

การศึกษาอิทธิพลของวาล์วควบคุมอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า
ของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก



มนต์ชัย ทิวารชัย

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

การศึกษาอิทธิพลของวาล์วควบคุมอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า
ของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก



มนต์ชัย ทิวารชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาอิทธิพลของวาล์วควบคุมอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า
ของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

มนต์ชัย ทิวารชัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ ดุษฎี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาอิทธิพลของวาล์วควบคุมอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
ชื่อผู้เขียน	นายมนต์ชัย ทิวาวรชัย
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ

บทคัดย่อ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (กำลังผลิตไม่เกิน 5 กิโลวัตต์) โดยใช้กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในน้ำให้เป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กส่วนประกอบหลักของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน แหล่งเก็บน้ำ ท่อส่งน้ำ วาล์วควบคุมอัตราการไหล กังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความจำเป็นในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ วาล์วควบคุมอัตราการไหลจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก งานวิจัยนี้มีความต้องการศึกษาชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยเลือกชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล 3 ชนิดได้แก่ ประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ บอลวาล์ว และโกลบวาล์ว เพอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กหรือไม่ ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่างๆดังนี้ 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำที่ระยะห่างดังนี้ 1D 2D และ 3D ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก, วาล์วควบคุมอัตราการไหล, การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

Title	THE STUDY OF THE FLOW CONTROL VALVES EFFECT ON THE ELECTRICITY PRODUCTION EFFICIENCY OF PICO HYDRO GENERATOR
Author	Mr. Monchai Thiwaworachai
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Tanate Chaichana

ABSTRACT

Pico hydro generator (maximum capacity of 5 kW) using a water turbine is a device used to convert the kinetic energy contained in water to be mechanical energy to generate electricity. In a pico-hydro power generator, the main components of a pico-hydro power generator are water supply, reservoir, penstock pipe, flow control valve, turbine and generator especially when it is necessary to control the flow rate of water. The flow control valve is essential to the efficiency of pico-hydro power generator. This article needs to study opening percentage of flow control valve and the distance between the flow control valve and the turbine blade, dose it effect the efficiency of the electricity generation of pico-hydro power generator. Mathematical simulation of flow water through the Butterfly valve Ball valve and Globe valve using the computational flow dynamic in the calculation, Which defines the percentage of flow control valves and the distance between the flow control valve and the turbine blade. This has resulted in efficiency of electricity generation. This results in different power potential. It can be concluded that the percentage of flow control valve and the distance between the flow control valve and the turbine blade, is it effected on the electricity production efficiency of pico-hydro power generator. The analysis of the results of the study can be summarized

as a guideline for the model of pico-hydro power plants for further testing.

Keywords : Pico hydro generator, Flow control valve, Computation fluid dynamic



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากบุคคลหลายท่านและหน่วยงานต่าง ๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ ดุษฎี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนวคิดในการศึกษาหาความรู้และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลามาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทุกท่านที่ได้ได้ประศาสน์วิชาความรู้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอส ซี ไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ได้สนับสนุนในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอบคุณน้อง ๆ ในแลป SETR.Lab ที่คอยให้ความช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน
สุดท้ายขอบคุณครอบครัวประกอบด้วยภรรยา และบุตรชายของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจให้
กันตลอดมา

มนต์ชัย ทิวาวรชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	3
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
1. การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ.....	3
1.1 ระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Pico hydropower).....	3
2. พลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic).....	5
2.1 ความหนาแน่น (Density).....	5
2.2 ความดัน (Pressure, P).....	5
2.3 การจำแนกชนิดของความดัน.....	5
2.4 แรงตึงผิว (Surface tension).....	6
2.5 ความหนืด (Viscosity).....	7

ของไหลอุดมคติ (Ideal Fluid).....	7
2.6 สมการของแบร์นูลี.....	7
2.7 การไหลในท่อ (Fluid Flow in pipe).....	8
2.8 การสูญเสียในการไหลในท่อ.....	9
3. สมการพื้นฐานของการไหล.....	14
4. การทดสอบวาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	16
4.1 โกลบวาล์ว (Globe valve).....	16
4.2 บอลวาล์ว (Ball valve).....	17
4.3 วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve).....	17
4.4 สัมประสิทธิ์ของวาล์ว.....	18
5. การทดสอบกังหันน้ำ.....	19
5.1 เพลตันเทอร์ไบน์ (Pelton turbine).....	19
การตรวจเอกสาร.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
ขั้นตอนการวิจัย.....	27
ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	29
งบประมาณในการดำเนินงาน.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	31
ประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve).....	31
1. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์.....	32
2. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์.....	34
3. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์.....	36

4.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์.....	38
5.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์	40
	การวิจารณ์ผลการทดสอบผล.....	44
	ประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve).....	44
1.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์.....	45
2.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์.....	47
3.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์.....	49
4.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์.....	51
5.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์.....	53
	การวิจารณ์ผลการทดสอบผล.....	56
	ประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve).....	57
1.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์.....	57
2.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์.....	60
3.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์.....	62
4.	แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์.....	64

5. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์.....	67
การวิจารณ์ผลการทดสอบผล.....	70
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	71
สรุปผลงานวิจัย.....	71
1. ชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	71
2. เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล.....	72
3. ระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ.....	72
ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้เผยแพร่.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	99



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก.....	4
ตารางที่ 2 แสดงค่า k ของ valves แบบต่าง ๆ.....	14
ตารางที่ 3 แสดงค่า k ของ valves แบบต่าง ๆ ตามองศาการเปิด-ปิด.....	14
ตารางที่ 4 แผนกำหนดระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	29
ตารางที่ 5 งบประมาณที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของวาล์ว ควบคุมอัตราการไหล(Butterfly valve).....	43
ตารางที่ 7 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของวาล์ว ควบคุมอัตราการไหล (Ball valve).....	56
ตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของวาล์ว ควบคุมอัตราการไหล (Globe valve).....	69

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก.....	4
ภาพที่ 2 แสดงการไหลภายในท่อ.....	9
ภาพที่ 3 Moody Diagram ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor, f).....	11
ภาพที่ 4 แสดงค่า k ของการขยายตัวอย่างทันที.....	12
ภาพที่ 5 แสดงค่า k ของ diffuser angle.....	12
ภาพที่ 6 แสดงค่า k ของ Bend.....	13
ภาพที่ 7 แสดงค่า k ของ Entrance & Exit.....	13
ภาพที่ 8 โกลบวาล์ว (Globe valve).....	17
ภาพที่ 9 บอลวาล์ว (Ball valve).....	17
ภาพที่ 10 วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve).....	18
ภาพที่ 11 K_v และ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว ในวาล์วชนิดต่าง ๆ.....	19
ภาพที่ 12 ระบบกั้นน้ำเพลดันเทอร์โบแบบง่าย ๆ.....	20
ภาพที่ 13 รายละเอียดของน้ำที่ออกจากหัวฉีด (Nozzle) กระแทกกับ Bucket.....	20
ภาพที่ 14 ลำน้ำที่ออกจากหัวฉีดกระแทกกับ Bucket.....	20
ภาพที่ 15 เวกเตอร์ความเร็วของน้ำก่อนกระแทก Bucket.....	21
ภาพที่ 16 เวกเตอร์ความเร็วของน้ำหลังกระแทก Bucket.....	21
ภาพที่ 17 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve).....	31
ภาพที่ 18 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยยะ 100 ม.ม. (1D).....	32
ภาพที่ 19 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยยะ 100 ม.ม. (1D).....	32
ภาพที่ 20 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยยะ 200 ม.ม. (2D).....	33
ภาพที่ 21 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยยะ 200 ม.ม. (2D).....	33
ภาพที่ 22 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยยะ 300 ม.ม. (3D).....	33

ภาพที่ 47 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)	42
ภาพที่ 48 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve).....	45
ภาพที่ 49 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	45
ภาพที่ 50 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	46
ภาพที่ 51 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	46
ภาพที่ 52 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	46
ภาพที่ 53 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	47
ภาพที่ 54 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	47
ภาพที่ 55 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	47
ภาพที่ 56 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	48
ภาพที่ 57 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	48
ภาพที่ 58 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	48
ภาพที่ 59 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	49
ภาพที่ 60 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	49
ภาพที่ 61 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	49
ภาพที่ 62 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	50
ภาพที่ 63 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	50
ภาพที่ 64 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	50
ภาพที่ 65 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	51
ภาพที่ 66 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	51
ภาพที่ 67 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	51
ภาพที่ 68 กระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)	52
ภาพที่ 69 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	52
ภาพที่ 70 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	52

ภาพที่ 71 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	53
ภาพที่ 72 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	53
ภาพที่ 73 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	53
ภาพที่ 74 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	54
ภาพที่ 75 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	54
ภาพที่ 76 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	54
ภาพที่ 77 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	55
ภาพที่ 78 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	55
ภาพที่ 79 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve).....	57
ภาพที่ 80 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	58
ภาพที่ 81 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	58
ภาพที่ 82 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	58
ภาพที่ 83 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	59
ภาพที่ 84 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	59
ภาพที่ 85 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	59
ภาพที่ 86 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	60
ภาพที่ 87 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	60
ภาพที่ 88 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	61
ภาพที่ 89 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	61
ภาพที่ 90 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	61
ภาพที่ 91 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	62
ภาพที่ 92 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	62
ภาพที่ 93 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	63
ภาพที่ 94 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	63

ภาพที่ 95 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	63
ภาพที่ 96 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	64
ภาพที่ 97 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	64
ภาพที่ 98 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	65
ภาพที่ 99 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	65
ภาพที่ 100 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	65
ภาพที่ 101 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	66
ภาพที่ 102 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	66
ภาพที่ 103 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	66
ภาพที่ 104 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	67
ภาพที่ 105 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D).....	67
ภาพที่ 106 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	68
ภาพที่ 107 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D).....	68
ภาพที่ 108 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	68
ภาพที่ 109 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D).....	69

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

จากราคาพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นและปริมาณพลังงานสำรองที่ลดลง ในขณะที่มีความต้องการการใช้พลังงานมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ หลาย ๆ ประเทศได้เร่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เช่น พลังงานจากลม พลังงานจากก๊าซชีวะมวล พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจากน้ำ เป็นต้น ประเทศไทยก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรพลังงานทดแทนตามข้างต้นอยู่มากเช่นกัน พลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงสุดต่อการพัฒนาของประเทศไทยได้แก่ พลังงานจากน้ำ เนื่องจากมีทรัพยากรอยู่อย่างมากมาย และมีค่าการผลิตต่อหน่วยต่ำสุดเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่น ความเหมาะสมในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำของประเทศไทย ควรมุ่งเน้นกับแหล่งน้ำขนาดเล็ก หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เพื่อลดกระแสการต่อต้านจากสังคมในการพัฒนาเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ ๆ (ยอดชาย เตียเป็น และคณะ, 2007)

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (ไพทอร์ย เหล่าดี และคณะ, 2008) (กำลังผลิตไม่เกิน 5 กิโลวัตต์) โดยใช้กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในน้ำให้เป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ส่วนประกอบหลักของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน (Water supply) แหล่งเก็บน้ำ (Reservoir) ท่อส่งน้ำ (Penstock pipe) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ (Flow control valve) กังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Turbine and Generator) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความจำเป็นในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ วาล์วควบคุมอัตราการไหลจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

งานวิจัยนี้มีความต้องการศึกษาชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล เพอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กหรือไม่

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาอิทธิพลชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

- 2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 3) เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เลือกชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลจำนวน 3 ชนิด คือ โกลบวาล์ว (Globe valve) บอลวาล์ว (Ball valve) และ วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) เพื่อใช้ทดลองกับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 2) สร้างแบบจำลองสามมิติในส่วนของวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่าง ๆ ได้แก่ 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้สำหรับศึกษารูปแบบของกระแสที่ไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 3) สร้างแบบจำลองสามมิติในส่วนของวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่มีระยะห่างกับใบกังหันน้ำที่ระยะห่าง 1D 2D และ 3D เพื่อศึกษารูปแบบของกระแสที่ไหลผ่านที่ระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 4) กำหนดความสูงหัวน้ำ (เฮดน้ำ) ให้คงที่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 2) ได้เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 3) ได้ระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

พลังงานน้ำ คือพลังงานหรือกำลังงานที่เกิดจากการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นพลังที่สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์แก่มนุษยชาติได้ในหลากหลายรูปแบบ พลังน้ำได้ถูกใช้ประโยชน์มาแล้วหลายร้อยปี เช่น กังหันน้ำสำหรับยกน้ำขึ้นสู่ที่สูงเพื่อใช้ประโยชน์ในครุฑเรือและการชลประทาน เพื่อหมุนเครื่องจักรในโรงงานสีข้าว โรงงานทอผ้า โรงงานเลื่อยไม้ และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ไฟฟ้าพลังน้ำ

ไฟฟ้าพลังน้ำ คือไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานศักย์ของน้ำซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูงและหรือพลังงานจลน์ของน้ำซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำ โดยส่งพลังงานดังกล่าวไปขับเคลื่อนกังหันน้ำ (Hydro Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำ ความเร็วในการไหล ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานจากพลังน้ำ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$P = \frac{\gamma Q H \eta}{1000} \quad (1)$$

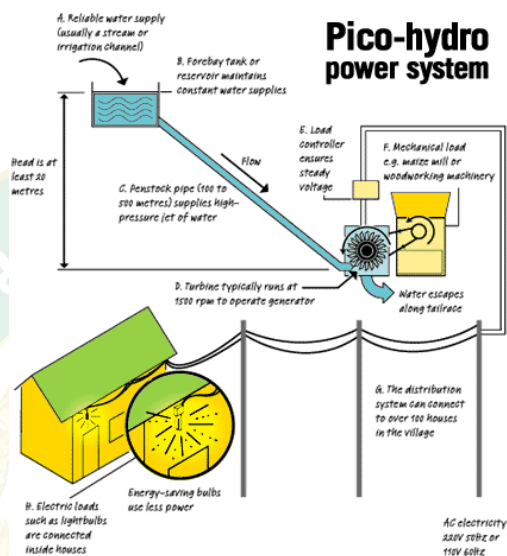
เมื่อ

- P คือ กำลังไฟฟ้าศักย์ภาพ (kW)
 γ คือ unit gravity force (9,806 N/m³)
 Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s)
 H คือ พลังงานศักย์สุทธิ (m)
 η คือ ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.1 ระบบไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Pico hydropower)

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก คือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ให้กำลังการผลิตไม่เกิน 5 kW ซึ่งถูกใช้งานในชุมชนห่างไกลที่ใช้งานพลังงานไฟฟ้าในปริมาณน้อย ไฟฟ้าที่ได้จากระบบจะเป็นไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสสลับ 220V/50Hz หรือ 110V/60Hz ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงสามารถนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปได้ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ หลอดไฟส่องสว่าง

เป็นต้น ส่วนประกอบหลักของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน (Water supply) ท่อส่งน้ำ (Penstock pipe) กังหันน้ำ (Hydro turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไฟฟ้า (Generator) อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Power Controller) ภาระทางกล (Mechanical loads) ระบบสายส่งไฟฟ้า (Distribution system) และภาระทางไฟฟ้าของระบบ (Electrical loads) (ไพฑูรย์ เหล่าดี และคณะ, 2008)



ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมีหลายชนิด โดยสามารถจำแนกออกตามชนิดของใบกังหันน้ำ เหนือของน้ำ (Head) อัตราการไหลของน้ำ และ พิกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 1 (ไพฑูรย์ เหล่าดี และคณะ, 2008)

ตารางที่ 1 การจำแนกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

Turbine type	Head classification & Power capacity		
	Low (< 10m)	Medium (10-50m)	High (< 50m)
Impulse	Tinny Crossflow	Crossflow	Tinny Pelton Wheels
	≈200W for Battery charging	Tinny Turgo	Variation Turgo
	(up to 1 kW)	(7kW)	5kW (7kW)
		Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton
Reaction	Francis	Francis (spiral case)	
	Propeller (up to 1kW)		
	Kaplan		

2. พลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic)

2.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนระหว่างมวลต่อหน่วยปริมาตรมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ความหนาแน่นนิยมเขียนแทนด้วยอักษรกรีก ρ (อ่านว่า rho) ความหนาแน่นเป็นปริมาณสเกลาร์ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (2) (ธัญธร ออกเวลา, 2553)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)

m คือ มวลของสาร (kg)

V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)

2.2 ความดัน (Pressure, P)

ความดัน คืออัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำตั้งฉากต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือพาสคัล (Pa) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

เมื่อ

P คือ ความดัน (N/m^2 หรือ Pa)

F คือ แรงที่กระทำ (N)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับแนวแรง (m^2)

2.3 การจำแนกชนิดของความดัน

ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure, P_{atm}) คือความดันที่เกิดจากบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือจุดที่พิจารณามีค่าเท่ากับน้ำหนักของอากาศในชั้นบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ความดันบรรยากาศเกิดขึ้นที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ $1.013 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$ (Pa)

ความดันเกจ (Gauge Pressure, P_g) หมายถึง ความดันที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวของเหลว หรือความดันที่เกิดจากแรงดันก๊าซ ซึ่งสามารถวัดได้จากอุปกรณ์วัดความดันหรือคำนวณได้ด้วยสมการ (4)

$$P_g = \rho gh \quad (4)$$

เมื่อ

P_g คือ ความดันเกจหรือความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว (N/m^2)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

h คือ ความสูงหรือความลึกของของเหลวจากผิวของของเหลว (m)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) หมายถึง ความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวรวมกับความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถคำนวณได้สมการ (5) และ (6)

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g \quad (5)$$

$$P_{abs} = P_{atm} + \rho gh \quad (6)$$

2.4 แรงตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิวของของเหลว หมายถึง แรงที่พยายามยึดผิวของของเหลวไว้ แรงตึงผิวของของเหลวจะมีทิศทางขนานกับผิวของของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส แรงตึงผิวเป็นอัตราส่วนของแรงที่กระทำตั้งฉากกับผิวของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกแรงกระทำมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร สามารถคำนวณได้จากสมการ (7) (รัญดร ออกระลา, 2553)

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (7)$$

เมื่อ

γ คือ แรงตึงผิวของของเหลว (N/m)

l คือ ความยาวของเส้นผิวของของเหลว (m)

F คือ ขนาดของแรงตึงผิว (N)

2.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ คุณสมบัติของของไหลในการต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้น มีหน่วยเป็น นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร ($N \cdot s / m^2$) แรงหนืด คือ แรงเสียดทานภายในของไหล หรือแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกิดภายในของไหลนั้น ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วพื้นที่ผิวของของไหล และเป็นปฏิภาคกับความหนาของของไหล ของไหลที่มีความหนืดสูงจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าของไหลที่มีความหนืดต่ำ แรงหนืดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (8) (ัญตร ออกกะลา, 2553)

$$F = 6\pi r\eta v \quad (8)$$

เมื่อ

r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลมที่ใช้ทดสอบ (m)

η คือ ความหนืด ($N \cdot s / m^2$)

v คือ ความเร็วของวัตถุทรงกลมที่ใช้ทดสอบ (m/s)

ของไหลอุดมคติ (Ideal Fluid) มีสมบัติดังนี้

- 1) มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (steady flow) หมายถึง ความเร็วของทุกอนุภาค ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในการไหลมีค่าคงตัว โดยความเร็วของอนุภาคของของไหลเมื่อไหลผ่านจุดต่าง ๆ กันจะเท่ากันหรือต่างกันก็ได้
- 2) มีการไหลโดยไม่หมุน (irrotational flow) หมายถึง เมื่อพิจารณา ณ จุดหนึ่ง ๆ ในของไหลจะไม่มือนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้น ๆ
- 3) มีการไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (non-viscous flow) หมายถึง ไม่มีแรงต้านใด ๆ ภายในเนื้อของของไหลมากระทำต่ออนุภาคของของไหล
- 4) ของไหลไม่อัดตัวตามความดัน (incompressible flow) หมายถึง ของไหลมีปริมาตรคงตัวโดยปริมาตรของของไหลแต่ละส่วนไม่ว่าจะไหลผ่านบริเวณใดก็ยังคงมีความหนาแน่นเท่าเดิม

2.6 สมการของแบร์นูลลี

ความหมายของสมการ Bernoulli คือ หากไม่มีผลของพลังงานจากภายนอก และการสูญเสียพลังงานจาก ภายในระบบ ความสัมพันธ์ของตัวแปรของของไหลที่เดินทางไปตาม streamline ผ่านจุดที่ 1 และ 2 จะเป็นไปตาม สมการที่ (9) (ัญตร ออกกะลา, 2553)

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_m \quad (9)$$

เมื่อ

P_1, P_2 คือ ความดัน ณ จุดที่ 1 และ 2 (N/m^2)

γ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

V_1, V_2 คือ ความเร็วในการไหล ณ จุดที่ 1 และ 2 (m/s)

z_1, z_2 คือ ความสูง ณ จุดที่ 1 และ 2 (m)

h_f คือ ความสูญเสียเนื่องจากความฝืด (m)

h_m คือ ความสูญเสียรอง (m)

2.7 การไหลในท่อ (Fluid Flow in pipe)

Reynold's Number

Osborne Reynolds (1842-1912) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการไหลโดยที่การปล่อยสีย้อมลำของไหล พบว่าผลของความเร็วจและความหนืดของไหลภายในท่อสามารถเขียนเป็นตัวเลขไร้มิติที่เรียกว่า Reynolds number; Re ซึ่งเป็นตัวแบ่งชี้ถึงปรากฏการณ์ของการไหล ความสัมพันธ์ของตัวเลข Reynolds สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (10)

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (10)$$

เมื่อ

Re คือ Reynold's Number

ρ คือ ความหนาแน่นของ ของไหล (kg/m^3)

μ คือ ค่าความหนืดจลน์ ($N-s/m^2$)

D คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (m)

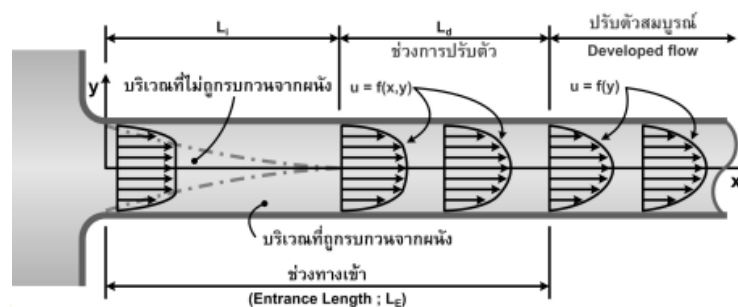
V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) : $Re \ll 2,300$

การไหลในช่วงแปรเปลี่ยน (Transition Flow) : $2,300 > Re > 4,000$

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) : $Re \gg 4,000$

ในกรณีที่ของไหลไหลเข้าท่อโดยให้การไหลเป็นแบบ uniform flow ดังรูป การไหลในจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยระยะทางที่ไหลในช่วงต้นของท่อจะเรียกว่า Entrance length, L_e ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ(11) หลังจากช่วงดังกล่าวการไหลจะเปลี่ยนเป็นแบบ Fully developed ซึ่งการไหลในช่วงนี้ ความเร็วจะไม่เป็นฟังก์ชันกับระยะทางตามแนวการไหล (x)



ภาพที่ 2 แสดงการไหลภายในท่อ

$$\frac{L_e}{D} = g \left(\frac{\rho V D}{\mu} \right) \quad (11)$$

เป็นการไหลแบบ Laminar เมื่อ $\frac{L_e}{D} \approx 0.06(\text{Re})$ (12)

เป็นการไหลแบบ Turbulent เมื่อ $\frac{L_e}{D} \approx 4.4(\text{Re})^{\frac{1}{6}}$ (13)

2.8 การสูญเสียในการไหลในท่อ

การสูญเสียภายในระบบท่อ (head losses; h_{losses}) นั้นเกิดจากการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลและท่อ ซึ่งเป็นความสูญเสียหลัก (major losses; h_{major}) รวมกับความสูญเสียที่เกิดจากการไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบซึ่งเป็นความสูญเสียรอง (minor losses; h_{minor}) การสูญเสียภายในระบบท่อสามารถคำนวณได้จากสมการ (14)

$$h_{\text{losses}} = h_{\text{major}} + h_{\text{minor}} \quad (14)$$

การสูญเสียหลักในระบบท่อ (Major losses)

การสูญเสียหลักเกิดจากการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลและผิวท่อซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (15)

$$h_{major} = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (15)$$

เมื่อ

- h_{major} คือ ความสูญเสียหลัก (m)
- f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบ laminar (m)
- L คือ ความยาวท่อ (m)
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
- v คือ ความเร็วในการไหล (m/s)
- g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

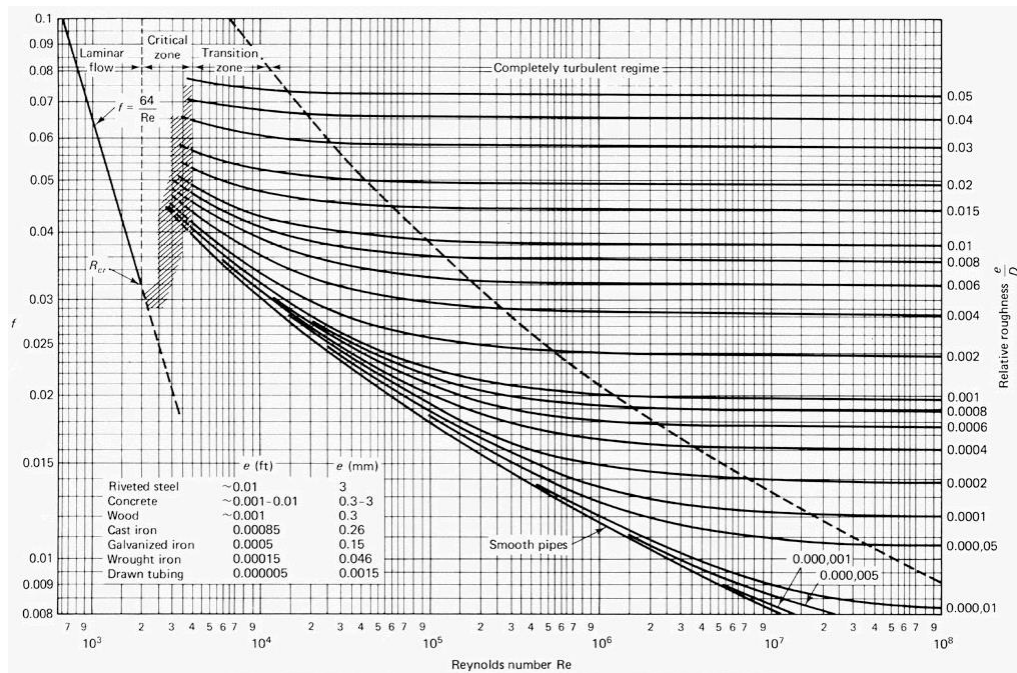
โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor, f) สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) สามารถคำนวณได้จากสมการ (16)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (16)$$

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor, f) สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) นั้นพารามิเตอร์ f ขึ้นกับ Re และ ค่า ε/D สามารถคำนวณได้จากสมการ (17)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (17)$$

การหาค่า f โดยใช้สมการที่ (6.17) มีความยุ่งยากเนื่องจากความซับซ้อนของสมการ จึงมีการสร้างแผนภาพเพื่อหาค่า f เรียกว่า Moody Diagram ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Moody Diagram ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor, f)

การสูญเสียรองในระบบท่อ (Minor losses)

การสูญเสียรองในระบบท่อคือการสูญเสียความดันเนื่องจากของไหลไหลผ่านองค์ประกอบย่อยของระบบท่อเช่น ทางเข้าออกของท่อ ข้อต่อ ข้องอ ทางแยก วาล์ว และการเปิด-ปิดของวาล์ว หากมีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความสูญเสียหลายๆ ชนิด โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ของการความสูญเสียไม่เท่ากันสามารถหาค่าคงที่ดังกล่าวได้จากภาพที่ 5-8 และตารางที่ 2-3 ซึ่งความสูญเสียทั้งหมดของระบบสามารถหาได้จากสมการ (18)

$$h_{\text{minor}} = \sum_{i=1}^n k \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

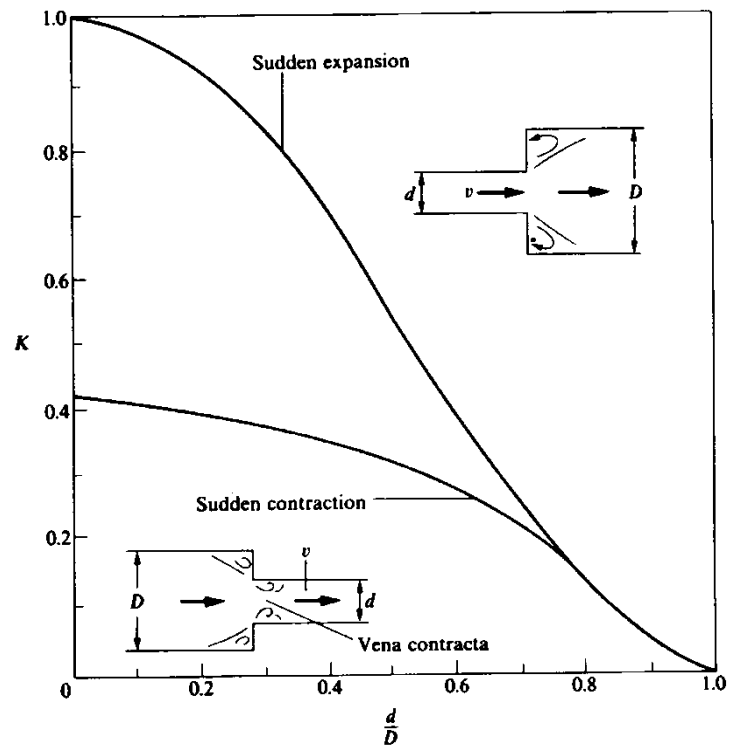
เมื่อ

h_{minor} คือ ความสูญเสียรองของระบบ (m)

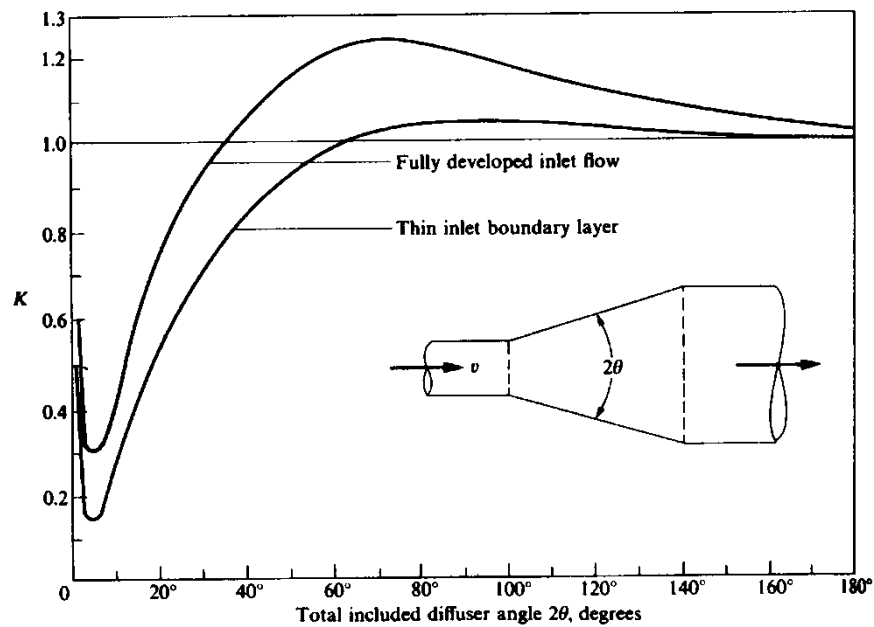
k คือ ค่าคงที่ของการสูญเสียของอุปกรณ์แต่ละชนิด

v คือ ความเร็วในการไหล (m/s)

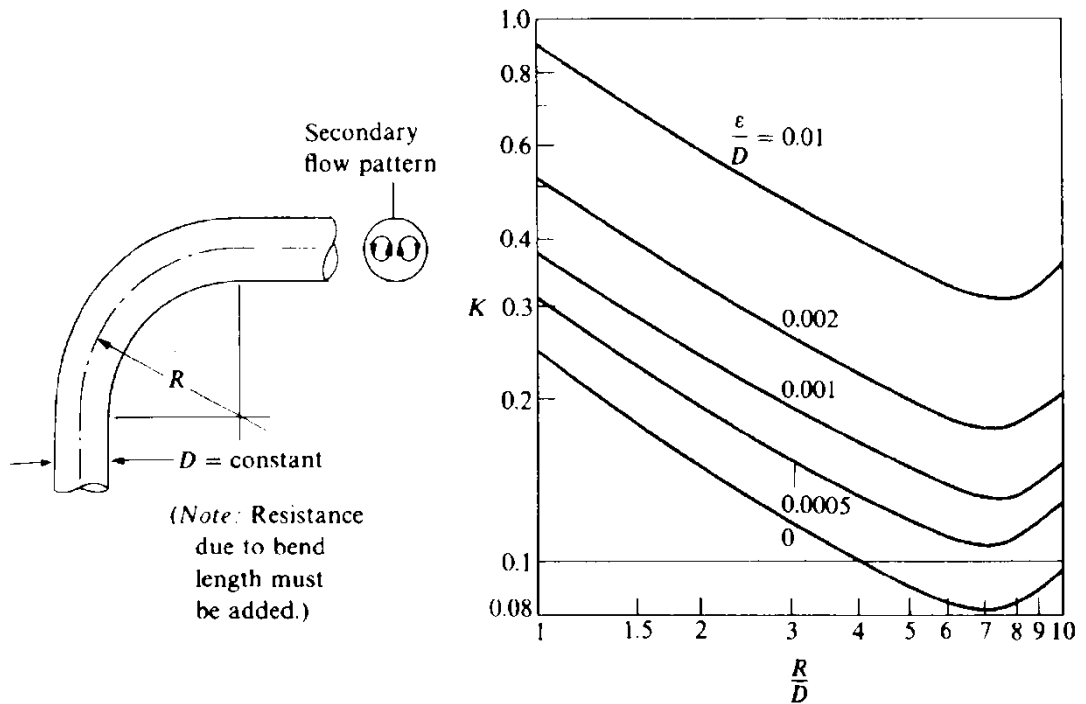
g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)



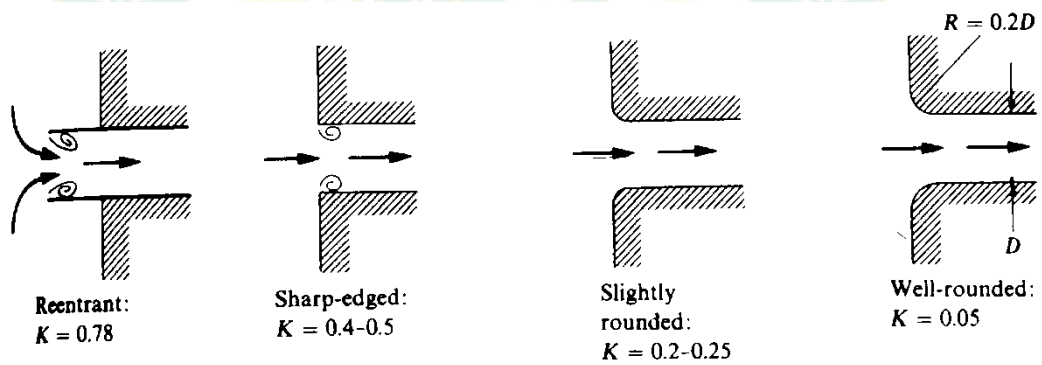
ภาพที่ 4 แสดงค่า k ของการขยายตัวอย่างทันที



ภาพที่ 5 แสดงค่า k ของ diffuser angle



ภาพที่ 6 แสดงค่า k ของ Bend



Exit losses: $K = 1.0$ for all shapes of exit (reentrant, sharp-edged, slightly, or well-rounded)

ภาพที่ 7 แสดงค่า k ของ Entrance & Exit

ตารางที่ 2 แสดงค่า k ของ valves แบบต่าง ๆ

Resistance coefficients $K = \frac{h_m}{v^2 / 2g}$ for open valves									
Nominal diameter, in	Screwed				Flanged				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Valves (fully open):									
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.08
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0

ตารางที่ 3 แสดงค่า k ของ valves แบบต่าง ๆ ตามองศาการเปิด-ปิด

Condition	Ratio K/K_{open}	
	Gate valve	Globe valve
Open	1.0	1.0
Closed, 25%	3.0-5.0	1.5-2.0
50%	12.22	2.0-3.0
75%	70-120	60-8.0

3. สมการพื้นฐานของการไหล

การวิเคราะห์การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เป็นการไหลแบบมีความหนืด สมการที่นำมาใช้งานวิจัย คือ สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) สมการโมเมนตัม (Momentum equation) และสมการพลังงาน (Energy equation) โดยเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปอย่างง่าย ดังนี้ คือ สมการความต่อเนื่อง (ยอดชาย เตียเป็น, 2550)

$$\frac{\partial(pu_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(pv_i)}{\partial y_i} = 0 \quad (19)$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน X

$$\frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(pu_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} u \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} u \left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (20)$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน Y

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(v_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial y_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} u \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} u \left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (21)$$

สมการพลังงาน

$$\rho c_p \left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i} + \frac{\partial(v_i T_i)}{\partial y} \right] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} \left[k \frac{\partial T_j}{\partial y_i} \right] \quad (22)$$

ค่าความเค้นเฉื่อยเนื่องจากความหนืด, \bar{t}_{ij} จะประมาณเป็น

$$\bar{t}_{ij} \cong \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (23)$$

โดย μ คือ laminar viscosity ส่วนค่าความเค้นเฉื่อยของเรย์โนลด์, \bar{t}_{ij} จะเขียนอยู่ในรูป

$$\bar{t}_{ij} = \overline{\rho u'_i u'_j} \quad (24)$$

ค่า, \bar{t}_{ij} ซึ่งยังไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลอง, $\kappa - \varepsilon$ model ในการหาค่า \bar{t}_{ij} $\kappa - \varepsilon$ model เทอมของ Reynolds stress, จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ Mean stress rate โดย Eddy viscosity จะกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับ Turbulent kinetic energy, (k) และ Dissipation rate (ε) โดยใช้ Bossiness's approximation คือ

$$t_{ij} = -\frac{2}{3} \delta_{ij} (\rho k) + u_i \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (25)$$

โดยที่ $u_t = \rho c_\mu k^2 / \varepsilon$ คือ Turbulent Eddy Viscosity สมการของ Turbulent Kinetic Energy (TKE) (k) จะอยู่ในรูป

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \rho \varepsilon \quad (26)$$

สมการของ Dissipation Rate ของ Turbulent Kinetic Energy จะได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (27)$$

ซึ่ง G แทนค่าของ Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy ขณะที่ $\rho\varepsilon$ คือ Dissipation Rate โดย G จะเป็น

$$G = u_e \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (28)$$

ค่าขอบเขตสำหรับค่าต่าง ๆ ของ Turbulent ที่ใกล้เคียงสามารถหาค่าได้จาก Wall Function, โดยที่ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับค่าสมการต่าง ๆ ที่ผ่านมามีดังนี้คือ

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_{\varepsilon 1} = 1.4, C_{\varepsilon 2} = 1.92 \text{ and } C_u = 0.09, \\ u_e = u_t + u$$

การคำนวณหาความเร็วของน้ำ

พิจารณาจากกฎทรงพลังงาน จะได้ว่าน้ำเมื่อตกลงมาพลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้ (วิระยุทธ หล้าอมรชัยกุล, 2554)

$$E_p = E_k \\ mgH = \frac{1}{2}mv^2 \\ v^2 = 2gH \\ v = \sqrt{2gH} \quad (29)$$

ค่าความเร็วของน้ำหาค่าได้จากสมการ (12) โดยที่, v คือความเร็วของน้ำ, g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, H คือค่าความสูงของน้ำพิจารณาการไหลของลำน้ำที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A ด้วยความเร็ว v จะได้ปริมาตรของการไหลของน้ำ

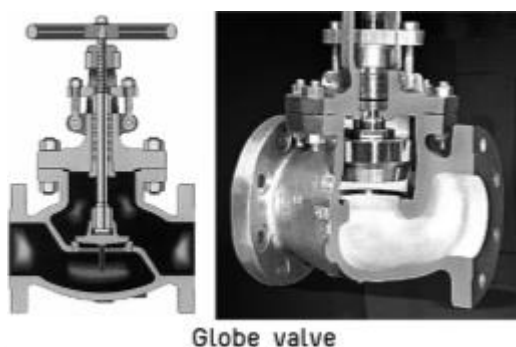
$$Q = Av \quad (30)$$

4. การทดสอบวาล์วควบคุมอัตราการไหล

4.1 โกลบวาล์ว (Globe valve)

โกลบวาล์วทำงานด้วยการเลื่อนขึ้นลงของแผ่นปิดรูปวงกลม มีทั้งแบบก้านเกลียว และก้านเรียบที่เปิดปิดด้วยกลไกภายนอก วาล์วประเภทนี้จะมีความดันตกสูงเนื่องจากเส้นทางการไหลไม่ราบเรียบ เหมาะสำหรับการหริ่เพื่อควบคุมการไหล จึงมักใช้เป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดย

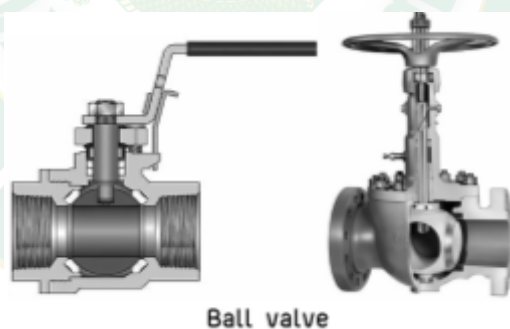
รูปแบบของวาล์วมีทั้งแบบไหลตรง หรือ หักมุม (Angle globe valve) ดังแสดงในภาพที่ 8 (ดุลยโชติ ชลศักดิ์, 2559)



ภาพที่ 8 โกลบวาล์ว (Globe valve)

4.2 บอลวาล์ว (Ball valve)

บอลวาล์วทำงานด้วยการหมุนของลูกบอลเจาะรู การเปิดปิดใช้การหมุนเป็นมุมเพียง 90 องศา เหมาะสมกับการใช้งานเป็นวาล์วสำหรับการหริ่ และใช้ควบคุมอัตราการไหล มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบของเหลวทั่วไป ข้อดีคือมีความดันตกคร่อมต่ำ และปิดได้อย่างสนิท ดังแสดงในภาพที่ 9 (ดุลยโชติ ชลศักดิ์, 2559)



ภาพที่ 9 บอลวาล์ว (Ball valve)

4.3 วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve)

วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อทำงานด้วยการหมุนของแผ่นจานกลม การเปิดปิดใช้การหมุนเป็นมุมเพียง 90 องศา เหมาะกับการใช้งานเป็นวาล์วเปิด-ปิด ในระบบของเหลวทั่วไปสามารถใช้ควบคุมอัตราการไหลแต่ไม่สามารถทำความดันตกคร่อมได้สูงเหมือนโกลบวาล์ว ข้อดีคือความดันตกคร่อมต่ำ เปิด-ปิดได้เร็ว และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าวาล์วชนิดอื่น ดังแสดงในภาพที่ 10 (ดุลยโชติ ชลศักดิ์, 2559)



Butterfly valve

ภาพที่ 10 วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve)

4.4 สัมประสิทธิ์ของวาล์ว

วาล์วนอกจากจะมีหน้าที่เปิด-ปิดการไหลแล้วยังสามารถใช้ควบคุมอัตราการไหลได้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเปิดวาล์วกว้างหรือแคบ จะมีผลทำให้ความดันที่ตกคร่อมวาล์วเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการไหลของของไหลผ่านวาล์วแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันออกไป โดยค่าสัมประสิทธิ์นี้นิยมระบุเป็นค่า K_v หรือ C_v ดังสมการต่อไปนี้

$$K_v = Q \sqrt{\frac{S.G.}{\Delta P}} \quad (31)$$

เมื่อ

S.G. คือ ความถ่วงจำเพาะของของไหล

Q คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ΔP คือ ความดันตกคร่อมวาล์วมีหน่วยเป็นบาร์

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S.G.}{\Delta P}} \quad (32)$$

เมื่อ

S.G. คือ ความถ่วงจำเพาะของของไหล

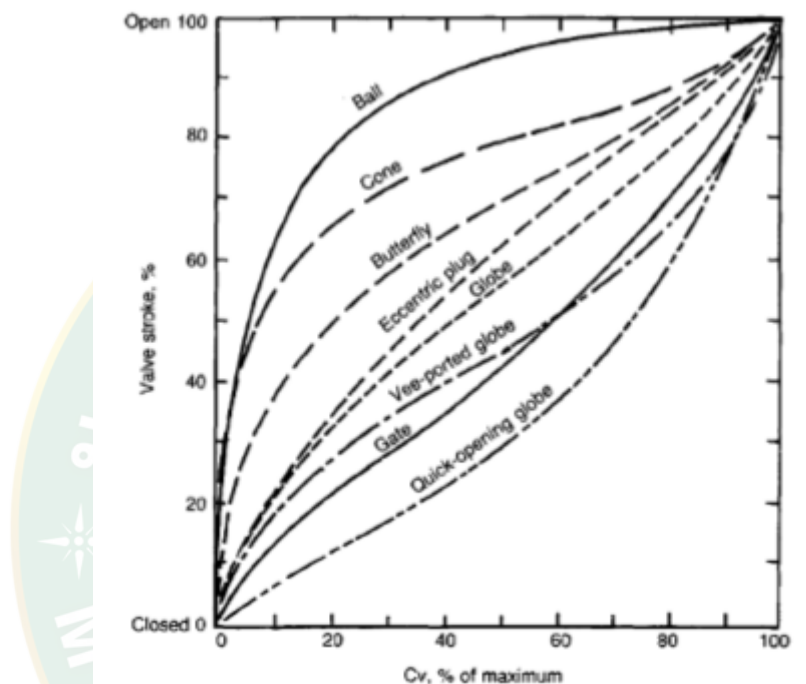
Q คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที

ΔP คือ ความดันตกคร่อมวาล์วมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เมื่อทำการแปลงหน่วยจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง K_v และ C_v เป็นดังสมการ (33)

$$C_v = 0.86K_v \quad (33)$$

วาล์วที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมอัตราการไหลควรมีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปิดวาล์วและ ค่าสัมประสิทธิ์ของวาล์วเป็นเส้นตรงซึ่งจากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าโกลบวาล์วมีลักษณะที่เหมาะสมจะใช้ควบคุมอัตราการไหลที่สุด (ดุษฎีโชติ ชลศักดิ์, 2559)

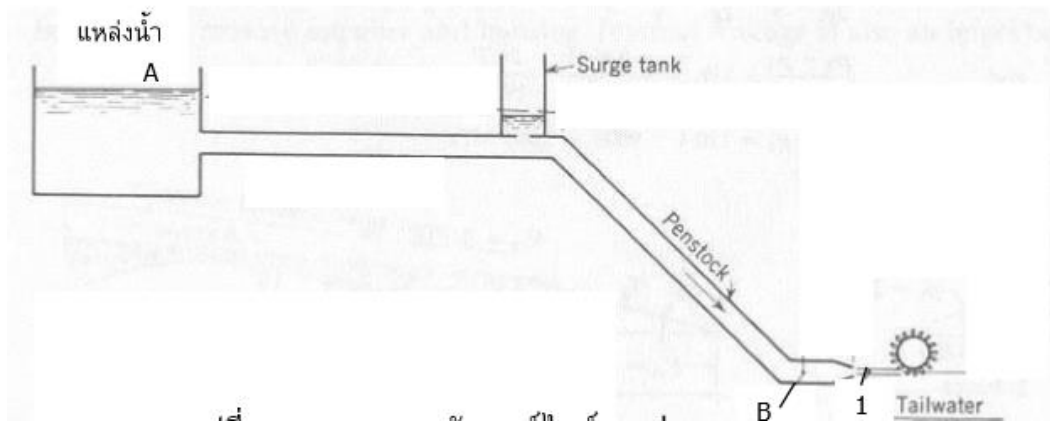


ภาพที่ 11 K_v และ เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว ในวาล์วชนิดต่าง ๆ

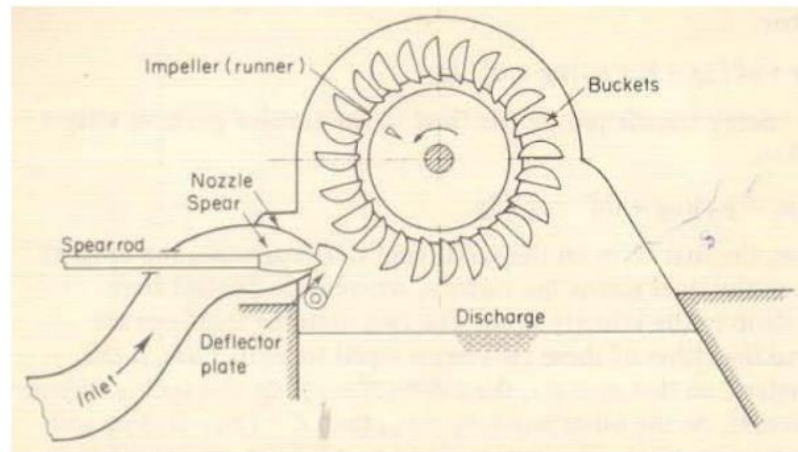
5. การทดสอบกังหันน้ำ

5.1 เฟลตันเทอร์ไบน์ (Pelton turbine)

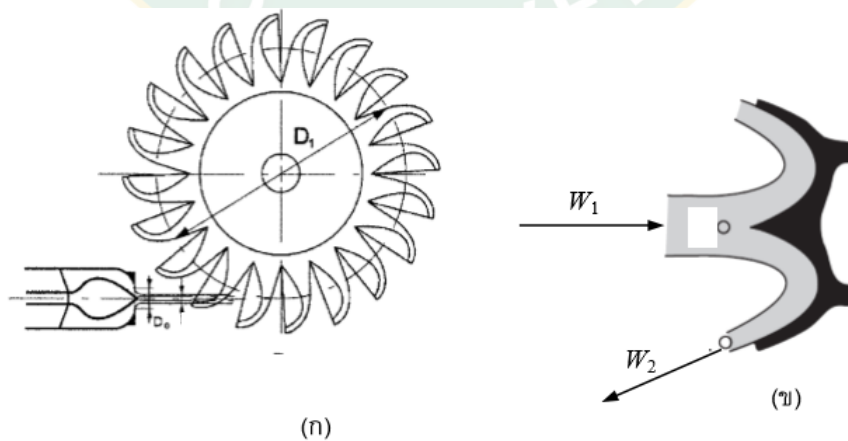
เฟลตันเทอร์ไบน์เป็นอิมพัลส์เทอร์ไบน์ประเภทหนึ่งที่พลังงานทั้งหมดของการไหลถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ที่ความดันบรรยากาศ โดยของไหลออกจากหัวฉีด (Nozzle) แล้วกระทบกับ Bucket ความสูญเสียจากแหล่งน้ำผ่านท่อความดันไปจนถึงหัวฉีด (Nozzle) คำนวณได้จากความเสียดทานของท่อรูปแบบง่าย ๆ ของการติดตั้งเฟลตันเทอร์ไบน์ ดังแสดงในภาพที่ 12 น้ำจะไหลจากแหล่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำผ่านท่อซึ่ง เรียกว่า Penstock เข้าสู่หัวฉีดแล้วออกจากหัวฉีดกระทบกับ Bucket น้ำที่ออกจากหัวฉีดจะมีความเร็วสูงมาก



ภาพที่ 12 ระบบกังหันน้ำเพลตันเทอร์ไบน์แบบง่าย ๆ



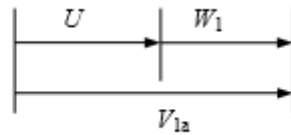
ภาพที่ 13 รายละเอียดของน้ำที่ออกจากหัวฉีด (Nozzle) กระทบกับ Bucket



ภาพที่ 14 ลำน้ำที่ออกจากหัวฉีดกระทบกับ Bucket

การวิเคราะห์กำลังที่ได้จากเพลตันเทอร์ไบน์

เวกเตอร์ความเร็วของน้ำก่อนกระทบ Bucket



ภาพที่ 15 เวกเตอร์ความเร็วของน้ำก่อนกระทบ Bucket

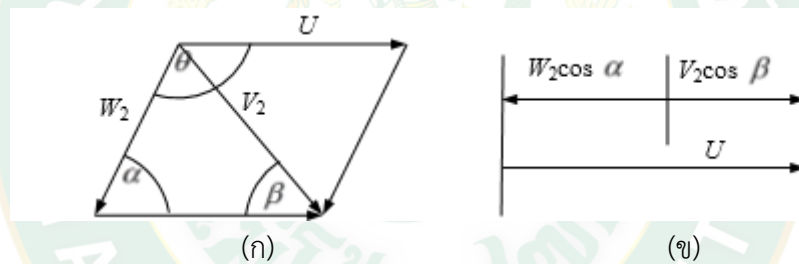
U คือ ความเร็วขอบของ Bucket

W_1 คือ ความเร็วสัมผัสก่อนกระทบ Bucket

V_{1a} คือ ความเร็วสมบูรณ์ของน้ำที่ออกจากหัวฉีดก่อนกระทบ Bucket

จากเวกเตอร์ของความเร็ว $W_1 = V_{1a} - U$

เวกเตอร์ของความเร็วหลังจากกระทบ Bucket



ภาพที่ 16 เวกเตอร์ความเร็วของน้ำหลังกระทบ Bucket

V_2 คือ ความเร็วของน้ำที่สมบูรณ์ของน้ำที่ออกจาก Bucket

U คือ ความเร็วขอบของ Bucket

W_2 คือ ความเร็วสัมผัสที่ออกจาก Bucket

ถ้าไม่คำนึงถึงความเสียหายที่ผิวของ Bucket ค่าความเร็วสัมผัส $W_2 = W_1$

ถ้าคำนึงถึงความเสียหายที่ผิวของ Bucket ค่าความเร็วสัมผัส $W_2 = kW_1$ ค่าของ k มี

ค่าไม่เกิน 1 จากสมการโมเมนตัมเชิงเส้นในสภาวะการไหลแบบคงตัว

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(V_{out} - V_{in}) \quad (34)$$

แรงที่ Bucket กระทำกับน้ำ

$$F = \rho Q (V_2 \cos \beta - V_{la}) \quad (35)$$

$$= \rho Q (U - W_2 \cos \alpha - V_{la})$$

$$= \rho Q [(U - V_{la}) - (W_2 \cos \alpha)]$$

$$= \rho Q [(U - V_{la}) - (kW_1 \cos \alpha)]$$

$$= \rho Q [(U - V_{la}) - \{k(V_{la} - U)\} \cos \alpha]$$

$$= \rho Q [-(V_{la} - U) - k(V_{la} - U) \cos \alpha]$$

$$= \rho Q [V_{la} - U] [-1 - k \cos \alpha]$$

$$= -\rho Q [V_{la} - U] [1 + k \cos (180 - \theta)]$$

$$= -\rho Q [V_{la} - U] [1 - k \cos \theta] \quad (36)$$

แรงที่กระทำกับ Bucket

$$R = -F = \rho Q (V_{la} - U) (1 - k \cos \theta) \quad (37)$$

กำลังที่ได้จากเพลตันเทอร์ไบน์ $P = Tw$

$$T = \rho Q r_m (V_{la} - U) (1 - k \cos \theta) \quad (38)$$

เมื่อ

$$U = r_m w$$

r_m คือ รัศมีเฉลี่ยของ Bucket

w คือ ความเร็วเชิงมุม

$$P_{theory} = \rho Q U (V_{la} - U) (1 - k \cos \theta) \quad (39)$$

เมื่อต้องการหากำลังสูงสุดกระทำโดยการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับ U หรือ θ

$$\frac{dP_{theory}}{dU} = 0 \text{ จะได้ } U = \frac{V_{la}}{2}$$

$$\frac{dP_{theory}}{d\theta} = 0 \text{ จะได้ } k \cos \theta = 0 \text{ ค่าของ } k \text{ ไม่เท่ากับ } 0 \text{ ดังนั้น } \theta = 180^\circ$$

ในทางปฏิบัติ $\theta \approx 165^\circ$ หรือ $1 - \cos \theta \approx 1.966$ และ $U \approx 0.46V_{la}$

ความเร็ว V_{la} เท่ากับความเร็วของน้ำที่ออกจากหัวฉีด(Nozzle)

$$V_{la} = C_v \sqrt{2gH_{net}} \quad (40)$$

เมื่อ

C_v คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว

กำลังสูงสุดตามทฤษฎี

$$P_{theory} = \rho Q \left(\frac{V_{la}}{2} \right) \left(V_{la} - \frac{V_{la}}{2} \right) (1 - \cos 180^\circ) \quad (41)$$

$$= \rho Q \frac{V_{la}^2}{2} \quad (42)$$

กำลังตามทฤษฎี

$$P_{th} = \rho Q (1 - \cos \theta) (V_1 - U) U \quad \text{โดย } k \approx 1$$

$$= \rho Q (1 - \cos 165^\circ) (V_1 - U) U$$

สมการพลังงานระหว่างจุด (A) กับจุด (B)

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B + h_{L(A-B)}$$

$$H - h_{L(A-B)} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} \quad (43)$$

สมการพลังงานระหว่างจุด (B) กับจุด (1)

$$\frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + z_B = \frac{P_l}{\rho g} + \frac{V_l^2}{2g} + z_l$$

$$V_1 = \sqrt{2g \left(\frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} \right)} \quad (44)$$

V_1 ที่ได้เป็นความเร็วทางทฤษฎีหรือ V_{1t}

$$\frac{V_{1a}}{V_{1t}} = C_v$$

$$V_{1a} = C_v \sqrt{2g \left(\frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} \right)} \quad (45)$$

ค่าของ C_v อยู่ในช่วง $0.92 \leq C_v \leq 0.98$ ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ $C_v = 0.98$

การตรวจเอกสาร

A. Pereira and M. Ramos (2010) ได้ศึกษาการไหลของน้ำผ่านอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small hydropower) ประกอบด้วย วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valves) โวลูตน้ำ (Vortex formation) ช่องทางเข้าน้ำ (Intakes) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของพลังงานน้ำ โดยงานวิจัยนี้ใช้กลศาสตร์ของไหลขั้นสูงในการคำนวณแบบไดนามิกและจำลองรูปแบบการไหลเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Small hydropower)

ยอดชาย เตียเป็น และคณะ (2007) เทคนิคการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลช่วยในการออกแบบ ไซแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบ k-ε วิเคราะห์สนามการไหล และ ประสิทธิภาพ บทความนี้แสดงผลการออกแบบผ่านการจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่คาเฮตของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 13 เมตรและอัตราการไหล เท่ากับ $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ กำลังผลิตเท่ากับ 155 kW. ประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 80 % ผลลัพธ์มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี การจำลองทางด้าน (CFD) สามารถช่วยการออกแบบกังหันน้ำได้เป็นอย่างดี

วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล และ วีรชัย โรยนรินทร์ (2008) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีเฮดน้ำต่ำ โดยเน้นคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างและรูปทรงต่าง ๆ ของตัวกังหันน้ำระบบการ

ออกแบบ เริ่มต้นจากการคำนวณหารูปทรงเบื้องต้น และชิ้นส่วนต่าง ๆ ของกังหันน้ำ ได้แก่ ช่องทางน้ำเข้า โวลูตน้ำ และล้อกังหันน้ำ เมื่อได้รูปทรงคร่าว ๆ จึงนำไปทำการสร้างเมช สำหรับการคำนวณผลทางด้านพลศาสตร์ของไหล เพื่อทำการประเมินศักยภาพการทำงานของกังหันน้ำ โดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข การไหลของน้ำผ่านล้อกังหันน้ำ.

ธีระพงษ์ คำประเสริฐ และ จำลอง ปราบแก้ว (2011) การสูญเสียพลังงานในระบบท่อทั้งในท่อตรงและอุปกรณ์ประกอบท่อ ได้แก่ บอลวาล์ว เกตวาล์ว และข้อต่อตรง เป็นเรื่องที่มีความสำคัญ การประเมินค่าความสูญเสียดังกล่าวต้องแม่นยำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบส่งของไหล งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการหาค่าตัวประกอบความเสียดทานการไหลและสัมประสิทธิ์การสูญเสียของของไหลนอน-นิวโทเนียน เมื่อไหลผ่านท่อตรงและอุปกรณ์ประกอบท่อ ได้แก่ บอลวาล์ว เกตวาล์ว และข้อต่อตรงโดยวิธีการทดลอง

ไพฑูรย์ เหล่าดี และคณะ (2008) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Pico hydropower system) หมายถึงระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานน้ำหมุนกังหันน้ำที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 5 kW. ไฟฟ้าที่ได้เป็นกระแสสลับ 220V/50Hz หรือ 110V/60Hz จึงสามารถนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่ว ๆ ไปได้ เช่น หลอดไฟแสงสว่าง วิทยุ และโทรทัศน์ ส่วนประกอบหลักของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน (Water supply) ท่อส่งน้ำ (Penstock pipe) กังหันน้ำ (Hydro turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Power Controller) ภาระทางกล (Mechanical loads) ระบบสายส่งไฟฟ้า (Distribution system) และภาระทางไฟฟ้าของระบบ (Electrical loads)

นิติพัฒน์ จอมมงคล และ เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล (2013) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้า ในระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและความถี่ไฟฟ้า ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่เสถียร ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์และตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กโดยการควบคุมแรงดันและความถี่ไฟฟ้าด้านภาระไฟฟ้าที่ใช้งานให้มีความคงที่ สมดุลกับด้านที่จ่ายออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับภาระถ่ายเทเป็นอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งทำการศึกษาวิเคราะห์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยใช้วิธีการควบคุมมูฟเฟสการทริกสัญญาณควบคุมสวิทช์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระถ่ายเทลดความร้อนแบบอัตโนมัติ เพื่อรักษาระดับแรงดันและความถี่ให้คงที่ตลอดเวลา ผลการวิเคราะห์พบว่าระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำที่มีชุดควบคุมระดับแรงดันและความถี่มีความคงที่ ช่วยแก้ปัญหาความไม่เสถียรของระบบไฟฟ้าและลดการเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบได้

ณัฐวุฒิ จันทเลิศ และ จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี (2012) งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพกังหันน้ำแกนตั้งแบบลดแรงเสียดทานโดยกังหันน้ำจะถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งในคลองชลประทานที่มีความเร็วการไหลต่ำมีการพัฒนาให้กลไกการเปิด-ปิดใบพัดให้สามารถทำงานและเริ่มออกตัวได้เร็วขึ้นกว่าแบบเก่า โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของใบพัดโดยกังหันน้ำจะมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อน้ำไหลผ่านใบพัด ใบพัดจะเปิดขึ้นเพื่อรับพลังงานจากการไหลเมื่อหมุนไปเมื่ออยู่ในทิศทางตามน้ำและจะถูกปิดลงให้ขนานกับการไหลเมื่อหมุนไปอยู่ในทิศทางทวนน้ำ กังหันน้ำได้ถูกทำการทดสอบในแบบจำลองคลองชลประทานดาดคอนกรีตมีความกว้างของกันคลอง 0.8 เมตร ความลึกน้ำ 0.3 เมตรภายในห้องทดลองชลศาสตร์ ในการทดลองกังหันน้ำนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของใบพัดชนิดโค้ง ขนาดความกว้าง 0.1 เมตร× ความยาว 0.3 เมตร มีรัศมีความโค้ง 0.15 เมตร เปรียบเทียบกับใบพัดชนิดตรงขนาดความกว้าง 0.1 เมตร ×ความยาว 0.3 เมตร ได้ทำการทดสอบกังหันที่ความเร็วกระแสน้ำเท่ากับ 0.28, 0.43, 0.51, 0.57, 0.60, 0.64, 0.67, 0.73 เมตรต่อวินาที ตามลำดับจากการทดลองพบว่าใบพัดชนิดโค้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าใบพัดชนิดตรง ประสิทธิภาพกังหันใบพัดชนิดโค้งได้สูงสุด 72 เปอร์เซ็นต์เมื่อ เปรียบเทียบกับใบพัดชนิดตรงได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 56 เปอร์เซ็นต์

S.J. Williamson et al. (2011) ประเภทของกังหันน้ำเหมาะสมเฉพาะกับช่วงของเฮดของน้ำ อัตราการไหล และความเร็วของแกนเพลลา และมีการแบ่งประเภทด้วยความเร็ว ในช่วงของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจืดคือ ต่ำกว่า 5 kW. ข้อกำหนดต่าง ๆ จะแตกต่างจากกังหันน้ำขนาดใหญ่และความต้องการด้านคุณภาพมีความสำคัญมากขึ้น งานวิจัยนี้จะอธิบายวิธีการที่จะเลือกรูปแบบใบกังหันน้ำให้มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับเฮดน้ำต่ำสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจืดโดยใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของรูปแบบใบกังหันน้ำ 13 รูปแบบ

H. Zainuddin et al. (2009) งานวิจัยนี้อธิบายถึงการออกแบบและพัฒนาระบบการผลิตเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจืดที่ใช้น้ำประปาที่แจกจ่ายให้กับบ้านพักที่อยู่อาศัย การไหลของน้ำในท่อในประเทศมีพลังงานจลน์ที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจุดประสงค์ในการจัดเก็บพลังงานนอกจากนี้ยังมีกิจกรรมประจำวันเช่นซักล้างปรุงอาหารและอาบน้ำ แรงดันน้ำโดยธรรมชาติและการไหลภายในท่อจากถังหลักยูทิลิตี้ที่ใช้สำหรับกิจกรรมตามปกติของผู้ที่จะใช้ในการหมุนขนาดเล็กกังหันพลังน้ำที่จะขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นโครงการนี้จะดำเนินการในการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจืดโดยใช้น้ำประปาที่แจกจ่ายให้กับบ้านเป็นแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อไฟฟ้าสำหรับการใช้งานในที่อยู่อาศัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษاثิทธิพลของวาล์วควบคุมอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) ศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพวาล์ว
- 3) ศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพระบบส่งน้ำ
- 4) ศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำ

2. ออกแบบและทดสอบ

- 1) ออกแบบการทดลอง กำหนดขนาด พิกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและความต้องการของชุมชน
- 2) กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่
 - กำหนดเฮดน้ำให้คงที่ที่ 10 เมตรน้ำ
 - กำหนดชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล 3 ชนิดคือ ประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) บอลวาล์ว (Ball valve) และโกลบวาล์ว (Globe valve)
 - กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วจำนวน 5 ค่าคือที่ 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์
 - กำหนดระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำจำนวน 3 ค่าที่ระยะ 1D 2D และ 3D
- 3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการไหล

ได้จำลองการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลในขั้นตอนแรกคือการสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและมีความยาวเป็น 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ โดย

การกำหนดขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองรูปแบบการไหล ด้วยการกำหนดสภาพขอบเขตสำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ

4) สร้างแบบจำลองการไหลของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation จะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ร่วมกับการใช้สมการอื่น ๆ เช่น สมการอนุรักษ์พลังงาน สมการความต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม มาร่วมในการแก้ปัญหาไปพร้อม ๆ กันโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- สร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ในรูปแบบจำลอง 3มิติ และท่อสองเส้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและมีความยาวเป็น 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS
- กำหนดสมการสำหรับการวิเคราะห์ เช่น สมการการอนุรักษ์มวล สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน เป็นต้น โดยในโปรแกรม SOLIDWORKS Flow Simulation จะทำโดยการใช้ Wizard กำหนดรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นโปรแกรมจะเลือกสมการมาใช้เองอัตโนมัติ
- กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของของไหลและคุณสมบัติ ณ.ขอบเขตนั้น ๆ ของปัญหาที่ต้องการศึกษา สำหรับปัญหาแบบเปลี่ยนไปตามเวลาจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition)
- กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ การแก้สมการโดยอาศัยระเบียบวิธีทำซ้ำ (Iteration) และการกำหนดการลู่เข้าหาผลเฉลย
- การแบ่งชิ้นส่วนย่อยหรือ การ mesh ชิ้นงาน Fluid cell เป็น mesh ส่วนที่คลุมบริเวณที่เป็นของไหล ให้ได้จำนวน mesh ไม่มากหรือน้อยเกินไป เพื่อให้ได้เวลาที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ที่น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และได้ผลเฉลยที่มีความถูกต้องสูง
- ทำการวิเคราะห์ผล
- แสดงภาพและค่าต่าง ๆ ของผลที่ได้

5) ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชนิด

6) ทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

งบประมาณในการดำเนินงาน

งบประมาณที่คาดว่าจะใช้ในการดำเนินโครงการมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 งบประมาณที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับที่	รายการ	ราคา (บาท)
1	เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว	15,000
2	อุปกรณ์วาล์วควบคุมอัตราการไหล	15,000
3	อุปกรณ์ท่อและข้อต่อท่อต่าง ๆ	10,000
4	เครื่องปั้มน้ำ	20,000
5	ค่าเอกสาร	5,000
6	ค่าอุปกรณ์สิ้นเปลืองอื่น ๆ	5,000
รวม	เจ็ดหมื่นบาทถ้วน	70,000



บทที่ 4

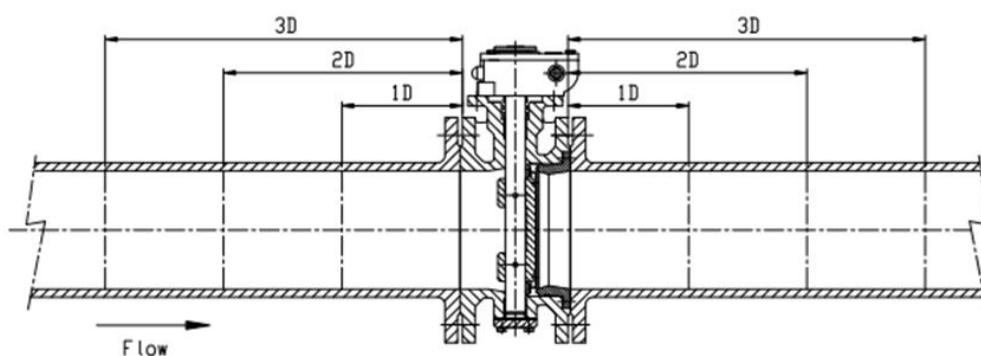
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ได้จำลองการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลในขั้นตอนแรก คือ การสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและมีความยาวเป็น 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ

การจำลองเชิงคณิตศาสตร์ การกำหนดขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหล เพื่อจำลองรูปแบบการไหลด้วยการกำหนดสภาพขอบเขตสำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

ประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve)

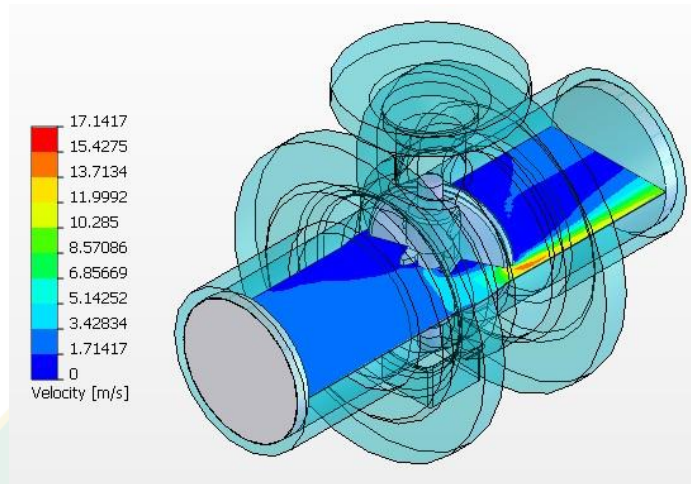
วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly Valve)	= 100 ม.ม.
ขนาดของท่อสองด้าน	= 100 ม.ม.
ความดันต้นต้นน้ำ	= 10 เมตรของน้ำ



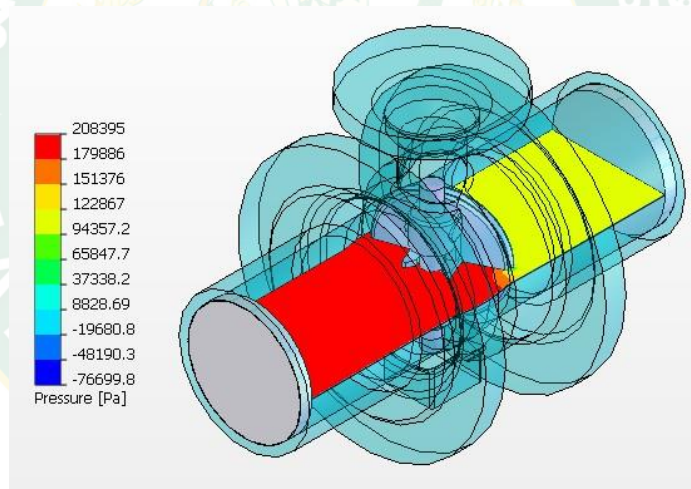
ภาพที่ 17 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve)

การสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ

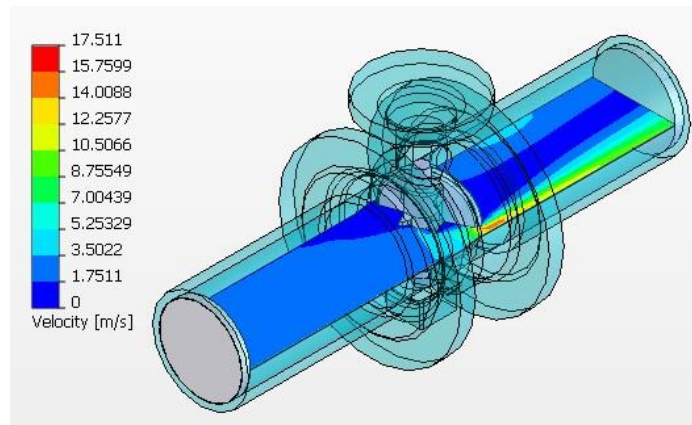
1. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์



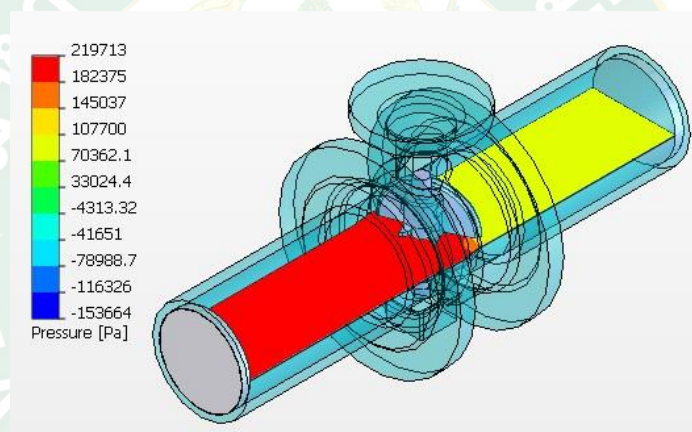
ภาพที่ 18 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 มม. (1D)



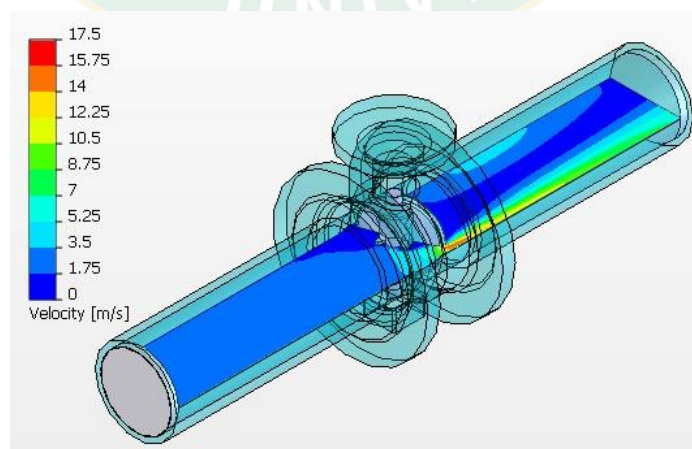
ภาพที่ 19 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 มม. (1D)



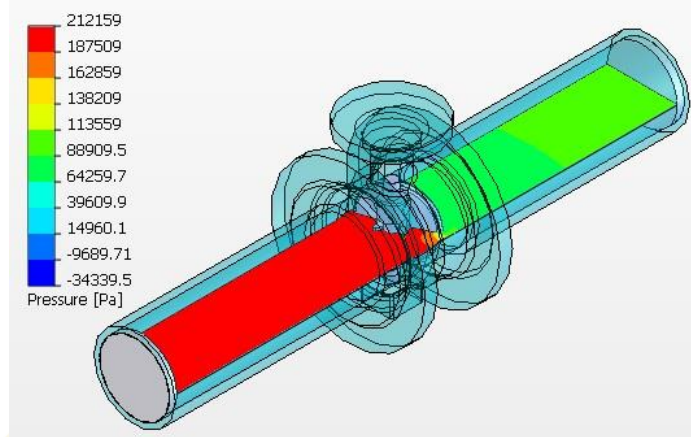
ภาพที่ 20 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 21 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

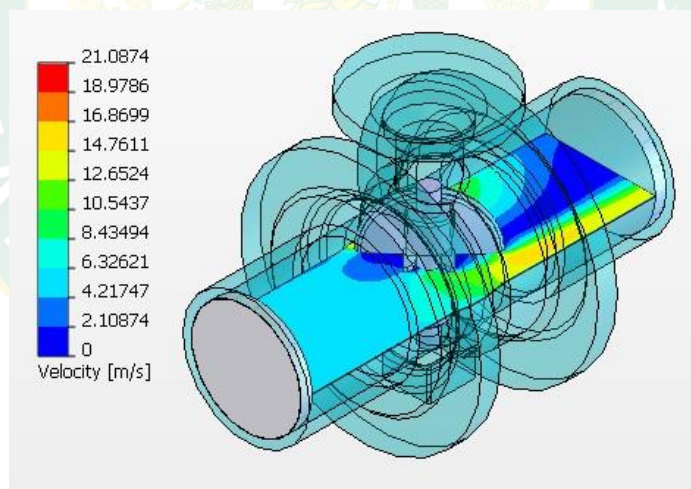


ภาพที่ 22 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

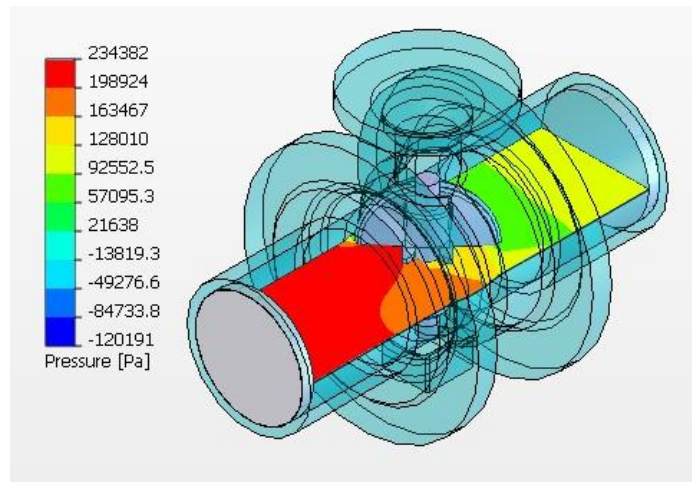


ภาพที่ 23 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

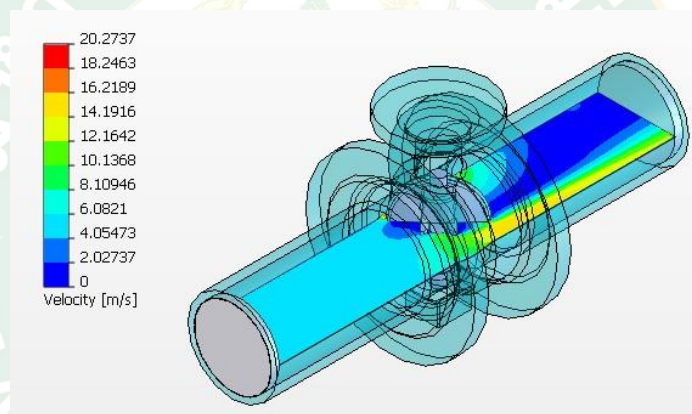
2. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์



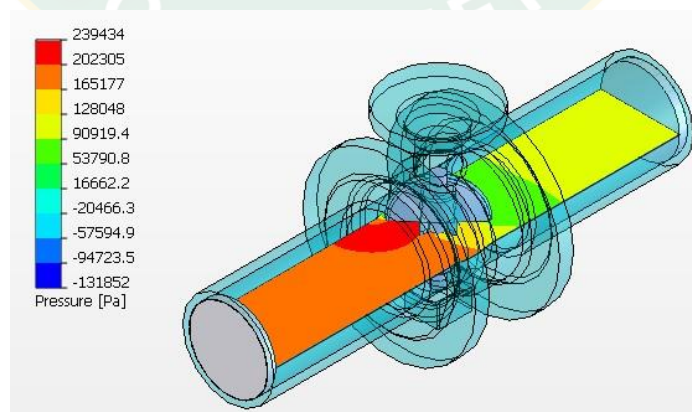
ภาพที่ 24 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



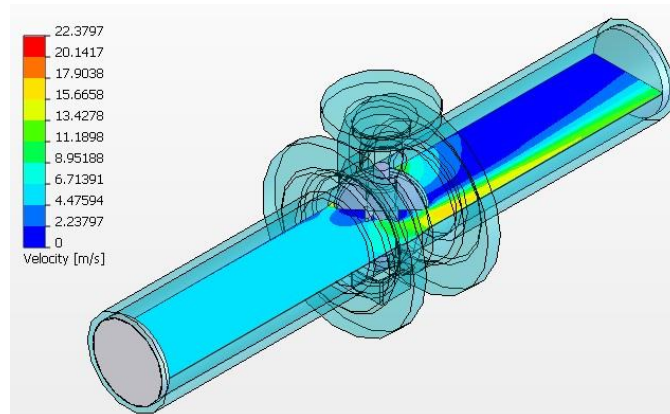
ภาพที่ 25 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



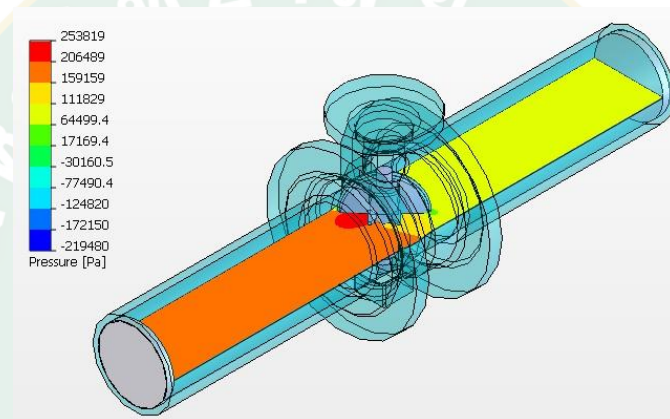
ภาพที่ 26 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 27 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

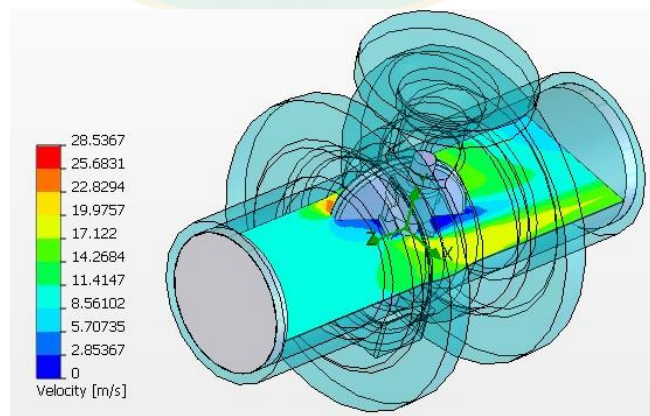


ภาพที่ 28 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

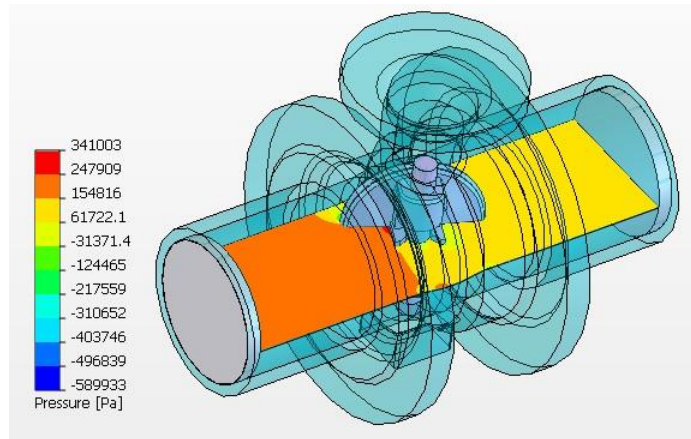


ภาพที่ 29 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

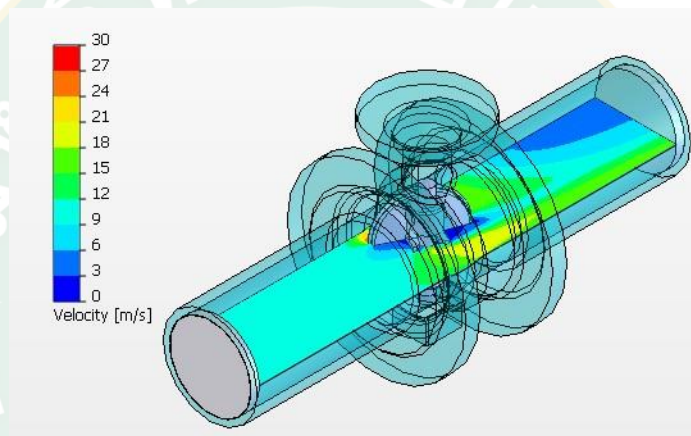
3. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์



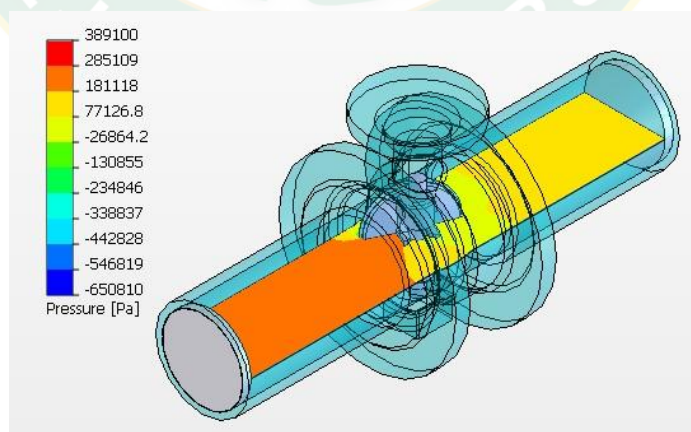
ภาพที่ 30 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



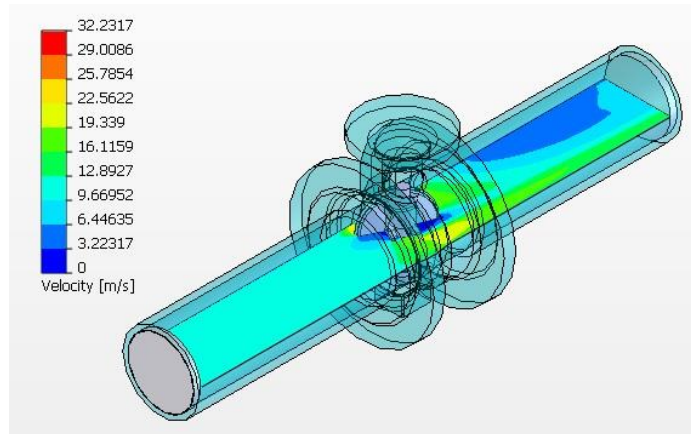
ภาพที่ 31 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



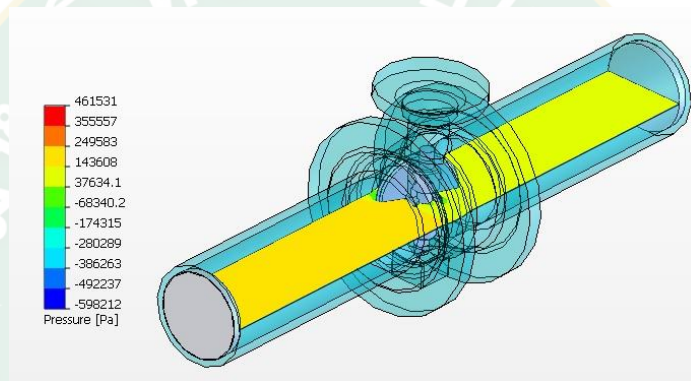
ภาพที่ 32 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 33 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

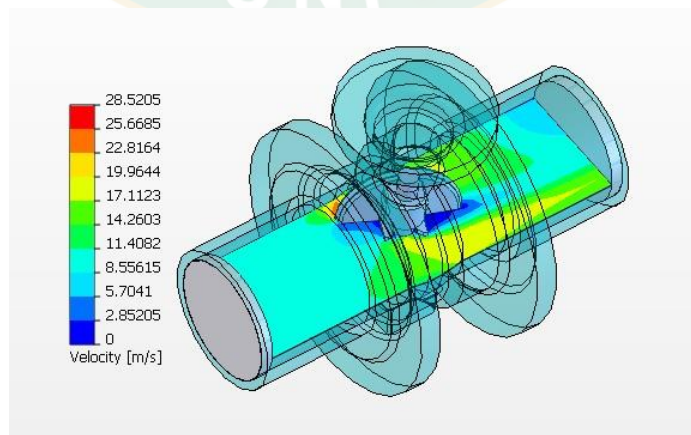


ภาพที่ 34 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

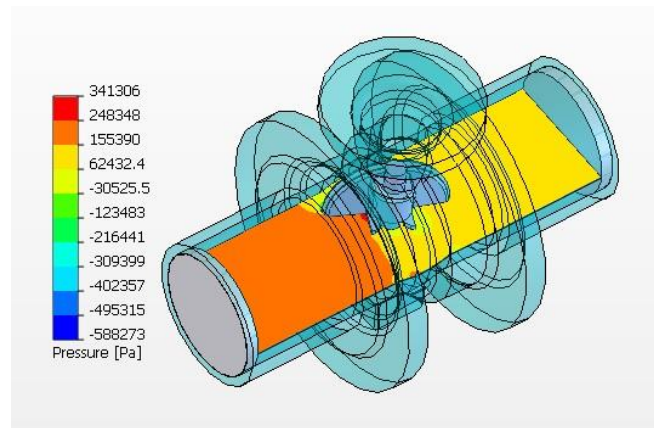


ภาพที่ 35 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

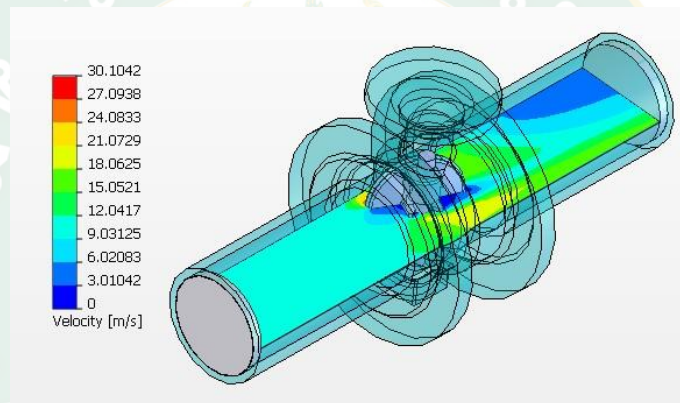
4. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์



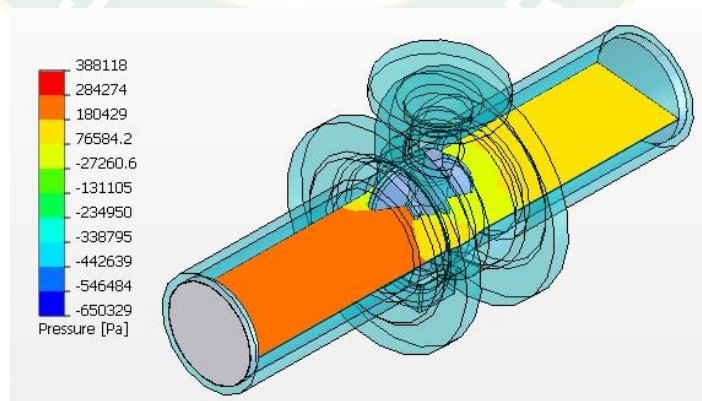
ภาพที่ 36 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



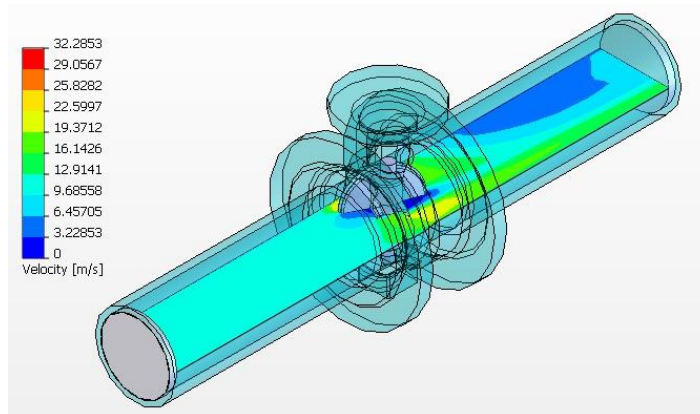
ภาพที่ 37 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



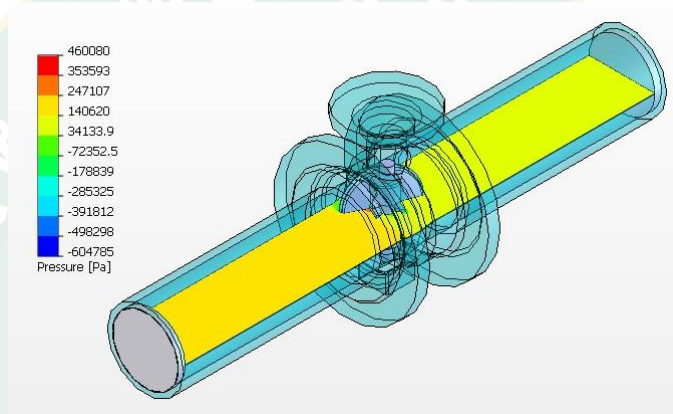
ภาพที่ 38 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 39 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

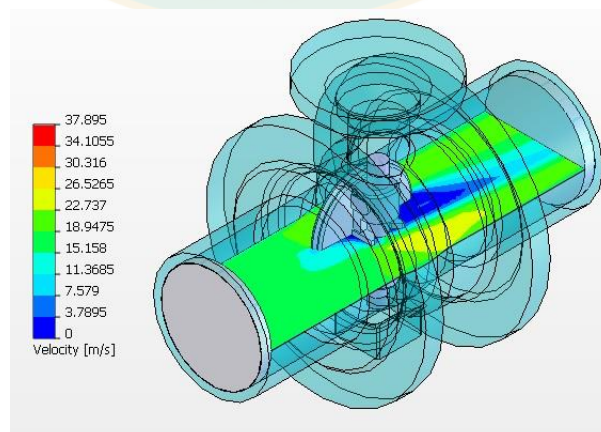


ภาพที่ 40 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

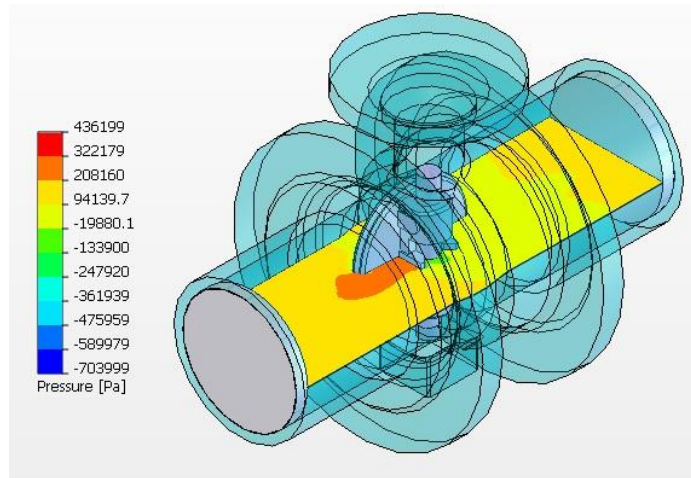


ภาพที่ 41 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

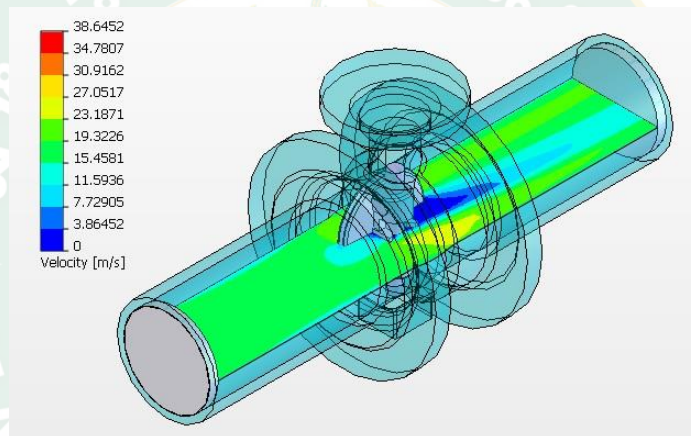
5. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์



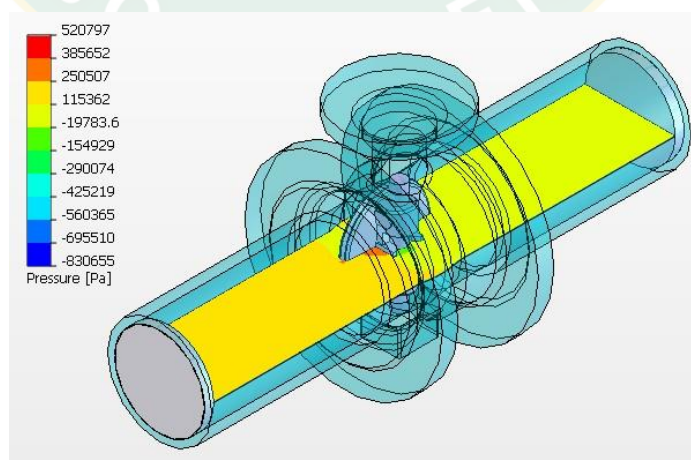
ภาพที่ 42 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



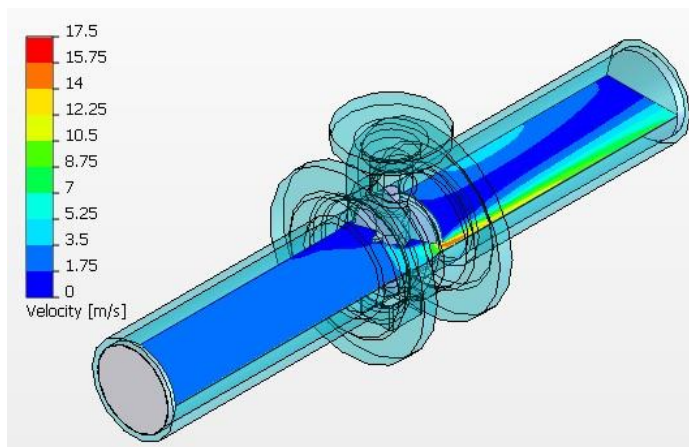
ภาพที่ 43 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



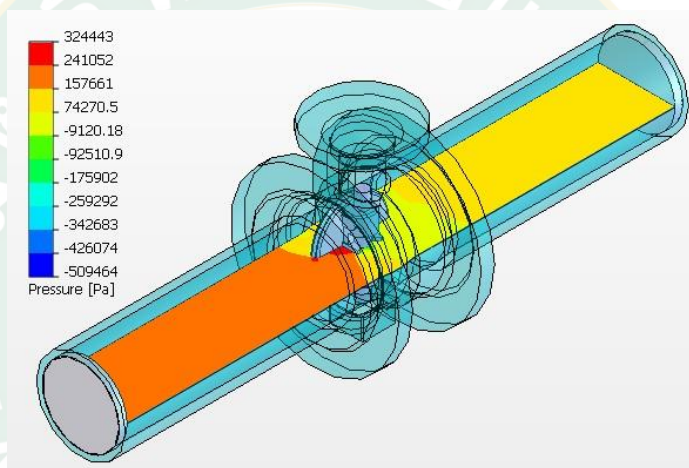
ภาพที่ 44 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 45 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 46 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)



ภาพที่ 47 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

จากภาพที่ 18 ถึง ภาพที่ 47 สามารถอธิบายได้ว่าความดันของน้ำลดลงจากขอบเขตด้านความดันต้นน้ำของลิ้นวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) ผ่านไปทางด้านปลายน้ำ ความดันนี้ลดลงเพราะเหตุมาจากเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่าง ๆ และสามารถช่วยให้สามารถแยกการไหลของการเลื่อนไหลแบบหมุนวนภายในวาล์วควบคุมอัตราการไหล และกระแสไหลวนที่มีความปั่นป่วนสูงที่ด้านปลายน้ำ

ผลการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาวิธีการแก้สมการรูปแบบการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันที่ระยะต่าง ๆ ผลการจำลองคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ได้สรุปไว้ในตารางที่ 6

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่

$$P = \frac{\gamma Q H \eta}{1000}$$

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้าศักยภาพ (kW)

γ คือ unit gravity force (9,806 N/m³)

Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s)

H คือ พลังงานศักย์สุทธิ (m)

η คือ ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

และ

$$Q = Av$$

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของวาล์วควบคุมอัตราการไหล(Butterfly valve)

เปอร์เซ็นต์ การเปิด วาล์ว(%)	ระยะห่าง ระหว่างวาล์ว กับกังหัน ,D(mm)	ความ สูงน้ำ ,H(m)	ความเร็ว น้ำ ,V(m/s)	ปริมาณ การไหล ,Q(m ³ /s)	ประสิทธิภาพ ของเครื่องผลิต ไฟฟ้า, η (50%)	กำลังไฟฟ้า ศักยภาพ P,(kW)
20	100(1D)	6.15	1.71	0.013	0.50	0.56
	200(2D)	7.17	1.75	0.013	0.50	0.66
	300(3D)	6.55	1.75	0.013	0.50	0.52
40	100(1D)	6.15	2.10	0.016	0.50	0.71
	200(2D)	8.56	2.10	0.016	0.50	0.71
	300(3D)	6.93	2.23	0.017	0.50	0.66
60	100(1D)	6.60	8.50	0.066	0.50	3.58
	200(2D)	7.86	9.00	0.070	0.50	4.42
	300(3D)	6.44	9.60	0.075	0.50	3.76

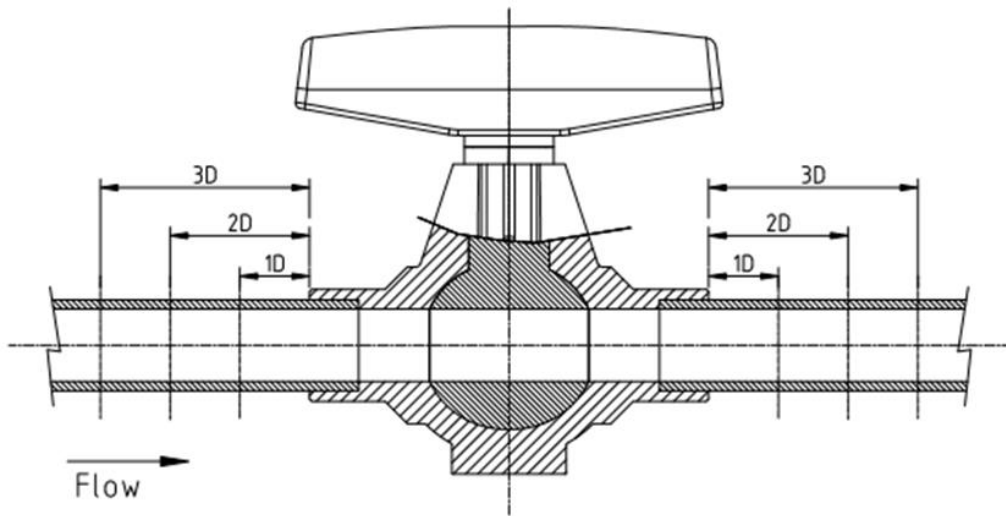
เปอร์เซ็นต์ การเปิด วาล์ว(%)	ระยะห่าง ระหว่างวาล์ว กับกึ่งหัน ,D(mm)	ความ สูงน้ำ ,H(m)	ความเร็ว น้ำ ,V(m/s)	ปริมาณ การไหล ,Q(m ³ /s)	ประสิทธิภาพ ของเครื่องผลิต ไฟฟ้า, η (50%)	กำลังไฟฟ้า ศักย์ภาพ P,(kW)
80	100(1D)	9.60	11.40	0.089	0.50	4.18
	200(2D)	9.60	12.70	0.099	0.50	4.65
	300(3D)	7.80	12.30	0.096	0.50	3.67
100	100(1D)	6.59	11.40	0.090	0.50	2.91
	200(2D)	7.81	12.70	0.099	0.50	3.79
	300(3d)	6.46	12.30	0.096	0.50	3.04

การวิจารณ์ผลการทดสอบผล

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกึ่งหันน้ำแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้า ศักย์ภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและ ระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกึ่งหันน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า และ จะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์การเปิดที่ 60% ของประตูน้ำล้นปีกผีเสื้อ (butterfly valve) ขึ้นไปมีผลทำให้ การผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้าง แบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

ประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve)

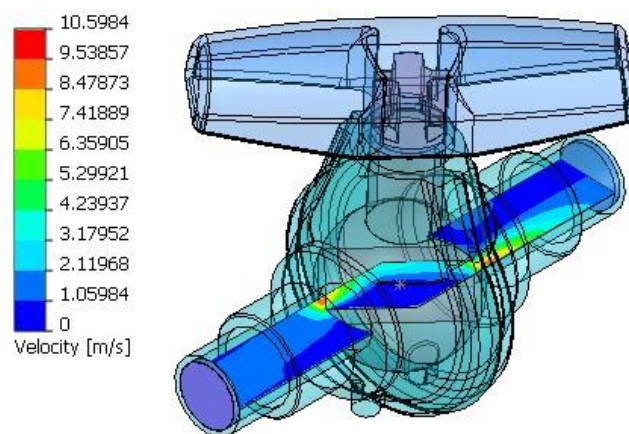
- วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball Valve) = 100 มม.
- ขนาดของท่อสองด้าน = 100 มม.
- ความดันด้านต้นน้ำ = 10 เมตรของน้ำ.



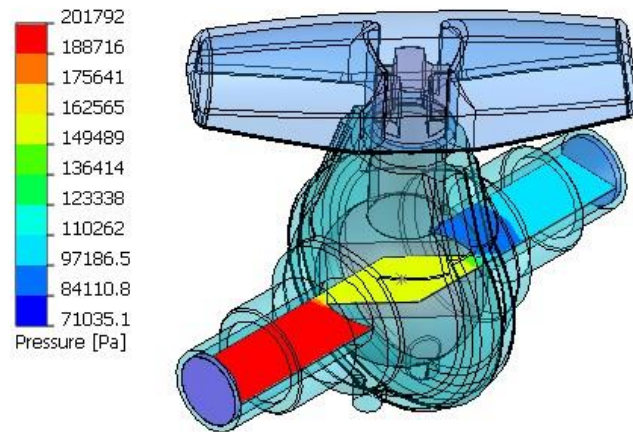
ภาพที่ 48 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve)

การสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ

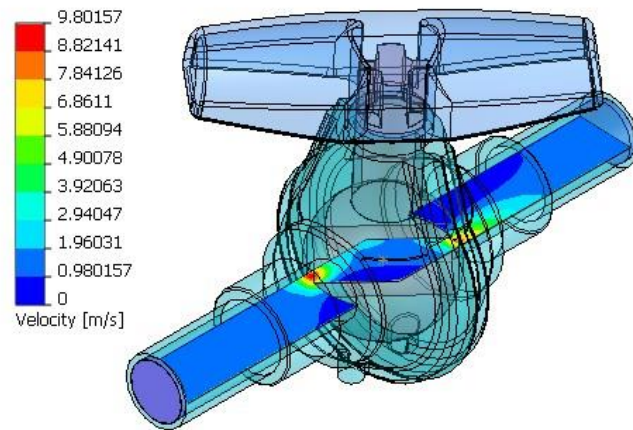
1. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์



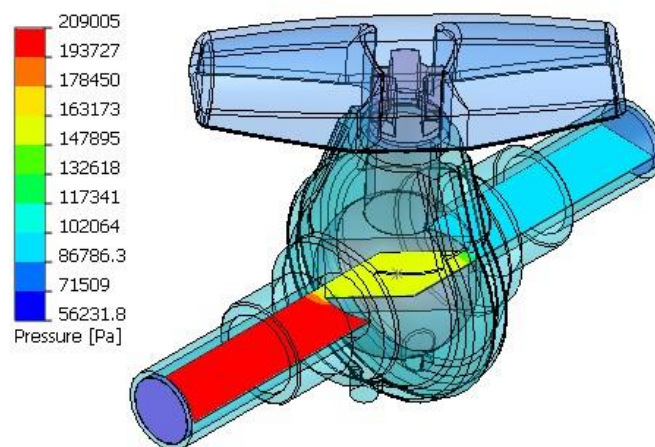
ภาพที่ 49 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



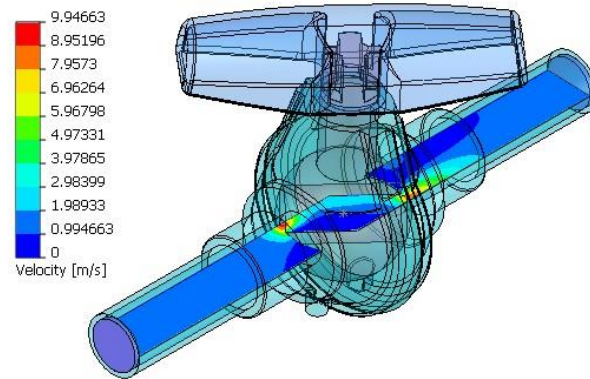
ภาพที่ 50 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



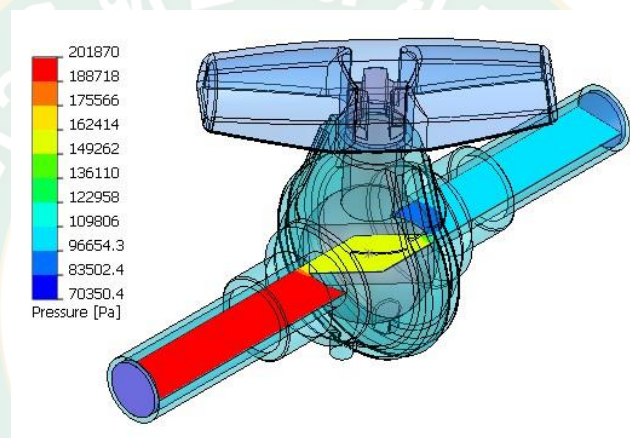
ภาพที่ 51 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 52 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

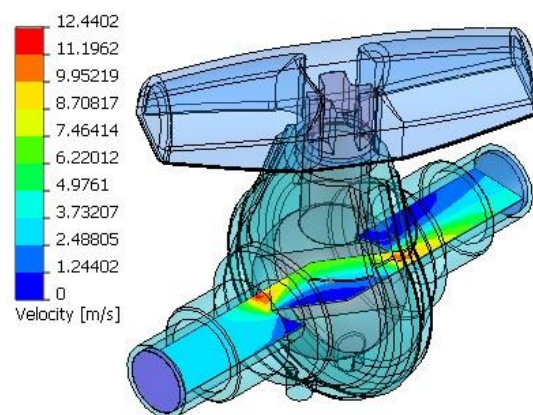


ภาพที่ 53 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

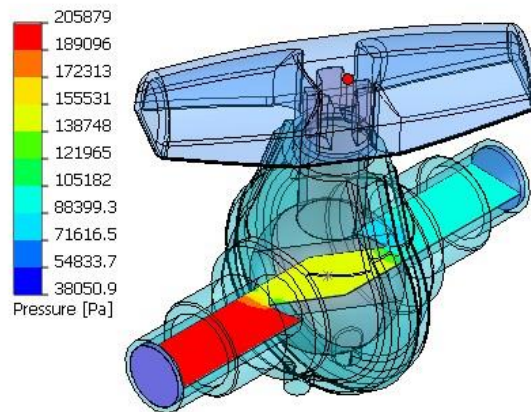


ภาพที่ 54 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

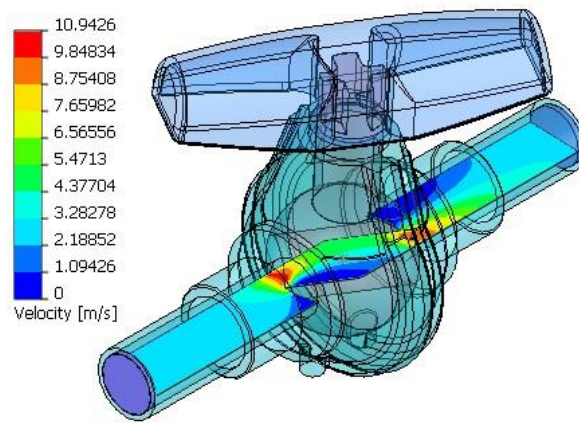
2. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์



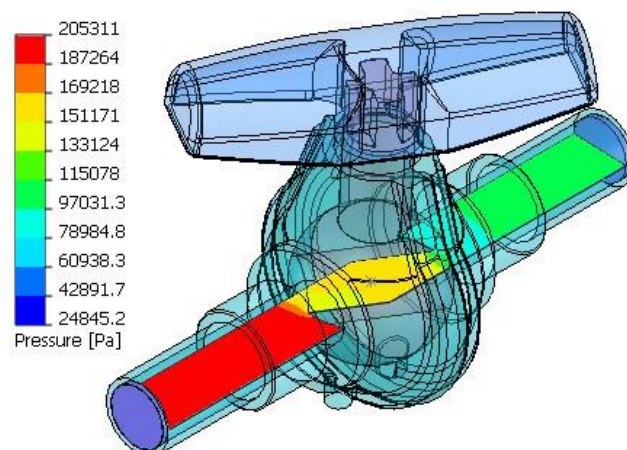
ภาพที่ 55 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



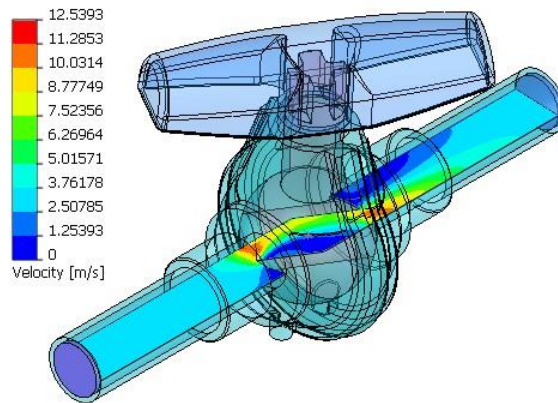
ภาพที่ 56 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



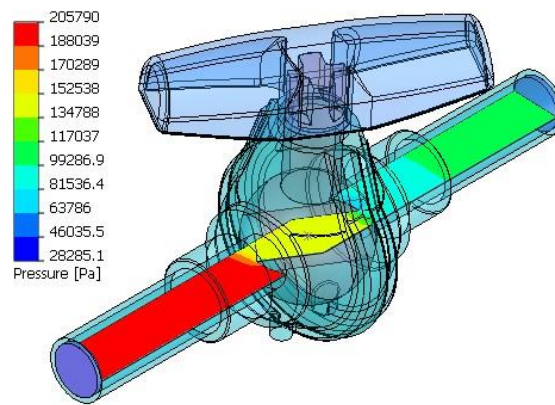
ภาพที่ 57 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 58 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

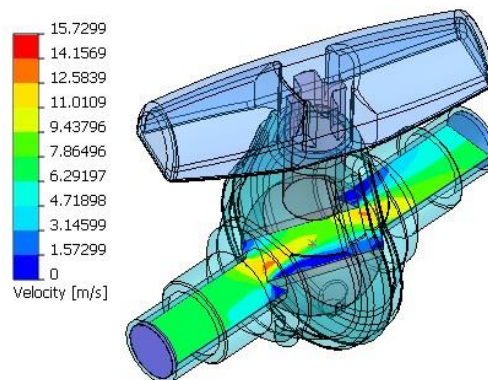


ภาพที่ 59 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

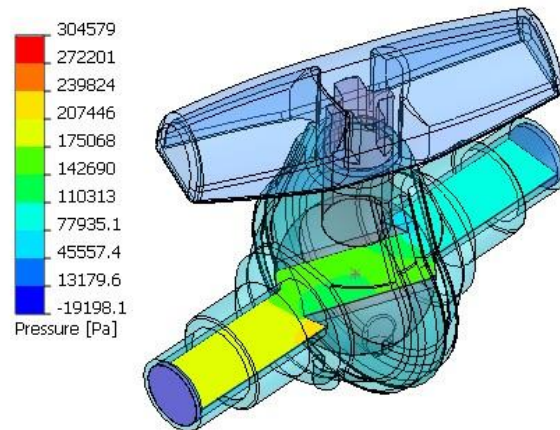


ภาพที่ 60 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

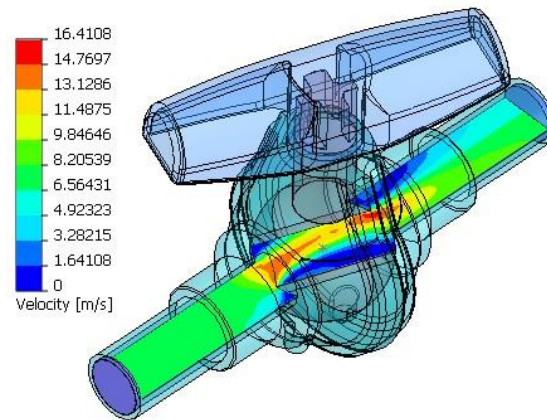
3. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอลวาล์ว (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์



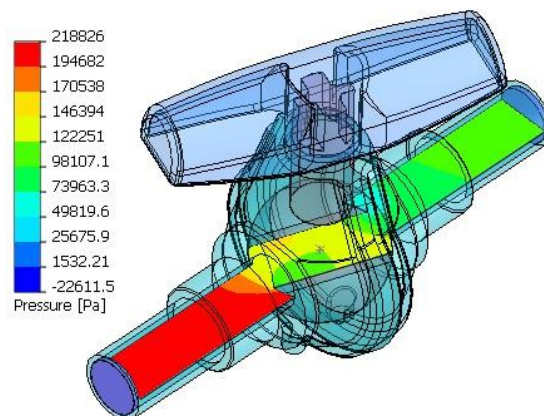
ภาพที่ 61 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



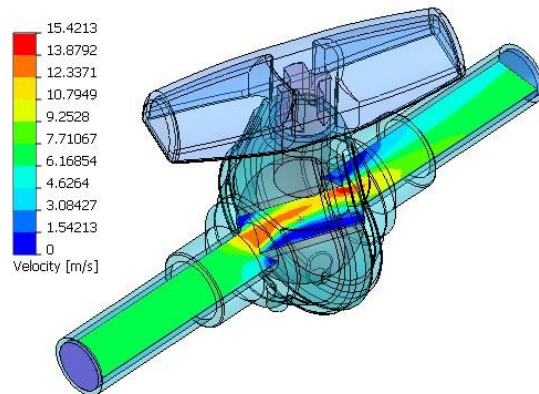
ภาพที่ 62 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



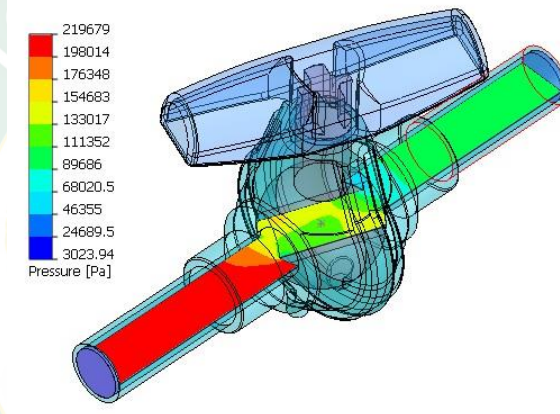
ภาพที่ 63 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 64 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

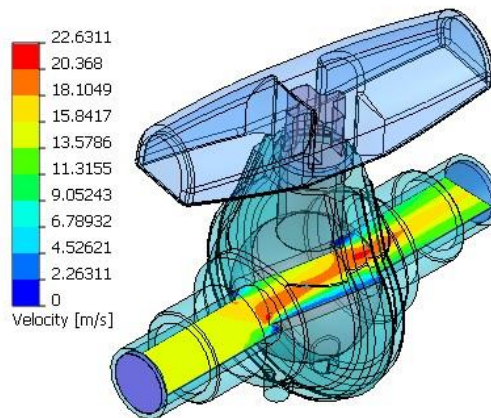


ภาพที่ 65 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

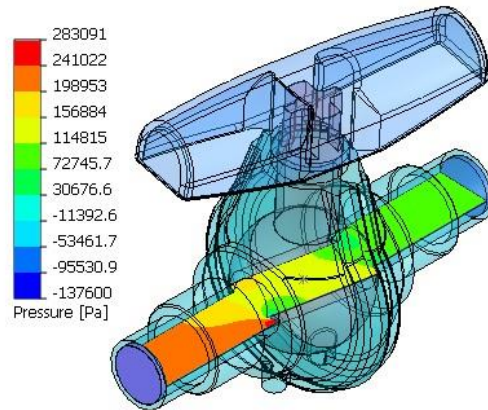


ภาพที่ 66 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

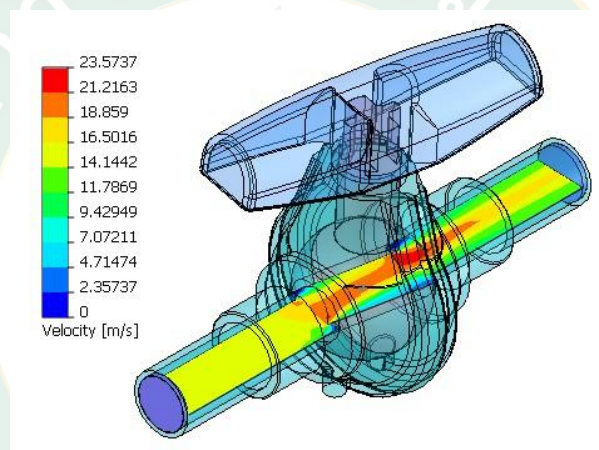
4. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอล (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์



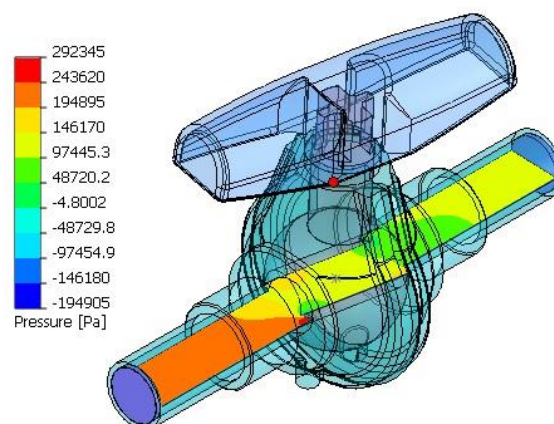
ภาพที่ 67 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



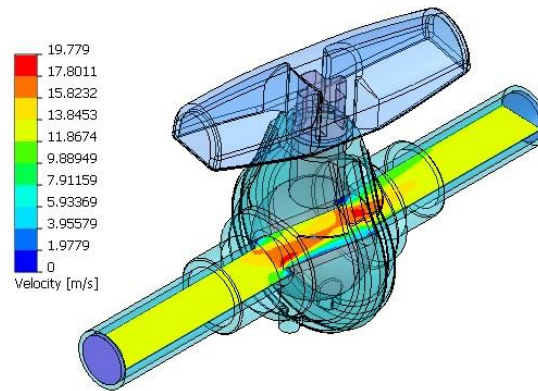
ภาพที่ 68 กระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



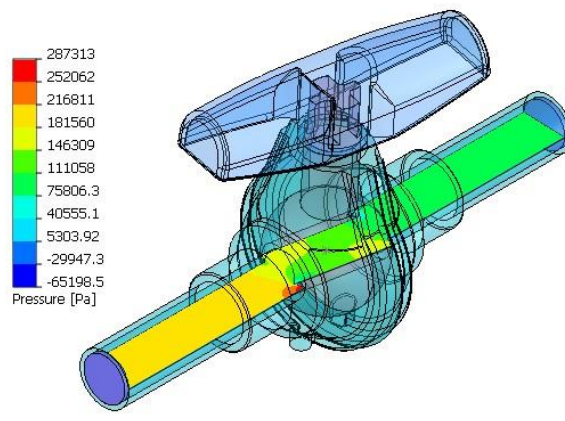
ภาพที่ 69 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 70 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

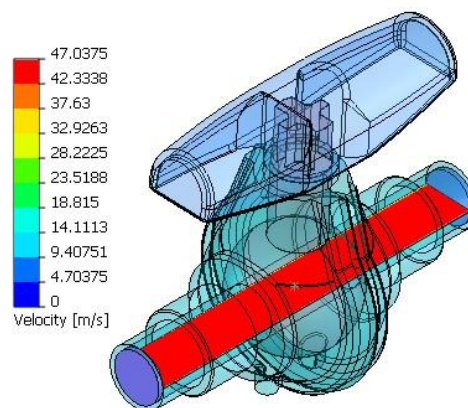


ภาพที่ 71 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

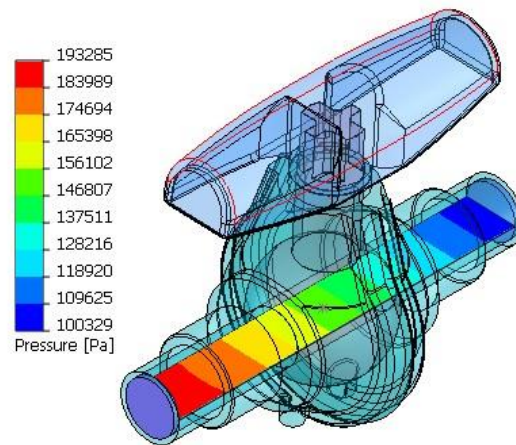


ภาพที่ 72 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

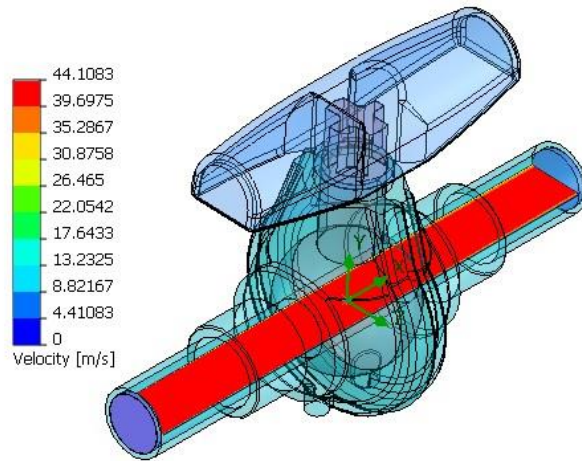
5. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำบอล (Ball Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์



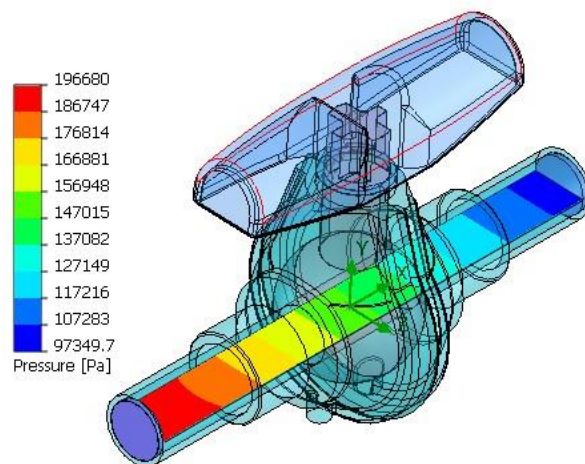
ภาพที่ 73 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



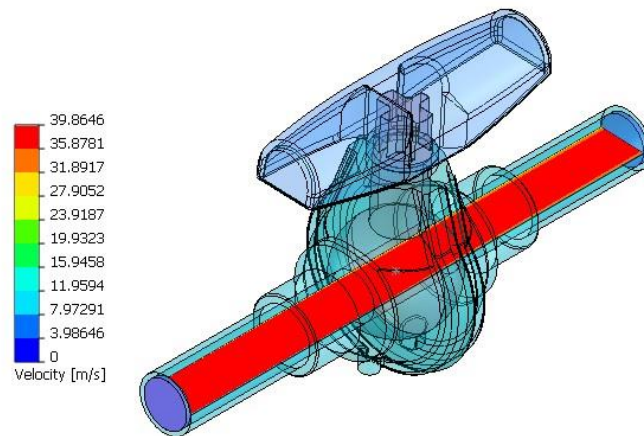
ภาพที่ 74 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



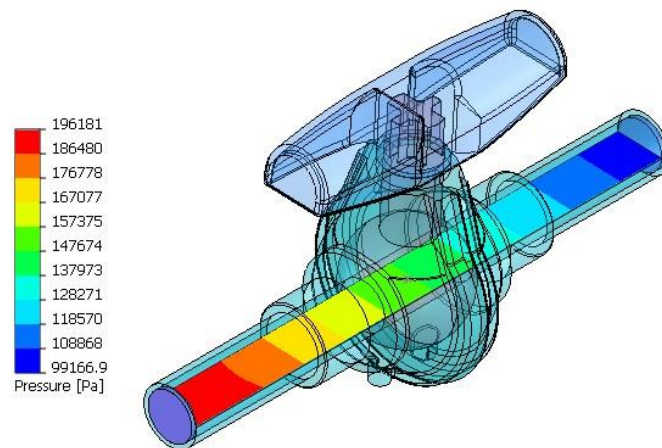
ภาพที่ 75 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 76 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 77 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)



ภาพที่ 78 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

จากภาพที่ 49 ถึง ภาพที่ 78 สามารถอธิบายได้ว่าความดันของน้ำลดลงจากขอบเขตด้านความดันต้นน้ำของลิ้นวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ผ่านไปทางด้านปลายน้ำ ความดันนี้ลดลงเพราะเหตุมาจากเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่าง ๆ และสามารถช่วยให้สามารถแยกการไหลของการไหลแบบหมุนวนภายในวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกระแสไหลวนที่มีความปั่นป่วนสูงที่ด้านปลายน้ำ

ผลการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาวิธีการแก้สมการรูปแบบการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันที่ระยะต่าง ๆ ผลการจำลองคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ได้สรุปไว้ในตารางที่

ตารางที่ 7 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของ วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve)

เปอร์เซ็นต์ การเปิด วาล์ว(%)	ระยะห่าง ระหว่างวาล์ว กับกึ่งหัน ,D(mm)	ความ สูงน้ำ ,H(m)	ความเร็ว น้ำ ,V(m/s)	ปริมาณ การไหล ,Q(m ³ /s)	ประสิทธิภาพ ของเครื่องผลิต ไฟฟ้า, η (50%)	กำลังไฟฟ้า ศักยภาพ P,(kW)
20	100(1D)	6.45	1.65	0.013	0.50	0.41
	200(2D)	8.85	1.96	0.015	0.50	0.65
	300(3D)	8.51	1.99	0.016	0.50	0.67
40	100(1D)	7.30	2.48	0.019	0.50	0.68
	200(2D)	9.89	3.28	0.026	0.50	1.26
	300(3D)	8.31	3.70	0.029	0.50	1.18
60	100(1D)	7.95	4.70	0.037	0.50	1.44
	200(2D)	9.90	6.56	0.051	0.50	2.47
	300(3D)	9.14	7.70	0.060	0.50	2.69
80	100(1D)	7.42	11.80	0.092	0.50	3.35
	200(2D)	9.94	12.70	0.099	0.50	4.82
	300(3D)	8.63	12.70	0.099	0.50	4.06
100	100(1D)	7.15	11.30	0.089	0.50	3.12
	200(2D)	8.27	11.70	0.092	0.50	3.73
	300(3D)	7.78	12.70	0.099	0.50	3.78

การวิจารณ์ผลการทดสอบผล

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกึ่งหันน้ำแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้า ศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกึ่งหันน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า และจะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์การเปิดที่ 60% ของบอลวาล์ว (ball valve) ขึ้นไปมีผลทำให้การผลิตไฟฟ้า

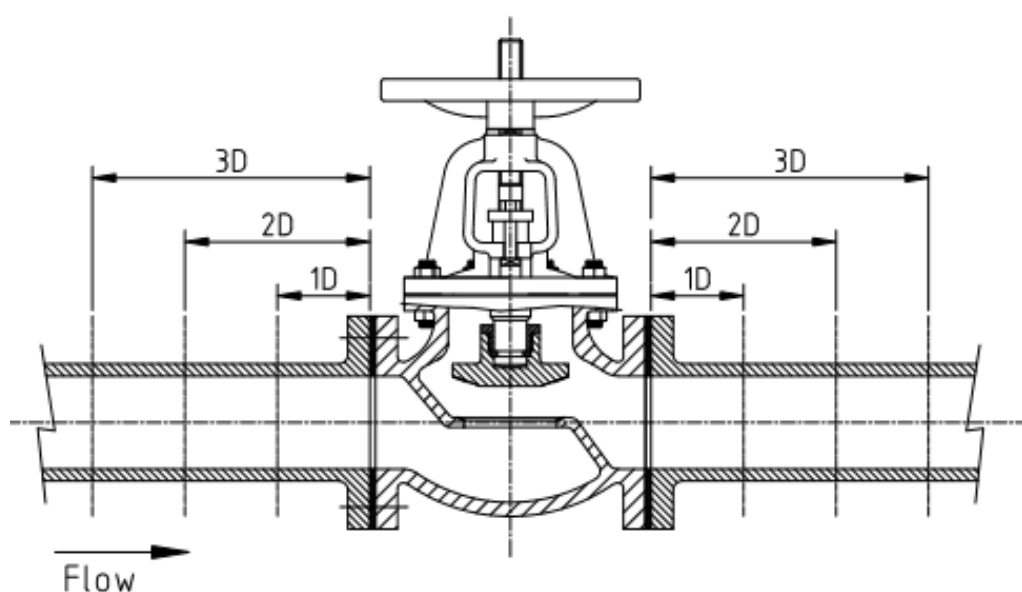
สูงขึ้น การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

ประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve)

วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe Valve) = 100 ม.ม.

ขนาดของท่อสองด้าน = 100 ม.ม.

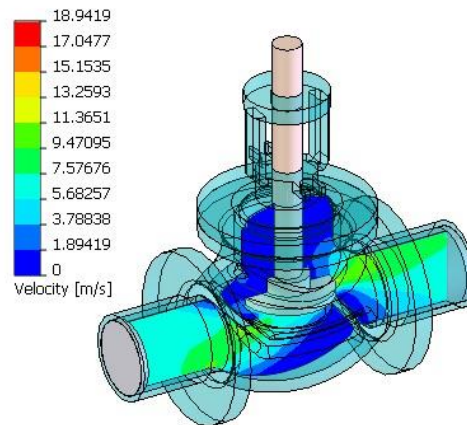
ความดันด้านต้นน้ำ = 10 เมตรของน้ำ.



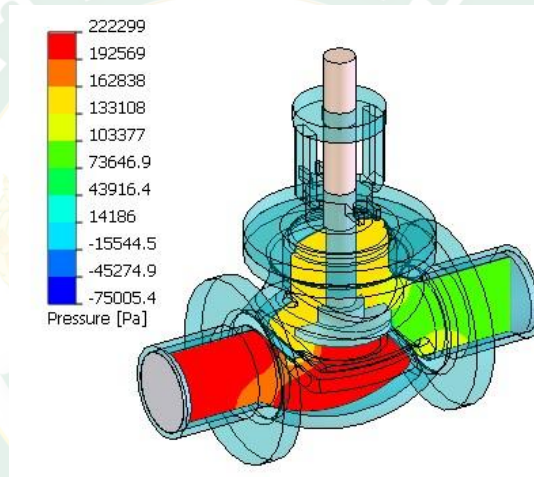
ภาพที่ 79 ภาพร่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve)

การสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วมีการเชื่อมต่อที่ต้นน้ำและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ

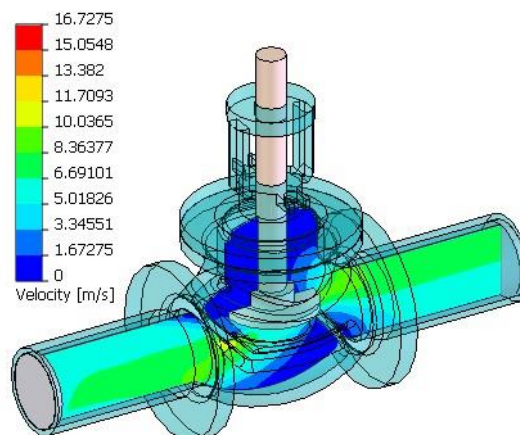
1. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 20 เปอร์เซ็นต์



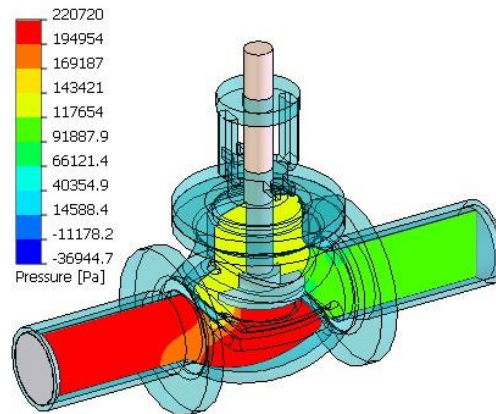
ภาพที่ 80 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



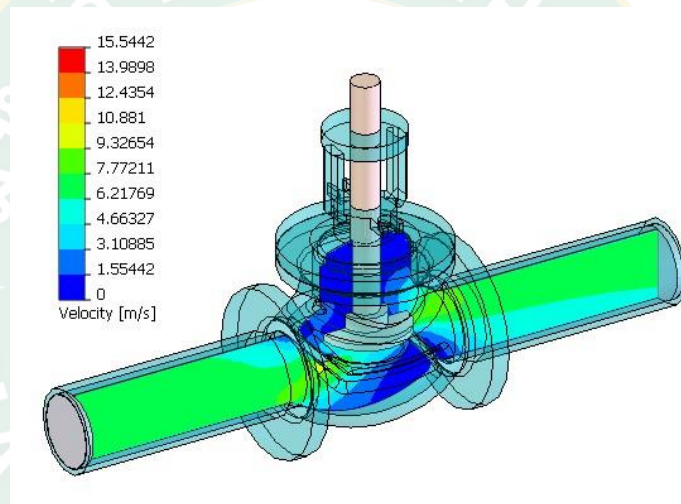
ภาพที่ 81 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



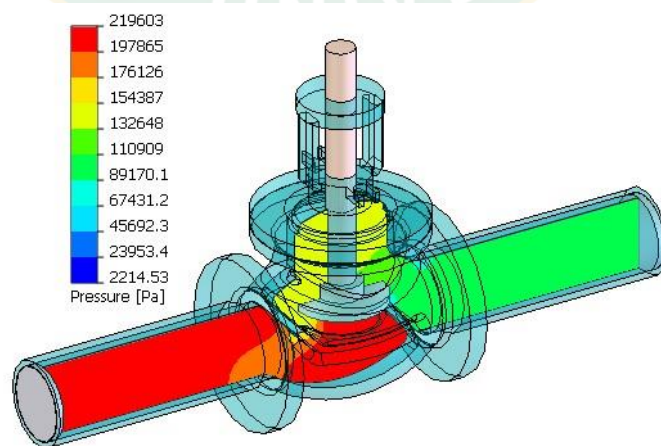
ภาพที่ 82 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 83 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

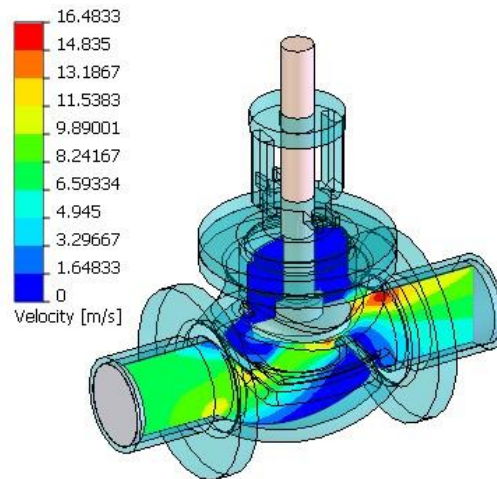


ภาพที่ 84 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

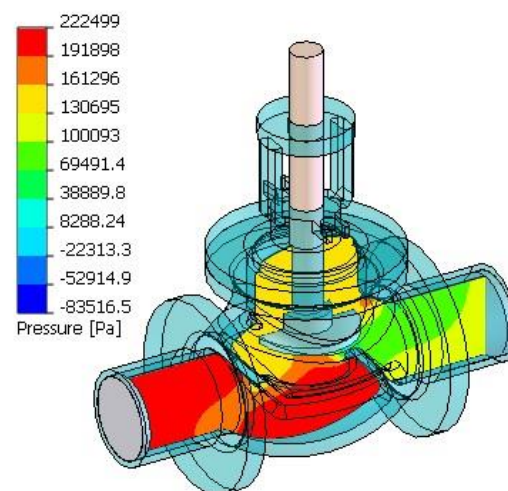


ภาพที่ 85 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

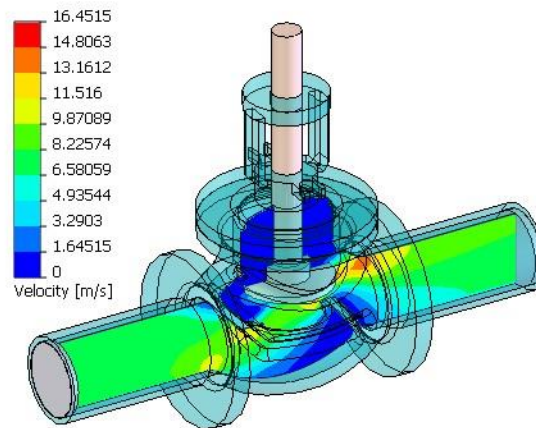
2. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 40 เปอร์เซ็นต์



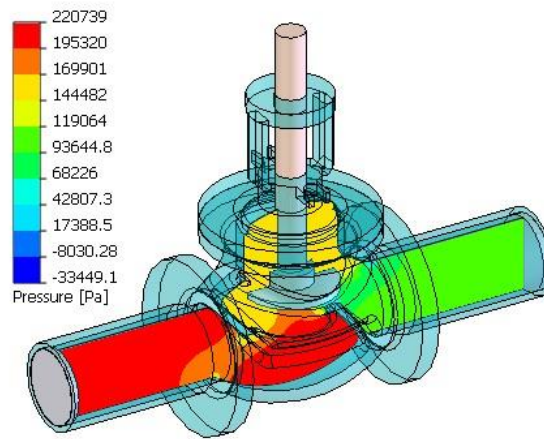
ภาพที่ 86 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



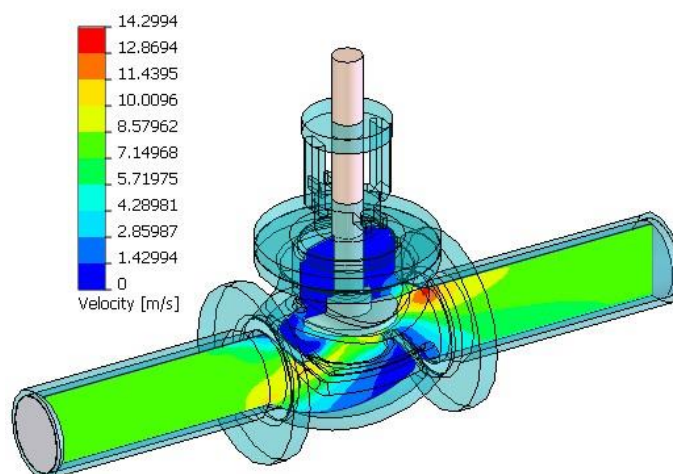
ภาพที่ 87 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



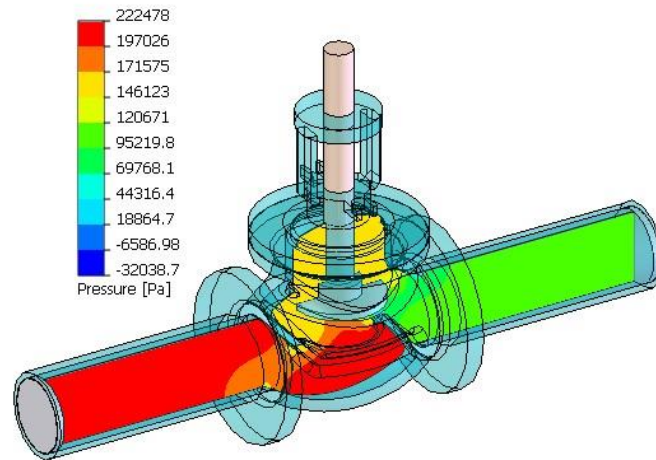
ภาพที่ 88 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 มม. (2D)



ภาพที่ 89 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 มม. (2D)

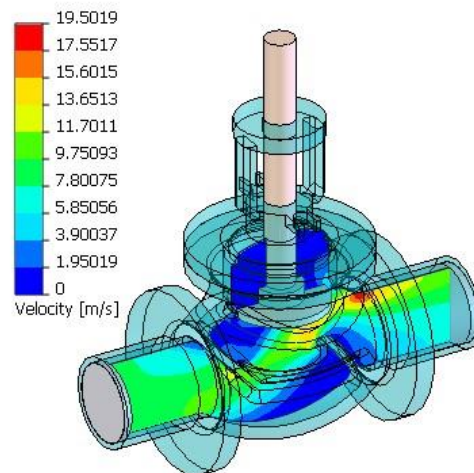


ภาพที่ 90 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 มม. (3D)

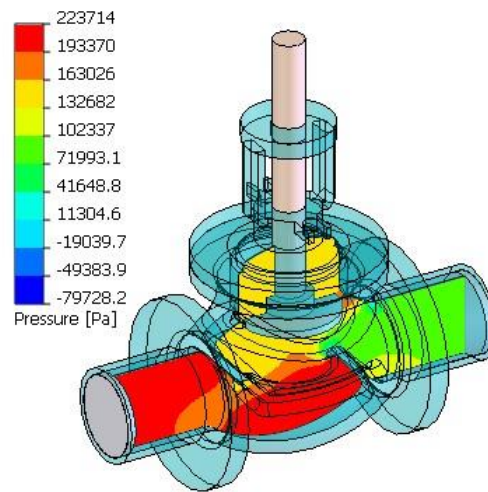


ภาพที่ 91 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

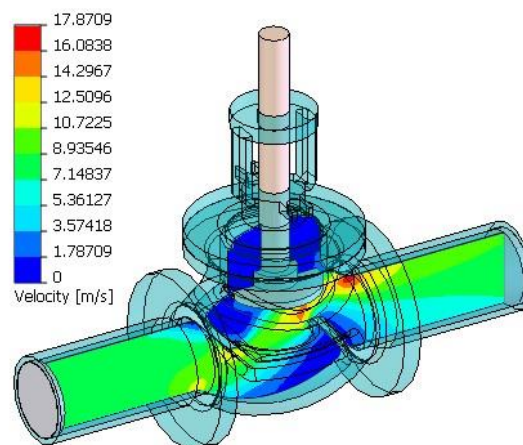
3. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 60 เปอร์เซ็นต์



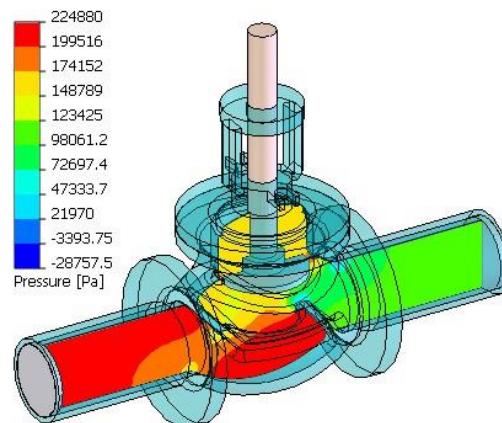
ภาพที่ 92 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



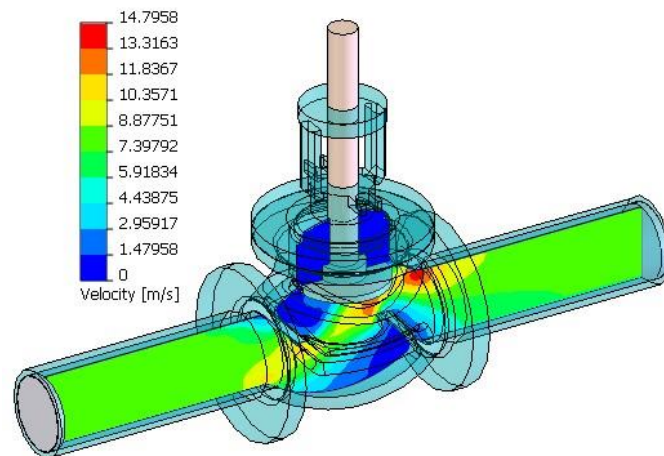
ภาพที่ 93 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



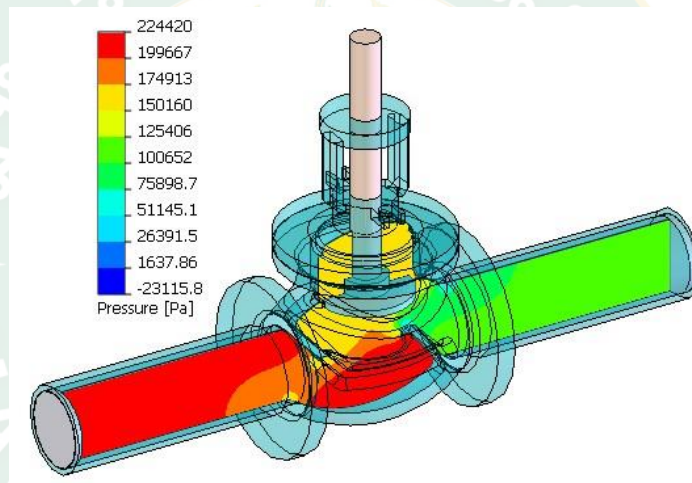
ภาพที่ 94 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 95 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)

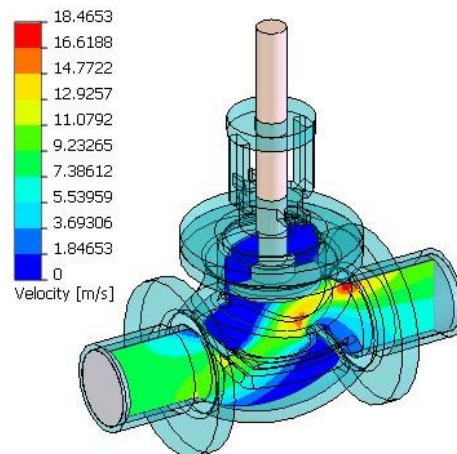


ภาพที่ 96 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

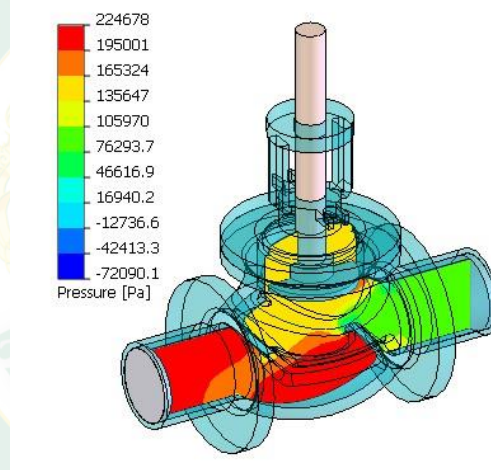


ภาพที่ 97 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

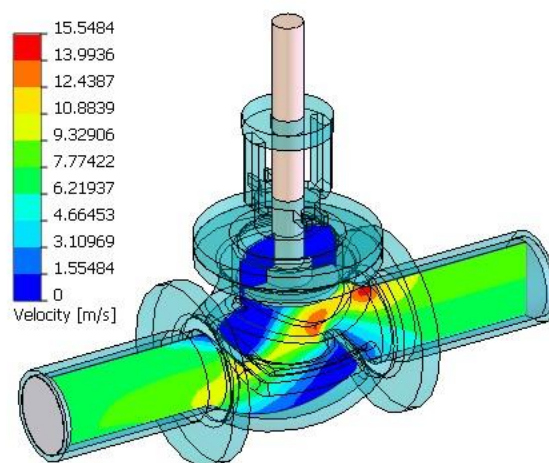
4. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 80 เปอร์เซ็นต์



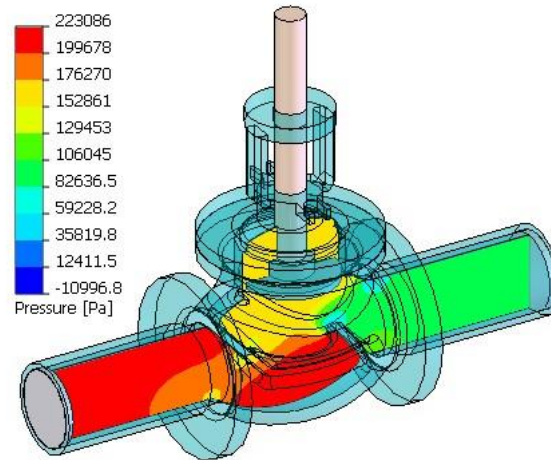
ภาพที่ 98 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



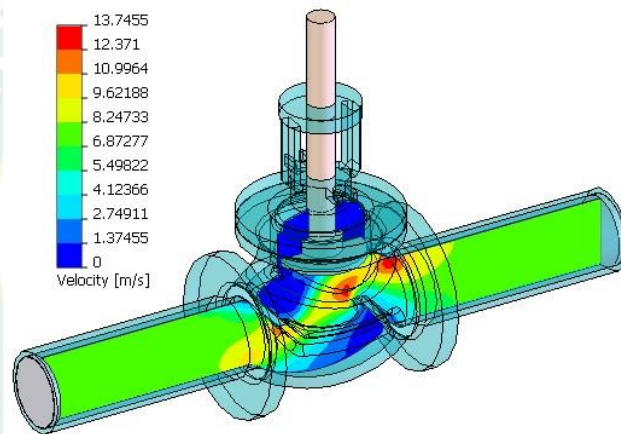
ภาพที่ 99 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



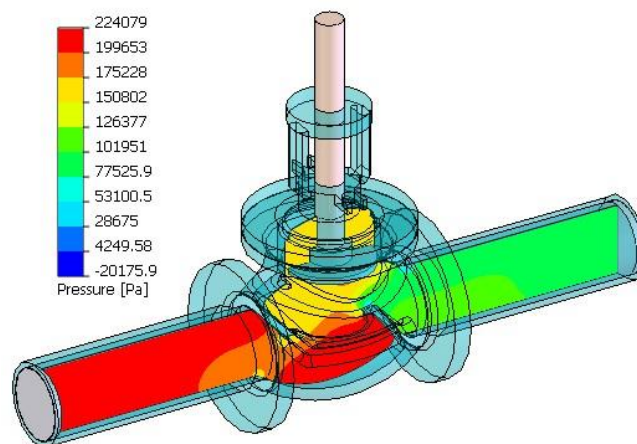
ภาพที่ 100 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 101 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยยะ 200 ม.ม. (2D)

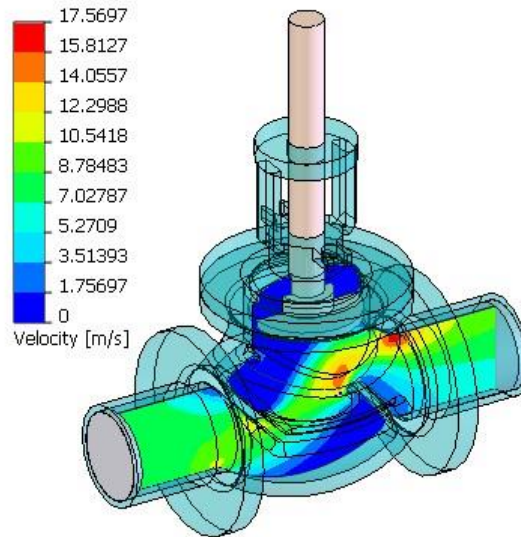


ภาพที่ 102 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยยะ 300 ม.ม. (3D)

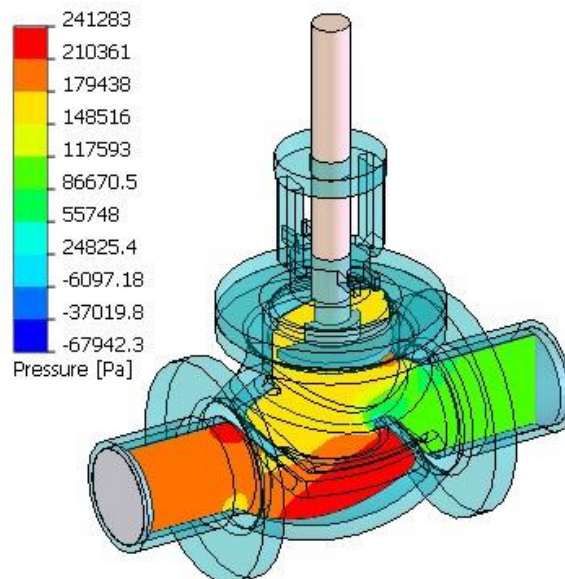


ภาพที่ 103 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยยะ 300 ม.ม. (3D)

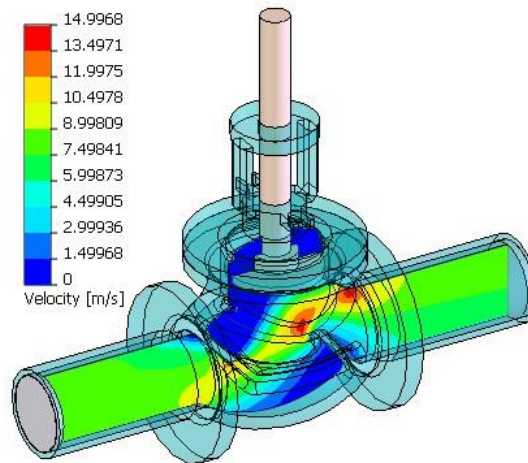
5. แบบจำลอง 3 มิติของประตูน้ำโกลบวาล์ว (Globe Valve) ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์



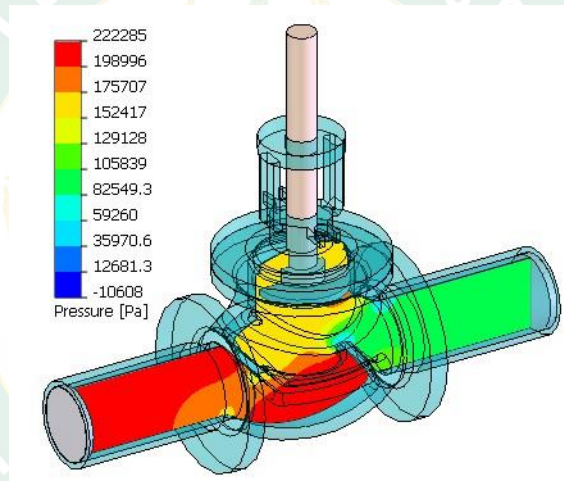
ภาพที่ 104 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



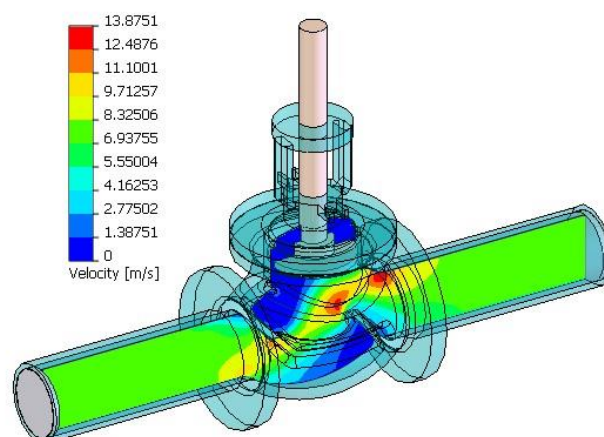
ภาพที่ 105 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 100 ม.ม. (1D)



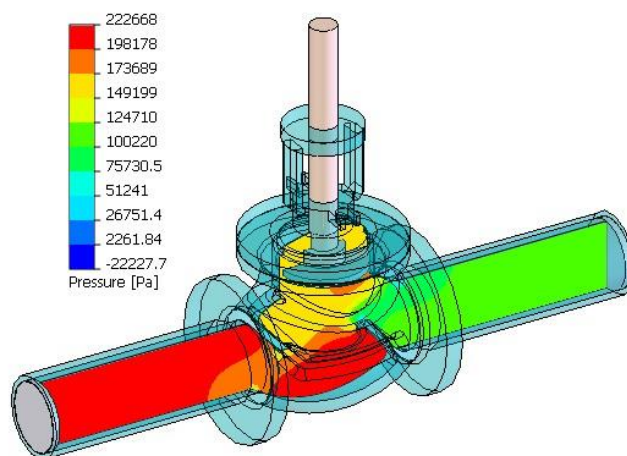
ภาพที่ 106 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 107 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 200 ม.ม. (2D)



ภาพที่ 108 การกระจายความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)



ภาพที่ 109 การกระจายความดันของน้ำในภาพตัดระยะ 300 ม.ม. (3D)

จากภาพที่ 80 ถึง ภาพที่ 109 สามารถอธิบายได้ว่าความดันของน้ำลดลงจากขอบเขตด้านความดันต้นน้ำของลิ้นวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Ball valve) ผ่านไปทางด้านปลายน้ำ ความดันนี้ลดลงเพราะเหตุมาจากเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดต่าง ๆ และสามารถช่วยให้สามารถแยกการไหลของการไหลแบบหมุนวนภายในวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกระแสไหลวนที่มีความปั่นป่วนสูงที่ด้านปลายน้ำ

ผลการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาวิธีการแก้สมการรูปแบบการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ที่กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันที่ระยะต่าง ๆ ผลการจำลองคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ได้สรุปไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพจากทดสอบโดยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve)

เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว(%)	ระยะห่างระหว่างวาล์วกับกังหัน, D(mm)	ความสูงน้ำ, H(m)	ความเร็วน้ำ, V(m/s)	ปริมาณการไหล, Q(m ³ /s)	ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้า, η (50%)	กำลังไฟฟ้าศักยภาพ, P,(kW)
20	100(1D)	4.48	5.60	0.044	0.50	0.96
	200(2D)	6.74	6.70	0.052	0.50	1.72

เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว(%)	ระยะห่างระหว่างวาล์วกับก้าน ,D(mm)	ความสูงน้ำ ,H(m)	ความเร็วน้ำ ,V(m/s)	ปริมาณการไหล ,Q(m ³ /s)	ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้า, η (50%)	กำลังไฟฟ้า ศักยภาพ P,(kW)
40	300(3D)	6.78	6.20	0.049	0.50	1.63
	100(1D)	4.97	6.59	0.052	0.50	1.27
	200(2D)	6.96	8.22	0.064	0.50	2.18
60	300(3D)	7.11	8.50	0.067	0.50	2.33
	100(1D)	7.34	7.80	0.061	0.50	2.19
	200(2D)	7.41	8.90	0.070	0.50	2.54
80	300(3D)	7.74	8.90	0.070	0.50	2.65
	100(1D)	7.78	7.40	0.058	0.50	2.21
	200(2D)	8.43	7.80	0.061	0.50	2.52
100	300(3D)	7.90	8.24	0.064	0.50	2.48
	100(1D)	7.82	7.03	0.055	0.50	2.11
	200(2D)	8.42	7.45	0.059	0.50	2.43
	300(3D)	7.72	8.32	0.065	0.50	2.46

การวิจารณ์ผลการทดสอบผล

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Globe valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบก้านน้ำแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้า ศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลและระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบก้านน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า และจะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์การเปิดที่ 40% ของโกลบวาล์ว (Globe valve) ขึ้นไปมีผลทำให้การผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลจำนวน 3 ชนิด คือ วาล์วลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) บอลวาล์ว (Ball valve) และ โกลบวาล์ว (Globe valve) เปรอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิดที่ 20 40 60 80 และ 100 เปรอร์เซ็นต์ และระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำที่ระยะห่าง 1D 2D และ 3D โดยกำหนดความสูงน้ำ (H) ที่ 10 เมตร โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ พบว่าการเลือกใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดบอลวาล์ว (Ball valve) มีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพสูงที่สุดในจำนวนวาล์วควบคุมอัตราการไหล 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษา

ประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) เหมาะกับการใช้งานเป็นวาล์วเปิด-ปิด ในระบบของเหลวทั่วไปสามารถใช้ควบคุมอัตราการไหล ข้อดีคือความดันตกคร่อมต่ำ เปิด-ปิดได้เร็ว และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าวาล์วชนิดอื่น ซึ่งเหมาะนำมาใช้งานกับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเช่นกัน

บอลวาล์ว (Ball valve) เหมาะสมกับการใช้งานเป็นวาล์วสำหรับการหริ่ และใช้ควบคุมอัตราการไหล มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบของเหลวทั่วไป ข้อดีคือมีความดันตกคร่อมต่ำ และปิดได้อย่างสนิท ซึ่งเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้งานกับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพราะสามารถทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่สูง

โกลบวาล์ว (Globe valve) วาล์วประเภทนี้จะมีความดันตกคร่อมสูงเนื่องจากเส้นทางการไหลไม่ราบเรียบ เหมาะสำหรับการหริ่เพื่อควบคุมการไหล จึงมักใช้เป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหล โดยรูปแบบของวาล์วมีทั้งแบบไหลตรง หรือ หักมุม (Angle globe valve) ซึ่งไม่เหมาะนำมาใช้งานกับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพราะความสามารถการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำกว่า

2. เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพสูงที่สุดในเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการศึกษา

จากข้อมูลในตารางที่ 6 7 และ 8 ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหล กับกำลังไฟฟ้าศักยภาพ โดยใช้เส้นแนวโน้มโพลิโนเมียล (Polynomial) ซึ่งสามารถกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

สมการของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) คือ $y = -0.27x^2 + 2.38x - 2.24$

สมการของบอลวาล์ว (Ball valve) คือ $y = 0.01x^2 + 0.74x - 0.55$

สมการของโกลบวาล์ว (Globe valve) คือ $y = -0.12x^2 + 1.06x - 0.08$

3. ระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ

ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ พบว่าระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำที่ระยะ 2D มีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋วได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพสูงที่สุดในระยะห่างต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ 1D 2D และ 3D ที่ใช้ในการศึกษา

จากข้อมูลในตารางที่ 6 7 และ 8 ได้นำไปวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ (D) กับกำลังไฟฟ้าศักยภาพ โดยใช้เส้นแนวโน้มโพลิโนเมียล (Polynomial) ซึ่งสามารถกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

สมการของประตูน้ำลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly valve) คือ $y = -0.41x^2 + 1.75x + 0.82$

สมการของบอลวาล์ว (Ball valve) คือ $y = -0.28x^2 + 1.45x + 1.95$

สมการของโกลบวาล์ว (Globe valve) คือ $y = -0.17x^2 + 0.83x + 1.55$

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์การเปิด และระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว ซึ่งมีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้า

พลังงานน้ำขนาดเล็กต่าง ๆ ที่ควรคำนึงถึงการเลือกใช้ชนิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล เพอร์เซ็นต์ การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และระยะห่างระหว่างการติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับ ใบกังหันน้ำ เพื่อให้เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กต่าง ๆ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าศักยภาพให้มี ประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป



บรรณานุกรม

- Pereira, A. & M.Ramos, H. 2010. CFD for hydrodynamic efficiency and design optimization of key elements of SHD. **International Journal of Energy and Environment**, 1(6,2010), 937-952.
- Williamson, S. J., Stark, B. H. & Booker, J. D. 2011. Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis. **World Renewable Energy Congress 2011 Sweden**, 8-13 May 2011.
- Zainuddin, H., Yahaya, M. S., Basar, J. M. L. F. M. & Ibrahim, Z. 2009. Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 59, 154-159.
- ไพฑูรย์ เหล่าดี, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัชชวิเชียร์, วุฒิพงษ์ สุพนธนา & Engelke, W. R. 2008 (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2551). กรณีศึกษาบ้านท่าแปน หลวงพระบางสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. **ข่าวสารเกษตรศาสตร์**, ฉบับที่ 2.
- ณัฐวุฒิ จันทเลิศ & จิระกานต์ ศิริวิชัยโมไตร. 2012. การทดสอบประสิทธิภาพของใบพัดกังหันน้ำ แนวตั้งแบบลดแรงเสียดทาน:การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของใบพัด. **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9**, 9(6-7 ธันวาคม 2555).
- ดุษฎีโชติ ชลศักดิ์. 2559. **การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.dulychot.me.engr.tu.ac.th/pipebook.pdf> (20 กันยายน 2560)
- ชัยดร ออกะลา. 2553. **กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระพงษ์ คำประเสริฐ & จำลอง ปราบแก้ว. 2011. การหาค่าตัวประกอบความเสียดทานและสัมประสิทธิ์การสูญเสียของของไหลนอนนิวโทเนียนเมื่อไหลผ่านท่อและอุปกรณ์ประกอบโดยวิธีการทดลอง. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26**, (26 ตุลาคม 2555 เชียงราย).
- นิติพัฒน์ จอมมงคล & เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2013. การปรับปรุงสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจืดด้วยระบบควบคุมทางไฟฟ้า. **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 12**, 12(27-29 มีนาคม 2556).

- ยอดชาย เตียเป็น, นพพงศ์ ศรีตระกูล, อุดมเกียรติ นนทแก้ว & ประโมทย์ ฉมามัทธนา. 2007. การทดสอบและจำลองเครื่องกังหันน้ำขนาดเล็ก. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21**, 21(17-19 ตุลาคม 2550).
- วงล้อเพลตัน.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.me.eng.kmutt.ac.th/MEE362_files/Pelton_Wheel.pdf. (20 ตุลาคม 2557).
- วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล & วิรัชย์ โรยรินทร. 2008. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันน้ำขนาดเล็ก โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหล. **การประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ครั้งที่ 1**, 1(15-16 ธันวาคม 2551 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก).

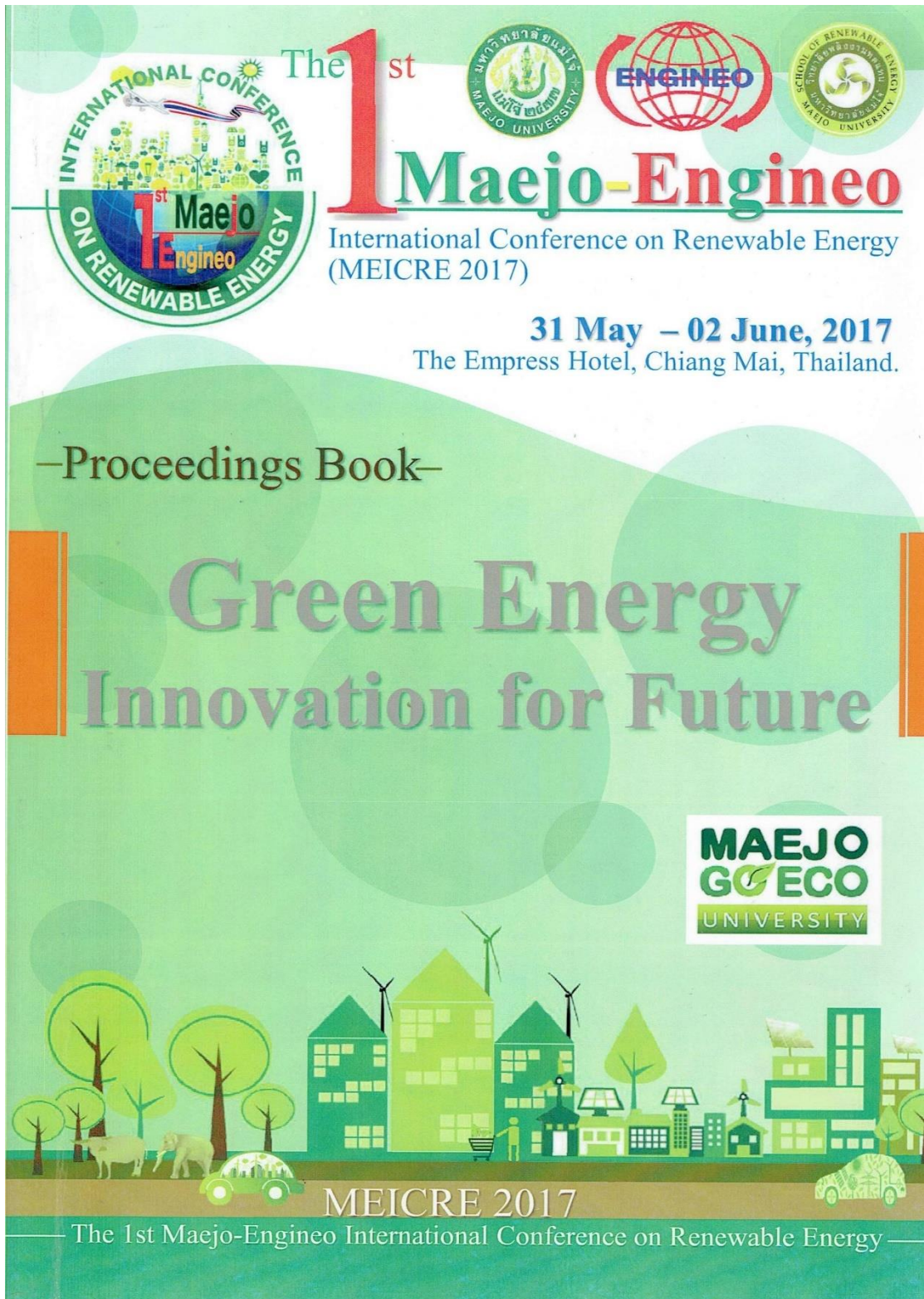




ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
บทความวิชาการที่ได้เผยแพร่





*The 1st Maejo-Engineo International Conference on
Renewable Energy (MEICRE 2017)*

31st May - 2nd June 2017
The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand

**The Study of the Opening Percentage of Flow Control Valves
Effect on the Electricity Production Efficiency of Pico Hydro
Generator Using Computation Fluid Dynamics**

Monchai Thiwaworachai^{1*}, Natthawud Dussadee¹, Churat Thararux¹ and Tanate
Chaichana¹

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, 63 Sansai-Phrao Road, Nongharn, Sansai
District, Chiang Mai Province, Thailand. 50290

* Corresponding author, e-mail: monchaith@hotmail.com, Tel: +66922671306

Abstract: Pico hydro generator (maximum capacity of 5 kW) using a water turbine is a device used to convert the kinetic energy contained in water into mechanical energy to generate electricity. In a Pico hydro generator the main components of a Pico hydro generator are water supply, reservoir, penstock pipe, flow control valve, turbine and generator especially when it is necessary to control the flow rate of water. Flow control valves are essential to the efficiency of Pico hydro generator. This article needs to study opening percentage of flow control valve and the distance between the flow control valve and the turbine blade dose it effect the efficiency of the electricity generation of Pico hydro generator. Study of water the flow through butterfly valve using computational flow dynamics. The conclusion is that opening the butterfly valve at 80% will have higher power than the other openings. Functional analysis can be summarized as a guide to create a model to test.

Keywords: Pico hydro generator, Flow control valve.

INTRODUCTION

With rising energy prices and declining energy reserves while there is a growing demand for energy. According to the growth of the economy. Many countries have accelerated the development of renewable energy technologies. Such as Biofuel, Biomass, Tidal power, Geothermal, Wave power, solar energy, Wind power and Hydropower etc. Thailand is also another country with renewable energy resources as well. The most potential renewable energy for Thailand's development is Hydropower due to the huge resources available and the lowest production value per unit compared with other renewable energy. Appropriate for the development of Thailand's hydroelectric power generation technology should focus on small water sources or natural water source to reduce opposition from the society in the development of large dams [1].

Pico hydro generator (maximum capacity of 5 kW) using a water turbine is a device used to convert the kinetic energy contained in water into mechanical energy to generate electricity. In a Pico hydro generator the main components of a Pico hydro generator are water supply, reservoir, penstock pipe, flow control valve, turbine and generator especially when it is necessary to control the flow rate of water. Flow control valves are essential to the efficiency of Pico hydro generator. This article needs to study opening percentage of flow control valve and the distance between the flow control valve and the turbine blade dose it effect the efficiency of the electricity generation of Pico hydro generator [2],[6].

MATERIALS AND METHODS

A. Hydropower

Hydropower is electricity generated from the energy of water, which is caused by the release of water from a height, or the kinetic energy of water, which is caused by the flow of water. The energy delivered to the hydro turbine and a generator to produce electricity. The energy from hydro power systems is dependent on the amount of water. The difference in water level Flow speed the efficiency of the turbine and the efficiency of the generator power and energy from hydropower Can be calculated using equation (1) [1],[6].

$$P = \frac{\gamma Q H \eta}{1,000} \quad (1)$$

When.

P	is power potential	(kW)
γ	is unit gravity force	(9,806 N/m ³)
Q	is volumetric flow rate	(m ³ /s)
H	is head of water	(m)
η	is overall efficiency of the turbine and generator.	

B. Basic equations of the flow

This article is an analysis incompressible flow in the flow viscosity. The equations use was the equations continuously, Momentum equations, Energy Equations the equation can be written following [3].

Equations continuously

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial \rho x_i} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial y_i} = 0 \quad (2)$$

Momentum equations on the axis x

$$\frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (3)$$

Momentum equations on the axis y

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(v_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial y_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} u \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (4)$$

Energy equations

$$\rho c_p \left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i} + \frac{\partial(v_i T_i)}{\partial y} \right] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} \left[k \frac{\partial T_j}{\partial y_i} \right] \quad (5)$$

Average stress due to viscosity, \bar{t}_{ij} approximate

$$\bar{t}_{ij} \cong \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (6)$$

By μ is laminar viscosity and average of stress, \bar{t}_{ij} It is written in the form.

$$\bar{t}_{ij} = \overline{\rho \dot{u}_i \dot{u}_j} \quad (7)$$

Which the value, \bar{t}_{ij} unknown so it is necessary to use the model, $\kappa - \varepsilon$ model to find the value of \bar{t}_{ij} , in $\kappa - \varepsilon$ model term of Reynolds Stress, will be linear relationship with Mean Stress Rate by Eddy Viscosity will determine relationship with Turbulent Kinetic Energy, (K) and dissipation Rate (ε) by Bossiness's approximation are.

$$t_{ij} = -\frac{2}{3} \delta_{ij} (\rho k) + u_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (8)$$

By $u_t = \rho c_u k^2 / \varepsilon$ are Turbulent Eddy Viscosity equations of Turbulent Kinetic Energy (TKE) (k) will be in form.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \rho \varepsilon \quad (9)$$

Equation of Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy will be

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (10)$$

Which G instead of Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy while $\rho \varepsilon$ are Dissipation Rate by G will be

$$G = u_e \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (11)$$

The boundary value for the turbulent values near the wall can be found from the Wall Function, with the other constant equations with the wall. The past is the following.

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, c_{\epsilon 1} = 1.4, c_{\epsilon 2} = 1.92, \text{ and } c_u = 0.09, \quad u_e = u_t + u$$

C. Calculation of water velocity

Consider the rule of Energy conservation. It would be that when water comes down to the potential energy Water changes to total kinetic energy, which can be formulated as follows: [4].

$$E_p = E_k$$

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v^2 = 2gH$$

$$v = \sqrt{2gH} \quad (12)$$

Consider the flow of water gushing through the cross-sectional area A with speed v is the volume of water flow. (Q)

$$Q = Av \quad (13)$$

RESULTS AND DISCUSSION

A. Hydrodynamic flow behavior though flow control valves

The flow was simulated through flow control valve for different valve closure positions. For valves with actuator's angular movement (e.g. butterfly valve) the flow was simulated for different valve opening angles. The angle of valve opening is measured in relation to the position of fully closed valve. The variation of valve head loss coefficient with valve closure position was obtained. This variation shows the energy dissipation induced by the valve in the flow for different valve opening positions. The first step was to build the butterfly valve geometry model. Two pipe branches of equal length and diameter to the valve size were connected at upstream and downstream of the butterfly valve geometry model. Concerning to the energy dissipation induced by the butterfly valve. The flow through the valve results in the contraction of the liquid vein immediately upstream and downstream of the closure and therefore in the flow velocity increase in these regions. What explains the pressure decrease from the region immediately upstream of the actuator toward downstream. This pressure decrease resulting from butterfly valve opening. But conditions for cavitation occurrence are not created. The representation of flow trajectories, allows the identification of flow separation, rotational movement inside the valve and vortex with high turbulence intensity associated, downstream of the closure [5].

B. Numerical simulation

Determining the size of the domain in the analysis fluid dynamics to simulate the flow pattern, by setting the Boundary Condition for the model used in the calculation as follows:[7].

Butterfly valve size = 100 mm.

Diameter of pipe, $d = 100$ mm.

Upstream pressure = 10 meter of water

Distance between the flow control valve and the turbine blade. = $3d$.

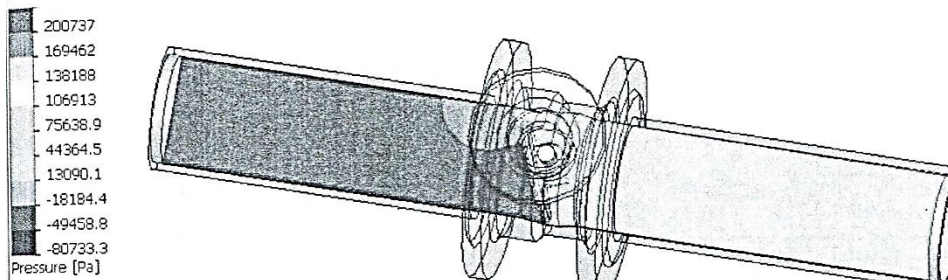


Figure1. Butterfly valve opening 20% - pressure distribution in section of a butterfly valve

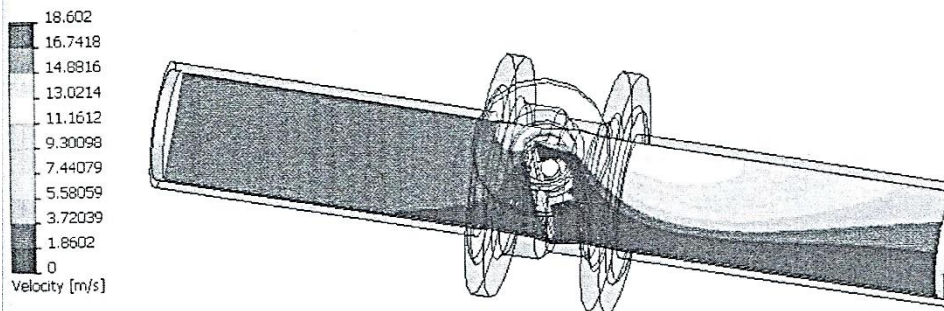


Figure2. Butterfly valve opening 20% - velocity trajectories in section of a butterfly valve

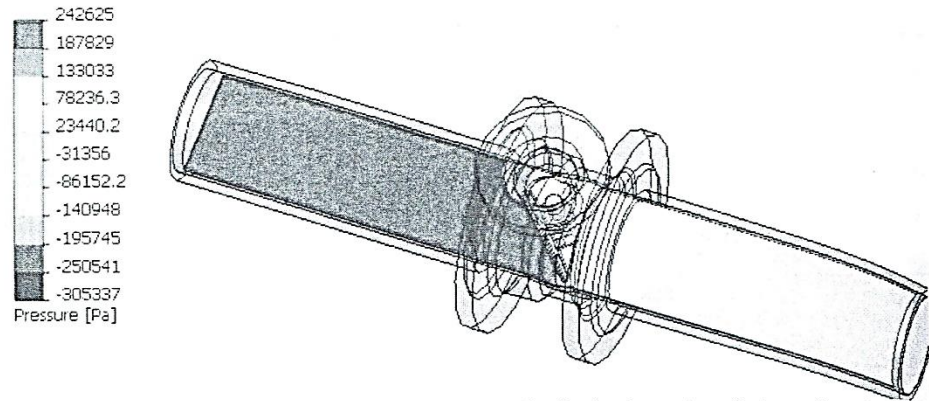


Figure3. Butterfly valve opening 40% - pressure distribution in section of a butterfly valve

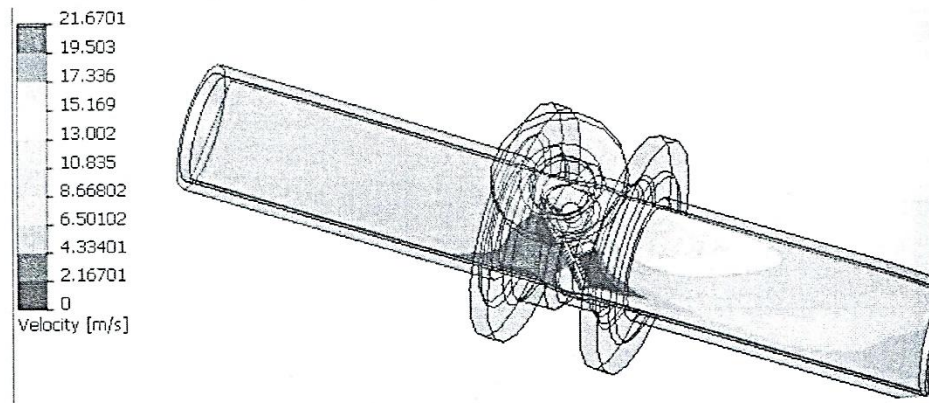


Figure4. Butterfly valve opening 40% - velocity trajectories in section of a butterfly valve

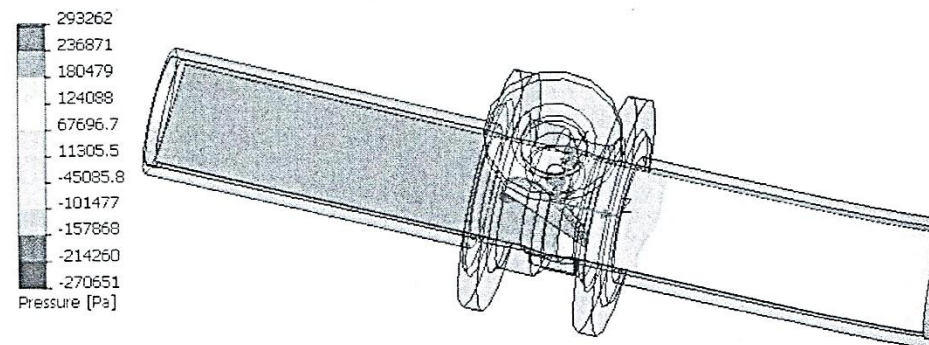


Figure5. Butterfly valve opening 60% - pressure distribution in section of a butterfly valve

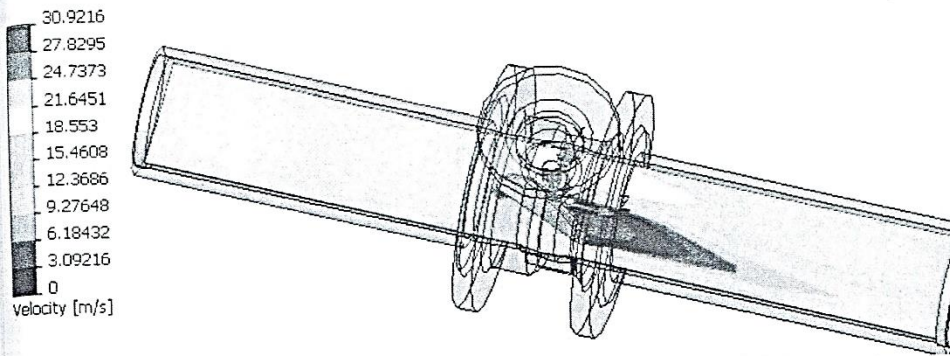


Figure6. Butterfly valve opening 60% - velocity trajectories in section of a butterfly valve

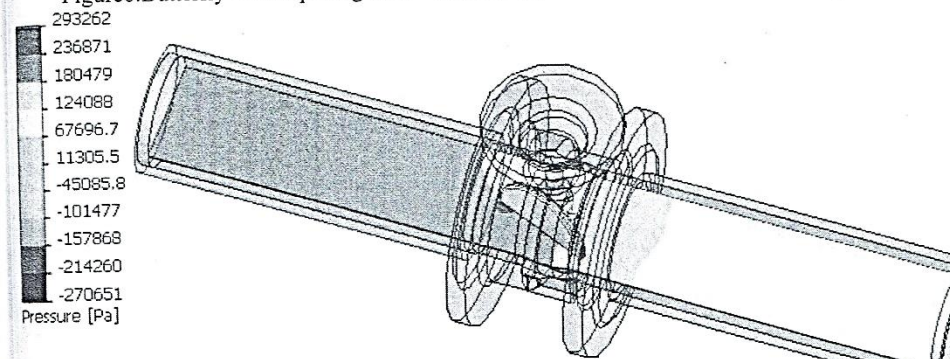


Figure7. Butterfly valve opening 80% - pressure distribution in section of a butterfly valve

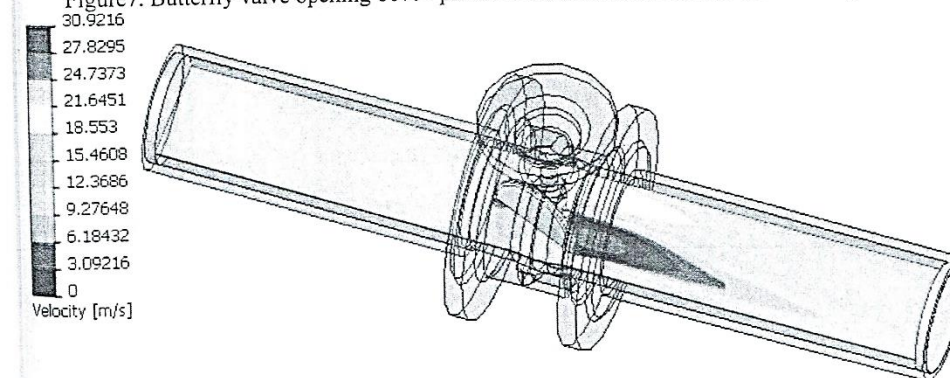


Figure 8. Butterfly valve opening 80% - velocity trajectories in section of a butterfly valve

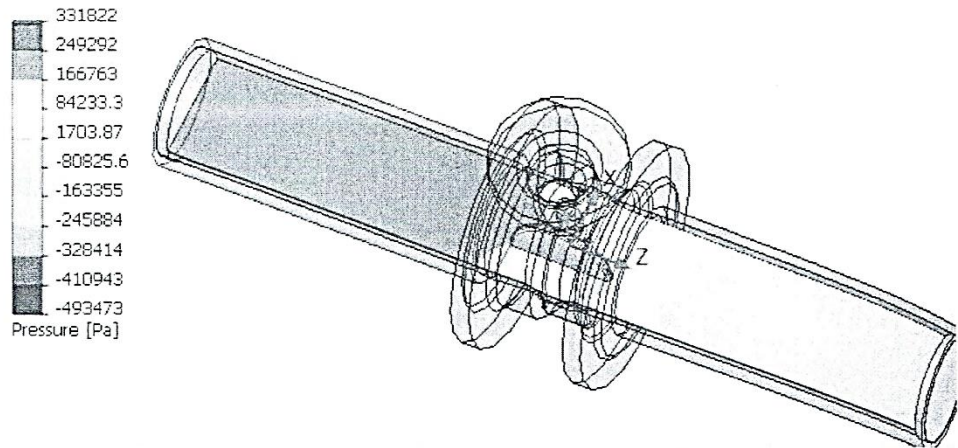


Figure9. Butterfly valve opening 100% - pressure distribution in section of a butterfly valve

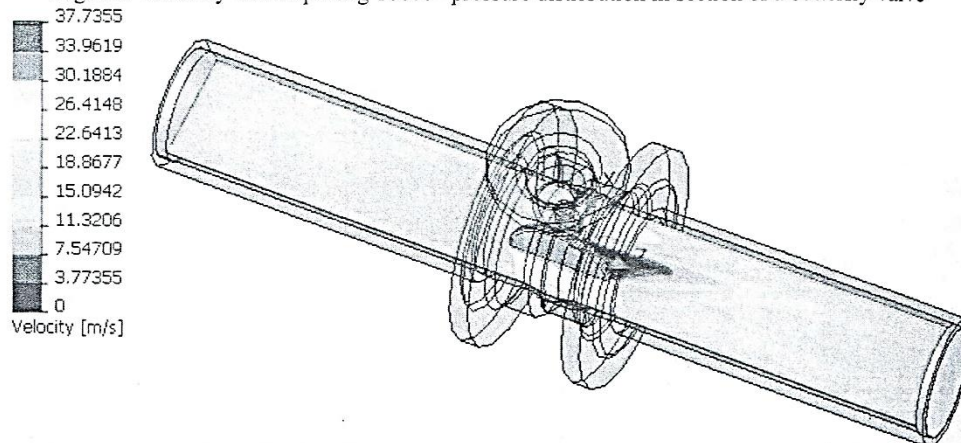


Figure 10. Butterfly valve opening 100% - velocity trajectories in section of a butterfly valve

Numerical simulation results in the calculation of solutions the flow pattern of water through butterfly valve. The results are summarized in Table 1.

Table1. Opening percentage

Opening percentage (%)	Head of water, H (m)	Velocity, v (m/s)	Flow rate, Q (m^3/s)	Power potential, P (kW)
20	7.7	3.72	0.029	2.19
40	8.0	4.33	0.034	2.67
60	6.9	9.27	0.073	4.94
80	6.9	12.37	0.097	6.59
100	6.2	11.32	0.089	5.41

CONCLUSION

Study of water the flow through butterfly valve using computational flow dynamics. The conclusion is that opening the butterfly valve at 80% will have higher power than the other openings. Functional analysis can be summarized as a guide to create a model to test.

ACKNOWLEDGEMENTS

Great thanks to Renewable energy school Maejo University for the great support on student research also great thanks to SCI CORPORATION CO., LTD. for supporting computer program on result simulation of the research.

REFERENCES

1. Yodchai Tiaple, Noppong Sritrakul, Buddhasukh, Udomkiat Nontakeaw, and Pramote Chamamahattana, "Testing and Numerical Simulation of Small Hydro Turbine", ME-NETT 21 CST-35, 2007, Chonburi.
2. Paitoon Laodee, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian, Wolf Ruediger Engelke, and Wuthipong Suponthana, "Pico Hydro Power Generation: Case Study of Ban Thapan, Luang Pha Bang, LOA PDR", KASETSART EXTENSION JOURNAL, 2008.
3. Werayoot Lahamonchaiyakul, "Mechanical Design Systems of Vertical Axis Micro Water Turbine Generator Using Computational Fluid Dynamics (CFD)", ME-NETT 25 CST-05, 2011, Krabi.
4. Werayoot Lahamonchaiyakul, and Wirachai Roynarin, "The Performance Analysis of The Micro Water Turbine Generator Using Computational Fluid Dynamics (CFD)", Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-1), 2008.
5. A. Pereira and H.M. Ramos, "CFD for hydrodynamic efficiency and design optimization of key elements of SHP", International Journal of Energy and Environment, Volume 1, Issued 6, 2010 pp.937-952.
6. S.J. Williamson, B.H. Stark, and J.D. Booker, "Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis", World Renewable Energy Congress 2011, Sweden.

7. H. Zainuddin, M.S. Yahaya, J. M. Lazi, M. F. M Basar and Z. Ibrahim, "Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, energetic, electronic and Communication Engineering Vol:3, No:11, 2009.



การประชุมวิชาการ และประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑
 “เกิดพระเกียรติวันแม่แห่งชาติ สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน”

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

มนต์ชัย ทิววรชัย

ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการ และประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑
 ระหว่างวันที่ ๑๙-๑๘ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๐
 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรสเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ฟงกิง ฟิง

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อริการบตี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)
 อธิการบดี
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้





บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการ และประกวด
นวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1

“เทิดพระเกียรติวันแม่แห่งชาติ สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน”

1st National Graduate Research Conference and
Creative Innovation Competition



วันที่ 17-18 สิงหาคม 2560

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ชั้น 1 อาคารเกษตรศาสตร์สภิตย
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
โทร 0-5387-5520 Fax 0-5349-8133 E-mail : GCIC.MJU@gmail.com





บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
(1st National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition)

“เทิดพระเกียรติวันแม่แห่งชาติ สู่มั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน”

วันที่ 17 – 18 สิงหาคม 2560
ณ ห้องเชียงใหม่ ชั้น 2 ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส
โรงแรมดิเอ็มเพรสเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

Copyright © 2017

จัดทำโดย : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เชียงใหม่ ประเทศไทย || สิงหาคม 2560

การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
1st National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition
วันที่ 17-18 สิงหาคม 2560 โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษاثิพพลของระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำต่อประสิทธิภาพการผลิต
ไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

The Study of the Distance between the Flow Control Valve and the Turbine Blade Effect on the
Electricity Production Efficiency of Pico Hydro Generator

มนต์ชัย ทิวารชัย^๑, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ชูรัตน์ ธารารักษ์ และ ธเนศ ไชยชนะ
M. Thiwaworachai^๑, N. Dussadee, C. Thararux and T. Chaichana

School of Renewable Energy, Maejo University, 63 Sansai-Phrao Road, Nonghorn, Sansai District, Chiang Mai Province, 50290

^๑Corresponding author: e-mail: monchait@hotmmail.com, Tel.: 092-267-1306

บทคัดย่อ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (กำลังผลิตไม่เกิน 5 กิโลวัตต์) โดยใช้กังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในน้ำให้เป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ส่วนประกอบหลักของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน (Water supply) แหล่งเก็บน้ำ (Reservoir) ท่อส่งน้ำ (Penstock pipe) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) กังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Turbine and Generator) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความจำเป็นในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ วาล์วควบคุมอัตราการไหลซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก งานวิจัยนี้มีความต้องการศึกษานิคมของวาล์วควบคุมอัตราการไหล เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหล และระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กหรือไม่ ผลจากจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำแตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก วาล์วควบคุมอัตราการไหล การคำนวณพลศาสตร์ของไหล

Abstract

Pico hydro generator (maximum capacity of 5 kW) using a water turbine is a device used to convert the kinetic energy contained in water into mechanical energy to generate electricity. In a Pico hydro generator the main components of a Pico hydro generator are water supply, reservoir, penstock pipe, flow control valve, turbine and generator especially when it is necessary to control the flow rate of water. Flow control valves are essential to the efficiency of Pico hydro generator. This article needs to study opening percentage of flow control valve and the distance between the flow control valve and the turbine blade dose it effect the efficiency of the electricity generation of Pico hydro generator. Mathematical simulation of flow water through the butterfly valve using the computational flow dynamic in the calculation, Which define the distance between the flow control valve and the turbine blades. This has resulted in efficiency of electricity generation. This results in different power potential. It can be concluded that the distance of the flow control valve to the turbine blade influences the efficiency of electricity production. The analysis of the results can be summarized as a guideline for the modeling of small hydropower plants for further testing.

Keywords: Pico Hydro Generator, Flow Control Valve, Computation Fluid Dynamic

บทนำ

จากราคาพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นและปริมาณพลังงานสำรองที่ลดลง ในขณะที่มีความต้องการการใช้พลังงานมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ หลายๆประเทศได้เร่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (Renewable energy) เช่น พลังงานจากลม พลังงานจากก๊าซชีววมวล พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจากน้ำ เป็นต้น ประเทศไทยก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรพลังงานทดแทนตามข้างต้นอยู่มากเช่นกัน พลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงสุดต่อการพัฒนาของประเทศไทยได้แก่ พลังงานจากน้ำ เนื่องจากมีทรัพยากรอยู่อย่าง มาก และมีค่าการผลิตต่อหน่วยต่ำสุดเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนชนิดอื่น ความเหมาะสมในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำของประเทศไทย ควรมุ่งเน้นกับแหล่งน้ำขนาดเล็ก หรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เพื่อลด กระแสการต่อต้านจากสังคมในการพัฒนาเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่(ยอดชาย เตียเป็น และคณะ, 2550)

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (กำลังผลิตไม่เกิน 5 กิโลวัตต์) (Zainuddin *et al.*, 2009) โดยใช้กังหันน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในน้ำให้เป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ในระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานน้ำขนาดเล็กมีส่วนประกอบหลักของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งน้ำป้อน (Water supply) แหล่งเก็บน้ำ (Reservoir) ท่อส่งน้ำ (Penstock pipe) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) กังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Turbine and Generator) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความจำเป็นในการควบคุมอัตราการไหล ของน้ำ วาล์วควบคุมอัตราการไหลจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้า พลังงานน้ำขนาดเล็ก (ไพฑูรย์ เหล่าดี และคณะ, 2551)

วิธีดำเนินการวิจัย

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

ไฟฟ้าพลังน้ำ คือไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานศักย์ของน้ำซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูงและหรือพลังงานจลน์ ของน้ำซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำ โดยส่งพลังงานดังกล่าวไปขับเคลื่อนกังหันน้ำ (Hydro Turbine) และเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับ น้ำ ความเร็วในการไหล ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงาน จากพลังน้ำ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (1) (Williamson *et al.*, 2011)

$$P = \gamma Q H \eta / 1,000 \quad (1)$$

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้าศักยภาพ (kW)

γ คือ Unit gravity force (9,806 N/m³)

Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s)

H คือ พลังงานศักย์สุทธิ (m)

η คือ ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สมการพื้นฐานของการไหล

ในบทความนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เป็นการไหลแบบมีความหนืด สมการที่นำมาใช้ในงานวิจัย คือ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน โดยเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบง่ายดังนี้ คือ (ยอดชาย เตียเป็น-2550)

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial y_i} = 0 \quad (2)$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน X

$$\frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (3)$$

สมการโมเมนตัมในแนวแกน Y

$$\frac{\partial(\rho u_i v_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial(v_i v_j)}{\partial y_j} = -\frac{\partial p}{\partial y_i} + \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_j} \mu \left[\frac{\partial v_i}{\partial y_j} \right] \right] \quad (4)$$

สมการพลังงาน

$$\rho C_p \left[\frac{\partial(u_i T_j)}{\partial x_i} + \frac{\partial(v_i T_j)}{\partial y_j} \right] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T_i}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial}{\partial y_i} \left[k \frac{\partial T_j}{\partial y_j} \right] \quad (5)$$

ค่าความเค้นเฉลี่ยเนื่องจากความหนืด, \bar{t}_{ij} จะประมาณเป็น

$$\bar{t}_{ij} \approx \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (6)$$

โดย μ คือ laminar viscosity ส่วนค่าความเค้นเฉลี่ยของเรย์โนลด์, \bar{t}_{ij} จะเขียนอยู่ในรูป.

$$\bar{t}_{ij} = \overline{\rho \hat{u}_i \hat{u}_j} \quad (7)$$

ค่า, \bar{t}_{ij} ซึ่งยังไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบบจำลอง, $k - \epsilon$ model ในการหาค่า \bar{t}_{ij} ; $k - \epsilon$ model เทอมของ Reynolds Stress, จะถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ Mean Stress Rate โดย Eddy Viscosity จะกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับ Turbulent Kinetic Energy, (K) และ dissipation Rate (ϵ) โดยใช้ Bossiness's approximation คือ

$$t_{ij} = -\frac{2}{3} \delta_{ij} (\rho \bar{t}) + \rho u_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (8)$$

โดยที่ $u_t = \rho C_u k^2 / \epsilon$ คือ Turbulent Eddy Viscosity สมการของ Turbulent Kinetic Energy (TKE) (k) จะอยู่ในรูป

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \rho \varepsilon \quad (9)$$

สมการของ Dissipation Rate ของ Turbulent Kinetic Energy จะได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{u_e}{\sigma_k} + \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (10)$$

ซึ่ง G แทนค่าของ Generation Rate of Turbulent Kinetic Energy ขณะที่ $\rho \varepsilon$ คือ Dissipation Rate โดย G จะเป็น

$$G = u_e \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \quad (11)$$

ค่าขอบเขตสำหรับค่าต่างๆ ของ Turbulent ที่ใกล้เคียงสามารถหาค่าได้จาก Wall Function, โดยที่ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับค่าสมการต่างๆ ที่ผ่านมามีดังนี้คือ

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, c_{\varepsilon 1} = 1.4, c_{\varepsilon 2} = 1.9 \quad 2a \quad n \quad d_u = 0.0 \quad 9u_e = u_t + u$$

การคำนวณหาความเร็วของน้ำ

พิจารณาจากกฎทรงพลังงาน จะได้น้ำเมื่อตกลงมาพลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมดซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้ (วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล-2554)

$$E_p = E_k$$

$$m g H = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v^2 = 2g H$$

$$v = \sqrt{2g H} \quad (12)$$

ค่าความเร็วของน้ำหาค่าได้จากสมการ (12) โดยที่, v คือความเร็วของน้ำ, g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, H คือค่าความสูงของน้ำ

พิจารณาการไหลของน้ำที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A ด้วยความเร็ว v จะได้ปริมาตรของการไหลของน้ำ

$$Q = Av \quad (13)$$

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ลักษณะการไหลของอุทกพลศาสตร์ของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล

ได้จำลองการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยให้การเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลอยู่ในตำแหน่งเปิด 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกั้นน้ำที่แตกต่างกันไปสำหรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่มีการหมุนเชิงมุมใช้เป็น Butterfly valve การแปรผันของความดัน และความเร็วของน้ำจะขึ้นอยู่กักระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกั้นน้ำ (Pereira and Ramos, 2010)

ในขั้นตอนแรกคือการสร้างรูปทรงของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ และท่อสองเส้นที่มีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดวาล์วมีการเชื่อมต่อที่ด้านบนและท้ายน้ำของวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) ในรูปแบบจำลอง 3 มิติ

พิจารณาการกระจายพลังงานที่เกิดจากน้ำไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลทำให้เกิดการหดตัวของการไหลทันทีทันใดที่ด้านต้นน้ำและด้านท้ายน้ำ

การจำลองเชิงคณิตศาสตร์

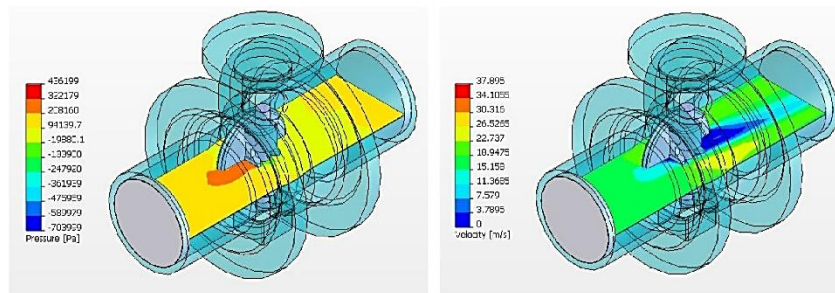
การกำหนดขนาดของโดเมนในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองรูปแบบการไหลด้วยการกำหนดสภาพขอบเขตสำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) = 100 มม.

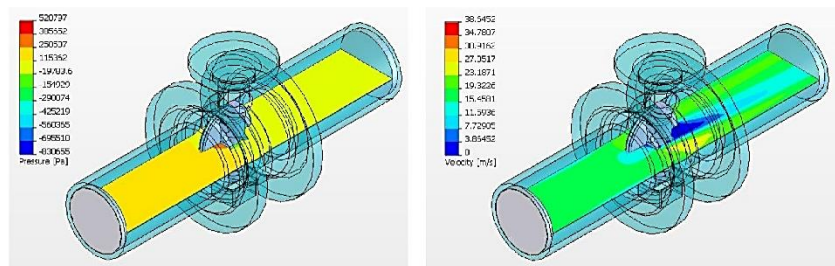
ขนาดของท่อสองด้าน = 100 มม.

ความดันด้านต้นน้ำ = 10 เมตรของน้ำ.

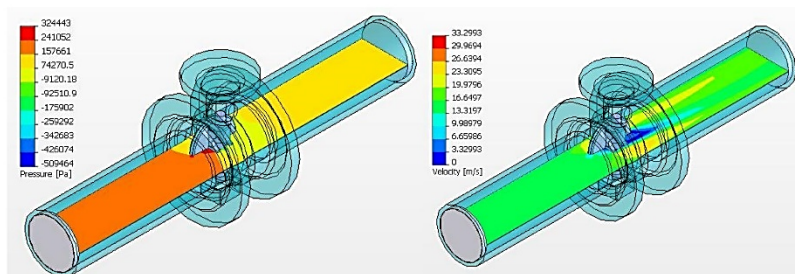
กำหนดให้วาล์วควบคุมอัตราการไหลเปิด 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 1 และ 2. แสดงการกระจายความดัน และความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 100 มม.(1D)



รูปที่ 3 และ 4. แสดงการกระจายความดัน และความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 200 มม.(2D)



รูปที่ 5 และ 6. แสดงการกระจายความดัน และความเร็วของน้ำในภาพตัดระยะ 300 มม.(3D)

ผลการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาวิธีการแก้สมการรูปแบบการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันที่ระยะต่างๆผลการจำลองคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าศักยภาพที่ระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหัน

ระยะห่างระหว่างวาล์วกับใบกังหัน,D(มม.)	ความสูงน้ำ,H (เมตร)	ความเร็วของน้ำ,v (m/s)	ปริมาณการไหลของน้ำ,Q (m ³ /s)	กำลังไฟฟ้าศักยภาพ,P (kW)
100(1D)	9.6	11.37	0.09	8.5
200(2D)	9.6	15.46	0.12	11.3
300(3D)	7.8	16.65	0.13	9.8

การอภิปรายผล

ผลจากการจำลองเชิงคณิตศาสตร์การไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล (Butterfly valve) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (computational flow dynamic) ในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดระยะห่างระหว่างวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำแตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า มีผลทำให้ได้กำลังไฟฟ้าศักยภาพที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระยะห่างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลกับใบกังหันน้ำมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การวิเคราะห์ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเพื่อทำการทดสอบต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้สำหรับการสนับสนุนงานวิจัยของนักศึกษาที่ตีพิมพ์ พร้อมด้วยบริษัท เอส ซี โอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ได้สนับสนุนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการจำลองผลการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ไพฑูริย์ เหล่าดี, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร์, วุฒิพงษ์ สุพนธนา & Engelke, W. R. 2008 (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2551). กรณีศึกษาบ้านท่าแปน หลวงพระบางสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. ข่าวสารเกษตรศาสตร์, ฉบับที่ 2.

การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1
1st National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition
วันที่ 17-18 สิงหาคม 2560 โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่

- ยอดชาย เตียเป็น, นพพงศ์ ศรีตระกูล, อุคมเกียรติ นนทแก้ว & ประโมทย์ ฉมามัทธนา. 2007. การทดสอบและจำลองเครื่องกังหันน้ำขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, (17-19 ตุลาคม 2550).
- วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล & วิรัช ไรยนรินทร์. 2008. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันน้ำขนาดเล็กโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหล. การประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ครั้งที่ 1, (15-16 ธันวาคม 2551 มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก)
- วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล 2554. การออกแบบระบบทางกลของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบแกนตั้งโดยอาศัยหลักการทางพลศาสตร์ของไหลช่วยในการคำนวณ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, (19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่).
- Pereira, A. & M.Ramos, H. 2010. CFD for hydrodynamic efficiency and design optimization of key elements of SHD. *International Journal of Energy and Environment*, 1(6,2010), 937-952.
- Williamson, S. J., Stark, B. H. & Booker, J. D. 2011. Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis. **World Renewable Energy**.
- Zainuddin, H., Yahaya, M. S., Basar, J. M. L. F. M. & Ibrahim, Z. 2009. Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 3(No:11,2009).

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายมนต์ชัย ทิววรชัย
เกิดเมื่อ	10 ธันวาคม พ.ศ.2506
ประวัติการศึกษา	2525 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา 2530 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการทำงาน	2530-2531 วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท ปัญจพลไฟเบอร์ คอนเทนเนอร์ จำกัด 2531-2534 หัวหน้างานวางแผน หัวหน้างานแบบหล่อ บริษัท สยาม คาสท์ไอออนเวอร์คส์ จำกัด 2534-2536 ผู้จัดการแผนกวิศวกรรม บริษัท เอ็มเอฟอินดัสตรี จำกัด 2536-ปัจจุบัน ผู้จัดการฝ่ายจัดหา ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท เอส ซี ไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด