



พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

พลัง+งาน : ฉบับคิดเป็นทำเป็น พลังน้ำขนาดเล็ก

ผู้เขียน : อุสาคี บุญบำรุง
พิมพ์ครั้งแรก : พฤษภาคม 2553
จำนวน : 2,000 เล่ม

สนับสนุนโดย

ชุดโครงการสนับสนุน จัดการความรู้ และประเมินผล
โครงการวิจัยและพัฒนา “พลังงานทางเลือกเพื่อสุขภาพในชุมชน”
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

จัดพิมพ์โดย

มูลนิธินโยบายสุขภาวะ ที่อยู่ 87/495 หมู่บ้านภัสสรรัตนานิเบศร์ (ซอย 31)
ถ.บางกรวย-ไทรน้อย ต.บางรักใหญ่ อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110
โทรศัพท์ 02-920 9691-2 โทรสาร 02- 920 8845

ที่ปรึกษาวิชาการ : ดร.เดชรัต สุขกำเนิด

บรรณาธิการ : กัลยา นาคลังกา

ออกแบบปก และรูปเล่ม

กชพร วรรณมณี

สุจินต์ เจตน์เกษตรกรรม

พิมพ์ที่

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด โทร 02-942 0195



คำนำ

“พลังงานด้านวิกฤต”หลายท่านสงสัยว่าจะเป็นไปได้อย่างไรเพราะทุกวันนี้พลังงานเองหรือเปล่าที่เป็นตัวก่อวิกฤตไม่ว่าจะเป็นการรับภาระจากราคาที่สูงขึ้น ปัญหามลพิษจากภาคการผลิตพลังงาน บางครั้งทำให้เกิดความขัดแย้งขึ้นในสังคม...วิกฤตเหล่านี้ต่างส่งผลต่อการดำรงชีวิตของผู้คนหรือ เรียกว่ากระทบต่อสุขภาพทั้งทางกาย จิตใจ สังคม และปัญญา... แต่แท้ที่จริงแล้ว “พลังงาน”ยังมีทางเลือกอื่นที่ประชาชนอย่างเราๆ สามารถพึ่งพาตนเองและสร้างขึ้นเองได้จากทรัพยากรใกล้บ้าน ผสมผสานกับภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีอยู่...ทางเลือกนั้นอยู่ในมือท่านแล้ว

“พลัง+งาน” ฉบับคิดเป็นทำเป็นนี้ ถือเป็นฉบับพิเศษที่รวบรวมองค์ความรู้ ของแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทางเลือก ตั้งแต่ประวัติความเป็นมา หลักการ การประยุกต์ใช้ ขั้นตอนการทำ การลงทุนและผลตอบแทน ตลอดจนแหล่งข้อมูลเพิ่มเติม โดยทั้งหมดจะผ่านการเขียนที่เข้าใจง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่สนใจที่จะลงมือปฏิบัติการพลังงานในบ้าน ชุมชน และองค์กรของท่าน หรือเพื่อศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ประกอบกับรูปแบบที่มีขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก เหมาะกับการนำไปเผยแพร่และขยายผลทั้งนี้ได้จัดทำออกมาเป็นชุดการเรียนรู้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกเพื่อสุขภาพในชุมชน ทั้งหมด 10 เล่ม 10 เทคโนโลยี

เนื้อหาในเล่ม เป็นการถอดบทเรียนจากการเรียนรู้ผ่าน “ชุดโครงการสนับสนุนจัดการความรู้ และประเมินผลโครงการวิจัยและพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อสุขภาพในชุมชน” ที่ค้นคว้า พัฒนาสาธิต พลังงานทางเลือกในชุมชนต่างๆ ทั่วประเทศ และหวังจะให้งานวิจัยที่เกิดขึ้นนี้ เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ สามารถนำไปใช้ได้จริงและขยายผลไปสู่การพึ่งพาตนเองด้านพลังงานของประเทศไทยได้มากขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ที่เปิดโอกาสให้ประชาชนเข้าถึงการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานอันจะนำไปสู่สังคมแห่งสุขภาวะ ขอขอบคุณผู้เขียนทุกๆ ท่านที่เสียสละเวลามาร้อยเรียงกลั่นกรองความรู้จนออกมาเป็นชุดการเรียนรู้เล่มนี้ได้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มเล็กๆ ที่ท่านถืออยู่นี้ จะเป็นผู้ช่วยที่เอื้อประโยชน์และให้ความรู้ สำหรับการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานของทุกๆ ท่าน

ขอขอบคุณที่ท่านร่วมเป็นส่วนหนึ่งของปฏิบัติการ
ทีมงาน “ชุดโครงการสนับสนุน จัดการความรู้ และประเมินผล
โครงการวิจัยและพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อสุขภาพในชุมชน”



2 พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

สารบัญ

	หน้า
บทนำและความเป็นมาของเทคโนโลยี.....	3
หลักการโดยทั่วไปของเทคโนโลยี.....	5
แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในภาพรวม.....	11
ขั้นตอนการสร้างชุดกังหันน้ำคิริวง.....	13
ประมาณการลงทุนและผลตอบแทนเบื้องต้น.....	16
ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย.....	18
ข้อพึงระวังในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี.....	20
ศักยภาพการพัฒนาในอนาคต.....	23
แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม.....	24



บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กในมลรัฐวิสคอนซินประเทศสหรัฐอเมริกา และมีการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงระดับโรงไฟฟ้าในปี ค.ศ. 1891 ในเมืองแฟรงค์เฟิร์ต ประเทศเยอรมนี จนถึงปัจจุบันเทคโนโลยีพลังน้ำผลิตไฟฟ้ามีความก้าวหน้าอย่างมากและมีการติดตั้งใช้งานทั่วโลกกว่า 962 GW โดยประมาณ 15% ของพลังงานไฟฟ้าทั่วโลกในปัจจุบันได้มาจากพลังน้ำ ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่เป็นระบบ ที่มีความมั่นคงในการจ่ายพลังงาน มีประสิทธิภาพสูง และมีอายุการใช้งานนาน แต่อย่างไรก็ตามการสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ ก็จะมีผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ระยะหลังจึงมีการพัฒนาระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดกลางและขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องสร้างเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ จึงไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังจะเห็นได้จากในช่วงที่ผ่านมาได้มีการติดตั้งระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเพิ่มขึ้นกว่า 7% โดยเฉพาะในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนและกลุ่มประเทศลาตินอเมริกา ส่งผลให้ปัจจุบันมีการติดตั้งระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทั่วโลกมากกว่า 85 GW

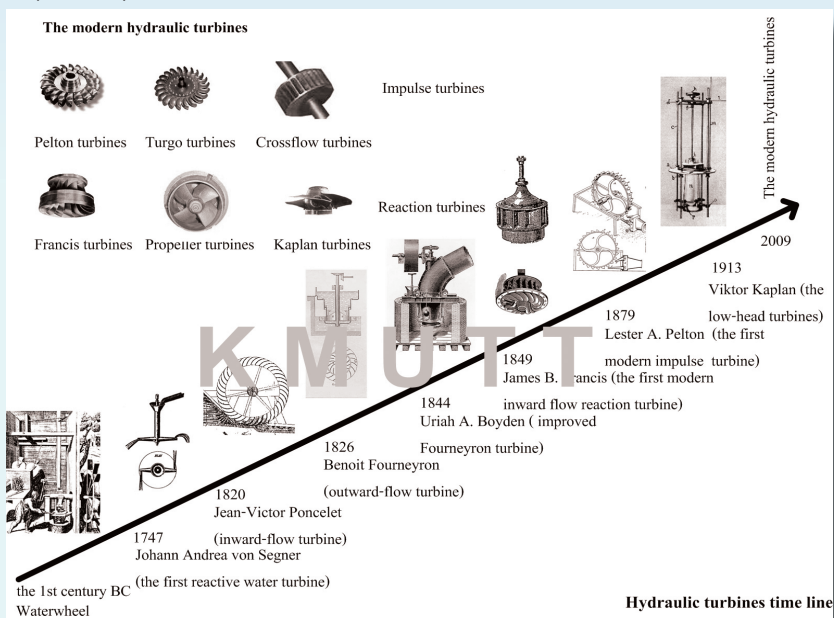




4 พลังงาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยี

กังหันน้ำมีการประดิษฐ์และพัฒนามาเป็นเวลานานเริ่มจากการสร้างวงล้อกังหันน้ำ (Waterwheel) เพื่อการชลประทานในสมัยกรีกโบราณ พัฒนาเพื่อเบดเมล็ดพืชผลทางการเกษตรในยุโรปยุคกลางจนถึงปี ค.ศ 1849 James B. Francis วิศวกรชาวอเมริกัน ได้ประดิษฐ์กังหันฟรานซิส (Francis turbine) ซึ่งเป็นกังหันแบบไหลผสมในแนวรัศมี (radial-inow) เครื่องแรกขึ้นสำหรับใช้งานที่ระยะเฮด 10-100 m และได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระยะต่อมา ปี ค.ศ. 1879 Lester A. Pelton นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน ได้พัฒนากังหันน้ำ เพลตันขึ้น (Pelton turbine) ซึ่งเป็นกังหันน้ำแรงกระแทก (Impulse turbines) ที่ทำงานภายใต้ความดันบรรยากาศ สำหรับใช้งานที่ระยะเฮด 90-900 m ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วงศตวรรษที่ 19 จนถึงปัจจุบัน และผลจากความต้องการพลังงานที่สูงขึ้น ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 Viktor Kaplan วิศวกรชาวออสเตรียได้ประดิษฐ์กังหันน้ำคาปลานขึ้น (Kaplan turbine) ในปี ค.ศ. 1913 ซึ่งเป็นกังหันน้ำตามแนวแกน (Axial turbines) ที่ปรับปรุ้มได้ เพื่อใช้งานที่ระยะเฮดต่ำๆ ในช่วง 3-9 m จนถึงปัจจุบัน การพัฒนากังหันน้ำยังคงดำเนินการอย่างต่อเนื่องในหลายๆ รูปแบบเพื่อให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น(ภาพที่ 1)

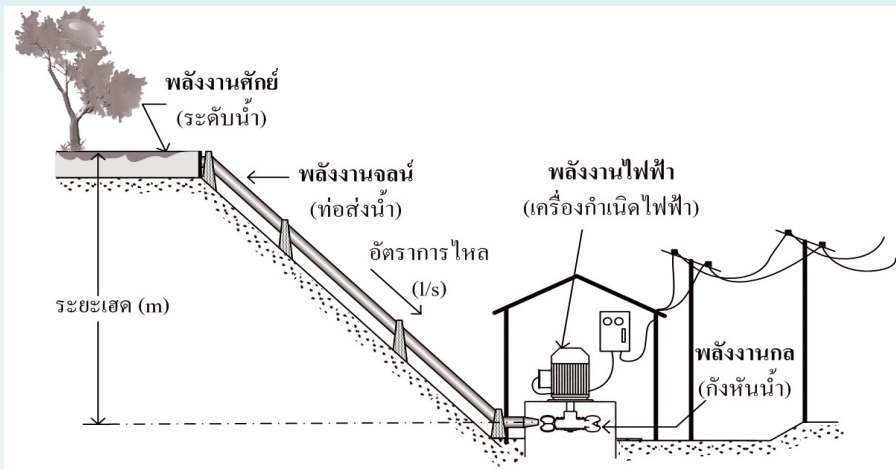


ภาพที่ 1 วิวัฒนาการของกังหันน้ำ



หลักการโดยทั่วไปของเทคโนโลยี

การผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำจากสถานะพลังงานศักย์ในอ่างเก็บน้ำเป็นพลังงานจลน์ในท่อส่งน้ำเป็นพลังงานกลโดยกังหันน้ำและเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับเพลางของกังหันดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก



6 พลังงาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับพลังงานน้ำจากท่อส่งน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวแปร คือ อัตราการไหล และระยะเหตหรือระดับความสูงของน้ำ

อัตราการไหล คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำภายใน 1 วินาที ซึ่งอาจวัดอยู่ในหน่วยลิตรต่อวินาที (l/s) หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)

ระยะเหตรวม คือ ผล ต่างของระดับความสูงในแนวตั้งจากแหล่งน้ำถึงตำแหน่งติดตั้งกังหันน้ำกับการสูญเสียต่างๆ ในระบบท่อส่งน้ำ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$$\text{พลังน้ำ (W)} = 9.81 \times \text{ระยะเหต (m)} \times \text{อัตราการไหล (l/s)}$$

$$\text{พลังน้ำ (kW)} = 9.81 \times \text{ระยะเหต (m)} \times \text{อัตราการไหล (m}^3/\text{s)}$$

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้า สามารถประเมินในเบื้องต้นได้จากสมการ ด้านล่าง

(เมื่อกำหนดให้ประสิทธิภาพรวมของระบบเท่ากับ 50%)

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (kW)} = 0.5 \times \text{พลังน้ำ (kW)}$$

ขนาดของกังหันน้ำ

ปัจจุบันระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้า ไม่มีการกำหนดกลุ่มของขนาดที่ ชัดเจนในแต่ละประเทศ จะกำหนดนิยามแตกต่างกันไป เอกสารฉบับนี้ยึดตามรายงาน Renewable Energy 2007 Global Status Report ของ The World watch Institute

ซึ่งแยกขนาดกังหันน้ำออกเป็น 5 กลุ่มดังนี้

1. กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Large hydro power) พิกัดกำลังไฟฟ้ามากกว่า 10 MW
2. กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small hydro power) พิกัดกำลังไฟฟ้าระหว่าง 1-10 MW
3. กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดมินิ (Mini hydro power) พิกัดกำลังไฟฟ้าระหว่าง 100 kW-1 MW
4. กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Micro hydro power) พิกัดกำลังไฟฟ้าระหว่าง 1-100 kW
5. กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดจิ๋ว (Pico hydro) พิกัดกำลังไฟฟ้าระหว่าง 0.1-1 kW

ส่วนประกอบของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำขนาดเล็ก

1.กังหันน้ำ (Hydraulic turbines)

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานศักย์หรือพลังงานจลน์ จากการเคลื่อนที่ของน้ำเป็น พลังงานกล เทคโนโลยีกังหันน้ำขนาดเล็กมากในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (ภาพที่ 3) ตามลักษณะการทำงาน คือ

กังหันน้ำแรงกระแทก (Impulse Turbines)

เป็นกังหันน้ำที่ทำงาน ด้วยแรงของกระแส น้ำ จากหัวฉีดที่เข้ากระแทกถูกด้วยที่วางเป็นแนว วงกลมรอบตัวหมุนภายใต้ความดันบรรยากาศ กังหันน้ำแรงกระแทกเหมาะกับการใช้งานที่ ระยะเสดสูงๆซึ่งจะมีความเร็วจำเพาะและอัตราการ ไหลต่ำโดยปกติจะออกแบบให้ทำงานที่ระยะเสดของน้ำ มากกว่า 30 m ขึ้นไป (หรืออาจจะน้อยกว่าในระบบขนาดจิ๋ว) กังหันน้ำแรงกระแทกที่ยังคงมีการใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่

กังหันน้ำเพลตัน (Pelton turbines) กังหันน้ำเทอร์โก (Turgo turbines)

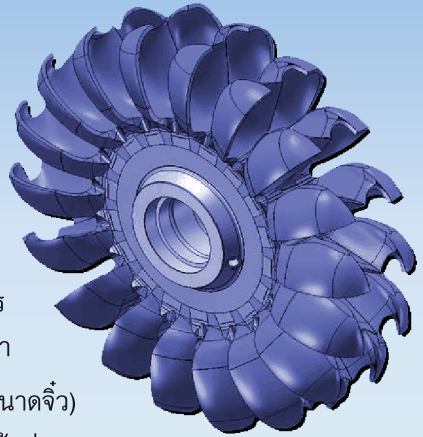
และกังหันน้ำครอสโฟล์ (Crossow turbines) เป็นต้น

กังหันน้ำแรงสะท้อน (Reaction Turbine)

พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนกังหันน้ำแบบนี้จะได้จากพลังงานจลน์ที่อยู่ในรูป ความเร็วของน้ำและพลังงานศักย์ในรูปของความดันน้ำที่ทำให้เกิดแรงยกที่ตัวใบพัด โดย กระแสน้ำจะไหลไปตามทิศทางของช่องนำน้ำเข้าไปหมุนรอบกังหันน้ำแล้วไหลออกทางท่อ ปล่อน้ำออกขณะทำงานใบพัดทุกใบจะมีน้ำท่วมอยู่ตลอดเวลากังหันน้ำแบบนี้เหมาะ กับการใช้งานที่ระยะเสดต่ำ(สามารถทำงานที่ระยะเสดต่ำกว่า 2 m) ซึ่งจะมีความเร็ว จำเพาะและอัตราการไหลสูงกังหันแรงสะท้อนที่ยังคงใช้งาน

ในปัจจุบันได้แก่กังหันน้ำฟรานซิส (Francis turbines) กังหันน้ำใบพัด (Propeller turbine) และกังหันน้ำคาปลาน (Kaplan turbines) เป็นต้น

กังหันแบบ Pelton

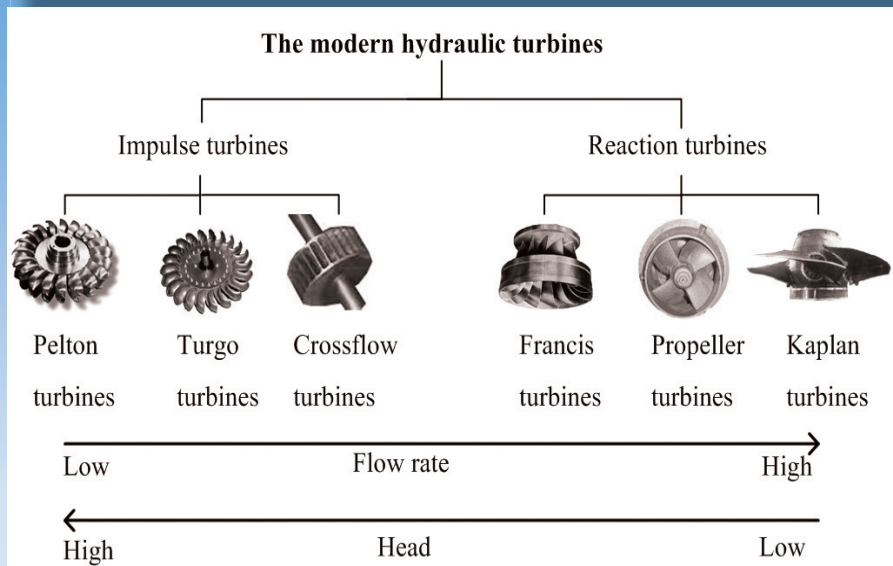


หลักการโดยทั่วไปของเทคโนโลยี





8 พลังงาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก



ภาพที่ 3 ประเภทของกังหันน้ำ

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC generators)

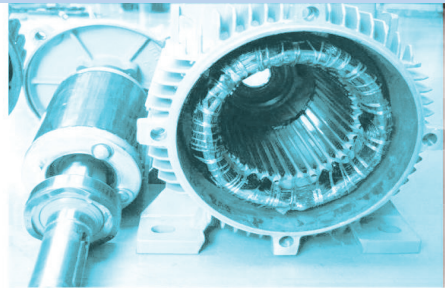
ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่ออยู่กับเพลลาของกังหันน้ำ) เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous generators) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction generators)

ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส คือ ไดนาโม ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเฟสเดียวขนาดเล็กที่มีใช้งานทั่วไปภาพที่ 4 ก. ข้อดีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้คือเป็นเทคโนโลยีที่คุ้นเคยกับชาวบ้าน เนื่องจากการนำมาใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ มาเป็นเวลานาน มีคุณสมบัติในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าดี (Voltage regulation) แต่จะมีข้อเสียที่มีราคาแพง ต้องการการบำรุงรักษาบ่อย เนื่องจากมีสลิปริงและแปรงถ่าน และผลจากปรากฏการณ์อาร์คแอดชันของขดลวดผลิตไฟฟ้ากระแสตรงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสหมุนด้วยความเร็วต่ำกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่ต้นกำลังขับเคลื่อนเดียวกัน ซึ่งอาจจำเป็นต้องติดตั้งระบบเพื่อกดเพิ่มเติมในระบบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมนำมาใช้กับระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กในปัจจุบัน เนื่องจากมีหลากหลายขนาดให้เลือก อะไหล่หาซื้อได้ง่ายมีราคาถูกแข็งแรงทนทานและต้องการบำรุงรักษาน้อย แต่จะมีข้อด้อยคือการนำมาใช้งานในลักษณะระบบอิสระ (Off-grid) จำเป็นต้องมีการนำตัวเก็บประจุมาต่อที่ขั้วไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกระแสสร้างสนามแม่เหล็กที่สวนอยู่กับที่ ที่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขั้วแม่เหล็กที่ตัวหมุนและข้อด้อยที่สำคัญคือ การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าไม่ตกกล่าวคือขณะที่หมุนด้วยความเร็วคงที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มโหลดเกินพิกัดให้กับเครื่องกำเนิด



ก. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส



ข. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ภาพที่ 4 รูปเปรียบเทียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

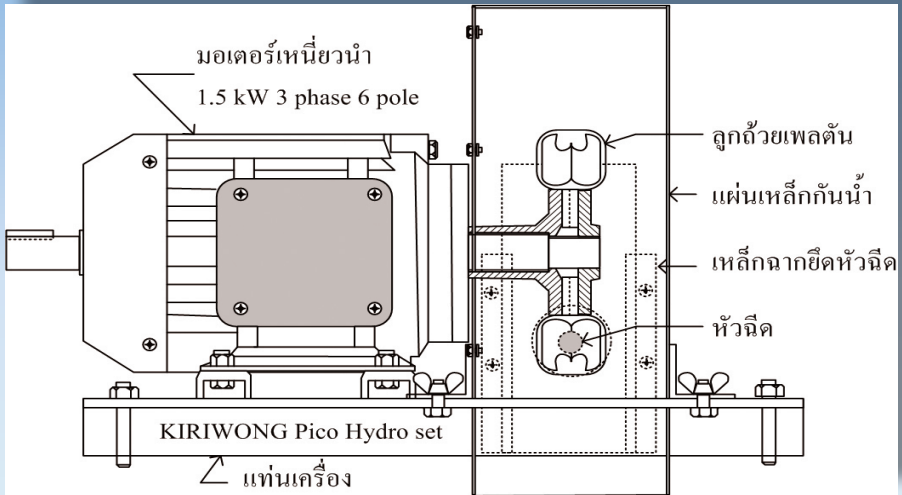
ตัวอย่าง ชุดกังหันน้ำคีรีวง

ชุดกังหันน้ำคีรีวงพัฒนามาจากศักยภาพพลังน้ำและปริมาณความต้องการไฟฟ้าของแต่ละชนาในพื้นที่หมู่บ้านคีรีวงโดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและกลุ่มกังหันน้ำคีรีวง ซึ่งเป็นการต่อยอดนวัตกรรมกังหันน้ำภูมิปัญญาท้องถิ่นคีรีวงมีลักษณะเป็นกังหันน้ำเพلدตันต่อร่วมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 1 kW ที่อัตราการไหล 10 l/s ระยะเฮด 30 m (สามารถนำไปใช้งานที่อัตรา การไหลต่ำกว่านี้ได้ แต่ต้องปรับเปลี่ยนขนาดหัวฉีด และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง) มีความเหมาะสมและมั่นคงในการผลิตไฟฟ้าสำหรับหมู่บ้านในชนบท ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน สามารถผลิตและซ่อมแซมได้เองโดยอาศัยเทคโนโลยีในชุมชนดังภาพที่ 5





10 พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของชุดกังหันน้ำคิริง

สอบถามรายละเอียดหรือสั่งซื้อได้ที่

กลุ่มกังหันน้ำคิริง 149/2 หมู่ 10 ต. กำโลน อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช 80000

คุณกรณ ชุนทน โทร. 08-6120-6074 คุณสุภัคดี หัตถิ โทร. 08-9650-2107

คุณส่อง บุญเฉลย โทร. 0-7553-3031 E-mail: kiriwongpicohydrogroup@hotmail.com

Website <http://kiriwongpicohydrogroup.spaces.live.com>



แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในภาพรวม

การประยุกต์ใช้ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้า ต้องคำนึงถึงระยะเฮดและกำลังไฟฟ้าที่ต้องการเป็นสำคัญโดยกังหันน้ำแรงกระแทกเหมาะกับการใช้งานที่ระยะเฮดสูงๆ และกังหันน้ำแรงส่ทอนเหมาะกับการใช้งานที่ระยะเฮดต่ำๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ขนาดท่อส่งน้ำจะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณอัตราการไหล ที่ใช้สำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

ตารางที่ 1 แสดงระยะเฮดที่เหมาะสมกับกังหันน้ำขนาดเล็กมากประเภทต่างๆ

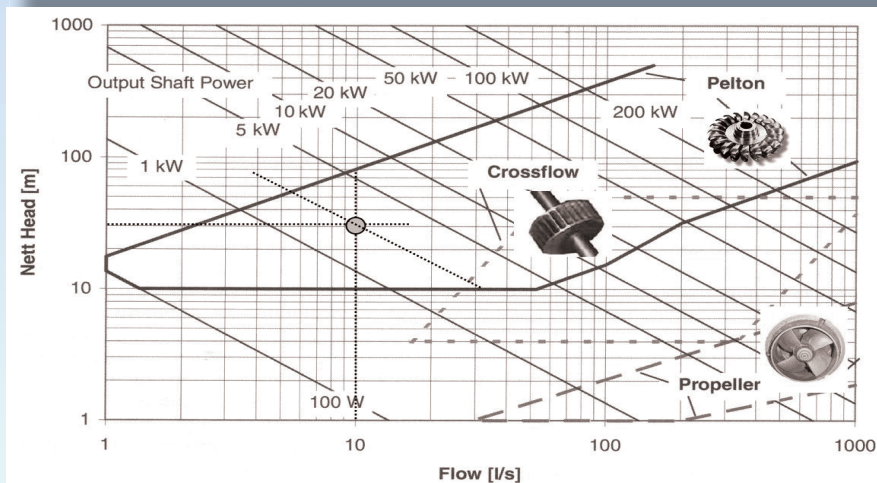
ประเภทของกังหันน้ำ	ระยะเฮดสูง (>10 m)	ระยะเฮดปานกลาง (5-50 m)	ระยะเฮดต่ำ (<5 m)
กังหันน้ำแรงกระแทก	Pelton Turgo Multi-jet Pelton	cross- flow multi-jet Pelton Turgo	cross- flow
กังหันน้ำแรงส่ทอน		Francis Pump-as-turbine	propeller Kaplan





12 พลังงาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก สามารถประเมินเบื้องต้นได้จากกราฟกำลังทางกลที่เพลากังหันน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งอาศัยตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวแปร คือ อัตราการไหล และระยะเฮด โดยการลากเส้นตรงเชื่อม ระหว่าง เส้นระยะเฮด (แกน Y) กับเส้นอัตราการไหล (แกน X) จุดตัดของเส้นตรงทั้งสองอยู่ในกรอบขอบเขตชนิดกังหันน้ำชนิดใดแสดงว่า กังหันน้ำชนิดนั้นเหมาะกับอัตราการไหลและระยะเฮด ดังกล่าว (ตัวอย่างในรูปคือกังหันน้ำเพลตัน) และจุดตัดของทั้งสองเส้นข้างต้นที่เส้นกำลังทางกล (เส้นเอียง) คือ ขนาดกำลังทางกลที่เพลากังหันน้ำผลิตได้ (ตัวอย่างในรูป คือ 2.5 kW) โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก จะมีค่าประมาณ 70% ของกำลังทางกลดังกล่าว



ภาพที่ 6 ช่วงอัตราการไหล และระดับหัวน้ำที่เหมาะสมกับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

(ที่มา: Jeremy Thake, "The Micro-hydro Pelton turbine manual", 2000)





แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาและสร้างลูกถ้วยเพลตันโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และการประกอบชุดกังหันน้ำโดยกลุ่มกังหันน้ำคิรีวง

1. การพัฒนาและสร้างลูกถ้วยเพลตัน

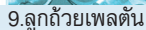
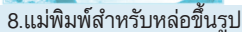
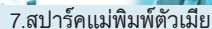
เป็นขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาโดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเพื่อออกแบบลูกถ้วยเพลตันให้เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานในพื้นที่คิรีวงประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1.1 การออกแบบและจำลองการทำงานของกังหันน้ำเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สภาวะการทำงานต่างๆ กัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computer Fluid Dynamic (CFD)

1.2 สร้างแบบเพื่อใช้ในขั้นตอนการหล่อแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWorks

1.3 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ด้วยการขึ้นรูปโดยการหล่อด้วยวิธี Loss Wax (Investment Casting) ซึ่งจะได้แม่พิมพ์สำเร็จเพื่อนำไปฉีดขึ้นผึ้ง และหล่อลูกถ้วยด้วย Stainless steel เกรด 304 หรือเหล็กต่อไป

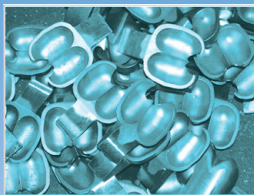




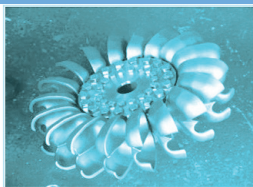
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการสร้างลูกถ้วยเพลตัน

เป็นขั้นตอนการนำลูกถ้วยเพลตันที่ได้จากขั้นตอนแรกมาประกอบเป็นชุดกังหันน้ำควิวง
ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

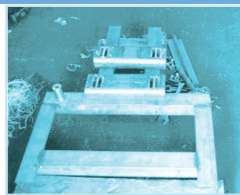
- 2.1 นำลูกถ้วยเพลตัน 18 ลูก มาประกอบเป็นชุดใบพัด
- 2.2 สร้างแท่นเครื่องสำหรับวางมอเตอร์ และนำชุดใบพัดมาประกอบเข้ากับเพลามอเตอร์
- 2.3 สร้างฝาคกรอบกันน้ำ และประกอบหัวฉีด
- 2.4 ติดตั้งชุดควบคุม (อุปกรณ์ตัดตอนตัวเก็บประจุและชุด ELC)และทดสอบระบบ



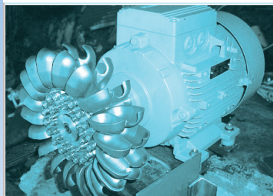
1. ลูกถ้วยเพลตัน 18 ลูก



2. ประกอบเป็นชุดใบพัด



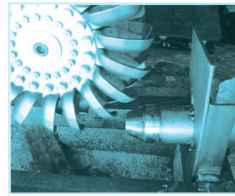
3. สร้างแท่นเครื่อง



4. ประกอบตัวเฟลอมอเตอร์



5. สร้างฝากรอบกันน้ำ



6. ประกอบกับหัวฉีด



7. ประกอบชุดควบคุม



8. ชุดกังหันน้ำคิริวง



9. ติดตั้งและทดสอบ

ภาพที่ 8 ขั้นตอนการประกอบกังหันน้ำโดยกลุ่มกังหันน้ำคิริวง

ติดต่อสอบถามและสั่งซื้อ

ลูกถ้วยเพลตัน สำหรับกังหันน้ำเส้นผ่านศูนย์กลาง

(PCD) ขนาด 100 mm และ 200 mm ได้ที่ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 83 หมู่ 8 แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน

กรุงเทพฯ 10150 โทร. 0-2452-3456 (อัตโนมัติ 13 คู่สาย) โทรสาร. 0-2452-3455

เว็บไซต์ : <http://www.pdti.kmutt.ac.th>





การศึกษาผลตอบแทนเบื้องต้นในการลงทุนระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ดำเนินการใน 3 แนวทาง คือ การนำเข้าเทคโนโลยี การพัฒนากังหันน้ำขึ้นมาเองโดยชุมชน (กังหันน้ำศิริวง) และการนำระบบมอเตอร์/ปั๊ม (PAT) มาประยุกต์ใช้งาน บนพื้นฐานเดียวกันที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 1 kW

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ประกอบด้วยค่าวัสดุและอุปกรณ์ในการก่อสร้างระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 2 แต่เนื่องจากที่หมู่บ้านศิริวงมีการติดตั้งระบบท่อส่งน้ำเพื่อการอุปโภค และเกษตรกรรมไว้แล้วในทุกพื้นที่ ดังนั้นรายการต้นทุนกรณีการนำเข้า เทคโนโลยีและการพัฒนาชุดกังหันน้ำโดยชุมชนจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบท่อส่งน้ำเพิ่มเติม ส่วนระบบ PAT ซึ่งต้องการน้ำในปริมาณมากกว่าในการผลิตไฟฟ้า 1 kW จึงต้องใช้ท่อส่งน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าท่อที่เดินเข้าส่วนเดิมของชาวบ้านในปัจจุบัน ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในการเดินท่อส่งน้ำใหม่

2. ผลตอบแทน

ผลตอบแทนในการติดตั้งระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก คือชาวบ้านมีทางเลือกในเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้งานในพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อการอุปโภคบริโภค ช่วยให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นมีรายได้จากการทำเกษตรเพิ่มขึ้นลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิง ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางด้านครอบครัวและสังคมท้องถิ่น ผลประโยชน์ทางตรง

ที่เกิดขึ้นคือ ชาวบ้านมีไฟฟ้าใช้ตลอด 24 ชั่วโมง คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 7,008 kWh (ยูนิต)/ครัวเรือน/ปี (ที่ชั่วโมงทำงาน 80%) เพียงพอสำหรับใช้ในกิจกรรมประจำวัน เช่น มีแสงสว่างตลอดคืน มีไฟฟ้าสำหรับการล่อแมลงศัตรูผลไม้ มีไฟฟ้าสำหรับรับข่าวสารจากสื่อโทรทัศน์ วิทยุตลอดเวลา ไฟฟ้าสำหรับเครื่องมือการเกษตรขนาดเล็ก เป็นต้น

3. ผลการวิเคราะห์ทางการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินในการติดตั้งระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เมื่อรวมผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า 576 kWh (ยูนิต)/เดือน คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,453 บาท/เดือน พิจารณาที่อายุการใช้งานของระบบ 10 ปี ค่าบำรุงรักษารายปี 1,000 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 7% และอัตราเงินเฟ้อ 0.5% พบว่าการพัฒนากังหันน้ำขึ้นมาใช้เอง โดยชุมชนมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดเนื่องจากต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน ต่ำที่สุดที่ 47,164 บาท ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดที่ 2 ปี และอัตราค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก ระบบต่ำที่สุดที่ 0.68 บาท/ยูนิต ซึ่งต่ำกว่าอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประมาณ 4 เท่า (ปัจจุบันอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเกิน 400 หน่วยขึ้นไป อยู่ที่อัตรา 2.9 บาท/ยูนิต)

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางการเงิน

ต้นทุน	นำเข้า(บาท)	พัฒนาเอง(บาท)	PAT(บาท)
1. ค่าใช้จ่ายลงทุน			
งานโยธา เช่น ฐานรอง อาคาร ฯลฯ	10,000	10,000	10,000
งานไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า เสาไฟ ฯลฯ	5,000	5,000	5,000
กังหันน้ำขนาด 1 kW	80,000	25,000	25,000
ระบบท่อและข้อต่อ	-	-	40,000
ค่าซ่อมบำรุงรายปี (1,000 บาท/ปี)	1,000	1,000	1,000
ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost)	102,164	47,164	87,164
2. ผลตอบแทน			
ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	17,436	17,436	17,436
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	3	2	3
อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/ยูนิต)	1.47	0.68	1.26



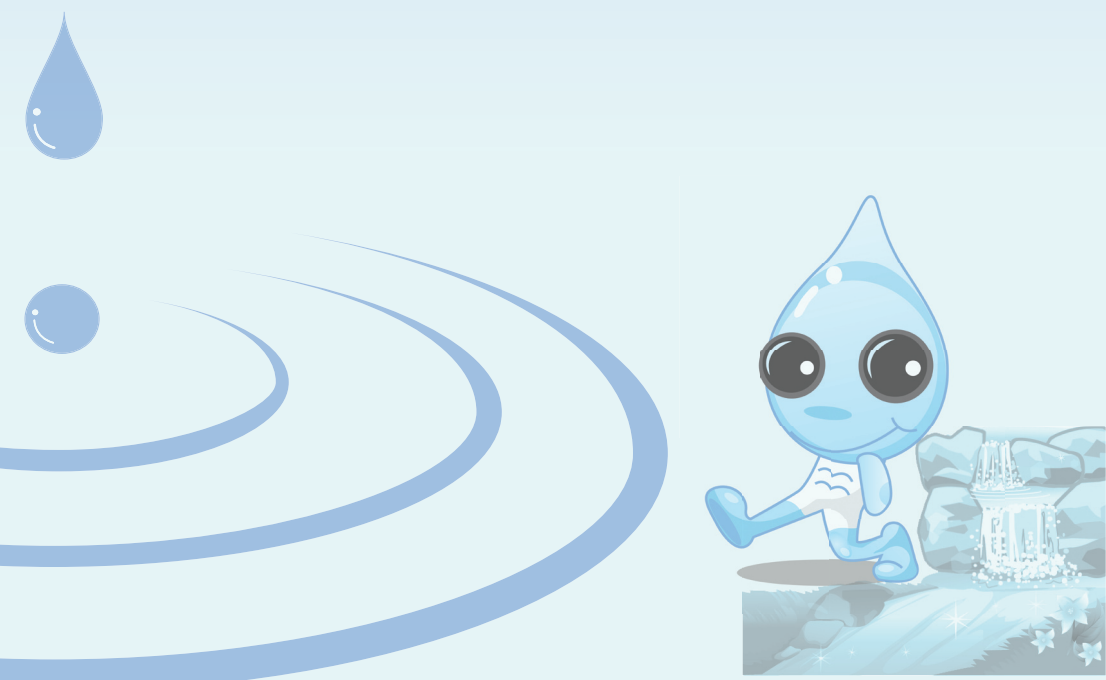


ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย

แม้ว่าเทคโนโลยีพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากในปัจจุบัน จะมีราคาต่อหน่วยพลังงานต่ำสุด ในกลุ่มพลังงานหมุนเวียนด้วยกัน แต่สำหรับประเทศไทยการนำเอาเทคโนโลยีกักกั้นน้ำจากต่างประเทศเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 7-8 หมื่นบาท/kW ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีบริษัทผู้ผลิตกักกั้นน้ำขนาดเล็กในประเทศ การใช้งานระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำเข้ากักกั้นน้ำผลิตไฟฟ้าจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนที่มีราคาถูกมาใช้งานแต่จากการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดประมาณ 50% ขณะที่กักกั้นน้ำ นวัตกรรมท้องถิ่นที่พัฒนาโดยชาวบ้านในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศก็ยังไม่เกิดประสิทธิผลเท่าที่ควรเนื่องจากชาวบ้านยังไม่เข้าใจในหลักการทางชลศาสตร์เพียงพอ ขั้นตอนการออกแบบไม่ได้คำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ ใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงๆ ไม่ได้ การใช้ประโยชน์จึงไม่เกิดประสิทธิผลเท่าที่ควรจากเหตุผลดังกล่าวทำให้สถานะภาพการใช้ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากในช่วงที่ผ่านมาจึงไม่มีการขยายออกไปสู่กว้าง มีการใช้งานในวงแคบๆ เฉพาะกลุ่มที่สนใจจริงๆ เท่านั้น และระบบที่ติดตั้งส่วนใหญ่เป็นโครงการติดตั้งสาธิตโดยหน่วยงานภาครัฐและ NGO ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการติดตั้งระบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กในประเทศ (<10 kW)

สถานที่ติดตั้ง	ขนาด	ชนิด	รูปแบบ	ดำเนินการโดย
บ้านแม่เหว่ย จ. ตาก	3 kW.	PAT	นำเข้า	กลุ่มพลังโท
บ้านมอติดา จ.ตาก	2 kW.	Turgo	นำเข้า	กลุ่มพลังโท
อุทยานแห่งชาติแม่วงก์	0.3 kW, 0.5 kW, 1 kW	Propeller	นำเข้า	มหาวิทยาลัยนเรศวร
บ้านไร่บน จ.สุราษฎร์ธานี	0.3 kW, 0.5 kW.	Propeller Turgo	นำเข้า	กลุ่มพลังโท
บ้านคีรีวง จ.นครศรีธรรมราช	2x0.3 kW, 0.4 kW.	Impulse	นวัตกรรมท้องถิ่น	ชาวบ้านคีรีวง
บ้านบกแบก บ้านตะแบกงาม จ.ชุมพร		Impulse	นวัตกรรมท้องถิ่น	ชาวบ้านพะโต๊ะ
เหมืองสมศักดิ์ จ.กาญจนบุรี	-	Impulse	นวัตกรรมท้องถิ่น	-
บ้านคีรีวง จ.นครศรีธรรมราช	5x1 kW, 3x0.2 kW.	Pelton	สร้างเอง	กลุ่มกังหันน้ำคีรีวง





20 พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก



ข้อพึงระวังในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

การประยุกต์ใช้ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากต้องคำนึงถึงหลายๆ ตัวแปร เช่น อัตราการไหล ระยะเหต นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศและข้อจำกัดทางธรณีวิทยาประกอบด้วย

1.ประเภทของกังหันน้ำจะต้องเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศที่นำไปใช้งาน กล่าวคือสำหรับภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูง(ระยะเหตสูง) ควรเลือกใช้กังหันน้ำแรงกระแทก สำหรับภูมิประเทศที่มีความลาดชันน้อยแต่มีปริมาณน้ำมาก(อัตราการไหลสูง) ควรเลือกใช้กังหันน้ำแรงสะท้อน

2.ขนาดของกังหันน้ำจะต้องสัมพันธ์กับระยะเหตและอัตราการไหลกรณีของกังหันน้ำเพลตัน(หรือชุดกังหันน้ำคิริวง) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนหมุน (PCD) สามารถเลือกได้จากกราฟในภาพที่ 6 หรือคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\text{เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหมุน (mm)} &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (mm)} / 0.11, \quad H < 500 \text{ m} \\ &= \text{เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (mm)} / 0.15, \quad H > 500 \text{ m}\end{aligned}$$

แต่เนื่องจากขนาด PCD มาตรฐานเป็นตัวเลขที่หารด้วย 50 ลงตัว เช่น 200, 250, 300, 400 mm เป็นต้น ดังนั้นผลที่ได้จากการคำนวณจะต้องปรับให้ได้ตามตัวเลขดังกล่าว โดยยึดหลักค่าที่ใกล้เคียงกว่า

3.ขนาดหัวฉีดโดยปกติหัวฉีดจะมีขนาดประมาณ 11% ของ PCD แต่อย่างไรก็ตามการนำกังหันน้ำไปใช้งานที่ระยะเฮดและอัตราการไหลแตกต่างจากที่กำหนด จะต้องปรับเปลี่ยนขนาดหัวฉีดใหม่ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลและระยะเฮดที่จะนำไปใช้งาน โดยขนาดหัวฉีดที่เหมาะสม จะต้องทำให้กังหันน้ำหมุนขณะไม่มีโหลดด้วย ความเร็ว 2 เท่าของความเร็วทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ 1,500 rpm จะต้องออกแบบหัวฉีดให้กังหันน้ำหมุนด้วยความเร็วขณะไม่มีโหลด 3,000 rpm ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (mm)} = \frac{17.2}{\text{ระยะเฮด (m)}} \times 0.25^x \left[\frac{\text{อัตราการไหล (l/s)}^{0.5}}{\text{จำนวนหัวฉีด}} \right]$$

4.ขนาดมอเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแปรที่ใช้ในการเลือกขนาดมอเตอร์ คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับความเร็วในการหมุนของกังหัน น้ำปกติกการนำมอเตอร์มาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานประมาณ 50-80% พิกัดกำลังมอเตอร์และจำนวนขั้วแม่เหล็กคำนวณได้จากสมการ





22 พลัง+งาน ฉบับคิดเป็นทำเป็น: พลังน้ำขนาดเล็ก

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วในการหมุน (rpm)} &= 37.7 \times \frac{\text{ระยะเหวด (m)}^{0.5}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหมุน (mm)}} \\ \text{พิกัดกำลังมอเตอร์ (kW)} &= \text{กำลังทางกลที่เพลากังหัน (kW)} / 0.7 \\ \text{จำนวนชั่วโมงเฉลี่ย} &= 6: \text{ความเร็วในการหมุน} < 1,500 \text{ rpm} \\ &= 4: \text{ความเร็วในการหมุน} < 3,000 \text{ rpm} \\ &= 2: \text{ความเร็วในการหมุน} > 3,000 \text{ rpm}\end{aligned}$$

5.ขนาดตัวเก็บประจุค่าของตัวเก็บประจุที่นำมาต่อเพื่อเพิ่มสนาม แม่เหล็กตกค้างภายในมอเตอร์ เพื่อจะทำให้เกิด Voltage build up ขึ้นที่ขั้วของมอเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ขนาดตัวเก็บประจุ (uF)} = \frac{1.73 \times \text{แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (V)} \times \text{กระแสไฟฟ้าที่พิกัด (A)}}{54.25}$$



ศักยภาพการพัฒนาในอนาคต

ภาคใต้ของประเทศไทยที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบคาบสมุทร โดยได้รับอิทธิพลลมมรสุมจากสองฝั่งทะเล ทั้งทะเลอันดามันและอ่าวไทย จึงทำให้เกิดฝนตกชุกตลอดทั้งปี จึงประกอบด้วยแม่น้ำลำคลองสายสั้นๆ หลายสายไหลจากต้นน้ำเทือกเขาสูงสู่ทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน เกิดพื้นที่ลุ่มน้ำมากมาย จึงมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำสูง

แนวทางการพัฒนาระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากในอนาคต ควรมุ่งเน้นไปที่การออกแบบระบบให้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงขึ้น โดยการพัฒนาส่วนลูกถ้วยและหัวฉีดให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่ระยะเขตและอัตราการไหลต่าง ๆ กัน และต้นทุนการผลิตของระบบให้ต่ำลง โดยการหล่อขึ้นรูปเป็นชุดใบพัดชิ้นเดียวที่นำไปสวมกับเพลามอเตอร์ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากระบบพลังน้ำขนาดเล็กเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนสามารถพัฒนาและผลิตโดยใช้องค์ความรู้และทักษะทางวิศวกรรมในประเทศได้ รวมถึงการพัฒนากระบวนการสร้างเครือข่าย พลังงานน้ำขนาดเล็กในประเทศ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการใช้งานระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กโดยตรง โดยการสร้างเครือข่ายความร่วมมือใน 2 ระดับ คือ เครือข่ายระดับชาวบ้าน โดยอาศัยความสัมพันธ์และความเอื้ออาทรกันของชาวบ้านในแต่ละชุมชนผ่านเครือข่ายที่มีอยู่ก่อนแล้วและเครือข่ายความร่วมมือระหว่างหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่สนใจในการพัฒนาและเผยแพร่ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าในประเทศ





1. อุสชาติ บุญบำรุง สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อีเมลล์ usa_kmutt@yahoo.com โทรศัพท์ 081-456 4551

2. S.L. Dixon, "Fluid Mechanical and Thermodynamics of Turbomachinery", Elsevier Butterworth-Heinemann publications, UK, 2005.

3. The World watch Institute, "Renewable Energy2007 Global Status Report", Paper prepared for the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Network, 2008.

4. The World watch Institute, "Renewable Energy2009 update Global Status Report", Paper prepared for the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Network, 2009.

5. Oliver Paish, "Small hydro power: technology and current status", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.6, 2002, pp. 537-556.

6. S.D.B. Taylor and D., "Sustainable markets for small hydro in developing countries", Hydro power & Dums, Issue Three 2005.

7. Jeremy Thake, "The Micro-hydro Pelton turbine manual", 2000.

8. Phillip Maher, "The Pico Power Pack: Fabrication and Assembly Instructions", [Online], <http://www.tve.org/ho/doc.cfm?aid=871>., [2009, May].

9. Border Green Energy Team [Online], <http://www.bget.org/>., [2009, May].

10. มูลนิธินโยบายสุขภาพ <http://www.energygreenhealth.com> โทรศัพท์ 02-920 9691 โทรสาร 02- 920 8845