

### บรรณานุกรม

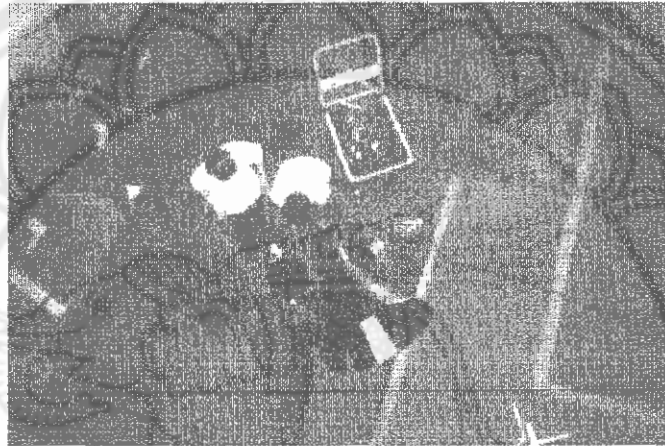
- [1] กิรติ ลีวงนุกุล. ชลศาสตร์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น
- [2] กิรติ ลีวงนุกุล. วิศวกรรมชลศาสตร์ เล่ม 2. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539
- [3] กิรติ ลีวงนุกุล. วิศวกรรมชลศาสตร์ เล่ม 3. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539
- [4] ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ วิศิษฎ์ จาตุรमान. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,
- [5] รศ.จำรุง ดันติพิศาลกุล. กลศาสตร์ของแข็ง. ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2539
- [6] ชูลิต วัชรสินธุ์. การศึกษาคความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2532
- [7] ไพโรจน์ เกรียงศิริ. ชลศาสตร์กับไมโครคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2532
- [8] ไพโรจน์ เกรียงศิริ. ชลศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [9] มนตรี พิรุณเกษตร และ สมาน เจริญกิจพูนผล. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,
- [10] ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2536
- [11] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okishi. Fundamentals Of Fluid Mechanics. 2<sup>nd</sup> ed. New York : John Wiley & Sons, 1994
- [12] Irving H. Shames. Mechanics Of Fluids. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 1992



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยพระนคร

ภาคผนวก ก.  
ภาพขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ ก-1 แสดงการประกอบเครื่องต้นแบบ



รูปที่ ก-2 แสดงการเคลื่อนย้ายเครื่องต้นแบบในขณะทำการทดลอง



รูปที่ ก-3 แสดงการปรับปรุงเครื่องต้นแบบ



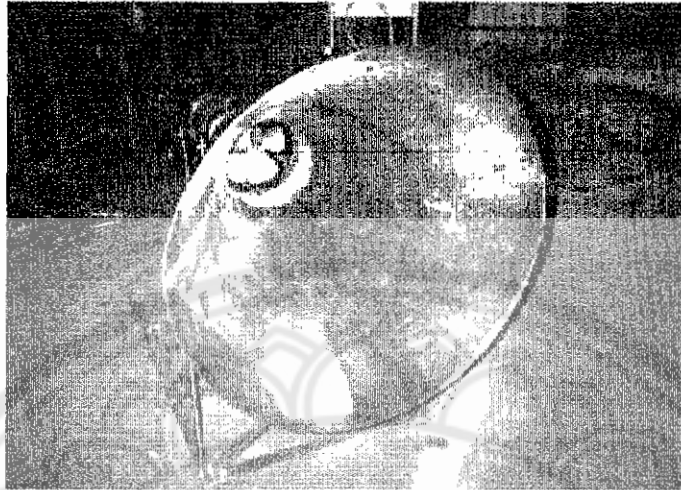
รูปที่ ก-4 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า



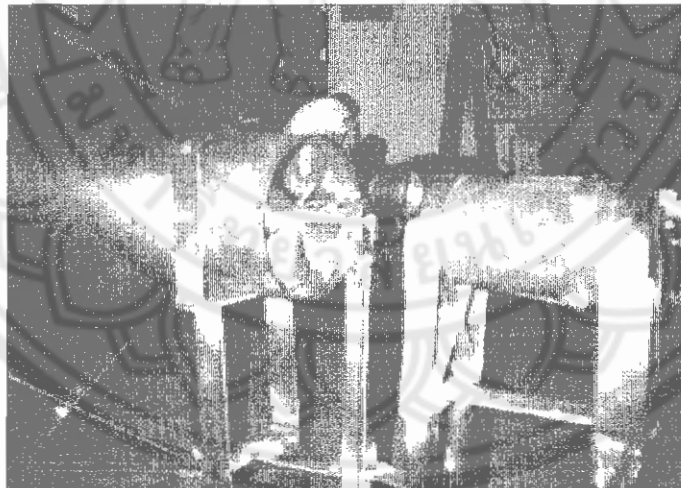
รูปที่ ก-5 แสดงแนวการไหลของน้ำ



รูปที่ ก-6 แสดงแนวการไหลของน้ำเข้ากระทบบใบจักร



รูปที่ ก-7 แสดงแบบของใบจักร 4 ใบทำจากตุมิเนียน



รูปที่ ก-8 แสดงแนวแกนของใบจักร

## ภาคผนวก ข. การวัดอัตราการไหลของน้ำ

### การวัดอัตราการไหลของแม่น้ำ

อัตราการไหลในหน้าตัดย่อย ( $Q_i$ ) หาได้จาก

$$Q_i = \bar{V}_i A_i$$

เมื่อ  $A_i$  คือพื้นที่หน้าตัดย่อยที่  $i$

ดังนั้น อัตราการไหลทั้งหมดที่ผ่านหน้าตัดลำน้ำเท่ากับผลรวมของอัตราการไหลในหน้าตัดย่อยตลอดหน้าตัดลำน้ำ คือ

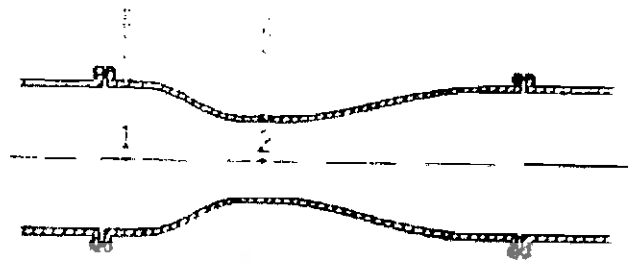
$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{i=1}^m \bar{V}_i A_i$$

ในแม่น้ำขนาดใหญ่ จะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดความเร็วกระแสน้ำได้ ถ้าใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำเพียง 1 เครื่อง แล้วหย่อนเครื่องมือ โดยการใช้เรือแล่นตัดแม่น้ำ จะมีทั้งผลของเวลาและความเที่ยงตรงต่อระยะทางที่อาจจะไม่ใช่หน้าตัดจริง เพราะขณะที่เรือแล่นตัดขวางตามหน้าตัดแม่น้ำ จะทำให้เรือมีเวกเตอร์ความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ประกอบกับการใช้เวลาที่ไม่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันในการวัด และการมีคลื่นน้ำหรือเรือลำอื่นแล่นผ่าน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ ดังนั้น ถ้าหากเป็นไปได้ ก็ควรจะใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำหลายๆ เครื่อง หย่อนลงจากสะพานพร้อมๆกัน จะได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

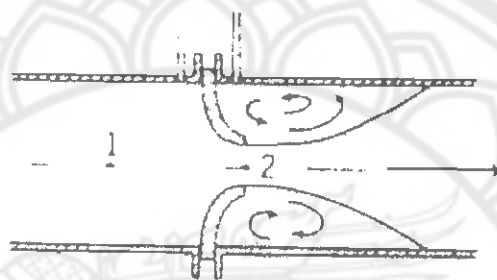
### เครื่องมือวัดผลต่างความดัน (differential head meter)

เมื่อมีการไหลในท่อจะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันลดลงที่ส่วนแคบ การลดลงของความดันระหว่างการไหลในท่อที่ไม่ถูกรบกวนการไหลผ่านส่วนแคบ จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลในท่อ เครื่องมือสำหรับวัดผลต่างความดันในท่อที่มีลักษณะเป็นเครื่องมือส่วนแคบ ได้แก่ มาตรวัดแบบเวนจูรี มาตรวัดแบบหัวฉีด และมาตรวัดแบบรูกระจายเป็นต้นแสดงดังรูปที่ ข-1

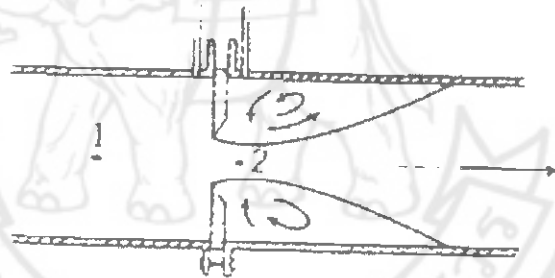
โดยที่ผลต่างจากความดันอาจวัดได้จากมาโนมิเตอร์วัดความแตกต่างของระดับปรอท หรือมาตรวัดความดัน ในการติดตั้งเครื่องมือเหล่านี้ควรมีท่อตรงที่มีความยาวอย่างน้อยเป็น 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อก่อนที่จะมีการไหลผ่านเครื่องมือ และมาตรวัดแบบเวนจูรีจะมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ 2 เครื่องมือ



(ก) มาตรฐานวัดแบบเวนจอร์



(ข) มาตรฐานวัดแบบหัวถีด



(ค) มาตรฐานวัดแบบรุษะบาย

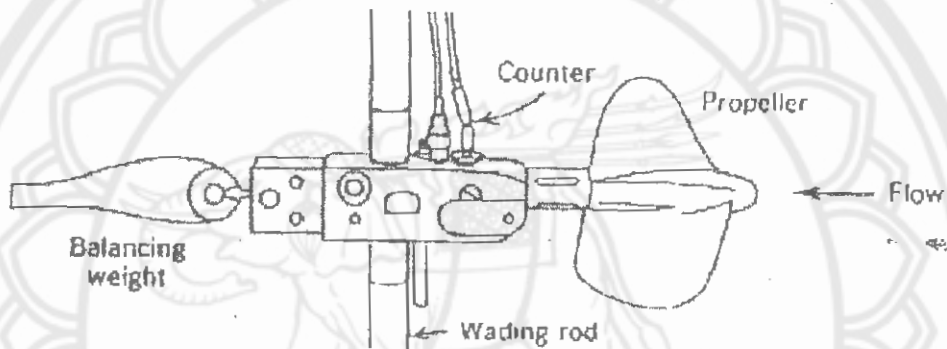
รูปที่ ข-1 เครื่องมือวัดอัตราการใช้ผลต่างความดัน



### อัตราไหลในลำน้ำ (Streamflow)

การไหลในลำน้ำเป็นส่วนหนึ่งในวงจรถูกศาสตร์ ซึ่งน้ำจากพื้นที่รับน้ำมักจะไหลรวมลงสู่ลำน้ำหลักสายเดียว ทำให้สามารถวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลออกจากพื้นที่ได้

การบันทึกอัตราการไหลในลำน้ำอย่างต่อเนื่องจะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำ (Water level) ในลำน้ำได้ สำหรับในลำน้ำขนาดเล็ก มักจะใช้ฝายน้ำล้น (weir) หรือรางวัดน้ำ (flume) ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำได้ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์หรือวัดข้อมูลจริงในสนาม



รูปที่ ข-1 เครื่องมือวัดความเร็วชนิดใบจักร

ในลำน้ำขนาดใหญ่ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำได้โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ (current meter) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ เครื่องมือวัดความเร็วชนิดใบจักรหรือใบพัด (propeller meter) และเครื่องมือวัดชนิดกรวยหมุน (price current meter) ประกอบด้วยทุ่นน้ำหนักถ่วง และกรวยหมุน โดยหลักการทำงานก็คือเมื่อหย่อนเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำลงไปที่ตำแหน่งใดๆ ในลำน้ำกรวยจะหมุนเป็นจำนวน  $N$  รอบ / เวลา ซึ่งเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ  $V$  กับจำนวน  $N$  รอบ / เวลา เป็นสมการเฉพาะ

## ภาคผนวก ก.

### ข้อมูลทางอุทกศาสตร์

ข้อมูลทางอุทกศาสตร์ มีความสำคัญและจำเป็นมากในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ โดยข้อมูลต่างๆ จะต้องอาศัยระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลค่อนข้างมาก ซึ่งสามารถแบ่งการหาข้อมูลทางอุทกศาสตร์ได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. การหาข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ในปัจจุบันมีหน่วยงานราชการหรือองค์การของรัฐหลายแห่ง ได้ติดตั้งสถานีจัดเก็บข้อมูลทางอุทกวิทยา โดยจัดเก็บเป็นข้อมูลทางสถิติ กราฟ ตาราง โดยรวบรวมไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่นกรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ กรมทรัพยากรธรณี การประปานครหลวง การท่าเรือแห่งประเทศไทย สำนักงานปฏิบัติการฝนหลวง เป็นต้น

2. การหาข้อมูลจากพื้นที่จริง โดยการออกสำรวจพื้นที่โครงการจริง ในเบื้องต้นของการปฏิบัติงาน ผู้ดำเนินการออกสำรวจ จะต้องจัดเตรียมแผนการเก็บข้อมูล เครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็น สมุดสนาม กราฟบันทึกข้อมูล กล้องถ่ายรูป การออกภาคสนามตรวจสอบออกสำรวจข้อมูลจริงทั้งในพื้นที่โครงการและพื้นที่รอบๆที่จะมีผลต่อเนื่องกับพื้นที่โครงการ

#### ปริมาณน้ำ (quantity of water)

ปริมาณน้ำ (quantity of water) ในโครงการวิศวกรรมแหล่งน้ำที่สลับซับซ้อนหลายๆโครงการ ถ้าหากมีการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ที่ดีจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ได้ดีขึ้น และเนื่องจากโครงการต่างๆ มักจะมีจุดมุ่งหมายที่จะควบคุมน้ำหรือสนใจการใช้น้ำ ดังนั้น คำถามทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่จะหามาใช้ตามวัตถุประสงค์คือ “มีความต้องการน้ำเท่าไร” ซึ่งเป็นการยากมากที่จะหาคำตอบได้ถูกต้อง จำเป็นต้องให้ความสำคัญทางด้านสังคม และเศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปกับการงานทางวิศวกรรมแหล่งน้ำด้วย

สำหรับในประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 512,870 ตารางกิโลเมตร และมีปริมาณฝนที่ตกในแต่ละปี โดยเฉลี่ยประมาณ 1,700 มิลลิเมตร ดังนั้นในแต่ละปี จะมีปริมาณน้ำที่ได้รับจากฝนประมาณ 800,000 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เมื่อหักการสูญเสียดังกล่าว เช่น การซึมลงดิน การระเหย การตก ก็จะเหลือปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่ลำน้ำประมาณ 199,200 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ในปัจจุบัน กรมชลประทานและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาแหล่งน้ำสามารถควบคุมและกักเก็บน้ำตามแม่น้ำ ลำคลอง และอ่างเก็บน้ำต่างๆ ทั้งประเทศได้ประมาณปีละ 37,740

ด้านลูกบาศก์เมตร หรือประมาณ 19% ของปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่ลำน้ำทั้งหมดในแต่ละปี ปริมาณน้ำที่ได้รับการพัฒนา

### **คุณภาพน้ำ (water quality)**

คุณภาพน้ำ (water quality) ปัจจุบันปัญหามลภาวะทางน้ำมีมากขึ้นตามความเจริญเติบโตของชุมชน การเกษตร การอุตสาหกรรม ในการศึกษาโครงการที่เกี่ยวข้องกับงานทางวิศวกรรมแหล่งน้ำ จึงต้องมีการเก็บตัวอย่างน้ำมาทดสอบคุณภาพน้ำ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ ประเทศไทยมีหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำ เช่น กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นต้น





จากรูปที่ ง-1(ก) ชุดใบจักรที่กำลังเคลื่อนที่ในของไหลขณะหยุดนิ่งไปทางซ้าย ด้วยความเร็ว  $V$  ซึ่งอาจเปรียบได้ว่าชุดใบจักรนี้หมุนนิ่งอยู่กับที่ โดยมีกระแสของของไหลจากซ้ายไปขวาผ่านชุดใบจักรนี้ กระแสของของไหลจะไหลผ่านภาคตัด 1 ด้วยความเร็ว  $V$  และจะเพิ่มความเร็วขึ้นเมื่อเข้าใกล้ใบจักรและไหลผ่านใบจักรไป สมมติให้ที่ภาคตัด 2 อยู่หลังชุดใบจักร ความเร็วของของไหลเป็น  $V_j$  สำหรับการทำงานของชุดใบจักรในของไหลที่อยู่หนึ่งนั้น ความดันที่ระยะหนึ่ง หน้าและหลังของชุดใบจักร จากรูปที่ ง-2 (ข) จะเห็นว่าลักษณะของความดันจะลดลงจาก  $P_0$  ก่อนเข้าสู่ใบจักร และจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านเข้าไปในใบจักร และจะลดลงไปเป็น  $P_0$  อีกเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพ้นใบจักรออกมาสมมติให้ของไหลที่ผ่านใบจักรมีความเร็วเพิ่มขึ้น  $\Delta P$  และไม่คำนึงถึงผลจากการหมุนของใบจักร สามารถคำนวณหาแรงผลักที่เกิดขึ้นบนใบจักรได้ดังนี้

$$T_p = \frac{\pi D^2}{4} (\Delta P)$$

จากรูปที่ ง-1 ถ้าพิจารณาที่ภาคตัด 1 ถึงภาคตัด 2 จะเห็นว่าแรงที่กระทำต่อของไหลนี้มีเพียงแรง  $T_p$  เท่านั้น เนื่องจากบริเวณที่นอกเหนือจากขอบเขต (boundary) นั้นความดันยังคงเท่ากันหมด  
ดังนั้น

$$T_p = \rho Q (V_j - V)$$

เมื่อ  $Q$  คืออัตราการไหลของของไหลผ่าน slip stream โดยการไหลใช้สมการพลังงานระหว่างภาคตัด 1 และภาคตัด 2

$$P_0 + \rho \frac{V^2}{2} + \Delta P = P_0 + \rho \frac{V_j^2}{2}$$

เมื่อ  $\Delta P$  เป็นงานที่เกิดจากใบจักรกระทำต่อของไหลใน slip stream สมการความเร็วของไหลแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} * \frac{V + V_j}{2}$$

ความเร็วของการไหลที่ผ่านใบจักรมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของความเร็วทางเข้า  $V$  และ  
ความเร็วทางออก  $V_2$

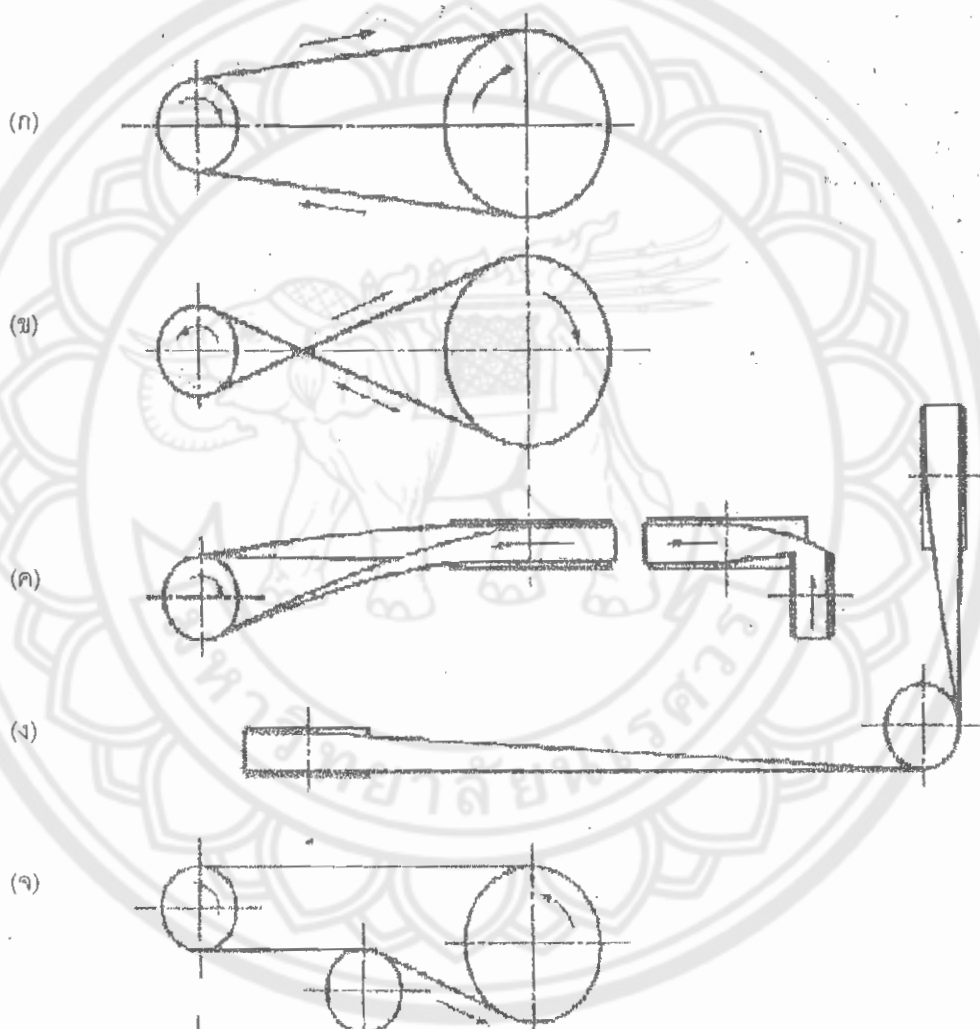


## ภาคผนวก จ.

### สายพาน

#### ลักษณะการขับเคลื่อนด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับเคลื่อนของสายพานได้ต่าง ๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนสายพานดูได้จากรูปที่ จ-1



รูปที่ จ-1 ลักษณะการขับเคลื่อนด้วยสายพาน (ก) โอเพินไดรฟ์ (ข) ครอสไดรฟ์ (ค) ควอเตอร์เทอนไดรฟ์ (ง) มิวส์ไดรฟ์ (จ) แสควการขับเคลื่อนโดยใช้ล้อช่วย

เมื่อต้องการขับเคลื่อนเพลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็ทำได้ในลักษณะดังรูปที่ จ-1 (ก) ซึ่งเรียกว่าโอเพินไดรฟ์ (open drive) และถ้าเพลาอยู่ห่างกันมาก

ควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (tight) และด้านล่างหย่อน (slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลาทิ้งสองหมุนสวนทางกันทำได้โดยใช้วิธีดังรูป จ-1 (ข) ซึ่งเรียกว่า ครอสไดรฟ์ (crossed drive) แต่การจับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานถูกัน ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้สายพานสึกหรอมากเกินไปจึงควรจะให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่าสี่สิบเท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 m/s

การจับแบบควอเตอร์เทอนไดรฟ์ (quarter turn drive) ดังรูป จ-1 (ค) ใช้เมื่อเพลาทิ้งสองตั้งฉากกัน และเพื่อป้องกันมิให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะที่ใช้งาน จึงต้องใช้สายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปมักจะต้องกว้างมากกว่าความกว้างสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ ส่วนการจับแบบมิวล์ไดรฟ์ (mule drive) ดังรูป จ-1(ง) ใช้เมื่อเพลาทิ้งสองตั้งฉากกัน แต่ไม่อาจจัดในลักษณะควอเตอร์เทอนไดรฟ์ได้ หรือเมื่อต้องการให้หมุนกลับทิศทางได้

เมื่อไม่สามารถใช้จับในลักษณะ โอพินไดรฟ์ได้ เพราะส่วนโค้งสัมผัส (arc of contact) บนล้อสายพานเล็กมีค่าน้อยเกินไป (เพราะอัตราทดสูง และล้อสายพานอยู่ใกล้กันมาก) หรือเมื่อไม่อาจทำให้สายพานตึงโดยใช้ล้อช่วย (idler) ดังรูป จ-1 (ฉ) เป็นการช่วยให้สายพานสัมผัสกับล้อมากขึ้น ซึ่งเพิ่มกำลังที่ส่งได้ด้วย ส่วนการจับแบบรีเวอร์สไดรฟ์ (reverse drive) ใช้เมื่อต้องการส่งกำลังไปยังเพลาลหลาย ๆ อันพร้อมกัน

### กลศาสตร์ของสายพานแบน

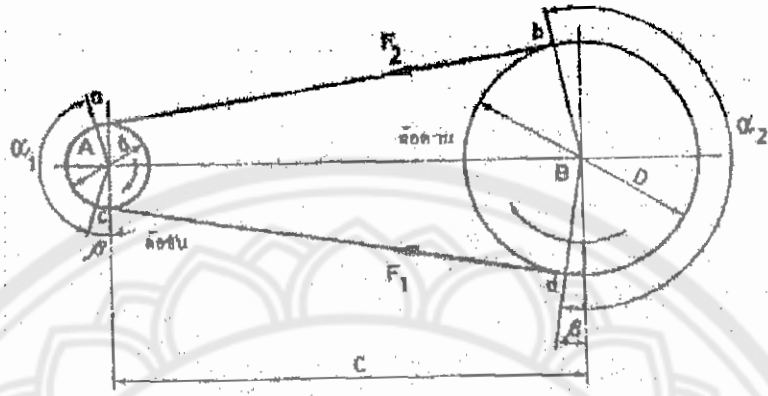
พิจารณารูปที่ จ-2 จะเห็นได้ว่าสายพานจะเกิดการยึดจากล้อสายพานหนึ่งไปยังล้อสายพานอีกล้อหนึ่ง ขณะที่สายพานหยุดนิ่งแรงดึงในสายพานจะเท่ากันตลอดทั้งเส้น เมื่อเพลาที่ติดอยู่กับล้อสายพาน A เริ่มหมุน จะเกิดโมเมนต์บิดในทิศทางตามลูกศร แต่จะเกิดการต้านทานที่ล้อตาม คือล้อสายพาน B ทำให้สายพานช่วง c-d เกิดแรงดึง และสายพานจะตึง ส่วนสายพานช่วง a-b จะหย่อน เมื่อแรงดึงในสายพานช่วง c-d เพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ  $F_1$  (แรงดึงในด้านตึง) และแรงดึงในสายพานช่วง a-b ลดลงจนมีค่าเท่ากับ  $F_2$  (แรงดึงในด้านหย่อน) แรงดึงเหล่านี้จะมีทิศทางตรงกันข้าม แต่เนื่องจาก  $F_1$  มีค่ามากกว่า  $F_2$  จึงมีแนวโน้มที่จะทำให้ล้อสายพาน B หมุนในทิศทางตามลูกศรด้วยแรงดึง  $F$  ซึ่ง

$$F = F_1 - F_2$$

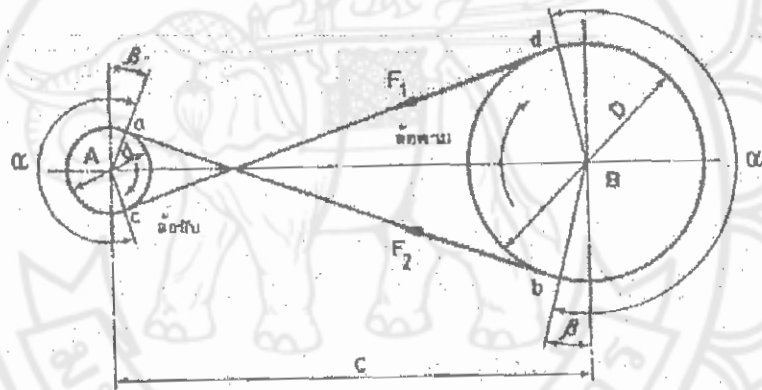
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง  $F_1$  และ  $F_2$  ขึ้นอยู่กับค่าส่วนโค้งสัมผัสของสายพานสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างสายพานกับผิวหน้าล้อสายพาน และแรงหนีศูนย์กลางในสายพาน ซึ่งจะวิเคราะห์หาค่าได้ดังนี้คือ



พิจารณาสายพานแบนความยาว  $m-n$  ดังรูปที่ จ-3 รองรับมุมที่จุดศูนย์กลางกลาง  $d\theta$  แรงที่กระทำกับสายพานยาว  $m-n$  จะประกอบไปด้วย

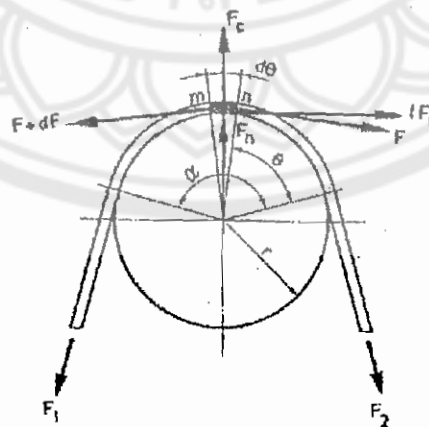


(ก)



(ข)

รูปที่ จ-2 การจับด้วยสายพาน (ก) โอพินโครว์ (ข) ครอสโครว์



รูปที่ จ-3 แรงในสายพานแบน

ถ้าสายพานมีน้ำหนัก  $w \text{ N/mm}^3$  มีพื้นที่หน้าตัด  $A \text{ mm}^2$  และถ้าสายพานมีรัศมี  $r \text{ mm}$  ดังนั้นน้ำหนักของสายพานยาว  $m - n$  คือ  $wAr d\theta$  และ

$$F_c = mr\omega^2 = (wAr d\theta)r\omega^2/g = wAv^2 d\theta/g$$

โดยที่  $\omega$  = ความเร็วเชิงมุมของล้อสายพานเป็น  $\text{rad/s}$

$v$  = ความเร็วสายพาน เป็น  $\text{mm/s}$

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก เป็น  $\text{mm/s}^2$

เนื่องจาก  $d\theta$  เป็นมุมเล็กมากจึงอาจประมาณได้ว่า  $\cos\theta = 1$  และ  $\sin\theta = \theta \text{ rad}$  ดังนั้นเมื่อรวมแรงในแนวระดับจะได้

$$fF_n = dF$$

และรวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_c + F_n = \left(F + \frac{1}{2}dF\right)d\theta$$

เมื่อกำจัด  $F_n$  ออกจากสมการทั้งสองนี้จะได้

$$dF = f\left(F + \frac{1}{2}dF\right)d\theta - fF_c = \left(F + \frac{1}{2}dF - \frac{wAv^2}{g}\right)fd\theta$$

หรือ

$$\frac{dF}{F + \frac{1}{2}dF - \frac{wAv^2}{g}} = fd\theta$$

อินทิเกรตสมการนี้จาก  $\theta = 0$  ถึง  $\alpha$  และจาก  $F = F_2$  ถึง  $F = F_1$  จะได้

$$\ln \frac{F_1 - \frac{wAv^2}{g}}{F_2 - \frac{wAv^2}{g}} = \alpha f$$

หรือ

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\alpha f}$$

โดยที่  $F_c =$  แรงหนึศูนย์กลาง  $= wAv^2/g$  เป็น  $N$

$\alpha =$  มุมสัมผัส (angle of contact) เป็น  $rad$

$f =$  ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

และกำลังที่ส่งได้โดยสายพานแบนคือ

$$W_p = (F_1 - F_2)v = Fv$$

โดยที่  $v =$  ความเร็วของสายพาน เป็น  $m/s$

การคำนวณหามุมสัมผัส  $\alpha$  และความยาวสายพาน  $L$  ในแต่ละกรณี ทำได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้คือ

สำหรับการจับแบบโอพินโครว์ ดังรูปที่ จ-2 (ก)

$$\alpha_1 = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2C} \right) rad$$

$$\alpha_2 = \pi + 2 \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2C} \right) rad$$

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2C} \right) rad$$

$$L = \left( 4C^2 - (D-d)^2 \right)^{1/2} + \frac{1}{2} (D\alpha_1 + d\alpha_2)$$

โดยที่  $C$  เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพานสำหรับการจับแบบครอสโครว์ ดังรูปที่ จ-2 (ข)

$$\alpha = \pi + 2 \sin^{-1} \left( \frac{D+d}{2C} \right) \text{rad}$$

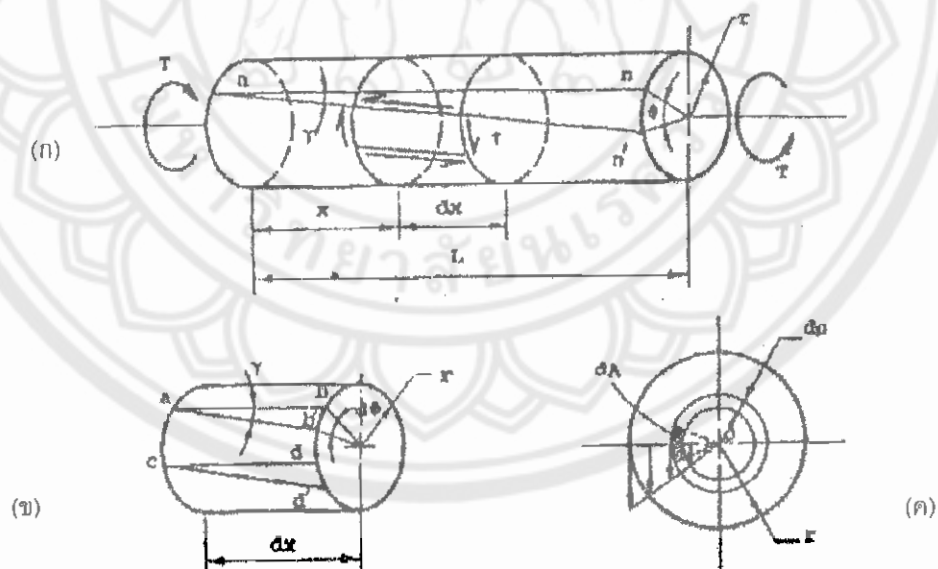
$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{D+d}{2C} \right) \text{rad}$$

$$L = (4C^2 - (D+d)^2)^{1/2} + \frac{\alpha}{2}(D+d)$$

### การบิดของเพลลา (Torsion of a Solid Circular Shaft)

เพลลากลมตันซึ่งถูกบิดด้วยโมเมนต์บิด  $T$  ที่ปลายทั้งสอง ดังรูปที่ จ-4 (ก) ในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการบิดของเพลลากลมตันมีข้อสมมติดังนี้

1. เพลลาได้รับโมเมนต์บิดอย่างเฉียว ในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนของเพลลาและภาคตัดที่พิจารณาอยู่ห่างจากบริเวณภาคตัดขวางที่รับโมเมนต์บิด
2. ภาคตัดกลมยังคงเป็นภาคตัดกลมระหว่างการบิด
3. ระนาบ (plane) ของภาคตัดยังคงเป็นระนาบไม่บิดโค้ง ในขณะที่ได้รับโมเมนต์บิด
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลงถ้าหากมุมของการบิดน้อยๆ
5. ความเค้นที่เกิดขึ้นไม่เกินขีดจำกัดสัดส่วน



รูปที่ จ-4 เพลลากลมตัน ได้รับโมเมนต์บิด

ในขณะที่เพลลาได้รับโมเมนต์บิด  $T$  ถ้าเราพิจารณาปลายด้านซ้ายมือของเพลลาอยู่กับที่ ปลายด้านขวามือจะหมุนไปเป็นมุม  $\phi$  เมื่อเทียบกับด้านซ้าย ดังรูปที่ จ-4 (ก) ในขณะเดียวกันเส้นตามยาวบนผิวของเพลลา (เส้น  $mn$ ) จะหมุนไปเป็นมุมเล็ก ๆ สู่ตำแหน่ง  $mn'$  และเอเลเมนต์ที่สัมผัสกับผิวของเพลลาจะถูกบิดให้เปลี่ยนรูปไปเป็นรูปขนมเวียกปูน ดังแสดงในรูปที่ จ-4 (ข) ความยาวของด้านของเอเลเมนต์คงที่ขณะได้รับการบิด แคนมุมของเอเลเมนต์ไม่เท่ากับ  $90^\circ$  อีกต่อไป ดังนั้นเอเลเมนต์อยู่ในสภาวะความเค้นเฉือน และขนาดของความเครียดเฉือนเท่ากับการลดมุม  $bac$  คือ

$$\gamma = \frac{bb'}{ab}$$

เมื่อระยะ  $bb'$  เป็นความยาวของส่วน โค้งเล็ก ๆ ซึ่งมีรัศมี  $r$  ที่รองรับด้วยมุม  $d\phi$  ดังนั้น

$$\gamma = \frac{rd\phi}{dx}$$

เมื่อเพลลาได้รับการบิดที่ปลายอย่างเดียวกันนั้น อัตราการเปลี่ยนมุมของการบิด ( angle of twist )  $\frac{d\phi}{dx}$  มีค่าคงที่ตลอดความยาวของเพลลา ค่าคงที่ก็คือมุมของการบิดต่อหนึ่งหน่วยความยาว แทนด้วย  $\theta$  ดังนั้น  $\theta = \frac{\phi}{L}$  ซึ่ง  $L$  เป็นความยาวของเพลลา ได้

$$\gamma = r\theta = \frac{r\phi}{L}$$

ความเค้นเฉือน  $\tau$  ซึ่งกระทำบนด้านของเอเลเมนต์ และทำให้เกิดความเครียดเฉือนมีทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ จ-4 (ก) ขนาดความเค้นเฉือนแต่ละตัว คือ

$$\tau = G\gamma = Gr\theta$$

สำหรับสถานะของของแข็งที่ระยะรัศมีใด ๆ ภายในเพลลา สามารถหาได้ในลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ผิวของเพลลา เพราะรัศมีในภาคตัดของเพลลา ยังคงเป็นรัศมีตรงและไม่เปลี่ยนรูปไป ระหว่างการบิด เราเห็นว่าเอเลเมนต์  $abcd$  ที่ผิวนอกจะยังคงถือว่าคล้ายกับเอเลเมนต์ที่รัศมี  $\rho$  ภายใน

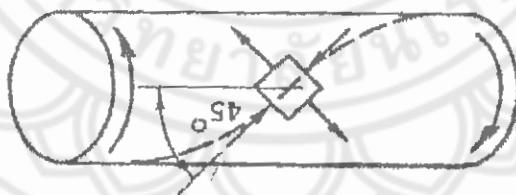
ในเข้าไป ดังรูปที่ จ-4 (ค) ดังนั้นเอเลเมนต์ที่ระยะรัศมี  $\rho$  ใด ๆ ได้รับความเค้นเฉือนล้วนเช่นกัน มีค่าความเค้นเครียดและความเค้นดิ่งนี้

สมการเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าความเครียดเฉือนและความเครียดเฉือนแปรเปลี่ยนตรงกับระยะรัศมี  $\rho$  ของเพลลา และมีค่าสูงสุดที่ผิวนอก คือ  $\rho = r$  รูปที่ จ-5 แสดงการกระจายของความเค้นเฉือนบนระนาบของภาคตัดและความเค้นเฉือนที่ประกอบกันบนระนาบตามแนวแกน

สถานะความเค้นเฉือนล้วนบนผิวของเพลลา ดังรูปที่ จ-4 (ก) เทียบได้เท่ากับความเค้นดิ่งและความเค้นอัด ซึ่งเท่ากัน กระทำบนเอเลเมนต์ที่หมุนไปเป็นมุม  $45^\circ$  กับแกนเพลลาจะได้รับความเค้นดิ่ง และอัด ดังรูปที่ จ-6 ถ้าวัสดุที่มีความต้านการดิ่งได้น้อยกว่าการเฉือน เช่น เหล็กหล่อ รอยขาดจะเกิดขึ้นตามแนววนที่เอียง  $45^\circ$  กับแนวแกนการขาดลักษณะนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ง่ายๆ จากการบิดขอลูก



รูปที่ จ-5 การกระจายของความเค้นเฉือน



รูปที่ จ-6 ความเค้นดิ่งและอัดบนเอเลเมนต์ที่ทำมุม  $45^\circ$  กับแนวแกนเพลลา

หาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิด  $T$  ที่กระทำต่อเพลลา และมุมบิดที่เกิดขึ้นจากรูปที่ จ-4 (ค) แรงเฉือนที่กระทำต่อเอเลเมนต์ที่พื้นที่  $dA$  คือ  $\tau dA$  และโมเมนต์ของแรงนี้ก็คือ  $\tau \rho dA$  โมเมนต์บิดทั้งหมดเท่ากับผลรวมของ โมเมนต์ย่อยๆ บนพื้นที่ภาคตัดดิ่งนั้น

$$T = \int \tau \rho dA$$

แทนค่า  $\tau$  จะได้

$$T = \int G\theta \rho^2 dA = G\theta \int \rho^2 dA = G\theta J$$

โดยที่

$$J = \int \rho^2 dA$$

เป็นโพลาไร โมเมนต์ของความเฉื่อย (polar moment of inertia) ของภาคตัด สำหรับวงกลมเส้นผ่าน

$$\text{ศูนย์กลาง } d, J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi r^4}{2}$$

ถ้ามุมบิดแสดงได้ดังนี้

$$\theta = \frac{T}{GJ}$$

ซึ่งแสดงว่ามุมบิดต่อหนึ่งหน่วยความยาว  $\theta$  แปรเปลี่ยนโดยตรงกับ โมเมนต์บิด  $T$  และแปรผกผันกับผลคูณของ  $GJ$  ซึ่งเรียกว่าความแข็งแรงต้านการบิด (torsional rigidity) เผลา มุมบิดทั้งหมด  $\phi$  เท่ากับ  $\theta L$  คือ

$$\phi = \frac{TL}{GJ}$$

จากค่า  $\theta$  สามารถหาค่าความเค้นเฉือนที่ผิวนอกของเพลากลมตันเมื่อได้รับ โมเมนต์บิด คือ

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J}$$

สำหรับเพลากลมตัดกลม  $\tau_{\max} = 16T/\pi d^3$

ถ้าความเค้นเฉือนสูงสุดเป็นสัดส่วนตรงกับ โมเมนต์บิด  $T$  ที่มากระทำและแปรผกผันกับโพลาไร โมเมนต์ของความเฉื่อยของภาคตัด

ถ้าความเค้นเฉือนที่ระยะรัศมี  $\rho$  ใด ๆ ในภาคตัด คือ

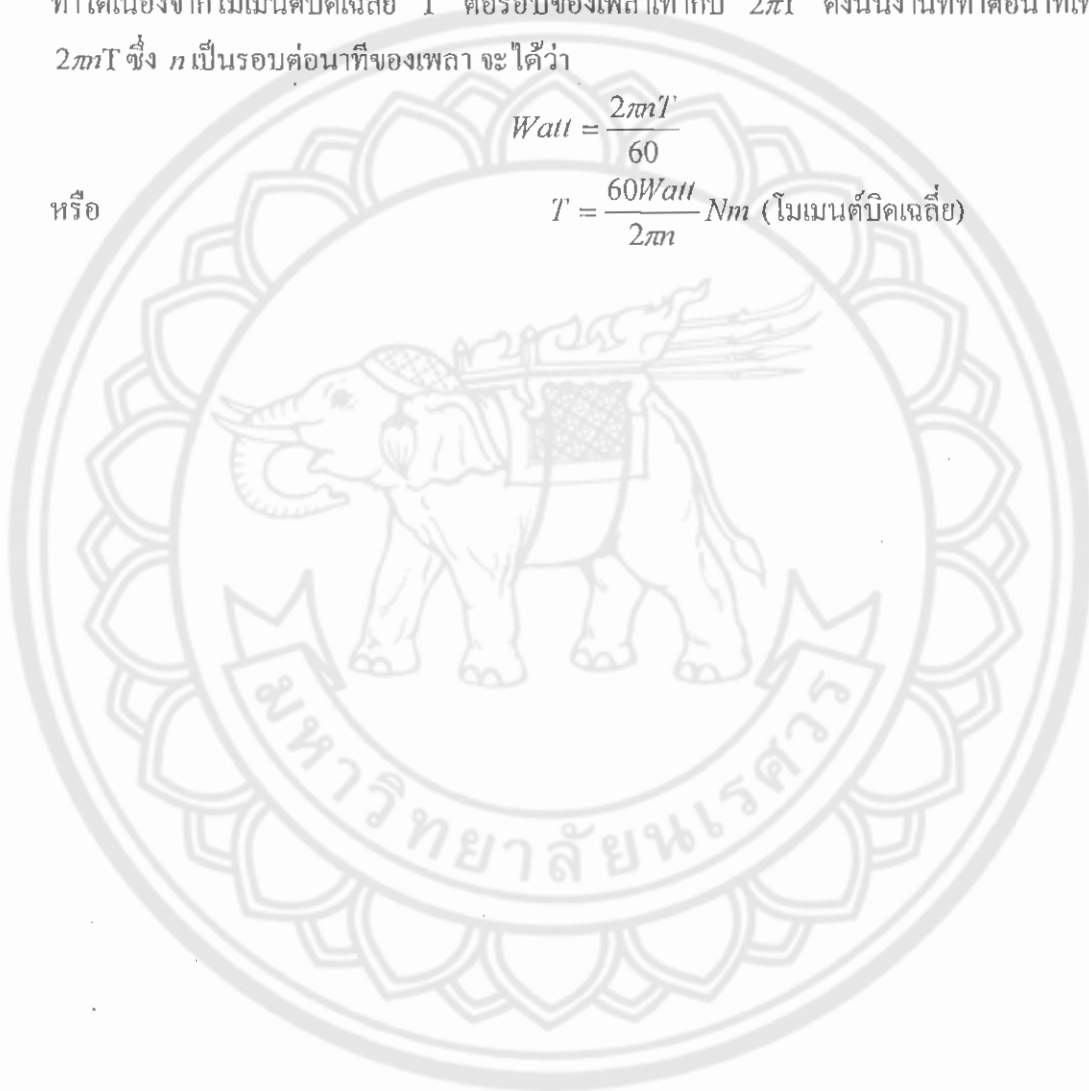
$$\tau = \frac{T\rho}{J}$$

ในทางปฏิบัติหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา โดยคำนวณจากกำลังงานที่ต้องการส่งถ่าย งานที่ทำได้เนื่องจากโมเมนต์บิดเฉลี่ย  $T$  ต่อรอบของเพลลาเท่ากับ  $2\pi T$  ดังนั้นงานที่ทำต่อนาทีเท่ากับ  $2\pi nT$  ซึ่ง  $n$  เป็นรอบต่อนาทีของเพลลา จะได้ว่า

$$\text{Watt} = \frac{2\pi nT}{60}$$

หรือ

$$T = \frac{60 \text{ Watt}}{2\pi n} \text{ Nm (โมเมนต์บิดเฉลี่ย)}$$





ตาราง จ-1 ปริมาณน้ำท่าโดยเฉลี่ยในประเทศไทย

ภาค	พื้นที่ (ตร.กิโลเมตร)	ปริมาณน้ำที่ได้รับ จากฝน (ล้าน ลบ.ม./ปี)	ปริมาณน้ำผิวดินที่เหลือจาก การสูญเสียจะไหลลงสู่ลำน้ำ (ล้านลบ.ม./ปี)
เหนือ	169,640	217,150	65,200
กลาง	30,130	38,280	7,700
ตะวันออกเฉียงเหนือ	168,840	246,500	36,700
ตะวันออก	34,280	73,360	22,000
ตะวันตก	39,840	60,560	18,200
ใต้	70,140	164,150	49,400
รวม	512,870	800,000	199,200

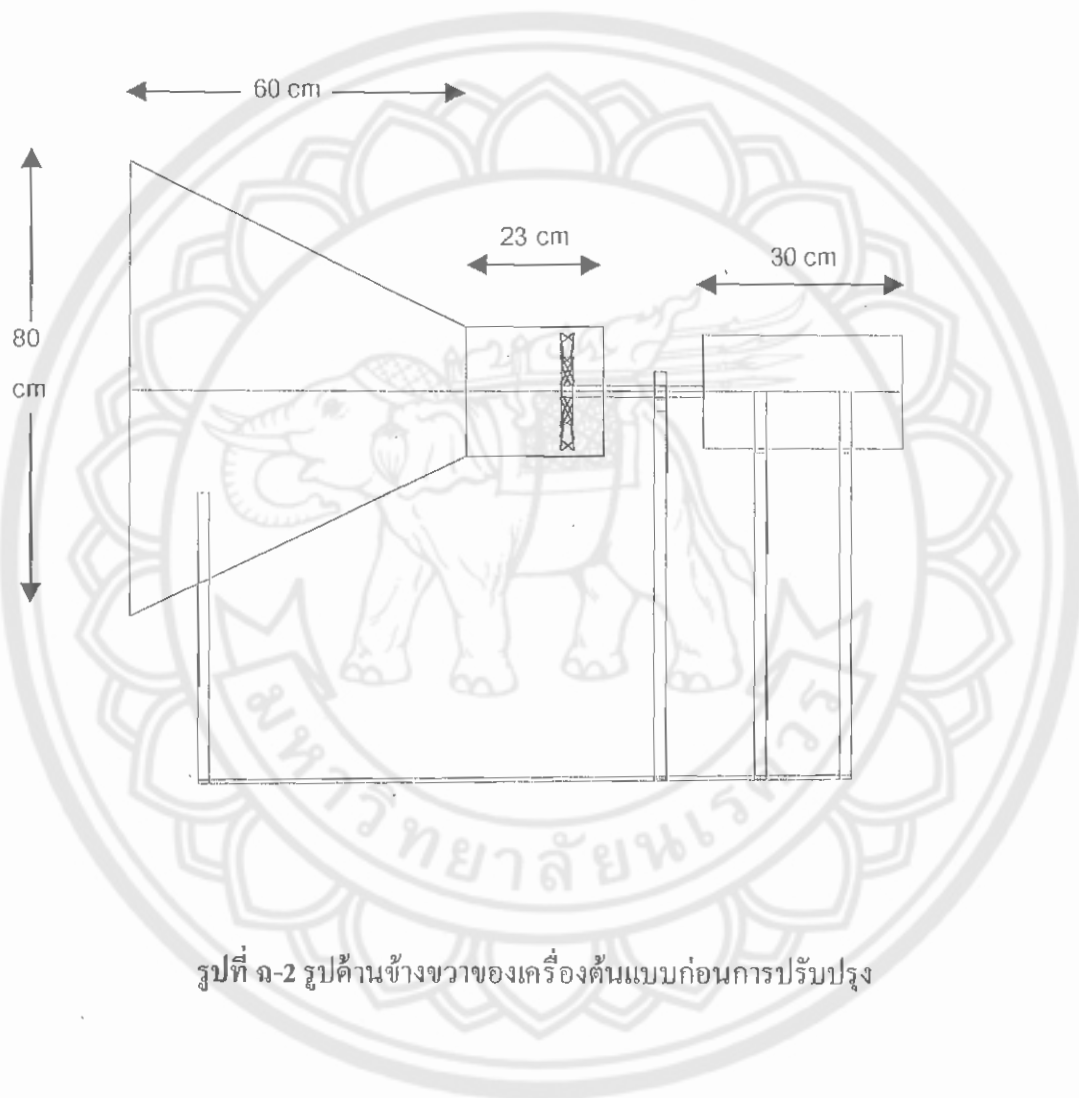
ตาราง จ-2 ปริมาณน้ำที่ได้รับการพัฒนา สำหรับพื้นที่ชลประทานในภาคต่างๆ

ภาค	ปริมาณน้ำที่สามารถ เก็บเพื่อนำไปใช้งานได้ (ล้านลบ.ม./ปี)	% ของน้ำท่าที่มีใน แต่ละภาค	พื้นที่ชลประทาน (ล้านไร่)
เหนือ	13,960	21	3.9
กลาง	250	3	
ตะวันออก	470	2	12.6
ตะวันตก	11,090	61	
ตะวันออกเฉียงเหนือ	7,780	21	3.3
ใต้	4,190	9	1.9
รวม	37,740		21.7

ภาคผนวก จ.  
เครื่องต้นแบบก่อนปรับปรุง



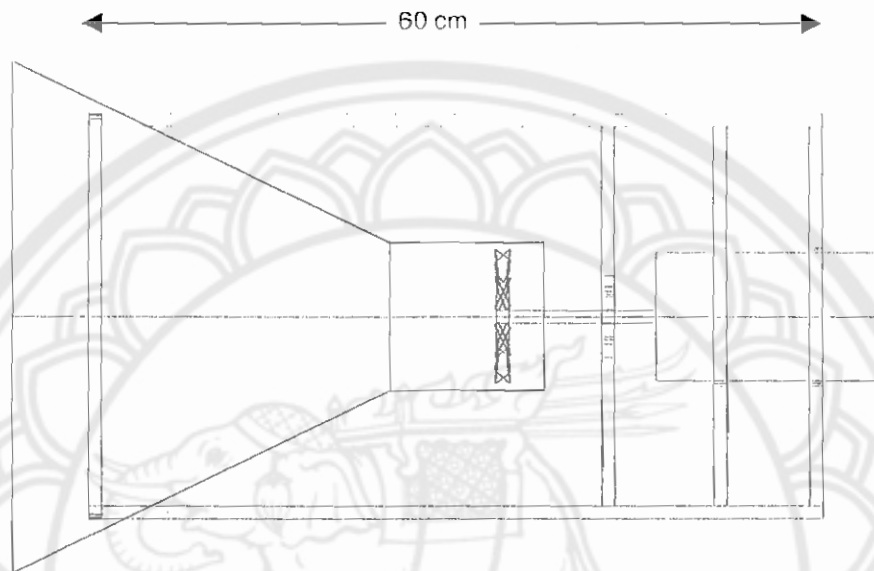
รูปที่ จ-1 รูป 3 มิติของเครื่องต้นแบบก่อนการปรับปรุง



รูปที่ ๑-2 รูปด้านข้างขวาของเครื่องต้นแบบก่อนการปรับปรุง

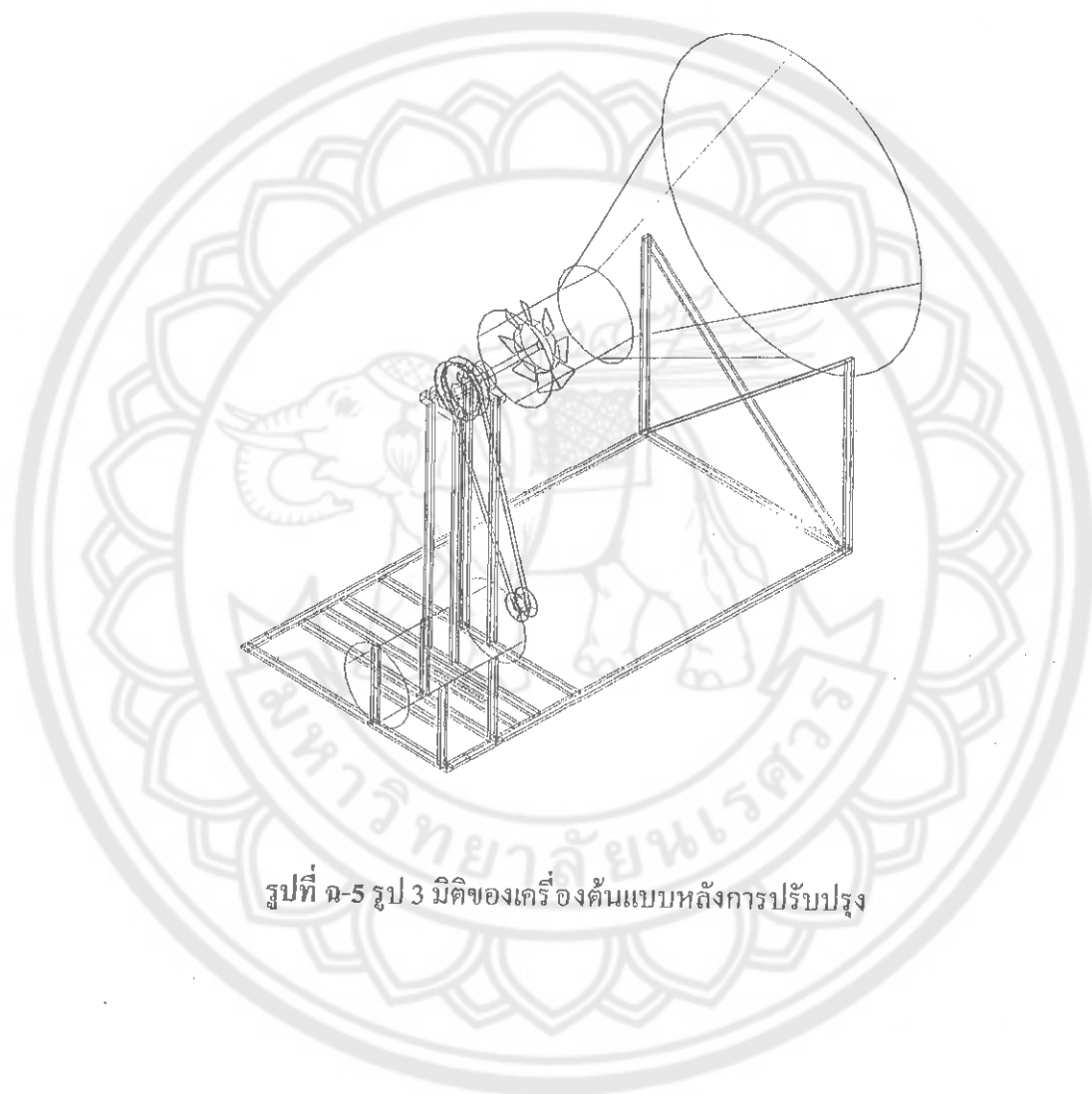


รูปที่ ๓-3 รูปด้านหลังของเครื่องคันแบบก่อนการปรับปรุง

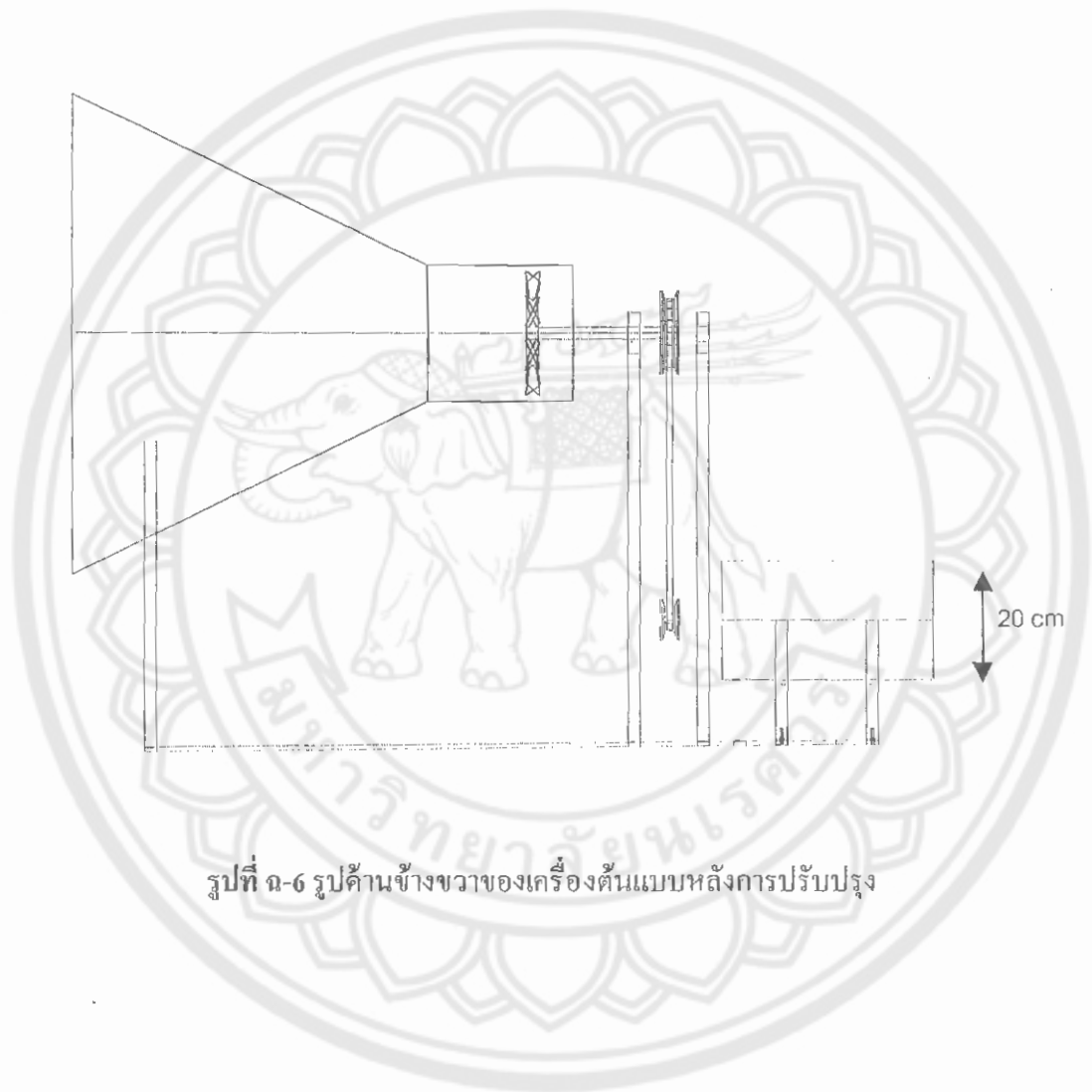


รูปที่ ๑-4 รูปด้านบนของเครื่องคั้นแบบก่อนการปรับปรุง

## เครื่องต้นแบบหลังการปรับปรุง



รูปที่ ๓-5 รูป 3 มิติของเครื่องต้นแบบหลังการปรับปรุง

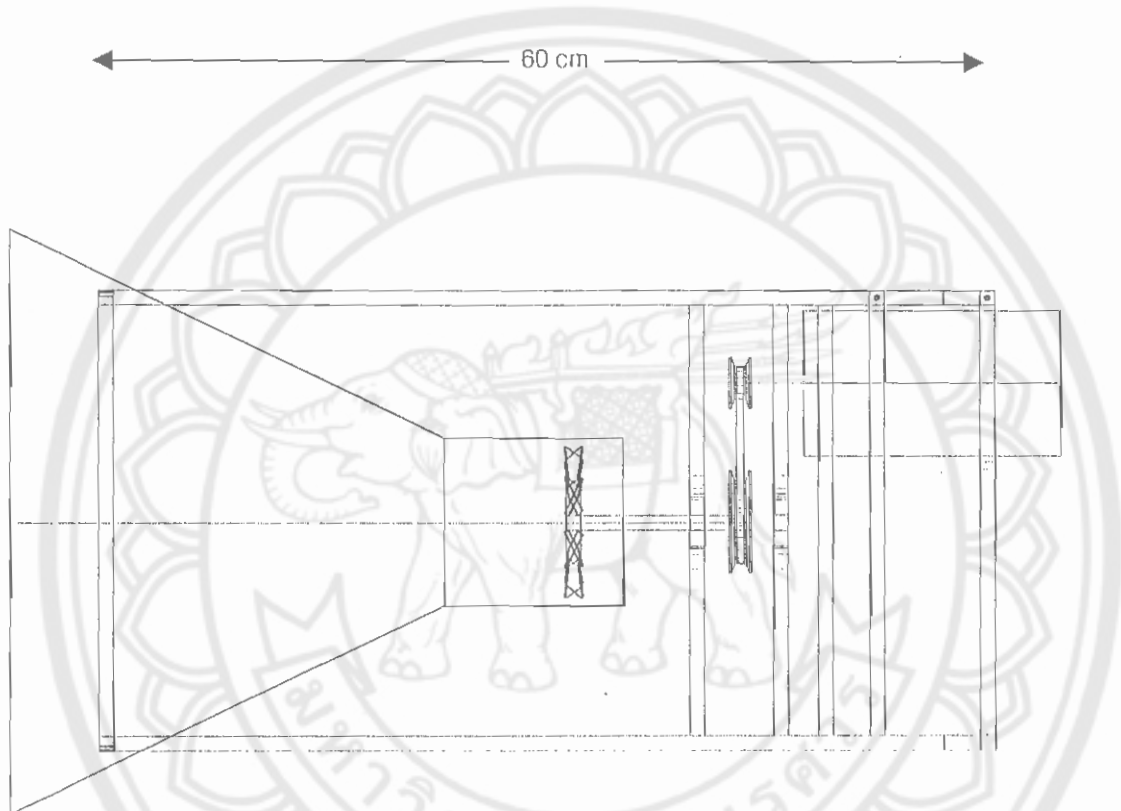


รูปที่ ๓-6 รูปด้านข้างขวาของเครื่องต้นแบบหลังการปรับปรุง



รูปที่ ๗-7 รูปด้านหลังของเครื่องคันแบบหลังการปรับปรุง





รูปที่ ๘-8 รูปด้านบนของเครื่องต้นแบบหลังการปรับปรุง