# เครื่องสูบน้ำไซฟ้อนธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูมิปา)

# THE STUDY OF SIPHON FOR ENERGY SAVING FARM

นายชีรวิทย์ ตันสอน

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# เครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา)

# THE STUDY OF SIPHON FOR ENERGY SAVING FARM

นายธีรวิทย์ ดีสอน

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# THE STUDY OF SIPHON FOR ENERGY SAVING FARM

MR THEERAWIT DEESORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OR SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** เครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา)
THE STUDY OF SIPHON FOR ENERGY SAVING FARM

**ชื่อนักศึกษา** นายธีรวิทย์ ดีสอน
**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.ประธาน บุรณศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อ.สุรชาติ กมลดิลก | |
| ดร.กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์ | |
| ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ | |
| ดร.ประธาน บุรณศิริ | |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** เครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา)
**ชื่อนักศึกษา** นายธีรวิทย์ ดีสอน
**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์
**ปีการศึกษา** 2556
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.ประธาน บุรณศิริ

## บทคัดย่อ

เครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา) แบบสุญญากาศ ได้จำทำขึ้นเพื่อมุ่งเน้นในการออกแบบโมเดลกาลักน้ำและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติ โดยใช้หลักการกาลักน้ำ ความดันของอากาศ ความดันของของไหล และความโน้มถ่วงของโลก พัฒนาเครื่องสูบน้ำโดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้าและที่สำคัญสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองรวมไปถึงการปรับปรุงแก้ไขพัฒนาต่อไปอย่างมีปริสิทธิภาพสูงสุดและสามารถช่วยลดแรงงาน เวลา ค่าใช้จ่ายและพลังงานที่ไม่จำเป็นลงไปได้ โดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าน้ำถูกดูดขึ้นไปในถังซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ แต่ว่าระดับน้ำที่ดูดต้องสูงกว่าระดับน้ำที่ปล่อยหรือเท่ากับระดับน้ำที่ปล่อยจะทำให้ระบบทำงานแบบต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ซึ่งปลายท่อดูดอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำที่ปล่อยระบบสามารถทำงานได้ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำจะคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 22 – 28 ลิตรต่อ 5 นาที ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 0.14 – 0.17 เมตรต่อวินาทีและอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ประมาณ 7.5 – 9.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีกาลักน้ำภูเขาและต้องมีการพัฒนาระบบให้ค่าการทดลองเป็นที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นต่อไป

**คำสำคัญ : กาลักน้ำ**

| | |
|---|---|
| **Tittle** | **THE STUDY OF SIPHON FOR ENERGY SAVING FARM** |
| **Students** | Mr.Theerawit Deesorn |
| **Degree** | Bachelor of Science |
| **Major Program** | Physics |
| **Academic Year** | 2013 |
| **Advisor** | Dr. Prathan Buranasiri |

## ABSTRACT

Siphon for Energy Saving Farm (Siphon Mountains) made to focus on the design and development models siphon pump natural forces. Using the siphon principle Air pressure Fluid pressure And gravity of the Earth The pump without electricity and the ability to analyze the results of experiments , including a revision to effective, and can help reduce working time, cost and energy unnecessary . Without damaging the environment

The research results show that the water is up take into the cylinder, which is the objective. But the water level must be higher than or equal to the water level flow which, the system continued to work. Which the pipe is below the water level, allowing the system to work. The rate increase of the volume water will remain in the range about of 22 - 28 liters per 5 minute speed rate the flow of water, average about of approximately 0.14 to 0.17 meters per second and the rate flow water , the average about of 7.5 to 9.0 cubic meters per second. Which is based on the theory Siphon Mountains and the need to develop the experimental is reliable further.

**Keywords:** Siphon

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จเสร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความสนับสนุน คำแนะนำปรึกษาและช่วยเหลือของ ดร.ประธาน บุรณศิริ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ อธิบายและแก้ไขปัญหาทางระบบการไหลของน้ำในท่อที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานสร้างและทดลองโครงงานพิเศษนี้รวมไปถึงการฝึกฝนทักษะการคิดแก้ไขปัญหาทำให้ลูกศิษย์สามารถนำไประยุกต์ใช้ในชีวิตการเรียนหรือการทำงานในระดับสูงต่อไป

ขอขอบคุณ คณาจารย์ นักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ของคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและขอขอบคุณนายสุวรรณ พลายพิชิต ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ อธิบาย เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือให้ทางคณะผู้จัดทำได้มีความรู้ความเข้าใจ ไปปรับปรุงแก้ไขให้โครงงานพิเศษนี้มีประสิทธิภาพและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคนสำหรับความเชื่อมั่นและดูแลให้กำลังใจตลอดช่วงเวลาการศึกษาและช่วงเวลาทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆและรุ่นน้องทุกคนสำหรับคำแนะนำและให้กำลังใจเสมอมา

ธีรวิทย์ ดีสอน

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | V |
| สารบัญกราฟ | VI |
| สารบัญรูปภาพ | VII |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 1 |
| 1.4 ขั้นตอนในการทำวิจัยและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 4 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย** | 36 |
| **บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล** | 45 |
| **บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ** | 55 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 70 |
| **ภาคผนวก** | |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 แสดงการดำเนินงานวิจัยทำโครงงานพิเศษ | 2 |
| 1.2 แสดงผลการทดลอง | 46 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 ภาพแสดงระบบกาลักน้ำ | 5 |
| 2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก | 7 |
| 2.3 ของเหลวในสภาพเป็นหยด | 10 |
| 2.4 ของเหลวในสภาพแผ่กระจาย | 10 |
| 2.5 แสดงน้ำ | 10 |
| 2.6 แสดงปรอท | 10 |
| 2.7 แสดงความหนืดของไหล | 11 |
| 2.8 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง | 11 |
| 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว | 11 |
| 2.10 แสดงของไหลอุดมคติไหลในท่อ | 16 |
| 2.11 แสดงของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง | 17 |
| 2.12 แสดงของไหลท่อเวนจูรี | 18 |
| 2.13 แสดงแรงยกปีกเครื่องบิน | 19 |
| 2.14 แสดงแรงยกพลวัตลูกเบสบอล | 20 |
| 2.15 แสดงของเหลวในภาชนะที่ไม่มีฝาปิดและมีฝาปิด | 24 |
| 2.16 แสดงโมเลกุลของน้ำ | 28 |
| 2.17 พันธะไฮโดรเจนมีระยะห่าง 177 พิโคเมตร พันธะโควาเลนต์มีระยะห่าง 99 พิโคเมตร | 28 |
| 2.18 พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ | 30 |
| 2.19 ความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ | 31 |
| 2.20 การทำละลายของน้ำ | 32 |

# สารบัญรูป(ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.21 แสดงตารางคุณสมบัติของ กรด และ ด่าง | 34 |
| 2.22 แสดงค่า pH ของสารประกอบชนิดต่างๆ | 35 |
| 3.1 ภาพแสดงการออกแบบระบบกาลักน้ำ | 36 |
| 3.2 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบกาลักน้ำ | 36 |
| 3.3 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบกาลักน้ำ ด้านบน | 37 |
| 3.4 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบด้านกาลักน้ำ ด้านข้าง | 37 |
| 3.5 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบด้านกาลักน้ำ ด้านหน้า | 38 |
| 3.6 แสดงระบบกาลักน้ำที่สร้างได้จริง | 38 |
| 1.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำเฉลี่ยกับเวลา | 47 |
| 1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยกับเวลา | 48 |
| 1.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยกับเวลา | 49 |
| 4.1 แสดงการสร้างท่อขนาด ½ นิ้ว ความยาว 4 เมตร | 52 |
| 4.2 แสดงความดันในท่อที่เกิดจาก Simulation ของระบบ | 52 |
| 1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับเวลา | 53 |
| 4.3 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อที่เกิดจาก Simulation ของระบบ | 53 |
| 1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับความยาวท่อ | 54 |
| 5.1 ภาพแสดงการออกแบบระบบลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก | 57 |
| 5.2 แสดงการออกแบบระบบเครื่องกลประเภทพื้นเอียง | 57 |
| 5.3 แสดงการออกแบบระบบแท้งค์น้ำ | 58 |
| 5.3 แสดงการออกแบบระบบกาลักน้ำภูเขา | 59 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในยุคสังคมปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้มีความก้าวไกลไปอย่างมากซึ่งความรู้เหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน และสามารถช่วยลดแรงงาน เวลา ค่าใช้จ่าย และพลังงานที่ไม่จำเป็นลงไปได้ ซึ่งผู้วิจัยได้มองเห็นวิธีที่จะช่วยประหยัดพลังงานโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม จากปัญหาและความสำคัญข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเกิดคำถามขึ้นว่ามีภูมิปัญญาของท้องถิ่นในการส่งน้ำที่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าอะไรบ้าง และจะพัฒนาต่อไปได้อย่างไร เครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติ ( กาลักน้ำภูเขา ) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เกิดจากการศึกษาวิจัยเรื่องการจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคโดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำความดันของอากาศ ความดันของของไหล และความโน้มถ่วงของโลก พัฒนาเครื่องสูบน้ำโดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้าและสามารถบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานต่างๆของเครื่องสูบน้ำ-พลังธรรมชาติ (กาลักน้ำภูเขา)
2. เพื่อจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค โดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำ
3. เพื่อประหยัดพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของงาน

โครงงานจะมุ่งเน้นในการออกแบบและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา) แบบสุญญากาศโดยใช้หลักการกาลักน้ำ ความดันของอากาศ ความดันของของไหล และความโน้มถ่วงของโลก พัฒนาเครื่องสูบน้ำโดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้าและที่สำคัญสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองรวมไปถึงการปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นได้

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

### 1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของกาลังน้ำภูเขาว่ามีทฤษฎีใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานเบื้องต้นและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมไปถึงการศึกษาผลและการทดลองที่ผ่านมาของผู้ที่ได้ทดลองมาแล้วเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ศึกษา
2. วางแผนการจัดอุปกรณ์ของการทดลองพร้อมทั้งสรุปทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์รวมไปถึงการออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่จัดขึ้น
3. เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติ (กาลักน้ำภูเขา) พร้อมทั้งเริ่มทำการจัดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้
4. ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองแล้วนำผลการทดลอง เพื่อมาวิเคราะห์และทำการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาอุปกรณ์ในส่วนต่างๆเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น
5. สรุปผลการทำงานและการทดลองที่ได้ พร้อมกับนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่อไป

### 1.4.2 ตารางดำเนินงาน

| แผนการดำเนินงาน | มี.ค. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เสนอ project | | | | | | | | | | | |
| ศึกษาที่มาความสำคัญ | | | | | | | | | | | |
| ศึกษาข้อมูล | | | | | | | | | | | |
| รวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | |
| วางแผนการทำงาน | | | | | | | | | | | |
| ออกแบบชุดอุปกรณ์ | | | | | | | | | | | |
| จัดชุดอุปกรณ์ | | | | | | | | | | | |
| ทำการทดลอง | | | | | | | | | | | |
| สรุปผลการทดลอง | | | | | | | | | | | |

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. หลักการพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานต่างๆของเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติในไร่ประหยัดพลังงาน (กาลักน้ำภูเขา)
2. สามารถจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค โดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำภูเขาแบบสุญญากาศได้
3. ประหยัดพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ประวัติกาลักน้ำ

กาลักน้ำ (อังกฤษ: siphon หรือ syphon) เป็นกระบวนการถ่ายเทของเหลว จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอาศัยหลักการของแรงดันน้ำมาช่วย ในการทำกาลักน้ำ จะต้องมีหลอด หรือท่อสำหรับการถ่ายเทของเหลวนั้นๆ โดยที่ของเหลวที่จะถ่ายออก จะต้องมีระดับความสูงมากกว่าระดับของเหลวในภาชนะที่รองรับ

คาดว่าผู้ค้นพบหลักการกาลักน้ำเป็นคนแรก คือ "คเทซิบิอัส" (Ctesibius) "เฮโรแห่งอะเล็กซานเดรีย" (Hero of Alexandria) ซึ่งเป็นลูกศิษย์ของเขาได้เขียนเรื่องนี้เอาไว้อย่างละเอียด ในหนังสือชื่อว่า "พนิวมาติคา" (Pneumatica) แต่ภาพสลักบนผนังศิลาของอียิปต์เมื่อ ราว 1500 ปีก่อนคริสตกาล ก็ยังปรากฏภาพการใช้หลักการกาลักน้ำเพื่อดึงของเหลวจากไหขนาดใหญ่

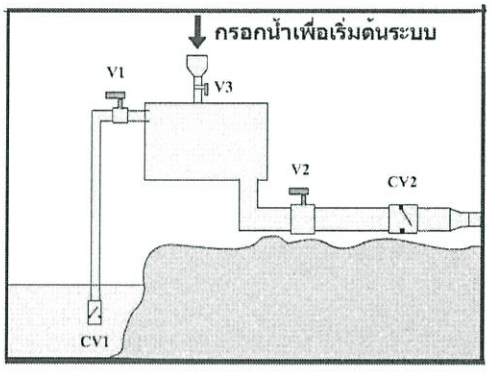
มีประวัติเล่าว่ากองทัพเรือไบแซนไทน์เคยใช้หลักกาลักน้ำเป็นอาวุธ และวิธีการที่นิยมโดยทั่วไป ก็คือ ใช้เพื่อพ่น "ไฟกรีก" (Greek fire) อันเป็นสูตรน้ำมันเผาไหม้ ให้พุ่งผ่านท่อทองเหลืองขนาดใหญ่ ไปตกบนเรือของข้าศึก โดยมีการเก็บของเหลวไว้ในถังร้อนอัดที่ถูกอัด และพ้นผ่านท่อดังกล่าวโดยมีอุปกรณ์บางอย่างช่วยสูบ ส่วนผู้ควบคุมเครื่องนั้นจะซ่อนหลังโล่โลหะขนาดใหญ่ แต่ไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัด ว่าเป็นการใช้หลักกาลักน้ำจริงๆ หรือใช้อุปกรณ์สูบน้ำ ที่ใช้แรงดันอากาศเพื่อพ่นไฟดังกล่าวออกมา

## 2.2 หลักการของกาลักน้ำ

โดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำ ความดันของอากาศ ความดันของไหล และความโน้มถ่วงของโลก โดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า

**หลักการทำงานพื้นฐานเบื้องต้น**

1. เมื่อสภาวะน้ำเต็มถัง จะไม่มีอากาศอยู่ภายในถังหรือเรียกว่าสุญญากาศ
2. เมื่อปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำ น้ำจะไหลออกจากถัง และเพื่อรักษาสมดุลของความดันภายในถัง ถังจะทำการดูดน้ำจากอีกท่อหนึ่งเข้ามาเติมน้ำในถัง ซึ่งมีขนาดท่อไม่เท่ากับขาออก ดังรูป




รูปที่ 2.1 ระบบกาลักน้ำ

**2.2.1 ของไหล (Fluid)**

ของเหลวเป็นสถานะหนึ่งของสสาร มีปริมาตรคงตัวและมีรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ ส่วนก๊าซเป็นอีกสถานะหนึ่งของสสาร มีรูปร่างและปริมาตรไม่คงตัว ขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ ทั้งของเหลวและก๊าซสามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้จึงเรียกของเหลวและก๊าซว่า ของไหล (fluid) สมบัติของของไหลได้แก่ ความหนาแน่น ความดัน ความตึงผิวและความหนืด พฤติกรรมของของไหลทั้งที่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่อธิบายได้ด้วยหลักและกฎทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (Density) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตร

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{2.1}$$

เมื่อ m คือ มวลของสาร

v คือ ปริมาตร

ρ คือ ความหนาแน่นของสาร

ความหนาแน่นเป็นปริมาณเกลาร์ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรอาจบอกความหนาแน่นของสารใดๆเป็นความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) โดยความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสารใดๆเป็นความหนาแน่นของสารนั้นเทียบกับความหนาแน่นของสารอ้างอิง ซึ่งนิยมใช้น้ำ

บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่ากับ 1.000 x $10^3$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตัวอย่างเช่น จะหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของปรอท (ปรอทมีความหนาแน่น 13.6 x $10^3$กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)ความหนาแน่นสัมพันธ์ของปรอทจึงเท่ากับ $\frac{13.6\times10^3\,Kg/m^3}{1.0\times10^3\,Kg/m^3}$ หรือ 13.6 หมายความว่าปรอทมีความหนาแน่นเป็น 13.6 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ หรือปรอทมีมวลเป็น 13.6 เท่าของน้ำ เมื่อสารทั้งสองมีปริมาตรเท่ากัน ในอดีตเคยเรียกความหนาแน่นของสารเทียบกับความหนาแน่นของน้ำว่า ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ซึ่งเป็นตัวเลขไม่มีหน่วย ปัจจุบันใช้ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสาร

2.2.1.2 ความดันในของเหลว (Pressure)

ในภาชนะที่มีของเหลว จะมีแรงเนื่องจากของเหลวกระทำต่อภาชนะ โดยมีทิศตั้งฉากกับผนังที่ของเหลวสัมผัสเสมอ ขนาดของแรงที่ของเหลวกระทำตั้งฉากต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยเรียกว่า ความดันในของเหลว (pressure) ความดันในของเหลวชนิดหนึ่งๆเป็นสัดส่วนตรงกับควาหนาแน่นของของเหลวและความลึก

$$P = \frac{F}{A} \tag{2.2}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ของเหลวกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ A
เมื่อ P คือ ความดันที่เกิดจากของเหลวกระทำบนพื้นที่ A

ความดันเป็นปริมาณเกลาร์ มีหน่วยนิวตันต่อตารางเมตร ($N/m^2$) หรือพาสคัล (pascal) ซึ่งย่อว่า (Pa)

ความดันเกจ (gauge pressure) เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวเพียงอย่างเดียว ส่วนความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) เป็นผลรวมของความดันเกจกับความดันบรรยากาศ เครื่องมือวัดความดันของของเหลวมีหลายชนิด ได้แก่ แมนอมิเตอร์ (manometer) และบารอมิเตอร์ (barometer)

ความดันสมบูรณ์ = ความดันบรรยากาศ + ความดันเกจ

$$P = Pa + \rho gh \tag{2.3}$$

เมื่อ Pa คือ ความดันบรรยากาศ

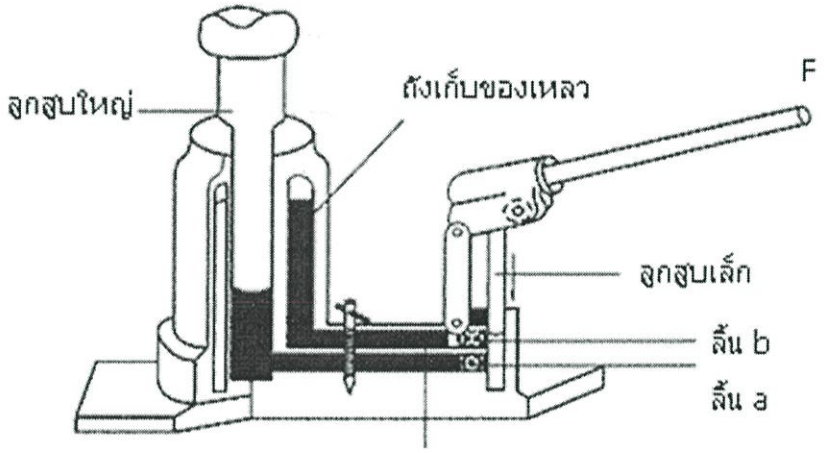
ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว

g คือ ค่าสนามโน้มถ่วงของโลก

h คือ ความลึกจากผิวหน้าของของเหลว

2.2.1.3 กฎพาสคัลและเครื่องอัดไฮดรอลิก

เมื่อเพิ่มความดัน ณ ตำแหน่งใดๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังทุกๆ จุดในของเหลวนั้น หลักการนี้เรียกว่า กฎของพาสคัล (Pascal's law) กฎของพาสคัลใช้อธิบายการทำงานของเครื่องกลผ่อนแรง เช่น เครื่องอัดไฮดรอลิก




รูปที่ 2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก

เครื่องอัดไฮดรอลิก ประกอบด้วยกระบอกสูบและลูกสูบ 2 ชุดเชื่อมถึงกัน ภายในกระบอกสูบนี้บรรจุของเหลวไว้ เมื่อออกแรงที่ลูกสูบเล็กทำให้เกิดความดันตามกฎของพาสคัล ความดันนี้จะไปปรากฏที่ลูกสูบใหญ่ด้วย เครื่องอัดไฮดรอลิกจึงเป็นเครื่องผ่อนแรงชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ แม่แรงสำหรับยกรถยนต์ ห้ามล้อไฮดรอลิก ฯลฯ ล้วนแต่ใช้หลักการของเครื่องอัดไฮดรอลิกทั้งนั้น

$$F\frac{a}{A}W \qquad (2.4)$$

เมื่อ a คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบเล็ก

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบใหญ่

W คือ น้ำหนักที่กดลงบนลูกสูบใหญ่

F คือ แรงที่กดลงบนลูกสูบเล็ก

2.2.1.4 แรงลอยตัวและหลักของอาร์คิมิดีส

ขณะที่ปลาอยู่ในน้ำ ความดันน้ำจะทำให้มีแรงของน้ำกระทำต่อตัวปลา โดยเมื่อรวมแรงทุกแรงแล้ว แรงลัพธ์ที่กระทำต่อด้านล่างของตัวปลาในทิศขึ้นจะมีขนาดมากกว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อ

ด้านบนของตัวปลาในทิศลง เพราะความดันของน้ำที่ส่วนล่างมีค่ามากกว่าความดันของน้ำที่ส่วนบน ดังนั้น การรวมแรงทั้งหมดที่น้ำกระทำต่อตัวปลาจึงเป็นแรงลัพธ์ของแรงดังกล่าวที่มีทิศขึ้น เรียกแรงลัพธ์นี้ว่า แรงลอยตัว(buoyantforce)$F_B$

อาร์คิมีดีส (Archimedes) นักปราชญ์ชาวกรีก เป็นผู้ค้นพบธรรมชาติของแรงลอยตัว และได้เสนอหลักการเกี่ยวกับการลอยและการจมของวัตถุซึ่งเรียกว่า หลักของอาร์คิมีดีส (Archimedes' principle) ดังนี้ วัตถุที่จมในของเหลวหมดทั้งก้อนหรือจมแต่เพียงบางส่วน จะถูกแรงลอยตัวกระทำ และแรงลอยตัวจะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่

หลักของอาร์คิมีดีสจึงอาจเขียนได้ดังนี้

ในกรณีวัตถุจมขนาดแรงลอยตัว = ขนาดน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุ
ในกรณีวัตถุลอย ขนาดแรงลอยตัว = ขนาดน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่จมในของเหลว

เราสามารถนำความรู้เรื่องการลอยตัวไปอธิบายสมบัติต่างๆ ของของเหลวได้ และสามารถสรุปเป็นหลักทั่วไปได้ว่า เมื่อวัตถุอยู่ในของเหลวจะมีแรงลอยตัวกระทำเนื่องจากของเหลวนั้นส่งความดันกระทำต่อวัตถุเสมอ

ในชีวิตประจำวัน เราจะพบว่ามีวัตถุหลายชนิดลอยในของเหลวได้ โดยมีปริมาตรส่วนหนึ่งจมอยู่ในของเหลวและอีกส่วนหนึ่งอยู่พ้นผิวของเหลว เช่น โฟม น้ำแข็ง และไม้ก๊อกสามารถลอยในน้ำได้ และมีวัตถุอีกหลายชนิดที่จมในของเหลว เช่น ก้อนหินและเหล็กจมน้ำแต่ลอยในปรอท ถ้าวัตถุใดจมในของเหลว แสดงว่าน้ำหนักของวัตถุมากกว่าแรงลอยตัวในของเหลว และถ้าวัตถุใดลอยในของเหลวแสดงว่าแรงลอยตัวในของเหลวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ

ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้วัดความหนาแน่นของของเหลว โดยใช้หลักการเกี่ยวกับการลอยและการจมของวัตถุในของเหลว ไฮโดรมิเตอร์ประกอบด้วยหลอดแก้วยาวที่มีปลายปิดทั้งสองข้าง ปลายข้างหนึ่งเป็นกระเปาะสำหรับบรรจุเม็ดโลหะเล็กๆ เมื่อนำไฮโดรมิเตอร์ไปลอยในของเหลวต่างชนิดกัน ไฮโดรมิเตอร์จะจมได้ลึกไม่เท่ากัน บนหลอดแก้วมีสเกลบอกความหนาแน่นสัมพัทธ์กับความหนาแน่นของน้ำ

หลักการของไฮโดรมิเตอร์

เมื่อนำวัตถุชนิดหนึ่งไปลอยในของเหลวต่างชนิดกัน วัตถุจะมีส่วนที่จมและลอยในของเหลวแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น นำแท่งไม้ไปลอยในน้ำเชื่อม น้ำ แอลกอฮอล์ พบว่า แท่งไม้จมแอลกอฮอล์มากที่สุด รองลงมาเป็นน้ำและน้ำเชื่อมตามลำดับ สรุปได้ว่า แท่งไม้จมได้น้อยในของเหลวที่มีความหนาแน่นมาก และจมได้มากในของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อย ดังนั้น ความลึกของส่วนที่จมของวัตถุในของเหลวใดๆ จึงบอกความหนาแน่นของของเหลวนั้นได้

2.2.1.5 ความตึงผิว

ที่ผิวของเหลวจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกัน (cohesion) พยายามยึดผิวของเหลวให้ตึง (ให้มีพื้นที่น้อยที่สุด) เรียกว่า แรงดึงผิว (surface force) เมื่อของเหลวสัมผัสกับภาชนะและสัมผัสกับอากาศจะมีแรงเกาะติด (adhesion) ที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของภาชนะและโมเลกุลของอากาศ แรงดึงผิวของของเหลวจะมีทิศขนานกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส

อัตราส่วนระหว่างแรงดึงผิวกับความยาวเส้นขอบของรอยฉีกที่ผิวซึ่งสัมผัสกับอากาศ เรียกว่า ความตึงผิว (surface tension) ปรากฏการณ์บางอย่างเกิดจากความตึงผิวของของเหลว เช่น การโค้งของผิวของเหลว การซึมตามรูเล็ก ฟองอากาศและหยดน้ำ

$$Y = \frac{F}{l} \tag{2.5}$$

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงดึงผิว

l คือ ความยาวเส้นขอบของรอยฉีกที่ผิวซึ่งสัมผัสกับอากาศ

Y คือ ความตึงผิวของของเหลว

ความตึงผิวของของเหลว มีหน่วยนิวตันต่อเมตร (N/m)

การโค้งของผิวของเหลว

เมื่อเทของเหลวลงในภาชนะและของเหลวนั้นอยู่นิ่ง สังเกตผิวของเหลวจะพบว่า ผิวของเหลวตรงบริเวณที่สัมผัสผิวภาชนะมีลักษณะโค้ง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การโค้งของผิวของเหลว (meniscus_effect) ซึ่งเกิดจากแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) สองชนิด คือแรงเชื่อมแน่น (cohesive force) ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน และแรงยึดติด (adhesive force) ซึ่งเป็นแรงระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน

จากปรากฏการณ์การโค้งของผิวของเหลว จะเห็นว่าผิวของเหลวกับผิวของแข็งจะทำมุมกัน

สำหรับของเหลวและของแข็งคู่หนึ่งๆ มุมระหว่างผิวทั้งสองมีค่าต่างกัน มุมระหว่างผิวของเหลวกับผิวของแข็ง ณ จุดสัมผัส เรียกว่า มุมสัมผัส θ (angle of contact) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0° - 180°

รูปร่างของน้ำบนผิวที่แตกต่างกัน

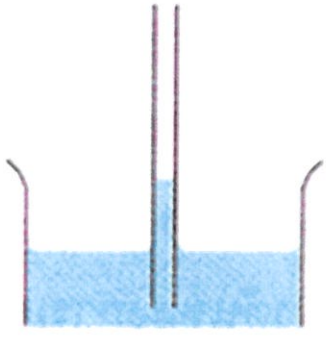
รูปที่ 2.3 ของเหลวในสภาพเป็นหยด รูปที่ 2.4 ของเหลวในสภาพแผ่กระจาย

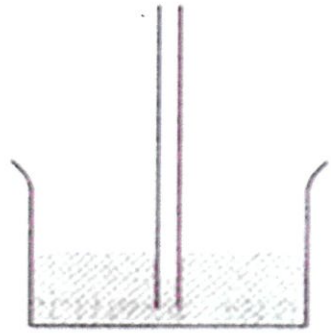
มุมสัมผัสจะบอกให้ทราบว่า เมื่อของเหลวอยู่บนพื้น ผิวของเหลวนั้นจะอยู่ในสภาพเป็นหยด (ไม่ทำให้พื้นผิวเปียก) หรือแผ่กระจาย (ทำให้พื้นผิวเปียก) โดยพิจารณาดังนี้ มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง 0-90 องศา ของเหลวจะแผ่กระจายและเปียกพื้น มุมสัมผัสที่มีค่าระหว่าง 90-180 องศา ของเหลวจะเป็นก้อนและไม่เปียกพื้น

ในการออกแบบสินค้า เช่น ร่ม เต็นท์ เสื้อผ้าที่กันน้ำได้ ผู้ผลิตได้ใช้ผ้าที่เคลือบด้วยสารบางอย่าง ทำให้มุมสัมผัสมีค่ามากกว่า 90 องศา เมื่อผ้าถูกน้ำหรือน้ำฝน น้ำจะอยู่ในสภาพเป็นหยดน้ำบนผ้าแทนที่จะแตกกระจายและซึมผ่านเนื้อผ้าเข้าไป

การซึมตามรูเล็ก

ระดับน้ำและระดับปรอทในหลอดแก้วรูเล็กปลายเปิดทั้งสองข้าง





รูปที่ 2.5 แสดงน้ำ รูปที่ 2.6 แสดงปรอท

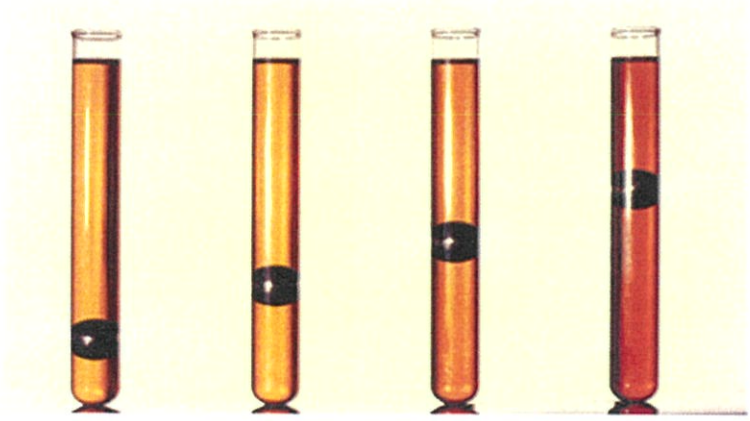
จากปรากฏการณ์ซึมตามรูเล็ก เมื่อจุ่มหลอดรูเล็กลงในน้ำ น้ำจะเข้าไปในหลอดและมีระดับสูงกว่าระดับน้ำนอกหลอด ความสูงของน้ำนี้จะมีค่าคงตัวไม่ว่าปลายหลอดรูเล็กที่จุ่มอยู่ในน้ำจะอยู่ลึกเท่าใด แต่สำหรับกรณีหลอดรูเล็กจุ่มลงในปรอท ระดับปรอทในหลอดจะอยู่ต่ำกว่าระดับปรอทภายนอกหลอด เป็นเพราะแรงเชื่อมแน่นระหว่างโมเลกุลของปรอทมีค่ามากกว่าแรงยึดติดระหว่างโมเลกุลของปรอทกับโมเลกุลของแก้วของหลอดรูเล็ก ระดับปรอทภายในหลอดและภายนอกหลอดที่ต่างกันนี้มีค่าคงตัวไม่ว่าปลายหลอดรูเล็กที่จุ่มอยู่ในปรอทจะอยู่ลึกเท่าใด

นอกจากนี้ ยังมีปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็กที่พบเห็นในชีวิตประจำวันอีก เช่น การซึมของน้ำเข้าไปในผ้าผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใยผ้า การซึมของน้ำเข้าไปในเยื่อกระดาษผ่านรูเล็กๆ หรือช่องว่างระหว่างอนุภาคของเยื่อกระดาษ การซึมของน้ำจากรากพืชขึ้นไปตามลำต้นโดยอาศัยท่อไซเล็ม (xylem) หรือท่อส่งอาหารของพืช การซึมของน้ำเกลือที่อยู่ใต้ดินขึ้นสู่ผิวดินในภาคอีสาน เป็นต้น

2.2.1.6 ความหนืด

เมื่อใช้ช้อนคนของเหลว เช่น น้ำ น้ำเชื่อม และนมข้นหวาน จะพบว่าการคนนมข้นหวานจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ และการคนน้ำเชื่อมจะใช้แรงมากกว่าการคนน้ำ ทั้งนี้ เป็นเพราะของเหลวทั้งสามชนิดมี ความหนืด (viscosity) ก๊าซก็มีความหนืดเช่นกัน แต่ความหนืดของก๊าซน้อยกว่าความหนืดของของเหลวมาก

เรียงจากของไหลที่มีความหนืดน้อยไปยังของไหลที่มีความหนืดมาก



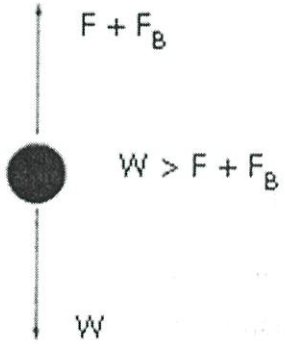
รูปที่ 2.7 แสดงความหนืดของไหล

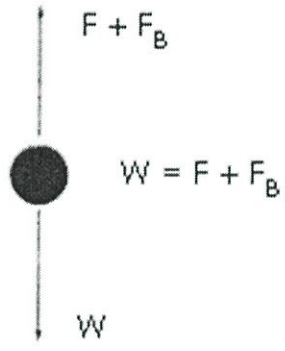
ของไหลที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล เรียกว่า แรงหนืด(viscousforce)

เมื่อเทกลีเซอรอลใส่กระบอกใส แล้วปล่อยลูกกลมโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร ลงในกลีเซอรอล และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ จะพบว่า ในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่โดยมีความเร่ง หลังจากนั้นก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วปลาย (terminalvelocity)ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่โดยมีความเร่งภายใต้แรงลัพธ์ขนาดหนึ่งต่อมาเมื่อลูกกลมโลหะมีความเร็วสูงขึ้นแรงลัพธ์นั้นลดลงๆจนมีค่าเป็นศูนย์ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

จากหลักการของอาร์คิมีดีสและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ขณะที่ลูกกลมโลหะตกในกลีเซอรอล(หรือของไหลอื่น)ลูกกลมจะถูกแรงสามแรงคือ น้ำหนัก (W) ของลูกกลมโลหะ แรงลอยตัว ($F_B$) และแรงหนืด (F) ของกลีเซอรอล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของลูกกลมโลหะ

แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว




รูปที่ 2.8 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

เมื่อพิจารณาแรงทั้งสามนี้ จะพบว่า น้ำหนักของลูกกลมโลหะและแรงลอยตัวมีค่าคงตัว ดังนั้น การที่แรงลัพธ์เปลี่ยนไปจึงเกิดจากแรงหนืดเพียงแรงเดียว กล่าวคือ เมื่อเริ่มเคลื่อนที่แรงหนืดจะมีขนาดน้อยกว่าผลต่างของน้ำหนักและแรงลอยตัว ดังรูป ก. เมื่อลูกกลมโลหะเคลื่อนที่เร็วขึ้นแรงหนืดจะมีขนาดมากขึ้นจนทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อลูกกลมโลหะเป็นศูนย์ ลูกกลมโลหะจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ดังรูป ข. จึงสรุปได้ว่า แรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วของวัตถุและแรงนี้มีในทิศตรงกันข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุ

สโตกส์ (Sir George Stokes) ได้ทดลองหาแรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมขณะเคลื่อนที่ในของเหลว พบว่า แรงหนืดแปรผันตรงกับความเร็วของวัตถุทรงกลม ดังสมการ

$$F = 6\pi\eta rv \qquad (2.6)$$

เมื่อ F คือ แรงหนืด

r คือ รัศมีของวัตถุทรงกลมตัน

v คือ ความเร็วของวัตถุทรงกลมตัน

$\eta$ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล

ความหนืดมีหน่วยนิวตัน วินาทีต่อตารางเมตร ($N/m^2$) หรือ พาสคัล วินาที (Pa s) ในอดีตหน่วยของความหนืด (ในระบบ cgs) คือ ปัวส์ (poise) แทนด้วยสัญลักษณ์ P โดยที่ 1 Pa s = 10 P

**2.2.2 พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics)**

เมื่อของไหลเคลื่อนที่สมบัติบางประการของของไหลจะเปลี่ยนไป เช่น ความดัน แม้จะอยู่ในระดับเดียวกันในภาชนะเดียวกัน ค่าความดันก็อาจจะไม่เท่ากัน ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่ามันเกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์ของของไหลขณะกำลังเคลื่อนที่ เช่น การไหลของกระแสน้ำในแม่น้ำหรือกระแสน้ำหลากหรือการเคลื่อนที่ของควันบุหรี่ อนุภาคของน้ำหรือควันที่เคลื่อนที่จริงๆย่อมมีความสลับซับซ้อนยากที่จะคาดคะเนได้ถูกต้องสมบูรณ์ ของไหลที่ไหลอย่างไม่เป็นระเบียบ กระแสของการไหลจะสลับซับซ้อนอลวน แต่ในสภาวะที่เหมาะสมกระแสของการไหลจะเป็นระเบียบไม่เกิดการอลวน ซึ่งในสภาวะเช่นนี้เราเรียกว่า การไหลแบบสายกระแส (Streamline flow) การไหลในลักษณะเช่นนี้ สายกระแสแต่ละสายจะไม่พันหรือไขว้กันแต่จะไหลลู่ไปตามกัน อนุภาคที่ประกอบเป็นของไหลในแต่ละสายจะอยู่ในสายเดิมตลอดเวลา และทุกอนุภาคที่เคลื่อนที่ในสายใดสายหนึ่งเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดตรึงจุดหนึ่งในสายนั้นๆ ความเร็วของทุกอนุภาคจะเท่ากันหมด ในกรณีพิเศษถ้าถือว่าของไหลนี้เป็นชนิดที่แรงกดดันไม่ทำให้ปริมาตรของมันเปลี่ยนแปลง (Incompressible fluid) ในขณะที่ไหลไม่มีแรงเสียดทานระหว่างสายกระแสหรือไม่มีความหนืด ซึ่งเราจะเรียกว่า ของไหลอุดมคติ (Ideal fluid) แก๊สที่มีความดันคงที่หรือมีผลต่างความดัน ณ บริเวณใกล้เคียงไม่มากเกินไปก็ถือว่าเป็นของไหลอุดมคติได้ แรงเสียดทานภายในระหว่างชั้นขณะกำลังไหลจะก่อให้เกิดความ*เค้นเฉือน*

พลศาสตร์ของของไหลเป็นการศึกษาของไหลที่มีการเคลื่อนที่ โดยสมมติให้ของไหลเป็นของไหลอุดมคติ พฤติกรรมของของไหลอุดมคติอธิบายได้ด้วย สมการความต่อเนื่อง (the equation of continuity) สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) และหลักของแบร์นูลลี (Bernoulli's principle) ความรู้เกี่ยวกับหลักการของแบร์นูลลีนำไปใช้อธิบายการทำงานของอุปกรณ์บางอย่าง เช่น เครื่องพ่นสี การทำงานของปีกเครื่องบิน เป็นต้น รวมทั้งใช้อธิบายปรากฏการณ์บางอย่างในชีวิตประจำวัน

สมการความต่อเนื่อง (the equation of continuity) กล่าวว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลในอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในหลอด การไหลจะมีค่าคงตัวเสมอ

$$\rho AV = \text{ค่าคงตัว} \tag{2.7}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ตั้งฉากกับสายกระแส

V คือ ความเร็วของของไหล

ได้ว่า

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \text{ ซึ่ง } \rho_1 = \rho_2 \text{ ในของไหลเดียวกัน}$$

$$A_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

นั่นคือ AV = ค่าคงตัว

ผลคูณ Av เรียกว่า อัตราการไหล (volume flow rate หรือ volume flux) มีหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจากสมการจะเห็นว่าอัตราเร็วของไหลแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของหลอดการไหลนั่นคือถ้าพื้นที่หน้าตัดเล็กอัตราเร็วจะมากและถ้าพื้นที่หน้าตัดใหญ่อัตราเร็วจะน้อย

สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) กล่าวว่า ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่ของไหลผ่าน มีค่าคงตัวเสมอ

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = \text{ค่าคงตัว} \tag{2.8}$$

เมื่อ P คือ ความดัน

ρ คือ ความหนาแน่น

v คือ อัตราเร็ว

h คือ ความสูง

จากสมการของแบร์นูลลี จะเห็นว่า ถ้าระดับคงตัวเมื่อของไหลมีอัตราเร็วเพิ่ม ความดันของของไหลจะลด และเมื่อของไหลมีอัตราเร็วลดลง ความดันของของไหลจะเพิ่มขึ้น ข้อสรุปนี้เรียกว่า หลักของแบร์นูลลี (Bernoulli's principle)

อุปกรณ์พ่นสี

เมื่ออากาศผ่านท่อไปยังหัวฉีด อัตราเร็วของอากาศที่ผ่านหัวฉีดจะสูงกว่าอัตราเร็วของอากาศที่ผ่านตามท่อ เพราะหัวฉีดมีขนาดเล็กกว่าท่อมาก ดังนั้น ความดันของอากาศบริเวณหัวฉีดจึงน้อยมาก สารละลายของสีที่อยู่ในกระป๋องซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงเคลื่อนที่ผ่านท่อไปผสมกับอากาศที่บริเวณหัวฉีด ทำให้ทั้งอากาศและเม็ดสีถูกฉีดและกระจายออกทางหัวฉีดด้วยอัตราเร็วสูง การทำงานของคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนหรือขวดสเปรย์น้ำหอมก็อาศัยหลักการเดียวกันนี้

ปีกเครื่องบิน

วิศวกรออกแบบปีกเครื่องบินทำงานออกแบบโดยอาศัยสมการของแบร์นูลลีโดยออกแบบให้ด้านบนของปีกมีความโค้งมากกว่าด้านล่าง เมื่อเครื่องบินอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านบนต้องเคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลกว่าอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านล่าง ดังนั้น อัตราเร็วของอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านบนจะสูงกว่าอัตราเร็วของอากาศที่ผิวปีกด้านล้าง ทำให้ความดันของอากาศที่ผิวปีกด้านล่างมากกว่าที่ผิวปีกด้านบน จึงเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นกระทำที่ปีกเครื่องบิน เครื่องบินจึงสามารถบินขึ้นได้

2.2.2.1 คุณสมบัติของไหลอุดมคติ มีดังนี้

1. มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ ( Steady Flow ) หมายถึง ความเร็วของทุกอนุภาค ณ ตำแหน่งบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกันในของไหลมีค่าคงตัว
2. เป็นการไหลโดยไม่หมุน ( Irrotational flow ) คือ ในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ เลย
3. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด ( Nonviscous flow ) ไม่มีแรงต้านใดๆ ภายในเนื้อของไหลมากระทำต่ออนุภาคของไหล
4. ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible flow ) ในทุกๆส่วนของของไหลมีความหนาแน่นคงตัว

สมมติของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลง มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางใดๆในเวลาเท่ากันจะมีค่าเท่ากันเสมอ ถ้าของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง $A_1$ มีอัตราเร็ว $v_1$ และไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง $A_2$ มีอัตราเร็ว $v_2$ ในเวลา $dt$ มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ $A_1$ และ $A_2$ ให้เป็น $dm_1$ และ $dm_2$ ตามลำดับ

$dm_1 = \rho A_1 ds_1 = \rho A_1 v_1 \, dt$

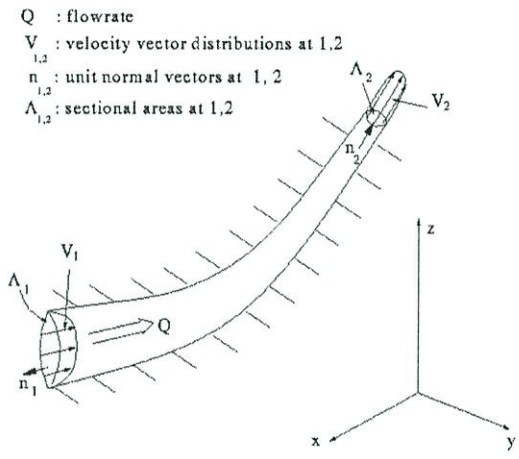
$dm_1 = \rho A_2 ds_2 = \rho A_2 v_2 \, dt$

เมื่อ $\rho$ , $ds_1$ และ $ds_2$ เป็นความหนาแน่นของของไหลระยะทางที่ของไหลไหล– ไหลผ่านพื้น $A_1$ และ $A_2$ ในเวลา $dt$ ตามลำดับ

ดังนั้น $dm_1 = dm_2$

หรือ $\rho A_1 v_1 \, dt = \rho A_2 v_2 \, dt$

หรือ $A_1 v_1 = A_2 v_2 =$ คงที่




รูปที่ 2.10 แสดงของไหลอุดมคติไหลในท่อ

เรียกสมการนี้ว่า สมการต่อเนื่อง (Continuity equaion) ปริมาณ Av ก็คืออัตราการไหลของปริมาตร จึงสามารถกล่าวได้ว่า ของไหลอุดมคติเมื่อไหลในท่อ อัตราการไหลของปริมาตรจะมีค่าคงที่

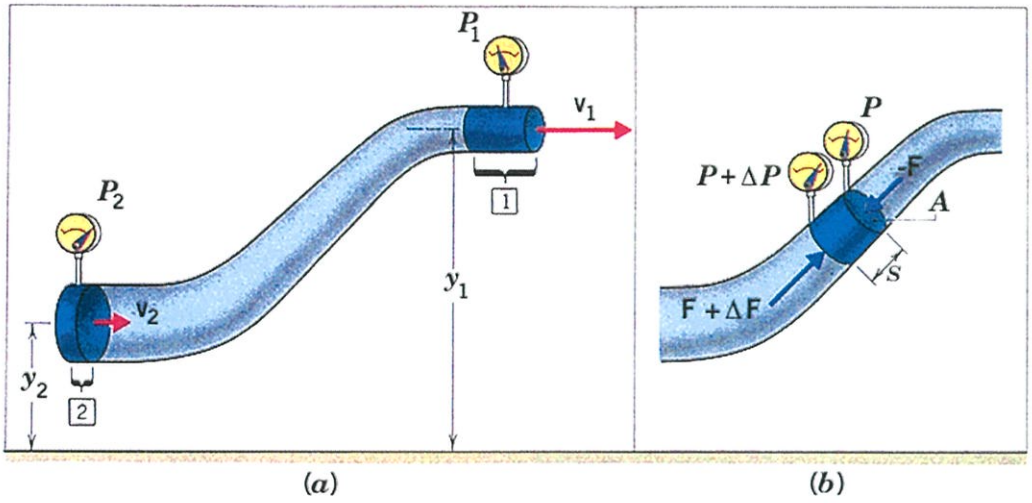
หรือ $$\frac{dV}{dt} = Av = \text{คงที่} \qquad (2.9)$$

เมื่อ $\frac{dV}{dt}$ เป็นอัตราปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านภาคตัดขวางของท่อ เมื่อพื้นที่ภาคตัดขวางใหญ่ขึ้นอัตราเร็วของสายกระแสจะลดลง น้ำที่ไหลในแม่น้ำเมื่อไหลผ่านบริเวณที่แคบกระแสน้ำจะไหลเร็ว ในขณะที่เมื่อไหลผ่านบริเวณแม่น้ำที่กว้างกระแสน้ำจะไหลช้า หรือถ้าแม่น้ำกว้างสม่ำเสมอ บริเวณน้ำตื้นกระแสน้ำจะไหลเร็ว บริเวณน้ำลึกกระแสน้ำจะไหลช้า แต่อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านทั้งสองบริเวณจะเท่ากัน (ตามอุดมคติ) น้ำที่ไหลในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1ซม. จะมีอัตราเร็วมากกว่าน้ำที่ไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. (ซึ่งเชื่อมติดกัน) ถึงสี่เท่า

สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli s Equation)

จากสมการต่อเนื่อง เมื่อของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางเปลี่ยนไป อัตราเร็วของการไหลจะเปลี่ยนไปด้วย ทำให้พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลเปลี่ยนไปด้วยและถ้าท่อไม่อยู่ในแนวระดับ พลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลก็เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นความดันของของไหลในท่อที่ตำแหน่งต่างๆก็จะเปลี่ยนไปด้วย นั่น

หมายความว่าความดันของของไหลขณะที่กำลังไหลในท่อจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของสายกระแสและขึ้นอยู่กับตำแหน่งความสูง ณ ภาคตัดขวางนั้นๆด้วย




รูปที่ 2.11 แสดงของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง

เมื่อของไหลไหลขึ้นตามท่อ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น $y_1$ มีภาคตัดขวาง $A_1$ ของไหลมีอัตราเร็ว $v_1$ และ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น $y_2$ ภาคตัดขวางของท่อเป็น $A_2$ ของไหลมีอัตราเร็ว $v_2$ เมื่อ $A_1$ และ $A_2$ ไม่เท่ากัน $v_1$ และ $v_2$ ก็ย่อมไม่เท่ากัน ดังนั้นมวลของของไหลในช่วงนี้ก็จะไหลด้วยอัตราเร่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลของไหลในช่วงนี้ไม่เป็นศูนย์ ณ ภาคตัดขวางของท่อเสมือนมีแผ่นลูกสูบบางๆ ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงได้ตามภาคตัดขวางของท่อ ดังนั้นของไหลที่อยู่ทางด้านซ้ายของพื้นที่ $A_1$ จะออกแรงดันลูกสูบ $A_1$ ด้วยขนาดของแรง $P_1$ $A_1$ ไปทางขวา ในขณะเดียวกันของไหลที่อยู่ทางด้านขวามือพื้นที่ $A_2$ ก็จะออกแรงดันลูกสูบ $A_2$ มาทางซ้ายมือด้วยขนาดของแรง $P_2$ $A_2$ นั่นก็คือ แรงที่กระทำต่อของไหลจึงมาจากของไหลด้านข้างเคียง เมื่อแรง $P_1$ $A_1$ ไม่เท่ากับ $P_2$ $A_2$ มวลก็เคลื่อนที่มีความเร่ง ถ้าเวลาของการไหลผ่านไปเพียงเล็กน้อย, $dt$, ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ $A_1$ และ $A_2$ ย่อมเท่ากันให้เป็น $dV$ โดยที่

$dV = A_1\, ds_1 = A_2\, ds_2$ เมื่อ $ds_1$ และ $ds_2$ เป็นระยะทางที่ลูกสูบ $A_1$ และ $A_2$ เคลื่อนที่ เมื่อใช้กฎอนุรักษ์พลังงาน ณ ตำแหน่งสูง $y_1$ และ $y_2$ ที่ว่างานผลลัพธ์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อมวลจะเท่ากับผลต่างของพลังงานกลของมวล ณ ตำแหน่งทั้งสอง แรงภายนอก $P_1 A_1$ ทำงานและได้งานเท่ากับ $P_1 A_1 ds_1$ แต่แรง $P_2 A_2$ ทำงาน แต่เสียงาน(ถอยหลัง) เท่ากับ $P_2 A_2 ds_2$ ดังนั้นงานผลลัพธ์ในช่วงเวลา $dt$ ให้เป็น $d$

$$dW = P_1 A_1 ds_1 - P_2 A_2 ds = P_1 dV - P_2 dV \tag{2.10}$$

$$dW = (P_1 - P_2)dV \tag{2.11}$$

ผลต่างของพลังงานกลในช่วงเวลา $dt$ ให้เป็น $dE$

$$dE = \tfrac{1}{2}dmv_{\,2}^{\,2} + dmgy_{\,2} - \tfrac{1}{2}dmv_{\,1}^{\,1} - dmgy_{\,1} \qquad (2.12)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho\left(v_2^2 - v_1^2\right) + \rho g\left(y_2 - y_1\right)$$

นี่คือสมการของแบร์นูลลี ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า งานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล $(P_1 - P_2)$ มีค่าเท่ากับผลบวกของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังไหล

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 \qquad (2.13)$$

**ดังนั้น**

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y \;\; = \text{ค่าคงที่} \qquad (2.14)$$

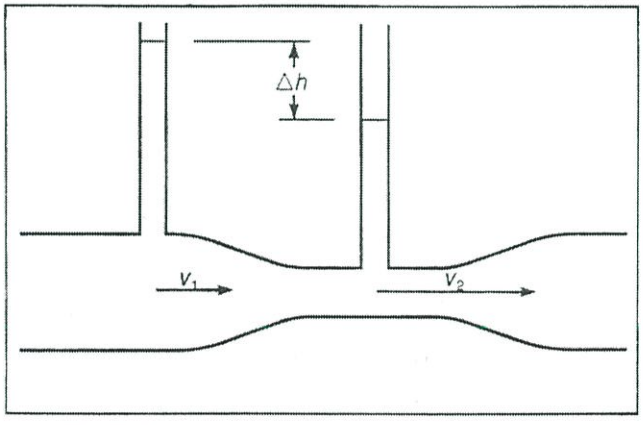


Fig. 9-25 The Venturi meter

ซึ่งหมายความว่า **ผลบวกของความดัน พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะมีค่าคงที่** รูปที่ 2.12 แสดงของไหลท่อเวนจูรี

**ตัวอย่าง** เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราเร็วของการไหลของของเหลว ในท่อเรียกว่า เวนจูรีมิเตอร์ (*Venturimeter*) ดังรูป จงหาอัตราเร็ว $V_1$ ในเทอมของพื้นที่ภาคตัดขวาง $A_1$ และ $A_2$ และผลต่างของระดับความสูงของของเหลวในหลอดที่ตั้งในแนวดิ่ง

**วิธีทำ** กำหนดให้ตำแหน่งที่ 1 และที่ 2 อยู่ใต้ หลอดและอยู่ในแนวระดับตามแนวศูนย์กลางของท่อ และให้ $y_1 = y_2 = 0$ จากสมการของแบร์นูลลี

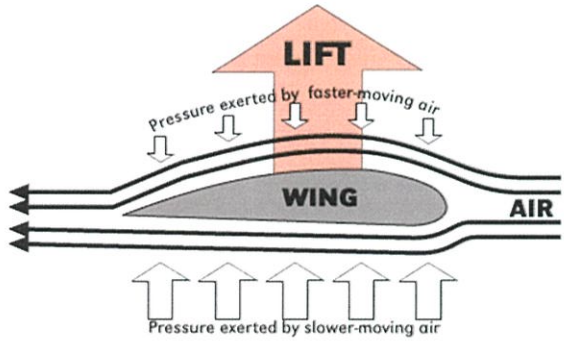
จาก $$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)v_1^2$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2ghA_2^2}{A_1^2 - A_2^2}}$$

**ตัวอย่าง** แรงยกปีกเครื่องบิน ในขณะที่เครื่องบินกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $v$ กระแสอากาศจะไหลผ่านปีกเครื่องบิน ภาคตัดขวางของปีกเครื่องบินได้ออกแบบเป็นรูปกระสวย เพื่อให้กระแสอากาศที่ผ่านไม่เกิดการอลวน พื้นผิวด้านบนของปีกจะมีลักษณะโค้งพลิ้วลม พื้นผิวด้านล่างของปีกเป็นพื้นราบ ดังรูป ถ้าพื้นที่ผิวปีกด้านล่างเท่ากับ $A$ และอากาศมีความหนาแน่น จงคำนวณหาแรงยกปีกเครื่องบินถ้ากระแสอากาศที่ไหลผ่านผิวบนของปีกเป็น $V$




รูปที่ 2.13 แสดงแรงยกปีกเครื่องบิน

**วิธีทำ** เนื่องจากผิวด้านบนของปีกโค้ง เมื่ออากาศไหลผ่านปีก อากาศที่ไหลผ่านผิวบนจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางยาวกว่าที่อากาศไหลผ่านผิวล่างของปีก แต่สายกระแสอากาศใช้เวลาเดินทางเท่ากันจากหัวปีกถึงหางปีก โดยหลักการเคลื่อนที่สัมพัทธ์อากาศที่ไหลผ่านผิวล่างจะมีความเร็วเท่ากับเครื่องบิน (โดยประมาณ)

จากสมการของแบร์นูลลี

$$\text{จาก} \quad p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

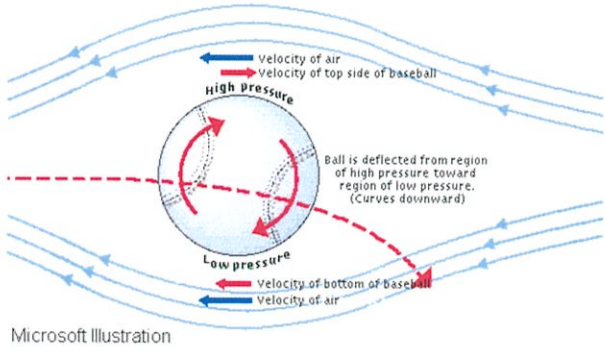
$\Delta P = P_1 - P_2$ มีค่าเป็นบวก เพราะว่า $P_1$ มากกว่า $P_2$ ทั้งนี้เพราะ $v$ น้อยกว่า $V$ แรงดันปีกเครื่องบินอันเนื่องมาจากผลต่างของความดันที่ผิวล่างและผิวบนของปีก จึงเป็นแรงยก ให้เท่ากับ $F$

$$F = (\Delta p)A = \frac{1}{2}\rho\left(V^2 - v^2\right)A$$

ถ้าเครื่องบินทั้งลำมีน้ำหนักรวม $W$ และเครื่องบินบินอยู่ในแนวระดับพอดี แรงลัพธ์ในแนวดิ่งเท่ากับศูนย์ ดังนั้น $F = W = (\Delta p)A = \frac{1}{2}\rho\left(V^2 - v^2\right)A$

แรงยกพลวัต (Dynamic Lift)

เมื่อวัตถุที่มีรูปทรงเป็นทรงกลม เช่น ลูกฟุตบอล ลูกเทนนิส ลูกกอล์ฟ ลูกปิงปอง เป็นต้น เคลื่อนที่ผ่านของไหล หรือในทางตรงกันข้ามของไหลเคลื่อนที่ผ่านลูกบอลเหล่านี้ เมื่อของไหลไหลแบบสายกระแส สายกระแสที่ไหลผ่านทรงกลมทุกด้านจะมีอัตราเร็วเท่ากันหมด (ด้านหลังทรงกลมจะเกิดกระแสอลวนบ้างเล็กน้อยและในที่นี้จะไม่นำมาคิด) แต่เมื่อทรงกลมหมุนสายกระแสของไหลที่อยู่ชิดกับผิวของทรงกลมที่หมุนไปทางเดียวกับสายกระแสจะมีอัตราเร็วสูงขึ้นกว่าเดิม ในขณะที่สายกระแสของของไหลที่อยู่ชิดกับผิวของทรงกลมที่หมุนตรงกันข้ามกับสายกระแสที่อยู่ชิดกับผิวของทรงกลมที่หมุนตรงกันข้ามกับสายกระแสจะมีอัตราเร็วช้าลงกว่าเดิม ดังรูป ซึ่งมีผลทำให้ความดันที่ผิวของทรงกลมด้านที่อัตราเร็วของสาย




รูปที่ 2.14 แสดงแรงยกพลวัตลูกเบสบอล

กระแสสูงกว่า มีค่าน้อยกว่าความดันที่ผิวของทรงกลมด้านที่สายกระแสมีอัตราเร็วต่ำกว่า ผลต่างความดันนี้จึงทำให้เกิดแรงยกพลวัตผลักให้ทรงกลมเคลื่อนที่เบนไปทางที่แรงกระทำ ดังรูปเช่น ถ้าลูกบอลหมุนในระนาบดิ่งโดยหมุนตามเข็มนาฬิกา ขณะกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวามือในอากาศจะถูกแรงพลวัตดึงลงข้างล่าง ทำให้ลูกบอลตกสู่พื้นดินเร็วกว่าปกติ แต่ถ้าลูกบอลหมุนทวนเข็มนาฬิกา แรงพลวัตจะยกขึ้นทำให้ลูกบอลขึ้นได้สูงกว่าปกติและเคลื่อนที่ได้ระยะทางมากกว่าปกติ และถ้าลูกบอลหมุนในระนาบระดับเมื่อมองขึ้นดูตามแนวดิ่งเห็นหมุนตามเข็มนาฬิกา แรงพลวัตจะดันไปทางซ้ายมือทำให้เส้นทางเคลื่อนที่ไม่อยู่ในระนาบดิ่ง แต่จะเลี้ยวโค้งไปทางซ้ายมือ ในทาง

ตรงกันข้ามถ้าลูกบอลหมุนทวนเข็มนาฬิกาในระนาบระดับ ลูกบอลจะเลี้ยวโค้งไปทางขวามือ ตัวอย่างเช่น การตีลูกหมุนของปิงปองหรือเทนนิส หรือการเตะลูกโค้งของฟุตบอล เป็นต้น

**2.2.3 แรงโน้มถ่วงของโลก** (gravity)

ความโน้มถ่วง (อังกฤษ: gravity) หรือ แรงโน้มถ่วง (อังกฤษ: gravitational force) ในทางฟิสิกส์ คือแรงที่กระทำระหว่างมวล แรงโน้มถ่วงเป็นหนึ่งในสี่แรงหลัก ซึ่งประกอบด้วย แรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน และ แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม ในจำนวนแรงทั้งสี่แรงหลัก แรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าแรงโน้มถ่วงจะเป็นแรงที่เราไม่สามารถรับรู้ได้มากนัก เพราะความเบาบางของแรงที่กระทำต่อเรา แต่ก็เป็นแรงเดียวที่ยึดเหนี่ยวเราไว้กับพื้นโลก แรงโน้มถ่วงมีความแรงแปรผันตรงกับมวล และแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง ไม่มีการลดทอนหรือถูกดูดซับเนื่องจากมวลใดๆ ทำให้แรงโน้มถ่วงเป็นแรงที่สำคัญมากในการยึดเหนี่ยวเอกภพไว้ด้วยกัน

นอกเหนือจากความโน้มถ่วงที่เกิดระหว่างมวลแล้ว ความโน้มถ่วงยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่เราเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เช่น การเพิ่มหรือลดความเร็วของวัตถุ การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เป็นต้น

2.2.3.1 กฎความโน้มถ่วงของนิวตัน

ในปี พ.ศ. 2230 ไอแซก นิวตัน ได้ค้นพบกฎความโน้มถ่วงดังนี้

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \tag{2.15}$$

เมื่อ F คือ ความโน้มถ่วงระหว่างมวลทั้งสอง

G คือ ค่านิจโน้มถ่วงสากล

$m_1$คือมวลของวัตถุแรก

$m_2$คือมวลของวัตถุที่สอง

r คือระยะห่างระหว่างวัตถุทั้งสอง

นั่นคือความโน้มถ่วงแปรผันตรงกับมวล (มวลมากก็มีความโน้มถ่วงมาก) และแปรผกผันกับระยะห่างกำลังสอง (ระยะห่างมากก็มีความโน้มถ่วงน้อย)

2.2.3.2 ทฤษฎีสัมพันธภาพทั่วไป

Albert Einstein ได้เผยแพร่ทฤษฎีสัมพันธภาพทั่วไปในปี พ.ศ. 2459 โดยเนื้อหาแสดงถึงการอธิบายความโน้มถ่วงที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีสัมพันธภาพพิเศษและกฎความโน้มถ่วงของนิวตันในรูปแบบของกาลอวกาศ (อังกฤษ: Spacetime) เชิงเรขาคณิตที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการสนามของAlbert Einstein (อังกฤษ: Einstein field Equation) ดังนี้

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + g_{\mu\nu}A = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \qquad (2.16)$$

เมื่อ $R_{\mu\nu}$ คือ ริชชี่เทนเซอร์ความโค้ง (Ricci Tensor Curvature)

$R$ คือ ความโค้งเชิงสเกลาร์ (Scalar Curvature)

$g_{\mu\nu}$ คือ เมตริกซ์เทนเซอร์

$\Lambda$ คือ ค่าคงตัวจักรวาล (Cosmological Constant)

$G$ คือ ค่านิจโน้มถ่วงสากล (Gravity Constant)

$c$ คือ ความเร็วแสง

$T_{\mu\nu}$ คือ เทนเซอร์ความเค้น-พลังงาน (Stress-Energy Tensor)

2.2.3.3 ความโน้มถ่วงของโลก

จากกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับมวลใดๆ จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างศูนย์กลางมวลของโลกกับศูนย์กลางมวลวัตถุยกกำลังสอง ดังนั้นแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณต่างๆ จึงมีค่าไม่เท่ากัน และเนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเองมีผลทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง แรงหนีศูนย์กลางนี้จะหักล้างกับแรงโน้มถ่วงของโลก แรงหนีศูนย์กลางจะมีค่ามากที่สุดบริเวณเส้นศูนย์สูตร และมีค่าน้อยที่สุดบริเวณขั้วโลก ผลของแรงหนีศูนย์กลางนี้ทำให้แรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณเส้นศูนย์สูตรมีค่าน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณขั้วโลกเหนือ นอกจากนั้นโลกก็มิได้เป็นทรงกลมโดยสมบูรณ์ แต่เป็นตรงกลางเล็กน้อยคล้ายผลส้ม ทำให้ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกถึงพื้นผิวโลกแปรผันไปตามละติจูด

สำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมโดยทั่วไปความเปลี่ยนแปลงของค่าแรงโน้มถ่วงไม่ถือเป็นนัยสำคัญ จึงสามารถใช้ค่าเฉลี่ยของแรงโน้มถ่วงของโลกได้ โดยกำหนดให้ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (g) มีค่าเท่ากับประมาณ 9.81(~10) เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

**2.2.4 สุญญากาศ (Vacuum)**

สุญญากาศ (อังกฤษ: vacuum มาจากภาษาละตินแปลว่า *ว่างเปล่า*) คือปริมาตรของช่องว่างซึ่งไม่มีสสารอยู่ภายใน เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมากๆ ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ที่เรียกว่า สุญญากาศสมบูรณ์ (perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สุญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์มักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสุญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่าสุญญากาศแทนสุญญากาศสมบูรณ์ และใช้คำว่า สุญญากาศบางส่วน (partial vacuum) แทนความหมายของสุญญากาศที่เกิดขึ้นได้จริง

คุณภาพของสุญญากาศ หมายถึงระดับของสภาวะที่เข้าใกล้สุญญากาศสมบูรณ์ ความดันของแก๊สที่เหลืออยู่จะถูกใช้เป็นตัววัดคุณภาพของสุญญากาศเป็นหลัก โดยการวัดในหน่วยทอรร์ (Torr) หรือหน่วยเอสไออื่นๆ ความดันแก๊สที่ยิ่งเหลือน้อยจะหมายถึงคุณภาพที่ยิ่งมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรอื่นที่ต้องตัดออกในภายหลัง ทฤษฎีควอนตัมได้กำหนดขอบเขตสำหรับคุณภาพของสุญญากาศที่ดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จึงทำให้คาดเดาได้ว่าไม่มีปริมาตรของช่องว่างใดที่จะทำให้เป็นสุญญากาศได้อย่างสมบูรณ์ อวกาศเป็นสภาพสุญญากาศที่มีคุณภาพสูงโดยธรรมชาติ และสุญญากาศที่มีคุณภาพสูงกว่านั้นสามารถสร้างขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน สำหรับสุญญากาศคุณภาพต่ำได้ถูกใช้เพื่อการดูดและการสูบมากว่าหลายพันปีแล้ว

สุญญากาศเป็นหัวข้อทางปรัชญาที่พบได้บ่อยตั้งแต่ยุคกรีกโบราณ แต่ก็ไม่ได้ทำการศึกษาอย่างจริงจังจนกระทั่งคริสต์ศตวรรษที่ 17 เอวันเจลิสตา ตอร์รีเชลลี(Evangelista Torricelli) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลีได้สร้างสุญญากาศขึ้นในห้องทดลองเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ.1643 และเทคนิคการทดลองอื่นๆ ก็เป็นผลการพัฒนามาจากทฤษฎีเกี่ยวกับความดันบรรยากาศของเขา ต่อมาสุญญากาศกลายเป็นเครื่องมือที่มีค่าในอุตสาหกรรมการผลิตหลอดไฟและหลอดสุญญากาศในคริสต์ศตวรรษที่ 20 และเทคโนโลยีการสร้างสุญญากาศก็เริ่มแผ่ขยายไปในวงกว้าง

**2.2.4 ความดันไอกับจุดเดือดของของเหลว**

รูปที่ 2.15 แสดงของเหลวในภาชนะที่ไม่มีฝาปิดและมีฝาปิด

ถ้าเอาของเหลวใส่ในภาชนะที่ไม่มีฝาปิด เมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆ ของเหลวจะมีปริมาตรลดลง และในที่สุดจะหมดไป ทั้งนี้เพราะว่าของเหลวนั้นได้ระเหยกลายเป็นไอไปสู่อากาศ แต่ถ้าเอาของเหลวชนิดเดียวกันนี้ใส่ในภาชนะปิด ไม่ว่าตั้งทิ้งไว้นานเท่าใดของเหลวนั้นจะมีปริมาตรลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่า เมื่อของเหลวกลายเป็นไอ โมเลกุลที่ระเหยเป็นไอหนีไปสู่อากาศไม่ได้ยังคงอยู่ในภาชนะบริเวณที่ว่างเหนือของเหลวนั้นโมเลกุลของไอเหล่านี้จะเคลื่อนที่ชนกันเอง ชนผิวของของเหลว และชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลที่เคลื่อนที่ชนผิวหน้าของของเหลวส่วนใหญ่จะถูกของเหลวดูดกลับลงไปเป็นของเหลวอีก ซึ่งเรียกว่า “ไอควบแน่นของของเหลว” เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไอมากขึ้นทำให้อัตราการควบแน่นเพิ่มขึ้น โมเลกุลที่ยังคงอยู่ในสภาพไอทำให้เกิด

แรงกระทำต่อภาชนะ หรือมีความดันเกิดขึ้นในภาชนะ ซึ่งเรียกว่า “ ความดันไอ” และความดันนี้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆ ทั้งนี้เพราะโมเลกุลที่ไอมีมากขึ้น เนื่องจากอันตราการระเหยมากกว่าอัตราการที่ไอควบแน่นเป็นของเหลว จนในที่สุดความดันไอจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง เพราะมีจำนวนโมเลกุลที่เป็นไอคงที่ เนื่องจากอัตราการระเหยกลายเป็นไอมีค่าเท่ากับอัตราที่ไอควบแน่นเป็นของเหลว เราเรียกภาวะนี้ว่า “ภาวะสมดุล” แต่เนื่องจากที่ภาวะสมดุลนี้ระบบมิได้หยุดนิ่ง ยังคงมีทั้งการระเหยกลายเป็นไอและไอควบแน่นเป็นของเหลว แต่เกิดในอัตราที่เท่ากัน จึงเรียกภาวะสมดุลลักษณะเช่นนี้ว่า “สมดุไดนามิก (Dynamic equilibrium)” ส่วนความดันไอในขณะนี้ซึ่งเป็นความดันไอที่มีค่าสูงสุดเรียกว่า “ความดันไอสมดุล” หรือเรียกสั้นๆว่า ความดันไอ

สรุปความหมายสมดุลไดนามิก

เป็นสมดุลของระบบที่ปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับ เกิดขึ้นตลอดเวลา ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ดังนั้น ถึงแม้ว่าเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นในภาวะสมดุลก็ตาม ระบบยังคงมีการเปลี่ยนแปลงไปและกลับอยู่ตลอดเวลา

ปัจจัยที่มีผลต่อความดันไอของของเหลว

1. อุณหภูมิ
   - ที่อุณหภูมิสูง ของเหลวจะกลายเป็นไอได้มาก จึงมีความดันไอสูง
   - ที่อุณหภูมิต่ำ ของเหลวจะกลายเป็นไอได้น้อย จึงมีความดันไอต่ำ
2. ชนิดของของเหลว
   - ของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก จะระเหยได้ยาก จึงมีความดันไอต่ำ มีจุดเดือดสูง
   - ของเหลวที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย จะระเหยได้ง่าย จึงมีความดันไอสูงมีจุดเดือดต่ำ

**2.2.5 พลังงานน้ำ**

พลังงานน้ำ เป็นรูปแบบหนึ่งการสร้างกำลังโดยการอาศัยพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำส่วนมากจะถูกใช้เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วพลังงานน้ำยังถูกนำไปใช้ในกรมชลประทาน การสี การทอผ้า และใช้ในโรงเลื่อย พลังงานของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ได้ถูกมนุษย์นำมาใช้มานานแล้วนับศตวรรษ โดยได้มีการสร้างกังหันน้ำ (Water Wheel) เพื่อใช้ในการงานต่างๆ ในอินเดีย และชาวโรมันก็ได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการโม่แป้งจากเมล็ดพืชต่างๆ ส่วนผู้คนในจีนและตะวันออกไกลก็ได้มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อสร้าง Pot Wheel เพื่อใช้ในวิดน้ำเพื่อการชลประทาน โดยในช่วงทศวรรษ 1830 ซึ่งเป็นยุคที่การสร้างคลองเฟื่องฟูถึงขีดสุด ก็ได้มีการประยุกต์เอาพลังงานน้ำมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเรือขึ้นและลงจากเขา โดยอาศัยรางรถไฟที่ลาดเอียง (Inclined Plane Railroad : Funicular) โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้แบบนี้ อยู่ที่คลอง Tyrone ในไอร์แลนด์เหนือ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำในยุคแรกนั้นเป็นการส่งต่อพลังงานโดยตรง (Direct Mechanical Power Transmission) ทำให้การใช้พลังงานน้ำในยุคนั้นต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น น้ำตก เป็นต้น ปัจจุบันนี้ พลังงานน้ำได้ถูกใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานไปใช้ในที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำได้

พลังงานน้ำเกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ให้ความร้อนแก่น้ำและทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำลอยตัวสูงขึ้น มวลน้ำที่อยู่สูงขึ้นจากจุดเดิม (พลังงานศักย์) เมื่อมวลไอน้ำกระทบความเย็นก็จะเปลี่ยนเป็นของเหลวอีกครั้ง และตกลงมาเนื่องจากเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (พลังงานจลน์) การนำเอาพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำที่ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำให้เป็นกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนนี้คือ กังหันน้ำ (Turbines) น้ำที่มีความเร็วสูงจะผ่านเข้าท่อแล้วถ่ายทอดพลังงานจลน์เข้าสู่กังหันน้ำ ซึ่งจะไปหมุนขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง ในปัจจุบันพลังงานที่ได้จากแหล่งน้ำที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ พลังงานน้ำตก พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น

2.2.5.1 ประเภทของพลังงานน้ำ

พลังงานน้ำตก

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำนี้ทำได้โดยอาศัยพลังงานของน้ำตกออกจากน้ำตามธรรมชาติ หรือน้ำตกที่เกิดจากการดัดแปลงสภาพธรรมชาติ เช่น น้ำตกที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ น้ำตกจากทะเลสาบบนเทือกเขาสู่หุบเขา การสร้างเขื่อนกั้นน้ำและให้น้ำตกไหลผ่านกังหันน้ำซึ่งติดอยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังงานน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยลงมา ดังนั้นการผลิตพลังงานจากพลังงานนี้จำเป็นต้องมีบริเวณที่เหมาะสม

พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง

มีพื้นฐานมาจากพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบที่ประกอบด้วยดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานประเภทใช้แล้วไม่หมดไป สำหรับในการเปลี่ยนพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เลือกแม่น้ำหรืออ่าวที่มีพื้นที่เก็บน้ำได้มากและพิสัยของน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าสูงแล้วสร้างเขื่อนที่ปากแม่น้ำหรือปากอ่าว เพื่อให้เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำขึ้นมา เมื่อน้ำขึ้นจะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ และเมื่อน้ำลงน้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ การไหลเข้าออกจากอ่างของน้ำต้องควบคุมให้ไหลผ่านกังหันน้ำที่ต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อกังหันน้ำหมุนก็จะได้ไฟฟ้าออกมาใช้งานหลักการผลิตไฟฟ้าจากน้ำขึ้นน้ำลง มีหลักการเช่นเดียวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำตก แต่กำลังที่ได้จากพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงจะไม่ค่อยสม่ำเสมอเปลี่ยนแปลงไปมากในช่วงขึ้นลงของน้ำ แต่อาจจัดให้มีพื้นที่กักน้ำเป็นสองบริเวณหรือบริเวณพื้นที่เดียว โดยการจัดระบบการไหลของน้ำระหว่างบริเวณบ่อสูงและบ่อต่ำ และกักบริเวณภายนอกในช่วงที่มีการขึ้นลงของน้ำอย่างเหมาะสม จะทำให้กำลังงานพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงสม่ำเสมอดีขึ้น

พลังงานคลื่น

เป็นการเก็บเกี่ยวเอา พลังงานที่ลม ถ่ายทอดให้กับผิวน้ำในมหาสมุทรเกิดเป็นคลื่นวิ่งเข้าสู่ชายฝั่งและเกาะแก่งต่างๆเครื่องผลิต ไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะถูกออกแบบให้ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำบริเวณหน้าอ่าวด้านหน้าที่หันเข้าหา คลื่น การใช้คลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้านั้นถ้าจะให้ได้ผลจะต้องอยู่ในโซนที่มียอดคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 8 เมตร ซึ่งบริเวณนั้นต้องมีแรงลมด้วย แต่จากการวัดความสูงของยอดคลื่นสูงสุดในประเทศไทยที่จังหวัดระนองพบว่า ยอดคลื่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 4 เมตรเท่านั้น ซึ่งก็แน่นอนว่าด้วยเทคโนโลยี การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นในปัจจุบันนั้นยังคงไม่สามารถใช้ในบ้านเราให้ผลจริงจังได้

2.2.5.2 ประโยชน์ของพลังงานน้ำ

พลังงานน้ำ มีประโยชน์หลายอย่างในการนำมาใช้ ประโยชน์หลักๆ มีดังนี้

1. พลังงานน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่หมดสิ้นคือเมื่อใช้พลังงานพลังงานของน้ำส่วนหนึ่งไปแล้วน้ำส่วนนั้นก็จะไหลลงสู่ทะเลและน้ำในทะเลเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ เมื่อไอน้ำควบแน่นกลายเป็นเมฆเมื่อไอน้ำขึ้นเมฆก็จะกลายเป็นเมฆฝน พอมากเข้าจนเมฆรับน้ำหนักของไอน้ำเหล่านี้ต่อไปได้ น้ำตกลงมาเป็นฝนหมุนเวียนกลับมาทำให้เราสามารถใช้พลังงานน้ำได้ตลอดไปไม่หมดสิ้น
2. เครื่องกลพลังงานน้ำสามารถเริ่มดำเนินการผลิตพลังงานได้ในเวลาอันรวดเร็ว และควบคุมให้ผลิตกำลังงานออกมาได้ใกล้เคียงกับความต้องการ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงมาก ชิ้นส่วนของเครื่องกลพลังงานน้ำส่วนใหญ่จะมีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่าเครื่องจักรกลอย่างอื่น
3. เมื่อนำพลังงานน้ำไปใช้แล้ว น้ำยังคงมีคุณภาพเหมือนเดิมทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก เช่น เพื่อการชลประทาน การรักษาระดับน้ำในแม่น้ำให้ไหลลึกพอแก่การเดินเรือ เป็นต้น
4. การสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บและทดน้ำให้สูงขึ้น สามารถช่วยกักน้ำเอาไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีฝนตก ทำให้ได้แหล่งน้ำขนาดใหญ่สามารถใช้เลี้ยงสัตว์น้ำหรือใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวได้ และยังช่วยรักษาระบบนิเวศของแม่น้ำได้โดยการปล่อยน้ำจากเขื่อนเพื่อไล่น้ำโสโครกในแม่น้ำที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไล่น้ำเค็มซึ่งขึ้นมาจากทะเลก็ได้

แต่พลังงานน้ำมีข้อเสียบางประการ เช่น การพัฒนาแหล่งพลังงานน้ำต้องใช้เงินลงทุนสูง และยังทำให้เสียพื้นที่ของป่าไปบางส่วน นอกจากนี้พลังงานน้ำยังมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น เช่น หน้าแล้งหรือกรณีที่ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล และมักเกิดปัญหาในเรื่องการจัดหาบุคลากรไปปฏิบัติงาน รวมทั้งการซ่อมแซม บำรุงรักษาสิ่งก่อสร้าง และอุปกรณ์ต่าง ๆ จะไม่ค่อยสะดวกนัก เพราะสถานที่ตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชน

2.2.5.3 การนำไปใช้

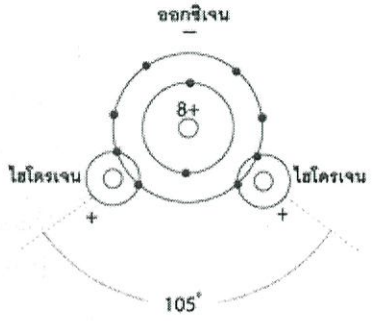
ปัจจุบันนี้ พลังงานน้ำได้ถูกนำไปใช้ในหลายรูปแบบด้วยกัน

1. กังหันน้ำ เป็นรูปแบบการใช้พลังงานน้ำที่เก่าแก่ที่สุด
2. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (Hydroelectric Energy) โดยมากแล้วจะได้พลังงานประเภทนี้จากเขื่อน หรือกังหันน้ำขนาดเล็กตามกระแสน้ำเชี่ยวต่างๆ
3. Tidal Power
4. Tidal Stream Power
5. พลังงานคลื่น (Wave Power)

**2.2.6 สมบัติของน้ำ**

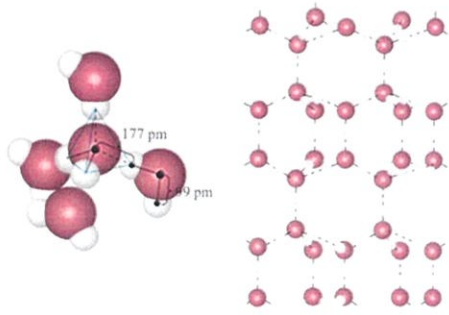
2.2.6.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ

น้ำ 1 โมเลกุล ($H_2O$) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนท์ (Covalent bonds) ซึ่งใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยที่อะตอมทั้งสามตัวเชื่อมต่อกันเป็นมุม 105° โดยมีออกซิเจนเป็นขั้วลบ และไฮโดรเจนเป็นขั้วบวก ดังภาพ




รูปที่ 2.16 แสดงโมเลกุลของน้ำ

น้ำแต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen-bonds) เรียงตัวต่อกันเป็นโครงสร้างจัตุรมุข (Tetrahedral) ดังภาพที่ 2.16 ทำให้น้ำต้องใช้ที่ว่างมากขึ้นเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ดังนั้นเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งจะมีความหนาแน่นน้อยลง เมื่อเพิ่มความร้อนให้กับน้ำแข็งพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย ทำให้น้ำแข็งละลายเป็นของเหลว และเมื่อโครงสร้างผลึกยุบตัวลงน้ำในสถานะของเหลวจึงใช้เนื้อที่น้อยกว่าของแข็ง นี่คือสาเหตุว่าทำไมน้ำแข็งจึงมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ



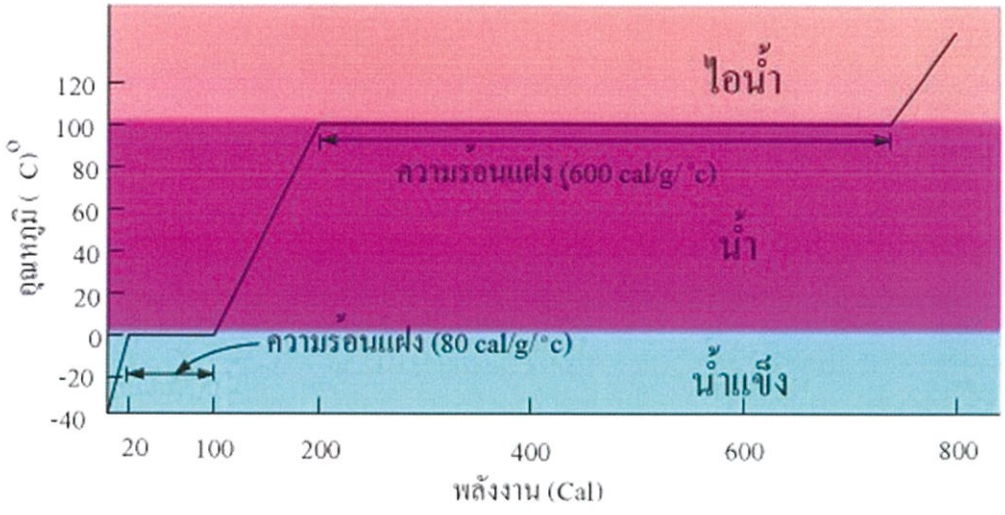

รูปที่ 2.17 พันธะไฮโดรเจนมีระยะห่าง 177 พิโคเมตร พันธะโควาเลนต์มีระยะห่าง 99 พิโคเมตร

ตัวอย่างที่แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เห็นได้ชัดคือ แรงตรึงผิวของน้ำ (Surface tension) เราจะเห็นว่า หยดน้ำบนพื้นหรือบนใบบัวมีรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายเลนส์นูน หรือเวลาที่เติมน้ำเต็มแก้วผิวน้ำจะพูนโค้งสูงเหนือปากแก้วเล็กน้อย หากปราศจากแรงตรึงผิวซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนแล้วผิวน้ำจะเต็มเรียบเสมอปากแก้วพอดี แรงตรึงผิวเป็นคุณสมบัติพิเศษของน้ำ ซึ่งมีมากกว่าของเหลวชนิดอื่น ยกเว้นปรอท (Mercury) ซึ่งเป็นธาตุชนิดเดียวที่เป็นของเหลว แรงตรึงผิวทำให้น้ำเกาะรวมตัวกันและไหลซอนไซไปได้ทุกหนแห่ง แม้แต่รูโหว่และรอยแตกของหิน ด้วยเหตุนี้น้ำจึงเป็นตัวปฏิวัติรูปโฉมของพื้นผิวโลก

2.2.6.2 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ภายใต้ความกดอากาศ ณ ระดับน้ำทะเลปานกลาง น้ำมีสถานะเป็นของเหลว น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส (ไอน้ำ) เมื่อมีอุณหภูมิสูงถึงจุดเดือด (Boiling point) ที่อุณหภูมิ 100°C และเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง เมื่ออุณหภูมิลดต่ำถึงจุดเยือกแข็ง (Freezing point) ที่อุณหภูมิ 0°C การเปลี่ยนสถานะของน้ำมีการดูดกลืนหรือการคายความร้อน โดยที่ไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เรียกว่าความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนแฝงมีหน่วยเป็นแคลอรี (Calorie)

1 แคลอรี คือปริมาณความร้อนซึ่งทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C (ดังนั้นหากเราเพิ่มความร้อน 10 แคลอรีให้กับน้ำ 1 กรัม น้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น 10°C)




รูปที่ 2.18 พลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ก่อนที่น้ำแข็งละลาย น้ำแข็งต้องการความร้อนแฝง 80 แคลอรี/กรัม เพื่อทำให้น้ำ 1 กรัม เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว น้ำแข็งดูดกลืนความร้อนนี้ไว้โดยยังคงรักษาอุณหภูมิ 0°C คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าน้ำแข็งจะละลายหมดก้อนความร้อนที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ในทางกลับกันเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งก็จะคายความร้อนแฝงออกมา 80 แคลอรี/กรัม

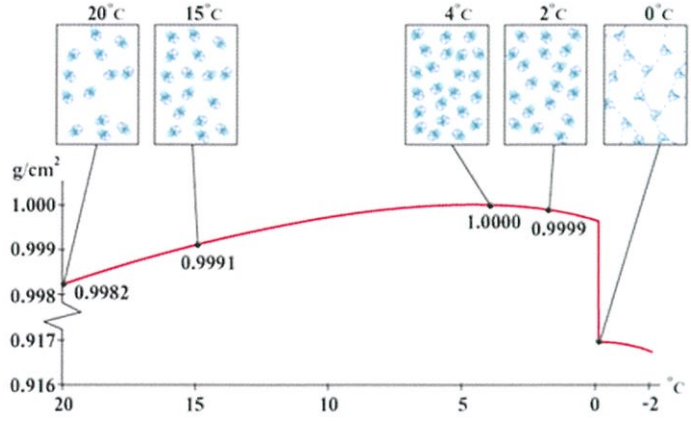
เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ น้ำต้องการความร้อนแฝง 600 แคลอรี เพื่อที่จะเปลี่ยน น้ำ 1 กรัม ให้กลายเป็นไอน้ำ ในทำนองกลับกันเมื่อไอน้ำควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ น้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 600 แคลอรี/กรัม ทำให้เรารู้สึกร้อนก่อนที่จะเกิดฝนตก

การเปลี่ยนสถานะของน้ำทำให้น้ำมีสมบัติในการพาความร้อน (Convection) ดังนั้นเมื่อน้ำเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวโลก ในมหาสมุทร หรือในอากาศ ก็จะพาพลังงานความร้อนไปด้วย ทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวโลกในเวลากลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก โลกจึงมีภาวะที่เอื้ออำนวยต่อสิ่งมีชีวิต

2.2.6.3 ความหนาแน่นของน้ำ

ภายใต้ความกดอากาศ ณ ระดับน้ำทะเลปานกลาง น้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งเมื่อมีอุณหภูมิ 0°C เมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 4 จะเห็นว่าน้ำมีความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิ 4°C และมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 0°C น้ำจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 9 โดยเราจะเห็นได้ว่า เมื่อใส่น้ำเต็มแก้วแล้วนำไปแช่ห้องแข็ง น้ำแข็งจะล้นออก

นอกแก้วหรือดันให้แก้วแตก ในทำนองเดียวกันเมื่อน้ำในซอกหินแข็งตัว มันจะขยายตัวจนทำให้หินแตกเกิดกระบวนการผุพังของหิน (Weathering) ซึ่งทำให้เกิดตะกอน




รูปที่ 2.19 ความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิต่างๆ

น้ำ เป็นสิ่งมหัศจรรย์ของจักรวาล สสารทั่วไปมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง แต่น้ำมีความหนาแน่นน้อยลงเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ด้วยเหตุนี้น้ำแข็งจึงลอยอยู่บนน้ำ ถ้าหากน้ำแข็งมีความหนาแน่นกว่าน้ำ เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง น้ำในมหาสมุทรแข็งตัวและจมตัวลงสู่ก้นมหาสมุทร ทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นมหาสมุทรไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นการที่น้ำมีความหนาแน่นน้อยลงเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งจึงเป็นผลดีที่เอื้ออำนวยต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดต่ำกว่าจุดน้ำแข็ง น้ำแข็งจะเกิดขึ้นบนผิวมหาสมุทร ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันไม่ให้น้ำทะเลที่อยู่เบื้องล่างสูญเสียความร้อนจนกลายเป็นน้ำแข็งไปหมด สิ่งมีชีวิตจึงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในท้องทะเลได้อย่างอบอุ่น

2.2.6.4 ความจุความร้อน

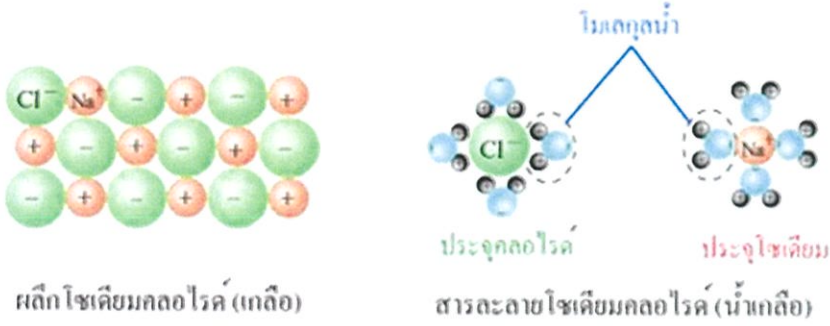
ท่านเคยสังเกตหรือไม่ว่า เวลาเล่นน้ำทะเลในตอนกลางวันจะรู้สึกเย็นสบาย แต่ถ้าเล่นน้ำทะเลในตอนกลางคืนจะรู้สึกอบอุ่น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อน (Heat capacity) น้ำมีความร้อนจำเพาะ 4.184 จูล/กรัม/องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงการที่จะทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จะต้องใช้พลังงาน 4.184 จูล ถ้าต้องการให้น้ำจำนวน 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จะต้องใช้พลังงาน 4,184 จูล ดังนั้นการที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้นได้ จะต้องอาศัยพลังงานมหาศาลจากดวงอาทิตย์ นั่นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ในตอนกลางวันอุณหภูมิของน้ำทะเลต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ และหลักฐานของการคงอยู่ของความจุความร้อนของน้ำก็คือ ในตอนกลางคืนน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากการดูดกลืนพลังงานจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ความจุความร้อนของน้ำทะเลทำให้สภาพภูมิอากาศของแต่ละภูมิภาคแตกต่างกัน พื้นที่

ห่างไกลจากทะเล เช่น บริเวณใจกลางทวีป อุณหภูมิกลางวันกลางคืนแตกต่างกันมาก ส่วนพื้นที่ชายฝั่งและหมู่เกาะกลางมหาสมุทร มีอุณหภูมิกลางวันกลางคืนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

2.2.6.5 ตัวทำละลาย

เมื่อเปรียบเทียบน้ำกับสารประกอบชนิดอื่นแล้ว น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุด โมเลกุลของน้ำยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยแรงอิเล็กโตรสแตติก (Electrostatic forces) นอกจากโมเลกุลของน้ำจะเชื่อมต่อกันเองแล้ว โมเลกุลของน้ำยังสามารถยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลอื่นด้วย โมเลกุลของสารประกอบบางชนิดยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออน (Ionic bonds) โดยมีแรงอิเล็กโตรสแตติกระหว่างประจุบวกและประจุลบของอะตอมแต่ละตัว แรงอิเล็กโตรสแตติกของโมเลกุลเหล่านี้จะลดลงเหลือเพียง 1/80 เมื่อถูกรบกวนจากแรงอิเล็กโตรสแตติกของน้ำ น้ำจึงเป็นตัวทำละลายที่ดี เนื่องจากแรงอีเล็กโตรสแตกติกของโมเลกุลน้ำมีพลังมากกว่าแรงอิเล็กโตรสแตกติกของโมเลกุลอื่นเสมอ

ยกตัวอย่าง เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ประกอบด้วยโซเดียมประจุบวก ($Na^+$) เชื่อมต่อกับคลอรีนประจุลบ ($Cl^-$) ด้วยพันธะไอออน เมื่อใส่ผลึกเกลือลงในน้ำ แรงอีเล็กโตรสแตติกระหว่างโซเดียมกับคลอรีนจะลดลง 80 เท่า ทำให้ไฮโดรเจนประจุบวกของน้ำ ($H^+$) ยึดจับคลอรีนประจุลบของเกลือ ($Cl^-$) ของเกลือ และออกซิเจนประจุลบของน้ำ ($O^-$) ยึดจับโซเดียมประจุบวกของเกลือ ($Na^+$) ทำให้เกิดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในภาพที่ 2.20




รูปที่ 2.20 การทำละลายของน้ำ

น้ำทะเลมีรสเค็ม เนื่องจากเป็นที่รวมของสารละลายชนิดต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ประจุโซเดียม ($Na^+$) และประจุคลอไรด์ ($Cl^-$) นอกจากน้ำเป็นตัวทำละลายของแข็งแล้ว น้ำยังเป็นตัวทำละลายแก๊สอีกด้วย น้ำฝนละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจึงมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน น้ำในแหล่งน้ำละลายออกซิเจนในฟองอากาศ ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำหายใจได้ ประสิทธิภาพในการละลายแก๊สของน้ำ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ สัตว์น้ำหลายชนิดชอบน้ำเย็นมากกว่าน้ำอุ่น เนื่องจากน้ำเย็นสามารถละลายออกซิเจนได้ดีกว่าน้ำอุ่น ความเข้มข้นของแก๊สซึ่งละลายอยู่ในน้ำมีหน่วยวัด

เป็น parts per billion (ppb) หรือ ต่อพันล้านส่วน เช่น ค่าออกซิเจนในน้ำ 5 ppb หมายถึง ในน้ำ 1 พันล้านส่วนมีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่ 5 ส่วน

2.2.6.6 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

น้ำบริสุทธิ์ ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่เหนี่ยวนำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าของน้ำแสดงถึง การเจือปนของสารละลายในน้ำ การเหนี่ยวนำไฟฟ้าของน้ำมีหน่วยวัดเป็น ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) น้ำสะอาดมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 5 – 30 mS/cm แต่น้ำที่ไม่บริสุทธิ์ เช่น น้ำที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่านี้

2.2.6.7 น้ำอ่อน–น้ำกระด้าง

น้ำอ่อน (Soft water) หมายถึง น้ำในสภาพปกติทั่วไป น้ำกระด้าง (Hard water) หมายถึง น้ำที่มีสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลไซต์ปนอยู่มาก น้ำกระด้างจึงมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน เมื่อเราใช้น้ำกระด้างอาบน้ำหรือล้างมือ น้ำจะทำให้สบู่ไม่เป็นฟอง และเช็ดคราบสบู่ออกจากตัวไม่เกลี้ยงเกน้ำกระด้างส่วนมากอยู่ในแหล่งน้ำบาดาลซึ่งมีหินพื้นเป็นหินปูน

2.2.6.8ความเป็นกรด-เบส

กรด(Acid)หมายถึง สสารที่ปล่อยประจุไฮโดรเนียม($H_3O^+$)ให้กัสาร ละลาย ตัวอย่างเช่น เมื่อผสมน้ำกับกรดเกลือจะเกิดประจุไฮโดรเนียมและประจุคลอไรด์ตามสูตร $H_2O + HCl \rightarrow (H_3O^+) + Cl^-$ ทำให้เกิดสารละลายที่เป็นกรด ได้แก่ กรดกำมะถัน($H_2SO_4$)น้ำส้มสายชู ($CH_3COOH$)

เบส(Base) หมายถึง สสารที่ปล่อยประจุไฮดรอกไซด์ ($OH^-$) ให้กัสารละลาย ตัวอย่างเช่น เมื่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แตกตัว จะให้ประจุไฮดรอกไซด์ตามสูตร $NaCL \rightarrow Na^+ + OH^-$ เมื่อโลหะไฮดรอกไซด์ละลายน้ำจะปล่อยประจุไฮดรอกไซด์ออกมาเรียกว่า "ด่าง" (Alkali) สสารที่เป็นเบส ได้แก่ ปูนซีเมนต์ (CaO) และ แอมโมเนีย ($NH_3$)

*ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ กรด และ ด่าง*

| *กรด* | *เบส* |
|---|---|
| *รสเปรี้ยว* | *รสขม* |
| *เปลี่ยนกระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน เป็นสีแดง* | *เปลี่ยนกระดาษแดงสีน้ำเงิน เป็นสีน้ำเงิน* |
| *ให้โปรตอนขณะที่ทำปฏิกิริยา* | *รับโปรตอนขณะที่ทำปฏิกิริยา* |
| *ทำปฏิกิริยากับโลหะ เกิดแก๊ส ไฮโดรเจน* | *ทำให้เกิดไฮดรอกไซด์ และประจุของโลหะ ซึ่งไม่ละลายน้ำ* |

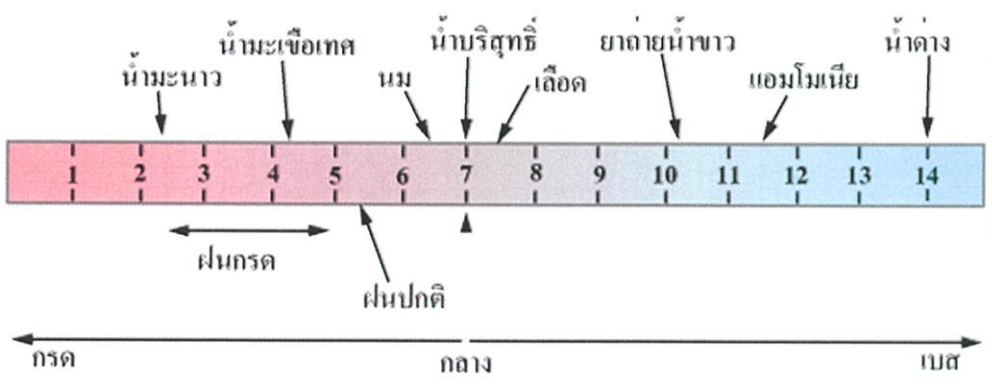
รูปที่ 2.21 แสดงตารางคุณสมบัติของ กรด และ ด่าง

ในการวัดความเป็น กรด – เบส ในสารละลาย เราใช้คำว่า pH เป็นตัวบ่งชี้ ตัว p ย่อมาจาคำว่า power ซึ่งมีความหมายในเชิงยกกำลัง ส่วน H หมายถึง ความเข้มของประจุไฮโดรเจน pH ซึ่งมีค่าเป็นตัวเลข 0 – 14 สารประกอบที่มีค่า pH 5 มีประจุไฮโดรเจนมากกว่าสารประกอบที่มีค่า pH 6 ถึง 10 เท่า

น้ำบริสุทธิ์มีค่าเป็นกลางอยู่ที่ pH 7 หมายถึง น้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25°C มีประจุไฮโดรเจน และประจุไฮดรอกไซด์ อยู่จำนวนเท่ากันคือ $1 \times 10^{-7}$ โมล
ค่า pH ต่ำ แสดงว่า สารประกอบมีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำมะนาวมี pH 2.3
ค่า pH สูง แสดงว่า สารประกอบมีความเป็นเบสสูง เช่น น้ำยาทำความสะอาดพื้นมี pH 13

สิ่งมีชีวิตในน้ำส่วนมากอาศัยอยู่ในน้ำที่มีค่า pH 6.5 – 9 โดยปกติน้ำฝนตามธรรมชาติมีความเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากการละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แต่ทว่าในเขตอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยแก๊สเสียออกมา จะทำให้เกิดสภาวะฝนกรด น้ำฝนที่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำทำให้ค่า pH ต่ำลง

เมื่อ pH ต่ำกว่า 5.5 ปลาจะตายหมด เมื่อ pH ต่ำกว่า 4 สิ่งมีชีวิตในน้ำจะไม่สามารถทนทานได้เลย การศึกษาความเป็นกรด – เบสของน้ำ จึงมีความสำคัญมากต่อการประมงและการเกษตร

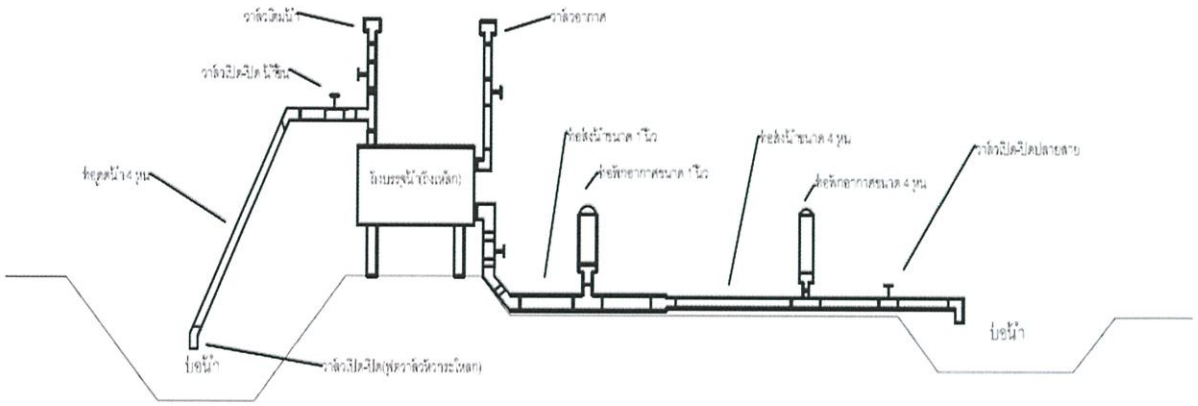



รูปที่ 2.22 แสดงค่า pH ของสารประกอบชนิดต่างๆ

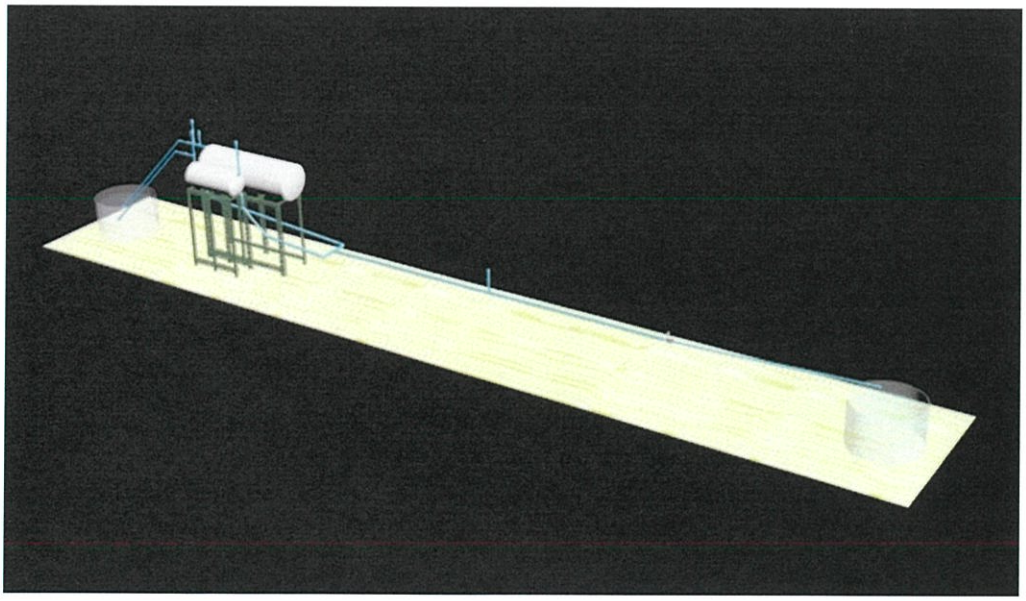
# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

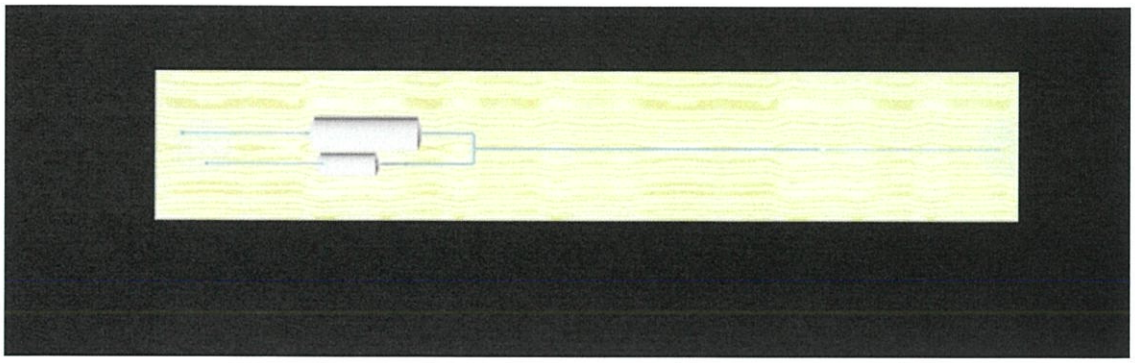
## 3.1 การออกแบบและวางแผนการจัดอุปกรณ์



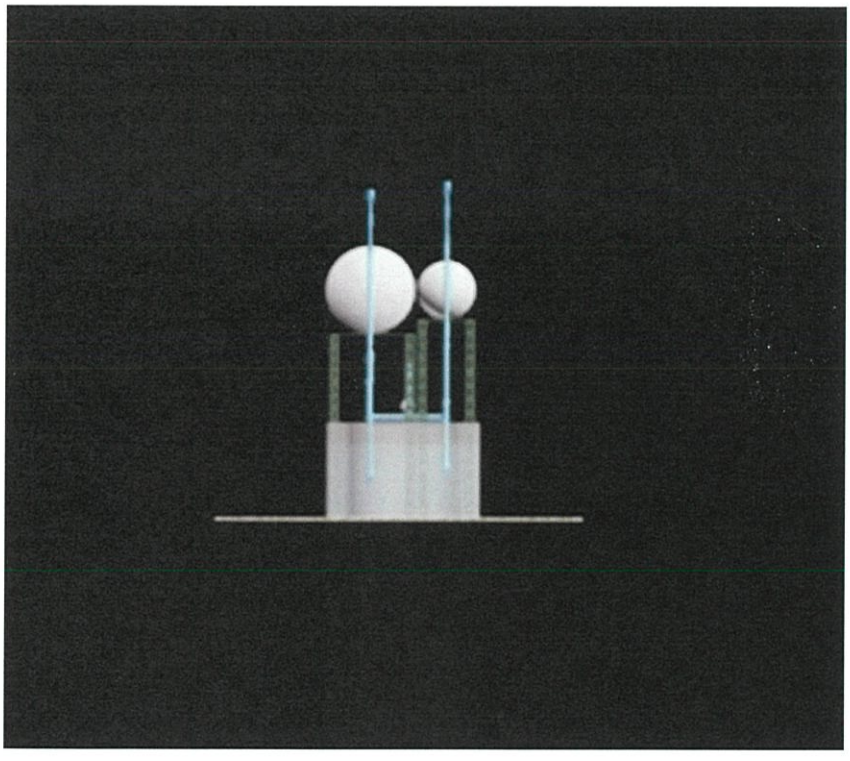
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบระบบกาลักน้ำ



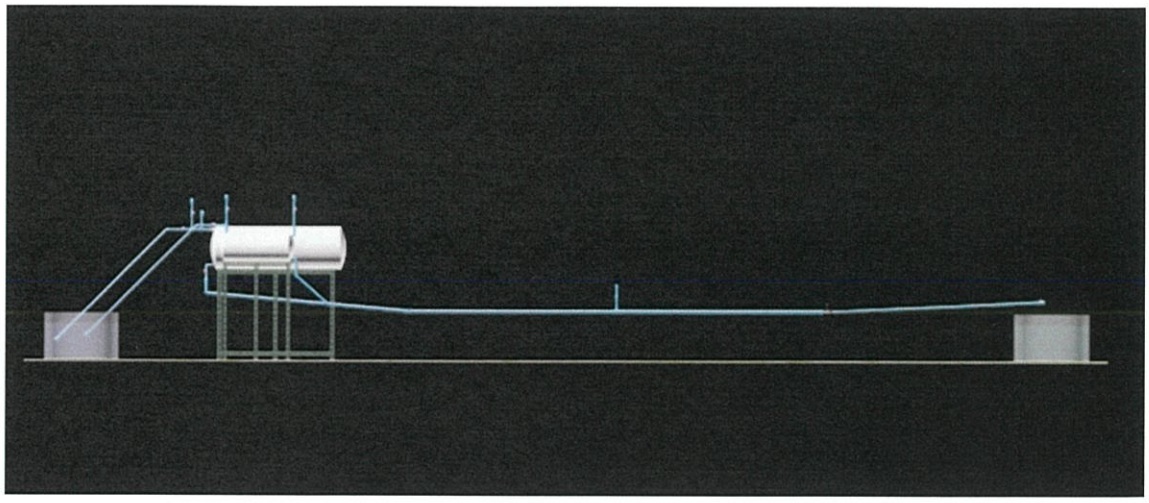
รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบกาลักน้ำ



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบกาลักน้ำ ด้านบน

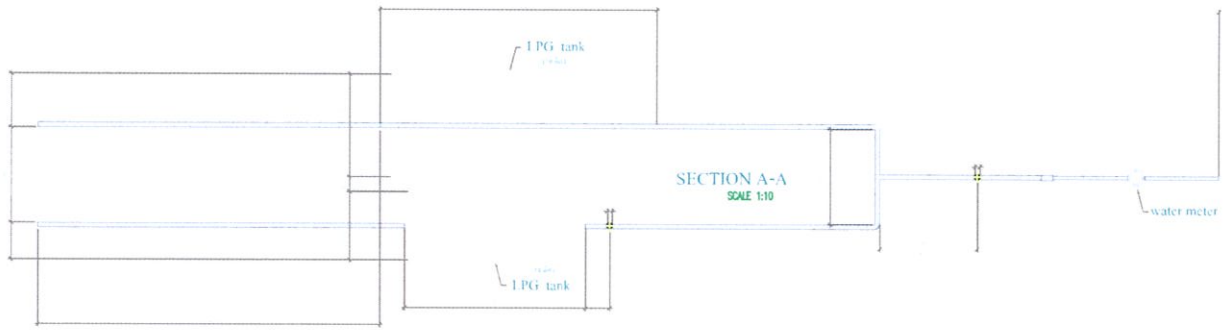


รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบด้านกาลักน้ำ ด้านข้าง



รูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบ 3D ของระบบด้านกาลักน้ำ ด้านหน้า

รูปที่ 3.6 แสดงระบบกาลักน้ำที่สร้างได้จริง




PROJECT
The study of siphon for energy saving Farm

OWNER
Dr. Prathan Buranasiri

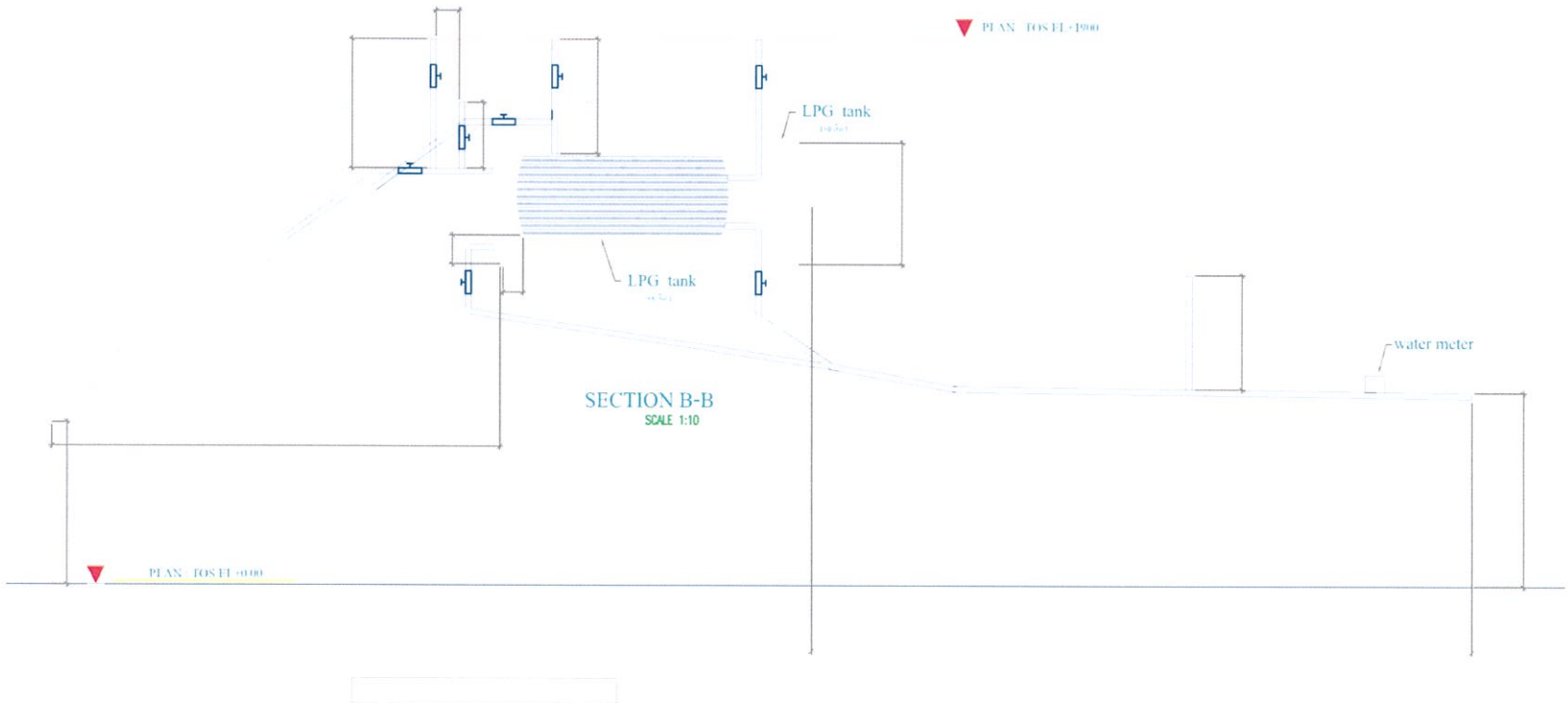
CLIENT
MR.Theerawit Deeorn ID.53050643

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

TITLE
FRAMING PLAN 01

DATE 10/3/2557
DRAWN PP CHECKED Acharn APPROVED -
SCALE 1 : 10 DRAWING NO. B-5 SHEET NO. 1 0

REVISION LIST

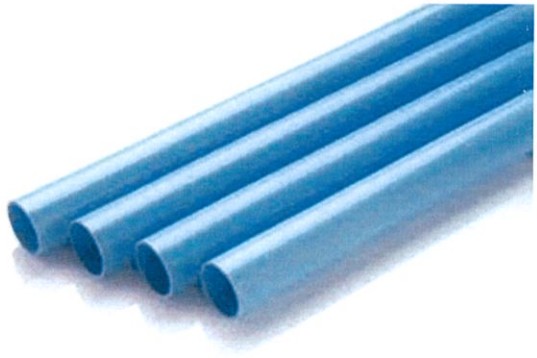



SECTION B-B
SCALE 1:10

PROJECT: The study of siphon for energy saving Farm
OWNER: Dr. Prathan Buranasiri
CLIENT: MR.Theerawat Diesorn ID:53050943
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
TITLE: FRAMING PLAN 01
DATE: 13/2557
DRAWN: PP CHECKED: Advisor APPROVED: -
SCALE: 1 : 10 DRAWING NO.: A-A SHEET: 1 REV: 0
REVISION LIST

## 3.2 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ถังบรรจุน้ำ 58 ลิตร +ถังบรรจุน้ำ 150 ลิตร



3.2.2 ท่อ PVC ดูดน้ำ 4 หุน

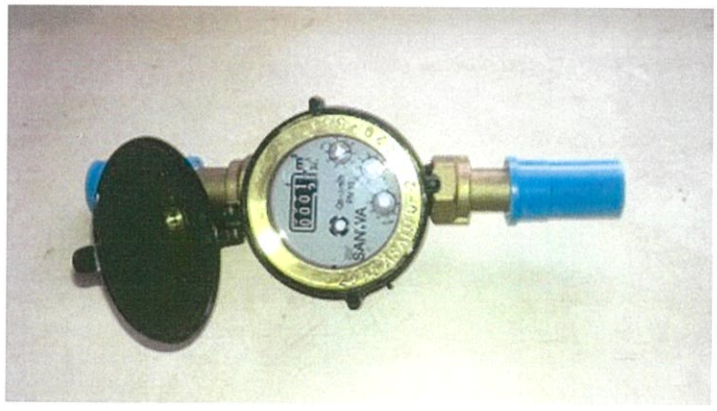
3.2.3 ท่อ PVC ส่งน้ำ 1 นิ้ว และ 4 หุน

3.2.4 ท่อพักอากาศระหว่างทาง

3.2.5 วาล์วเปิดปิดที่ วาล์วเติมน้ำ วาล์วลม และวาล์วปลายสาย

3.2.6 ฟุตวาล์วหัวกระโหลก หรือเช็ควาล์ว

3.2.7. ข้องอ ท่อเหล็ก และ ฐานวาง




3.2.8 มิเตอร์น้ำ

3.2.9 อุปกรณ์อื่นๆ

## 3.3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 วางแผนการทำงานและระยะเวลาในการทดลอง

3.3.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานพื้นฐานของระบบกาลักน้ำและผลการทดลองของผู้ที่ได้ศึกษามาก่อนเพื่อช่วยในการวางแผน

3.3.3 ทำการออกแบบโมเดลชุดการทดลองโดยยึดหลักการพื้นฐานของระบบกาลักน้ำเพื่อพัฒนาและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

3.3.4 ทำการจัดอุปกรณ์ของระบบกาลักน้ำและการเตรียมถังเพื่อบรรจุน้ำและสุญญากาศ

3.3.4.1 นำถังเหล็กขนาด 58 ลิตรและถังเหล็กขนาด 150 ลิตรมาล้างทำความสะอาด ควรเลือกใช้ถังที่ไม่ได้ใช้บรรจุแก๊สอยู่หรือสารไวไฟมาก่อน เพราะจะเกิดปัญหาระเบิดขึ้น มาขณะที่ทำการเชื่อมข้อต่อได้ สาเหตุที่ไม่ใช้ถังพลาสติกเพราะมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ

3.3.4.2 เจาะถังสำหรับต่อวาล์วเติมน้ำเพื่อเชื่อมข้อต่อ

3.3.4.3 เชื่อมข้อต่อเหล็กเข้ากับขอบด้านก้นถัง(วาล์วเติมน้ำ) โดยข้อต่อจะต้องต่อท่อเหล็กยาวอย่างน้อยประมาณ 15 cm ให้ลึกลงไปภายในถัง

3.3.4.4 วางถังบนฐานและต่อท่อดูดและวาล์วเติมน้ำ โดยที่ปลายของท่อดูดจะต่อฟุตวาล์วที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับลงไปในบ่อ ปลายท่อดูดควรจะจมอยู่ในน้ำลึกประมาณ 15 cm โดยผูกติดกับแกลลอนไว้ที่ปลายท่อดูด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อดูดน้ำควรมีขนาด 4 หุนยาวประมาณ 2 เมตรจะเหมาะกับขนาดถัง และควรปรับแต่งสปริงของฟุตวาล์วลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ฟุตวาล์วแบบเหล็กจะมีสปริงอ่อนกว่าฟุตวาล์วแบบพลาสติก

3.3.4.5 ต่อวาล์วลม ที่รูระบายอากาศด้านบนของถังขนาดท่อ 4 หุน

3.3.4.6 ต่อท่อส่งน้ำขนาด 1 นิ้วด้านบนของถัง

3.3.4.7 เดินระบบท่อส่งน้ำไปยังแปลงเพาะปลูก โดยท่อส่งน้ำในช่วงแรกจะมีขนาดประมาณ 1นิ้ว อย่างน้อย 8 เมตร และทุก 20 เมตรจะต้องต่อท่อพักลมไว้ด้วย

3.3.4.8 เมื่อระยะไกลมากขึ้นควรลดขนาดท่อส่งให้เหลือ 4 หุน เพื่อรีดน้ำให้ไหลแรงขึ้น หรือเล็กลงเรื่อยๆ เพื่อให้น้ำเต็มท่อ

3.3.4.9 ต่อวาล์วเปิดปิดที่ปลายสายใช้งาน

3.3.5 ขั้นตอนการใช้งานและการทดลองโมเดลระบบกาลักน้ำ

3.3.5.1 เปิดวาล์วลม และวาล์วเติมน้ำ ปิดวาล์วปลายสาย โดยเติมน้ำให้เต็มถัง ให้สังเกตด้วยว่าถ้าถังไม่รั่วเมื่อเติมน้ำเต็มถังแล้ว น้ำจะไม่ลดลงจะนิ่งอยู่อย่างนั้น

แต่ถ้าถังรั่วหรือส่วนใดส่วนหนึ่งรั่ว น้ำจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จะต้องแก้ปัญหารอยรั่วนั้นให้เรียบร้อยก่อน

3.3.5.2 ปิดวาล์วลม และวาล์วเติมน้ำ แล้วเปิดวาล์วปลายสายค่อยๆ ให้น้ำไหลออกไม่ควรเปิดแรงมาก น้ำจะไหลออกมาระยะหนึ่งแล้วจะหยุดไหล หลังจากนั้นปิดวาล์วที่ปลายสาย แล้วเติมอากาศเข้าสู่ระบบโดยการการเอามือปิดที่ปลายวาล์วเติมน้ำแล้วเปิดวาล์วเติมน้ำจะทำให้น้ำถูกดูดเข้าสู่ถัง

3.3.6 บันทึกผลการทดลอง

3.3.7 สรุปผลการทำงานและการทดลองของอุปกรณ์

3.3.8 เสนอแนะวิธีการทดลองและการปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาและวิธีการพัฒนาอุปกรณ์

# บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

## 4.1 แสดงผลการทดลอง

อัตราการไหล (Volume flowrate,Q) คือปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก (A)ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง (V) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q = AV$$

เมื่อ $Q$ คือ อัตราการไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ตั้งฉากกับการไหลของน้ำ

V คือ ความเร็วของของไหล

หน่วยของอัตราการไหลในระบบ SI คือ $m^3/s$ และในระบบอังกฤษ คือ $ft^3/s$

ความเร็วของของไหล คือ ของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความเร็วของของไหล} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำเฉลี่ย}\left(\frac{\text{ลบ.ม}}{\text{วินาที}}\right)}{\text{พื้นที่หน้าตัดท่อ(ตร.ม)}}$$

หน่วยของความเร็วการไหลของน้ำในระบบ SI คือ $m/s$

จากการทดลองสามารถบันทึกผลการทดลองออกมาในรูปของตารางการทดลองเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เขียนกราฟความสัมพันธ์ต่างๆเพื่อประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของการทดลองเพื่อสรุปผลการทดลองต่อไป

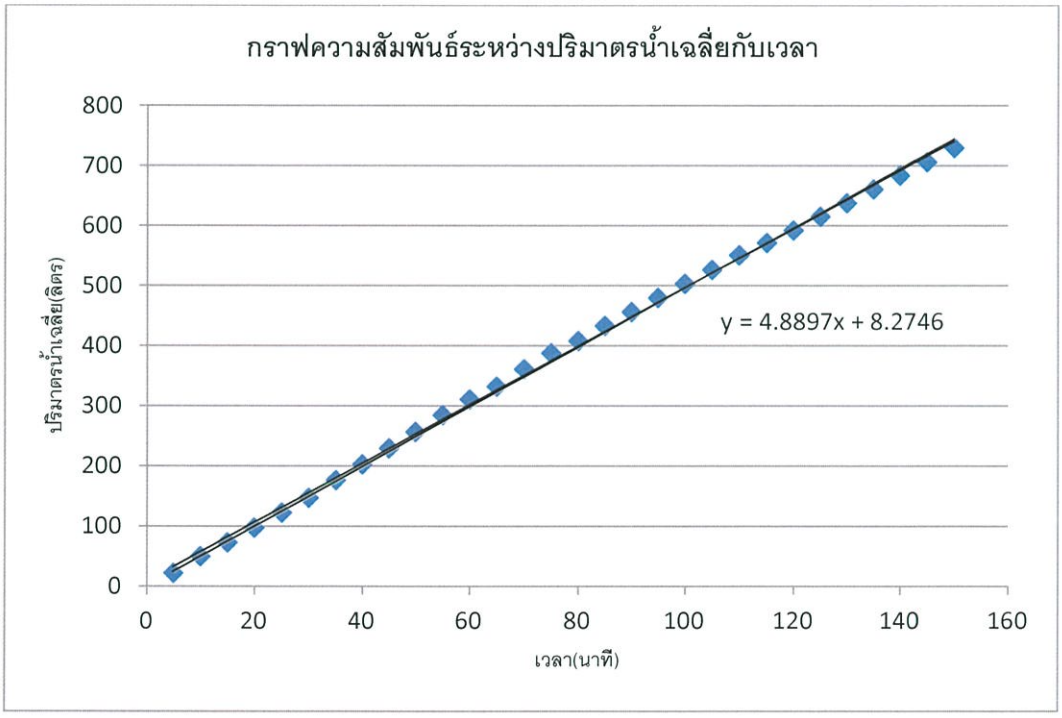
**ตารางผลการทดลอง**

| เวลา T (s) | ปริมาตรน้ำขาออก (ลิตร) | | | ปริมาตรน้ำเฉลี่ย (ลิตร) | ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ย (m/s) | อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย $(m^3/s)*10^{-5}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | | | |
| 300 | 22 | 23 | 22 | 22.33 | 0.1471 | 7.4432 |
| 600 | 50 | 50 | 51 | 50.33 | 0.1657 | 8.3844 |
| 900 | 73 | 74 | 73 | 73.33 | 0.1544 | 7.8126 |
| 1200 | 97 | 98 | 98 | 97.66 | 0.1608 | 8.1364 |
| 1500 | 122 | 123 | 123 | 122.66 | 0.1616 | 8.1769 |
| 1800 | 148 | 148 | 147 | 147.66 | 0.1621 | 8.2022 |
| 2100 | 176 | 178 | 177 | 177.00 | 0.1665 | 8.4249 |
| 2400 | 202 | 204 | 203 | 203.00 | 0.1671 | 8.4552 |
| 2700 | 229 | 230 | 230 | 229.66 | 0.1681 | 8.5058 |
| 3000 | 257 | 257 | 258 | 257.33 | 0.1695 | 8.5767 |
| 3300 | 284 | 285 | 285 | 284.66 | 0.1704 | 8.6222 |
| 3600 | 311 | 310 | 312 | 311.00 | 0.1707 | 8.6374 |
| 3900 | 332 | 333 | 332 | 332.33 | 0.1684 | 8.5210 |
| 4200 | 361 | 362 | 361 | 361.33 | 0.1700 | 8.6020 |
| 4500 | 388 | 389 | 387 | 388.00 | 0.1703 | 8.6171 |
| 4800 | 409 | 409 | 408 | 408.66 | 0.1682 | 8.5109 |
| 5100 | 433 | 434 | 434 | 433.66 | 0.1680 | 8.5008 |
| 5400 | 456 | 457 | 456 | 456.33 | 0.1670 | 8.4502 |
| 5700 | 480 | 480 | 481 | 480.33 | 0.1665 | 8.4249 |
| 6000 | 503 | 504 | 504 | 503.66 | 0.1658 | 8.3894 |
| 6300 | 526 | 527 | 527 | 526.66 | 0.1652 | 8.3591 |
| 6600 | 550 | 552 | 551 | 551.00 | 0.1649 | 8.3439 |
| 6900 | 571 | 572 | 572 | 571.66 | 0.1637 | 8.2832 |
| 7200 | 593 | 593 | 592 | 592.66 | 0.1626 | 8.2275 |
| 7500 | 615 | 616 | 616 | 615.66 | 0.1622 | 8.2073 |
| 7800 | 637 | 638 | 638 | 637.66 | 0.1615 | 8.1719 |
| 8100 | 660 | 662 | 661 | 661.00 | 0.1612 | 8.1567 |
| 8400 | 683 | 684 | 684 | 683.66 | 0.1608 | 8.1364 |
| 8700 | 706 | 706 | 707 | 706.33 | 0.1604 | 8.1162 |
| 9000 | 729 | 730 | 730 | 729.66 | 0.1602 | 8.1061 |

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำจะคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 22 – 28 ลิตรต่อ 5 นาทีและมีแนวโน้มที่จะคงที่ของการไหลของน้ำ ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 0.14 – 0.17 เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่และการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 7.5 – 9.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่

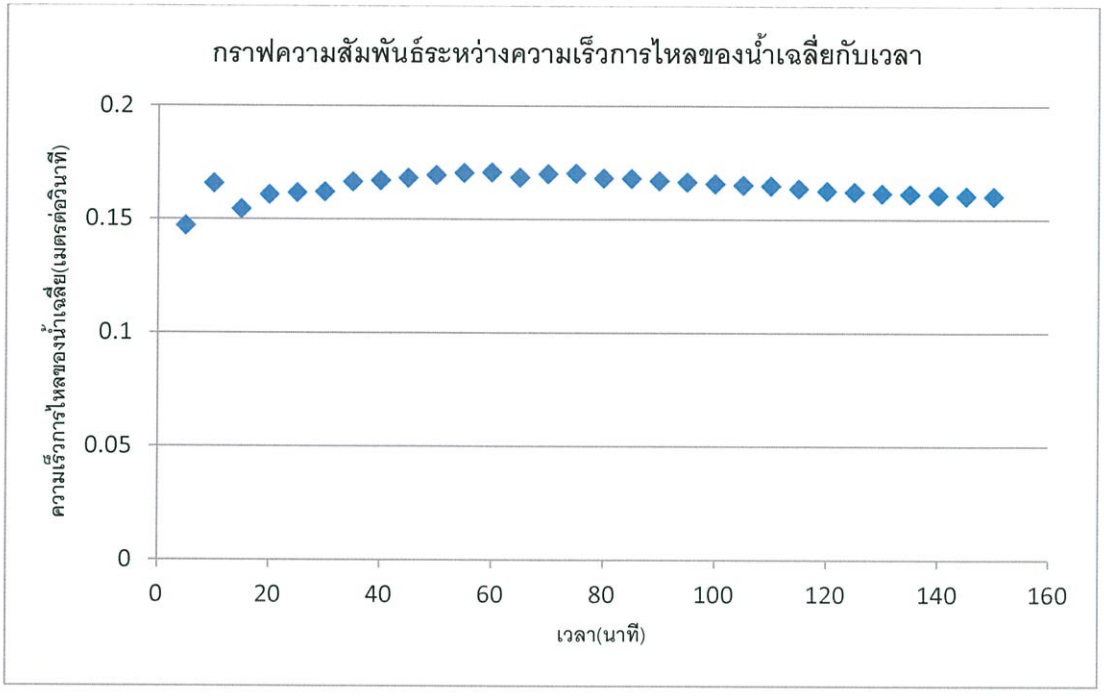
## 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์

### 4.2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำเฉลี่ยกับเวลา



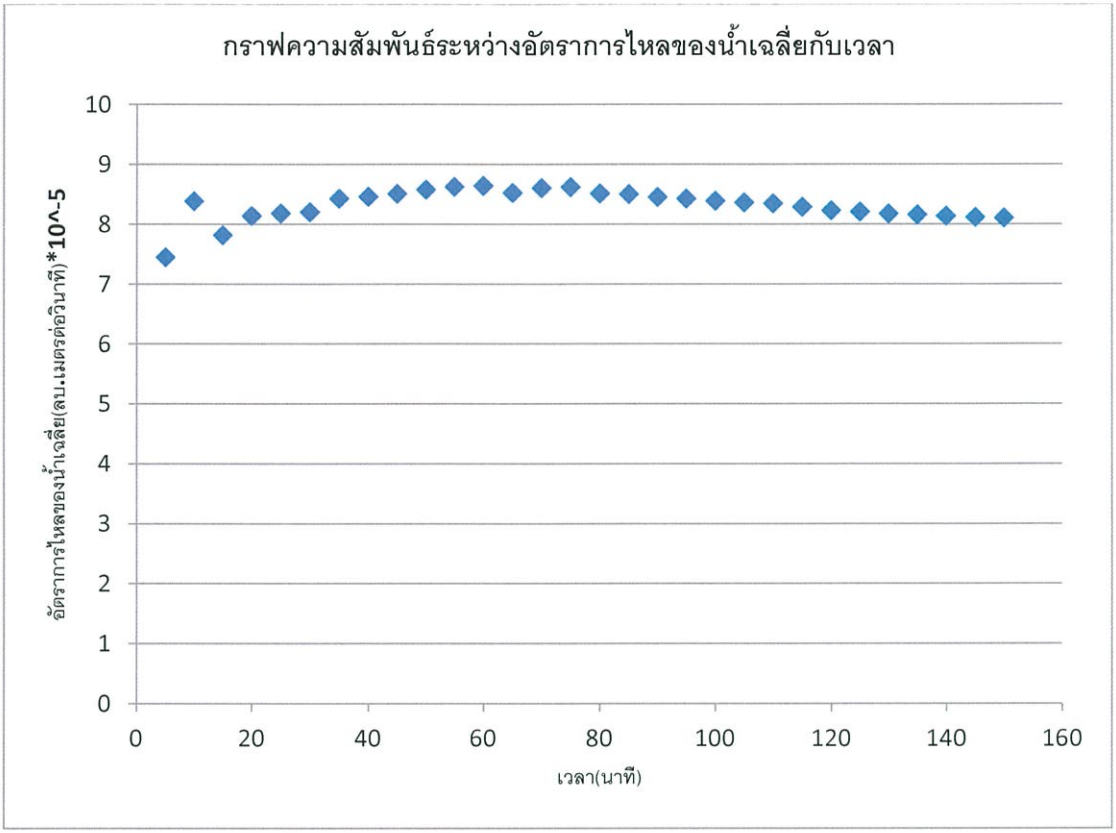

จากกราฟเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำจะคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 22 – 28 ลิตรต่อ 5 นาที ทำให้ทราบว่าระบบทำงานมีประสิทธิภาพส่งผลให้ค่าผลการทดลองออกมาเชื่อถือได้

### 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยกับเวลา




จากกราฟเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 0.14 – 0.17 เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่

### 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยกับเวลา




จากกราฟเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 7.5 – 9.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่

## 4.3 แสดงการทดลองโดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics

จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics โปรแกรมสำหรับวิศวกรที่มีไว้เพื่อทำงานทางด้านการคำนวณและจำลองการออกแบบงานทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยใช้วิธี Finite element method ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ปัญหาการไหลแบบหนืดที่ไม่อัดตัว (incompressible flow) คือการไหลที่มีความหนืด (viscosity, $\mu$) และของไหลมีปริมาตรคงที่เมื่อความดันเปลี่ยนไป การไหลของของไหลที่ศึกษามีความเร็วต่ำ อธิบายพฤติกรรมการไหลนี้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) นาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equations) วิธีการหาผลเฉลยของสมการมีอยู่หลายวิธีด้วยกันซึ่งวิธีหนึ่งที่นิยมใช้แก้ปัญหาคือ ระเบียบวิธีสมาชิกจำกัด (finite element methods) มีงานวิจัยที่นำวิธีนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหา เช่น การใช้ในทางการแพทย์เกี่ยวกับการไหลของเลือดในเส้นเลือด (Sheu al, 1999) การวิเคราะห์เนื้อเยื่อโดยใช้ biphasic finite element method (G. U. Unnikrishnan, 2009) การใช้วิธีสมาชิกจำกัด และสมาชิกขอบ(boundary element methods) ในการแก้ปัญหาการไหล (Jaroslav Mackerle. 1999) การปรับขนาดของสมาชิก เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ความถูกต้องยิ่งขึ้น (พัชรี, 2547) เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาเกี่ยวกับการไหลยังสามารถใช้ระเบียบวิธีสมาชิกผลต่าง(finite difference methods) แก้ปัญหาการไหลได้เช่นกัน (Wen-Zhong Shen. 1996)

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยการใช้โปรแกรมสมาชิกจำกัดได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้ผู้วิเคราะห์ทราบถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยละเอียดและยังก่อให้เกิดแนวคิดในการแก้ไขปรับปรุงรูปร่างลักษณะของต้นแบบอันจะนำไปสู่รูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไป (ปราโมทย์, 2548)

การแก้ปัญหาด้านกลศาสตร์ของไหลนั้น ขึ้นอยู่กับ 3 องค์ประกอบได้แก่ 1. ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) ซึ่งประกอบด้วย

- สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass)

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0$$

- สมการอนุรักษ์โมเมนตัม(conservation of momentums) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\rho}{\mu}\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y}=\frac{\rho}{\mu}\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)$$

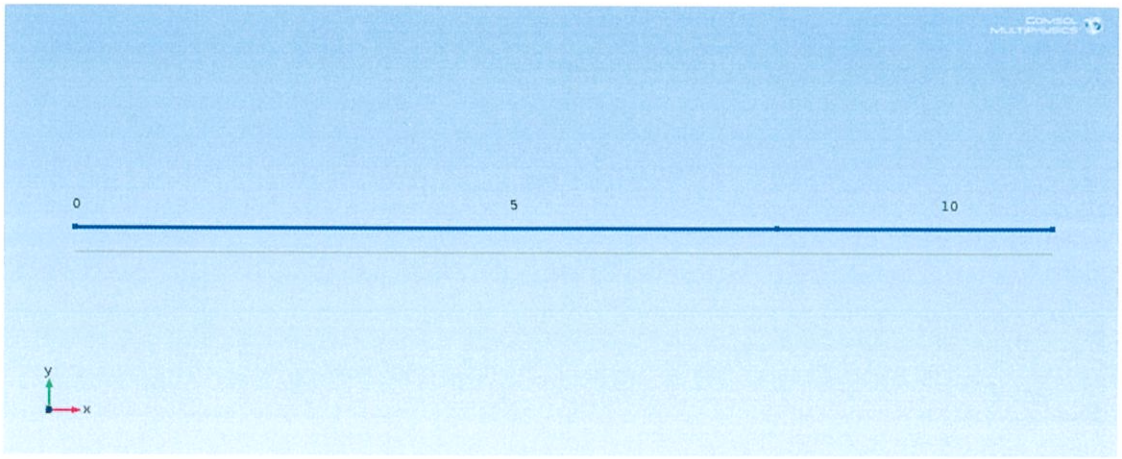
- สมการอนุรักษ์พลังงาน (conservation of energy) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาพลังงานในระบบ จึงไม่ใช้สมการอนุรักษ์พลังงาน

2. เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ในกระบวนการแก้ปัญหาระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นเงื่อนไขขอบเขตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไป

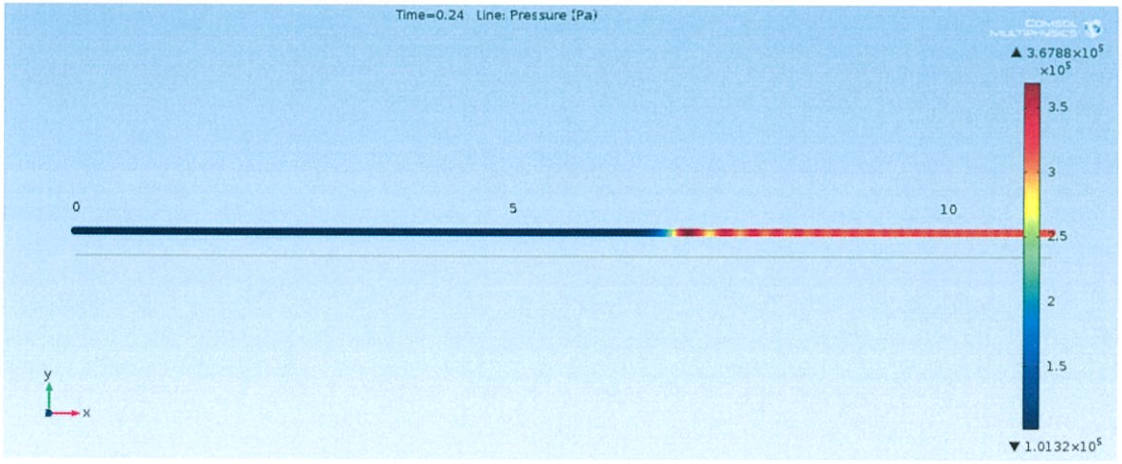
3. ลักษณะรูปร่าง (geometry) ของปัญหา รูปแบบของปัญหาด้านกลศาสตร์ของไหลโดยทั่วไปในงานวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ล้วนมีรูปร่างที่ซับซ้อน หากรูปร่างมีการเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การไหลที่เกิดขึ้นนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกันถึงแม้ว่าระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและเงื่อนไขขอบเขตยังเป็นเช่นเดิม หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

▾ Parameters

| Name | Expression | Value | Description |
|---|---|---|---|
| L | 8[m] | 8.0000 m | Pipe length |
| R | 12.5[mm] | 0.012500 m | Pipe inner radius |
| w | 3[mm] | 0.0030000 m | Pipe wall thickness |
| E | 70[GPa] | 7.0000E10 Pa | Pipe Youngs modulus |
| Q0 | 8*10^-5[m^3/s] | 8.0000E-5 m... | Initial flow rate |
| u0 | Q0/(R^2*pi) | 0.16297 m/s | Initial velocity |
| p0 | 1[atm] | 1.0133E5 Pa | Initial pressure |
| z0 | 11.15[m] | 11.150 m | Measurement point |
| dt | 0.2*L/N/1020[m/s] | 3.9216E-6 s | Time step according to ... |
| N | 400 | 400.00 | Number of mesh points |

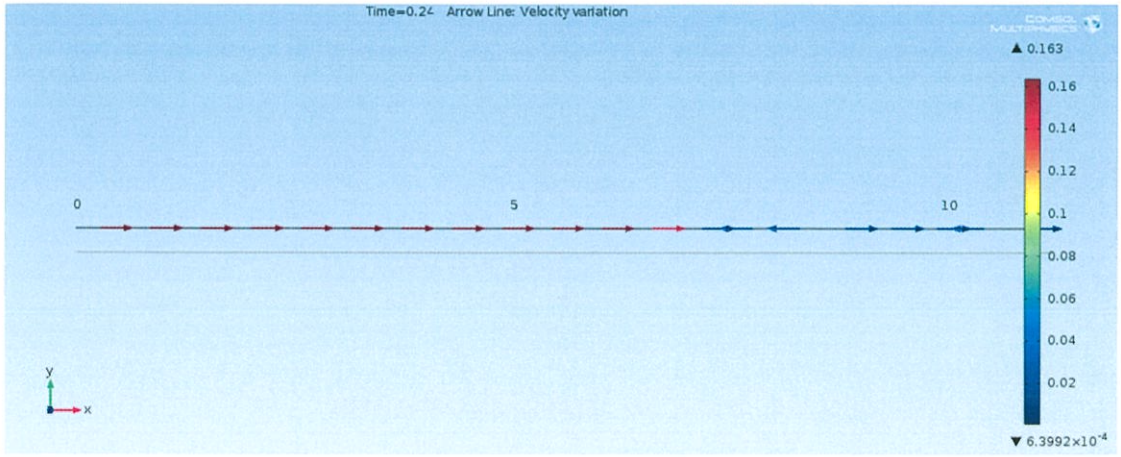



รูปที่ 4.1 แสดงการสร้างท่อขนาด ½ นิ้ว ความยาว 4 เมตร




รูปที่ 4.2 แสดงความดันในท่อที่เกิดจาก Simulation ของระบบ

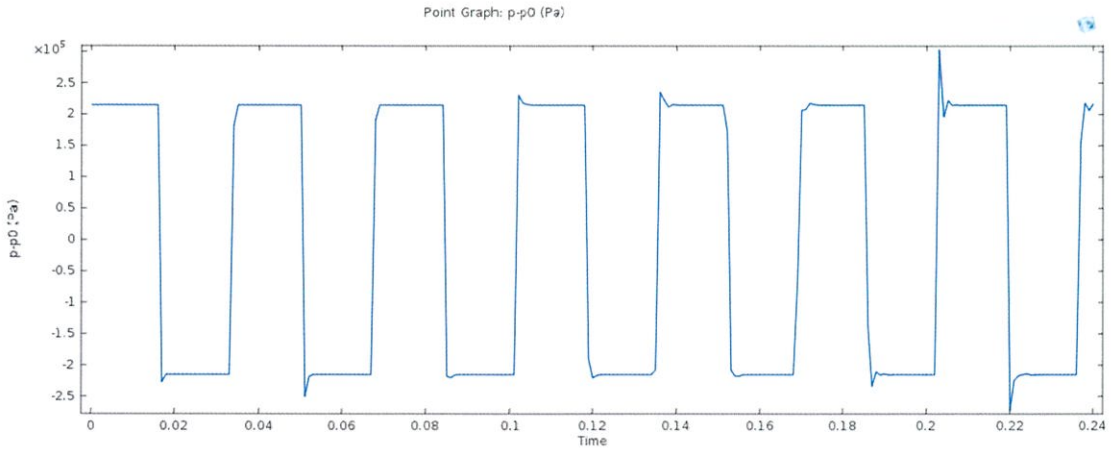
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า เมื่อน้ำไหลในท่อความดันเริ่มต้นของระบบมีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศตลอดความยาวท่อจนถึงปลายท่อขาออก ความดันเริ่มเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นมากสุดที่ปลายท่อขาออก




รูปที่ 4.3 แสดงความเร็วการไหลของน้ำในท่อที่เกิดจาก Simulation ของระบบ

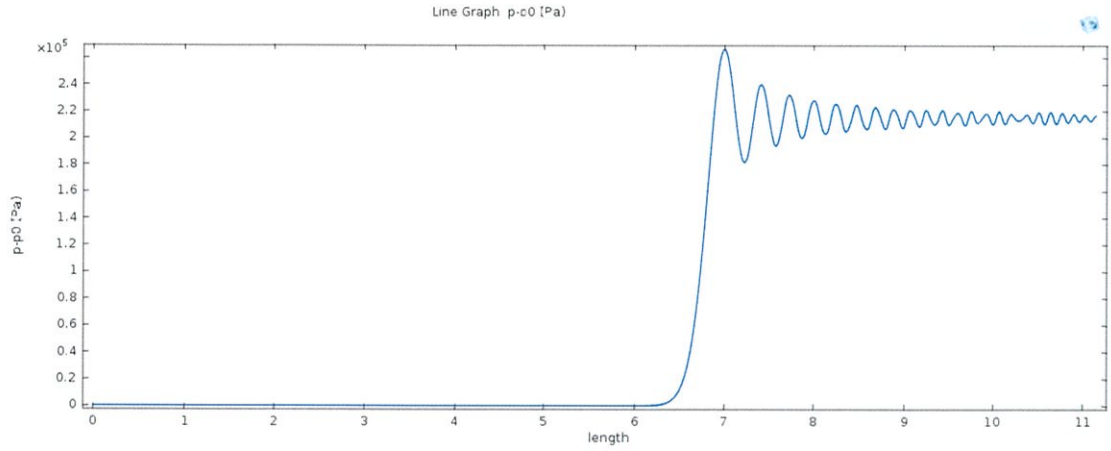
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า เป็นภาพแสดงทิศทางการไหลของน้ำ เมื่อน้ำไหลในท่อความเร็วเริ่มต้นของระบบมีค่าความเร็วเท่ากันตลอดความยาวท่อจนถึงปลายท่อขาออก ความเร็วเริ่มเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นมากสุดที่ปลายท่อขาออก

### 4.2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับเวลา




จากกราฟเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าเกิดความเปลี่ยนแปลงของความดันซึ่งเกิดจากการดูดน้ำของระบบเป็นจังหวะทำให้ความดันที่เห็นบนกราฟมากกว่าหรือเท่ากับความดันบรรยากาศและน้อยกว่าความดันบรรยากาศเนื่องจากระบบกาลักน้ำทำในรูปแบบสุญญากาศ

### 4.2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความดันกับความยาวท่อ




จากกราฟเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าเกิดความเปลี่ยนแปลงความดันกับความยาวท่อ เมื่อเริ่มต้นระบบทำงานน้ำไหลตามท่อความดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดๆหนึ่งความดันเริ่มจะคงที่และจะสวิงเข้าหาค่าคงที่เรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไประบบจะเข้าสู่การสมบูรณ์ของระบบ

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบกาลักน้ำภูเขาโดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำ ความดันของอากาศ ความดันของไหล และความโน้มถ่วงของโลก โดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า มีหลักการทำงานพื้นฐานเบื้องต้นเมื่อสภาวะน้ำเต็มถังจะไม่มีอากาศอยู่ภายในถังหรือเรียกว่าสุญญากาศ เมื่อปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำ น้ำจะไหลออกจากถัง และเพื่อรักษาสมดุลของความดันภายในถัง ถังจะทำการดูดน้ำจากอีกท่อหนึ่งเข้ามาเติมน้ำในถัง ซึ่งมีขนาดท่อไม่เท่ากับขาออก ผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพอใจ ทำให้ทราบว่าน้ำถูกดูดขึ้นไปในถังซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ แต่ว่าระดับน้ำที่ดูดต้องสูงกว่าระดับน้ำที่ปล่อยหรือเท่ากับระดับน้ำที่ปล่อยจะทำให้ระบบทำงานแบบต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ซึ่งปลายท่อดูดอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำที่ปล่อยระบบสามารถทำงานได้ ความดันของอากาศ ความดันของของไหล และความโน้มถ่วงของโลก มีผลต่อการทดลองซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทดลอง ผู้ทดลองได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยเหล่านี้เป็นอย่างยิ่งซึ่งส่งผลทำให้ค่าการทดลองเป็นที่น่าเชื่อถือได้ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นปริมาตรน้ำจะคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 22 – 28 ลิตรต่อ 5 นาที ทำให้ทราบว่าระบบทำงานมีประสิทธิภาพส่งผลให้ค่าผลการทดลองออกมาเชื่อถือได้ ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 0.14 – 0.17 เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ที่ประมาณ 7.5 – 9.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเริ่มต้นจะเห็นได้ว่าระบบมีการจัดการตัวเองของระบบเมื่อเวลาเริ่มต้นที่ 5 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสมดุลของระบบทำให้อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยมีอัตราคงที่ ซึ่งบรรลุตามจุดประสงค์เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานต่างๆของเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติ (กาลักน้ำภูเขา) เพื่อจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค โดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำและสุดท้ายเพื่อประหยัดพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ศึกษาหลักการพื้นฐาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานต่างๆของเครื่องสูบน้ำพลังธรรมชาติ (กาลักน้ำภูเขา) โดยการนำน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงซึ่งใช้หลักการกาลักน้ำ

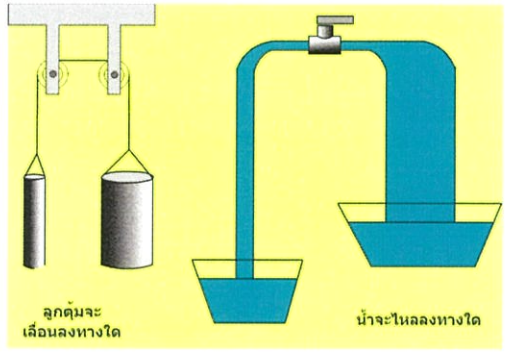
ผลการทดลองที่ออกมานั้นเป็นที่น่าเชื่อถือได้ ซึ่งต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆของระบบ เช่น ความดันของอากาศหรือความดันบรรยากาศเป็น ความกดดันอยู่จุดใดหนึ่งของชั้นบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปความกดอากาศจะประมาณเท่ากับความกดดันที่เกิดขึ้นย้อนน้ำหนักของอากาศอยู่บนจุดนั้น ๆ ซึ่งหมายความว่า จุดที่มีความกดอากาศต่ำจะมีอากาศที่มีมวลสารต่ำกว่าจะอยู่ข้างบนมัน ด้วยเหตุผลแบบเดียวกัน ความกดอากาศจะต่ำลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ความกดอากาศที่ความสูงระดับน้ำทะเล จะเท่ากับ 1 atm (หนึ่งหน่วยบรรยากาศ) หรือ 101.325 kPa (กิโลปาสคาล) หรือ 760 mmHg (มิลลิเมตรปรอท)ซึ่งเมื่อระบบมีความดันของอากาศน้อยกดลงผิวน้ำขาเข้าปลายท่อส่งผลให้ ความดันของของไหล เมื่อของไหล (ในที่นี้คือน้ำ) อยู่นิ่ง มันจะออกแรงกระทำในแนวตั้งฉาก กับพื้นผิวที่มันสัมผัสอยู่ ในขณะที่ของไหลอยู่นิ่งกับที่โมเลกุลที่ประกอบขึ้นเป็นของไหลนั้น กำลังเคลื่อนที่อยู่ แรงที่ของไหลกระทำนี้ เกิดจากการที่โมเลกุล เคลื่อนที่ชนกันและชนกับสิ่งที่แวดล้อมที่พวกมันอยู่ และความโน้มถ่วงของโลก เมื่อระบบมีแรงดันในการไหลของน้ำมากจะทำให้น้ำไหลเข้าสู่ระบบเร็วขึ้นและไหลไปตามท่อปลายสายเร็วขึ้นส่งผลให้ได้น้ำที่ปลายสายมีปริมาตรเพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพกาลักน้ำสูงขึ้น ยกตัวอย่างหอเก็บน้ำเป็นการออกแบบเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่สำคัญต่อชีวิตซึ่งมีความสำคัญในการเพิ่มแรงดันเข้าสู่ระบบ มีผลต่อการทดลองซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทดลอง ซึ่งต้องมีการพัฒนาระบบให้รองรับปัจจัยเหล่านี้ที่จะส่งผลทำให้ค่าการทดลองเป็นที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นรวมถึงเมื่อต้องการให้น้ำปลายสายมีแรงดันเพิ่มขึ้นต้องเพิ่มขนาดของถังให้ใหญ่ขึ้นเพราะเมื่อถังมีขนาดใหญ่แรงดันน้ำที่ดูดเข้าถังจะมีค่าเพิ่มขึ้น สุญญากาศที่อยู่ในถังจะมีมากขึ้นทำให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกันเมื่อปล่อยน้ำที่ปลายสายจะมีแรงดันของน้ำมาขึ้นทำให้น้ำไหลไปสู่ปลายสายเร็วขึ้นทำให้ได้ปริมาตรน้ำที่ปลายสายเพิ่มขึ้นรวมถึงการออกแบบขนาดท่อขาเข้ากับขาออกของน้ำในถังต้องมีความสัมพันธ์กันท่อขาเข้าของน้ำไปสู่ถังต้องมีขนาดเล็กกว่าท่อขาออกน้ำไปสู่ปลายสายเพราะว่าเมื่อท่อขาเข้ามีขนาดเล็กกว่าจะทำให้เกิดแรงดูดของสุญญากาศในถังทำให้น้ำไหลเข้าเร็วขึ้นในขณะที่ท่อขาออกของน้ำมีขนาดใหญ่กว่าขาเข้าจะมีความเร็วในการไหลของน้ำต่ำกว่าส่งผลให้เกิดสภาวะเข้าสมดุลของน้ำไหลเข้ากับน้ำไหลออกและความสูงของถังในการติดตั้งต้องสูงขึ้นด้วยเพราะว่าจากการทดลองเมื่อมีความสูงเพิ่มขึ้นจะมีอัตราการดูดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการคำนวณจากสูตรและการปฏิบัติจริงในการทดลองและต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

หลักการทำงานของแอแวร์

เมื่อน้ำไหลจะมีอากาศขึ้นมาด้วยซึ่งช่องว่างที่อยู่ในท่อ PVC ที่ตั้งขึ้นสูง ๆ จะมีอากาศแวะเข้าไปในท่อดังกล่าวและเมื่ออากาศไม่มีที่ออกก็จะเกิดแรงดันเพิ่มมากขึ้นก็จะไปดันน้ำที่อยู่ในท่อซึ่งอากาศก็จะไปเพิ่มแรงดันน้ำที่ไหลมากยิ่งขึ้นประมาณจึงเป็นทำให้แรงดันน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ

ก่อนที่จะออกแบบระบบอย่างสมบูรณ์ผู้ศึกษาต้องสร้างระบบย่อยขึ้นมาก่อนเพื่อทดลองศึกษาปัญหาแนวคิดต่างๆรวมถึงการประยุกต์ใช้ ซึ่งผู้ทดลองได้ทำออกมา 4 ระบบ ดังนี้

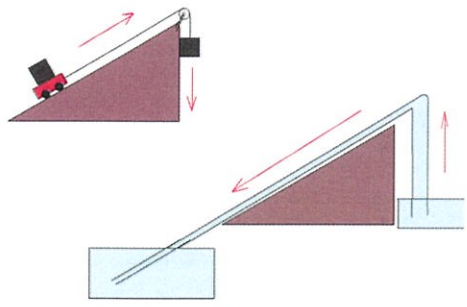
1.หลักการลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก




รูปที่ 5.1 แสดงการออกแบบระบบลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก

จากการทดลอง เมื่อปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่อย่างอิสระลูกต้มจะเคลื่อนที่ลงทางขวา เพราะทางขวามีน้ำหนักมากกว่าแต่จะใช้หลักการนี้ไปใช้กับน้ำไม่ได้น้ำทางด้านขวามีมวลมากหรือน้ำหนักมากก็จริง จากการทดลองจริง น้ำมันไม่ไหลลงทางขวาแต่จะไหลลงทางซ้าย แสดงว่าการที่น้ำจะไหลไปทางใดนั้น ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของท่อแต่ขึ้นอยู่กับระดับความสูง ซึ่งจะไหลจากด้านที่มีระดับสูงไปยังด้านที่มีระดับต่ำกว่าเสมอและจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้น้ำไหลจากที่ที่มีระดับต่ำกว่าไปยังที่ที่มีระดับสูงกว่าโดยวิธีนี้

2.หลักการเครื่องกลประเภทพื้นเอียง

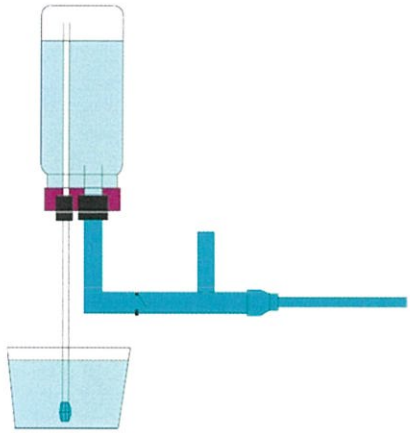


รูปที่ 5.2 แสดงการออกแบบระบบเครื่องกลประเภทพื้นเอียง

จากการทดลอง ถ้าลูกตุ้มรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีน้ำหนักเท่ากันและปล่อยให้เคลื่อนที่อย่างอิสระ(ดังรูป) ลูกตุ้มทางขวาจะสามารถดึงลูกตุ้มทางซ้ายให้เคลื่อนที่ขึ้นตามพื้นเอียงได้ แม้จะ

มีน้ำหนักเท่ากัน หรือทางขวามีน้ำหนักน้อยกว่า แต่ในกรณีของน้ำ ซึ่งไม่เป็นอย่างนั้นน้ำในท่อทางขวามีทิศทางลงตรงๆ จะไม่สามารถดึงน้ำในท่อทางซ้ายขึ้นไปตามพื้นเอียงได้ ตรงกันข้ามน้ำในท่อทางซ้ายแม้จะเอียงแต่สามารถดึงน้ำในท่อทางขวาลงมาทางซ้ายจนหมดแม้ท่อทางขวาจะมีขนาดใหญ่กว่า ก็สู้การดึงน้ำในท่อทางซ้ายไม่ได้ ดังนั้นการที่น้ำจะไหลไปทางไหนจึงไม่ขึ้นอยู่กับการเอียงมากเอียงน้อยของท่อแต่ขึ้นอยู่กับความต่างระดับของน้ำทั้งสองด้าน

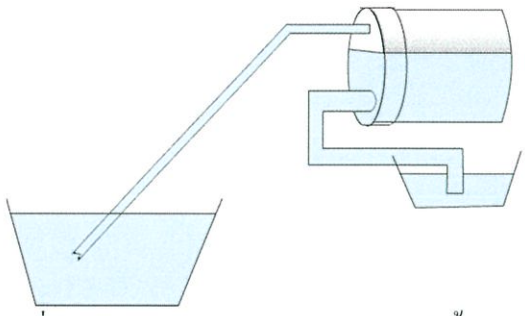
3.หลักการแท้งค์น้ำ



รูปที่ 5.3 แสดงการออกแบบระบบแท้งค์น้ำ

จากการทดลอง ท่อทางขวาใหญ่กว่าน้ำในท่อมีมวลมากกว่าเมื่อปล่อยให้น้ำไหลอย่างอิสระ
น้ำย่อมจะไหลลงมาทางขวาและจะเกิดสุญญากาศที่ก้นถังเหนือระดับน้ำ อากาศก็จะไหลย้อนเข้าไปแทนที่ แต่เราทำวาล์ว ป้องกันไว้ ดังนั้นน้ำในท่อทางซ้ายจึงถูกดูดขึ้นไปแทนที่ แต่จากการทดลองแล้วไม่เป็นไปตามนั้น ถ้าถังมีน้ำเต็ม น้ำจะไหลกลับลงไปทางซ้าย ถ้าก้นถังมีช่องว่าง มันก็จะค้างอยู่อย่างนั้นไม่ไหล ถ้าถังมีขนาดใหญ่ น้ำหนักน้ำมาก ถังก็จะบุบบี้ไม่ยอมดูดน้ำขึ้นไปตามท่อทางซ้ายเพื่อไปแทนที่สุญญากาศ (ยอมบุบ มากกว่า ยอมดูด)ถึงแม้จะใส่ฟุตวาล์ว เช็ควาล์ว แอร์แวร์ หรือบีบท่อให้มีขนาดเล็กลงและท่อจะยาวสักแค่ไหนก็ไม่สามารถดูดน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูงโดยใช้วิธีนี้ได้

4.หลักการกาลักน้ำภูเขา



รูปที่ 5.4 แสดงการออกแบบระบบกาลักน้ำภูเขา

จากการทดลอง เมื่อท่อทางซ้ายมีขนาดเล็กกว่าท่อทางขวาจุ่มลงในบ่อ น้ำถูกดูดขึ้นไปในถังแต่ว่าระดับน้ำที่ดูดต้องสูงกว่าระดับน้ำที่ปล่อยหรือเท่ากับระดับน้ำที่ปล่อยมันจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ซึ่งปลายท่อดูดจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำที่ปล่อยก็ได้ มันก็ยังทำงานได้ ถ้าจะให้ระดับน้ำที่ปล่อยสูงกว่าระดับน้ำที่ดูดนั้น แรงดันของน้ำไม่เพียงพอและระยะที่ปล่อยน้ำปลายสายท่อของใหญ่ต้องมีระยะไกลพอสมควรจากถังและต้องมีการลดขนาดของท่อลงเรื่อยๆตามระยะทาง ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

สรุปการออกแบบระบบอย่างสมบูรณ์ผู้ศึกษาต้องสร้างระบบย่อยขึ้นมาก่อนเพื่อทดลองศึกษาปัญหาแนวคิดต่างๆรวมถึงการประยุกต์ใช้ ซึ่งผู้ทดลองได้จุดประกายความคิดให้ผู้ศึกษาต่อไปทั้ง 4 ระบบย่อย ซึ่งอาจมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ศึกษาระบบกาลักน้ำ ซึ่งจะเห็นแล้วว่าแต่ละระบบมีข้อจำกัดของตัวเอง ซึ่งถ้าผู้ศึกษาเกิดไอเดียหรือแนวความคิดอื่นๆที่เห็นว่าเป็นประโยชน์ในการสร้างระบบกาลักน้ำ ผู้ทดลองต้องขอแสดงความยินดีด้วยที่ได้สร้างประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติที่ช่วยในการประหยัดพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาสภาวะแวดล้อม ปัญหาค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง

# ภาคผนวก

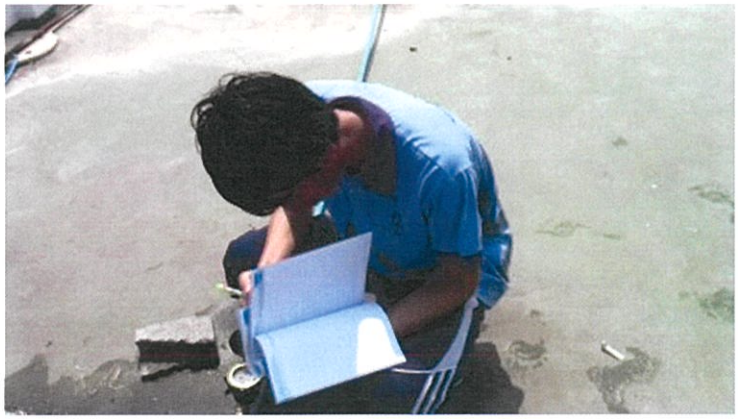
รูปแสดงการติดตั้งระบบกาลักน้ำ

รูปแสดงระบบกาลักน้ำปลายสาย

รูปแสดงการทดสอบระบบกาลักน้ำ

รูปแสดงน้ำไหลปลายท่อขาออก

รูปแสดงการวัดปริมาตรของน้ำโดยใช้มิเตอร์น้ำ



รูปแสดงการบันทึกผลการทดลอง

รูปแสดงน้ำที่ดูดขึ้นสู่ถังระบบกาลักน้ำ

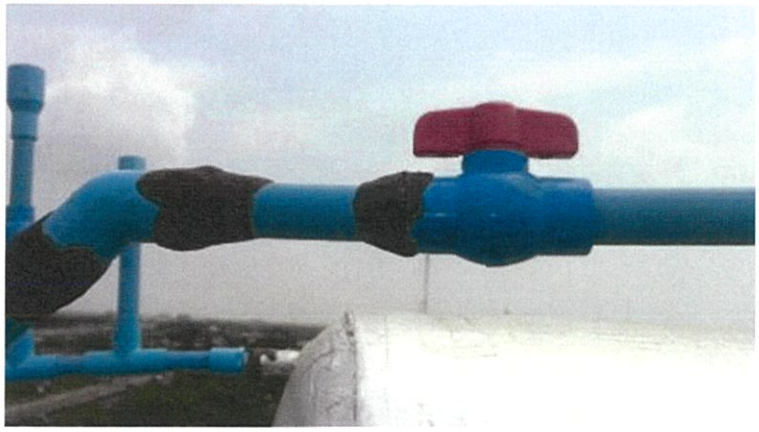
รูปแสดงการวิเคราะห์ระบบที่ท่อปลายสายน้ำขาออก

รูปแสดงภาพมุมกว้างระบบกาลักน้ำ

รูปแสดงน้ำที่ได้จากระบบกาลักน้ำสู่แปลงเพาะปลูก

รูปแสดงน้ำที่ได้จากระบบเมื่อระบบทำงานเต็มที่

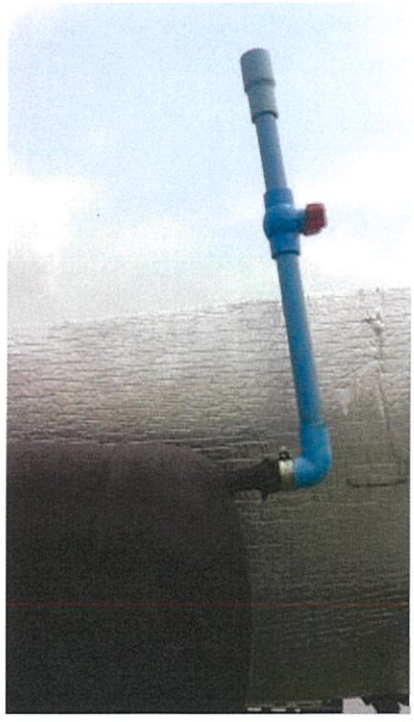
รูปแสดงการบันทึกผลทดลองมุมกว้าง



รูปแสดงการอุดรอยรั่วป้องกันอากาศเข้าสู่ระบบโดยใช้ดินน้ำมัน

รูปแสดงด้านหน้าของระบบกาลักน้ำ

รูปแสดงท่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบ



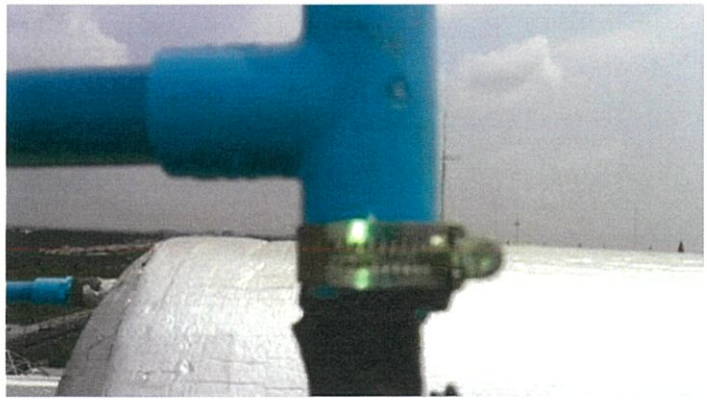
รูปแสดงท่ออากาศระบายของระบบ

รูปแสดงวาล์วเปิด-ปิดท่อน้ำขาออก

รูปแสดงฐานการติดตั้งระบบ

รูปแสดงด้านหลังระบบกาลักน้ำ

รูปแสดงข้อต่อการรวมของน้ำสองท่อให้ไหลออกท่อเดียวกัน



รูปแสดงการล็อคท่อเพื่อให้แน่นขึ้น

รูปแสดงการยึดถังกับฐานโดยใช้น็อต

รูปแสดงการยึดฐานกับฐานเข้าด้วยกันโดยใช้น็อต

รูปแสดงภาพใต้ถังยึดกับฐาน

รูปแสดงแอแวร์ของระบบ

# เอกสารอ้างอิง

[1] รองศาสตราจารย์มนตรี พิรุณเกษตร.กลศาสตร์ของไหล.กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, 2542

[2] จุรี สุวรรณศรี. 2551. วิธีสมาชิกจำกัดสำหรับปัญหาการไหลผ่านของของไหลในอุดมคติที่อัดตัวไม่ได้.ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น:2551, 18-19

[3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ และสุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช.ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่าย. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย:2548, 235-237

[4] พัชรี ธีระเอก.การวิเคราะห์การไหลแบบหนืดแต่ไม่อัดตัวโดยระเบียบวิธีการแยกด้วยคุณลักษณะและเอลิเมนต์ที่ปรับขนาดได้. ภาควิชาวิศวกรรม เครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย :2547, 7-14

[5] Andreas N.Alexandrou.Principles of Fluid Mechanics. United States of America: Worcester Polytechnic Institute,2001

[6][Online].Available :http://en.wikipedia.org/wiki/Siphon

[7][Online].Available :http://www.kasetporpeang.com/forums/index.php?topic=30643.0