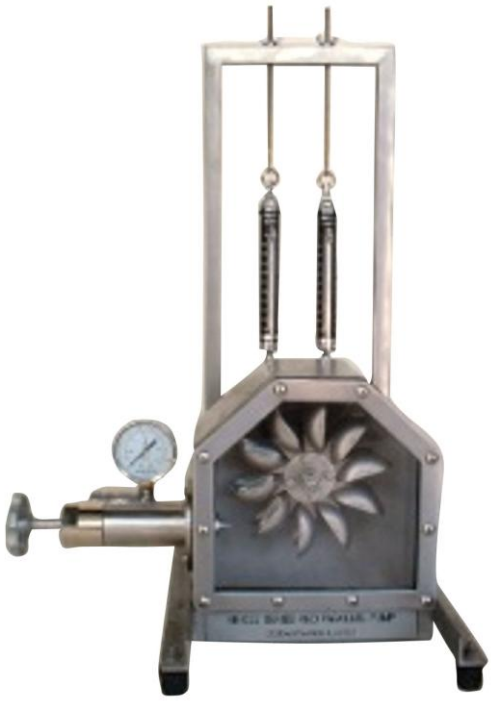
# คู่มือการใช้และการทดลอง

# ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก

# HB 023P MINI PELTON TURBINE TEST SET




**บริษัท เอสซอม จำกัด**

508 ถนนสมเด็จพระเจ้าตากสิน

ซอย 22/1 บุคคโล ธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

โทร. +66 (0) 24760034 โทรสาร. +66 (0) 24761500

E-mail: essom@essom.com

www.essom.com


ESSOM

ISO 9001

**สารบัญ**


| | หน้า |
|---|---|
| การรับมอบสินค้า | A |
| หลักเกณฑ์ความปลอดภัย | B-D |
| 1. รายละเอียดทั่วไป | 1-1 |
| 2. ทฤษฎีทั่วไป | 2-1 |
| 3. รูปแบบของเครื่องกังหันน้ำ | 3-1 |
| 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 4-1 |
| 5. ลำดับขั้นตอนการทดลอง | 5-1 |
| 6. ตัวอย่างผลการทดลอง | 6-1 |
| 7. ตัวอย่างการคำนวณ | 7-1 |
| 8. ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของกังหัน (Turbine Performance Curves.) | 8-1 |

เอกสารแนบ

เอกสารแนบ 1 Mechanical brake dynamometer

เอกสารแนบ 2 การบำรุงรักษาปั๊มน้ำ



**สงวนลิขสิทธิ์**

ห้ามพิมพ์ซ้ำหรือผลิตเอกสารนี้ขึ้นใหม่ในทุกรูปแบบ (รวมทั้งการถ่ายรูป หรือ เก็บอยู่ในวัสดุหนึ่งวัสดุใด โดยวิธีการทางอิเลคโทรนิค และ/หรือ ใช้สิ่งตีพิมพ์นี้เพียงครั้งคราวหรือโดยบังเอิญ) โดยมิได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจาก ESSOM COMPANY LIMITED

## การรับมอบสินค้า

**1. การรับมอบสินค้า**

(1) ในการรับมอบสินค้า ณ สถานที่ของลูกค้า ลูกค้าควรตรวจสอบสินค้าว่ามีการชำรุดเสียหายหรือมีการสูญหายในระหว่างการขนส่งหรือไม่

(2) ถ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นกับสินค้าหรือมีสินค้าไม่ครบตามรายการที่ระบุไว้ในใบส่งสินค้า ผู้ขายจะส่งมอบให้ใหม่เฉพาะสินค้าที่ไม่ครบตามรายการหรือเปลี่ยนสินค้าให้ใหม่เฉพาะรายการที่มีการชำรุดเสียหาย เท่านั้น

**2. ความรับผิดชอบของผู้ผลิต**

(1) เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานและบุคคลข้างเคียง ก่อนที่จะทำการติดตั้งเริ่มนำเข้าใช้งานหรือใช้งานเครื่องทดลองตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน บริษัท เอสซอม จำกัด จึงขอเตือนให้ผู้ใช้งานคำนึงถึงความปลอดภัยของตัวผู้ใช้งานเองและบุคคลอื่นที่อยู่ใกล้เคียงกับเครื่องทดลอง

(2) บริษัทจะไม่รับผิดชอบใดๆ ถ้าความเสียหายของอุปกรณ์ หรือทรัพย์สิน หรือการบาดเจ็บ ทั้งของผู้ใช้งานหรือบุคคลที่สาม นั้นเกิดจากการติดตั้งอย่างไม่ถูกต้อง การบำรุงรักษาและใช้งานผิดไปจากที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานที่จัดพิมพ์ขึ้นโดยบริษัท

(3) เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานและนักศึกษาในขณะทำการทดลอง การดำเนินการจะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ความปลอดภัยที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานอย่างคเร่งครัด

**3. หลักเกณฑ์ความปลอดภัย**

**3.1 หลักความปลอดภัยทั่วไป**

ก่อนที่จะดำเนินการติดตั้ง เริ่มนำเข้าใช้งาน และใช้งานเครื่องทดลองที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน เราขอเตือนท่านเกี่ยวกับอันตรายรุนแรงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ถ้าไม่ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด

ผู้ใช้งานเครื่องทดลองอาจจะได้รับอันตรายได้หากมีการใช้งานอย่างไม่ถูกต้อง จากการช้อกด้วยไฟฟ้า จากอันตรายของเครื่องทดลองที่มีการหมุน และจากการขาดการรักษาความสะอาด

จากแนวคิดที่ว่า “อุบัติเหตุสามารถหลีกเลี่ยงได้” จะต้องแน่ใจว่าเครื่องทดลองถูกติดตั้งอย่างถูกต้อง มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และผู้ใช้งานทราบเป็นอย่างดีว่าอุปกรณ์นั้นมีอันตรายอะไรบ้าง

**3.2 การตระหนักถึงกฎความปลอดภัย**

1) ก่อนปฏิบัติการกับอุปกรณ์ทดลอง ผู้ดำเนินการติดตั้ง นำเข้าใช้งาน หรือทำการทดลอง จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถเหมาะสมและทราบคำแนะนำและข้อกำหนดที่ระบุไว้ในคู่มือของผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเป็นอย่างดีแล้ว

2) จะต้องแน่ใจว่าคำแนะนำทั้งหลายที่ระบุอยู่ในคู่มือได้รับการปฏิบัติตามอย่างจริงจัง

**4. ความปลอดภัยเกี่ยวกับไฟฟ้า**

1) ผู้ที่จะปฏิบัติงานกับเครื่องทดลองจะต้องเป็นวิศวกรไฟฟ้าหรือช่างไฟฟ้าที่มีความสามารถเหมาะสมซึ่งเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ทดลองและสามารถตัดสินใจในแง่ของความปลอดภัยได้อย่างถูกต้อง
2) ถ้าไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าเครื่องทดลองได้มาจากการเดินสายไฟฟ้าอย่างชั่วคราว จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัย เช่น Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) เป็นต้น
3) สายไฟฟ้าที่ใช้จะต้องมีขนาดที่ถูกต้องเหมาะสมกับเครื่องทดลองระบบไฟฟ้าจะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยซึ่งจะตัดกระแสไฟฟ้าออกในกรณีที่รับภาระเกินพิกัด (Overload) โดยเครื่องทดลองไม่เกิดความเสียหายแต่อย่างใด (Overload relay)

**5. การติดตั้ง**

ก) ในระหว่างการรับมอบสินค้าจะต้องระมัดระวังอย่างยิ่งที่จะไม่ทำให้อุปกรณ์ต่างเกิดการชำรุดเสียหายจากการเคลื่อนย้ายและการเปิดหีบห่อบรรจุ ถ้ามีการใช้ลวดสลิงในการเคลื่อนย้าย จะต้องแน่ใจว่าลวดสลิงผูกอยู่กับโครงสร้างหรือส่วนที่แข็งแกร่งของเครื่องทดลอง ในกรณีที่ใช้เครื่องจักรในการของ เช่นรถฟอร์กลิฟท์ จะต้องแน่ใจว่างาของฟอร์กลิฟท์สอดอยู่ใต้ส่วนที่เป็นฐานแท่นเครื่องของเครื่องทดลองโดยไม่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องทดลองเกิดความเสียหายในขณะที่ยกเครื่องทดลอง
ข) ในบางกรณีจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเครื่องทดลองบนแท่นเครื่องที่แข็งแรงและได้ระดับ

**5.1 สายไฟฟ้า**

1) รหัสสีของสายไฟฟ้าตามปกติของเครื่องทดลอง คือ

| | |
|---|---|
| สีดำ | Line |
| สีเทาหรือสีขาว | Neutral |
| สีเขียว-เหลือง | Ground |

2) สายไฟฟ้าแบบสามเฟสมีห้าเส้น คือ

| | |
|---|---|
| สีแดง สีน้ำเงิน และสีดำ | Line |
| สีเทาอ่อนหรือสีขาว | Neutral |
| สีเขียว | Ground |

**5.2 ข้อควรระวังทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้น้ำรวมทั้งหอคอยหล่อเย็นแบบระเหย**

1) ควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ใช้ในระบบอุปกรณ์ทดลองอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากน้ำที่มีการตกค้างอยู่ในอุปกรณ์อาจเกิดการเน่าเสียได้ หากมีการปล่อยเอาไว้ในระบบเป็นเวลานาน
2) ควรมีการล้างท่อทางของอุปกรณ์ทดลองอย่างสม่ำเสมอด้วยการอัดด้วยน้ำสะอาดที่มีความดัน
3) สิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำอาจทำให้เกิดตะกรันและตะไคร่ขึ้นภายในท่อได้ จึงควรทำความสะอาดตามที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ
4) เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทดลองไม่ควรสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส
5) เพื่อเป็นป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นเกี่ยวกับการมีสิ่งแปลกปลอมปนอยู่ในน้ำ การดำเนินการควรใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านนี้โดยเฉพาะ

**5.3 อุปกรณ์ที่มีการหมุน**

ถ้าเครื่องทดลองมีชิ้นส่วนที่เกิดการหมุน เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พัดลม ฯลฯ ซึ่งตามปกติแล้วอุปกรณ์เหล่านี้จะมีแผงกำบัง (Protection shield หรือ guard) เพื่อป้องกันผู้ใช้งานจากอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น แผงกำบังนี้ต้องอยู่ในที่ของมันอย่างถูกต้องในขณะที่ใช้งานเครื่องทดลอง (กรณีที่มีการหมุน) และจะถอดออกเฉพาะในกรณีที่ทำการบำรุงรักษาเท่านั้น

หลังจากเสร็จสิ้นการบำรุงรักษาแล้ว จะต้องใส่แผงกำบังกลับคืนสู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง ห้ามใช้งานอุปกรณ์ทดลองโดยไม่มีแผงกำบัง

**5.4 อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ**

1) สำหรับการใช้งานเครื่องทดลองที่ใช้ไอน้ำ มีข้อควรระวังที่สำคัญหลายประการที่ผู้ใช้งานและช่างซ่อมบำรุงรักษาต้องจดจำ ทั้งในแง่การเดินเครื่องใช้งานและการวางแผนบำรุงรักษา
   ในระหว่างการเดินเครื่องใช้งานเครื่องทดลอง ไอน้ำและน้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อนักศึกษาได้ หากไม่ปฏิบัติตามข้อควรระวังทางด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด
2) ห้ามเดินเครื่องใช้งานอุปกรณ์ทดลองเกินกว่าค่าอุณหภูมิและความดันวิกฤติที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้งาน
3) ควรตรวจสอบและปรับเทียบลิ้นนิรภัย (Safety valve) เป็นระยะตามที่กำหนดไว้ในคู่มือ และมีการจดบันทึกไว้อย่างต่อเนื่อง สำหรับลิ้นลดความดัน (Pressure reducing valve) ก็ควรปฏิบัติเช่นเดียวกันด้วย ลิ้นนิรภัย (Safety valve) อาจจะทำงานทันทีทันใดโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า ดังนั้นจึงควรต่อท่อระบายออกไปสู่พื้นที่ที่ปลอดภัย
4) ควรสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น มาตรวัดความดัน เทอร์โมมิเตอร์ และ Sensors ตามกำหนดระยะเวลาตามปกติอย่างต่อเนื่อง
5) ควรตรวจสอบอุปกรณ์ทดลองโดยการสังเกตด้วยสายตาเป็นระยะ เพื่อหาการรั่วของไอน้ำ ฯลฯ และตรวจสอบโครงสร้างหรือรอยต่อต่างๆด้วย ว่ายังแน่นอยู่หรือไม่
6) ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เช่น ชุดทนความร้อนและถุงมือ เมื่อทำการบำรุงรักษาเครื่องทดลอง

**5.5 อุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง**

1) มีข้อควรระวังที่สำคัญหลายประการในการเดินเครื่องใช้งานและการบำรุงรักษาสำหรับผู้ใช้งานและช่างซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทดลองที่มีอุณหภูมิสูงในขณะที่เครื่องทดลองทำงาน อากาศ ก๊าซ หรือน้ำ จะมีอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อนักศึกษาได้ ถ้าไม่ปฏิบัติตามข้อควรระวังทางด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด
2) อย่าเดินเครื่องใช้งานอุปกรณ์ทดลองเกินกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤติที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้งาน
3) ควรสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ และ Sensors ตามกำหนดระยะเวลาตามปกติอย่างต่อเนื่อง

**6. หลักความปลอดภัยในการบำรุงรักษา**

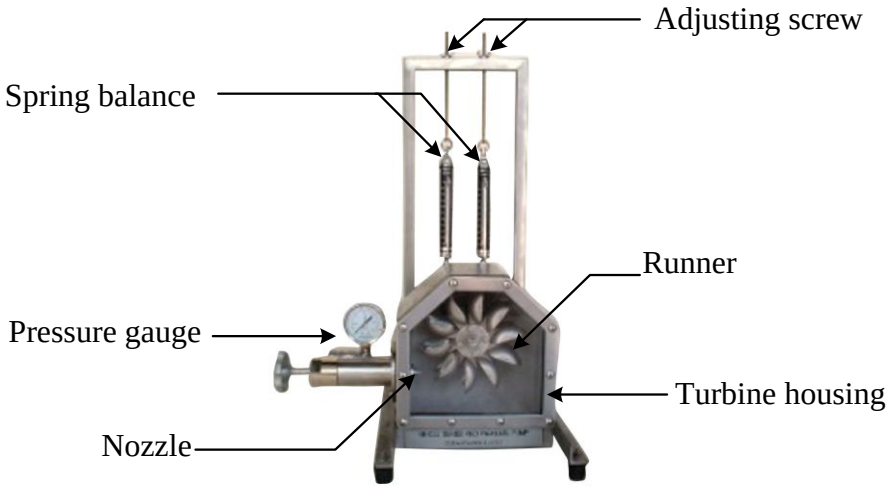
1) ในขณะที่ทำการบำรุงรักษาจะต้องปลดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ทดลองออกก่อนเสมอ
2) แขวนป้ายเตือนที่ระบุว่าอุปกรณ์อยู่ระหว่างการบำรุงรักษาไว้ที่ตู้จ่ายไฟ เพื่อป้องกันบุคคลอื่นเข้ามายุ่งเกี่ยว
3) ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน คือ ELBC ว่ามันทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดของมัน เพื่อเป็นการประกันความปลอดภัยของบุคคลที่กำลังทำงานอยู่กับอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์ที่การทำงานผิดพลาดจะต้องได้รับการแก้ไขโดยช่างไฟฟ้าผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะนำเครื่องทดลองนั้นกลับเข้าใช้งาน
4) ตรวจให้แน่ใจได้ว่างานเสร็จสิ้นโดยเครื่องทดลองกลับคืนสู่สภาพเดิมทุกประการ โดยไม่มีแผงกำบังหรือฝาครอบ เปิดค้างอยู่หรือไม่แน่นพอ และจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมใดๆหรือเครื่องมือช่าง เช่น ไขควงหรือประแจเหลือทิ้งไว้อยู่ในเครื่องทดลอง
5) ถ้ามีการใช้น้ำกับเครื่องทดลองนั้น จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการป้องกันผลเสียที่จะเกิดจากจุลชีพต่างๆ ด้วย

**7. สภาวะความปลอดภัยทั่วไปเมื่อเดินเครื่องใช้งานหรือบำรุงรักษาเครื่องทดลอง**

1) ในระหว่างการเดินเครื่องใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องทดลอง ความปลอดภัยและสุขอนามัย ของนักศึกษาสามารถป้องกันได้หลายวิธี เช่นการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เป็นต้น
2) อย่าสวมใส่เสื้อผ้าที่หลวมหรือรุ่มร่ามในห้องทดลอง เสื้อผ้าเช่นนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงได้ ถ้ามันเข้าไปพันกับชิ้นส่วนของเครื่องทดลองที่มีการหมุน
3) จะต้องสวมถุงมือเมื่อเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีพิษ หรือสัมผัสกับส่วนที่มีอุณหภูมิสูง
4) จะต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันหู เมื่อเครื่องทดลองนั้นมีเสียงดังในขณะเดินเครื่องใช้งาน
5) จะต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตา ถ้าการทำงานนั้นอาจจะเกิดอันตรายกับดวงตาได้

**คู่มือการใช้และการทดลอง**

**HB 023P ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก**




**รูปที่ 1-1 HB 023P** ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก

## 1. รายละเอียดทั่วไป

อุปกรณ์สาธิตประกอบการทดลองชุดนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาถึงคุณลักษณะและการทำงานของกังหันน้ำแบบเพลตันโดยจะแสดงคุณลักษณะต่างๆ ของกังหันเช่น แรงบิด กำลัง ประสิทธิภาพ ที่ความเร็วต่างๆกัน ภายใต้อัตราการไหลและเฮดที่แตกต่างๆ กัน ชุดทดลองนี้สามารถใช้งานร่วมกับชุดทดลอง HB 100 โต๊ะทดลองชลศาสตร์ (จำหน่ายแยกกัน)

ตัวหัวฉีดชนิดปรับแต่งได้จะทำหน้าที่ในการฉีดน้ำเข้าสู่ใบกังหัน (Runner buckets) กำลังดันของน้ำสามารถตรวจวัดได้จากเกจวัดกำลังดันที่ติดตั้งอยู่ทางด้านทางเข้าของชุดทดลอง แรงบิดที่เกิดจากการหมุนของใบกังหัน สามารถวัดได้จาก Prony brake ที่ต่ออยู่กับ spring balances ความเร็วรอบของกังหันสามารถตรวจวัดได้โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบชนิดเคลื่อนที่ (portable tachometer, เป็นอุปกรณ์เสริมของชุดทดลอง) อัตราการไหลของน้ำ ใช้การวัดจากอัตราการไหลของน้ำออกจากถังวัดที่อยู่ที่โต๊ะทดลองชลศาสตร์ ชุดทดลองมาตรฐานจะมีหัวต่อชนิดหัวต่อเร็ว (quick coupling) เพื่อใช้ต่อกับโต๊ะทดลองชลศาสตร์ อุปกรณ์ทดสอบนี้ตั้งอยู่บนขาตั้งที่สามารถปรับระดับได้

**1.1. ข้อมูลทางเทคนิค**

1.1.1. โครงสร้าง : ชุดกังหันน้ำแบบ 10 ใบ ทำจาก เหล็กไร้สนิม (Stainless steel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มม.

: หัวฉีด และเพลาทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless steel)

: ซีลกันรั่วแบบเมคานิกัล

: โครงของตัวกังหันทำจากเหล็กสเตนเลส ฝาด้านหน้าทำจากพลาสติกใส สามารถมองเห็นการทำงานของกังหันได้ชัดเจน

1.1.2. อัตรา : ความเร็วรอบสูงสุด (ประมาณ) 2000 รอบต่อนาที

: สามารถให้กำลังงานได้ไม่น้อยกว่า 40 วัตต์

1.1.3. อุปกรณ์ประกอบ

1.1.3.1. เกจวัดกำลังดัน : ช่วงการวัด 0-3 $kg/cm^2$

1.1.3.2. อุปกรณ์วัดแรงบิด : จำนวน 2 ตัว ชนิด spring balances

1.1.3.3. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ : ชนิดเคลื่อนที่ได้ (Portable tachometer)

**1.2. ลักษณะการทดลอง**

1.2.1. วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิด (Torque) กับความเร็วที่เฮดและอัตราการไหลต่างๆ

1.2.2. วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานที่ได้จากกังหันน้ำ (Power Output) กับความเร็วที่เฮดและอัตราการไหลต่างๆ

1.2.3. วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) กับความเร็วที่เฮดและอัตราการไหลต่างๆ

## 2. ทฤษฎีทั่วไป

กังหันน้ำเป็นเครื่องจักรพลังน้ำที่แปรรูปพลังงานของของเหลวให้เป็นงานทางกลที่มีประโยชน์ที่เพลาหมุน วิศวกรพลังงานให้ความสนใจกับการผลิตงานที่เพลาในโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากพลังงานศักย์ของก้อนน้ำหลังเขื่อน วิศวกรไฟฟ้าสนใจในการแปรรูปงานที่เพลาไปเป็นพลังงานไฟฟ้าในเครื่องผลิตไฟฟ้าและการส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าไปตามเส้นทางการส่งถ่ายไปยังจุดต่างๆที่ซึ่งมันสามารถถูกแปรรูปไปเป็นงาน,ความร้อน,แสง หรือเสียง

ในการศึกษาเครื่องจักรพลังน้ำโดยเฉพาะเทอร์ไบน์และปั๊มพลังน้ำ มันเป็นธรรมเนียมที่จะแสดงรูปแบบของพลังงานต่างๆในเทอมของ “เฮด” ซึ่งใช้ความสูงของน้ำแทนพลังงานที่จุดใดๆในระบบการไหล เฮดสถิตย์หรือพลังงานศักย์ของคอลัมน์น้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานกังหันน้ำขึ้นอยู่กับความสูงของเขื่อน เฮดรวมของโรงไฟฟ้าคือระยะในแนวดิ่งจากระดับหางน้ำไปยังระดับน้ำที่เขื่อนเก็บน้ำ รูปแบบต่างๆของพลังงานน้ำถูกแสดงออกในเทอมของเฮดน้ำ (ในหน่วยความยาว) ซึ่งแทนพลังงานต่อหนึ่งหน่วยมวลของน้ำดังต่อไปนี้:

### 2.1. เฮดความดัน (Pressure Head, $H_p$)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร $(N/m)^2$ หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แล้วถ้าเป็นความดันของของเหลวก็จะมักนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (PRESSURE HEAD):

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p และเฮดความดันh คือ

$$H_p = \frac{p}{\gamma} \qquad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ: $H_p$ = เฮดความดัน, m

$p$ = ความดัน, $N/m^2$

$\gamma$ = น้ำหนักจำเพาะ, $N/m^3$

### 2.2. เฮดความเร็ว (Velocity head, $H_v$)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวถูกเรียกว่าเฮดความเร็ว

พลังงานจลน์ของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นไปตามสมการ:

$$KE. = \frac{1}{2} mV^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{w}{g}\right) V^2 \qquad \text{..... (2.2)}$$

$$H_v = \frac{KE.}{w} = \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ: KE. = พลังงานจลน์, Nm

m = มวลของวัตถุ, kg

w = น้ำหนักของวัตถุ, N

V = ความเร็ว, m/s

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, $m/s^2$

### 2.3. เฮดสถิตย์ (Static Head *หรือ* Elevation Head; Z)

เมื่อของเหลวอยู่ในที่สูงก็มีพลังงานศักย์ (Potential energy) ในตัว พลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวถูกเรียกว่าเฮดสถิตย์ พลังงานศักย์ (Potential energy) ของวัตถุที่ระดับ *Z* คือ

$$P.E. = w \times Z$$

$$H_S = \frac{P.E.}{w} = Z \qquad \text{..... (2.3)}$$

เมื่อ: P.E. = พลังงานศักย์, Nm

w = น้ำหนัก, N

Z = ระดับอ้างอิง, m

### 2.4. เฮดรวม (Total Head; $H_T$)

เฮดรวมของน้ำ ณ จุดหนึ่งจุดใดก็คือพลังงานทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของน้ำและเท่ากับ

ดังนั้น $H_T$ = Pressure Head + Velocity Head + Static Head

$$H_T = H_p + H_v + H_S$$

$$= \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \qquad \text{..... (2.4)}$$

ซึ่งจะหมายถึงสมการพลังงานรวมของของไหลนั่นเอง

### 2.5. เฮดความฝืด (Friction Head ; $H_f$)

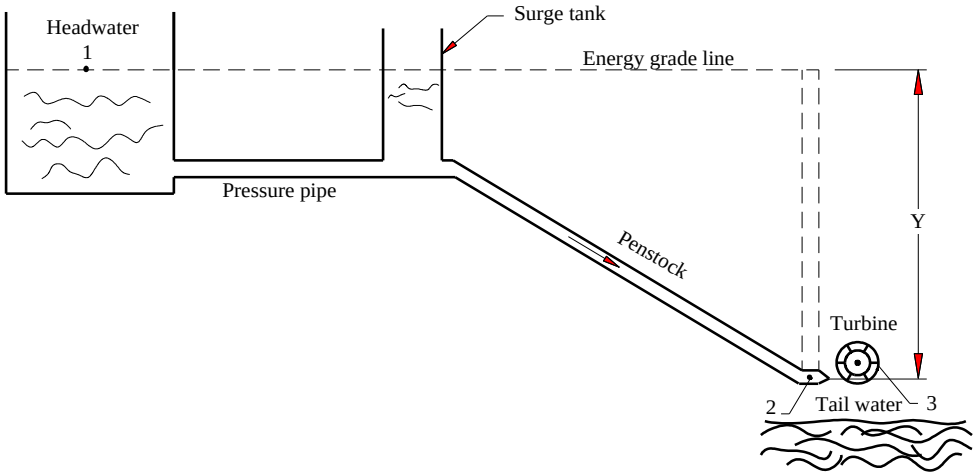
ในขณะที่ของเหลวไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง พลังงาน หรือ เฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องมาจากความเสียดทานระหว่างของเหลวกับผนังท่อหรือ ทางไหลของน้ำ และการเสียดสีกันเองของอนุภาคของของเหลว พลังงานที่สูญเสียนี้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของเหลวถูกเรียกว่า เฮดความฝืด ฉะนั้นเฮดความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 คือ

$$H_{f12} = H_{T1} - H_{T2} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \qquad \text{..... (2.5)}$$

## 2.6. กังหันพลังน้ำที่โรงผลิตไฟฟ้า

อ่างกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะทำหน้าที่เก็บน้ำจำนวนมหาศาลไว้ในที่สูง ดังนั้นน้ำในอ่างกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนจึงมีพลังงานศักย์ที่สูงมาก ถ้าหากน้ำในอ่างกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนนี้ถูกปล่อยลงสู่ระดับที่ต่ำกว่า ไหลผ่านท่อเหล็กซึ่งโดยปรกติจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีชื่อเฉพาะว่า “Penstock” ถูกปล่อยให้ไหลผ่านกังหันน้ำ พลังงานของน้ำบางส่วนก็จะถูกกังหันแปลงให้เป็นพลังงานกลที่ถูกส่งออกมาทางเพลาของกังหันที่นำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง สำหรับน้ำที่ไหลออกมาจากกังหันนั้นตามทฤษฎีแล้วจะถือว่ามีความดันเท่ากับความดันของบรรยากาศ

ตัวอย่างแผนผังของโรงไฟฟ้าพลังน้ำนั้นอยู่ในรูปที่ *2*-1




**รูปที่ 2-1** แผนผังแบบง่ายของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

การพิจารณาทางด้านทฤษฎีในอุดมคติของระบบการไหลของของเหลวของโรงไฟฟ้าพลังน้ำกับกังหันต่อสมการพลังงานทั่วไป (2.5) ไหลผ่านจากจุด 1 ไปจุด 2 ผ่าน Penstock คือดังนี้

$$Z_1 + V_1^2/2g + p_1/\gamma = Z_2 + V_2^2/2g + p_2/\gamma$$

เมื่อ $Z_1 = Y$ ความแตกต่างในระดับ

$V = 0$

$p_1 = 0$ (ค่าความดันบรรยากาศ)

$Z_2 = 0$ (ค่าความสูงที่ด้านทางออกของเทอร์ไบน์จากระดับอ้างอิง)

น้ำที่จุด 2 อยู่ภายใต้ความดันที่สูงมากและความเร็วของของเหลวไหลผ่าน penstock (ที่ปรกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่) ค่อนข้างต่ำและอาจจะละทิ้งได้ ($V_2 = 0$)

ดังนั้น, $Z_1 = p_2/\gamma$ …… (2.6)

และจากหน้าตัด 2 และ 3 ไหลผ่านกังหัน ดังนี้

เมื่อ $Z_2 + V_2^2/2g + p_2/\gamma = Z_3 + V_3^2/2g + p_3/\gamma + W$ ..... (2.7)

เพราะว่า, $Z_2 = Z_3 = 0$ (เส้นอ้างอิง)

$V_2 = 0$ (ปกติแล้วค่า $p_2$ จะมีค่าสูงมากและค่า $V_2$ จะมีค่าต่ำและสามารถตัดทิ้งได้)

$P_3 = 0$ (ค่าความดันบรรยากาศ)

$V_3 = 0$ (ความเร็วที่ทางออกของกังหันมีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้)

ดังนั้น, $W = p_2/\gamma$ ..... (2.8)

## 2.7. ชุดทดลองกังหันน้ำ

สำหรับชุดทดลองกังหันน้ำ พลังงานของน้ำนั้นไม่ได้มาจากพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวของของเหลว แต่เป็นพลังงานของน้ำที่ได้มาจากปั๊มน้ำ

$H_{T2} = H_{T3}$

ดังนั้น $H_{P2} = H_{Turbine} + H_{f23}$

เมื่อ $H_{Turbine}$ = พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันน้ำ

## 3. รูปแบบของเครื่องกังหันน้ำ

เครื่องกังหันน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามวิธีการแปลงพลังงานของน้ำให้เป็นพลังงานกล ดังนี้ :

**a) กังหันน้ำแบบอิมพัลส์ (Impulse Type Turbine)**

กังหันแบบนี้เฮดของความดันทั้งหมดจะถูกหัวฉีดเปลี่ยนเป็นเฮดความเร็วที่ความดันของบรรยากาศ ลำน้ำความเร็วสูงที่ฉีดออกมาจากหัวฉีดนี้จะพุ่งเข้าชนครีบของใบจักร (Bucket) ของกังหัน กังหันที่ได้รับการออกแบบที่ดีนั้นความเร็วของน้ำในขณะที่ไหลออกจากครีบของใบจักรนั้นควรจะลดน้อยลงจนกระทั่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ กังหันน้ำแบบอิมพัลส์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ Pelton และ Cross Flow

**b) กังหันน้ำแบบรีแอ๊คชั่น (Reaction Type Turbine)**

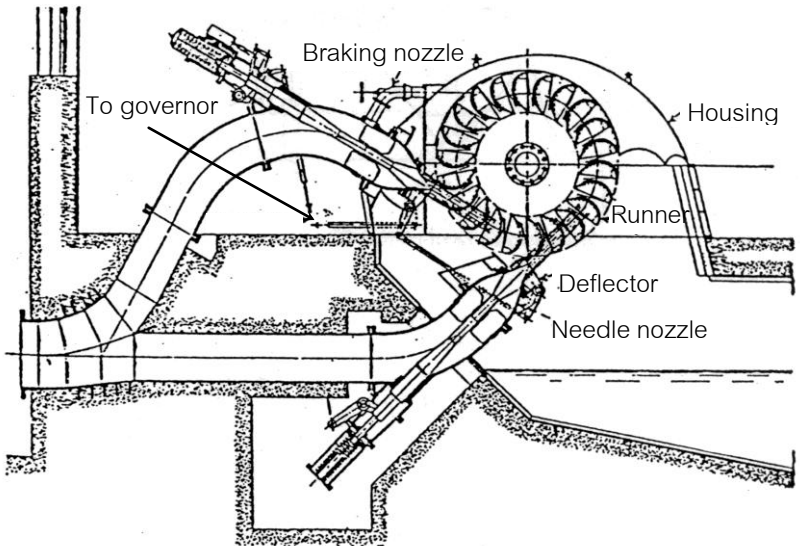
กังหันน้ำแบบนี้เฮดความดันบางส่วนของน้ำที่ไหลเข้ามาในตัวกังหันจะถูกครีบบังคับทิศทางการไหล (guide vane) ที่อยู่ด้านนอกของตัวใบจักรเปลี่ยนเป็นเฮดความเร็วก่อนที่จะไหลเข้าไปในตัวใบจักร ความดันส่วนเกิน (over pressure) นี้จะทำให้น้ำที่ไหลผ่านใบจักรของกังหันเกิดความเร่งขึ้นต่อจากนั้นน้ำจะไหลตามแนวแกนออกจากใบจักรสู่แหล่งน้ำในบรรยากาศ ใบจักรของกังหันแบบนี้จะคล้ายคลึงกับใบพัดของปั๊มน้ำแต่จะทำงานตรงกันข้ามกับปั๊มน้ำ กังหันแบบรีแอ๊คชั่นนี้เหมาะกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ กังหันน้ำแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อน้ำเหนือเขื่อนมีระดับปานกลางถึงระดับสูงที่มีอัตราการไหลระดับปานกลาง กังหันแบบรีแอ๊คชั่นนี้ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ Francis, Kaplan, และ Axial-Flow Turbines

กังหันน้ำไม่ว่าจะเป็นแบบไหนก็ตามเฮดบางส่วนหรือเฮดทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเฮดความเร็ว

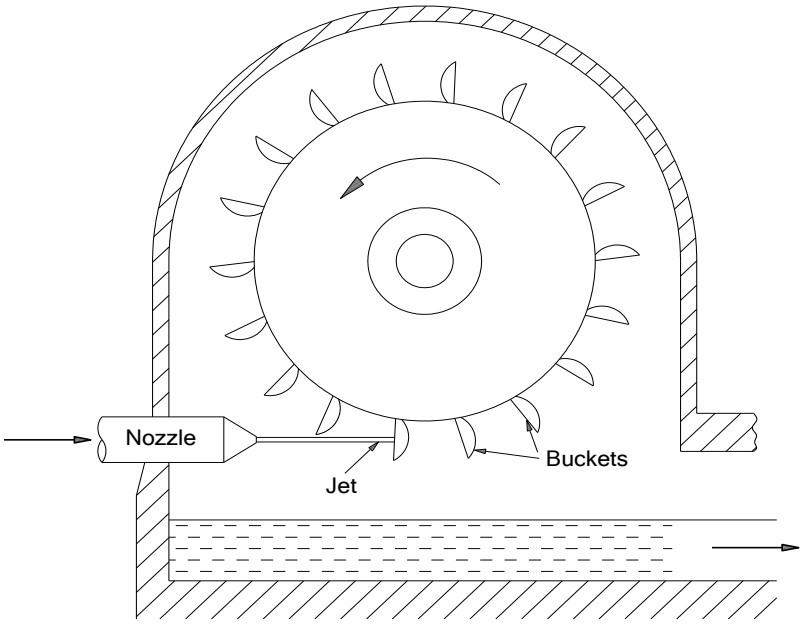
### 3.1. กังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbine)

กังหันน้ำแบบเพลตันนี้ (รูปที่ 3-1) เหมาะสำหรับใช้งานกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดกลางที่น้ำในเขื่อนมีระดับค่อนข้างสูงและมีอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ

หน้าที่ของกังหันแบบเพลตันก็คือจะเปลี่ยนพลังงานของน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยให้น้ำความเร็วสูงที่ฉีดออกจากหัวฉีด (หัวฉีดเดียวหรือหลายหัวฉีดก็ได้) ไปชนกับครีบ (Bucket) ของใบจักร การชนที่เกิดจากน้ำวิ่งเข้าชนครีบนี้ทำให้เกิดพลังงานจลน์ซึ่งสามารถวัดด้วยไดนาโมมิเตอร์



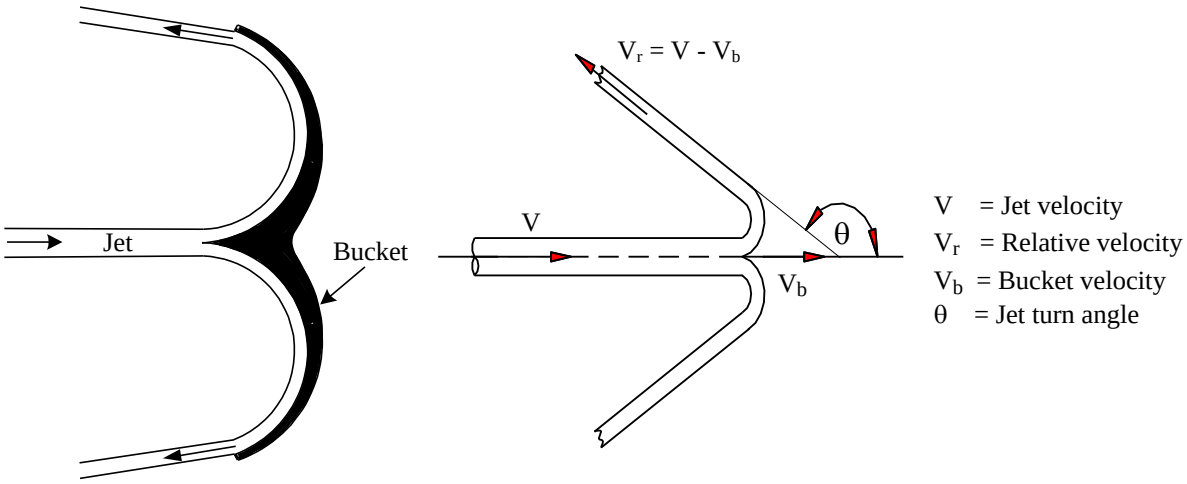

**รูปที่ 3-1** ตัวอย่างกังหันแบบอิมพัลส์ (เพลตัน)




**รูปที่ 3-2** โครงสร้างแบบง่ายๆของกังหันแบบเพลตัน (อิมพัลส์)

กังหันน้ำแบบเพลตันมีโครงสร้างดังรูปที่ 3-2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าใบจักรหรือตัววงล้อของกังหันนี้มีครีบที่เรียกว่า Bucket ติดอยู่ตามขอบของตัววงล้อเป็นแถว ครีบรูปร่างพิเศษนี้ประกอบด้วยส่วนที่มีผิวโค้งที่คล้ายคลึงกับช้อนสองอันที่วางขอบชิดกันดังรูปที่ 3-3.

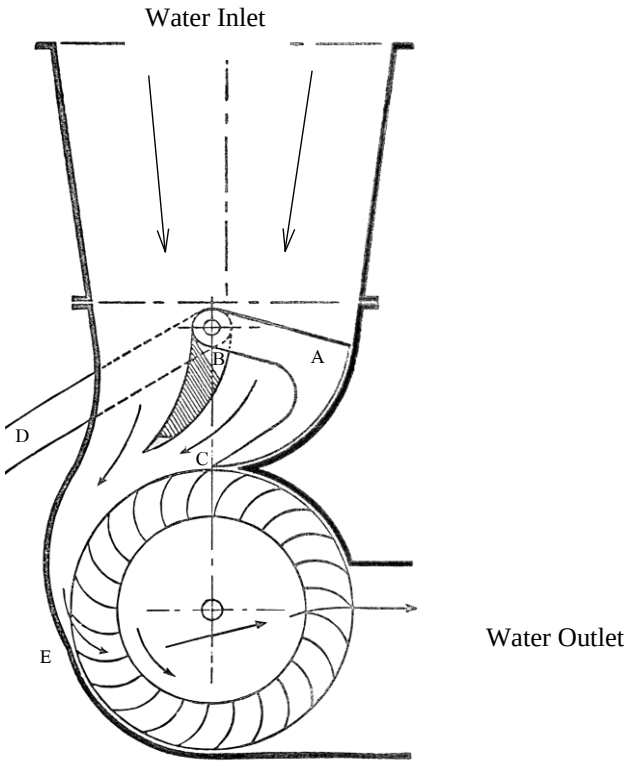
ลำน้ำอิสระที่มีความเร็วสูงที่เรียกว่าเจ๊ตของน้ำ (water jet) จะวิ่งเข้าชน bucket ที่ติดอยู่กับขอบของวงล้อ ตามทฤษฎีนั้นเราต้องการให้สันแบ่งน้ำที่อยู่กลาง bucket แบ่งลำน้ำความเร็วสูงที่วิ่งเข้าชนออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน น้ำแต่ละส่วนที่ถูกแบ่งออกมานั้นจะถูก bucket เปลี่ยนทิศทางการไหลโดยทำมุม $165^{o}$ กับทิศทางการไหลเดิม ดังรูปที่ 3-3 ตามทฤษฎีนั้นถ้าหากสามารถเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำให้ไหลกลับเป็นมุม $180^{o}$กับทิศทางการไหลเดิมแล้วก็จะทำให้กังหันมีกำลังสูงสุด แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถทำได้เพราะว่าน้ำที่ไหลกลับเป็นมุม $180^{O}$ นั้นจะไปกีดขวางการเคลื่อนที่ของ bucket ตัวที่ตามหลังมา ดังนั้นจึงต้องให้เบนออกไปทางด้านข้าง




**รูปที่ 3-3** Wheel bucket และ แผนภูมิความเร็วสำหรับกังหันเพลตัน

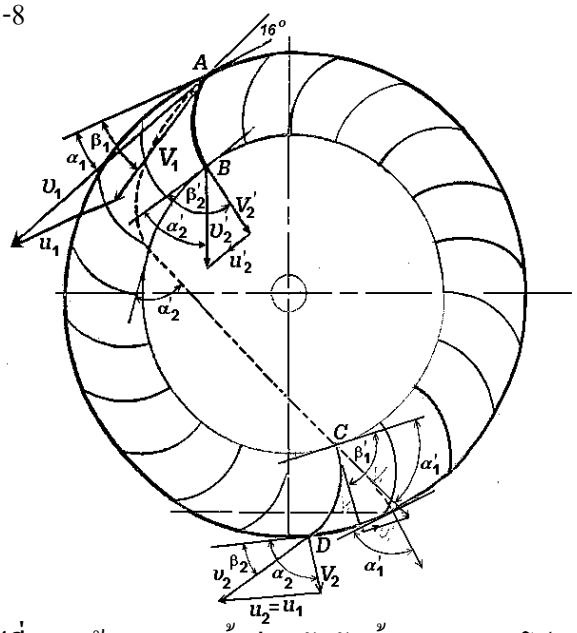
### 3.2. กังหันน้ำแบบครอสโฟลว์ (Cross Flow or Through Flow Turbine)

กังหันน้ำแบบครอสโฟลว์ หรือ กังหันน้ำแบบไหลผ่าน เป็นกังหันแบบอิมพัลส์ประเภทหนึ่ง กังหันแบบครอสโฟลว์นี้ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่าใบจักร (Runner) กับส่วนที่เรียกว่าหัวฉีด (Nozzle) น้ำที่มีความดันสูงจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านหัวฉีดซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ใบจักรหรือตัววงล้อของกังหันนี้ทำด้วยจานกลมสองจานที่ยึดขอบจานเข้าติดกันด้วยชุดของครีบ หรือชุดของใบของใบจักรที่มีผิวเป็นส่วนโค้งของวงกลม กังหันน้ำแบบนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากังหันน้ำแบบบังกี (Banki turbine) กังหันแบบนี้จะมีประตูควบคุมอัตราการไหลที่เรียกว่า gate vane พร้อมคานที่เป็นกลไกสำหรับปรับพื้นที่ของประตูเพื่อเพิ่มหรือลดขนาดของเจ๊ตให้เหมาะกับกำลังของกังหันที่ต้องการ ดังรูปที่ 3-4 หัวฉีดจะฉีดน้ำเต็มหน้ากว้างของใบจักรหรือวงล้อ น้ำที่ฉีดจากหัวฉีดนี้จะถูกบังคับให้ไหลเข้าไปในใบจักรตามทิศทางหรือตามมุมของครีบที่กระทำกับขอบวงล้อ น้ำที่ฉีดจากหัวฉีดนี้จะวิ่งชนครีบหรือใบของใบจักรที่ขอบวงล้อแล้วไหลผ่านไปบนผิวครีบเพื่อไหลออกจากขอบด้านในของใบจักร ต่อจากนั้นก็ไหลเข้าที่ขอบด้านในของครีบใบจักรในด้านตรงข้ามเพื่อไหลออกทางขอบด้านนอกของครีบใบจักร ดังนั้นกังหันแบบนี้จึงเป็นแบบที่น้ำไหลเข้าตามแนวรัศมีของตัวใบจักร

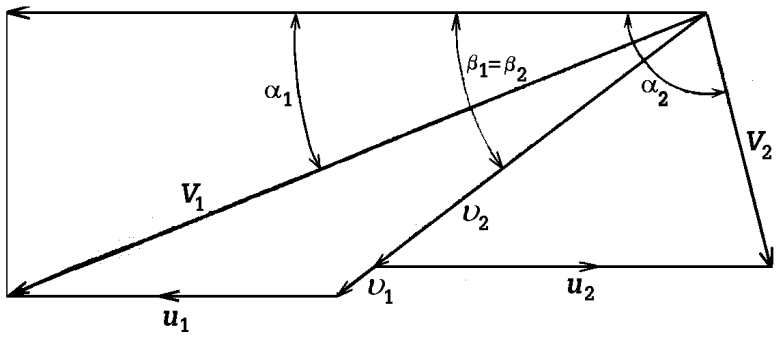



**รูปที่ 3-4** โครงสร้างกังหันน้ำแบบครอสโฟลว์

แบบอย่างเส้นทางของน้ำไหลผ่านกังหันน้ำแบบครอสโฟลว์ (Banki) และไดอะแกรมความเร็วถูกแสดงในรูปที่ 3-7 และ 3-8



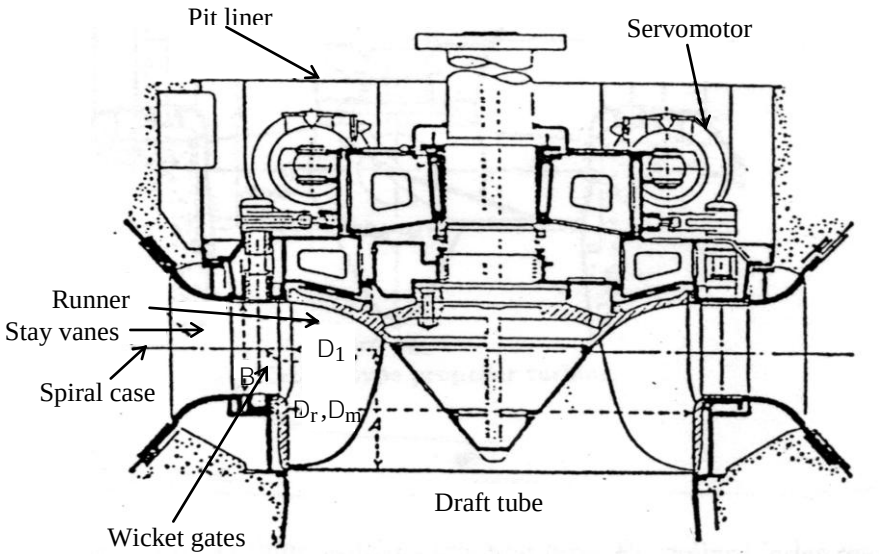

**รูปที่ 3-5** เส้นทางของน้ำผ่านกังหันน้ำแบบครอสโฟลว์




**รูปที่ 3-6** ไดอะแกรมความเร็ว

### 3.3. กังหันน้ำแบบฟรานซิส (Francis Turbine)

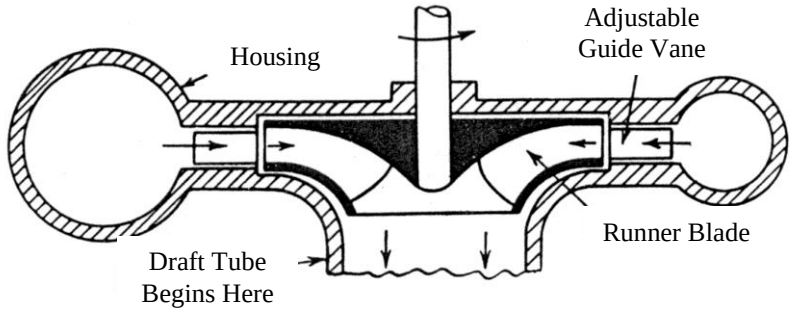
กังหันแบบฟรานซิสนี้อยู่ในรูปที่ 3-7 ในขณะที่กังหันกำลังทำงานนั้นน้ำจะไหลออกจากครีบบังคับทิศทางการไหลที่เรียกว่า Guide vane ซึ่งมีชื่อเรียกอีกชื่อว่า wicket gates ที่หันเข้าหาจุดศูนย์กลางของตัวใบจักร น้ำที่จะไหลเข้าใบจักร (runner) ซึ่งอยู่ในระหว่างครีบบังคับทิศทางการไหล (Guide vane) กับตัวใบจักรนั้นจะมีความดันที่สูงมาก ครีบของใบจักรที่มีการไหลแบบผสม (mixed Flow) นี้เป็นแบบที่ปรับมุมเอียงของครีบใบจักรไม่ได้ ใบจักรของกังหันแบบนี้จะคล้ายคลึงกับใบพัดแบบผสมการไหลของเครื่องสูบน้ำมาก




**รูปที่ 3-7** โครงสร้างของกังหันน้ำแบบฟรานซิส Medium – head

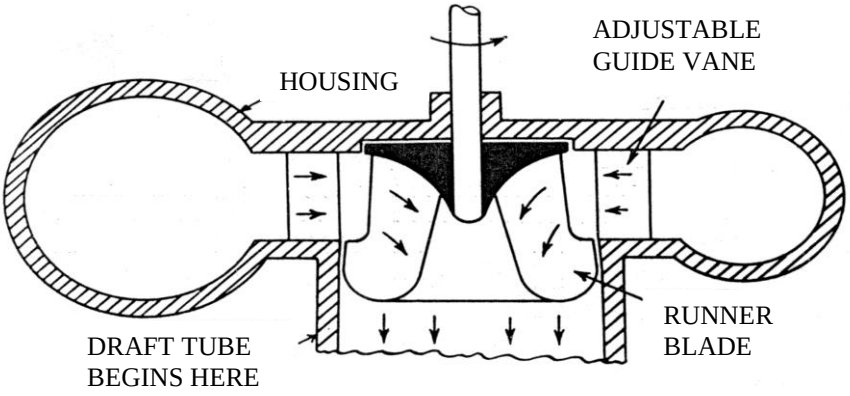
กังหันน้ำแบบฟรานซิสเป็นกังหันแบบรีแอ๊คชั่นชนิดหนึ่ง กังหันน้ำแบบนี้ไม่มีเจ๊ตอิสระของน้ำเหมือนของกังหันแบบเพลตัน แต่จะมีครีบบังคับทิศทางการไหลของน้ำ (guide vane) ติดอยู่กับตัวเรือนหรือเปลือกของตัวกังหันรอบ ๆ ตัวใบจักรที่มีครีบติดอยู่เป็นจำนวนมาก น้ำที่อยู่รอบ ๆ ขอบของใบจักรจะไหลเข้าไปในจักร

ดังรูปที่ 3-8 น้ำที่มีความดันสูงนี้จะไหลเข้าตัวเรือนกังหันรูปเปลือกหอยรอบ ๆ ตัวใบจักร ภายหลังจากที่ไหลผ่านครีบบังคับทิศทางการไหลที่สามารถปรับมุมเอียงได้แล้ว น้ำก็จะไหลเข้าไปในตัวใบจักรตามแนวระนาบในลักษณะที่ตั้งฉากกับแกนหมุน น้ำส่วนใหญ่จะไหลตามแนวรัศมีเข้าหาจุดศูนย์กลางของตัวใบจักร ดังนั้นจึงมักเรียกกังหันแบบนี้ว่ากังหันน้ำแบบไหลตามแนวรัศมี หรือ กังหันน้ำแบบฟรานซิส



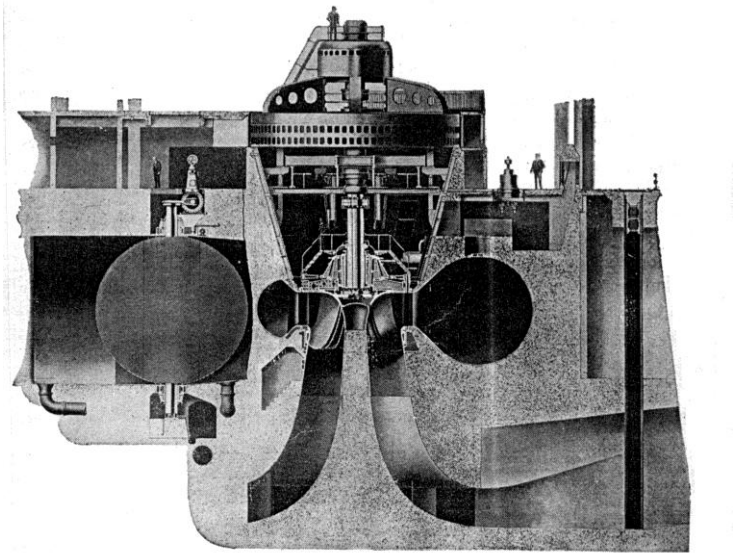

**รูปที่ 3-8** แบบอย่างโครงสร้างของ Radial-Flow Francis Turbine

สำหรับใบจักรของกังหันน้ำที่น้ำมีทิศทางการไหลแบบผสม ดังรูปที่ 3-9 นั้น น้ำที่ไหลผ่านตัวใบจักรบางส่วนจะไหลในแนวรัศมี บางส่วนจะไหลในแนวแกนของใบจักร กังหันน้ำแบบนี้บางครั้งจะเรียกว่ากังหันน้ำแบบอเมริกัน อย่างไรก็ตามมักจะเรียกกังหันแบบที่น้ำไหลเข้าหาแกนกลางของใบจักรว่ากังหันแบบฟรานซิส



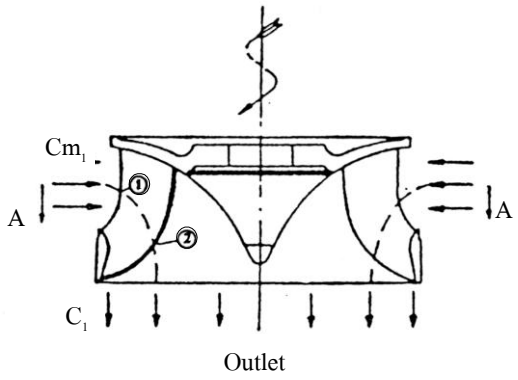

**รูปที่ 3-9** แบบอย่างโครงสร้างของ Mixed-Flow Francis Turbine

กังหันแบบฟรานซิสที่ใช้ในงานจริงนั้นมีลักษณะการติดตั้งดังในรูปที่ 3-10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวใบจักรของกังหันจะต่อตรงเข้ากับเพลาของเครื่องกำเหนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้า

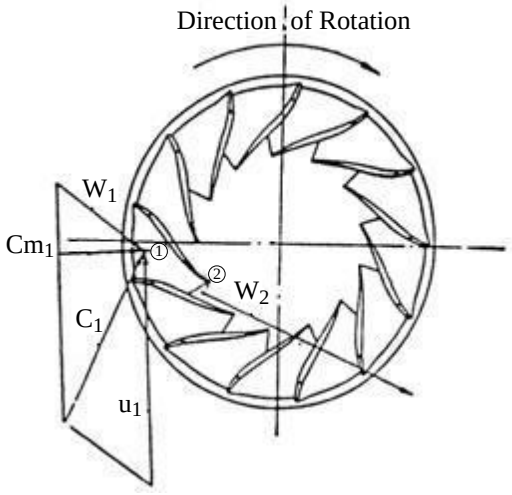


**รูปที่ 3-10** ภาพหน้าตัดของกังหันแบบฟรานซิสขนาด 54,000 แรงม้าและชุดปั่นไฟ

แรงปฏิกริยาที่ใบจักรกระทำต่อกระแสน้ำภายใต้สภาวะการทำงานที่ต่อเนื่องของกังหันนั้นสามารถพิจารณาตามรูปที่ 3-10 ดังนี้




(a) ใบจักรของกังหันน้ำแบบฟรานซิส น้ำที่ทางเข้ามีส่วนประกอบในแนวรัศมีเข้าหาจุดศูนย์กลาง $Cm_1$. ความเร็วขาออกตามแนวแกนที่ $C_1$ และใกล้ประสิทธิภาพสูงสุด




(b) ภาพด้านหน้าของครีบบังคับทิศทางการไหลและใบจักร พร้อมไดอะแกรมความเร็วที่ทางเข้าจุด 1

$u_1$ = peripheral wheel velocity

$C_1$ = absolute water velocity

$W_1$ = relative water velocity

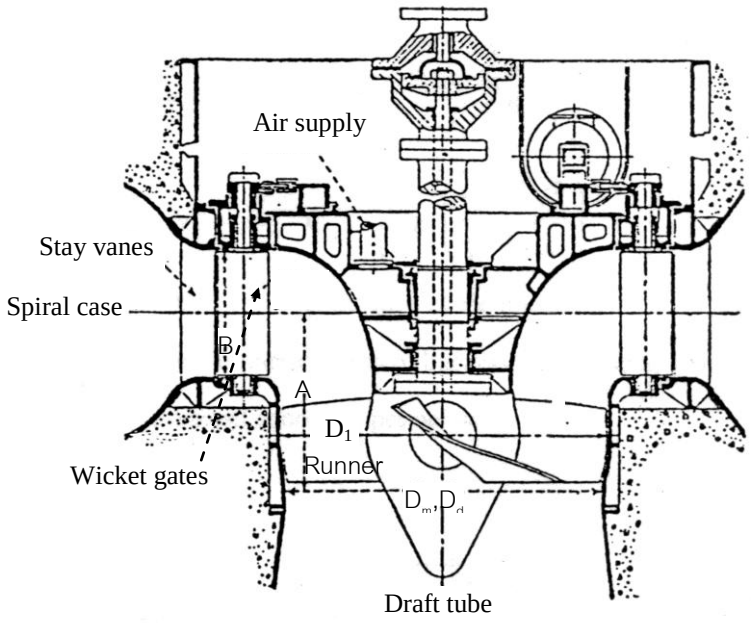
$Cm_1$ = radial component of velocity $C_1$

เพราะร่องระหว่างครีบที่ติดกันค่อยๆเรียวเล็กลง ความเร็ว $W_1$ จะถูกเพิ่มเป็น $W_2$ ที่ทางออกจุด 2

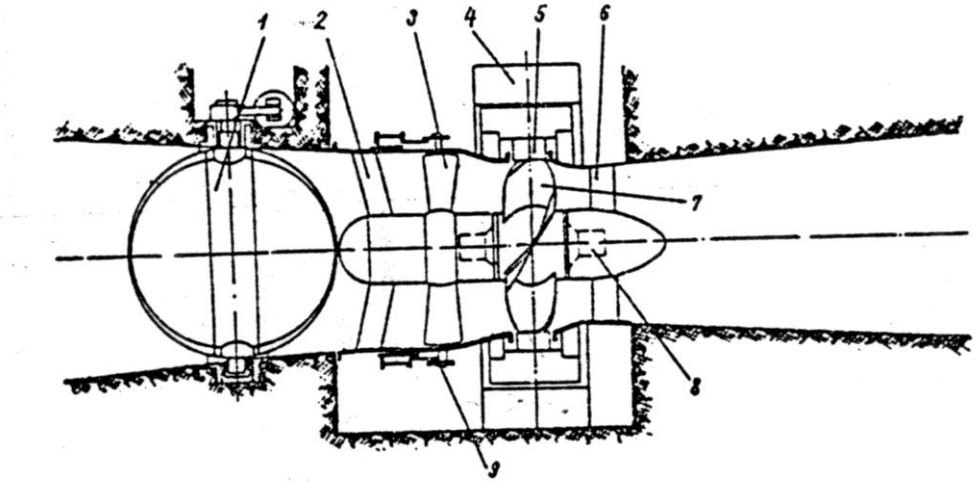
**รูปที่ 3-11** ไดอะแกรมความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านครีบบังคับทิศทางการไหลของกังหันแบบฟรานซิส

### 3.4. กังหันน้ำใบพัดแบบแคปแลนและแบบไหลตามแนวแกน (Kaplan and Axial Flow Propeller Turbines)

กังหันน้ำใบพัดแบบแคปแลนตามที่แสดงในรูปที่ 3-12 น้ำไหลผ่านครีบบังคับทิศทางการไหลเหมือนกับในกังหันน้ำแบบฟรานซิสและและจะไหลไปตามแนวแกนของกังหันก่อนที่จะไหลเข้าไปในตัวใบจักร ใบจักรของกังหันแบบนี้จะคล้ายคลึงกับใบพัดของเรือ ปกติแล้วใบจักรแบบนี้จะปรับมุมเอียงของครีบได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน สำหรับกังหันน้ำแบบแคปแลน ครีบบังคับทิศทางการไหลจะพาน้ำไหลตามแนวรัศมีไปยังแกนก่อนจะหมุนในแนวแกนมุ่งไปยังใบจักร การไหลเป็นแบบ 2 มิติในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนหมุนที่ซึ่งอนุภาคของของเหลวอยู่ห่างจากแกนเป็นระยะคงที่ สายน้ำไหลเป็นแบบวงก้นหอยบนแกนทรงกระบอกร่วม สายน้ำไหลจะสามารถถูกแสดงเพียงบนรูปทรงกระบอกที่เกิดขึ้นสำหรับรัศมีนั้นๆ




**รูปที่ 3-12** โครงสร้างกังหันใบพัดแบบแคปแลน

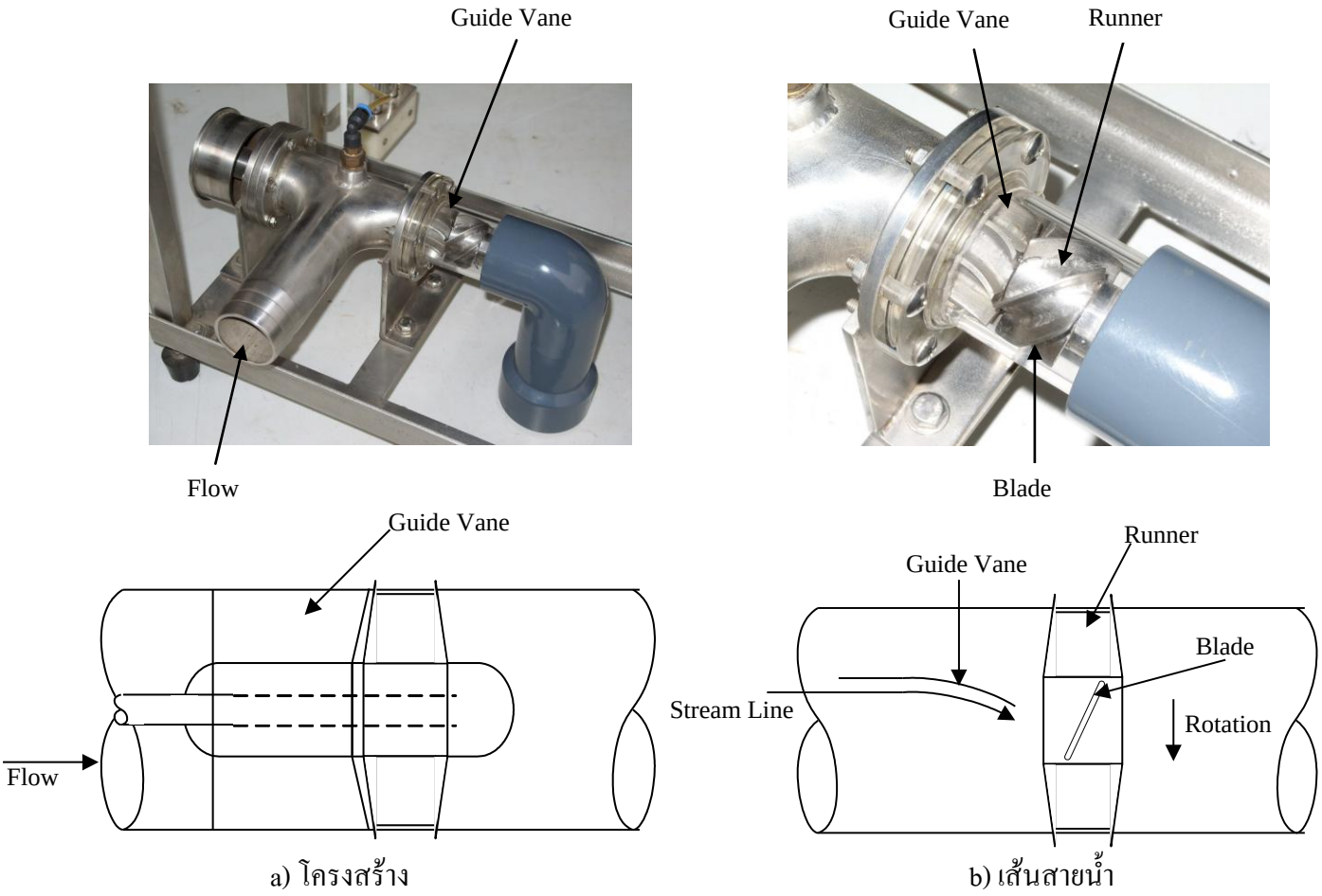



**รูปที่ 3-13** โครงสร้างกังหันใบพัดแบบไหลตามแนวแกน

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | = | butterfly valve | 6 | = | bearing |
| 2 | = | bearing | 7 | = | the runner |
| 3 | = | axial distributor | 8 | = | journal |
| 4 | = | generator stator | 9 | = | gate ring |
| 5 | = | generator rotor | | | |

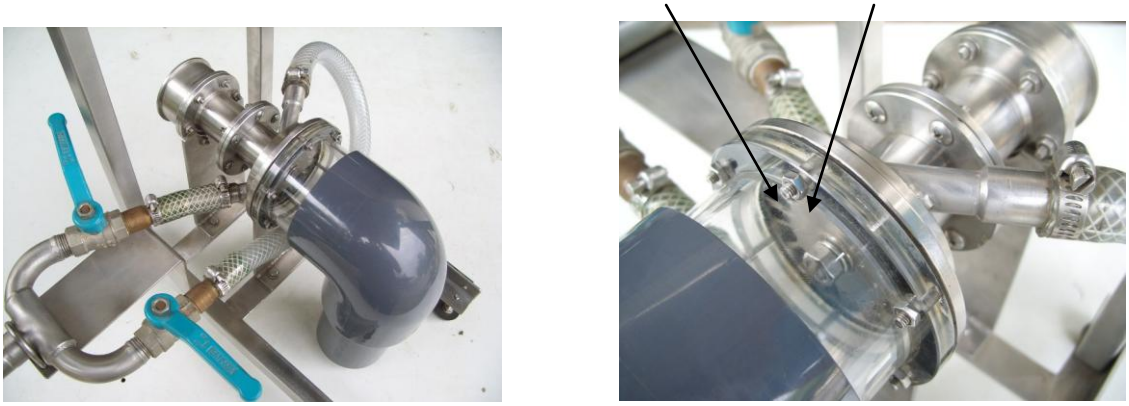
สำหรับกังหันแบบไหลตามแนวแกนตามรูปที่ 3-12 และ 3-13 น้ำจะไหลมุ่งไปยังใบจักร (Runner) ตามแนวแกน ครีบบังคับทิศทางการไหล (Guide vane) เปลี่ยนทิศการไหลเพื่อว่าอนุภาคของๆไหลอยู่ห่างจากแกนเป็นระยะคงที่และสายน้ำไหลเป็นแบบวงก้นหอยบนแกนทรงกระบอกร่วมคล้ายกับกังหันแบบแคปแลน

ทั้งกังหันแบบแคปแลนและแบบไหลตามแนวแกน ครีบบังคับทิศทางการไหล (Guide vane) อาจจะปรับไม่ได้หรือปรับได้ก็ได้เพื่อบังคับเส้นน้ำให้ไหลเกือบตั้งฉากกับใบจักร (Runner) ถ้าเฮดน้ำไม่แปรเปลี่ยนมากและโหลดค่อนข้างคงที่ ใบจักร (Runner) แบบยึดตายตัวจะประหยัดที่สุดเนื่องด้วยประสิทธิภาพที่สูงและชิ้นส่วนกับอุปกรณ์ปรับแต่งที่น้อยกว่า

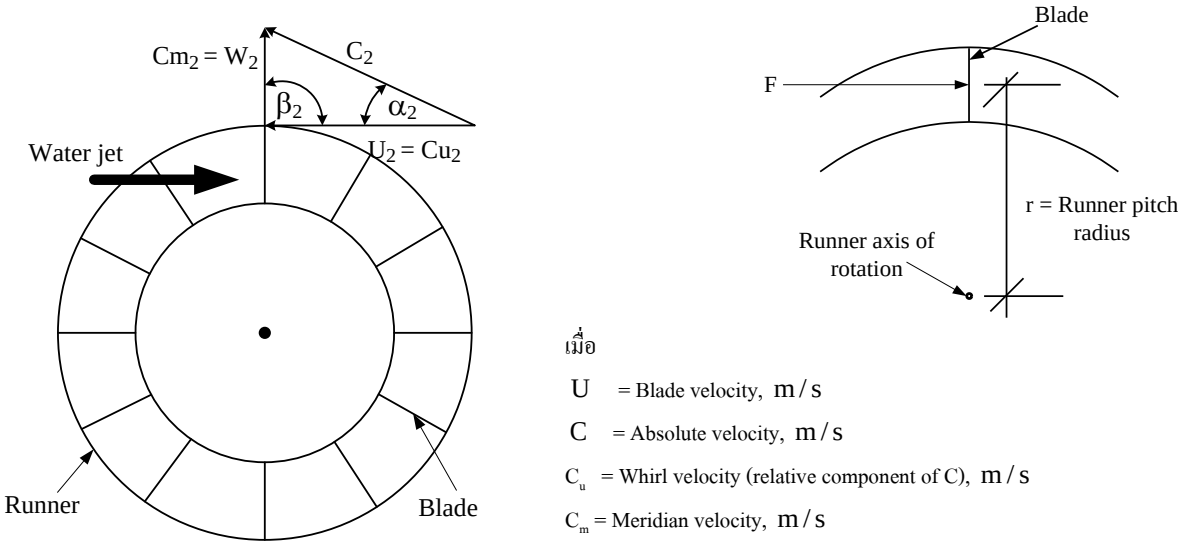



**รูปที่ 3-14** รูปร่างกังหันแบบไหลตามแนวแกนแบบใบพัด (Propeller) เพื่อการศึกษาของ ESSOM

## 3.5. อิมพัลส์เทอร์ไบน์แบบไหลตามแนวแกน (Axial flow Impulse Turbine)




**รูปที่ 3-15** รูปร่างกังหันแบบอิมพัลส์เทอร์ไบน์แบบไหลตามแนวแกน เพื่อการศึกษาของ ESSOM




เมื่อ

$U$ = Blade velocity, $m/s$

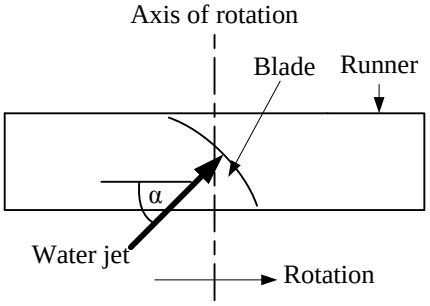
$C$ = Absolute velocity, $m/s$

$C_u$ = Whirl velocity (relative component of C), $m/s$

$C_m$ = Meridian velocity, $m/s$

$W$ = Relative velocity, $m/s$

**รูปที่ 3-16** รูปตัดด้านหน้า (Front view diagram)




**รูปที่ 3-17** รูปตัดด้านบน (Top view diagram)

สำหรับอิมพัลส์เทอร์ไบน์แบบไหลตามแนวแกน ลำน้ำจะถูกบังคับให้เข้าสู่ใบกังหันที่มุม $\alpha$ กับตัวของใบกังหัน แรงผลักที่น้ำกระทำต่อกังหัน จะทำให้เกดแรงผลัก (F) ซึ่งจะทำให้เกิดโมเมนต์กระทำบนเพลาใบจักร (Fxr) หลังจากที่น้ำเคลื่อนที่ผ่านปีกกังหันแล้วจะมีความเร็วลดลงเนื่องจากมีการถ่ายเทพลังงานบางส่วนจากน้ำไปสู่ตัวกังหันนั่นเอง

## 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 4.1. กำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องกังหันน้ำ (Turbine power input, $W_i$)

จากสมการที่ (2.1) พลังงานของน้ำที่จ่ายให้กับเครื่องกังหันน้ำต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของน้ำเป็นไปตามสมการ

เมื่อ $H_p = p/\gamma$

$W_i = Q.p$

เมื่อ $W_i$ = กำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องกังหันน้ำ, Watts

$Q$ = อัตราการไหลของน้ำ, lt. /min.

$P$ = ความดันที่ทางเข้าเครื่องกังหันน้ำ, $kg_f/cm^2$

ดังนั้น $$W_i = Q\frac{lt}{min}\times\frac{1}{60}\frac{min}{sec}\times\frac{1}{1000}\frac{m^3}{lt}\times p\frac{kg_f}{cm^2}\times 10^4\frac{cm^2}{m^2}\times 9.81\frac{N}{kg_f}$$

$$W_i = 1.635\ Qp\ \frac{N-m}{sec} = 1.635\ \ Qp\ \ Watts \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (4.1)$$

### 4.2 กำลังงานที่ได้เครื่องกังหันน้ำ (Turbine power output, $W_o$)

การทดสอบหาค่ากำลังงานที่ได้จากเครื่องกังหันน้ำสามารถกระทำได้ 2 ลักษณะ คือ

4.2.1 การทดสอบด้วยไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer Test)

กำลังงานที่เครื่องกังหันน้ำผลิตได้สามารถวัดได้ด้วยเมคคานิคอลไดนาโมมิเตอร์ ตามสมการ

$W_o = Frn$

เมื่อ $W_o$ = กำลังงานที่ได้จากเครื่องกังหันน้ำ, วัตต์

$F$ = แรงลัพธ์ที่วัดได้จากเมคคานิคอลไดนาโมมิเตอร์หรือไฮดรอลิกส์ไดนาโมมิเตอร์, กิโลกรัม

$n$ = ความเร็วรอบของไดนาโมมิเตอร์, รอบต่อนาที

$r$ = ความยาวของรัศมีของไดนาโมมิเตอร์, เมตร

ดังนั้น $$W_o = F\,kg_f\times 9.81\frac{N}{kg_f}\times r\,m.\times n\frac{rev}{min}\times\frac{2\pi\,radian(dimensionless)}{rev}\times\frac{min}{60sec}$$

$$W_o = Frn\times 2\times\pi\times\frac{9.81}{60}\frac{N-m}{sec}$$

$$W_o = 1.0273\ Frn\frac{N-m}{sec} = 1.0273Frn\ \ Watts \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (4.2)$$

ในกรณีที่ค่าแรงบิด ( torque ($T= F\times r$)) ของไดนาโมมิเตอร์สามารถวัดได้เป็น Newton-meter (N-m)

ดังนั้น $$W_o = TN-m\times 2\pi n\frac{radian(dimensionless)}{min}\times\frac{min}{60sec}$$

$$W_o = 0.10472Tn\frac{N-m}{sec} = 0.10472\,Tn\,Watts \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (4.3)$$

4.2.2 การทดสอบหาค่าพลังงานไฟฟ้า (Generator Test)

เมื่อพลังงานที่ได้จากเครื่องกังหันน้ำได้มาจากการวัดค่าภาระทางไฟฟ้า (electrical load, lamp bank) ดังนั้น

$$W_e = VxI \quad \text{Watts} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.4)$$

เมื่อ $V$ = ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า, โวลต์

$I$ = กระแสไฟฟ้า, แอมแปร์

กำลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องกังหันน้ำอาจสามารถอ่านได้โดยตรงจากวัตต์มิเตอร์

## 4.3 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ (Turbine Efficiency, $\eta$)

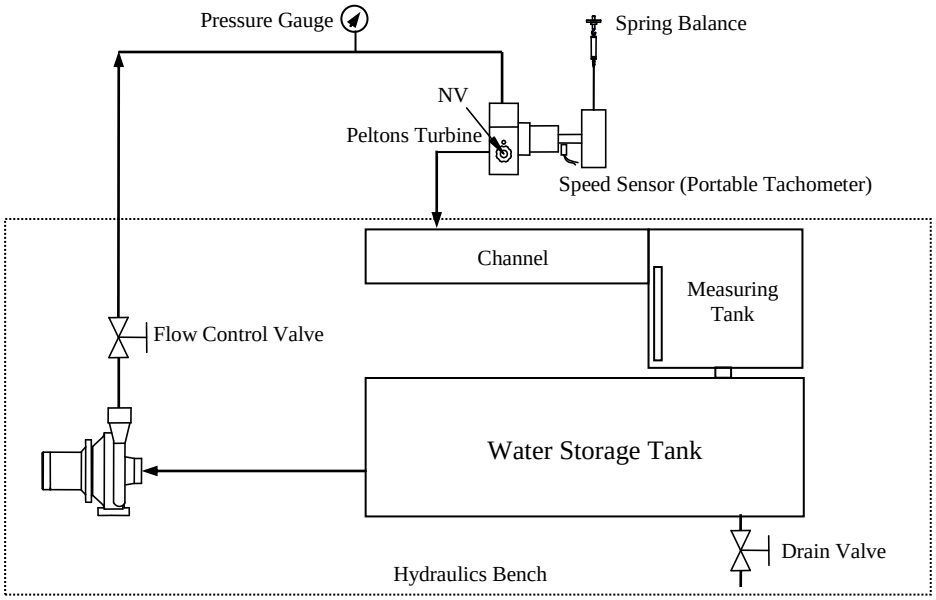
$$\eta = \frac{\text{Turbine output power}}{\text{Turbine input power}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\% \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.5)$$

เครื่องกังหันน้ำแต่ละเครื่องจะถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่าความดันของน้ำที่เคลื่อนที่เข้าไปยังเครื่องกังหันน้ำและที่ค่าความเร็วของเครื่องกังหันน้ำค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ

## 5. ลำดับขั้นตองการทดลอง

สำหรับ HB 023P ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก ในการหาค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำนั้นจะใช้โต๊ะทดลองชลศาสตร์ (อุปกรณ์เผื่อเลือก) ค่าความดันสามารถอ่านได้จากเกจวัดกำลังดัน ความเร็วของเครื่องกังหันน้ำวัดได้จากเครื่องวัดความเร็วรอบแบบเคลื่อนที่ ส่วนแรงที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์นั้นสามารถอ่านได้โดยตรงจากไดนามิเตอร์ (Spring balance)




**รูปที่ 5-1** แผนภูมิแสดงการติดตั้งชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก HB023P กับโต๊ะทดลองชลศาสตร์

### 5.1. การติดตั้งอุปกรณ์

5.1.1. ติดตั้งโต๊ะทดลองชลศาสตร์ (ดูคู่มือคำแนะนำในการใช้งานโต๊ะทดลองชลศาสตร์)

5.1.2. ปิดวาล์วระบายน้ำและลิ้นน้ำของโต๊ะทดลองชลศาสตร์

5.1.3. เติมน้ำในถังเก็บน้ำของโต๊ะทดลองชลศาสตร์ โดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับสูงสุดประมาณ 5 ซม.

5.1.4. ติดตั้งชุดทดสอบกังหันน้ำที่ด้านบนของโต๊ะทดลองชลศาสตร์โดยให้ท่อทางออกของเครื่องกังหันน้ำตรงกับแนวรางของโต๊ะทดลองชลศาสตร์

5.1.5. ต่อท่อทางออกของโต๊ะทดลองชลศาสตร์เข้ากับท่อทางเข้าของชุดทดสอบกังหันน้ำ

5.1.6. ปิดลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ (Nozzle Valve, NV) ให้สนิท

5.1.7. คลายเบรคของไดนาโมมิเตอร์โดยการคลายสกรูปรับแต่งจนไม่มีแรงกระทำกับไดนาโมมิเตอร์

5.1.8. เปิดสวิทช์ปั๊มน้ำของโต๊ะทดลองชลศาสตร์และเปิดลิ้นน้ำจนสุด ซึ่งจะทำให้อัตราไหลของน้ำเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำมีค่าสูงสุดและสร้างกำลังดันขึ้นที่ลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ (Nozzle Valve, NV)

5.1.9. ค่ากำลังดันที่ทางเข้าและความเร็วของเครื่องกังหันน้ำรวมทั้งค่าแรงบิดหรือแรงที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์จะต้องมีค่าเป็นศูนย์

**5.2. เริ่มการทดลอง**

5.2.1. เปิดลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ (NV) ทีละน้อยจนกำลังดันทางเข้าเครื่องกังหันน้ำมีค่าเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น 1.2 $kg/cm^2$

5.2.2. บันทึกผลการทดลองดังต่อไปนี้:

| | | |
|---|---|---|
| 5.2.2.1. | กำลังดันทางเข้าเครื่องกังหันน้ำ, | $kg/cm^2$ |
| 5.2.2.2. | ปริมาตรน้ำ, V | l |
| 5.2.2.3. | เวลา, t | min |
| 5.2.2.4. | ความเร็วรอบเครื่องกังหันน้ำ, n | rpm |
| 5.2.2.5. | แรงที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์, F | kg |

5.2.3. เพิ่มค่าแรงบิดที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์ให้ได้ผลต่างของตาชั่งสปริงประมาณ 0.2 kg บันทึกผลการทดลองตามข้อ 5.2.2

5.2.4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 5.2.3 โดยการเพิ่มค่าแรงบิดที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์ให้ผลต่างของตาชั่งสปริงเพิ่มขึ้นคราวละประมาณ 0.2 kg จนกระทั่งความเร็วของเครื่องกังหันน้ำลดลงเหลือประมาณ 700 รอบต่อนาที

5.2.5. ปรับค่าความดันเข้าเครื่องกังหันน้ำโดยการปิดลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ และทำการทดลองซ้ำในข้อ 5.2.2 ถึง 5.2.4

**5.3 การทดลอง Racing Characteristics**

5.3.1 คลายเบรคของไดนาโมมิเตอร์โดยการคลายสกรูปรับแต่งจนไม่มีแรงกระทำกับไดนาโมมิเตอร์

5.3.2 ทำการทดลองโดยเปิดลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ (NV) จนสุด

5.3.3 บันทึกผลการทดลองดังต่อไปนี้:

| | | |
|---|---|---|
| 5.3.3.1 | กำลังดันทางเข้าเครื่องกังหันน้ำ, | $kg/cm^2$ |
| 5.3.3.2 | ปริมาตรน้ำ, V | l |
| 5.3.3.3 | เวลา, t | min |
| 5.3.3.4 | ความเร็วรอบเครื่องกังหันน้ำ, n | rpm |

5.3.4 ปิดลิ้นควบคุมการไหลของน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำ (NV) ครั้งละรอบ บันทึกผลการทดลองตามข้อ 5.3.3

5.3.5 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 5.3.4 จนกระทั่งลิ้นน้ำปิดหมด

**5.4 การคำนวณ**

จากผลการทดลองที่ได้ คำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้:

- กำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องกังหันน้ำ
- กำลังงานที่ได้จากกับเครื่องกังหันน้ำ
- ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ

**5.5 พล๊อตกราฟ Performance Curves**

จากผลการทดลองที่ได้ทำการพล๊อตกราฟดังต่อไปนี้

- ค่าความเร็วรอบเครื่องกังหันน้ำกับค่ากำลังดันทางเข้าเครื่องกังหันน้ำเมื่อไม่มีภาระกระทำกับเครื่องกังหันน้ำ (Racing characteristic curve)
- แรงบิดของเครื่องกังหันน้ำกับความเร็วของเครื่องกังหันน้ำ
- กำลังงานที่ได้จกเครื่องกังหันน้ำกับความเร็วของเครื่องกังหันน้ำ
- ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำกับความเร็วของเครื่องกังหันน้ำ

# ตารางบันทึกผลการทดลอง

## HB 023P ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก

Tested by…………………….Date…………

Diameter of Prony brake =…………………..cm, Nozzle Diameter = …………………….mm

| Test No. | Turbine Inlet Pressure p $(kg/cm^2)$ | Volume V (l) | Time t (sec) | Dynamometer | | | | Results | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Speed n (rpm) | Force (Spring Balance) | | | Flow rate Q (l/min) | Torque T (N.m) | Power Input $W_i$ (Watt) | Power Output $W_o$ (Watt) | Efficiency (%) |
| | | | | | Left (g) | Right (g) | Net (g) | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

## 6. ตัวอย่างผลการทดลอง

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

### HB 023P ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก (Two Spring Balance Design)

Tested by…. H. Prairin……Date……14/05/09….

Diameter of Prony brake =……6…..cm, Nozzle Diameter = ……16…….mm

| Test No. | Turbine Inlet Pressure p ($kg/cm^2$) | Volume V (l) | Time t (sec) | Dynamometer | | | | Results | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Speed n (rpm) | Force (Spring Balance) | | | Flow rate Q (l/min) | Torque T (N.m) | Power Input $W_i$ (Watt) | Power Output $W_o$ (Watt) | Efficiency (%) |
| | | | | | Left (g) | Right (g) | Net (g) | | | | | |
| 1 | 1.20 | 36 | 31.72 | 1861 | 0 | 0 | 0 | 68.10 | 0 | 133.61 | 0 | 0 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1774 | 250 | 60 | 190 | 68.10 | 0.056 | 133.61 | 10.388 | 7.77 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1699 | 500 | 140 | 360 | 68.10 | 0.106 | 133.61 | 18.850 | 14.11 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1612 | 750 | 240 | 510 | 68.10 | 0.150 | 133.61 | 25.337 | 18.96 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1575 | 1000 | 340 | 660 | 68.10 | 0.194 | 133.61 | 32.036 | 23.98 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1497 | 1300 | 480 | 820 | 68.10 | 0.241 | 133.61 | 37.832 | 28.31 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1395 | 1750 | 600 | 1150 | 68.10 | 0.338 | 133.61 | 49.441 | 37.00 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 1098 | 2200 | 660 | 1540 | 68.10 | 0.453 | 133.61 | 52.112 | 39.00 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 820 | 2300 | 720 | 1580 | 68.10 | 0.465 | 133.61 | 39.929 | 29.88 |
| | 1.20 | 36 | 31.72 | 705 | 2400 | 780 | 1620 | 68.10 | 0.477 | 133.61 | 35.198 | 26.34 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1.40 | 36 | 38.37 | 1957 | 0 | 0 | 0 | 56.29 | 0 | 128.85 | 0 | 0 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1882 | 200 | 60 | 140 | 56.29 | 0.041 | 128.85 | 8.120 | 6.30 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1799 | 500 | 140 | 360 | 56.29 | 0.106 | 128.85 | 19.960 | 15.49 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1642 | 1000 | 240 | 760 | 56.29 | 0.224 | 128.85 | 38.460 | 29.85 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1545 | 1300 | 300 | 1000 | 56.29 | 0.294 | 128.85 | 47.615 | 36.95 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1422 | 1700 | 360 | 1340 | 56.29 | 0.394 | 128.85 | 58.725 | 45.58 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 1156 | 2500 | 440 | 2060 | 56.29 | 0.606 | 128.85 | 73.391 | 56.96 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 888 | 3000 | 500 | 2500 | 56.29 | 0.736 | 128.85 | 68.418 | 53.10 |
| | 1.40 | 36 | 38.37 | 765 | 3300 | 560 | 2740 | 56.29 | 0.806 | 128.85 | 64.600 | 50.14 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Note: Pump Pedrollo Model CPM 130 size 0.5 HP

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

## HB 023P ชุดทดสอบกังหันน้ำแบบเพลตันขนาดเล็ก (Two Spring Balance Design)

Tested by…. H. Prairin……Date……14/05/09….

Diameter of Prony brake =……6…..cm, Nozzle Diameter = ……16…….mm

| Test No. | Turbine Inlet Pressure p ($kg/cm^2$) | Volume V (l) | Time t (sec) | Dynamometer | | | | Results | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Speed n (rpm) | Force (Spring Balance) | | | Flow rate Q (l/min) | Torque T (N.m) | Power Input $W_i$ (Watt) | Power Output $W_o$ (Watt) | Efficiency (%) |
| | | | | | Left (g) | Right (g) | Net (g) | | | | | |
| 3 | 1.60 | 36 | 47.68 | 2035 | 0 | 0 | 0 | 45.30 | 0 | 118.50 | 0 | 0 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1922 | 300 | 60 | 240 | 45.30 | 0.071 | 118.50 | 14.216 | 12.00 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1718 | 750 | 140 | 610 | 45.30 | 0.180 | 118.50 | 32.298 | 27.25 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1633 | 1000 | 200 | 800 | 45.30 | 0.235 | 118.50 | 40.262 | 33.97 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1527 | 1300 | 260 | 1040 | 45.30 | 0.306 | 118.50 | 48.943 | 41.30 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1391 | 1600 | 320 | 1280 | 45.30 | 0.377 | 118.50 | 54.873 | 46.30 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1249 | 1900 | 380 | 1520 | 45.30 | 0.447 | 118.50 | 58.509 | 49.37 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 1019 | 2400 | 440 | 1960 | 45.30 | 0.577 | 118.50 | 61.553 | 51.94 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 846 | 2700 | 500 | 2200 | 45.30 | 0.647 | 118.50 | 57.360 | 48.40 |
| | 1.60 | 36 | 47.68 | 742 | 2800 | 560 | 2240 | 45.30 | 0.659 | 118.50 | 51.224 | 43.22 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1.80 | 36 | 70.22 | 2055 | 0 | 0 | 0 | 30.76 | 0 | 90.53 | 0 | 0 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1833 | 300 | 60 | 240 | 30.76 | 0.071 | 90.53 | 13.558 | 14.98 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1666 | 600 | 120 | 480 | 30.76 | 0.141 | 90.53 | 24.645 | 27.22 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1558 | 800 | 180 | 620 | 30.76 | 0.182 | 90.53 | 29.770 | 32.89 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1442 | 1000 | 240 | 760 | 30.76 | 0.224 | 90.53 | 33.775 | 37.31 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1334 | 1200 | 300 | 900 | 30.76 | 0.265 | 90.53 | 37.001 | 40.87 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1225 | 1400 | 360 | 1040 | 30.76 | 0.306 | 90.53 | 39.263 | 43.37 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 1104 | 1600 | 420 | 1180 | 30.76 | 0.347 | 90.53 | 40.149 | 44.35 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 980 | 1700 | 480 | 1220 | 30.76 | 0.359 | 90.53 | 36.847 | 40.70 |
| | 1.80 | 36 | 70.22 | 856 | 1780 | 540 | 1240 | 30.76 | 0.365 | 90.53 | 32.713 | 36.14 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Note: Pump Pedrollo Model CPM 130 size 0.5 HP

## 7. SAMPLE CALCULATIONS

### 7.1 ตัวอย่างผลการทดลอง จากการทดลองที่ 1 ของไดนาโมมิเตอร์แบบ Two Spring Balance แถวที่ 8

7.1.1 ปริมาตรน้ำ, V = 36 liters.

7.1.2 เวลา, t = 31.72 seconds.

$$\therefore Q = \frac{\text{Vol.}}{\text{time}} = \frac{36\ \text{l}}{31.72\text{s}} \times \frac{60\,\text{s}}{\text{l}\,\text{min}} = 68.10 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

7.1.3 กำลังดันทางเข้าเครื่องกังหันน้ำ, p = 1.2 kg/cm$^2$

7.1.4 แรงลัพธ์ที่กระทำบนไดนาโมมิเตอร์, F = 1.54 kg.

7.1.5 ความเร็วรอบเครื่องกังหันน้ำ, n = 1,098 rpm.

7.1.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไดนาโมมิเตอร์ = 6 cm.

### 7.2 กำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องกังหันน้ำ (Turbine power input, $W_i$)

จากสมการ (4.1) $W_i = 1.635pQ$

$= 1.635 \times 1.2 \times 68.10$

$= 133.61$ W

### 7.3 กำลังงานที่ได้เครื่องกังหันน้ำ (Turbine power output, $W_o$)

จากสมการ (4.2) $W_o = 1.0273\,\text{Frn}$

$$= 1.0273 \times 1.54 \times \frac{6}{2 \times 100} \times 1098$$

$= 52.112$ W

### 7.4 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ (Turbine Efficiency, $\eta$)

จากสมการ (4.5) $\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\%$

$= \frac{52.112}{133.61} \times 100$

$= 39.00\ \%$

**8. กราฟแสดงสมรรถนะของกังหัน (**Turbine Performance Curves.)

ผลการทดลองนั้นมักจะแสดงอยู่ในรูปของเส้นกราฟ เราเรียกเส้นกราฟเหล่านั้นว่า กราฟแสดงสมรรถนะของกังหัน หรือ กราฟแสดงคุณสมบัติเฉพาะของกังหัน

เส้นกราฟแสดงสมรรถนะของกังหันแบบเพลตันที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของกังหันนั้นจะเขียนจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรงและข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ ผลการคำนวณเช่น กำลังที่กังหันให้ (กำลังที่ได้จากกังหัน หรือ output power ของกังหัน) กำลังที่ให้แก่กังหัน (กำลังที่กังหันต้องการ หรือ input power ของกังหัน) และประสิทธิภาพของกังหัน นั้นสามารถหาได้จากสมการและทฤษฎีของกังหันในหัวข้อ 4 (ดูตัวอย่างการคำนวณได้ในหัวข้อที่ 7)

กราฟแสดงสมรรถนะของกังหันควรประกอบไปด้วยกราฟดังต่อไปนี้

8.1 กราฟของ แรงบิดกับความเร็วรอบ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ หรือที่ความดันหัวฉีดต่าง ๆ
โดยให้แรงบิดอยู่ในแกนตั้ง ส่วนความเร็วรอบ rpm อยู่ในแกนนอน

8.2 กราฟของอัตราการไหลกับความดันของหัวฉีด
โดยให้ความดัน p อยู่ในแกนตั้ง ส่วนอัตราการไหล Q อยู่ในแกนนอน

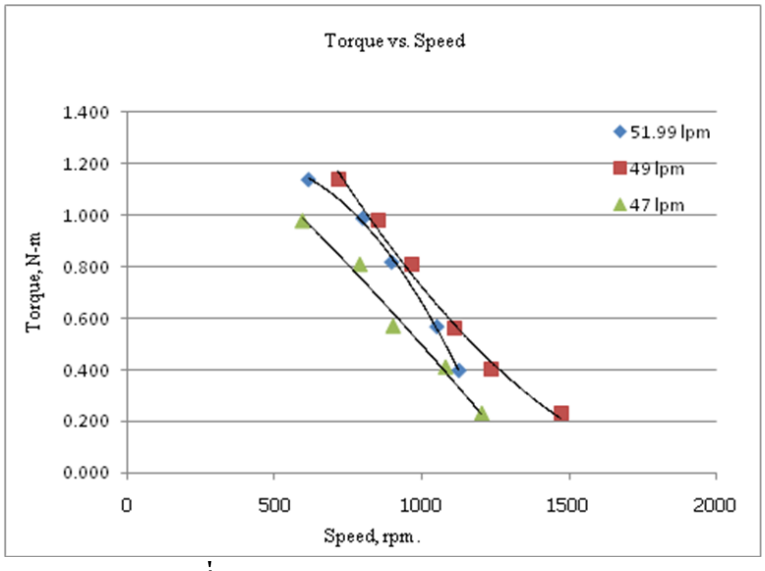
8.3 กราฟกำลังที่กังหันให้กับความเร็วรอบ ที่อัตราการไหลต่างๆ หรือความดันหัวฉีดต่าง ๆ
โดยให้กำลังที่กังหันให้ $W_o$ อยู่ในแกนตั้ง ส่วนความเร็ว rpm อยู่ในแกนนอน

8.4 กราฟประสิทธิภาพของกังหันกับความเร็วรอบ ที่อัตราการไหลต่างๆหรือความดันหัวฉีดต่างๆ
โดยให้ประสิทธิภาพ $\eta$ ของกังหันอยู่ในแกนตั้งส่วนความเร็วรอบ rpm อยู่ในแกนนอน

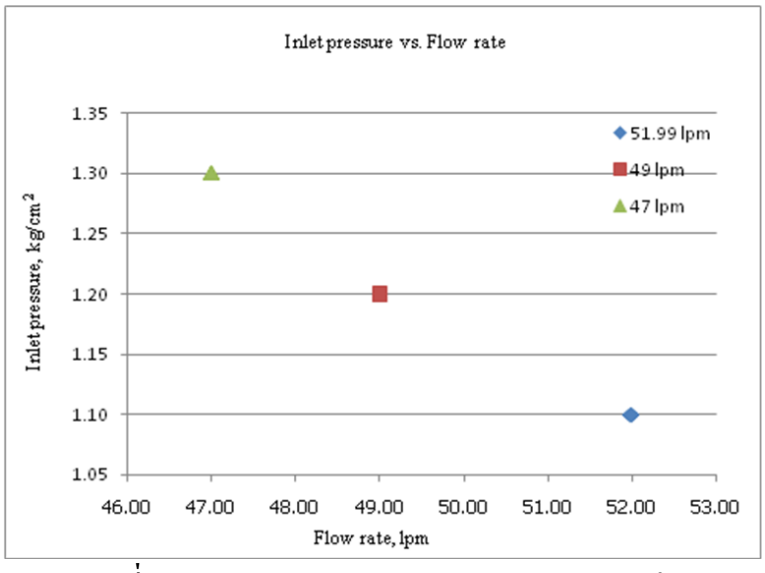
8.5 กราฟคุณสมบัติสำหรับการใช้งานของกังหันในสภาวะที่ไม่มีภาระงาน
โดยให้ความเร็วรอบ rpm อยู่ในแกนตั้งส่วนความดัน p ของหัวฉีดอยู่ในแกนนอน เมื่อกังหันทำงานโดยที่ไม่มีแรงใดๆ กระทำบนโพรนี่เบรคเลย (แขนวัดแรงของโพรนี่เบรคจะต้องอิสระโดยสิ้นเชิง)

## 9. ตัวอย่างกราฟ Performance Curve

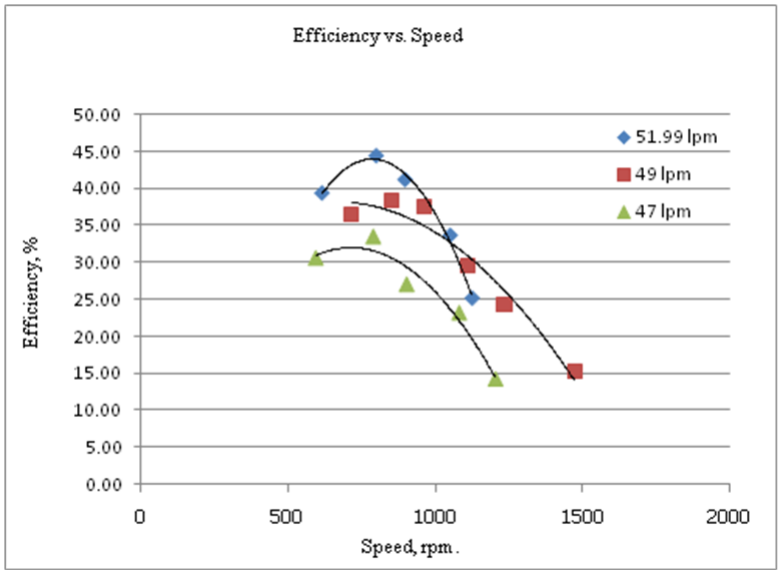
ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



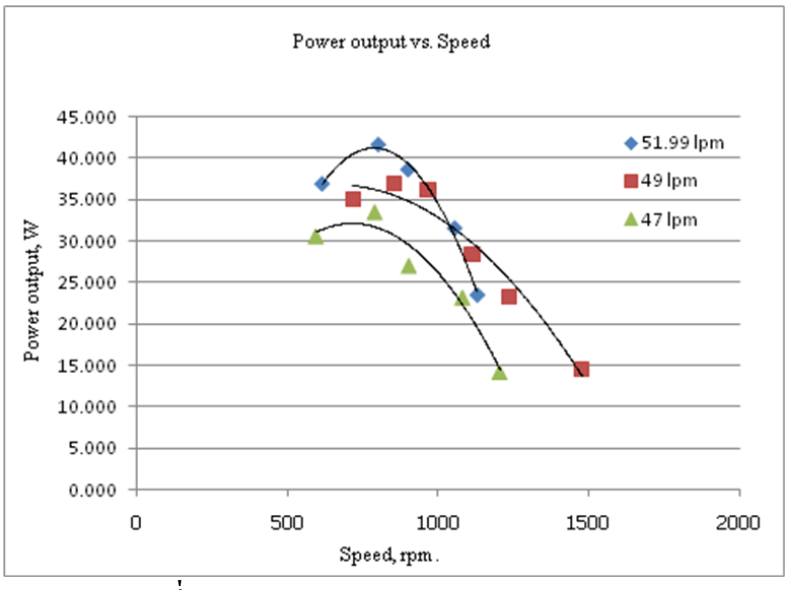

**รูปที่ 9-1** Torque (Nm) vs. Speed (rpm)




**รูปที่ 9-2** Flow rate (lpm) vs. Inlet pressure ($kg/cm^2$)




**รูปที่ 9-3** Efficiency (%) vs. Speed (rpm)




**รูปที่ 9-**4 Power output (Watt) vs. Speed (rpm)

# เอกสารแนบ 1

# MECHANICAL BRAKE DYNAMOMETER

## MECHANICAL BRAKE DYNAMOMETER

A dynamometer is an equipment for measurement of output power of a prime mover such as water, steam, hot gas or wind turbine or other engine.

The torque measuring unit may be electric, water or mechanical brake .The mechanical brake is the most simple and less expensive and is widely used for measurement of torque for small prime mover .The device uses friction of a belt or a rope to generate torque. Various types of mechanical brake used for small equipment are as per below :

### 1 Two Coil Springs

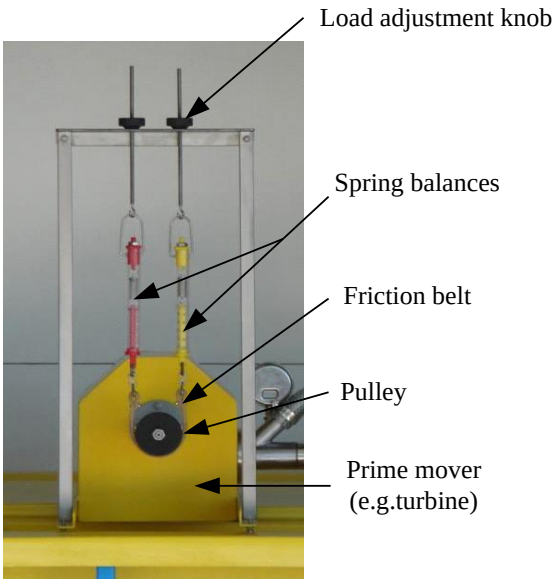
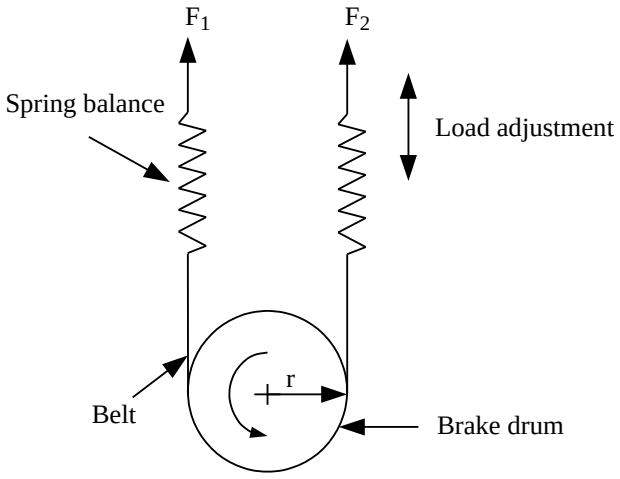



**Figure 1A** Two coil spring Brake




Torque = $(F_1-F_2)\ r$

**Figure 1B** Diagram

### 2 A Coil Springs and Calibrated Weights

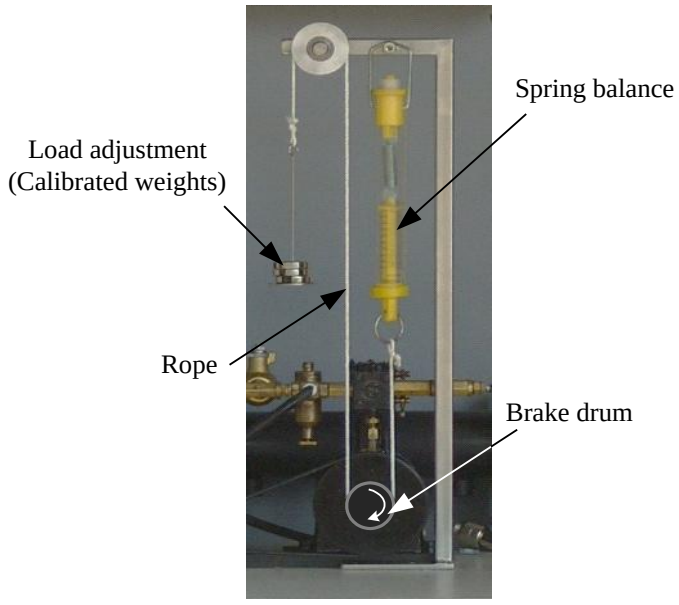
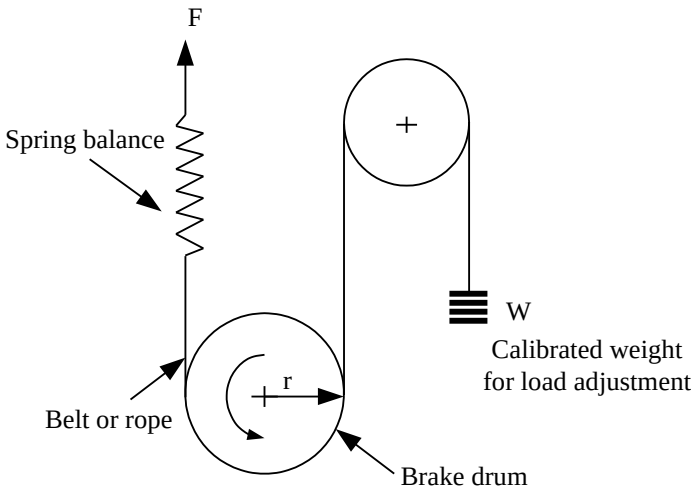



**Figure 2A** Coil Spring and Calibrated Weights




Torque = (F-W) r

**Figure 2B** Diagram

## 3 Differential Pulley Friction

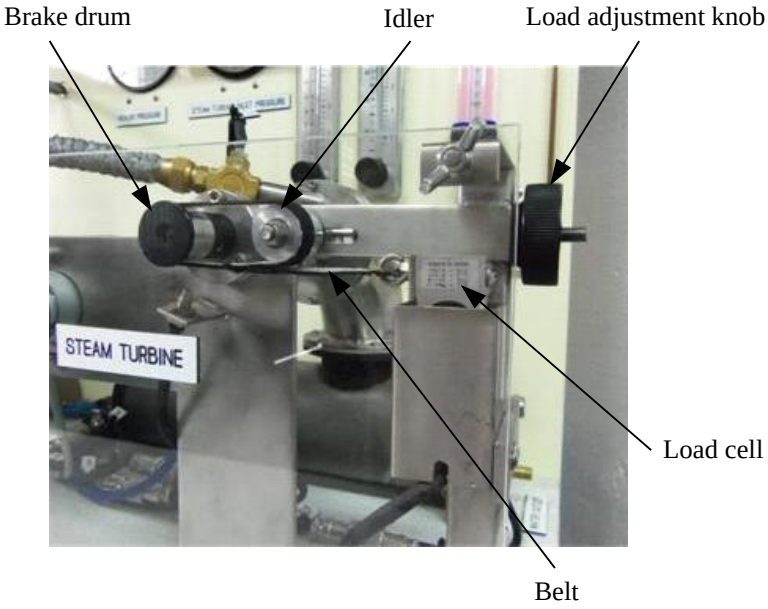
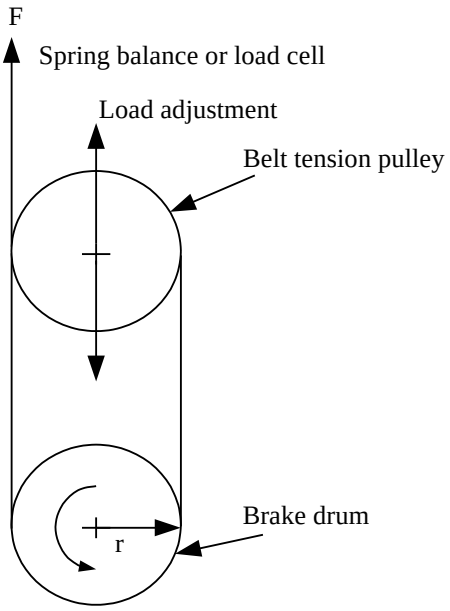



**Figure 3A** Differential Pulleys




Torque = Fxr

**Figure 3B** Diagram

## 4 Brake Drum

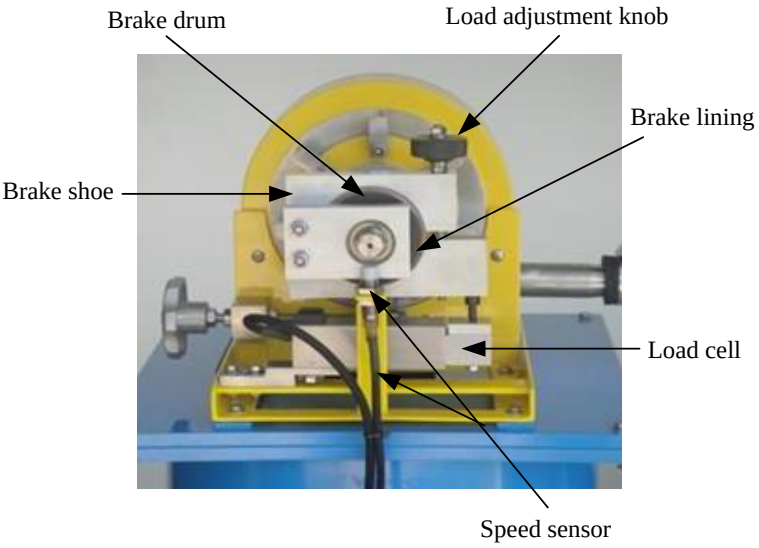
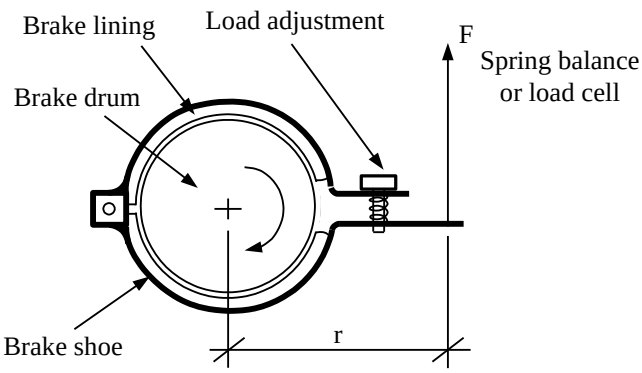



**Figure 4A** Brake Drum




Torque = Fxr

**Figure 4B** Diagram

# เอกสารแนบ 2
# การบำรุงรักษาปั๊มน้ำ

## การบำรุงรักษาปั๊มน้ำ

เมื่อใช้ปั๊ม สิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ควรจะถูกสังเกตและแก้ไข

**1) แหล่งจ่ายน้ำ**

น้ำที่ใช้ควรจะใสสะอาด น้ำยาป้องกันสนิม เช่น ที่ใช้กับรถยนต์ อาจจะถูกใช้เพื่อลดการเกิดสนิม

**2) น้ำปนเปื้อนสนิม**

**2.1** ถ้าปั๊มทำจากเหล็กหล่อ เสื้อปั๊มจะเกิดสนิมเมื่อเริ่มใช้ปั๊มน้ำนี้เป็นเรื่องปกติ

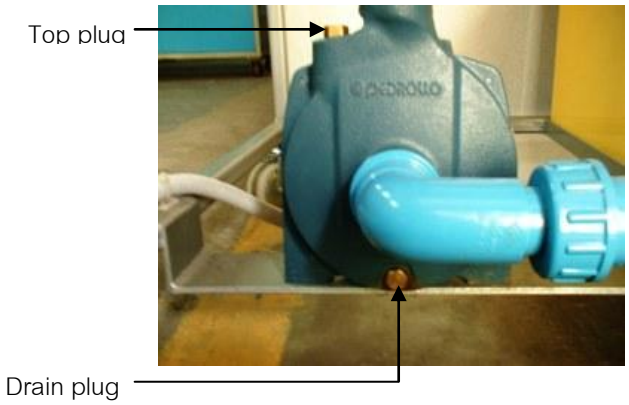
**2.2** หลังจาก 2-3 สัปดาห์ของการใช้งาน สนิมจะมีเต็มที่และจะป้องกันเสื้อปั๊มไม่ให้เกิดสนิมมากขึ้น

**2.3** น้ำไหลเวียน ควรจะถูกทิ้งออกและเอาน้ำสะอาดแทนที่

**3) การใช้ปั๊ม**

**3.1** อย่าเดินปั๊มเมื่อไม่มีน้ำ เพราะมันจะทำลายซีลปั๊ม

**3.2** ถ้าปั๊มไม่ถูกใช้เป็นเวลานาน ให้ปล่อยน้ำในปั๊มทั้งหมดทิ้งโดยเปิดปลั๊กอุดใต้เสื้อปั๊ม




**รูปที่ 1** ปลั๊กอุดที่ปั๊ม

**3.3** ก่อนเดินปั๊ม เช็คดูว่าเช็ควาล์วติดอะไรไหม และเติมน้ำให้เต็มปั๊ม

**3.4** มอเตอร์และปั๊มถูกตั้งอไลน์เม้นที่โรงงาน ถ้ามันถูกแยกจะต้องระมัดระวังเมื่อมันถูกติดตั้งเข้ากันใหม่ หรือไม่เช่นนั้นแรงสั่นจากเพลาจะทำให้เกิดความเสียหายกับลูกปืนและซีล

**4) ปั๊มติด**

การปล่อยน้ำทิ้งไว้ในปั๊มโดยไม่ได้ใช้เป็นเวลานานอาจจะทำให้ปั๊มติด (เพลาไม่หมุน) เปิดแหล่งจ่ายไฟหลักและเปิดสวิทช์เดินปั๊ม (ถ้าไม่มีการไหลให้ลองเช็ควาล์วควบคุมการไหลที่โรตามิเตอร์ว่าเปิดอยู่)

**4.1 ปั๊มแบบปรับความเร็วรอบได้**

ถ้าปั๊มไม่หมุนแสดงว่าเพลาอาจจะติด ให้ปิดสวิทช์หยุดปั๊มและเปิดปลั๊กอุดที่ด้านบนของปั๊มและหมุนเพลาด้วยไขควง เมื่อเพลาหมุนได้ ปิดปลั๊กอุดกลับที่ (ดูรูปหน้าถัดไป)

**รูปที่ 2** เปิดปลั๊กอุดด้วยไขควง

**รูปที่ 3** หมุนเพลาปั๊มด้วยไขควง

ถ้าปั๊มหมุนแต่ไม่มีน้ำไหล (เช็คให้แน่ใจว่าวาล์วควบคุมการไหลที่หน้ามาตรวัดน้ำเปิดแล้ว) อาจจะเป็นจากฟองอากาศติดอยู่ในปั๊ม ในกรณีของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนให้ต่อวาล์วปล่อยน้ำทิ้งที่อยู่ถัดจากด้านไหลออกของปั๊มกับแหล่งน้ำและเปิดวาล์วปล่อยน้ำทิ้ง และปิดวาล์วควบคุมการไหลที่อยู่หน้าโรตามิเตอร์ แหล่งน้ำจะไล่ฟองอากาศออก ปิดวาล์ว ปล่อยน้ำทิ้งและเอาสายต่อออก เดินปั๊มอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำกำลังหมุนเวียน

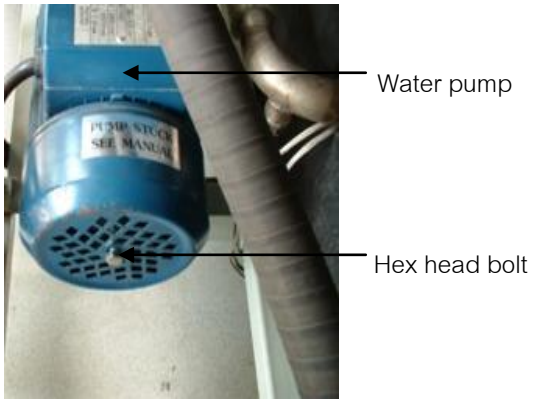
ในกรณีของ HB 030M “ชุดทดสอบปั๊มน้ำแบบขนานและอนุกรมแบบปรับความเร็วรอบได้”

- ต่อสายด้านท่อจ่ายของปั๊มไปยังท่อจ่ายน้ำของ Hydraulics Bench
- ถอดเช็ควาล์วที่อยู่ด้านดูดของปั๊มออก
- เปิดวาล์วทุกตัวและเดินปั๊มที่ Hydraulics Bench เพื่อไล่ฟองอากาศจากปั๊มของ HB 030M
- หลังจาก 1-2 นาที หยุดปั๊มที่ Hydraulics Bench และใส่เช็ควาล์วกลับเข้าที่ทันที
- ถอดสายด้านส่งของ Hydraulics Bench และเดินปั๊มของ HB 030M เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำไหลได้ปกติ

**รูปที่ 4** แสดงวาล์วปล่อยน้ำทิ้ง

**4.2 ปั๊มขนาดเล็ก**

ถ้าปั๊มไม่หมุน เมื่อเปิดสวิตช์ เพลาอาจจะติด ปิดสวิตช์เพื่อหยุดปั๊มและใช้ประแจหมุนสลักเกลียวหัว 6 เหลี่ยมที่ด้านหลังของมอเตอร์ เพื่อให้เพลาหลวมตามรูปข้างล่าง




**รูปที่ 5** แสดงสลักเกลียวหัวเหลี่ยม (Hex head bolt)

ในกรณีที่สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมตามรูปที่ 6 ไม่มี เพลาของปั๊มอาจถูกหมุนโดยการถอดปลั๊กอุดด้านใต้ (Drain plug) หรือปลั๊กอุดด้านบน (Top plug) และใช้ไขควงหมุนใบพัด (ซึ่งเพลาก็จะหมุนตาม)

**4.3 ปั๊มขนาดใหญ่**

ถ้าปั๊มขนาดใหญ่ไม่หมุน เพลาอาจจะติด ให้หยุดปั๊มและเอาฝาครอบ Coupling ออกจะเห็นเพลา ให้ใช้ประแจท่อหมุนเพลาปั๊มให้หลวม

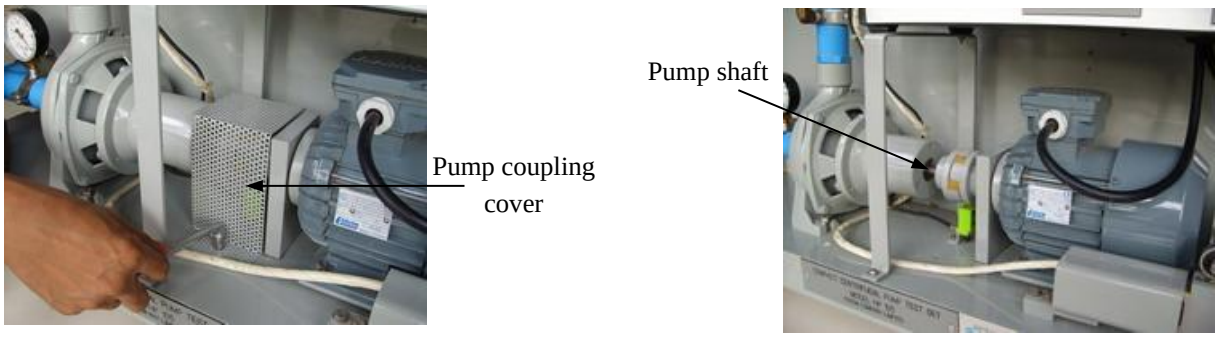



**Figure 6** Pump coupling cover and pump shaft

**5) มอเตอร์ปั๊มน้ำ**

5.1 กรณีที่มอเตอร์มาพร้อมกับห้องเกียร์ทด ให้เช็คระดับน้ำมันเป็นประจำ และเติมน้ำมันหล่อลื่นตามมาตรฐานที่กำหนด เมื่อถึงระดับ

5.2 กรณีมอเตอร์ AC การปรับความเร็วต้องเป็นไปตามคู่มือของ Inverter ในเอกสารแนบ