การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงบูรณการองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับกลุ่มวิชาการทางด้านสาขาชลศาสตร์ปัญหาหลักของการพัฒนาปั๊มน้ำพลังงานทดแทนคือการนำพลังงานชนิดอื่นเข้ามาใช้งาน ตัวแปรสำคัญคือสภาพสิ่งแวดล้อมและภูมิประเทศ ซึ่งจะเป็นตัวแปรกำหนดว่าจะต้องใช้พลังงานใดเข้ามาทดแทน ปั๊มน้ำพลังงานทดแทนจะต้องนำเอาพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาใช้ เช่น พลังงานลม ความเร็วน้ำ แสงอาทิตย์ หรือ คลื่น เพื่อมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการผลักดันให้สามารถปั๊มน้ำขึ้นที่สูงได้

เครื่องปั๊มน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวที่มีพลังงานเพิ่มขึ้นนั้นสามารถไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีระดับพลังงานสูงกว่าได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องจักรกล เครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆ

เครื่องปั๊มน้ำพลังงานทดแทนมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันตามกระบวนการสะสม รวบรวมและแปลงแปลี่ยนพลังงานจากแหล่งอื่นเพื่อนำมาเป็นพลังงานเพิ่มให้กับน้ำที่ต้องการจะปั๊มขึ้นที่สูง ซึ่งพลังงานจากแหล่งอื่นที่ใช้ทดแทนการใช้เครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมันเป็นพลังงานที่ขับเคลื่อน ในตามธรรมชาติพลังงานเหล่านี้มีขนาดและปริมาณแตกต่างกันตามสถานที่

2.1 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ

2.1.1เครื่องปั๊มน้ำน้ำที่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง

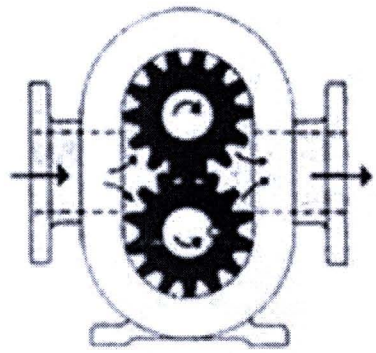
เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากมอเตอร์ไฟฟ้า หรือพลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น

2.1.1.1ประเภทเครื่องปั๊มน้ำแบบโรตารี่ (Rotary Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบโรตารี่(Rotary Pump)เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี่เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลางของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการ

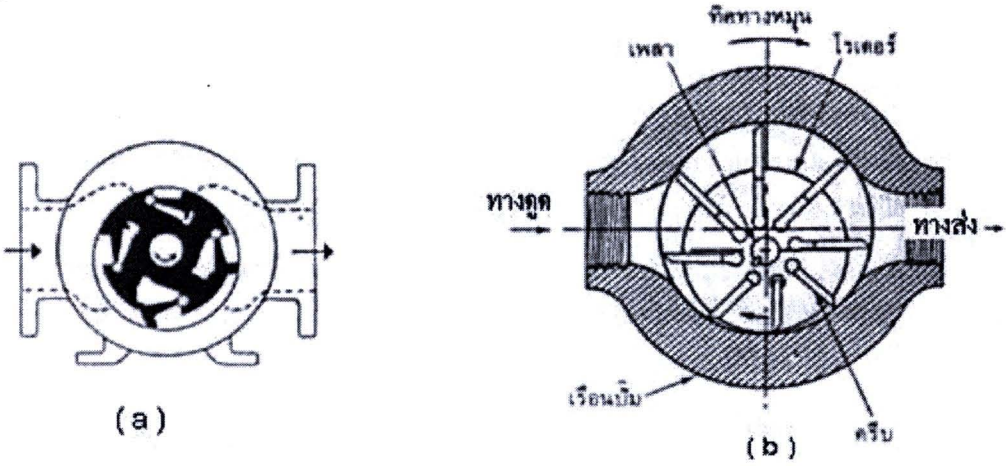
หมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่ายตัวอย่างของเครื่องสูบน้ำประเภทนี้ได้แก่ (วิบูลย์,2529)

1. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดเฟือง (Gear Pump) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบของเหลวทางด้านดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางด้านจ่าย(วิบูลย์,2529)



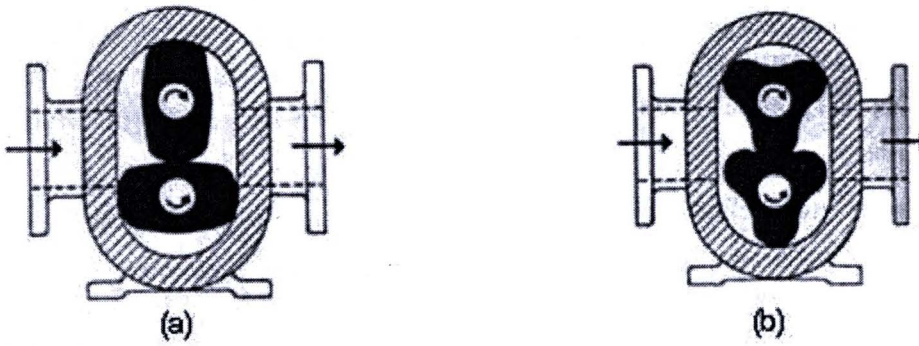
ภาพที่ 2.1 เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดเฟือง(Gear Pump)(ที่มา:วิบูลย์,2529)

2. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดครีบ(Vane Pump) เครื่องสูบน้ำแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกันวางเยื้องศูนย์ให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่ายรอบๆโรเตอร์จะมีครีบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบเมื่อโรเตอร์หมุนครีบเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่ายมีข้อดีกว่าชนิดเฟืองคือการสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมากเพราะครีบสามารถเลื่อนออกมาจนชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท (วิบูลย์,2529)



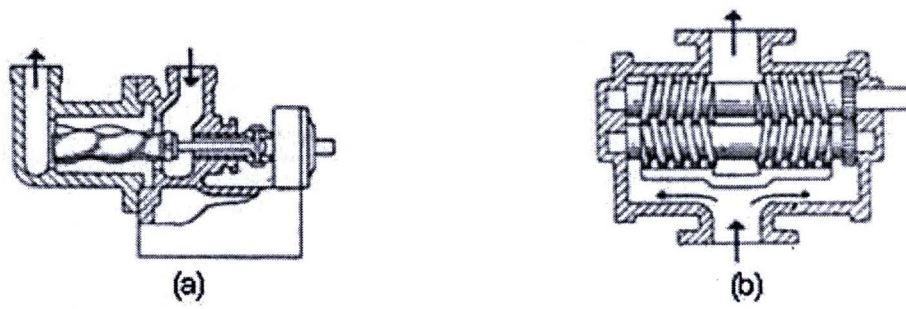
ภาพที่ 2.2เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดครีบ (Vane) (ที่มา : วิบูลย์,2529)

3. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดลอน (Lobe Pump) มีลักษณะเหมือนชนิดเฟืองแต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพูสองถึงสี่ลอนช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้างอัตราการสูบจึงสูงกว่าแต่การถ่ายทอดกำลังหมุนของชนิดลอนมีประสิทธิภาพต่ำมากจึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.3เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดลอน (ที่มา:วิบูลย์,2529)

4. เครื่องสูบน้ำโรตารี่ชนิดสว่าน (Screw Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่ายจำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว (วิบูลย์,2529)



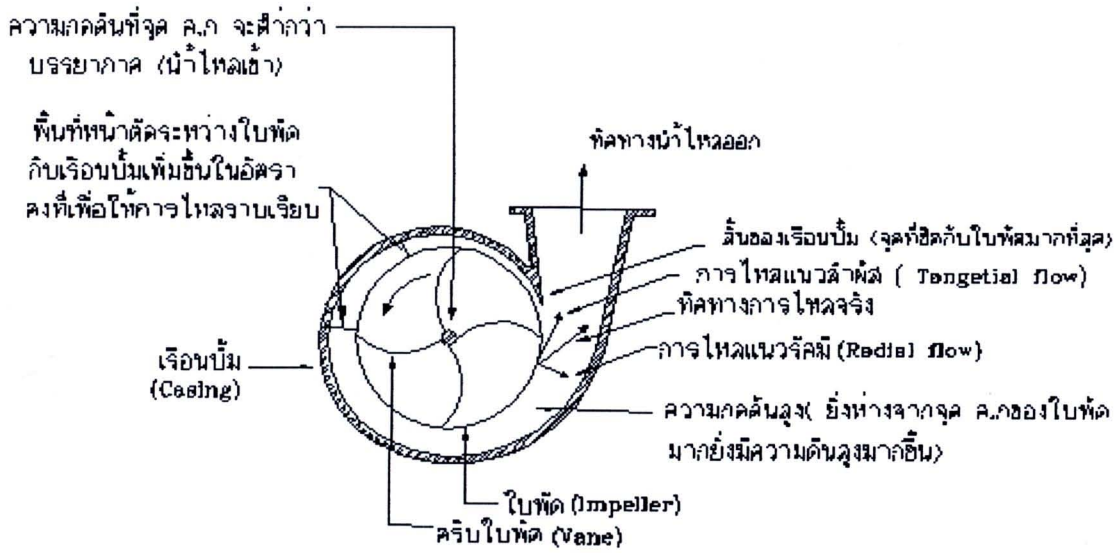
ภาพที่ 2.4เครื่องสูบน้ำโรตารี่แบบสว่าน (Screw Pump) (a) สว่านเดียว (Singer Screw) (b) สองสว่าน (Two Screw)(ที่มา:วิบูลย์,2529)

2.1.1.2ประเภทเครื่องปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง

บางครั้งเรียกว่าแบบRoto–dynamic นิยมใช้ในการสูบน้ำสารหล่อลื่นสารละลายเคมีเป็นต้นมีประสิทธิภาพในการสูบถึง 90% สามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนเครื่องสูบน้ำ จะทำให้เกิดการขับดันของไหลเรียกว่าโรเตอร์หรือใบพัด(Impeller) ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) ให้อยู่ในรูปความดันสถิตของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้า ซึ่งขนานกับพื้นระนาบและถูกผลักดันออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์

กลไกการส่งผ่านพลังงานจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบเกิดการขับดันของไหลให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่งดังนั้นของไหลที่ถูกขับดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง(วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วๆไปของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง(Centrifugal Pump)(ที่มา: วิบูลย์,2529)

เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง(Centrifugal Pump)สามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้

1. แบบ Volute เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแรงดันต่ำให้ความดันด้านปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรของความสูงระดับน้ำ

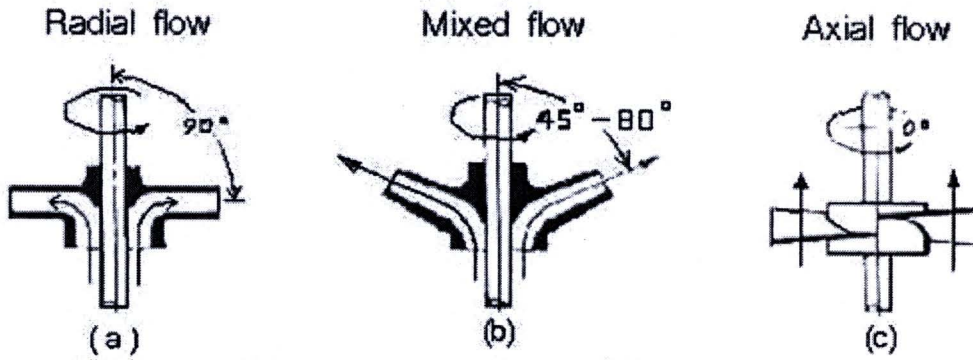
2. แบบ Diffuser เป็นเครื่องสูบน้ำแรงดันปานกลางมีลักษณะเหมือนเครื่องสูบน้ำแบบ Volute แต่มีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆเรือนของเครื่องสูบน้ำและยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของของไหลเพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น

3. แบบ Regenerative turbine เป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแรงดันสูงภายในมีชุดใบพัดหลายใบติดอยู่บนเพลาเดียวกันใบพัด 1 ชุดเรียกว่า 1 สเตจของไหลที่ถูกสูบเมื่อไหลออกมาจากสเตจที่หนึ่งก็จะถูกส่งไปยังสเตจต่อๆไป

4. แบบ Radial Flow จะอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของเหลวจะไหลออกจากใบพัดในทิศทางตั้งฉากกับเพลาซึ่งใบพัดชนิดนี้จะให้ Head มากกว่า แบบ Mixed flow และ Axial flow แต่จะให้ Flow จะน้อยกว่า

5. แบบ Axial flow เครื่องสูบน้ำแบบนี้ของไหลจะไหลในแนวแกนเพลาขับสามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยนิยมใช้มากในโรงงานที่ต้องการเฮดความดันต่ำแต่มีอัตราการไหลสูง

6. แบบ Mixed flow เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะทำให้การไหลทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีของใบพัดทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้นซึ่งจะช่วยในการขับดันของไหลนิยมใช้กับงานที่ต้องการเฮดความดันต่ำๆแต่มีอัตราการไหลสูง(วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.6 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (b)ในแนวทำมุมเอียงกับเพลา (Mixed flow) และ (c) ในแนวขนานกับเพลา (Axial flow)(ที่มา:วิบูลย์,2529)

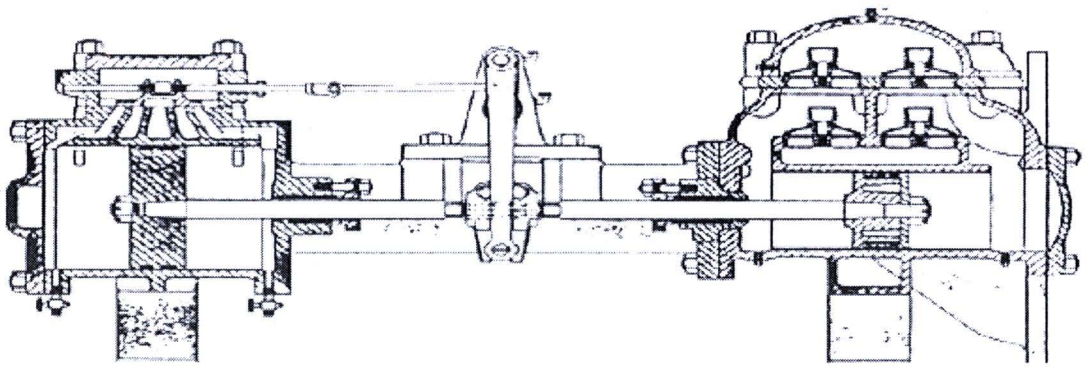
2.1.1.3 ประเภทเครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating Pump) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้นเหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนักแต่ต้องการเฮด

ในระบบที่สูงของเหลวที่สูบจะต้องมีความสะอาดไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอการอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะไม่ต่อเนื่องทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation) แบ่งออกได้ดังนี้

1.แบบขับดันโดยตรงใช้น้ำมันไฮดรอลิกหรือไอน้ำเป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ลูกสูบเคลื่อนที่อัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้นมีทั้งแบบลูกสูบเดียว (Simplex) และแบบ Duplex (ด้านซ้ายของภาพที่ 2.7) เป็นส่วนที่ไอน้ำเข้าและ(ด้านขวาของภาพที่ 2.7)เป็นส่วนที่ของไหลออก (วิบูลย์,2529)

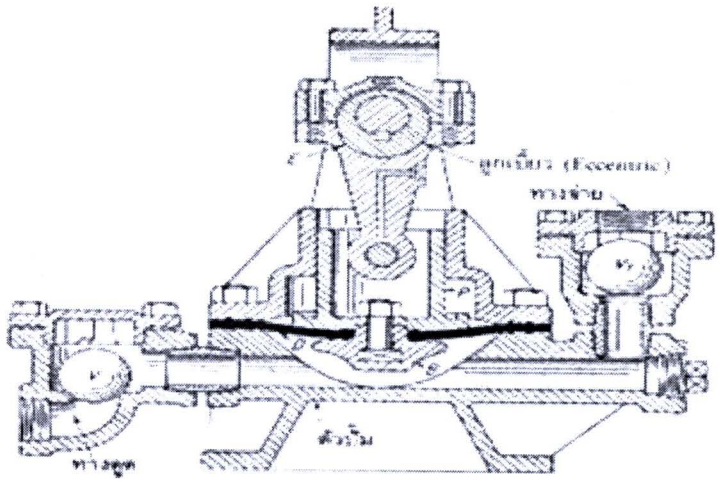


ภาพที่ 2.7 แบบขับดันโดยตรง(ที่มา:วิบูลย์,2529)

2. แบบกำลัง (Power) พลังงานจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลังถ่ายทอดกำลังโดยสายพานหรือเพลาที่ความเร็วคงที่เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะสูบของไหลได้ในอัตราที่เกือบคงที่ให้แรงดันขับที่สูงดังนั้นจะต้องติดตั้งลิ้นระบายความดันเพื่อช่วยป้องกันระบบท่อส่งและตัวเครื่องสูบน้ำไม่ให้ได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงดันที่สูงเกินไป (วิบูลย์,2529)

3. แบบไดอะแฟรม(Diaphragm Pump)เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะมีแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยยอโลหะซึ่งมีความหยุ่นตัวและแข็งแรงจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้นแผ่นไดอะแฟรมจะถูกยึดติดอยู่กับที่นิยมใช้กับงานที่อัตราการสูบไม่มากนักและของไหลมีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย (วิบูลย์,2529)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 9 มิ.ย. 2553
เลขทะเบียน 246843
เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 2.8 แบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump)(ที่มา:วิบูลย์,2529)

2.1.1.4 ประเภทเครื่องปั๊มน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump)

ลักษณะและการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump)

เครื่องสูบน้ำแบบพิเศษ (Specialized Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีลักษณะพิเศษนอกเหนือไปจากเครื่องสูบน้ำแบบต่างๆที่กล่าวปัจจุบันเครื่องสูบน้ำแบบพิเศษมีใช้อย่างแพร่หลายดังนี้

1. แบบ Canned มีคุณสมบัติพิเศษกว่าแบบต่างๆคือสามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ภายในเรือนเครื่องสูบน้ำจะมี Impeller rotor หมุนขับดันของไหลโดยได้รับกำลังงานจากมอเตอร์
2. แบบ Intermediate Temperature ใช้ในการขับดันของไหลที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียลชิ้นส่วนภายในเครื่องสูบน้ำถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อสามารถทำให้ทนทานต่อความร้อนจากที่ไหลจากของไหลที่จะใช้สูบได้
3. แบบ Turbo จะเป็นการรวมเอากังหันไอน้ำมาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูงมีทั้งแบบหนึ่งสเตจหรือสองสเตจ
4. แบบ Cantilever จะติดตั้งในแนวดิ่งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดแบริ่งหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบเนื่องจากเครื่องสูบน้ำแบบนี้ได้ออกแบบให้ชุดใบพัดยึดติดกับเพลาขับโดยไม่มีแบริ่งในตัวเครื่องสูบน้ำ

5. แบบ Vertical turbine จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆจึงมีหลายสเตจในเพลาขับเดียวกัน เพื่อเพิ่มความดันของของไหลให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละสเตจทำให้สามารถสูบน้ำจากก้นบ่อที่มีความลึกมาสู่ปากบ่อได้ (วิบูลย์,2529)

2.1.2เครื่องปั๊มน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน

เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว โดยมีกลไกที่ได้จากพลังงานธรรมชาติที่นำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถนำพลังงานที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้นอาจได้มาจากพลังงานลม พลังงานคลื่นน้ำ พลังงานอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

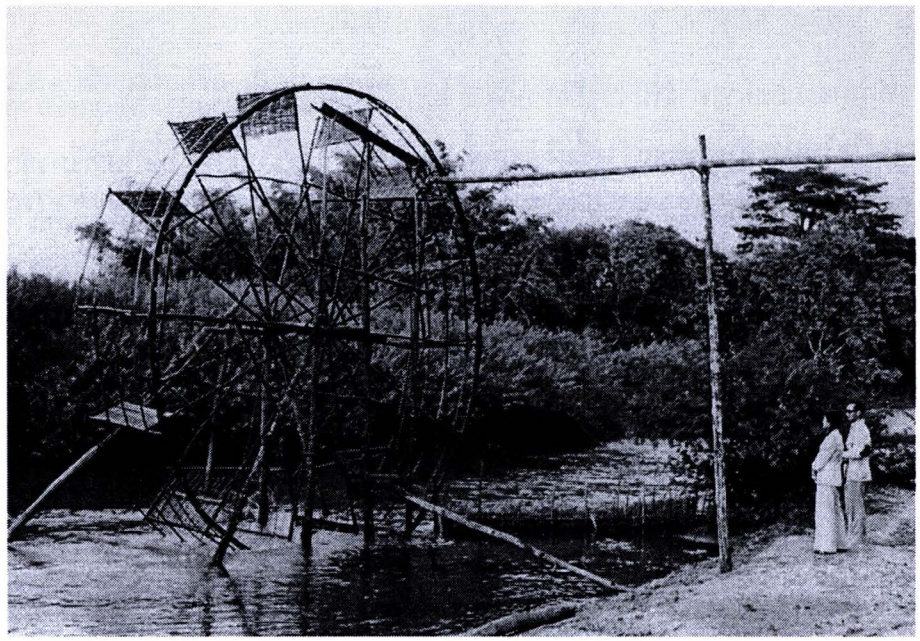
2.1.2.1 กังหันวิดน้ำหรือหลุก(Water Wheel)

ลักษณะและการทำงานของกังหันกระบอกหรือหลุกเป็นกังหันกระบอก หรือ หลุก ที่เกษตรกรชาวภาคเหนือได้ประดิษฐ์และสร้างขึ้นใช้งานขึ้นเอง โดยใช้กระบอกไม้ไผ่เป็นเครื่องตัก มีแกนไม้จริงตั้งอยู่บนคานสลักที่มีรูปปลายงอนขนาดโตประมาณ 8 ถึง 10 นิ้ว ซี่ใช้ไม้จริงขนาดเล็ก ของวงใช้ไม้ไผ่ผ่าซีกเล็กๆหลายอันมัดซ้อนกัน ใบพัดจะทำด้วยไม้ไผ่สาน หรือใช้แผ่นกระดานบางๆ หรือสังกะสี ที่ขอบวงติดกระบอกเอียงไว้สำหรับตักน้ำได้ทั้งสองข้าง เมื่อใบพัดถูกกระแสน้ำ กังหันน้ำจะหมุนไป แล้วกระบอกเหล่านั้นก็จะตักน้ำขึ้นมาเทลงในเทลงในรางทั้งสองข้างไปสู่พื้นนา หลุกหรือกังหันกระบอกดังกล่าวสามารถที่จะใช้งานได้ไม่คงทนถาวรนัก คือใช้งานได้เพียงปีเดียวก็ต้องสร้างกันใหม่ เพราะไม่สามารถที่จะทนทานต่อกระแสน้ำในฤดูน้ำได้ อีกทั้งยังมีข้อเสียหลายประการ เช่น เมื่อระดับน้ำขึ้นลงจะต้องเลื่อนคานสลักขึ้นตามระดับน้ำ จะต้องทำทางบังคับน้ำ จะต้องปักเสาให้ลึก ซึ่งมีปัญหายุ่งยากพอสมควรและมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก (บรรจง,2525)

หากต้องการยกน้ำสูงมาก จะต้องสร้างวงล้อหลุกใหญ่โตตามไปด้วยและมีการสูญเสียน้ำเป็นจำนวนมาก จากข้อบกพร่องดังกล่าว งานช่างกล สำนักงานชลประทานที่2 จึงได้พิจารณาออกแบบและสร้างกังหันน้ำสูบน้ำชนิดทุ่นลอยขึ้น เพื่อเป็นการปรับปรุงให้อยู่ในลักษณะคงทนถาวร และเป็นการลดความยุ่งยากดังที่กล่าวของหลุกหรือกังหันกระบอกที่ใช้กันดั้งเดิมให้น้อยลง

กังหันน้ำสูบน้ำที่ออกแบบและปรับปรุงขึ้นใหม่เป็นแบบลอยน้ำ ใบพัดทำด้วยเหล็กติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยสามารถเปลี่ยนระดับขึ้นลงได้เองตามระดับน้ำ เมื่อถึงฤดูน้ำมาก ย่อมสามารถนำเก็บเข้าจอดที่ฝั่งแม่น้ำได้ สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการขนส่ง โครงสร้างไม่ใหญ่โตมากนักมีความเหมาะสมที่จะ

นำไปใช้สูบน้ำจากแม่น้ำลำธารที่มีความเร็วของกระแสน้ำและปริมาณน้ำมาก ซึ่งต้องการความลึกของแม่น้ำไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ความกว้างของแม่น้ำไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร ความเร็วของกระแสน้ำไม่น้อยกว่า 1.00 เมตรต่อวินาที ย่อมสามารถสูบน้ำขึ้นไปใช้ในการเพาะปลูก อุปโภคและบริโภคยังพื้นที่สูงๆได้ถึง45 เมตร โครงสร้างทั้งหมดทำด้วยโครงเหล็กใช้เครื่องสูบน้ำติดตั้งแทนกระบอกไม้ไผ่เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการรั่วไหลในขณะส่งน้ำ กังหันน้ำสูบน้ำนี้สามารถสูบน้ำได้ถึง 10,000 ลิตร ต่อชั่วโมง ซึ่งปริมาณน้ำจะได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูงของพื้นที่ส่งน้ำและความยาวท่อ หากพื้นที่ส่งน้ำส่งน้ำสูงมากย่อมสูบน้ำได้จำนวนน้อย แต่ถ้าพื้นที่ส่งน้ำต่ำย่อมสูบน้ำได้ปริมาณมาก (บรรจง,2525)



ภาพที่ 2.9 กังหันกระบอกหรือหลุก (ที่มา : บรรจง,2525)

2.1.2.2 กังหันลมแบบสูบชัก (Windmill)

กังหันลมแบบสูบชักเป็นกังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้อุปโภค ใช้ในทางการเกษตรและใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัด เพื่อความเข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มักเป็นโลหะเหล็ก ถ้าผลิตในประเทศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด

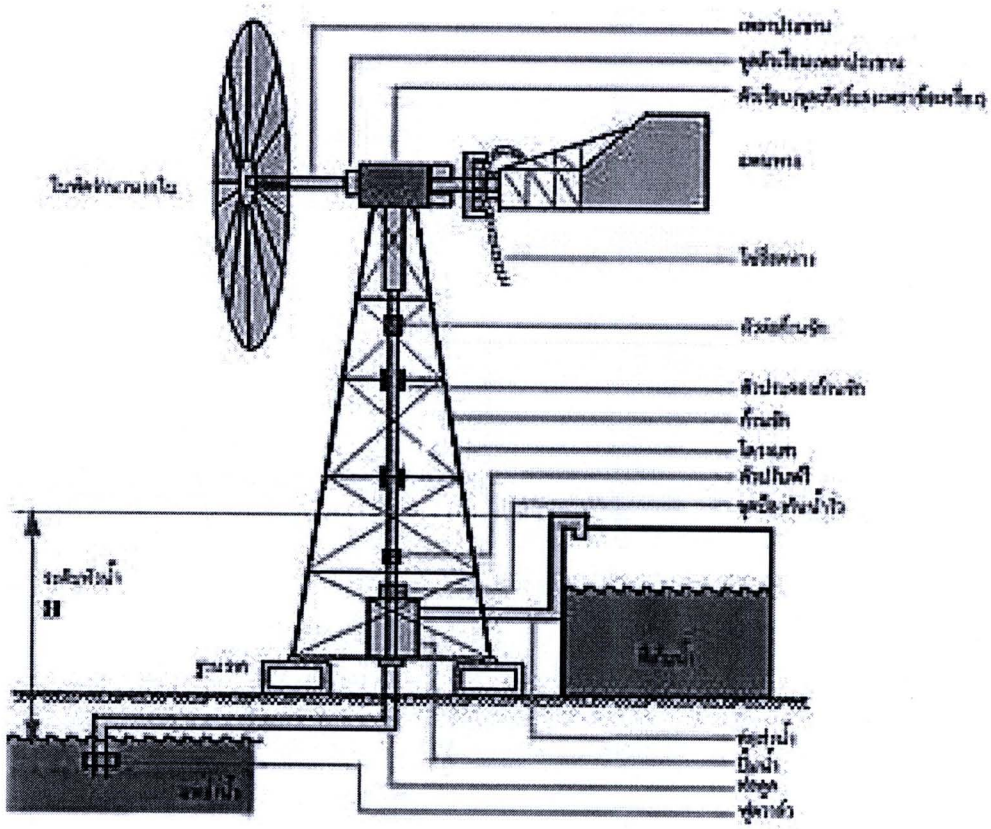
ประมาณ 4 - 6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำมีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3.0 เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมลมได้รอบตัวโดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำ

1. ใบพัด ทำจากเหล็กกาวาไนท์หรือแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลาประธาน
2. ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งเหนียวทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบเฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง
3. ชุดแพนหาง ประกอบไปด้วยใบแพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง และโซ่ล็อคแพนหางซึ่งทำหน้าที่ล็อคแพนหางให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรงลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และส่ายหนีแรงปะทะของแรงลม
4. โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำ มีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกังลม เพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กำหนดที่ความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับก้านชักให้ชักขึ้นลงในแนวดิ่ง

5. ก้านชัก ทำด้วยเหล็กกลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั๊มอัดกระบอกสูบน้ำ และถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยตัวประคองก้านชัก (Slip Control) ที่อยู่กึ่งกลางโครงเสาในแต่ละช่วง
6. กระบอกสูบน้ำ ลูกสูบของกระบอกสูบน้ำวัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรือสแตนเลส มีความคงทนต่อกรดและด่าง สามารถรับแรงดูดและแรงส่งได้สูง มีหลายขนาดแต่ที่ใช้ทั่วไปมีขนาด 3 - 15 นิ้ว ใช้สูบน้ำได้ทั้งจากบ่อบาดาลและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับระยะหัวน้ำและการออกแบบ

7. ท่อน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อดูดขนาด 2 นิ้ว ต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและติดฟุตวาล์วกันน้ำไหลกลับ ท่อส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำกับถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่ดูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)

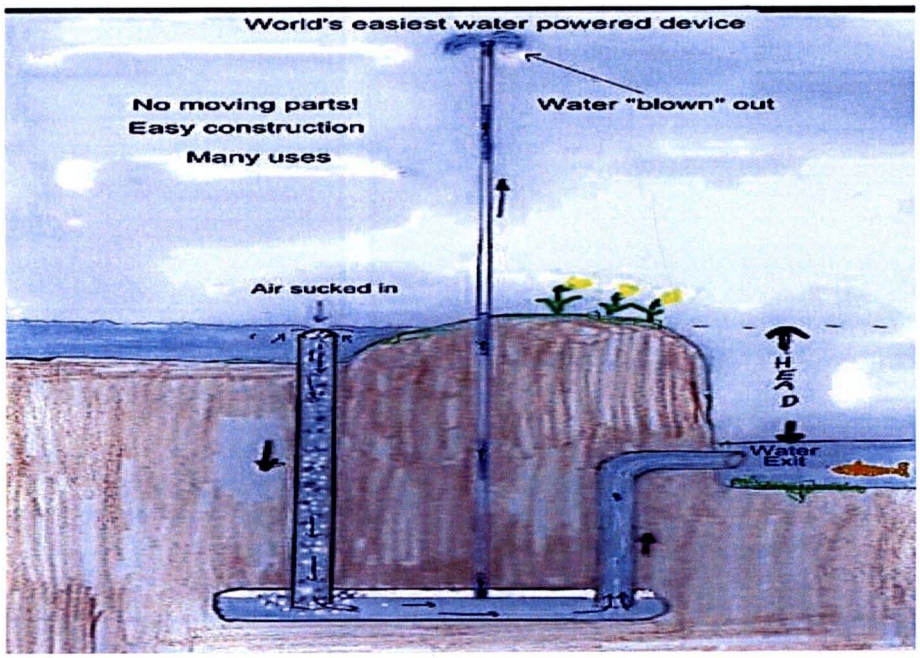


ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ

(ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.),ม.ป.ป.)

2.1.2.3 Pulser Pump

การทำงานของPulser Pumpเป็นการเปลี่ยนพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ คือเป็นเครื่องสูบน้ำที่ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ใช้อากาศดันน้ำขึ้นสูง ไปเก็บไว้ในถังเก็บ โดยไม่ใช้ไฟฟ้าหรือน้ำมัน มีความทนทานสูงมากน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ ด้านเหนือเขื่อน(ภาพที่ 2.11) มีท่อให้น้ำไหลลง โดยปลายท่อด้านบนอยู่ใกล้ผิวน้ำ ทำให้น้ำดูดฟองอากาศลงไปในท่อด้วย เมื่ออากาศลงไปปลายท่อ อากาศก็พยายามลอยขึ้นตามธรรมชาติ ก็จะถูกเก็บอยู่ในช่องเก็บอากาศเพื่อสร้างแรงดันอยู่ใต้เขื่อนจนมากขึ้นๆ พอมาเจอทางออกตรงท่อเล็กตรงกลางสันเขื่อนก็จะพยายามหนีออก โดยดูดเอาน้ำขึ้นไปด้วย โผล่พรวดขึ้นมาด้วยความแรง (น้ำสลับกับอากาศ) ทำให้ Pulser Pump สามารถยกน้ำขึ้นสูงกว่าสันเขื่อนได้ อันเป็นผลลัพธ์ของเครื่องสูบน้ำที่เราต้องการทางส่วนใต้เขื่อน ท่อน้ำออกอยู่ต่ำกว่าท่อที่อากาศหนีออก จึงปล่อยเฉพาะน้ำออกไปทางด้านขวายิ่งกว่านั้น ปลายปล่องด้านน้ำไหลลงไปใต้เขื่อน หาก “ลอย” อยู่ใกล้ระดับผิวน้ำได้ก็จะสามารถปรับตัวเองให้ใช้งานได้อัตโนมัติ โดยขึ้นกับระดับน้ำต้นทุนหน้าเขื่อน (Logos,2552)

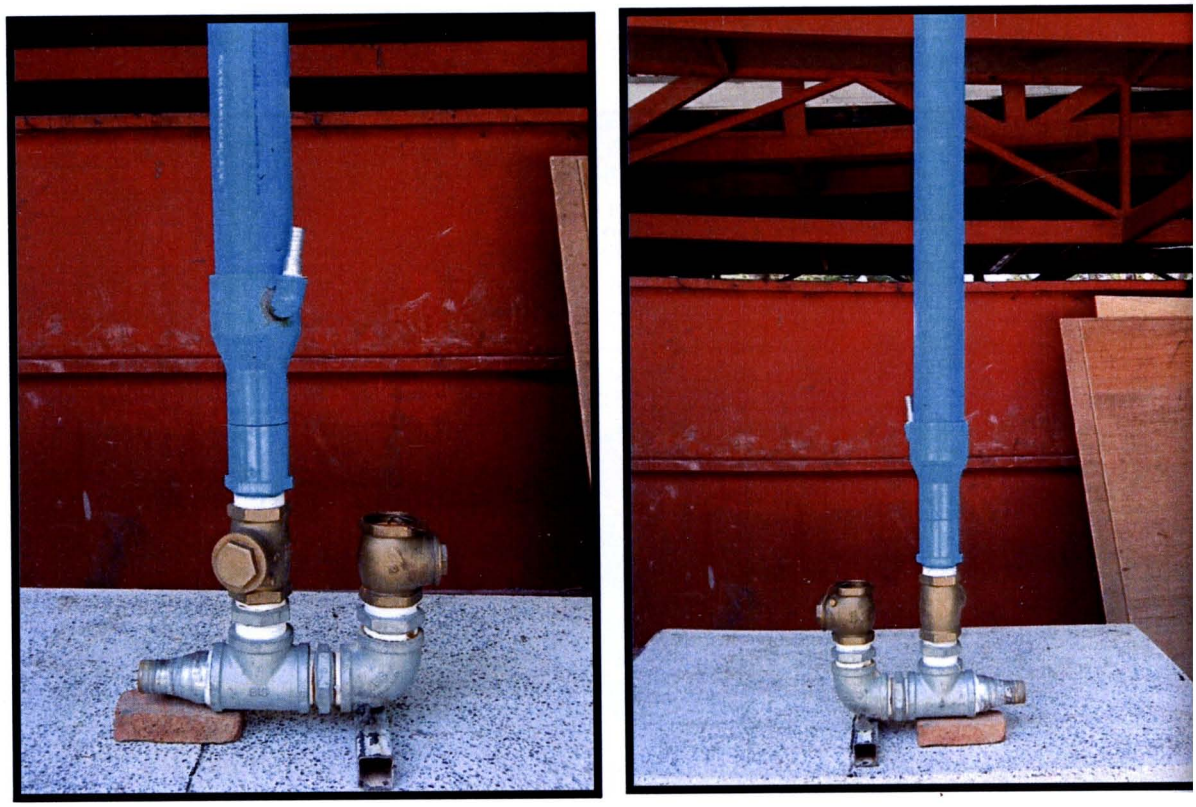


ภาพที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของ Pulser Pump
(ที่มา :Logos,2552)

2.1.2.4 เครื่องตะบัน(Hydraulic Ram)

เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ ไฮดรอลิคแรม(Hydraulic Ram) เครื่องสูบน้ำแบบนี้ได้เริ่มประดิษฐ์ออกใช้งานที่ประเทศอังกฤษเมื่อปี ค.ศ.1772 และที่ประเทศญี่ปุ่น ประดิษฐ์ออกใช้งานเมื่อปี ค.ศ.1956 หรือ

ประมาณ 208 ปีที่แล้ว ในระยะนั้นมักจะใช้กับประเทศที่ด้อยพัฒนา ไม่มีพลังงานไฟฟ้า ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้กับพื้นที่ที่อยู่บนภูเขา ห่างไกลความเจริญเท่านั้น ไฮดรอลิคแรม เป็นเครื่องสูบน้ำแบบหนึ่งที่ทำงานในตัวเองได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งใช้พลังงานจากน้ำผลักดันอุปกรณ์ และส่วนประกอบให้สามารถทำงานสูบน้ำจากที่ต่ำไปสู่ที่สูงได้ 10 ถึง 15 เท่าของระดับความสูงของน้ำที่ส่งเข้าไฮดรอลิคแรม ปริมาณที่สูบได้จะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่สูญเสียไปจากการใช้ผลักดันให้ไฮดรอลิคแรมทำงาน น้ำส่วนหนึ่งจะถูกยกขึ้นไปใช้งานและอีกประมาณ 6-10 ส่วนจะถูกทิ้งไป ปริมาณน้ำดังกล่าวจะได้มากน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของไฮดรอลิคแรม (บรรจง,2525)



ภาพที่ 2.12 เครื่องสูบน้ำพลังน้ำ(Hydraulic Ram)

หลักการทำงานของไฮดรอลิคแรม

ในขณะที่ประตูน้ำ (J) ยังปิดอยู่ น้ำที่ถูกเก็บกักอยู่ในอ่างเก็บน้ำหรือฝายทดน้ำยังอยู่นิ่งถือว่าเป็นพลังงานศักย์ ลิ้นทิ้งน้ำ (C) อยู่ในลักษณะเปิดเต็มที่ (ดังภาพที่ 2.12) ลิ้นจ่ายน้ำ (D) อยู่ในลักษณะปิดสนิท เมื่อประตูน้ำ (J) ถูกเปิดเต็มที่น้ำจากอ่างเก็บน้ำหรือจากฝายทดน้ำจะไหลเข้าท่อส่งน้ำ (I) ลงสู่ห้องลิ้น (F) แล้วไหลผ่านออกทางลิ้นทิ้งน้ำ (C) พลังงานจะถูกเปลี่ยนจากพลังงานศักย์ เป็นพลังงาน

จลน์ การไหลของน้ำดังกล่าว จะทำให้ความเร็วของน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากความสูง h ก่อให้เกิดความดันจากการไหลของน้ำ(Dynamic Pressure) สูงขึ้นจนสามารถเอาชนะน้ำหนักของลิ้นทิ้งน้ำ (C) ยกลิ้นทิ้งน้ำขึ้งปิดสนิท (ตามรูปที่ 2) การที่ลิ้นทิ้งน้ำ (C) ถูกปิดเช่นนี้ โมเมนตัมของน้ำในท่อส่งน้ำ (I) จะถูกทำลาย ก่อให้เกิดความดันของน้ำ (Shock pressure) ภายในห้องลิ้น (F) สูง หากความกดดันที่เกิดขึ้นดังกล่าวสูงกว่าความกดดันของน้ำที่กระทำอยู่บนลิ้นจ่ายน้ำ (D) ลิ้นจ่ายน้ำ (D) จะเปิดน้ำส่วนหนึ่งจากห้องลิ้น (F) จะถูกส่งเข้าไปในห้องอัดอากาศ (E) แล้วส่งผ่านเข้าท่อส่งน้ำ (G) ผ่านลิ้นกันน้ำกลับ (R) ขึ้นไปยังถังพักน้ำ (B) ขณะที่ความดันของน้ำในห้องลิ้น (F) ลดลง ลิ้นจ่ายน้ำ (D) จะปิด (ป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับ) ซึ่งในทางปฏิบัติ ก่อนที่ลิ้นจ่ายน้ำจะปิดนั้น ยังมีน้ำบางส่วนที่ถูกส่งขึ้นไปไหลย้อนลงมาเข้าสู่ห้องลิ้นปะทะกับน้ำในห้องลิ้นสะท้อนกลับ อาการเช่นนี้ทำให้เกิดสูญญากาศในชั่วขณะที่ห้องลิ้นทำให้บรรยากาศภายนอกสามารถกดลิ้นทิ้งน้ำ (C) ให้เปิดออก จังหวะการทำงานของไฮดรอลิคแรมจึงเริ่มขึ้นใหม่ต่อไป

จังหวะการทำงานของไฮดรอลิคแรมสามารถจำแนกออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ลิ้นทิ้งน้ำกำลังเปิด
2. ลิ้นทิ้งน้ำเปิดเต็มที่
3. ลิ้นทิ้งน้ำกำลังปิด
4. ลิ้นทิ้งน้ำปิดสนิท

นอกจากนี้ยังมีกฎเกณฑ์กำหนดไว้สำหรับลิ้นทิ้งน้ำอีกดังนี้ คือ

1. ระยะเวลาการเปิดของลิ้นทิ้งน้ำจะเพิ่มขึ้น หากน้ำหนักของลิ้นทิ้งน้ำมากระยะขึ้นลงของลิ้นทิ้งน้ำกว้าง
2. การเปิดของลิ้นทิ้งน้ำอนุโลมให้ถือว่าเป็นการเปิดแบบชั่วขณะ (Instantaneously open)
3. ระยะเวลาที่ลิ้นทิ้งน้ำจะเปิดเต็มที่ขึ้นอยู่กับ ความเร็วของการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในท่อส่งน้ำ (Drive Pipe)
4. หากห้องลิ้นหรือท่อส่งน้ำใหญ่โตพอเพียงย่อมจะทำให้ลิ้นทิ้งน้ำปิดได้เร็ว

การทำให้ลิ้นทิ้งน้ำปิด – เปิดเร็ว สามารถกระทำได้ดังนี้

1. เพิ่มน้ำหนักของลิ้นทิ้งน้ำ
2. เพิ่มอัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อส่งน้ำต่อความสูงของระดับน้ำเข้าไฮดรอลิคแรม

   จากสูตร l / h

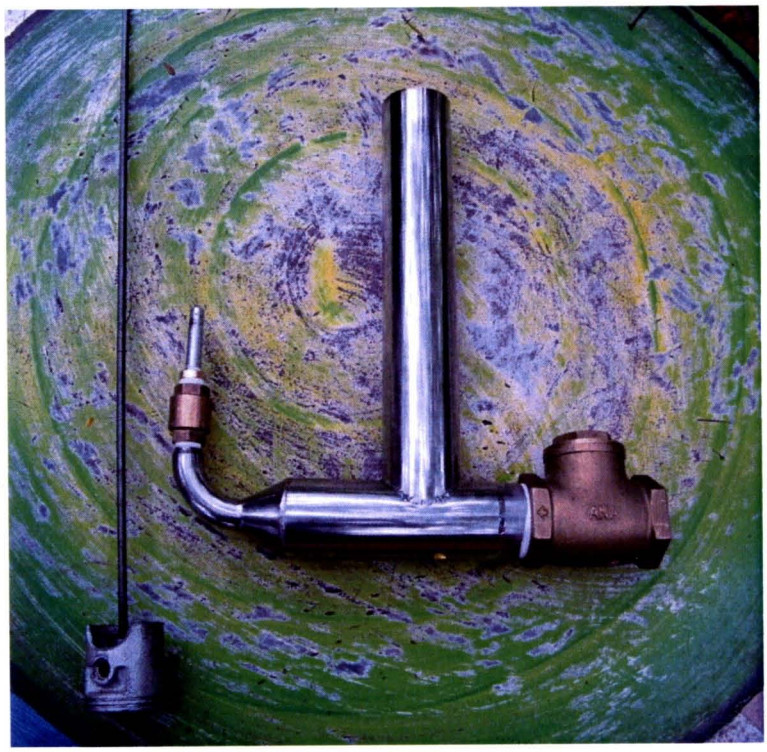
   เมื่อ l = ความยาวของท่อส่งน้ำ (Drive Pipe) (m)

h = ความสูงของระดับน้ำเข้าไฮดรอลิคแรม วัดจากช่องระบายน้ำของลิ้นทิ้งน้ำถึงระดับผิวน้ำที่จะส่งเข้าไฮดรอลิคแรม (m)

อัตราส่วน l / h สามารถเพิ่มขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ กล่าวคืออาจจะเพิ่มความยาวของท่อส่งน้ำ l ให้มากขึ้น แต่ให้ความสูง h คงที่ หรือจะลดความสูง h โดยให้ความยาวของท่อส่งน้ำ l คงที่ก็ได้ระยะเวลาในระหว่างที่ลิ้นทิ้งน้ำยังปิดอยู่จะยาวนาน ถ้าระยะห่างระหว่างเบาะลิ้นทิ้งน้ำกับหม้ออัดอากาศอยู่ไกลกัน และระยะเวลาการปิดจะสั้นลงหากลดความสูงของระดับน้ำที่จะส่งไปใช้งาน การที่เบาะลิ้นทิ้งน้ำอยู่ห่างไกลจากหม้ออัดอากาศมากยังจะเป็นเหตุทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นความดันน้ำเดินทางกลับกระแทกลิ้นทิ้งซึ่งกำลังปิดอยู่ทำให้เปิดออกได้ อนึ่งหากเพิ่มความสูงของระดับน้ำที่จะส่งขึ้นไปใช้งานย่อมทำให้ลิ้นจ่ายน้ำปิดเร็วขึ้นก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นความดันเร็วไป (บรรจง,2525)

2.1.1.5เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump) เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีกลไกการทำงานโดยอาศัยพลังงานธรรมชาติจากคลื่นของน้ำ ลักษณะการทำงานเป็นเครื่องสูบน้ำประเภทแบบลูกสูบชักเฟสเดียว คือ น้ำที่สูบมาได้จะได้จากการที่น้ำเคลื่อนที่ขึ้นเท่านั้น ส่วนช่วงที่น้ำเคลื่อนที่ลงจะเป็นการสูบน้ำเข้าในตัวเครื่องสูบน้ำซึ่งการทำงานจะสลับกันแบบนี้เรื่อยไป



ภาพที่ 2.13 เครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

ส่วนประกอบสำคัญในการทดลองของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

1. ตัวเครื่องสูบน้ำ ซึ่งมีเช็ควาล์วนอน 1 ตัวและเช็ควาล์วตั้ง 1 ตัวเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปทางเดียว
2. ทุ่นลอย ซึ่งต้องยึดติดอยู่กับตัวเครื่องสูบน้ำ โดยให้ตัวเครื่องสูบน้ำอยู่น้ำตลอดเวลาและให้ทุ่นลอยลอยอยู่ในน้ำ
3. ลูกสูบและก้านสูบซึ่งต้องยึดติดอยู่ดับที่อาจจะเป็นริมฝั่งแม่น้ำที่มีท่าน้ำแต่ในการศึกษานี้ได้ยึดติดกับถังทดลองที่ด้านบนถังทดลอง
4. สลักและแกนที่ล็อคสลักพร้อมลูกลอย
5. เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำเพื่อทำให้เกิดการขึ้นของคลื่น
6. ลูกลอยอัตโนมัติเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำไฟฟ้า

หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น (Wave Pump)

1. ติดตั้งอุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้
2. ลูกลอยอัตโนมัติจะเริ่มทำงานโดยเปิดสวิตซ์ให้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าเริ่มทำงานคือ สูบน้ำเข้ามาในถังเพื่อทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำจะไหลเข้าสู่ตัวเครื่องสูบน้ำ
3. เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งที่ต้องการให้สลักล็อคสลักก็จะเริ่มทำงานโดยล็อคไม่ให้ทั้งทุ่นลอยและตัวเครื่องสูบน้ำลอยไปตามระดับน้ำ
4. ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยบังคับสลักไว้ ลูกลอยจะทำการดึงสลักออกและทำให้ เครื่องสูบน้ำ และทุ่นลอยที่ถูกล็อคไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้น และในขณะที่และทุ่นลอยที่ถูกล็อคไว้เคลื่อนที่ขึ้นในลักษณะถูกคลื่นดันขึ้นก็จะเป็นการสูบน้ำออกไปยังทางออกที่ออกแบบไว้
5. เมื่อน้ำถูกลูกสูบดันน้ำให้ออกมาเช็ควาล์วนอนก็จะทำการปิดลิ้นเพื่อบังคับให้น้ำไหลไปในทางที่ออกแบบไว้ และเมื่อน้ำถูกบังคับให้มาทางที่ออกแบบไว้ น้ำจะไหลขึ้นสู่ที่สูง ซึ่งมีเช็ควาล์วตั้งเพื่อบังคับน้ำที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนแล้วจะไม่สามารถไหลย้อนกลับลงมาได้อีก
6. เมื่อระดับในถังทดลองขึ้นไปจนถึงระดับที่ตั้งลูกลอยอัตโนมัติตัวบนไว้ ลูกลอยอัตโนมัติก็จะเริ่มทำงานโดยปิดสวิตซ์ให้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าที่กำลังสูบน้ำเข้าสู่ถังทดลองหยุดการทำงาน

7. ระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากด้านหลังถังทดลองได้ทำท่อให้น้ำไหลออกไปยังถังเก็บน้ำ และตัว เครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอย ก็จะลอยลงตามระดับน้ำด้วย ในขณะที่ตัวเครื่องสูบน้ำกับทุ่นลอยลอยลงตามระดับน้ำนั้นลูกสูบก็จะทำการสูบน้ำเข้าสู่ตัวเครื่องสูบน้ำด้วย เพื่อรอการขึ้นของน้ำรอบต่อไป

การเปรียบเทียบปั๊มน้ำพลังงานทดแทนแบบต่างๆ แสดงในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของปั๊มน้ำที่ใช้พลังงานทดแทน โดยไม่ใช้แหล่งพลังงานสิ้นเปลือง (ไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิง)

วิธีการวัดระดับน้ำ	ข้อดี	ข้อจำกัด
ตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)	1.ได้ระดับสูง 2.สามารถทำจากวัสดุหาได้ง่าย 3.สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง 4.มีขนาดเล็กและติดตั้งง่าย 5.ไม่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง	1.ต้องมีแรงดันน้ำต้นทุนจากที่ที่มีระดับน้ำสูงกว่า 2.ต้องมีการสูญเสียหรือน้ำทิ้ง 3.จะต้องมีการเริ่มต้น(activate)ปริมาณส่งน้ำน้อย
เครื่องปั๊มน้ำพลังงานลม	1.สามารถใช้งานง่าย 2.ใช้งานได้ต่อเนื่อง 3.ไม่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง 4.ได้ปริมาณการไหลสูง	1.จะต้องมีลมพัดจึงจะสามารถทำงานได้ 2.มีขนาดใหญ่
เครื่องปั๊มน้ำพลังงานคลื่น	1.ราคาถูก 2.สามารถทำจากวัสดุหาได้ง่าย 3.ไม่ใช้พลังงานสิ้นเปลือง	1.จะต้องมีคลื่นจึงจะทำงาน 2.ระดับน้ำต้องอยู่ในระยะที่ออกแบบเท่านั้น
ปั๊มน้ำพลังงานอากาศ	1.สามารถพัฒนาให้ไม่สูญเสียน้ำได้ใช้ได้ 2.การติดตั้งง่าย 3.ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน	1.ต้องมีต้องมีแหล่งน้ำต้นทุนจากที่มีระดับสูงกว่า 2.ต้องมีการสูญเสียหรือน้ำทิ้ง

ดังนั้นการนำพลังงานทดแทนตามธรรมชาติในรูปแบบต่างๆมาใช้ประโยชน์จะต้องคำนึงถึงปัจจัย สำคัญดังต่อไปนี้

- ปริมาณพลังงานทดแทนที่มี
- รูปแบบหรือชนิดของพลังงานทดแทน
- ระยะเวลาและความต่อเนื่องของพลังงาน
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การลงทุนความคุ้มค่า

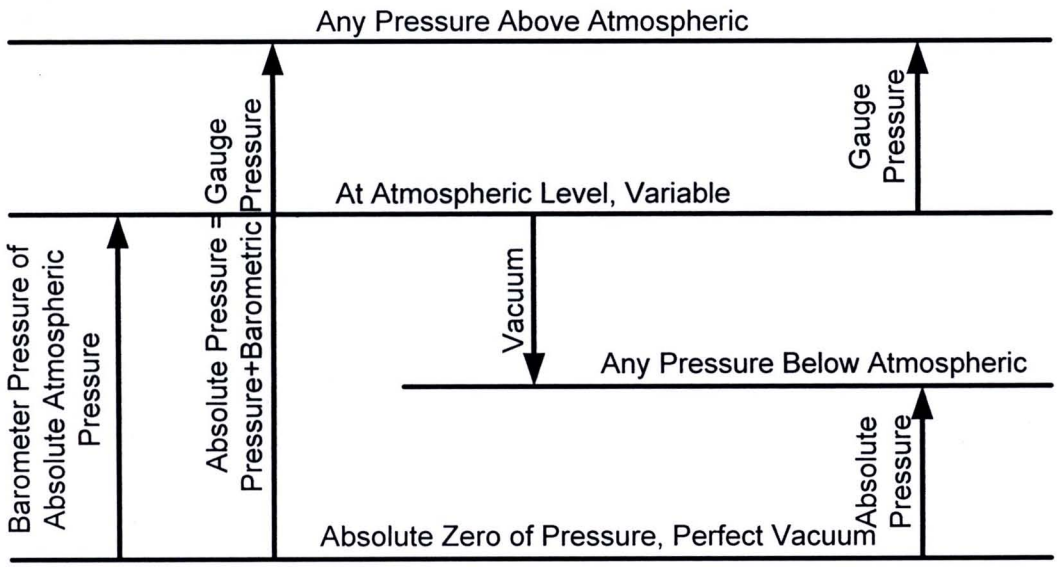
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องสูบน้ำ

2.3.1 ความดันและเฮด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือเฮดของเครื่องสูบน้ำ ดังนี้

2.3.1.1 ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure)

คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลกแต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ความดันบรรยากาศ

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

จากภาพความดันของบรรยากาศมีค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีความดันเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสูญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (Absolute (Zero Pressure) ค่าความดันใด ๆ ที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร (kN/m^2) หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วก็เป็นความดันสมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (Barometer) ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบาโรมิเตอร์ (BarometerPressure, P_b)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่ว ๆ ไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียก ความดันจากเกจ (Gauge Pressure, P_b) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g \quad .....(1)$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055EL \quad .....(2)$$

เมื่อ P_b= ความดันของบรรยากาศ (mbar) (1 mbar เท่ากับ 0.0145 lb/in^2 หรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C = 0.010197 (m)

EL = ระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (m)

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.13 - 0.00108EL \quad .....(3)$$

โดย H_pเป็นความกดดันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C มีหน่วยเป็นเมตร (วิบูลย์ ,2529)

2.3.1.2 เฮดความดัน (Pressure Head, H_p)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือปอนด์ต่อตารานิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว

ที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p และเฮดความดัน H_p คือ

$$H_p = \frac{p}{\gamma} = \frac{p}{\rho g} \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะ (kN/m^3)

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

2.3.1.3 เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่พลังงานในส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดคือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{.....(5)}$$

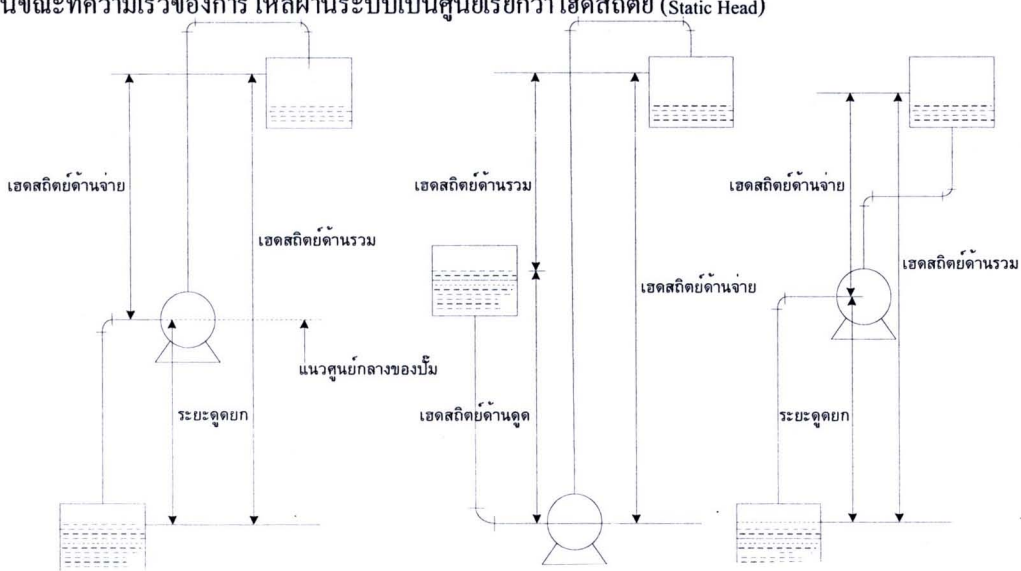
เมื่อ V = ความเร็วของการไหลภายในท่อ (m/s)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

เฮดความเร็วอาจให้กำจัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วย แรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

2.3.1.4 เฮดสถิตย์ (Static Head, H_s)

ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำโดยทั่ว ๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static Head)



ภาพที่2.15 เฮดสถิตย์(ที่มา : วิบูลย์,2529)

ตามภาพระยะทางในแนวดิ่งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮดจากศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head)

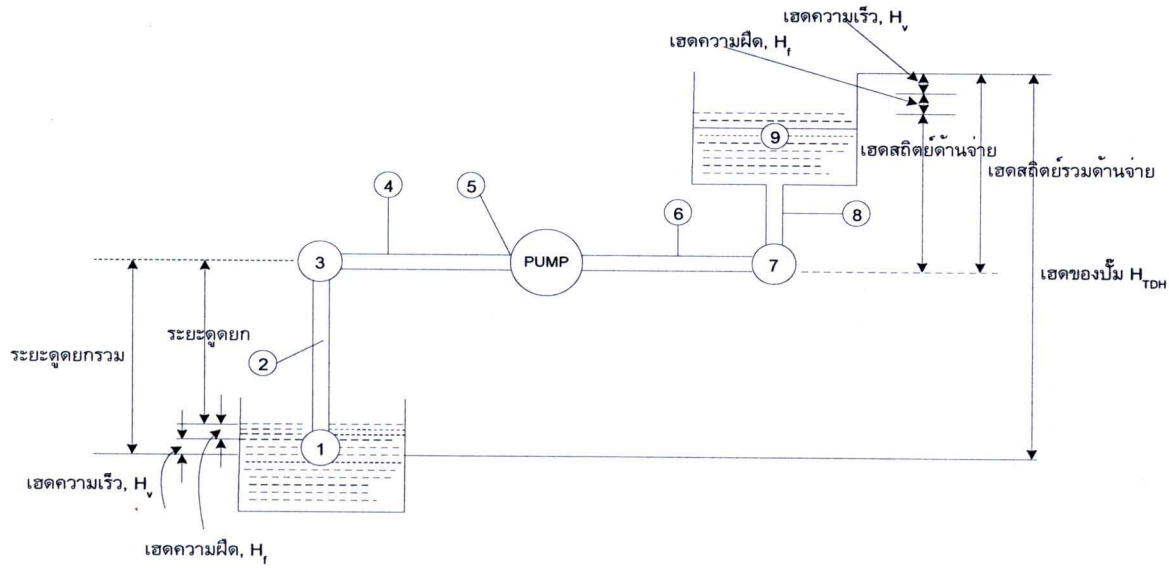
ระยะจากจุดศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า (ภาพที่ 2.15) เรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า และความดันที่ศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static SuctionLift) แทน

เฮดรวมสถิตย์รวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

2.3.1.5 เฮดความฝืด (Friction Head, H_f)

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนาองจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งเราเรียกว่า เฮดความฝืด (Friction Head)

ในระบบสูบน้ำโดยทั่ว ๆ ไป การเสียเฮดเนื่องจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด (ดังภาพที่ 2.16) การเสียเฮดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้นขณะที่เครื่องสูบน้ำกำลังทำงาน ระยะดูดยกรวมที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับระยะดูดยก (Static SuctionLift) รวมกับเฮดความฝืดทางด้านดูดทั้งหมดตั้งแต่ จุดที่ 1 ถึง จุด 5 ในกรณีที่ของเหลวทางด้านดูดอยู่สูงกว่าศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ เฮดด้านดูดรวม (Total Static Head) ที่เกิดขึ้นจริงจึงเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head)สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืด และเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่เครื่องสูบน้ำการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย



ภาพที่ 2.16 การสูญเสียเฮด(ที่มา : วิบูลย์,2529)

จุดที่ 1เป็นการเสียเฮดความเร็วเนื่องจากการไหลเข้าท่อ (Entrance loss) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงและอุปกรณ์ที่ปลายท่อดูด

จุดที่ 2เป็นการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังท่อ

จุดที่ 3เป็นการเสียเฮดเนื่องจากมีการเปลี่ยนทิศทางการไหล

จุดที่ 4 เป็นการเสียเฮดในเส้นท่อเหมือนจุดที่ 2

จุดที่ 5 เป็นการเสียเฮดที่อุปกรณ์ทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำลบด้วยเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านดูด

สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดความฝืดและเฮด รวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่เครื่องสูบน้ำการทำงานจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย

1.) การสูญเสียหลัก(Major loss)

- สูตรของ Darcy-Weisbach Equation

$$h_f = \frac{fLV^2}{D2g} \quad .....(6)$$

ความสูญเสียหัวน้ำของการไหลในท่อที่สำคัญ มีสาเหตุมาจากแรงเสียดทาน อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ เรียกว่าการสูญเสียหลัก ซึ่งสามารถคำนวณ ได้จาก Darcy-Weisbach Equation ดังนี้คือ

เมื่อ h_f = ความสูญเสียหัวน้ำ อันเนื่องมาจากความเสียดทานของการไหล (m)

f = ตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor)

L= ความยาวของท่อช่วงที่พิจารณา (m)

V = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ค่าตัวประกอบความเสียดทาน คือ

$$f = \frac{64}{Re} \quad .....(7)$$

สมการที่ใช้หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) คือ

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{DV}{\upsilon} \quad .....(8)$$

เมื่อ Re= ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

V = ความเร็วของไหลภายในท่อ (m/s)

υ =ความหนืดไคเนมาติกส์ (m^2/s)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kN/m^3)

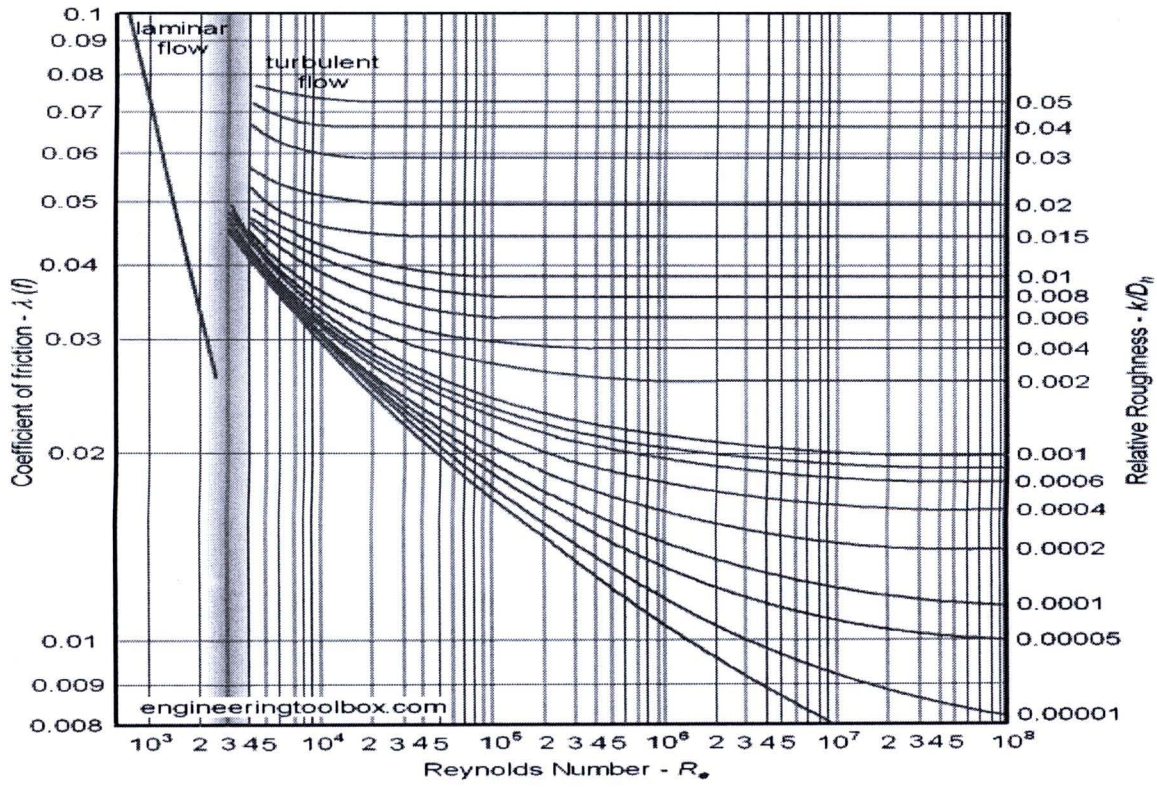
μ = ความหนืดไดนามิกส์ (m^2/s)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)ค่าตัวประกอบความเสียดทานไม่ได้ขึ้นกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เพียงอย่างเดียวเหมือนการไหลแบบมินาร์ แต่ยังขึ้นอยู่กับความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative Roughness,ε/D) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความขรุขระของผนังท่อ (ε)กับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D) ค่าความขรุขระของผนังท่อสามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระของท่อ (ε)

ชนิดของท่อ	ε (mm)
เหล็กย้ำหมุด (Riveted Steel)	0.9-9.0
คอนกรีต	0.3-3.0
ไม้ประกบ (Wood Stave)	0.2-0.9
เหล็กหล่อ (Cast Iron)	0.25-0.26
เหล็กอาบสังกะสี (Galvaninged Iron)	0.15
เหล็กหล่ออาบยางมะตอย (Asphalted Cast Iron)	0.1-0.12
เหล็กตลาดหรือเหล็กเหนียว (Commercial Steel or Wrought Iron)	0.046
ท่อรัด (Drawn Tubing), ท่อ Polyrinul Chlouide (ท่อ P.V.C)	0.0015

ค่าตัวประกอบความเสียดทาน อ่านได้จาก Moody Diagram ดังในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 Moody Diagram

(ที่มา :Darcy)

- สูตรของ Hazen-Williams (ใช้กับของเหลวที่เป็นน้ำเท่านั้น เขียนอยู่รูปสมการของ)

$$V = 0.0109CR^{0.63}S^{0.54} \quad .....(9)$$

เมื่อ V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

C = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ

R = Hydraulic Radius (m)

S = Slope of Energy

กำหนดให้ค่า C ของท่อ PVC มีค่าเท่ากับ 130 จากตารางค่าสัมประสิทธิ์สำหรับท่อชนิดต่างๆ เมื่ออัตราการไหลผ่านท่อ (Q) มีหน่วยเป็นลิตร/วินาที และขนาดของท่อ (D) เป็นมิลลิเมตร สูตรของ Hazen-Williams จะอยู่ในรูป

$$Q = 3.587 \times 10^{-6} CD^{2.63}S^{0.54} \quad .....(10)$$

- สูตรของ Manning's Formula (สูตรของ Open Channel Flow)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3}S^{1/2} \quad .....(11)$$

เมื่อ V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

R = Hydraulic Radius (m)

S = Slope of Energy = Ben Slop = hf/L

n = ค่าคงที่

ท่อแอสเบสตอสซิเมนต์ (AC. Pipe) n = 0.01 – 0.012

ท่อคอนกรีต n = 0.015

$$V^2 = \frac{R^{4/3}}{n^2}\left(\frac{h_f}{L}\right) \quad .....(12)$$

$$H_f = \frac{n^2V^2L}{R^{4/3}} \quad .....(13)$$

ท่อกลม R = D/4 แทนค่าในสูตร

$$h_f = \frac{n^2 V^2 L}{(D/4)^{4/3}} \quad .....(14)$$

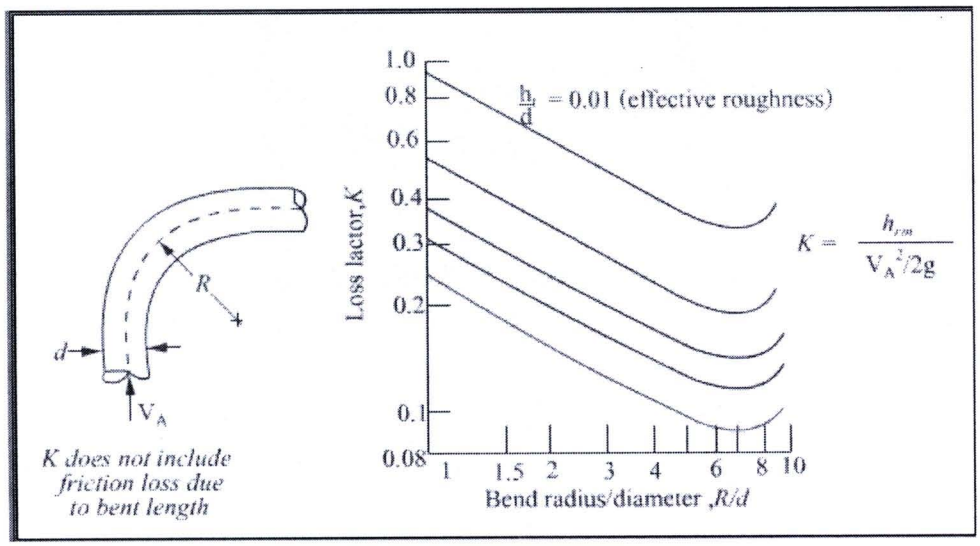
$$h_f = \frac{6.35 n^2 V^2 L}{D^{4/3}} \quad .....(15)$$

$$H_f = \frac{10.29 n^2 L Q^2}{D^{16/3}} \quad .....(16)$$

2.) การสูญเสียรอง (Minor Losses)

การสูญเสียอาจเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากความเสียดทาน พิจารณาลักษณะของระบบ ในการสูญเสียที่ผ่านมานั้นเป็นการสูญเสียในทางเข้าและทางออกของท่อแต่ในการศึกษานี้จะศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียรอง (hm) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการสูญเสียหลัก ซึ่งจะช่วยเพิ่มการสูญเสียรองภายในระบบ ซึ่งอาจจะเกิดจาก ลิ้น,ข้องอ, หน้าตัดลดทันทีทันใด, หน้าตัดค่อยๆ ลดลงผลรวมของการสูญเสียรองนี้เมื่อนำไปรวมกันการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียดทานแล้วจะได้การสูญเสียทั้งหมด สำหรับระบบ คือ

$$h_L = h_f + \sum h_m \quad .....(17)$$



ภาพที่ 2.18 ค่า K สำหรับท่องอซึ่งรวมผลของความขรุขระท่อด้วย (ที่มา : วิบูลย์,2529)

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย สำหรับ Open Valves, Elbows และ Tees (ที่มา : วิบูลย์,2529)

Nominal diameter, cm (in.)	Screwed				Flanged				
	1.3 (0.5)	2.5 (1.0)	5.0 (2.0)	10 (4.0)	2.5 (1.0)	5 (2.0)	10 (4.0)	20 (8.0)	50 (20)
Valves (fully open):									
Globe	14.0	8.2	6.9	5.7	13.0	8.5	6.0	5.8	5.5
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Elbows:									
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees:									
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

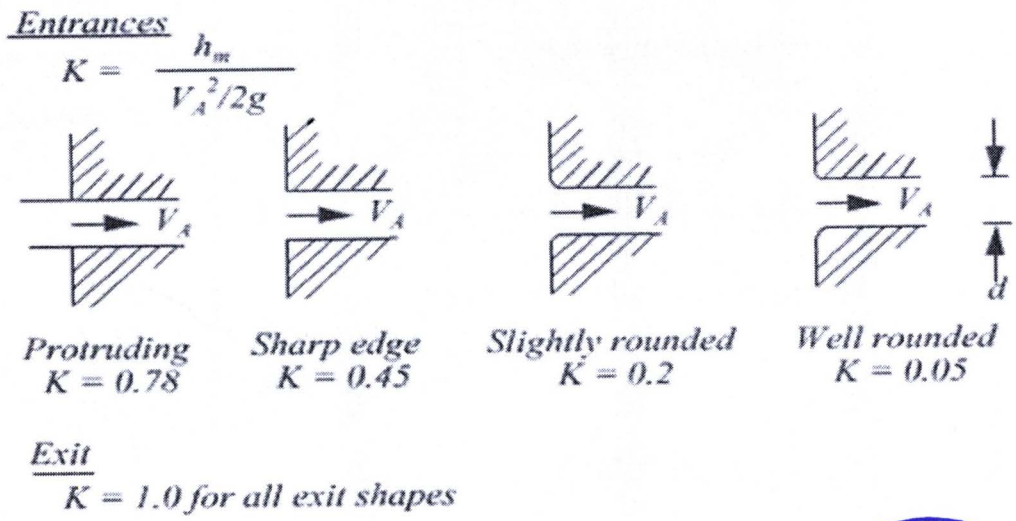
การคำนวณหา h_m ได้จากข้อมูลในการทดลองดังสมการต่อไปนี้

$$h_m = K\frac{V_A^2}{2g} \qquad \text{.....(18)}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง K จะใช้เฉพาะการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น ค่า K สำหรับอุปกรณ์บางชนิดแสดงในตารางที่ 2.2, ตารางที่ 2.3, ภาพที่ 2.18 และภาพที่ 2.21

ตารางที่ 2.3 การเพิ่มการสูญเสียสำหรับ Partially Open Valve (ที่มา : วิบูลย์,2529)

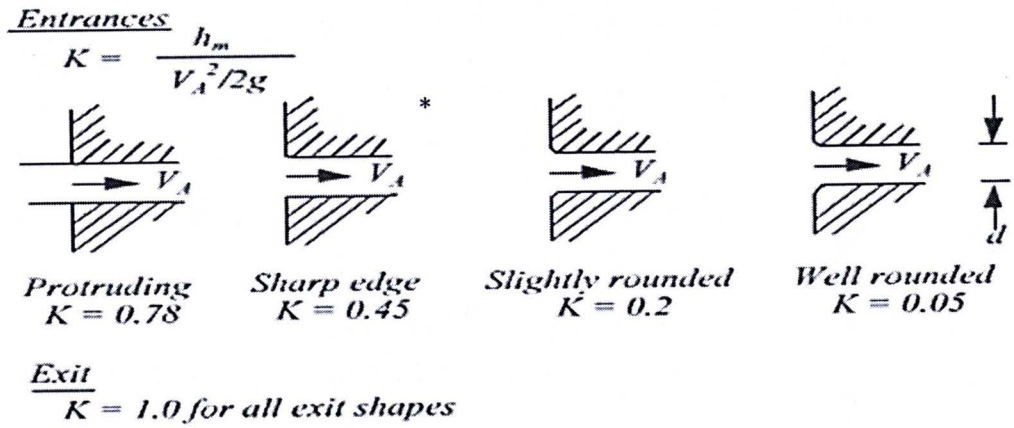
Condition	Ratio K/K (open Condition)	
	Gate valve	Globe valve
Open	1.0	1.0
Closed, 25%	3.0 - 5.0	1.5 - 2.0
50%	12 - 22	2.0 - 3.0
70%	70 - 120	6.0 - 8.0



ภาพที่ 2.19 ค่า K สำหรับทางเข้า- ทางออกของท่อ pipe

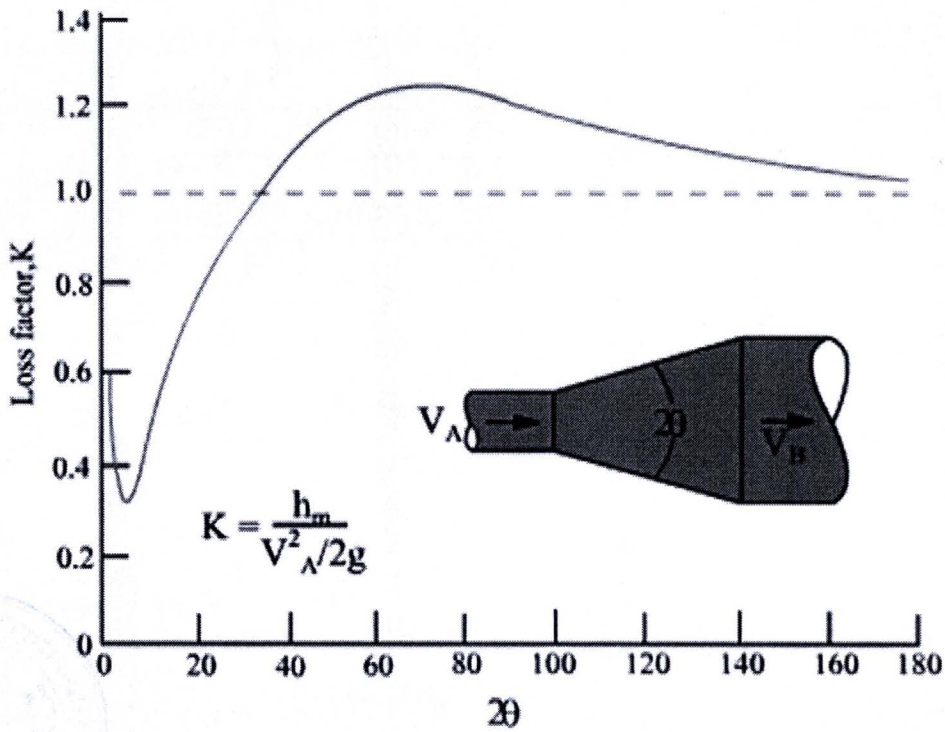
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



ภาพที่ 2.20 ค่า K สำหรับท่อลด- ท่อขยายทันทีทันทันใด

(ที่มา : วิบูลย์,2529)



ภาพที่ 2.21 ค่า K สำหรับท่อขยาย

(ที่มา : วิบูลย์,2529)

2.3.1.6 เฮดรวม(Total Head, H_r)

เฮดรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเฮดของน้ำ ณ จุดนั้น ๆ

∴ เฮดรวม = เฮดความดัน + เฮดความเร็ว + เฮดสถิตย์

$$H_r = H_p + H_V + H_s = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \times Z \quad \text{.....(19)}$$

เฮดสถิตย์ = Z = ความสูงของของเหลว

ความแตกต่างระหว่างเฮดรวมของ 2 จุด ในกรณีที่ไม่มีการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวก็คือเฮดความฝืดระหว่าง 2 จุดนั้น

ฉะนั้นเฮดความฝืดระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

$$H_{f12} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \quad \text{.....(20)}$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของเครื่องสูบน้ำ และจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของเครื่องสูบน้ำ เฮดที่เพิ่มขึ้นก็คือเฮดที่เครื่องสูบน้ำให้แก่น้ำเฮดที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า เฮดของเครื่องสูบน้ำ (Total Dynamic Head หรือ Total Discharge Head, H_{TDH})

$$H_{TDH} = H_{T2} - H_{T1} + H_T = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_T \text{.....(21)}$$

ในกรณีที่ H_T น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของเครื่องสูบน้ำอยู่ในระดับเดียวกัน

$$Z_1 = Z_2 \text{.....(22)}$$

$$H_{TDH} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = H_{p2} - H_{p1} + H_{V2} + H_{V1} \text{.....(23)}$$

2.3.2 ความดันในของไหล

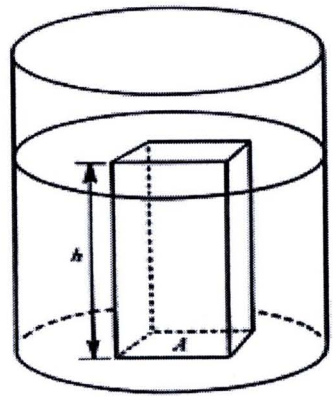
ความดัน (Pressure หรือ Intensity of Pressure) คือแรงที่กระทำบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ ถ้าให้ F เป็นแรงทั้งหมดที่กระทำระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่ A ความดันที่จุดนั้นๆหาได้จากสมการ

$$P = \frac{F}{A} \text{.....(24)}$$

เมื่อ F = แรงที่กระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นที่ A (N)

P= ความดันมีหน่วย$N.m^{-2}$ หรือ พาสคัล (pascal , Pa)

ความดัน 1 Pa = 1 $N.m^{-2}$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2หรือ psi)



ภาพที่ 2.22 แรงเนื่องจากของไหลในปริมาตรสี่เหลี่ยม
(ที่มา : วิบูลย์,2529)

ความดันเนื่องจากของไหลในปริมาตรสี่เหลี่ยมคือ

$$W = mg = V\rho g = Ah\rho g \quad .....(25)$$

ความดันจึงมีค่า

$$P = W/A = \rho gh \quad .....(26)$$

จะได้ว่าความดันของของไหลจึงแปรผันกับความลึกและความหนาแน่นของของไหลภาชนะถังทรงกระบอกเปิดรับความดันของบรรยากาศณ ตำแหน่งความลึก h ใต้ผิวของไหลความดันจะมีค่า

$$P = Po + \rho gh \quad .....(27)$$

- ความดัน 1 บรรยากาศ (atmosphere, atm)

$$1atm = 1.013 \times 10^5 N/m^2$$
$$= 14.7 lb/in^2$$
$$1bar = 1.00 \times 10^5 N/m^2$$
$$1atm = 760mm \ \ of \ \ H_g$$
$$1Torr = \frac{1}{760} atm = 1mm \ \ of \ \ H_g$$

- ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) ความดันที่รวมเอาความดันเนื่องจากบรรยากาศไว้ด้วย
- ความดันเกจ (gauge pressure) ความดันที่ไม่รวมเอาความดันเนื่องจากบรรยากาศไว้

$$P_G = P - P_0 = \rho gh \text{ .....(28)}$$

2.3.3 กำลังงานที่ต้องการและประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

กำลังงานหมายถึงอัตราการทำงานในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้กันทั่วๆไป คือ 1 แรงม้ามีค่าเท่ากับ 745.7 วัตต์ (745.7 N-m/s) กำลังงานที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ มีอยู่สองอย่างด้วยกัน คือ

2.3.3.1 แรงม้าทางทฤษฎี (Theoretical Horsepower) หรือบางครั้งเรียกว่า Water Horsepower, Whpเป็นจำนวนแรงม้าที่เครื่องสูบน้ำจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบด้วยอัตราที่กำหนด ค่า Whp สามารถคำนวณได้

จากสูตร

$$Whp = (Q \times TDH)/273 \text{ .....(29)}$$

เมื่อ Whp = แรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower)

Q = อัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ (m^3/hr)

TDH = หัวรวมของเครื่องสูบน้ำ (m)

จากสูตร (ในกรณีของเหลวเป็นน้ำ)

$$Whp = (Q \times TDH)/360 \text{ .....(30)}$$

เมื่อ Whp = แรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower)

Q = อัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ (gpm)

TDH = เฮดรวมของเครื่องสูบน้ำ (ft)

2.3.3.2 แรงม้าของต้นกำลัง (Brake Horsepower, Bhp.) เป็นกำลังงานที่มอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้เครื่องสูบน้ำเพิ่มกำลังงานให้แก่ของเหลวเท่ากับ Whpดังนั้น

Bhp = Whp / ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ.....(31)

ในกรณีที่ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นกิโลวัตต์ (kW) คำนวณได้จาก

kW = 0.746 Bhp.....(32)

จะได้

ประสิทธิภาพรวม = ประสิทธิภาพมอเตอร์/(ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำxประสิทธิภาพมอเตอร์).....(33)

(วิบูลย์,2529)

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดคุณภาพน้ำ

1. **กังหันน้ำชัยพัฒนา**

กังหันน้ำชัยพัฒนา หรือเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย (Chaipattana Low Speed Surface Aerator) ซึ่งเป็น Model RX-2 หมายถึง Royal Experiment แบบที่ 2 มีคุณสมบัติในการถ่ายเทออกซิเจนได้สูงถึง 1.2 กิโลกรัมของออกซิเจน/แรงม้า/ชั่วโมงสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมปรับปรุงคุณภาพน้ำได้อย่างอเนกประสงค์ ติดตั้งง่ายเหมาะสำหรับใช้ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ สระน้ำ หนองน้ำ คลอง บึง ลำห้วย ฯลฯที่มีความลึกมากกว่า 1.00 เมตร และมีความกว้างมากกว่า 3.00 เมตร(**มูลนิธิชัยพัฒนา**)

รูปที่ 2.23**กังหันน้ำชัยพัฒนา (มูลนิธิชัยพัฒนา)**

2.**เครื่องกลเติมอากาศแบบ** RX-5C

กรมชลประทานรับสนองพระราชดำริในการศึกษาและสร้างต้นแบบตามภาพฝีพระหัตถ์และได้นำไปทดสอบการทำงานที่อ่างเก็บน้ำห้วยตะแปดในศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจาก

พระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรีแต่เครื่องกลเติมอากาศต้นแบบนี้มีขนาดใหญ่จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้เครื่องมีขนาดเล็กเพื่อจะได้นำไปติดตั้งในแหล่งน้ำที่ไม่สามารถติดตั้งกังหันน้ำชัยพัฒนาได้แต่การพัฒนาเครื่องต้นแบบ RX-5C ต้องหยุดชะงักเนื่องจากมีการติดตั้งกังหันน้ำชัยพัฒนาตามสถานที่ต่างๆ เป็นจำนวนมากและต้องวิจัยแก้ไขปรับปรุงระบบส่งกำหลังของกังหันน้ำชัยพัฒนา การพัฒนาเครื่องต้นแบบ RX-5C ได้เริ่มดำเนินการอีกครั้งในปี พ.ศ. 2541 และสำเร็จเมื่อปี พ.ศ. 2542 (มูลนิธิชัยพัฒนา)

รูปที่ 2.24เครื่องกลเติมอากาศแบบ RX-5C (มูลนิธิชัยพัฒนา)

3.เครื่องเติมอากาศแบบตีน้ำ (Paddle Wheel)

เครื่องเติมอากาศแบบตีน้ำเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับเติมอากาศให้กับน้ำ โดยใช้การหมุนของมอเตอร์ไปขับใบพัดให้หมุน ใบพัดจะทำการตีน้ำให้น้ำแตกตัวและกวนน้ำโดยทำให้เกิดเป็นฟองเล็กๆที่เกิดจากตีน้ำและสามารถผสมฟองอากาศขนาดเล็กๆเข้ากับน้ำที่ผิวน้ำได้ การผสมของฟองอากาศกับน้ำจะช่วยให้ออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้ ตัวเครื่องจะลอยอยู่บนผิวน้ำด้วยทุ่นลอยน้ำ เหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งบ่อธรรมชาติ (Facultative Pond)