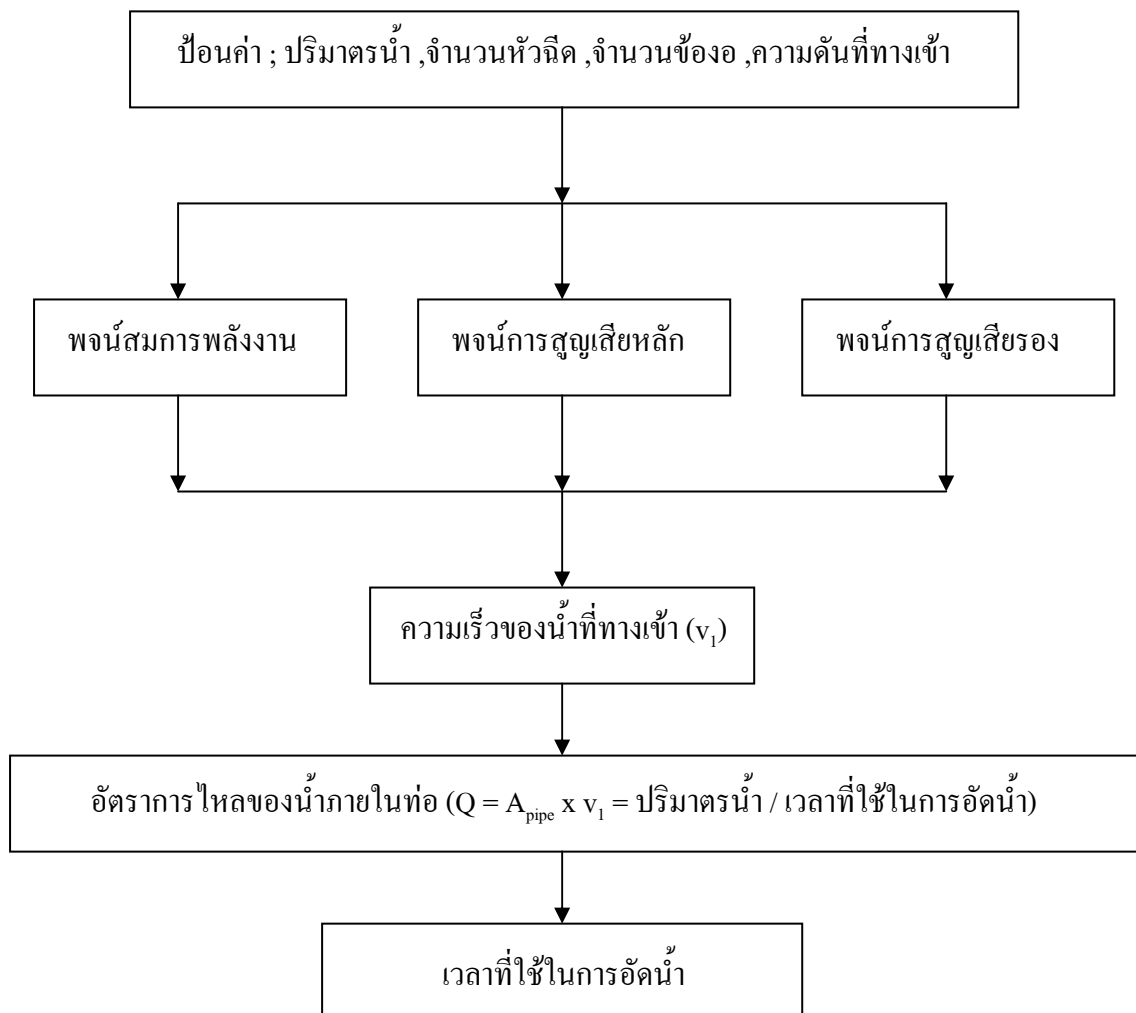
$$0.316 \times 1 \times v_1^{1.75}/(2g \times D_p^{1.25})(\rho/\mu)^{-0.25}[1.22224m + 1.727] +$$

$$(v_1^2/2g).K_{L(EL)} + (v_1^2/4g).K_{L(EL)}(n-1)$$

$$\sum_{i=1}^m i^2 \cdot (A_p v_1 / m)^2 / 2g [K_{L(Line)} / A_p^2] + m [(A_p v_1 / m)^2 / 2g] [K_{L(Side)} / A_i^2] \quad (28)$$

3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

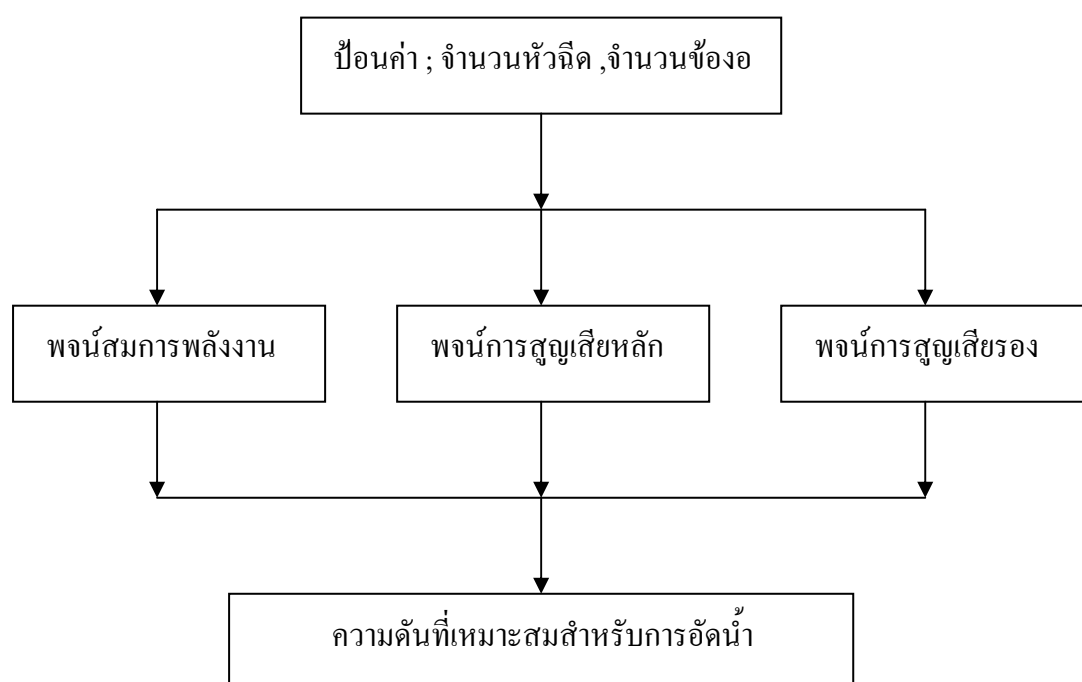
3.2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณเวลาในการอัดสารเคมีกำจัดปลวก ได้ใช้โปรแกรม Visual Basic version 6.0 ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณเวลาในการอัดน้ำ

โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นจะรับเอาค่าตัวแปรเริ่มต้น(Input) ได้แก่ ปริมาตรสารเคมี จำนวน หัวฉีด จำนวนข้อต่อ ความดันที่ทางเข้า มาแทนค่าเข้าไปยังพจน์ต่างๆดังที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าความเร็วของน้ำที่ทางเข้า (v_1) ออกมา จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณเพื่อหาค่าของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ ($Q = A_{\text{pipe}} \times v_1 = \text{ปริมาตรสารเคมี} / \text{เวลาที่ใช้ในการอัดสารเคมี}$) และเวลาที่ใช้ในการอัดน้ำออกมา

3.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าความดันที่เหมาะสมสำหรับการอัดสารเคมี
การจัดปลอก ค่าการสูญเสียทั้งหมด(Total head loss) และอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับระบบท่อนั้นๆได้ใช้โปรแกรม Visual Basic version 6.0 ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าความดันที่เหมาะสม

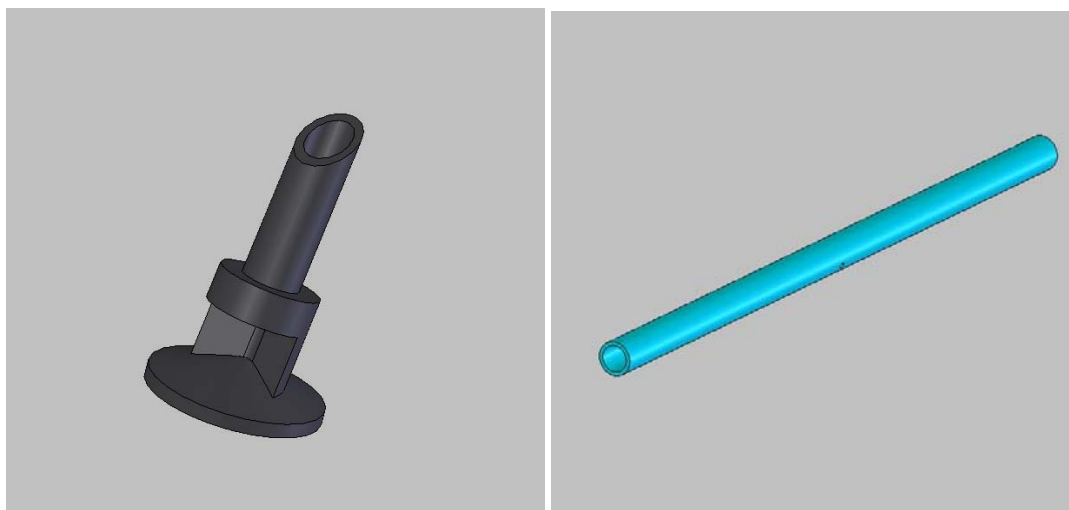
โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นจะรับเอาค่าตัวแปรเริ่มต้น(Input) ได้แก่ จำนวนหัวฉีด จำนวนข้อต่อ มาแทนค่าเข้าไปยังพจน์ต่างๆดังที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าความดันที่เหมาะสม

4. การวิเคราะห์การไหลในระบบท่อและหัวฉีดโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

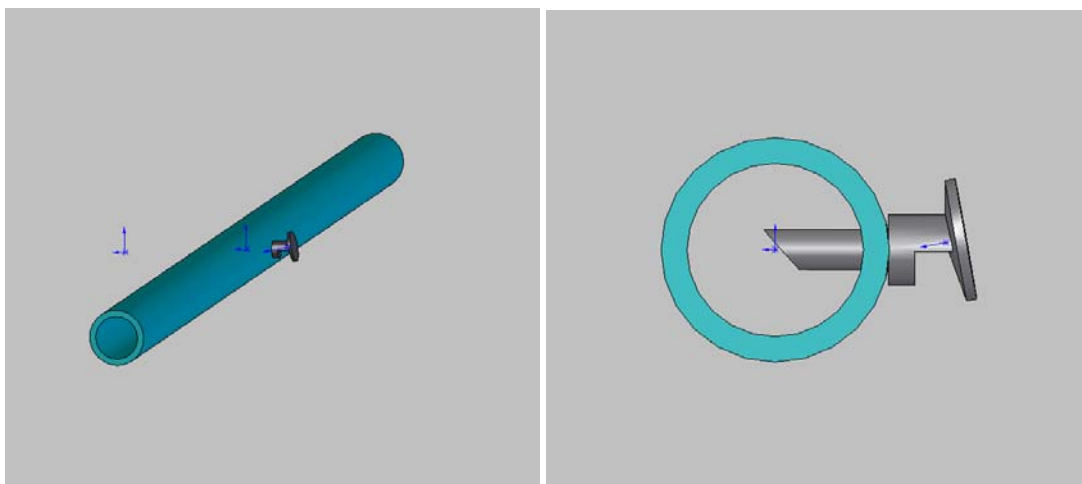
สำหรับการวิเคราะห์การไหลภายในระบบท่อและหัวฉีดจะใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อจำลองการไหลและให้ทราบถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการกระจายความดันและความเร็วของน้ำที่ไหลภายในท่อ

4.1 การวิเคราะห์การไหลภายในท่อ

แบบจำลองรูปแบบของหัวฉีดและท่อน้ำได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Solid Works ดังภาพที่ 28 โดยมีการเจาะรูที่บริเวณผิวท่อเพื่อทำการติดตั้งหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 29

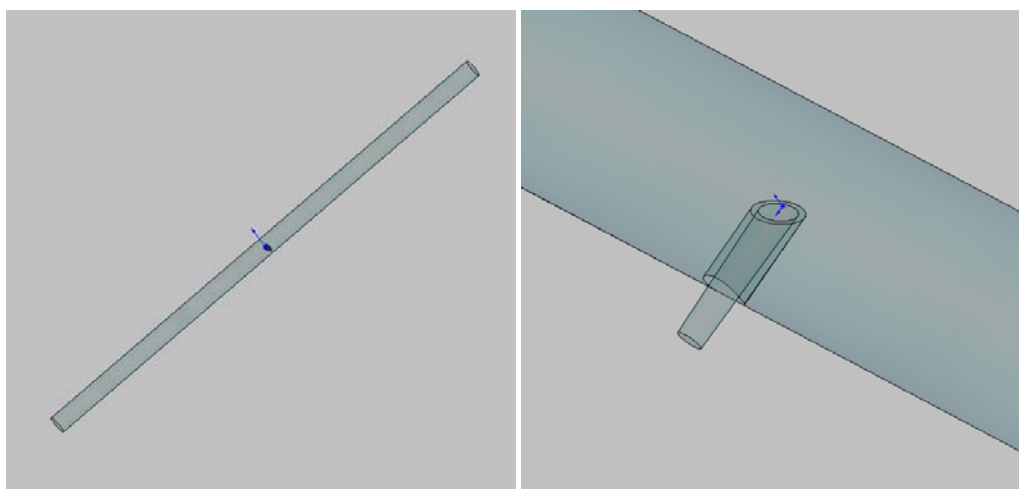


ภาพที่ 28 แบบจำลองของหัวฉีดและท่อ



ภาพที่ 29 แบบจำลองหัวฉีดที่ประกอบกับท่อ

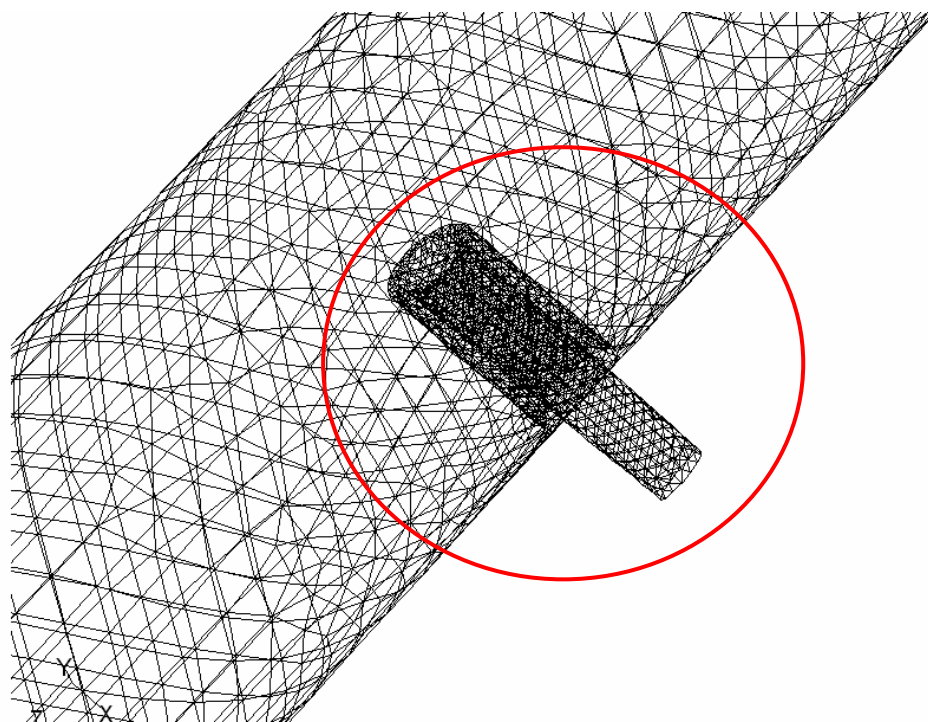
แบบจำลองของก้อนน้ำที่ไหลในท่อและที่ผ่านหัวฉีดสามารถจำลองได้โดยใช้แบบจำลองหัวฉีดที่ประกอบกับท่อแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 30



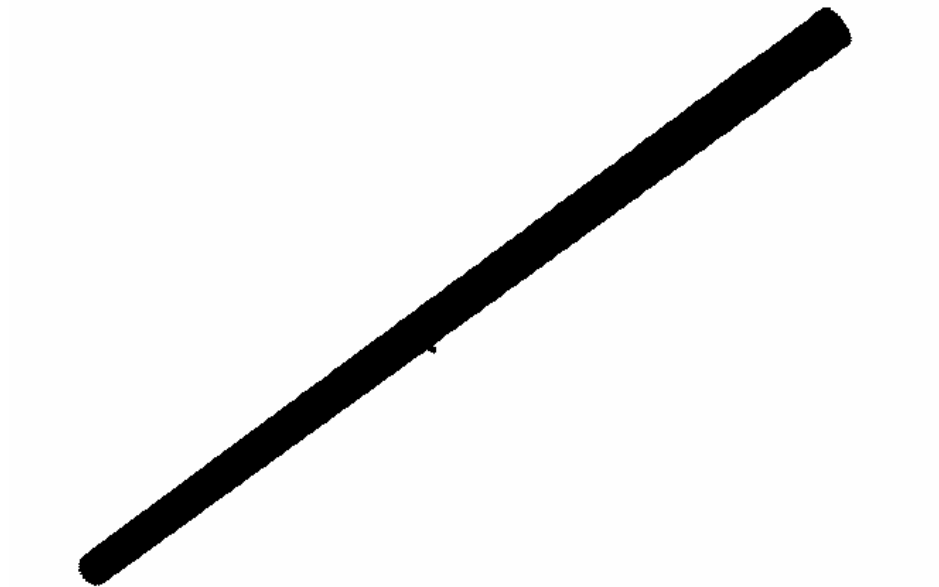
ภาพที่ 30 แบบจำลองของก้อนน้ำ

ก้อนน้ำที่ได้นี้ถูกนำไปสร้างโดเมนของการไหลในโปรแกรม GAMBIT โดยการสร้างตาข่ายข้อมูล(mesh) โดยเส้นตารางเหล่านี้จะตัดกันที่จุดต่อ(grid or node) ซึ่งมีการสร้างตาข่ายข้อมูลที่ละเอียดที่ผิวบริเวณหัวฉีดแบบ Quad/Tri ชนิด Pave ด้วย Interval size ขนาด 0.5 ดังภาพที่ 31 ในขณะที่ก้อนน้ำส่วนที่เหลือจะมีการสร้างตาข่ายข้อมูลแบบ Tet/Hybrid ชนิด TGrid ด้วย

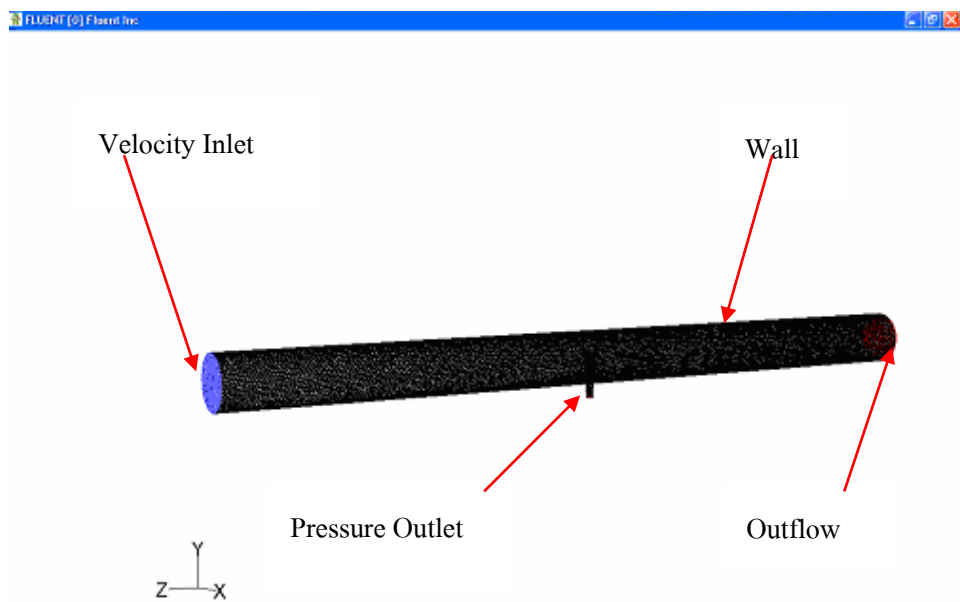
Interval size ขนาด 2 ดังนั้น จำนวนจุดแสดงข้อมูลของการไหลจะมีจำนวนทั้งสิ้น 110,963 ดังภาพที่ 32 และนอกจากนี้ ยังมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการไหล โดยกำหนดให้ที่บริเวณทางเข้าของก๊อนน้ำมีความเร็วที่ทางเข้า 0.14 เมตรต่อวินาที บริเวณทางออกของก๊อนน้ำกำหนดให้เป็น Outflow ในขณะที่ทางออกที่บริเวณหัวฉีดกำหนดให้เป็น Pressure Outlet ให้ความดันเท่ากับศูนย์ ด้านที่เหลือทั้งหมดกำหนดให้เป็น Wall ดังแสดงในภาพที่ 33 และ 34



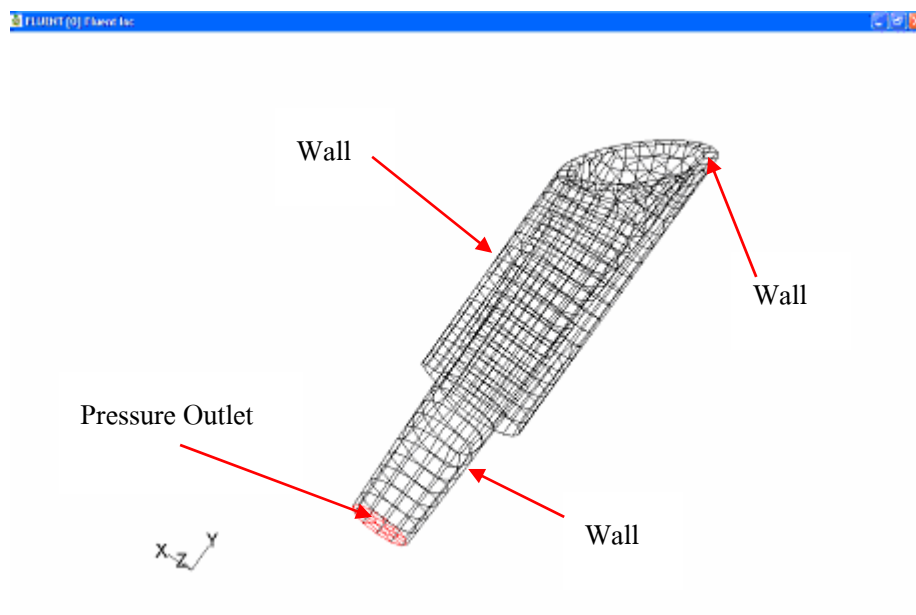
ภาพที่ 31 ตาข่ายข้อมูล (mesh) ที่ผิวบริเวณหัวฉีด



ภาพที่ 32 ตาข่ายข้อมูล (mesh) ปริมาตรน้ำในท่อทั้งหมด



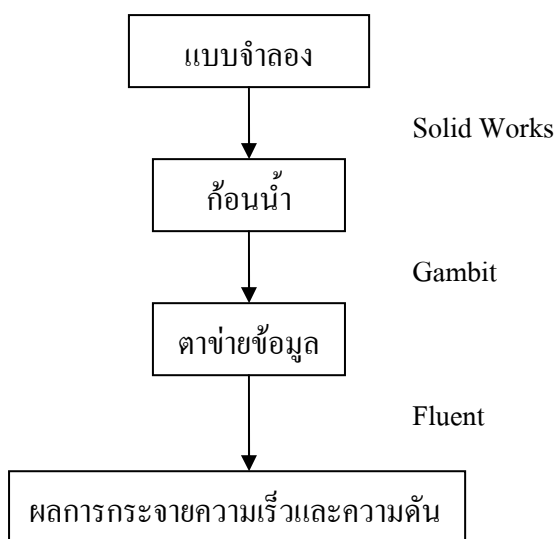
ภาพที่ 33 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต



ภาพที่ 34 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบริเวณหัวฉีด

ก่อนนำที่ได้มีการทำตาข่ายข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแล้วจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด(Finite Volume) ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT เพื่อแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของการไหลโดย Viscous Model ที่ใช้เป็นแบบ k-epsilon ผลลัพธ์ที่ได้นี้ สามารถแสดงได้ในรูปของ การกระจายความเร็ว การกระจายความดัน รวมถึงการกระจายอุณหภูมิ ด้วยในกรณีที่มีการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตาม การกระจายความเร็วของการไหลส่วนใหญ่จะแสดงในรูปของเวกเตอร์ความเร็ว ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งขนาดและทิศทางของความเร็ว

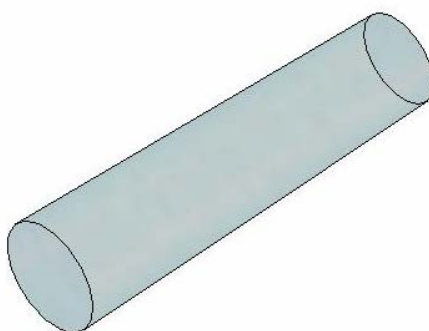
ในการใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัดและคำนวณผลเฉลย รวมถึงการแสดงผลการไหลต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT และขั้นตอนการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 35



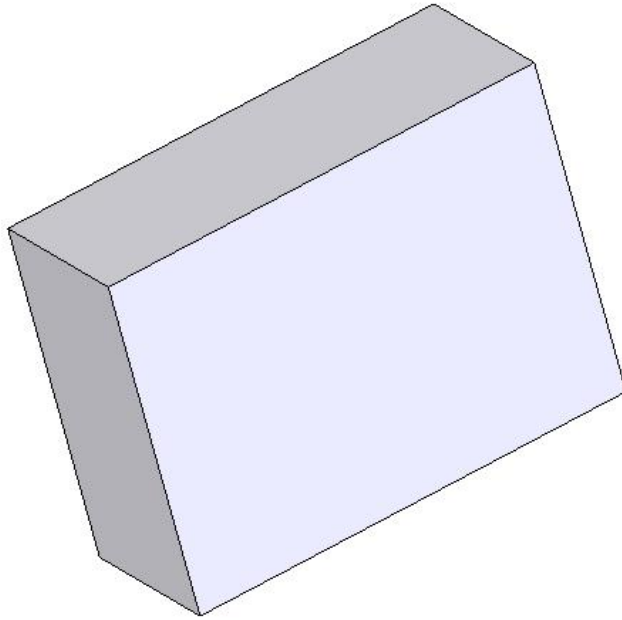
ภาพที่ 35 ขั้นตอนการวิเคราะห์

4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำที่ออกจากหัวฉีด

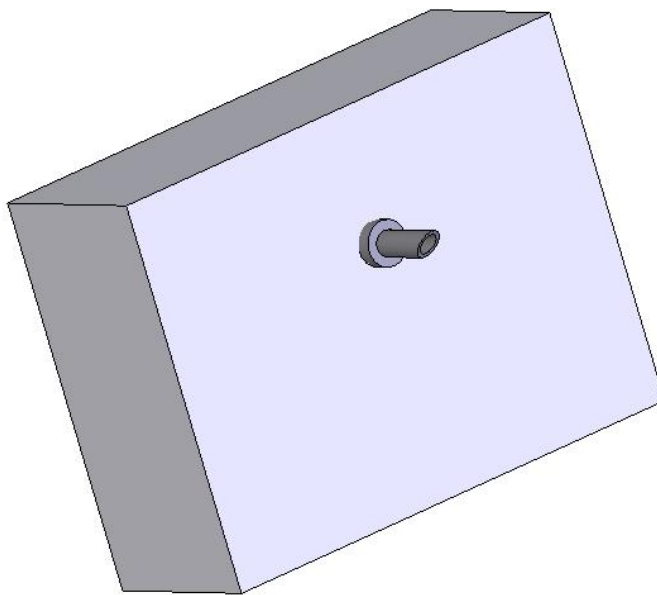
แบบจำลองของก๊อนน้ำบริเวณทางออกของหัวฉีดแสดงดังภาพที่ 36 และแบบจำลองก๊อนอากาศแสดงดังภาพที่ 37 ได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Solid Works นำก๊อนอากาศมาประกอบกับแบบจำลองหัวฉีดดังภาพที่ 38 ทำการ cavity เพื่อให้เหลือเฉพาะก๊อนอากาศที่ไม่มีเนื้อของส่วนหัวฉีดดังภาพที่ 39 นำก๊อนอากาศ(ภาพที่ 36)มาประกอบกับก๊อนน้ำ(ภาพที่ 39)ตามภาพที่ 40



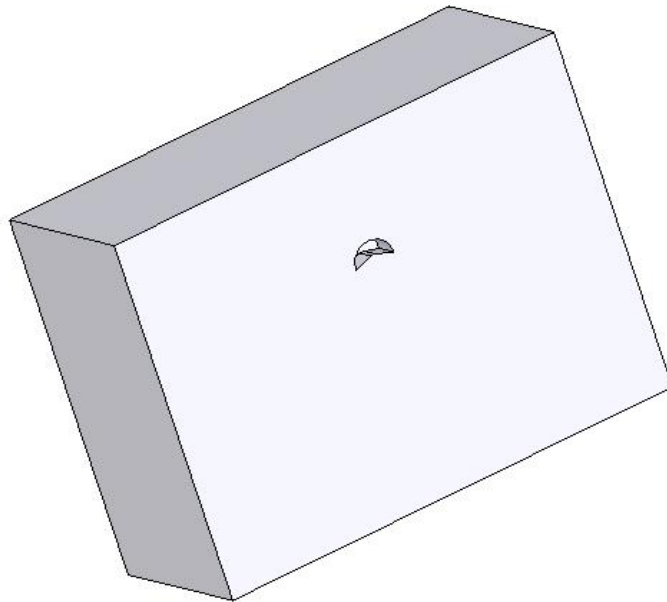
ภาพที่ 36 แบบจำลองของก๊อนน้ำบริเวณทางออกของหัวฉีด



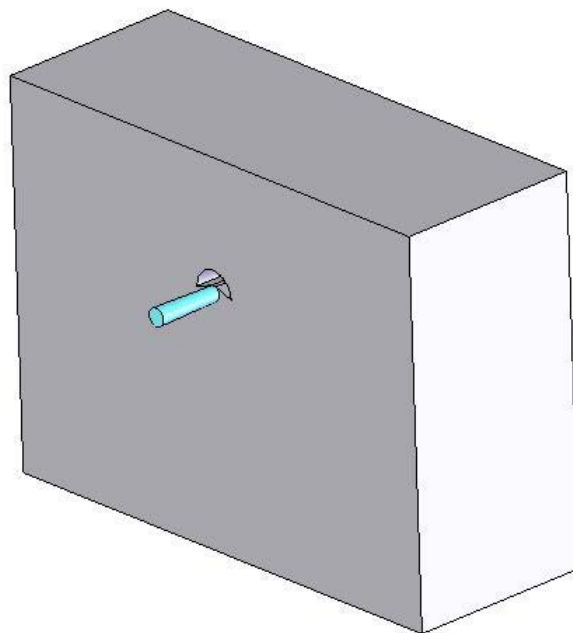
ภาพที่ 37 แบบจำลองก้อนอากาศ



ภาพที่ 38 แบบจำลองก้อนอากาศประกอบด้วยแบบจำลองหัวฉีด

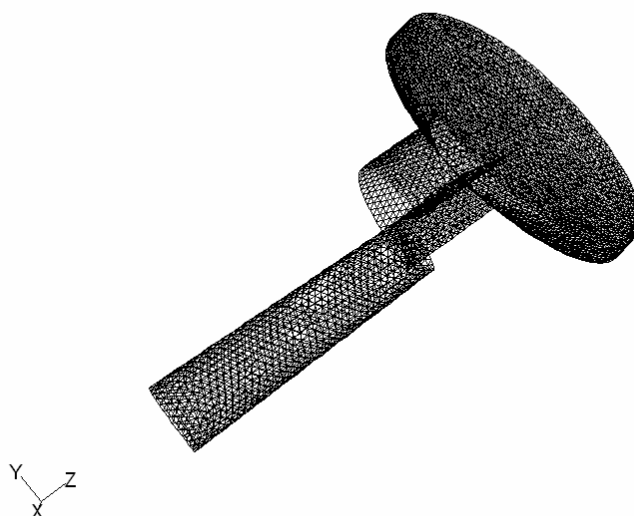


ภาพที่ 39 แบบจำลองก้อนอากาศที่ไม่มีเนื้อของหัวฉีด

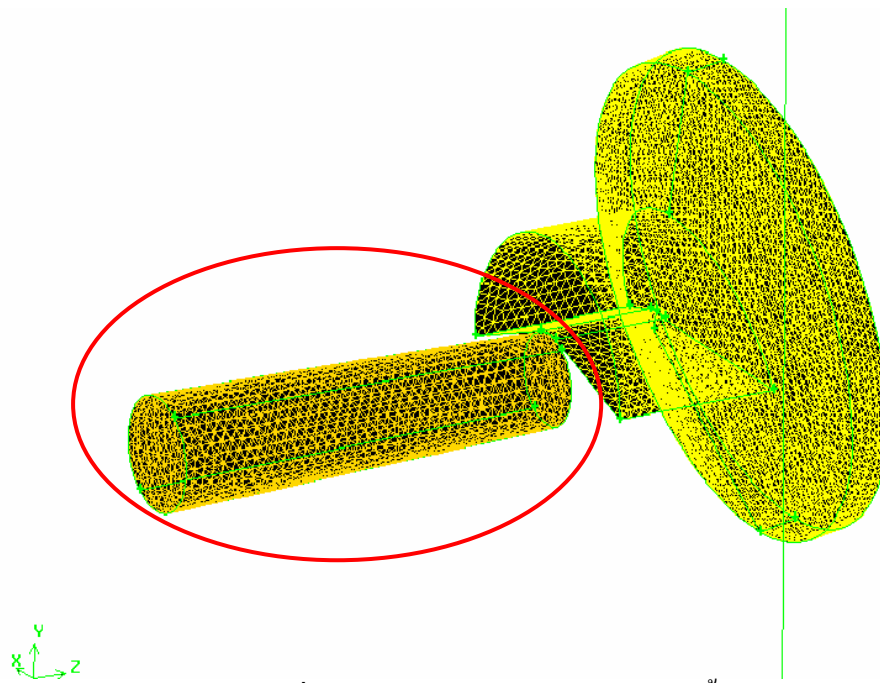


ภาพที่ 40 แบบจำลองของน้ำประกอบกับแบบจำลองก้อนอากาศ

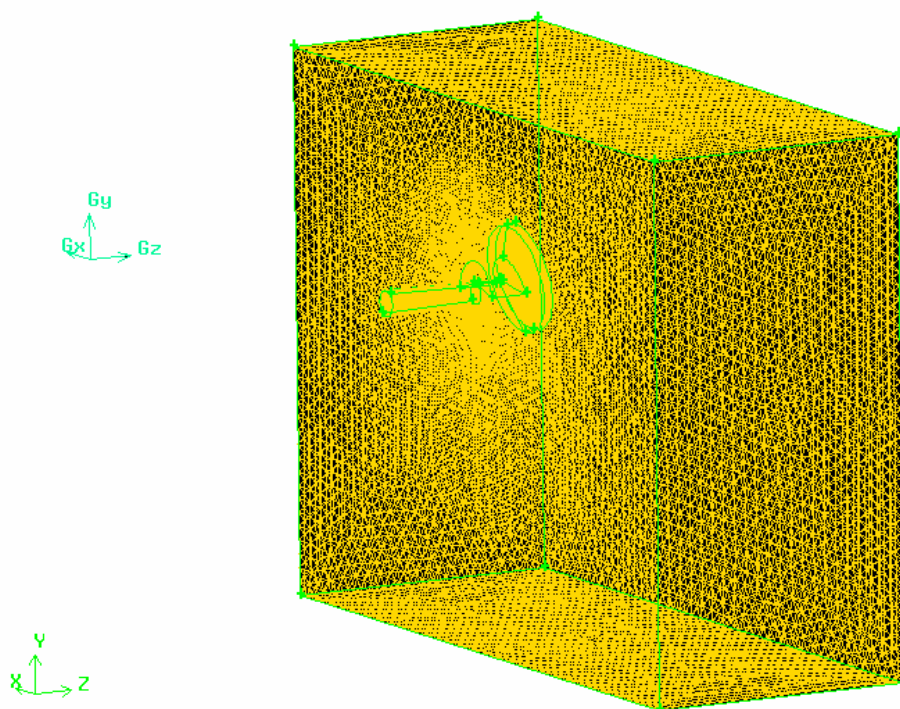
ก๊อนน้ำที่ได้ถูกนำไปสร้างโดเมนของการไหลในโปรแกรม GAMBIT โดยการสร้างตาข่ายข้อมูล(mesh) โดยเส้นตารางเหล่านี้จะตัดกันที่จุดต่อ(grid or node) ได้มีการสร้างตาข่ายข้อมูลที่ละเอียดที่ผิวบริเวณหัวฉีดและผิวของก๊อนน้ำแบบ Tri ชนิด Pave ด้วย Interval size ขนาด 0.3 ดังภาพที่ 41 ก๊อนน้ำส่วนที่เหลือจะมีการสร้างตาข่ายข้อมูลปริมาตรแบบ Tet/Hybrid ชนิด TGrid ด้วย Interval size ขนาด 1.5 จำนวนจุดแสดงข้อมูลของการไหลจะมีจำนวนทั้งสิ้น 15,325 ดังภาพที่ 42 ในขณะที่ก๊อนอากาศที่เหลือจะมีการสร้างตาข่ายข้อมูลปริมาตรแบบ Tet/Hybrid ชนิด TGrid ด้วย Interval size ขนาด 1.5 ดังนั้นจำนวนจุดแสดงข้อมูลของการไหลจะมีจำนวนทั้งสิ้น 413,137 ดังภาพที่ 43 และนอกจากนี้ ยังมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการไหล โดยกำหนดให้ที่บริเวณทางเข้าของก๊อนน้ำมีความเร็วที่ทางเข้า 7.5 เมตรต่อวินาที บริเวณทางออกของก๊อนอากาศกำหนดให้เป็น Pressure Outlet ให้ความดันเท่ากับศูนย์ ด้านที่เหลือทั้งหมดกำหนดให้เป็น Wall ดังแสดงในภาพที่ 44



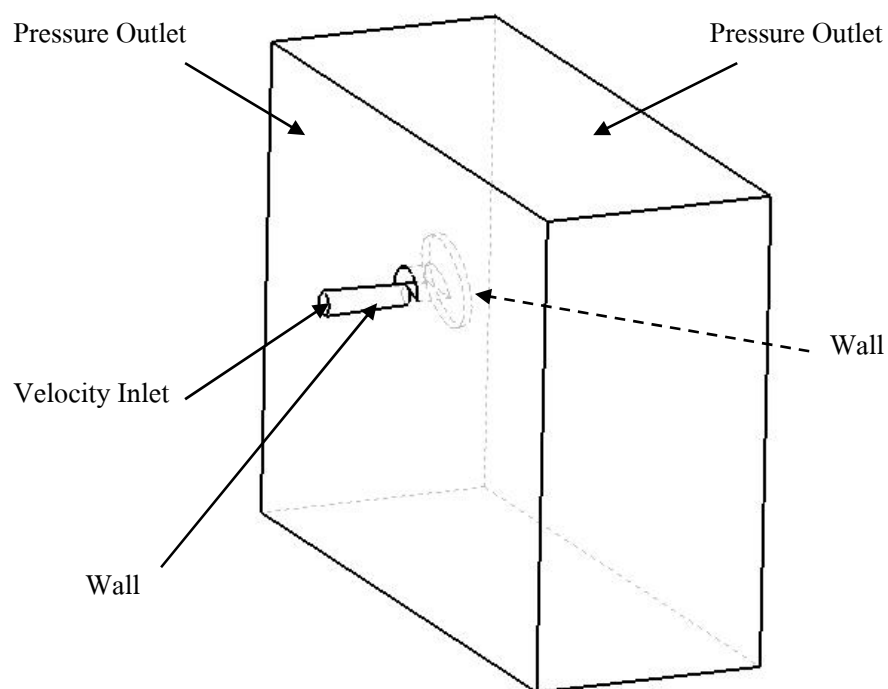
ภาพที่ 41 ตาข่ายข้อมูลที่ผิวบริเวณหัวฉีดและก๊อนน้ำ



ภาพที่ 42 ตาข่ายข้อมูลปริมาตรของก๊อนน้ำ



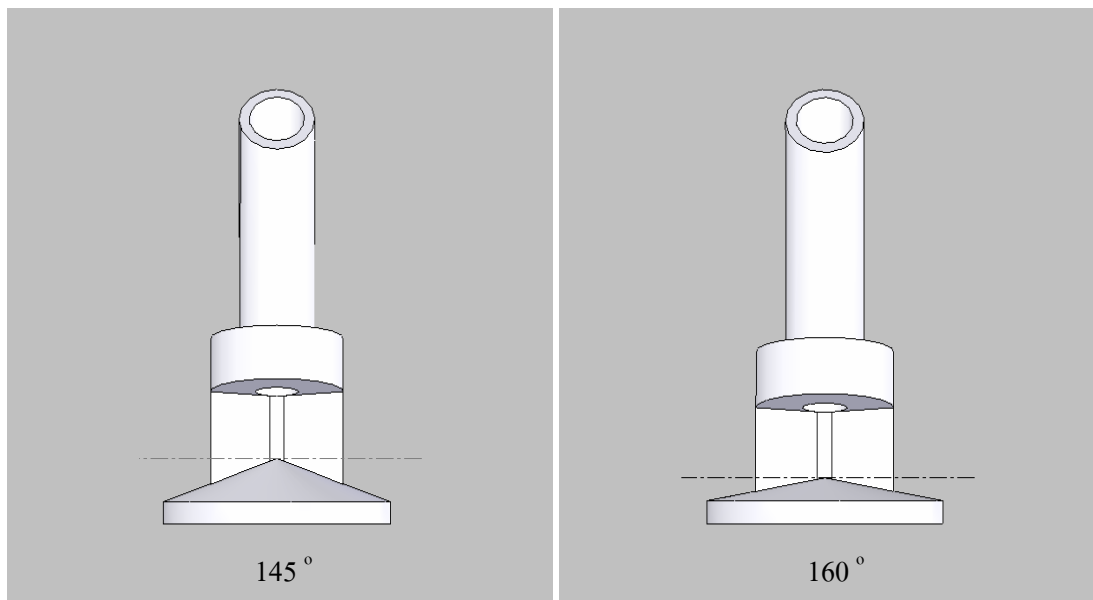
ภาพที่ 43 ตาข่ายข้อมูลของก๊อนอากาศ



ภาพที่ 44 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

ก่อนน้ำที่ได้มีการทำตาข่ายข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแล้วจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด(Finite Volume)ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT เพื่อแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของการไหลโดย Viscous Model ที่ใช้เป็นแบบ k-epsilon

จำลองแบบหัวฉีดโดยเปลี่ยนแปลงองศาของหมวกที่กระจายน้ำจาก 145 องศา เป็น 160 องศา ดังภาพที่ 45 แล้วทำการวิเคราะห์เหมือนกับที่วิเคราะห์หัวฉีด 145 องศา



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบหัวฉีดที่องศา 145 องศา กับ 160 องศา

ผลและวิจารณ์

1. ผลการทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียแรงดันของหัวฉีด กรณีน้ำไหลออกหัวฉีด (Side Flow) และกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด (Line flow)

1.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด ($K_{L(Side)}$)

จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด มีการทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow)

ชุดการทดลองที่	$K_{L(Side)}$
1	0.4
2	1
3	0.88
4	0.81

ได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด ($K_{L(Side)}$) เท่ากับ 0.77

1.2 ผลการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด ($K_{L(Line)}$)

จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด มีการทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีนํ้าไหลผ่านหัวฉีด(line flow)

ชุดการทดลองที่	$K_{L(\text{Line})}$
1	0.48
2	0.76
3	0.83

ได้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีนํ้าไหลผ่านหัวฉีด($K_{L(\text{Line})}$)เท่ากับ 0.69

2. ผลการทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลต่อหัวฉีดที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของน้ำ

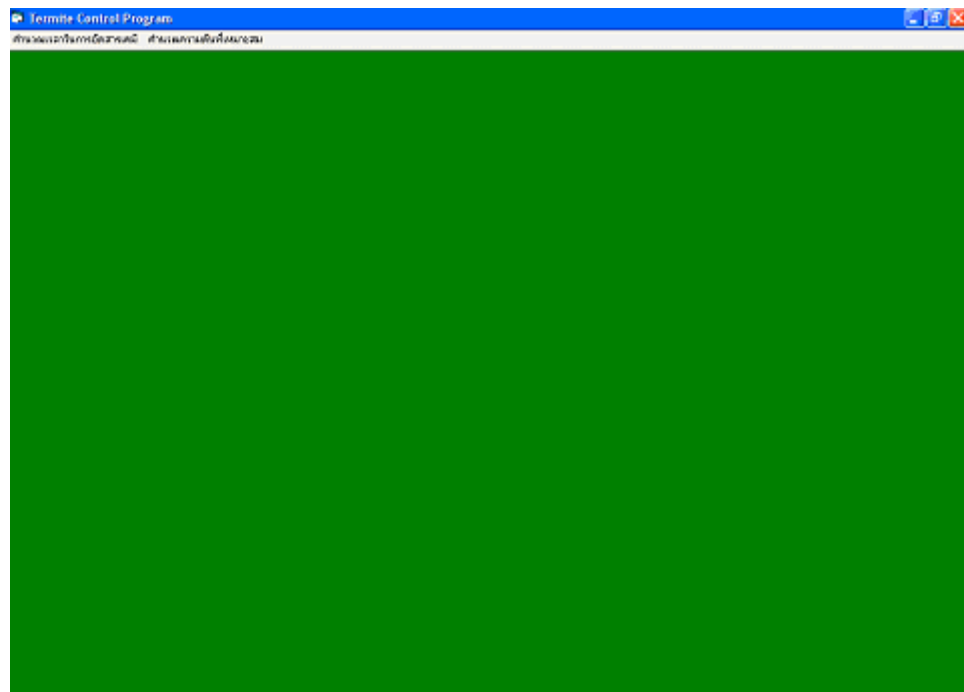
ตารางที่ 3 อัตราการไหลต่อหัวฉีดที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของหัวฉีด

การทดลองที่	อัตราการไหลต่อหัวฉีด (ลิตร/วินาที)
1	0.0321
2	0.0315
3	0.0302

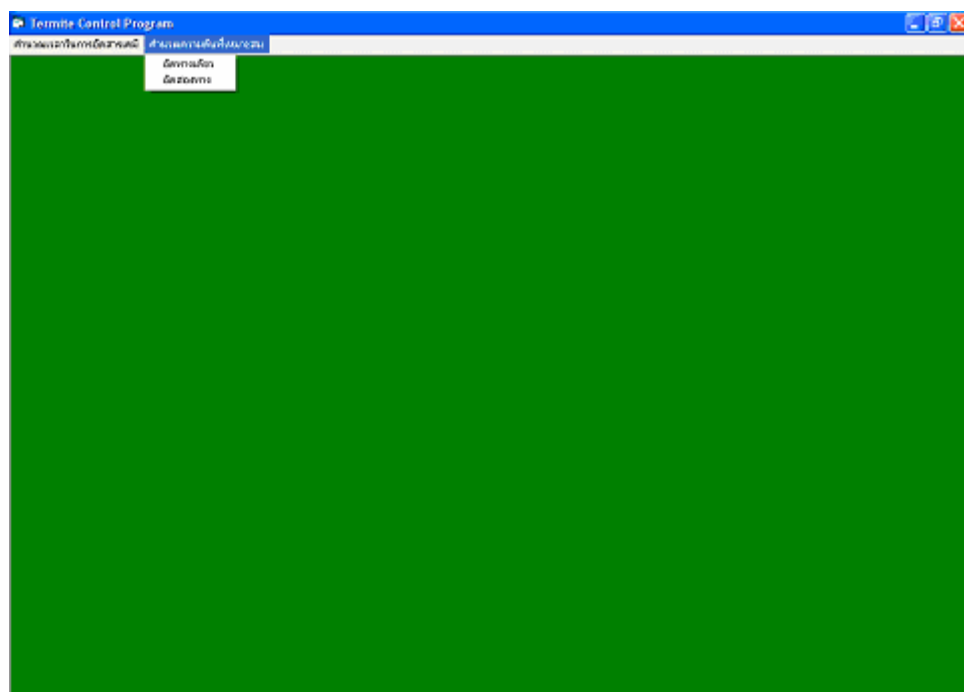
อัตราการไหลต่อหัวฉีดที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวเฉลี่ย = 0.0312 ลิตร/วินาที

3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณเวลาและความดันที่เหมาะสม

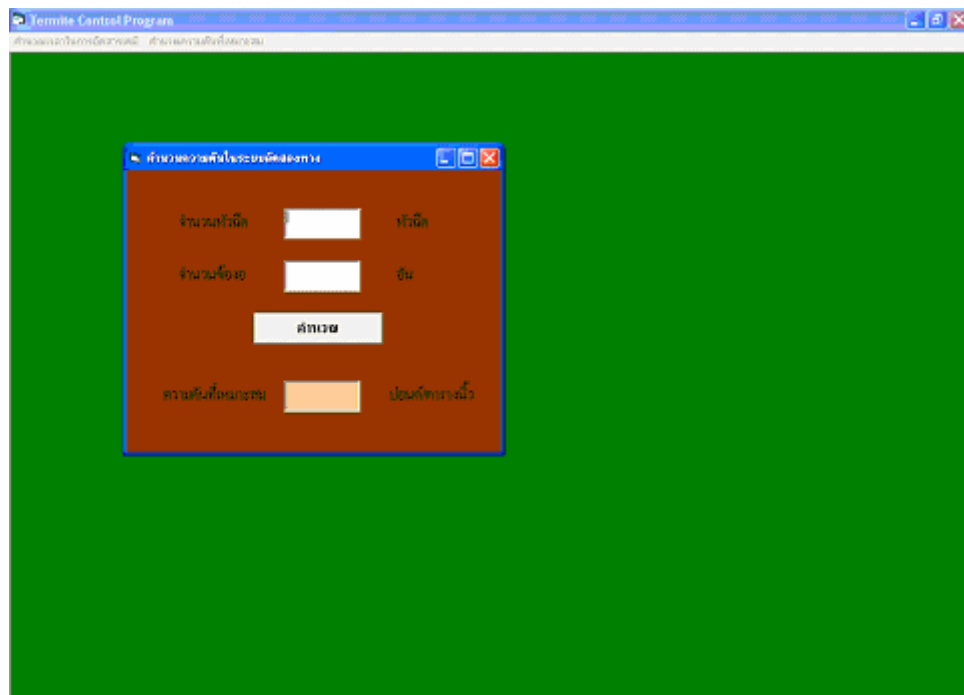
โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย โดยโปรแกรมจะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการอัดสารเคมีและความดันที่เหมาะสม ในการใช้งานโปรแกรมผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ จำนวนของหัวฉีดและข้อต่อ 90 องศาเพื่อหาความดันที่เหมาะสม นอกจากนี้ต้องป้อน ปริมาตรของสารเคมีเพื่อใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการอัดสารเคมี ซึ่งต้องทราบว่าระบบมีการอัดสารเคมีที่ทาง ดังจะแสดงตัวอย่างวิธีการใช้โปรแกรมตามภาพที่ 46 ถึง 52 ตามลำดับ



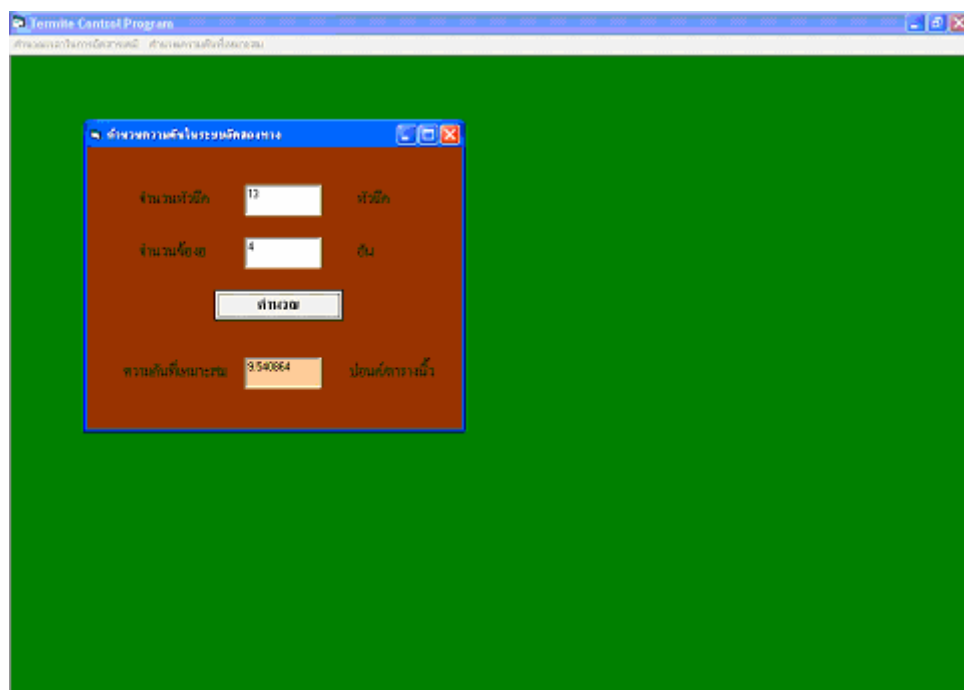
ภาพที่ 46 ภาพโปรแกรม



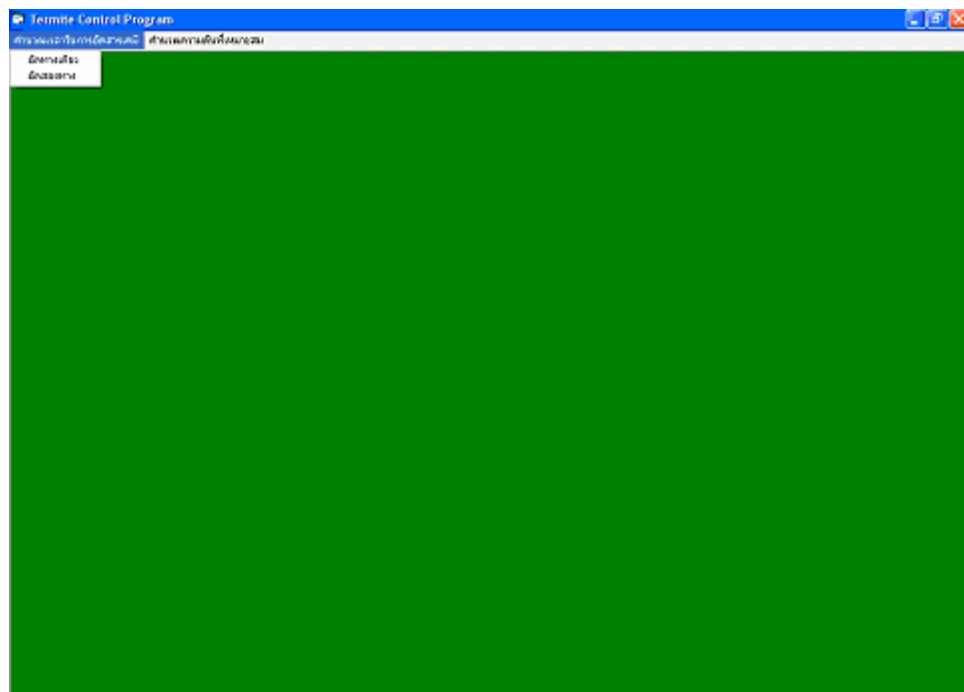
ภาพที่ 47 เลือกระบบว่าอัดทางเดียวหรือสองทางในการคำนวณความดัน



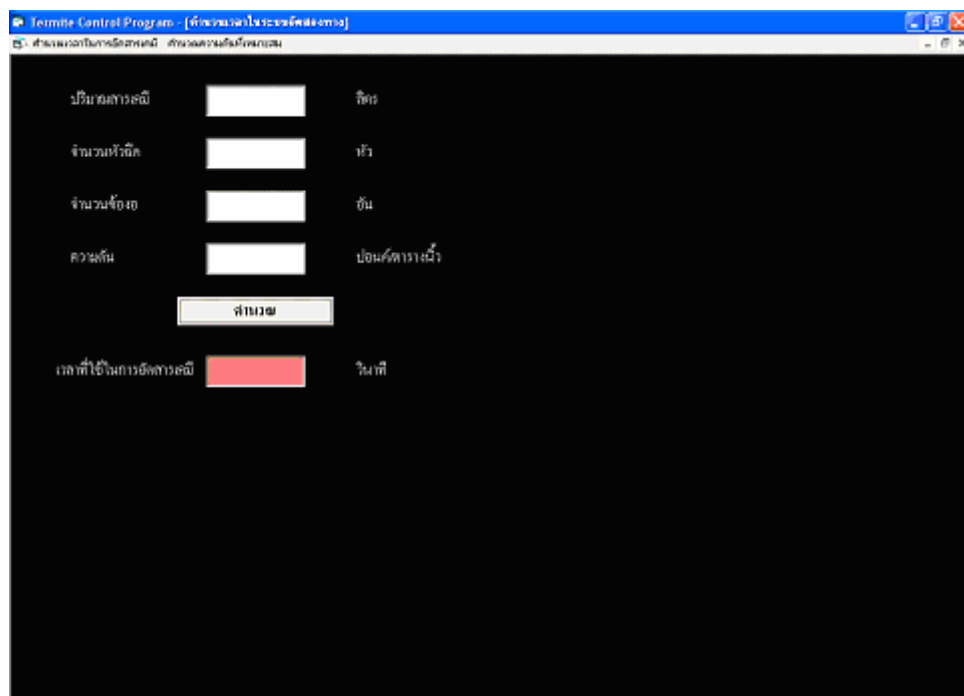
ภาพที่ 48 ภาพโปรแกรมคำนวณความดัน



ภาพที่ 49 ภาพโปรแกรมคำนวณความดันที่ได้ค่าจำนวนหัวฉีดและข้อต่อ 90 องศา และกดปุ่มคำนวณ เพื่อหาค่าความดัน



ภาพที่ 50 เลือกระบบว่าอัดทางเดียวหรือสองทางในการคำนวณเวลา



ภาพที่ 51 ภาพโปรแกรมคำนวณเวลา

ภาพที่ 52 ภาพโปรแกรมคำนวณเวลาที่ใส่ค่าความดัน จำนวนหัวฉีดและข้อต่อ และปริมาตรของสารเคมี และกดปุ่มคำนวณ เพื่อหาค่าเวลา

เพื่อทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอัดน้ำของการทดลองกับเวลาที่คำนวณจากโปรแกรม จึงจำเป็นต้องป้อนค่า ความดัน จำนวนหัวฉีด จำนวนข้อต่อ และปริมาตรของน้ำ ตามการทดลอง ซึ่งเวลาที่คำนวณได้จากโปรแกรมใกล้เคียงกับเวลาที่ได้จากการทดลองมาก คือ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4

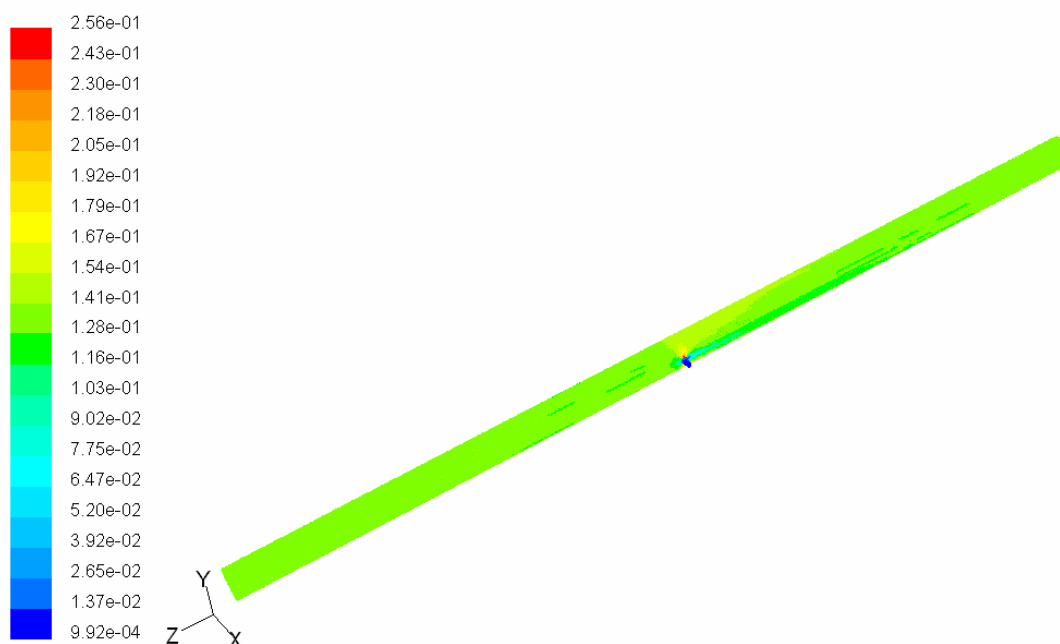
ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทดลอง	ความดัน (บาร์)	จำนวน หัวฉีด	เวลา (วินาที)		เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน
			การทดลอง	โปรแกรม	
อัดทางเดียว	0.5	13	97	99	2.02
อัดสองทาง	0.8	13	53.4	56	1.96
อัดสองทาง	0.34	27	58.1	59	1.55

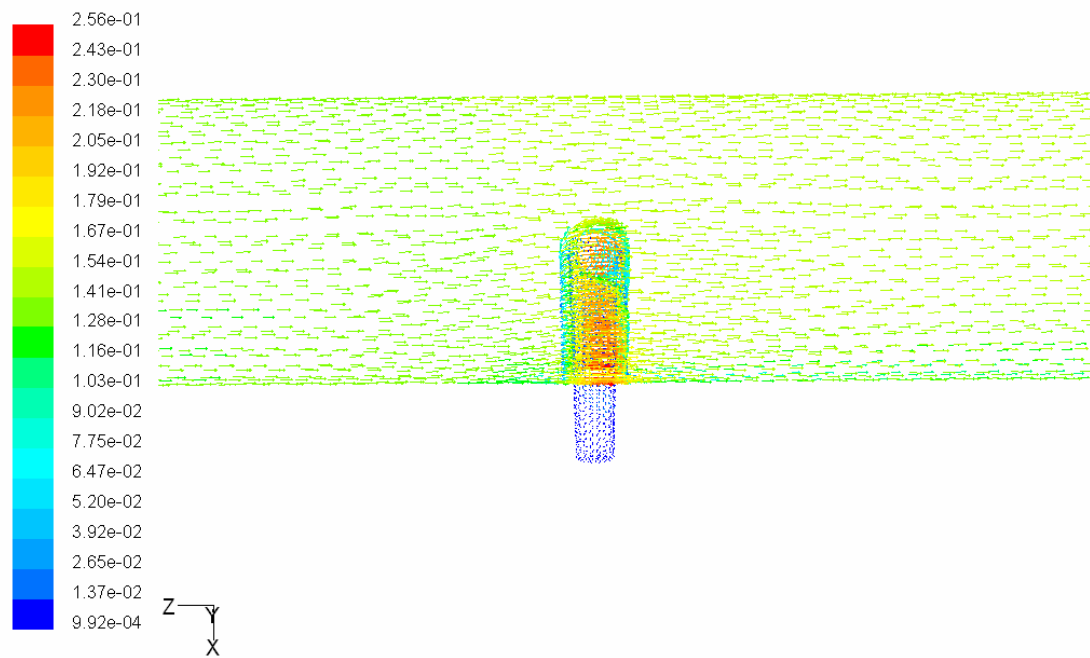
4. ผลการวิเคราะห์การไหลในระบบท่อและหัวฉีดโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

4.1 ผลการวิเคราะห์การไหลภายในท่อ

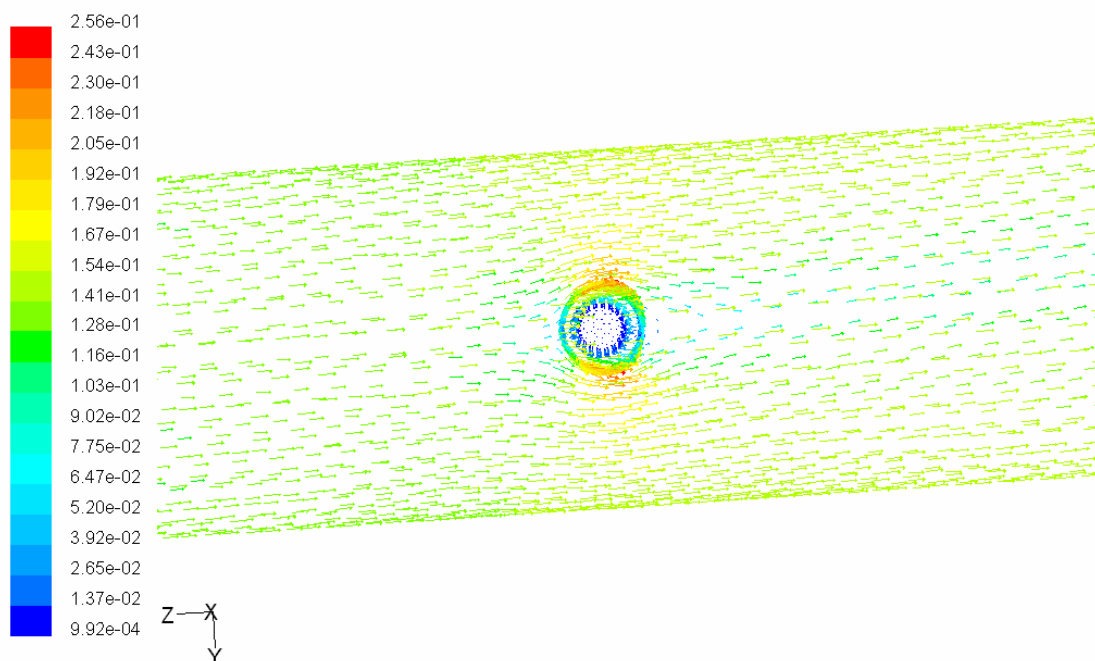
ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะการไหลภายในท่อผ่านหัวฉีดที่บริเวณต่างๆ พบว่าของไหลจะมีความเร็วเปลี่ยนแปลงเมื่อไหลผ่านหัวฉีดโดยลูกศรที่มีสีแดงจะเป็นส่วนที่มีความเร็วสูงทำให้ของไหลเกิดการปั่นป่วนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียภายในท่อสูงซึ่งเกิดมาจากรูปร่างของหัวฉีดที่มีลักษณะยื่นขวางการไหลภายในท่อ แสดงดังภาพที่ 53 54 และ 55



ภาพที่ 53 ภาพแสดงทิศทางความเร็ว



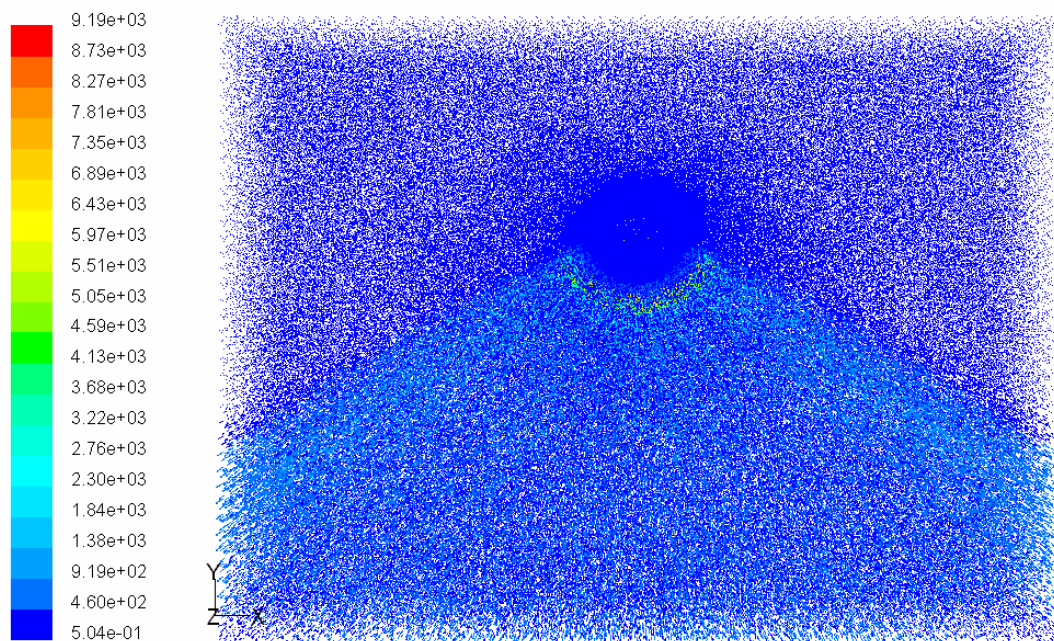
ภาพที่ 54 ภาพแสดงทิศทางการไหลบริเวณผิวของหัวฉีด



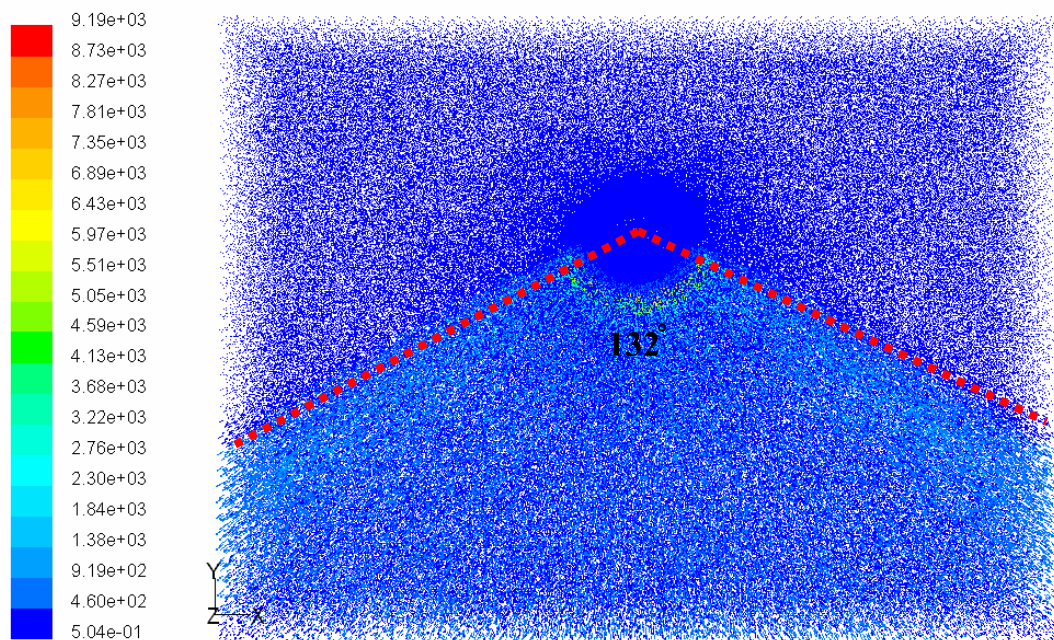
ภาพที่ 55 ภาพแสดงทิศทางการไหลมุมบน

4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำที่ออกจากหัวฉีด

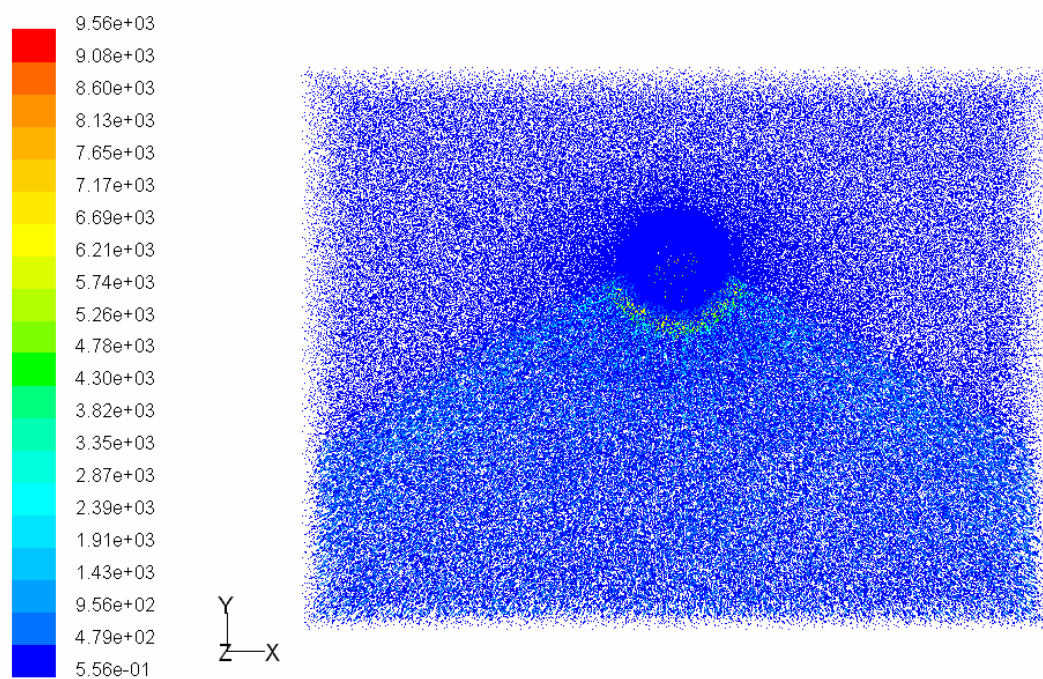
ผลจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำที่ออกจากหัวฉีด พบว่าของไหลจะมีการกระจายตัวที่มีองศาใกล้เคียงกับการทดลองจริง คือ การทดลองจริงมีการกระจายตัวของน้ำเท่ากับ 135 องศา ดังภาพที่ 25 และการวิเคราะห์โดยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ น้ำมีการกระจายตัวเท่ากับ 132 องศา ดังภาพที่ 57 จึงสามารถนำผลการวิเคราะห์มาอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวิเคราะห์ที่มีการเปลี่ยนองศาหัวฉีดเป็น 160 องศา ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ พบว่าการกระจายตัวของน้ำที่มีองศาหัวฉีดเป็น 160 องศา น้ำมีการกระจายตัว 142 องศา ดังภาพที่ 59 ซึ่งมากกว่าการกระจายตัวของน้ำที่มาจากหัวฉีดที่มีองศาหัวฉีด 145 องศา



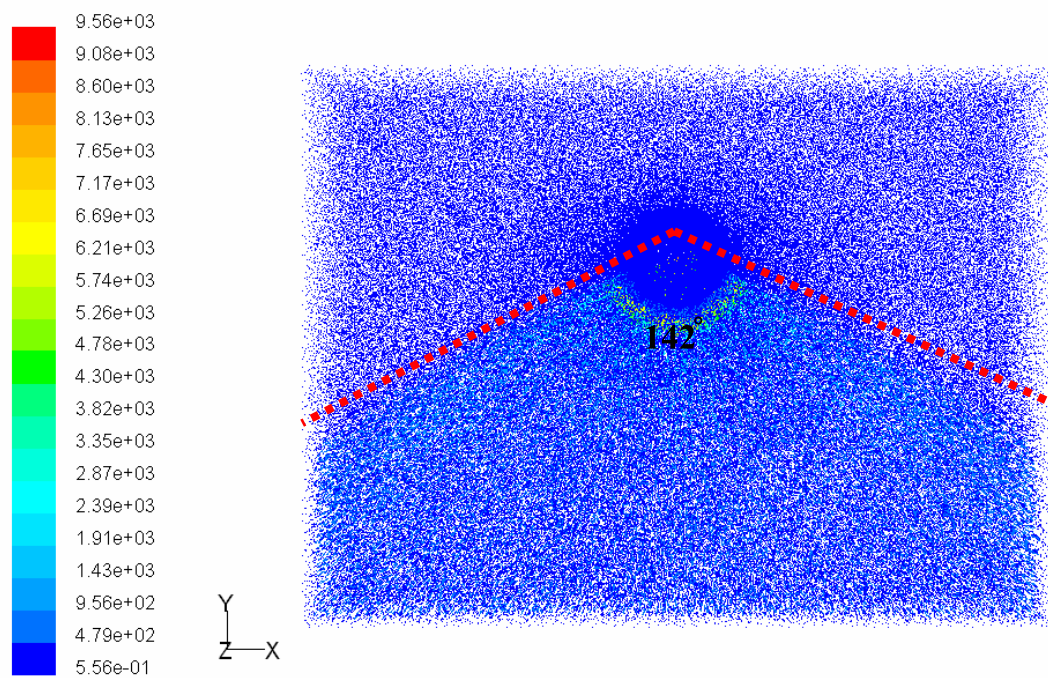
ภาพที่ 56 แสดงทิศทางความเร็วของน้ำที่กระจายตัวออกจากหัวฉีด 145 องศา



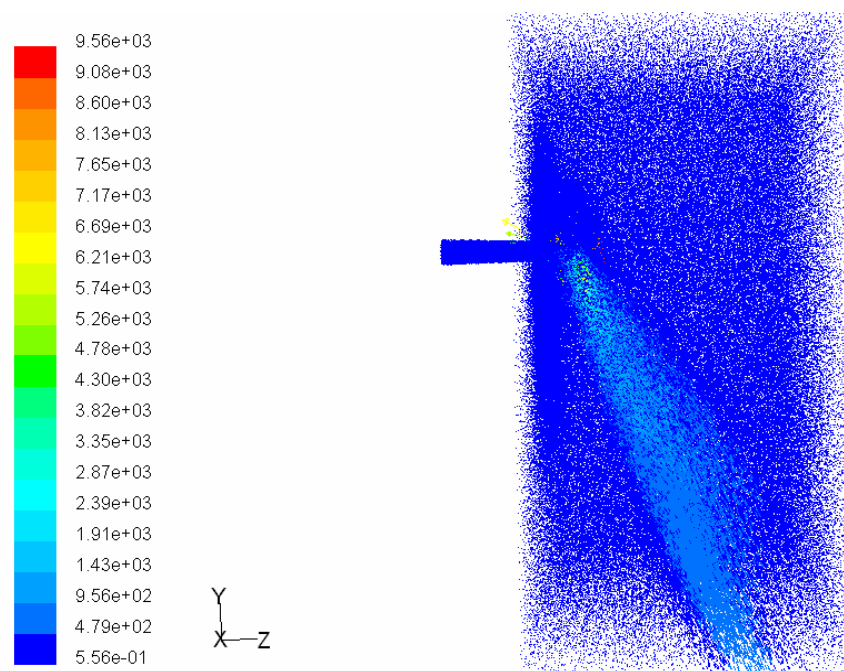
ภาพที่ 57 แสดงองศาของน้ำที่กระจายตัวออกจากหัวฉีด 145 องศา



ภาพที่ 58 แสดงทิศทางความเร็วของน้ำที่กระจายตัวออกจากหัวฉีด 160 องศา

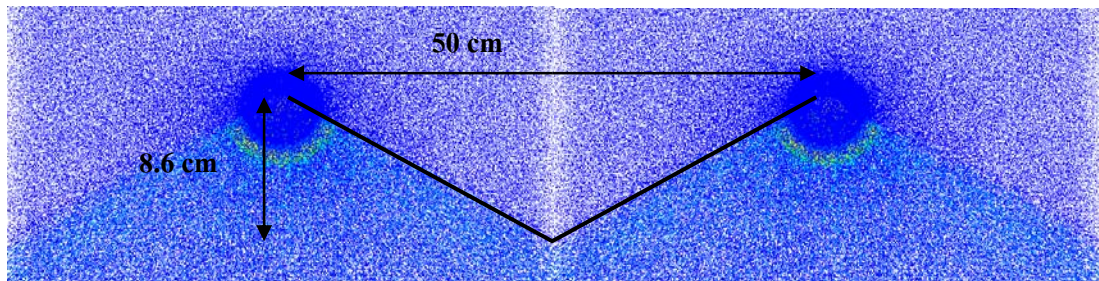


ภาพที่ 59 แสดงองศาของน้ำที่กระจายตัวออกจากหัวฉีด 160 องศา



ภาพที่ 60 แสดงทิศทางความเร็วของน้ำด้านข้าง

เนื่องจากหัวฉีดที่ออกแบบใหม่ทำให้มีการกระจายตัวของน้ำมีองศาที่เพิ่มขึ้น 7 องศาทำให้สามารถ ติดตั้งระบบท่อต่ำกว่าเดิมประมาณ 1.4 เซนติเมตร น้ำก็ยังสามารถกระจายได้ทั่วถึง



ภาพที่ 61 แสดงการสัมผัสกันของน้ำที่กระจายออกจากหัวฉีดที่มีองศาหมวกของหัวฉีด 160 องศา

สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ระบบกำจัดปลวกแบบระบบวางท่อหัวฉีดติดกับคานหัวฉีดที่มีการติดตั้งในระบบท่อที่มีระยะห่างกัน 50 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดปลวกในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำทำการทดลองแทนสารเคมีกำจัดปลวก โดยการทดลองได้ถูกออกแบบเป็น 4 ส่วน คือในส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีด การทดลองนี้จำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดออกเป็น 2 กรณี เนื่องจากการไหลของน้ำที่ไหลออกหัวฉีด($K_{L(Side)}$)และไหลผ่านหัวฉีด($K_{L(Line)}$) และหาเวลาที่ใช้ในการอัดน้ำที่ความดันและปริมาณน้ำค่าต่างๆในระบบท่อซึ่งเป็นแบบวงจรรเดียวหรือแบบสองวงจรมีการจำลองให้เหมือนระบบที่ใช้งานจริง สำหรับส่วนที่สอง คือ การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลต่อหัวฉีดที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของน้ำจากหัวฉีดและศึกษาการกระจายตัวของน้ำที่ทำให้ระบบสามารถอัดน้ำได้อย่างครอบคลุม ส่วนที่สาม คือ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณเวลาและความดันที่เหมาะสมที่ใช้ในการอัดน้ำและในส่วนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์ลักษณะการไหลของสารเคมีกำจัดปลวกภายในท่อที่มีหัวฉีดฝังอยู่ และศึกษาการกระจายตัวของน้ำจากหัวฉีดที่ปรับปรุงใหม่โดยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT โดยสร้างแบบจำลองของก๊องน้ำ นำก๊องน้ำที่ได้นี้เข้าไปในโปรแกรม GAMBIT เพื่อจะทำตาข่ายข้อมูล(mesh)และกำหนดเงื่อนไขขอบเขตก๊องน้ำที่ได้มีการทำตาข่ายข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแล้วจะถูกนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FLUENT

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำภายในระบบท่อ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด($K_{L(Side)}$)เท่ากับ 0.77 และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลผ่านหัวฉีด($K_{L(Line)}$)เท่ากับ 0.69 และค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของน้ำจะมีค่าเท่ากับ 0.0312 ลิตร/วินาที มีองศาการกระจายตัวของน้ำเท่ากับ 135 องศา และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถคำนวณความดันที่เหมาะสมและคำนวณเวลาที่ที่เหมาะสมในการอัดสารเคมีกำจัดปลวกได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองโดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 2% จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำโดยการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์พบว่าหัวฉีดที่พัฒนาขึ้นทำให้การกระจายตัวของน้ำเพิ่มขึ้น 7 องศา

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองบรรณาธิการ. 2547. ธุรกิจกำจัดแมลงกับความพร้อมเพื่อก้าวสู่ระบบมาตรฐาน.

FOR QUALITY 10 (78): 31-35.

บริษัทADVANCE SERVICE. 2547. ระบบการวางท่อRETRICULATION SYSTEM. **PEST**

CONTROL SERVICES. แหล่งที่มา: <http://www.ads.co.th/home.aspx>, 5 กันยายน 2547.

สัจจะ จรัสรุ่งรวิวรร. 2548. คู่มือเขียนโปรแกรม VB 6 ฉบับผู้เริ่มต้น. บริษัท DEV Book infopress developer book, นนทบุรี.

สุทียา ศิริเจริญ. 2547. สัมภาษณ์. **FOR QUALITY 10 (78): 27-30.**

สสวท. 2547. ปลูก. สาขาชีววิทยา. แหล่งที่มา: <http://www.ipst.ac.th/biology/termite.html>, 5 กันยายน 2547.

ชนพล ฉันทจรัสวิชัย. 2546. ปฏิบัติการ Visual Basic สำหรับ Common Windows. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

Karassik, I.J. 1986. **Pump handbook.** Mc Graw-Hill, New York.

Lobanoff, V.S. and R.R. Ross. 1992. **CENTRIFUGAL PUMPS-Design & Application.** 2nd Edition. Gulf Publishing Company, Texas.

Munson, B.R., D.F. Young and T.H. Okiishi. 2002. **Fundamentals of fluid mechanics.** 4th Edition. Wiley, New York.

Volk, M.W. 1996. **Pump-Characteristics and Applications.** Marcel Dekker, Oakland.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow)
ชุดการทดลองที่1

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	เวลา (วินาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bar)	อัตราการไหล (m ³ /s)
1	11.59	0.64	1	5.522x10 ⁻⁵
2	10.88	0.62	1	5.698x10 ⁻⁵
3	11.83	0.67	1	5.663x10 ⁻⁵

อัตราการไหลเฉลี่ย; $Q_{av} = 5.628 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow) ชุดการทดลองที่1

ความเร็วของการไหลภายในท่อ; $v_1 = Q_{av} / A_p = 5.628 \times 10^{-5} / (\pi/4)(17 \times 10^{-3})^2 = 0.247953$ เมตร/วินาที

ค่า Reynold number (Re)หาได้จากสมการ (1) มีค่าเท่ากับ 5,262.79

จาก moody chart (ภาพที่ 4)ได้ว่า $f = 0.037$

จากสมการพลังงาน

$$P_1/\gamma + v_1^2/2g = v_2^2/2g + v_1^2 f l / 2gD + K_{L(side)} \cdot v_2^2/2g$$

ในการหาค่า $K_{L(side)}$ สามารถจัดรูปแบบใหม่ได้ดังนี้

$$K_{L(side)} = [A_1^2] \{ [(2g P_1 / \gamma) + (v_1^2 (1 - fl/D))] / Q_{av}^2 \} - (1/A_o^2) \quad (29)$$

แทนค่าต่างๆลงไปในสมการ(29)จะได้เป็น

$$K_{L(side)} = [8.48 \times 10^{-6}] \{ [(2 \times 9.81 \times 100 / 9.765) + (0.247953^2 (1 - 0.037 \times 0.5 / 0.017))] / 5.6282 \times 10^{-10} \} - (1 / 4.1547^2 \times 10^{-12})$$

$$K_{L(side)} = 0.4$$

ตารางผนวกที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow)
ชุดการทดลองที่2

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	เวลา (วินาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bar)	อัตราการไหล (m ³ /s)
1	10.5	0.31	0.345	2.952x10 ⁻⁵
2	11	0.335	0.345	3.045x10 ⁻⁵
3	10.42	0.346	0.345	3.321x10 ⁻⁵

อัตราการไหลเฉลี่ย; $Q_{av} = 3.106 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow) ชุดการทดลองที่2

ความเร็วของการไหลภายในท่อ; $v_1 = Q_{av} / A_p = 3.106 \times 10^{-5} / (\pi/4)(17 \times 10^{-3})^2 = 0.1368$ เมตร/วินาที

ค่า Reynold number (Re)หาได้จากสมการ (1) มีค่าเท่ากับ 2904.5

จาก moody chart (ภาพที่ 4)ได้ว่า $f = 0.022$

แทนค่าต่างๆลงไปในสมการ(29) จะได้เป็น

$$K_{L(side)} = [8.48 \times 10^{-6}] \{ [(2 \times 9.81 \times 34.5 / 9.765) + (0.1368^2 (1 - 0.022 \times 0.5 / 0.017))] / 3.106 \times 10^{-10} \} - (1 / 4.1547^2 \times 10^{-12})$$

$$K_{L(side)} = 1$$

ตารางผนวกที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow)
ชุดการทดลองที่3

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	เวลา (วินาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bar)	อัตราการไหล (m ³ /s)
1	11.19	0.54	1	5.299×10^{-5}
2	10.88	0.58	1	5.331×10^{-5}
3	11.33	0.56	1	5.421×10^{-5}

อัตราการไหลเฉลี่ย; $Q_{av} = 5.35 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow) ชุดการทดลองที่3

ความเร็วของการไหลภายในท่อ; $v_1 = Q_{av} / A_p = 5.35 \times 10^{-5} / (\pi/4)(17 \times 10^{-3})^2 = 0.236$ เมตร/วินาที

ค่า Reynold number (Re)หาได้จากสมการ (1) มีค่าเท่ากับ 5003.2

จาก moody chart (ภาพที่ 4)ได้ว่า $f = 0.037$

แทนค่าต่างๆลงไปในสมการ(29)จะได้เป็น

$$K_{L(side)} = [8.48 \times 10^{-6}] \{ [(2 \times 9.81 \times 100 / 9.765) + (0.236^2 (1 - 0.037 \times 1 / 0.017))] / 5.35 \times 10^{-10} \} - (1 / 4.1547^2 \times 10^{-12})$$

$$K_{L(side)} = 0.88$$

ตารางผนวกที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow)
ชุดการทดลองที่4

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	เวลา (วินาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bar)	อัตราการไหล (m ³ /s)
1	11.05	0.59	1	5.339×10^{-5}
2	10.35	0.57	1	5.507×10^{-5}
3	10.47	0.55	1	5.253×10^{-5}

อัตราการไหลเฉลี่ย; $Q_{av} = 5.366 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันของหัวฉีดกรณีน้ำไหลออกหัวฉีด(side flow) ชุดการทดลองที่4

ความเร็วของการไหลภายในท่อ; $v_1 = Q_{av} / A_p = 3.106 \times 10^{-5} / (\pi/4)(17 \times 10^{-3})^2 = 0.2364$ เมตร/วินาที

ค่า Reynold number (Re)หาได้จากสมการ (1) มีค่าเท่ากับ 5002.7

จาก moody chart (ภาพที่ 4)ได้ว่า $f = 0.037$

แทนค่าต่างๆลงไปในสมการ(29)จะได้เป็น

$$K_{L(side)} = [8.48 \times 10^{-6}] \{ [(2 \times 9.81 \times 100 / 9.765) + (0.2364^2 (1 - 0.037 \times 1.5 / 0.017))] / 5.366 \times 10^{-10} \} - (1 / 4.1547^2 \times 10^{-12})$$

$$K_{L(side)} = 0.81$$

ตารางผนวกที่ 5 ผลการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีด
สำหรับการทดลองรูปแบบที่1(จำนวนหัวฉีด 12 หัวฉีด , ความดัน 0.5 บาร์ , อัตราเดียว)

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bars)	เวลา (วินาที)
1	25	0.5	96.4
2	25	0.5	97.1
3	25	0.5	97.5

ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาเท่ากับ 97 วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดสำหรับการ
ทดลองรูปแบบที่1

$$Q = 0.025/97 = 0.0002577 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}$$

$$v_1 = Q/A_p = 1.135$$

$$v_2 = Q/(mA_o) = v_1 A_p / (mA_o)$$

ในการหาค่า $K_{L(\text{Line})}$ สามารถหาได้จากสมการ ซึ่งสามารถแทนค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$50/9.765 + 1.135^2/19.62 = (1.135 \times 0.00022698 / (13 \times 0.0000041547))^2 / (2 \times 9.81) +$$

$$[0.316 \times 0.5 \times 1.135^{1.75} / (2 \times 9.81 \times 0.017^{1.25})] (995.7 / 0.0007975)^{-0.25}$$

$$[1.22224 \times 13 + 1.727] +$$

$$(1.135^2 \times 1.5 / (2 \times 9.81)) [1 + (1-2/13)^2 + (1-5/13)^2 + (1-8/13)^2 + (1-11/13)^2]$$

$$+ (1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2 + 8^2 + 9^2 + 10^2 + 11^2 + 12^2 + 13^2) \times$$

$$[(0.00022698 \times 1.135 / 13)^2 / (2 \times 9.81)] [0.6 / 0.00022698^2] +$$

$$13[(0.00022698 \times 1.135 / 13)^2 / (2 \times 9.81)][0.77 / 0.00000848^2]$$

$$K_{L(\text{Line})} = 0.48$$

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีด
สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 2 (จำนวนหัวฉีด 12 หัวฉีด , ความดัน 0.8 บาร์ , อัดสองทาง)

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bars)	เวลา (วินาที)
1	25	0.8	52.8
2	25	0.8	54.0
3	25	0.8	53.4

ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาเท่ากับ 53.4 วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดสำหรับการ
ทดลองรูปแบบที่ 2

$$Q = 0.0125 / 53.4 = 0.000234 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}$$

$$v_1 = Q / A_p = 1.0313$$

$$v_2 = Q / (mA_o) = v_1 A_p / (mA_o)$$

ในการหาค่า $K_{L(\text{Line})}$ สามารถหาได้จากสมการ ซึ่งสามารถแทนค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$80 / 9.765 + 1.0313^2 / 19.62 = (1.0313 \times 0.00022698 / (7 \times 0.0000041547))^2 / (2 \times 9.81) +$$

$$[0.316 \times 0.5 \times 1.0313^{1.75} / (2 \times 9.81 \times 0.017^{1.25})] (995.7 / 0.0007975)^{-0.25}$$

$$[1.22224 \times 7 + 1.727] + (1.0313^2 \times 1.5 / (2 \times 9.81)) [1 + (1 - 2/7)^2 + (1 - 5/7)^2]$$

$$+ (1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2) \times$$

$$[(0.00022698 \times 1.0313 / 7)^2 / (2 \times 9.81)][0.6 / 0.00022698^2] +$$

$$7 \times [(0.00022698 \times 1.0313 / 7)^2 / (2 \times 9.81)][0.77 / 0.00000848^2]$$

$$K_{L(\text{Line})} = 0.76$$

ตารางผนวกที่ 7 ผลการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีด
สำหรับการทดลองรูปแบบที่ 3 (จำนวนหัวฉีด 26 หัวฉีด , ความดัน 0.34475 บาร์, อัดสองทาง)

ครั้งที่ทำการ ทดลอง	ปริมาตร (ลิตร)	ความดันช่วงเข้าท่อ (bars)	เวลา (วินาที)
1	25	0.34475	58.5
2	25	0.34475	57.8
3	25	0.34475	58.0

ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาเท่ากับ 58.1 วินาที

ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียแรงดันเมื่อน้ำไหลผ่านหัวฉีดสำหรับการ
ทดลองรูปแบบที่ 3

$$Q = 0.0125 / 58.1 = 0.000215 \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที}$$

$$v_1 = Q / A_p = 0.948$$

$$v_2 = Q / (mA_o) = v_1 A_p / (mA_o)$$

ในการหาค่า $K_{L(\text{Line})}$ สามารถหาได้จากสมการ ซึ่งสามารถแทนค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$34.475 / 9.765 + 0.948^2 / 19.62 = (0.948 \times 0.00022698 / (14 \times 0.0000041547))^2 / (2 \times 9.81) +$$

$$[0.316 \times 0.5 \times 1.135^{1.75} / (2 \times 9.81 \times 0.017^{1.25})] (995.7 / 0.0007975)^{-0.25}$$

$$[1.22224 \times 14 + 1.727] + (0.948^2 \times 1.5 / (2 \times 9.81)) [1 + (1-2/14)^2 +$$

$$(1-5/14)^2 + (1-7/14)^2 + (1-7/14)^2 + (1-9/14)^2 + (1-12/14)^2] +$$

$$(1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2 + 7^2 + 8^2 + 9^2 + 10^2 + 11^2 + 12^2 + 13^2 + 14^2) \times$$

$$[(0.00022698 \times 0.948 / 14)^2 / (2 \times 9.81)][0.6 / 0.00022698^2] +$$

$$14 \times [(0.00022698 \times 0.948 / 13)^2 / (2 \times 9.81)][0.77 / 0.00000848^2]$$

$$K_{L(\text{Line})} = 0.83$$