

การพัฒนาหม้อต้มพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า : ออกแบบ และสร้างเทอร์ไบน์ขนาดเล็ก

The Development of Solar Still as a Power Generation Cell : Inventing a Small Turbine

อรัญ วสันตกรณ ธนากรณ ธนอมลภา ปณิธาน อินทฤทธิ์ และ คงพัฒน์ วรรณวัฒน์
ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
Email: aran@su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทดลองพัฒนา Solar Still (ซึ่งแต่เดิมใช้กันเพื่อแยกน้ำออกจากเกลือหรือใช้ต้มน้ำร้อน) เป็นเซลล์ผลิตไฟฟ้า โดยหลักการของเซลล์ผลิตไฟฟ้านี้ คือ ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็น input เพื่อไปต้มน้ำใน Solar Still ให้กลายเป็นไอลอยขึ้นไปเกาะและควบแน่นบนหลังคากระจก ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานศักย์แก่น้ำ เมื่อน้ำที่เกาะกระจกรวมตัวกันเป็นหยดใหญ่ขึ้นจะไหลไปตามผิวกระจกลงสู่รางรวบรวมน้ำ ในที่สุดน้ำที่ควบแน่นแล้วจะตกลงสู่เบื้องล่างของพื้น Solar Still (ช่วงนี้พลังงานศักย์ของน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์) ไปกระแทกใบพัดรูปกระบวยของระบบสกัดพลังงานจลน์จากน้ำจนเกิดการหมุน งานเพลาก็ได้จากการหมุนงานใบพัดรูปกระบวยจะถูกส่งกำลังไปขับไดนาโม เพื่อปั่นไฟฟ้าผ่านแกนต่อเชื่อม งานหลักของงานวิจัยนี้ ได้แก่ การออกแบบระบบสกัดงานเพลาจลน์จากพลังงานจลน์ของน้ำที่กำลังตกกระแทกให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ทดลองออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นระบบงานโลหะติดใบพัดรูปกระบวยซึ่งประกอบด้วยใบพัดจำนวน 6 ใบ เสียบติดกับงาน และใบพลาสติกสำเร็จรูป (8 ใบพัด) ผลการทดลองระเหยและควบแน่นน้ำใน Solar still ต้นแบบที่สร้างพบว่า สามารถระเหย และควบแน่นน้ำได้เฉลี่ย 4.911 มิลลิเมตรต่อนาที่ซึ่งมีค่าไม่มาก เพราะสังเกตได้ว่าน้ำตกเป็นหยดๆ แทนที่จะเป็นกระแสต่อเนื่อง ผลการทดสอบเดินเครื่องเซลล์ผลิตไฟฟ้าที่สร้างพบว่า ชุดใบพัดโลหะนั้นใหญ่และฉีกเกินที่แรงกระแทกจากหยดน้ำจะขับให้หมุนได้ มีเพียงชุดใบพัดพลาสติกเท่านั้นที่สามารถหมุนสกัดพลังงานจลน์จากหยดน้ำที่ตกลงมากระแทกได้ แต่ยังสามรถผลิตกระแสไฟฟ้าได้น้อยเพียงแค่ 0.3 μW เท่านั้น ลองวัดและคำนวณค่าประสิทธิภาพทางกลของระบบสกัดพลังงานจลน์ของน้ำในเซลล์ได้ค่าประมาณ 20% จึงเสนอให้ออกแบบระบบสกัดพลังงานจลน์จากน้ำที่ควบแน่นใน Solar Still รูปแบบใหม่ที่ให้แรงกระแทกที่แม่นยำ และต่อเนื่องมากกว่าแบบชุดงานใบพัดรูปกระบวย งานวิจัยนี้คำนวณค่าประสิทธิภาพการผลิต

ไฟฟ้าของเซลล์ผลิตไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นจากหม้อต้มพลังแสงอาทิตย์เซลล์นี้คร่ำๆ โดยนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์หารด้วยความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้วัดค่า (หาเพียงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย แนวภาคตะวันตก) ได้ค่าเท่ากับ 1.23% หากมีการปรับปรุงชุดสกัดพลังงานจากกระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ก็สามารถนำเซลล์ผลิตไฟฟ้าชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดี โดยการสร้างภาชนะพลาสติก (หรือวัสดุอื่นๆ ที่หาง่ายและราคาไม่แพง) ครอบแหล่งน้ำขนาดเล็ก เช่น สระน้ำ แม่น้ำ ทะเล หรือ บอนบก ก็ตาม ก็ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งหากได้ voltage ต่ำ ก็สามารถต่อหลายๆ เซลล์เข้าด้วยกันแบบอนุกรมได้ และหากทำารรับน้ำด้านนอกเซลล์ด้วย จะสามารถสกัดพลังงานจากน้ำได้ทั้งวัน ฝนตกและวันแดดออก เซลล์นี้สามารถช่วยแก้ปัญหาน้ำแล้งไปในตัวด้วย

คำสำคัญ

หม้อต้มพลังแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์แบบใช้หม้อต้มน้ำ อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า

Abstract

The research develops a solar still, which is primitively used for water evaporation or desalination and making hot water, as a power generation cell. This solar power generation cell is working as a cycle that water inside a still is vaporized and raised to condense and cling on its glass roof. When those clinging water drops become larger enough, they will move down to an open channel located at the end of the glass roof. The collected water is then allowed to fall down and impact on a kinetic energy extracted equipment located near the still floor. This equipment is extracting water kinetic energy as shaft work. The water coming toward the still floor is then vaporized by sun light to the glass roof again. Here is the cycle of water vaporization-condensation. The turbine produced shaft power is transmitted to a dynamo for power generation. The research has designed the kinetic energy extracted equipment from water as a Pelton turbine system, both metal and plastic ones. The metal one includes a rotor disc on which 6 Pelton turbine blades are fixed. The finished plastic one includes 8 blades. The testing result of evaporation of water in the solar still shows a rather low vaporization-condensation rate. The averaged value of only 4.911 ml/min is obtained. The appearance of water falling down to impact the turbine blades is not a continuous stream but drops. Whereas the results of testing runs of the solar still power generation cell shows that impacting of water drops on the blades is not strong enough to rotate the metal disc, but it can rotate the plastic one. The plastic rotor can generate 0.3 μ W of electrical power, which is very low. The result may be caused by inconsistency of frequency of dropping of water with moving of a blade toward the exact horizontal position. Transfer of kinetic energy from water to the rotor is thus inefficient. Mechanical efficiency of the turbine rotor + dynamo system is also determined. The obtained result is lower than 20%. The researcher then suggests a new

design that may have more practical for extracting kinetic energy of water than the turbine rotor blade system. The research coarsely calculates the overall efficiency of this developed solar power generation cell by using solar intensity data in Thailand (around the Western Region) instead of measurement of the solar intensity by its own. The obtained figure is 1.23%.

Keywords

solar still, solar still cell, power generation cell

1. บทนำ

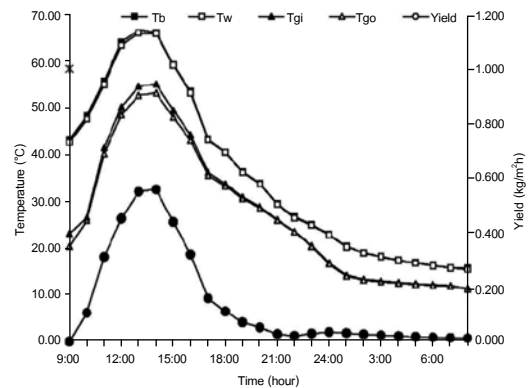
แต่เดิมการใช้หม้อต้มพลังแสงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์เพื่อทำน้ำอุ่น หรือน้ำกลั่น โดยทำให้น้ำระเหยออกจากเกลือ หรือไม่ก็ผลิตเกลือโดยการทำให้น้ำระเหยออกไป เนื่องจากความร้อนที่มากับแสงอาทิตย์เป็นพลังงานคุณภาพต่ำ (low grade energy) ที่ไม่สามารถทำอะไรได้มากนัก มีงานวิจัยหลายโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อต้มดังกล่าวให้สามารถระเหยน้ำได้ปริมาณมากขึ้น อาทิ K. Kalidasamuragavel และคณะ [1] ทดลองใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นผ้าหรือมีรูพรุน ได้แก่ Cotton cloth, Jute cloth, Sponge sheet, และ Quartzite rock อนุเป็นชั้นบางๆ ภายในอ่างน้ำเกลือของกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเกลือด้วยพลังแสงอาทิตย์ขนาด $2.08 \times 0.84 \times 0.075$ ลูกบาศก์เมตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยน้ำ อ่างน้ำเกลือดังกล่าวมีหลังคาทำด้วยกระจก 2 บาน หนาเท่ากับ 4 มิลลิเมตร เอียงทำมุมกับพื้น 30 องศา ทำการระเหย 12 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 6.00 น. - 18.00 น. ผลการทดลองปรากฏว่า Black light cotton cloth ให้ปริมาณการระเหยสะสมสูงสุด 6000 กรัมต่อวัน รองลงมาเป็น Quartzite rock, Black Jute Cloth, Sponge sheet และ Wash natural rock ตามลำดับ V. Velmurugan และคณะ [2] ทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการระเหยน้ำออกจากน้ำเกลือด้วยพลังแสงอาทิตย์ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ 1. แบบดูดด้วยฟองน้ำ (Sponge type) 2. แบบปรับพื้นก้นอ่างให้ลาดเอียง สร้างหลุมน้ำในด้านล่าง พร้อมกับมี

เชือกแขวนในหลุมเพื่อดูดน้ำมาระเหย (Wick type) 3. แบบสร้างช่องทางน้ำที่ก้นอ่างน้ำเกลือ (Fin type) อ่างน้ำเกลือมีหลังคาทำด้วยกระจกบานเดียว เอียงทำมุมกับแนวระดับ 10 องศา ทำการระเหย 7 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 9.00 น. - 17.00 น. ผลการทดลองปรากฏว่าหม้อต้มที่ไม่ได้มีการดัดแปลงใดๆ ให้อัตราการระเหยน้ำเท่ากับ $1.88 \text{ kg/m}^2/\text{วัน}$ หม้อต้มที่มีการใส่ฟองน้ำลงไปให้อัตราการระเหยน้ำเท่ากับ $2.26 \text{ kg/m}^2/\text{วัน}$ ซึ่งสูงขึ้นกว่ากระบวนการระเหยในหม้อต้มที่ไม่ได้มีการดัดแปลงถึง 15.3% กรณีหม้อต้มแบบ Wick type ให้อัตราการระเหยน้ำเท่ากับ $4.07 \text{ kg/m}^2/\text{วัน}$ ซึ่งสูงขึ้นกว่าการระเหยน้ำในหม้อต้มที่ไม่ได้มีการดัดแปลงถึง 45.5% ซึ่งสูงที่สุด ส่วนกรณีหม้อต้มแบบ Fin type ให้อัตราการระเหยน้ำเท่ากับ $2.81 \text{ kg/m}^2/\text{วัน}$ ซึ่งช่วยเพิ่มการระเหยน้ำได้สูงกว่าในหม้อต้มที่ไม่ได้มีการดัดแปลง 29.6% Salah Abdallah และคณะ [3] ปรับปรุงอ่างแยกน้ำออกจากเกลือใน 3 รูปแบบ ได้แก่ การติดตั้งกระจกสะท้อนแสงภายในตัวอ่าง การดัดแปลงพื้นก้นอ่างน้ำจากปกติให้เป็นแบบขั้นบันได (Step-wise) และรูปแบบสุดท้ายเป็นการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อหมุนอ่างให้อยู่ในมุมที่รับแสงอาทิตย์ได้ดี (Sun tracking) นำทั้งหม้อมาเปรียบเทียบผลผลิตกับหม้อต้มลักษณะเดิม ผลการทดลองปรากฏว่าระบบ Sun tracking สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้จริงและเมื่อนำปริมาณน้ำกลั่นสะสมมาวัด พบว่าการติดตั้งกระจกของรูปแบบแรกสามารถเพิ่มปริมาณน้ำกลั่นขึ้นจากเดิม 30% การดัดแปลงโครงสร้างแบบ Step-wise ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำกลั่นจากเดิม 180%

และการติดตั้ง Sun tracking ในการหาตำแหน่ง สามารถเพิ่มปริมาณน้ำกลั่นได้มากที่สุดถึง 380% Rajesh Tripathi กับ G.N. Tiwari [4] ศึกษาผลกระทบของระดับน้ำในอ่างที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการกลั่นแยก โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบ Active งานนี้ตัวเครื่องระเหยถูกเคลือบด้วยสีดำเพื่อให้สามารถดูดซับแสงได้ดี และใช้กระจกหนา 3 มิลลิเมตรเป็น Collector ช่วยเพิ่มอุณหภูมิ น้ำเข้าสู่ตัวอ่าง ผลการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพื่อระเหยน้ำ (Evaporative Heat Transfer Coefficient) มีความผันแปรสอดคล้องกับความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอกกระจก และพบว่าระดับความลึกของน้ำในอ่าง 0.15 เมตร เป็นระดับที่ให้อัตราการระเหยน้ำสูงที่สุด Vimal Dimri และคณะ [5] ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความหนาของกระจก พื้นที่ผิวของ Collector ความเร็วลม ระดับความสูงของน้ำ รวมถึงชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นตัวควบแน่น ว่ามีผลกระทบอย่างไร ต่ออัตราการระเหยน้ำออกจากน้ำเค็มเพื่อผลิตเกลือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การทดลองนี้เปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องกลั่นแยกพลังแสงอาทิตย์ 2 ระบบ คือ 1. แบบ Active ซึ่งมีทั้ง Collector และ Concentrator คอยเก็บรวบรวมและควบแน่นแสง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในอ่างให้สูงขึ้น และ 2. แบบ Passive ผลการทดลองปรากฏว่า แบบ Active ให้ประสิทธิภาพการระเหยน้ำสูงกว่าแบบ Passive อุณหภูมิจุดต่างๆ ลดหลั่นกันไปในทิศทางที่ $T_b > T_w > T_{gi} > T_{go}$ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ น้ำกับอ่างน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอ่างสู่มวลน้ำ อุณหภูมิด้านในหลังคากระจกสูงกว่าภายนอกอยู่ $0.11 - 2.7^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากภายนอกมีเรื่องของความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่าการระเหยมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. หลังจากนั้นตั้งแต่ 13.00 น. เป็นต้นไป ทั้งสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอากาศนอกกระจก สัมประสิทธิ์การพาความร้อน เพื่อการระเหยน้ำ และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเวลา เนื่องจาก

ความเร็วลมที่ลดลงในตอนเย็นและกลางคืน การระเหยได้จึงลดลง การมีลมพัดเหนือกระจกช่วยให้การระเหยดีขึ้น เพราะการพัดของลมช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนออกจากกระจก ทำให้อุณหภูมิกระจกลดลง อัตราการควบแน่นไอน้ำได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณผลผลิตสะสมของน้ำที่ระเหยและอุณหภูมิจุดต่างๆ

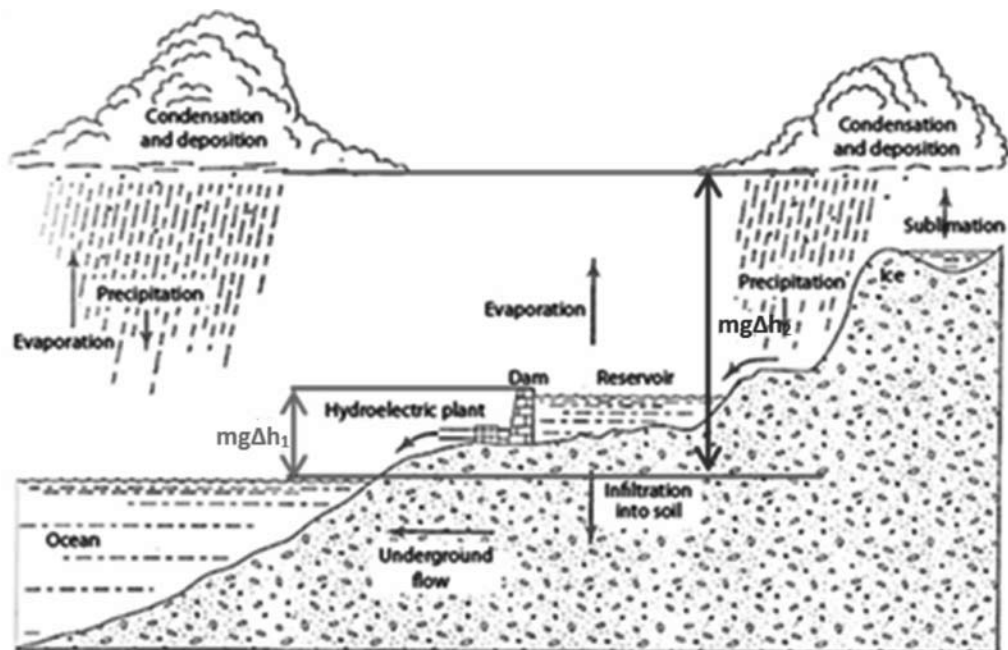
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงผลผลิตที่ได้ อุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิกระจกด้านในและด้านนอก ในทุกๆ ชั่วโมง [7]



แสดงในภาพที่ 1 ผลการทดลองยังพบว่า พลังการระเหยน้ำจากกันอ่างมีค่าลดลงตามมวล น้ำที่ใส่ในอ่างมากขึ้น B.B. Sahoo และคณะ [6] ศึกษากระบวนการกำจัดสารประกอบฟลูออไรด์ออกจากน้ำโดยใช้กระบวนการต้มน้ำด้วยพลังแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำออกไปจากอ่างที่มีผิวสีดำ และภายในไปด้วยฉนวนกันความร้อน ผลการทดลอง ปรากฏว่าอ่างที่มีผิวสีดำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการ ระเหยน้ำขึ้น 4.69% เมื่อเทียบกับของเครื่องกลั่น แยกด้วยพลังแสงอาทิตย์ที่ไม่ใช้พื้นผิวสีดำ (ใช้ ปริมาณน้ำในอ่าง 20 ลิตร) เหตุผลเพราะว่าพื้นผิว สีดำทำให้เครื่องกลั่นแยกด้วยพลังแสงอาทิตย์ สามารถดูดซับความร้อนได้มากยิ่งขึ้นกว่าสีอื่น จึงมี ผลช่วยทำให้น้ำเกิดการระเหยและกลั่นตัวได้มาก ยิ่งขึ้น และเมื่อภายในเครื่องกลั่นแยกที่ใช้พื้นผิว สีดำนี้ด้วยฉนวนกันความร้อน พบว่าประสิทธิภาพ

ในการทำให้น้ำระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 6.05% เมื่อเทียบกับของเครื่องกลั่นแยกที่ไม่ใช้พื้นผิวสีดำ และไม่หุ้มฉนวน สาเหตุเนื่องมาจากฉนวนกันความร้อนที่บอบกภายในอ่างช่วยกักเก็บความร้อนไว้ภายในเครื่องกลั่นแยกได้มากขึ้น Sanjeev Kumar และ G.N. Tiwari [7] ศึกษาผลการปรับ Collector และพื้นที่อ่างว่ามีผลต่อการเพิ่มผลิตภณท์ที่ได้จากการกลั่นแยกด้วยพลังแสงอาทิตย์อย่างไร งานวิจัยนี้ทดลองภายใต้สภาวะอากาศของเมือง Delhi ประเทศอินเดีย โดยไม่คำนึงถึงค่าความจุความร้อนของหลังคากระจก ฉนวนกันความร้อน และวัสดุตัวนำต่างๆ ในเบื้องต้นพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้มแยกด้วยพลังแสงอาทิตย์ขึ้นกับความลึกของน้ำในอ่างน้ำ และเนื่องจากการกลั่นตัวของน้ำในหม้อต้มถูกควบคุมด้วยอัตราการระเหยน้ำจากผิวน้ำในอ่าง ดังนั้นเพื่อให้ได้อัตราการระเหยน้ำมากที่สุดจึงกำหนดความลึกของน้ำไว้ที่ 0.15 เมตร แล้วปรับเปลี่ยน

จำนวน Collector และพื้นที่อ่างน้ำ การทดลองตอนแรกปรับเปลี่ยนพื้นที่อ่างน้ำเป็น 1, 3 และ 5 ตารางเมตร เพื่อสังเกตอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของกระจก รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ของการระเหยน้ำจากผิวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยควบคุมให้พื้นที่ของ Collector เท่ากับ 2 ตารางเมตร โดยใช้ Collector 8 ตัว ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของกระจก ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ของการระเหยของผิวน้ำมีค่าสูงสุด เมื่อให้พื้นที่อ่างน้ำเท่ากับ 1 ตารางเมตร พื้นที่ดังกล่าวเมื่อมีขนาดมากกว่านี้ ค่าต่างๆ จะลดลง การทดลองถัดไปทำการปรับเปลี่ยนจำนวน Collector ที่ใช้เก็บรังสีความร้อนเป็น 1, 2, 4, 6 และ 8 ตัว พบว่าเมื่อใช้พื้นที่อ่างน้ำ 1 ตารางเมตร และความลึกของน้ำเท่ากับ 0.15 เมตรนั้น Collector จำนวน 8 ตัว ให้ปริมาณผลิตภณท์ที่ได้มากที่สุด



ภาพที่ 2 วงจรของน้ำ-ไอน้ำที่เกิดตามธรรมชาติ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 2 แสดงวัฏจักรของน้ำ-ไอน้ำที่เกิดตามธรรมชาติ พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้น้ำบนพื้นโลกกลายเป็นไอลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศสูงๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานศักย์ให้กับน้ำอย่างมหาศาล มนุษย์นำเอาพลังงานศักย์นั้นมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า แต่เป็นที่น่าเสียดายว่ามนุษย์สามารถเปลี่ยนพลังงานศักย์ที่มากมายมหาศาลนี้ให้เป็นไฟฟ้าผ่านระบบผลิตด้วยกังหันได้เพียงน้อยนิดเท่านั้น แต่กลับทิ้งพลังงานศักย์นี้สูญไปเป็นส่วนใหญ่ ผ่านน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน โดยมิได้สกัดพลังงานกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ดังจะเห็นจากรูปว่า Δh_2 มากกว่า Δh_1 มาก ดังนั้นพลังงานศักย์จริงๆ คือ $mg\Delta h_2$ แต่มนุษย์สกัดได้แค่ $mg\Delta h_1$ เท่านั้น สาเหตุที่มนุษย์ยังมีไฟฟ้าใช้ในปริมาณมากอยู่เป็นเพราะมวลของน้ำที่ระเหย โดยมีแสงอาทิตย์มากนั่นเอง การผลิตไฟฟ้าผ่านระบบเทอร์โบไนด์ต่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ธรรมดาตรงที่เซลล์แสงอาทิตย์ธรรมดาสามารถใช้แสงอาทิตย์ให้เป็นประโยชน์ได้เท่านั้น แต่ระบบผลิตไฟฟ้าโดยกังหันเทอร์โบไนด์สามารถใช้ทั้งแสงอาทิตย์และโลก (ในการเร่งน้ำกระทบใบพัด) ให้เป็นประโยชน์ได้ งานวิจัยนี้จึงริเริ่มใช้หม้อต้มพลังแสงอาทิตย์ (หลังคากระจกเอียงทำมุมกับแนวระดับ) ที่มีความสูง และพื้นที่อ่างที่มีขนาดเหมาะสมเพื่อเป็นอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า โดยการระเหยและควบแน่นไอน้ำในระบบปิด แล้วให้น้ำที่ควบแน่นนั้นตกลงมากระทบใบพัดเทอร์โบไนด์ เพื่อปั่นไดนาโมผลิตไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง

Toshihiko Ikeda และคณะ [8] ศึกษาอัตราการไหลของน้ำตกที่ตกกระทบกับใบพัดของกังหันน้ำว่ามีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดของกังหันอย่างไร โดยการสร้างน้ำตกเทียมในห้องทดลองให้น้ำตกลงมากกระทบกับกังหันที่ติดตั้งอยู่ด้านล่าง ทำให้กังหันหมุน มีการติดตั้งแผ่นเพลทไว้เหนือกังหัน เพื่อควบคุมทิศทางการไหล โดยน้ำจะตกลงมากกระทบแผ่นเพลทก่อน จากนั้นจึงไหลลงมาสู่ใบพัดกังหัน ซึ่งจะมีการปล่อยให้น้ำตกกระทบกังหันในอัตราการไหลที่ต่างกัน ผลการทดลองพบว่าการมีแผ่นเพลทอยู่เหนือกังหันทำให้ค่าสัมประสิทธิ์

กำลังสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลมากนัก จึงสรุปได้ว่ากำลังที่ได้รับจากการหมุนของกังหันจะมีความเสถียร แม้ว่าอัตราการไหลจะไม่คงที่ก็ตาม จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเคลื่อนย้ายตำแหน่งของกังหันออกจากจุดที่เหมาะสม เมื่ออัตราการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลง

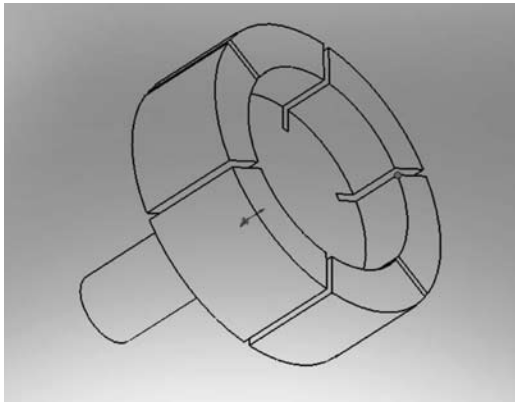
2. การสร้างอุปกรณ์และทดสอบเดินเครื่อง

2.1 สร้างและพัฒนาหม้อต้มพลังแสงอาทิตย์ต้นแบบ (Solar still prototype)

ทดลองสร้าง Solar Still (ซึ่งทำงานด้วยวัฏจักรการกลายเป็นไอ-ควบแน่นของน้ำ) เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 115 เซนติเมตร ยาว 236 เซนติเมตร และสูง 115 เซนติเมตร โดยการลามิเนตด้วยใยแก้วและ unsaturated polyester resin ใส่สีดำ หลังคาปิดด้วยกระจก 2 แผ่น เอียงทำมุมเป็นรูปหน้าจั่ว กระจกแต่ละแผ่นทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ สร้างประตุนาขนาด 4x4 เซนติเมตร 1 บาน สำหรับให้คนเข้าไปทำงานภายใน ติดตั้งรางอะลูมิเนียมยาว 234 เซนติเมตร แนบด้านยาว Solar Still ได้ขอบกระจก 2 ด้านให้มีลักษณะเอียงลงเล็กน้อย คล้ายรางรับน้ำฝนชายคาบ้าน ด้านกว้างของ Solar Still ติดตั้งรางที่ทำจากท่อ PVC ผ่าครึ่ง เพื่อรวบรวมน้ำที่ควบแน่นจากรางอะลูมิเนียมทั้งสองให้ไหลไปรวมกันเป็นจุดเดียว ก่อนตกกระทบใบพัดเทอร์โบไนด์ของระบบสกัดพลังงานที่อยู่เบื้องล่าง ผังท่อ 1/2 นิ้ว พร้อมวาล์วติดกับผนัง Solar Still ด้านล่าง เพื่อปล่อยน้ำเข้า สุดท้ายพัฒนาให้ Solar Still ที่สร้างขึ้นสามารถหมุนไปมา เพื่อหาตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสมด้วยการสร้างฐานรองรับติดล้อขนาด 3 นิ้ว

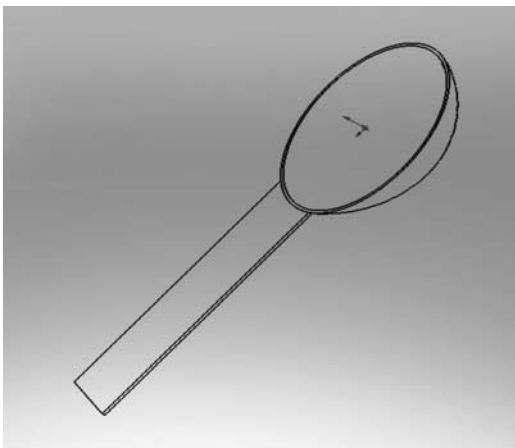
2.2 ออกแบบและสร้างชุดใบพัด Turbine ขนาดเล็ก

ออกแบบงานใบพัดด้วย Solid work ดังแสดงในภาพที่ 3 แล้วจึงแปลงเป็น G-code ใส่เครื่อง CNC Milling เพื่อกัดเหล็กเพลทให้ได้งานใบพัดสำเร็จรูป



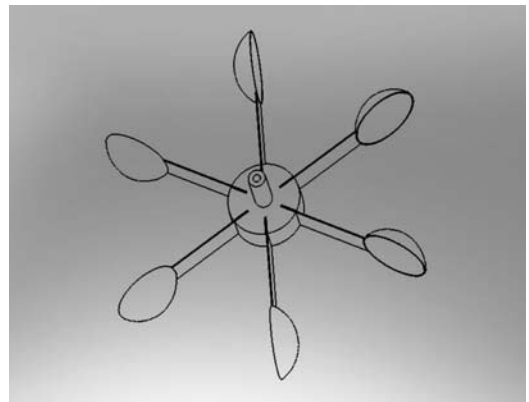
ภาพที่ 3 แบบจำลองจานสแตนเลสที่ใช้เป็นแบบในการขึ้นรูป

ตัดตามข้อตวงสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตรให้ได้ขนาดดังในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แบบจำลองข้อตวงสแตนเลสสำหรับทำใบพัดรูปกระบวย

นำข้อตวงที่ได้มาเสียบติดกับจานหมุน แล้วยึดติดด้วยกาว Cyanoacrylate เพื่อจะได้ชุดใบพัดรูปกระบวยขนาดเล็กในภาพที่ 5 ซึ่งใบพัดดังกล่าวไม่ใช่ทั้งแบบ impulse หรือ reaction turbine แต่เป็นแบบ Pelton เพื่อหวังให้รับแรงตกกระทบได้ดี นำชุดใบพัดที่ได้ไปเสียบติดกับแกนมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก (ซึ่งจะใช้เป็น Dynamo ผลิตกระแสไฟฟ้า) กลิ้งเพลลา สแตนเลสตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 เซนติเมตรเป็นตัวหุ้ม



ภาพที่ 5 แบบจำลองชุดใบพัดรูปกระบวย (Pelton) สำเร็จรูป

เพื่อยึดจับมอเตอร์ นำชุดใบพัดที่เชื่อมต่อกับแกนมอเตอร์เรียบร้อยแล้ว ไปฝังติดกับฐานผนัง Solar Still ซึ่งอยู่กึ่งกลางด้านกว้างทางด้านล่าง โดยติดตั้งชุดใบพัด Pelton ให้ต่ำที่สุด แต่ยังเหนือระดับน้ำออกแบบและสร้างระบบเทอร์โบนาจิวออกเป็น 3 ขนาด เพื่อดูว่าขนาดใดให้ความเสียดทาน และความหน่วงต่อการหมุน Dynamo ที่เหมาะสมกับพลังงานศักย์ของน้ำที่ตกกระทบ ได้แก่ 1. จานเหล็ก กว้าง 2.5 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ขอบใน 3 มิลลิเมตร คู่กับมอเตอร์ 24 โวลต์ 2. จานเหล็ก หนา 1.5 มิลลิเมตร ขอบใน 2 มิลลิเมตร คู่กับมอเตอร์ 5 โวลต์ 3. จานกับใบพัดพลาสติกคู่กับมอเตอร์ 5 โวลต์

3. การทดสอบเดินเครื่อง

3.1 ค่อยๆ ใส่น้ำเข้า Solar still ในปริมาณที่ทำให้ได้ระดับความสูงน้ำประมาณ 1.0 เซนติเมตร ปิด manhole ของ Solar still ให้สนิท สังเกตการระเหยของน้ำไปควบแน่นบนแผ่นกระจก ปล่อยน้ำไหลลงรางรวบรวมน้ำที่ปลายกระจก ก่อนไหลไปรวมกันที่รางด้านกว้าง ซึ่งมีรูให้ไหลตกลงสู่กระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำที่เก็บได้ในแต่ละช่วงเวลา คำนวณหาอัตราการควบแน่นเฉลี่ยของน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ (ปริมาตรน้ำที่เก็บได้/เวลา) แล้ว plot กราฟอัตราการควบแน่นเฉลี่ยที่เวลาต่างๆ โดยทดลองในช่วงเวลา 9.00 น. - 17.00 น.

3.2 ติดตั้งระบบ Turbine- มอเตอร์ให้ตำแหน่ง ใบพัดเทอร์ไบน์ตรงกับตำแหน่งที่น้ำตกลงมาแนวตั้ง เพื่อให้กระทบบนอย่างเหมาะสม เมื่อใบพัดหมุนแล้ว ให้วัดปริมาณความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยใช้ multi-meter ไฟฟ้า วัดครั้งละ 1 นาที ทุกๆ 30 นาที จากนั้นนำผลที่ได้มา plot กราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ ในรอบวันของหลายๆ วัน คำนวณหา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

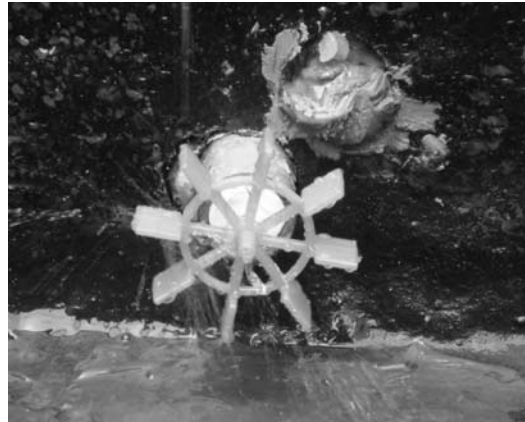
3. ผลการสร้าง ทดสอบ และข้อวิจารณ์

3.1 ผลการสร้าง Solar still ต้นแบบ

ภาพที่ 6 แสดง Solar still ที่สร้างโดยการ ลามิเนตระหว่างใยแก้วกับ UPE resin ใส่สีดำ มีท่อ สำหรับปล่อยน้ำเข้าอยู่มุมล่างซ้าย มีหลังคากระจก ทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ ภายในมีรางรับน้ำ อะลูมิเนียมอยู่ตามแนวยาว 2 ข้าง และมีรางรวบรวม น้ำแบบอยู่ด้านกว้าง ด้านกว้างอีกข้างหนึ่งมี manhole ที่สามารถเปิดและปิดสนิทได้อยู่ 1 ช่อง ภาพที่ 7 แสดงลักษณะชุดจานใบพัด-ไดนาโมถูกฝังติด กับผนังหม้อต้ม โดยให้สายไฟจากไดนาโมอยู่ด้าน นอกผนัง ภาพที่ 8 แสดงรางรวบรวมน้ำทำจากท่อ PVC ผ่าครึ่งแบบอยู่ตามแนวด้านกว้างภายในหม้อ และมีลักษณะเอียงลง รางดังกล่าวมีรูเจาะ 1 รูเพื่อ ปล่อยน้ำให้ตกลงมากระทบบนใบพัด



ภาพที่ 6 Solar still สำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นมา



ภาพที่ 7 ชุดจานและใบพัดถูกยึดติดกับผนัง ด้าน ในของ solar still

3.2 ผลการสร้างชุดใบพัดกังหันรูปกระบวย

ภาพที่ 8 แสดงชุดใบพัดรูปกระบวยเชื่อม ติดกับจานสแตนเลสขนาดหนาที่นำไปต่อเชื่อมกับ แกนมอเตอร์ 24 โวลท์ ซึ่งชุดเล็กกว่าก็มีลักษณะ เหมือนกัน ภาพที่ 9 แสดงชุดจานใบพัดพลาสติก ที่ต่อเชื่อมกับมอเตอร์ 5 โวลท์เรียบร้อยพร้อมนำไป ยึดติดผนัง solar still เพื่อผลิตไฟฟ้า

3.3 ผลการทดสอบเดินเครื่อง

ภาพที่ 11 แสดงอัตราการควบแน่นน้ำเฉลี่ย ในหม้อต้ม (หาจากปริมาตรน้ำที่ตกใส่กระบอกตวง ภายในเวลา 1 ชม.) ซึ่งเก็บข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น. ตั้งแต่ 15 - 20 เมษายน 2553 ซึ่งสามารถนำอัตราการควบแน่นที่ผันแปร ตามเวลาในรอบหลายๆ วันดังกล่าวมาหาอัตราการ ควบแน่นเฉลี่ยได้ 4.911 มิลลิเมตรต่ออนาที ซึ่งถือว่า มีค่าน้อยมาก โดยจะเห็นว่าอัตราการตกของน้ำลง สู่เบื้องล่างเป็นเพียงหยดเท่านั้น มิได้เป็นกระแสไหล อย่างต่อเนื่อง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่า Solar still ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมานั้นใช้อะลูมิเนียมเป็น รางรับน้ำ แทนที่จะใช้ราง PVC ดังนั้นเมื่อรับแสงแดด รางอะลูมิเนียมซึ่งเก็บความร้อนไว้ในตัวได้สูงกว่า (ค่า C_p สูงกว่า) อาจปล่อยความร้อนในตัวสู่น้ำ ทำให้น้ำที่ควบแน่นลงบนรางเกิดการระเหยกลับขึ้น ไปใหม่บ้าง ปริมาณน้ำที่ตกลงสู่เบื้องล่างจึงลดลง



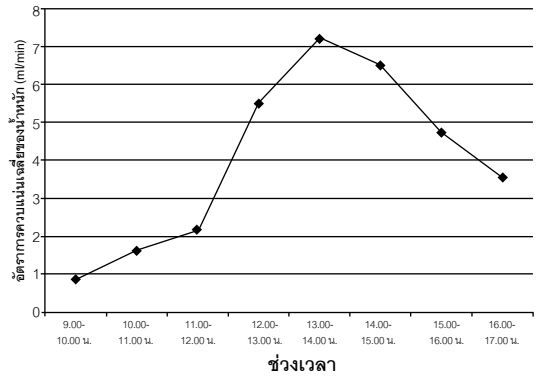
ภาพที่ 8 รางรวบรวมน้ำควบแน่นทางด้านข้างหม้อต้มซึ่งเจาะรูเพื่อปล่อยน้ำตกกระทบบใบพัดด้านล่าง



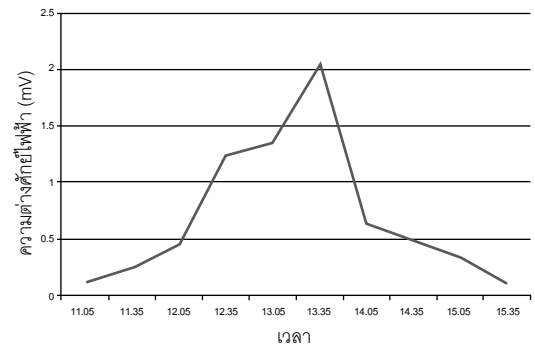
ภาพที่ 9 ชุดงานใบพัดสแตนเลสที่พร้อมนำไปเสียบต่อเชื่อมกับแกนไดนาโม



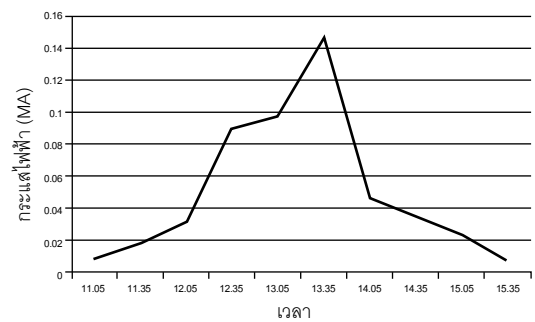
ภาพที่ 10 ชุดงานใบพัดพลาสติกเชื่อมติดกับไดนาโม



ภาพที่ 11 อัตราการควบแน่นเฉลี่ยของน้ำในหม้อต้มในช่วงเวลาต่างๆ ของหลายๆ วัน เดือน เมษายน 2553 ลดลง



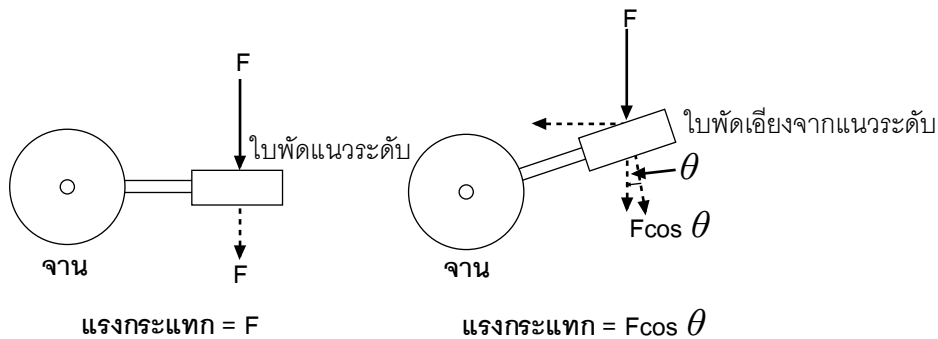
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการหมุนไดนาโมอันเนื่องมาจากการตกกระทบบใบพัดของหยดน้ำกับเวลา



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการหมุนของไดนาโมอันเนื่องมาจากการตกกระทบบใบพัดของหยดน้ำกับเวลา

ตารางที่ 1 แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ที่วัดได้ทีละเวลาต่างๆ

วัน/เดือน/ปี	เวลาที่วัด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (μ W)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (μ W)	S.D.
18 เม.ย. 53	11.05 น.	0.12	0.0086	0.001032	0.062174	0.095983
	11.35 น.	0.25	0.0180	0.004500		
	12.05 น.	0.45	0.0321	0.014445		
	12.35 น.	1.24	0.0894	0.110856		
	13.05 น.	1.36	0.0981	0.133416		
	13.35 น.	2.04	0.1470	0.299880		
	14.05 น.	0.65	0.0465	0.030225		
	14.35 น.	0.51	0.0365	0.018615		
	15.05 น.	0.33	0.0240	0.00792		
	15.35 น.	0.11	0.0077	0.000847		



ภาพที่ 14 แสดงมุมที่หยดน้ำตกกระแทกผิวใบพัดที่อยู่แนวระดับเปรียบเทียบกับที่ทำมุม θ กับแนวระดับ

นอกจากนี้ยังมีหลายตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศในแต่ละวันของการทดลอง ลม ความชื้นสัมพัทธ์ เมฆหมอก อุณหภูมิ ซึ่งไม่มีการเก็บข้อมูลในส่วนนี้ อย่างไรก็ตามเราสามารถเพิ่มอัตราการระเหยและควบแน่นได้โดยหลายๆปัจจัยดังที่กล่าวถึงในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น เพิ่มความกว้างยาวและความสูงของ Solar still หรือการทำมุมเอียงของหลังคาเพิ่มขึ้นเพื่อให้น้ำควบแน่นไหลลงรางได้มากและเร็วขึ้น เป็นต้น

ผลทางด้านการปั่นกระแสไฟฟ้า พบว่าอัตราการตกของน้ำลงสู่เบื้องล่างเป็นหยดนั้น ต่ำเกินกว่าที่จะกระแทกใบพัดโลหะให้สามารถเอาชนะความ

ฝืดจนเกิดการหมุนขึ้นได้ โดยใบพัดโลหะที่กีดขึ้นทั้ง 2 ขนาดไม่เกิดการหมุน ซึ่งคงต้องค้นคว้าต่อไป โดยการออกแบบและสร้างใบพัดให้มีขนาดเล็กและเบากว่าเดิม เพื่อให้พลังงานจลน์ของหยดน้ำสามารถเอาชนะแรงเสียดทานต่อการหมุนได้ แต่ปริมาณการไหลตกกระทบของหยดน้ำดังกล่าวสามารถทำให้ชุดใบพัดพลาสติกหมุน จนเกิดการผลิตกระแสไฟขึ้นได้ ปริมาณไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองถูกพล็อตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาในภาพที่ 12 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาในภาพที่ 13

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะเห็นได้ว่าผันแปรไปตามเวลาในรอบวัน กล่าวคือ ผันแปรไปตามความเข้มแสงอาทิตย์นั่นเอง โดยปริมาณไฟสูงๆ (ทั้งโวลท์และแอมป์) จะมีค่าสูงในช่วง 12.00 - 14.00 น. เท่านั้น ซึ่งมีการคัดเลือกข้อมูลการปั่นไฟฟ้าของวันที่ 18 เม.ย. 2553 มาคำนวณกำลังไฟฟ้าและแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยได้กำลังไฟสูงสุดประมาณ $0.3 \mu W$ เท่านั้น ซึ่งเกิด ณ เวลา 13.05 น. การเกิดกระแสไฟฟ้าที่ต่ำเช่นนี้วิเคราะห์ได้ว่า นอกจากอัตราการระเหยและควบแน่นน้ำจะต่ำแล้ว ปัจจัยสำคัญอยู่ที่ความหนืดหน่วงในการตกกระแทกด้วยปัญหาเกิดขึ้นจากความถี่ของหยดน้ำจากรางไม่สอดคล้องกับอัตราการหมุนของใบพัดบนจานจำนวน 8 ใบ หมายความว่า เมื่อใบพัดหนึ่งหมุนมาอยู่แนวระนาบ และถูกกระแทกอย่างตั้งฉากแล้ว หยดน้ำถัดไปจะกระทบใบพัดใบถัดไปที่ยังหมุนมาไม่ตรงตำแหน่งแนวระดับ ทำให้เสียกำลังไปดังแสดงในภาพที่ 14 จะเห็นว่าใบพัดถูกกระแทกขณะที่ไม่อยู่ในตำแหน่งแนวระดับ ดังนั้นเมื่อเทียบกับใบพัดที่อยู่ในแนวระดับแล้วจะได้รับแรงกระแทกให้หมุนเพียง $F \cos \theta$ เท่านั้น ซึ่งน้อยกว่ากระแทกแนวระดับ ($F \cos \theta < F$) นอกจากนี้การมีใบพัด 8 ใบ บางครั้งยังก่อให้เกิดการบดบังกันเองขณะหยดน้ำกระแทก ดังนั้น ระบบชุดใบพัดรูปกระบวยที่ออกแบบเป็นระบบสกัดพลังงานจลน์จากการตกกระแทกของน้ำ ยังไม่เหมาะสมนักสำหรับกรณีนี้ และเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงกลของ ระบบ Pelton turbine นี้ (คือ ค่าอัตราส่วนไฟฟ้าที่ได้ต่อพลังงานศักย์ $mg\Delta h$ ซึ่ง = พลังงานจลน์ของหยดน้ำตอนกระแทก) พบว่ามีค่าประสิทธิภาพเชิงกลประมาณ 20% ในขณะที่ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (ค่าอัตราส่วนปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อความเข้มแสงอาทิตย์ซึ่งหาคร่าวๆ จากข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ในประเทศไทย) ก็มีค่าเพียง 1.23% เท่านั้น ซึ่งน้อยมาก ผู้วิจัยประเมินว่าการออกแบบชุดสกัดพลังงานจลน์จากการตกของน้ำในแบบอื่นจะได้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบนี้มาก เนื่องจากระบบที่พัฒนานี้ทำให้พลังงานจลน์ของน้ำสูญเสียไปมาก ดังนั้น การออกแบบ

อุปกรณ์สกัดพลังงานจลน์ในแบบอื่นๆ และให้กระแสน้ำตกกระแทกบนใบพัดรูปอย่างต่อเนื่อง น่าจะช่วยสกัดพลังงานจลน์จากหยดน้ำได้มากกว่าระบบที่พัฒนาอยู่

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทดลองพัฒนา Solar Still ต้นแบบ (ซึ่งแต่เดิมมีใช้กันเพื่อแยกน้ำออกจากเกลือหรือใช้ต้มน้ำร้อน) ขึ้นมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า โดย input ของเซลล์ผลิตไฟฟ้านี้ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะป้อนระเหยน้ำในเซลล์ให้กลายเป็นไอลอยขึ้นไปเกาะและควบแน่นบนหลังคากระจก เมื่อรวมกันเป็นหยดใหญ่พอสมควรจะไหลตามความลาดเอียงของผิวกระจกลงสู่รางรวบรวมน้ำ กระแสน้ำที่ได้ตกกระแทกใบพัดรูปกระบวยจนเกิดการหมุน ซึ่งแกนของจานใบพัดรูปกระบวยจะส่งกำลังไปขับไดนาโมปั่นไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง อีกส่วนของงานวิจัยนี้คือการออกแบบและสร้างระบบสกัดงานเพลจากพลังงานจลน์ของน้ำที่กำลังตกกระแทกเป็นแบบระบบจานใบพัดรูปกระบวย ทั้งใบโลหะและใบพลาสติก ผลการทดลองระเหยและควบแน่นน้ำใน Solar still ต้นแบบที่สร้างพบว่า สามารถระเหยและควบแน่นน้ำได้เฉลี่ย 4.911 มิลลิเมตรต่อนาที ระบบสกัดงานเพลจากพลังงานจลน์ของน้ำที่ออกแบบและสร้างประกอบด้วยใบพัดรูปกระบวยจำนวน 8 ใบ เสียบติดกับจาน จากการทดลองเดินเครื่องเซลล์ผลิตไฟฟ้าที่สร้างพบว่า มีเพียงชุดใบพัดพลาสติกเท่านั้นที่สามารถหมุนสกัดพลังงานจลน์จากหยดน้ำที่ตกลงมากระแทกได้ ส่วนชุดใบพัดโลหะนั้นใหญ่ และผิวด้านที่แรงกระแทกจากหยดน้ำจะขับให้หมุนได้ แต่ชุดใบพัดพลาสติกก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง $0.3 \mu W$ เท่านั้น ประสิทธิภาพทางกลของระบบสกัดพลังงานจลน์ของน้ำแบบนี้มีค่าประมาณไม่ถึง 20% จึงเสนอให้ออกแบบระบบสกัดพลังงานจลน์จากหยดน้ำที่ตกลงมากระแทกรูปแบบใหม่ที่ทำให้แรงกระแทกที่แม่นยำ และต่อเนื่องมากกว่าแบบชุดจานใบพัดรูปกระบวย ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

ของเซลล์ผลิตไฟฟ้าต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้คำนวณอย่างคร่าวๆ โดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์หารด้วยความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณรอบๆ เซลล์ที่ไม่ได้วัดค่า ได้ค่า 1.23% (ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ม. ศิลปากรที่ช่วยเหลือให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยผ่านงบวิจัยสำหรับอาจารย์ในภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บรรณานุกรม

- [1] Kalidasamuragavel, K., Chockalingam, K.S. and Srithar, K. (2008). "An experimental study on single basin double slope simulation solar still with thin layer of water in the basin," *Desalination*, Vol. 220, pp. 687 - 693.
- [2] Velmurugan, V., Gopalakrishnan, M., Raghu, R. and Srithar, K. (2008). "Single basin solar still with fin for enhancing productivity," *Energy Conversion and Management*, pp. 2602 - 2608.
- [3] Abdallah, S., Badran, O. and Abu-Khader, M.M.. (2008), "Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still," *Desalination*, Vol. 219, pp. 222 - 230.
- [4] Tripathi, R. and Tiwari, G.N., (2005), "Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation," *Desalination*, Vol. 173, pp. 187 - 200.
- [5] Dimri, V., Sarkar, B.U. and Tiwari, G.N. (2008). "Effect of condensing cover material on yield of an active solar still: an experimental validation," *Desalination*, Vol. 227, pp. 178 - 189.
- [6] Sahoo, B.B., Sahoo, N., Mahanta, P., Borbora, L., Kalita, P., Saha, U.K., (2008), "Performance assessment of a solar still using blackened surface and thermocol insulation," *Renewable Energy*, Vol. 33, pp. 1703 - 1708.
- [7] Kumar, S., and Tiwari, G.N., (1998) "Optimization of collector and basin area for a high yield for active solar still," *Desalination*, Vol. 116, pp. 1 - 9.
- [8] Ikeda, T. and Shouichirolio, K. T. (2010). "Performance of nano-hydraulic turbine utilizing waterfalls," *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 293 - 300
- [9] บทความ พลังงานน้ำ http://www.science.uru.ac.th/pro_doc/doc/13.doc
- [10] บทความ การระเหยเป็นไอ <http://www.cyberlab.lh1.ku.ac.th>
- [11] Agar, D., and Rasi, M., (2008) "On the use of a laboratory-scale Pelton wheel water turbine in renewable energy education", *Renewable Energy*, Vol. 33, pp. 1517 - 1522.
- [12] Physical characteristics of water http://www.thermexcel.com/english/tables/eau_atm.htm