



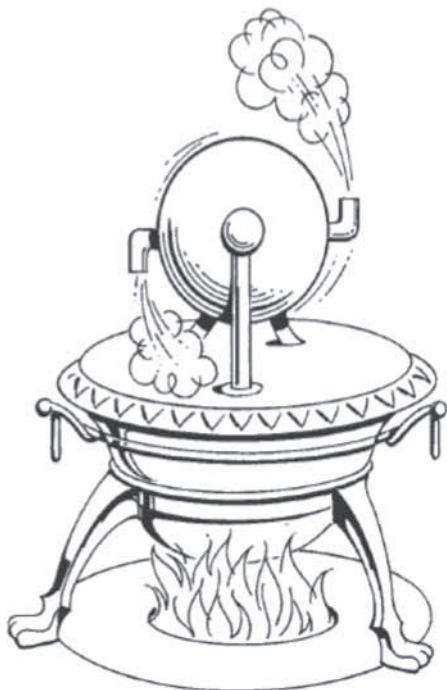
เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า จากการลดความดันไอน้ำในกระบวนการผลิต

(Technology of Electricity Generation by Process Steam Pressure Reducing)

1. บทนำ (Introduction)

1.1 ไอน้ำคือ แหล่งพลังงาน (Steam as Source)

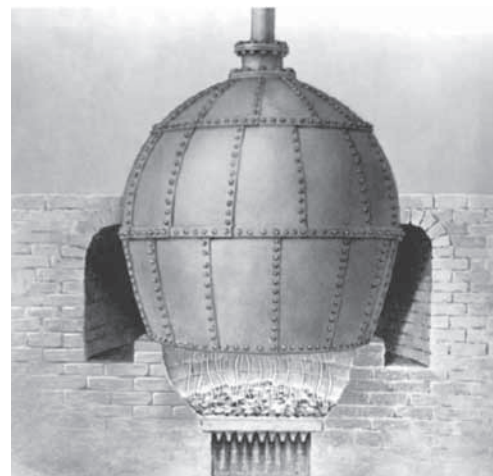
ราว 200 ปีก่อนคริสต์ศักราช “ฮีโร” (Hero) นักคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชาวกรีกได้คิดค้นออกแบบเครื่องจักรกลอย่างง่าย ๆ ตัวหนึ่งที่ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งพลังงาน (รูปที่ 1) โดยการวางภาชนะน้ำให้อยู่เหนือเตาไฟเพื่อให้ความร้อนจากไฟนั้นส่งผ่านไปยังน้ำในภาชนะ และเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดที่ 100 °C น้ำก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำ และไอน้ำนี้จะวิ่งผ่านท่อที่ต่อเข้ากับจุดหมุนของจานที่รูไอน้ำอยู่ตรงข้ามกัน เป็นผลให้ไอน้ำที่พุ่งออกนั้น ผลักดันจานให้เคลื่อนที่หมุนรอบแกนของมัน และนี่เป็นจุดกำเนิดเริ่มต้นของความคิดในการผลิตไอน้ำ เพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานมาจนถึงปัจจุบัน



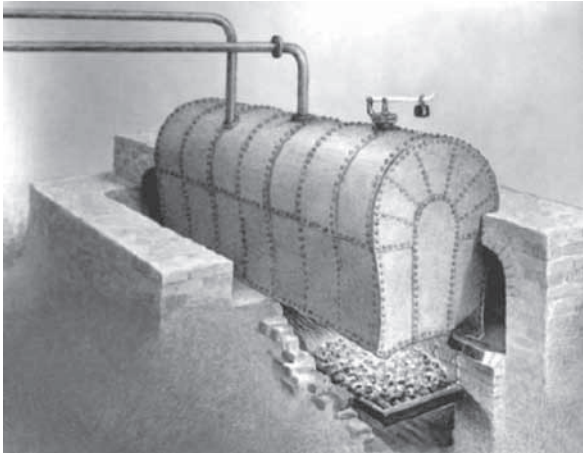
รูปที่ 1 Hero's Aeolipile

1.2 จุดเริ่มต้นของการใช้ไอน้ำ (The Early Use of Steam)

การผลิตไอน้ำให้เป็นในรูปแบบของอุตสาหกรรมนั้น ได้เริ่มต้นมาเกือบ 2,000 ปีแล้ว หลังจากที่ Hero ได้ประดิษฐ์ภาชนะน้ำของเขา โดยในศตวรรษที่ 17 ได้มีการทดลองและพัฒนาไอน้ำไปใช้เป็นวัฏจักรต้นกำลังในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มสูบน้ำในเหมือง แต่หม้อไอน้ำที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตที่เป็นรูปร่างเต็มแบบนั้น ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย Dr.Denis Papin ชาวฝรั่งเศสในปี 1680 หม้อไอน้ำนี้จะมีรูปทรงกลม (ดังรูปที่ 2) ผลิตไอน้ำอยู่ภายใต้ความดัน เพื่อใช้ไอน้ำในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ในยุคที่อุตสาหกรรมผลิตไอน้ำเริ่มรู้จักและถูกสนใจมากก็คือ ในช่วงปี 1700 ที่ James Watt นักประดิษฐ์ชาวสกอตได้พัฒนาเครื่องจักรไอน้ำ (Stem Engine) โดยมีหลักฐานว่า เขาได้พยายามที่จะช่วยแนะนำในการผลิตหม้อไอน้ำตัวแรกที่เรียกว่า Waggon Boiler (เป็นชื่อที่เรียกตามรูปทรง) ดังรูปที่ 3 เพื่อใช้สร้างแควคัม และลดความดันของไอน้ำที่ออกจากเครื่องจักรไอน้ำไปเข้า Steam Condenser เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครื่องจักรไอน้ำของเขา



รูปที่ 2 Haycock Shell Boiler



รูปที่ 3 Waggon Boiler

1.3 ไอ้ของไหลที่มีพลังงาน และการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

นับแต่หลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมในคริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา การใช้ไอน้ำในอุตสาหกรรมเป็นที่นิยมและแพร่หลายไปทั่วโลก เชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำในยุคนั้นไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญในเรื่องของต้นทุนมากนัก เนื่องจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่จะเกิดอยู่ในประเทศที่อยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมเท่านั้น และกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมเหล่านี้ก็ผลิตสินค้าออกขายทั่วโลก โดยที่ไม่มีการแข่งขันที่รุนแรงเท่าปัจจุบัน แต่หลังจากวิกฤตพลังงานในปี 1979 เป็นต้นมา แนวโน้มของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและวิธีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าได้ถูกนำมาใช้กับทุกอุตสาหกรรม

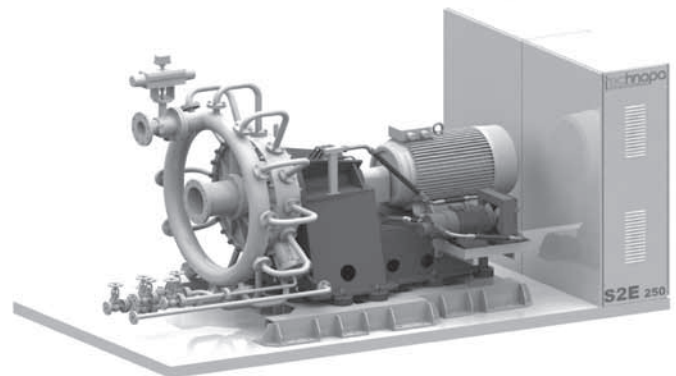
มีเหตุผลหลายประการที่ทำให้ไอน้ำนั้นถูกนำมาใช้เป็นสารที่มีพลังงาน และแปลงพลังงานความร้อนนั้นออกเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ อีกมากมาย เช่น เป็นพลังงานกลและไฟฟ้าในการใช้งานกับกังหันไอน้ำ เป็นพลังงานความร้อนให้กับกระบวนการผลิต อาหารและยาโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) การเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เพื่อทำระบบแวกคัม ในหอกลั่นหรือใน Steam Condenser เป็นต้น เหตุผลหลักที่เราใช้ไอน้ำเป็นสารพลังงานก็คือ

- 1) ไอน้ำนั้นสามารถผลิตขึ้นได้อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะน้ำนั้นเราสามารถหาได้เกือบทุกแห่งบนโลก มีราคาต้นทุนที่คุ้มค่าในการผลิตเป็นไอน้ำ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ขณะที่ไอน้ำนั้นสามารถเก็บพลังงานไว้ได้ถึง 5-6 เท่า เมื่อเทียบกับมวลของน้ำเดียวกัน
- 2) ไอน้ำสามารถส่งผ่านไปเป็นพลังงานไปยังจุดใช้งานได้ง่ายและประหยัดกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานที่เป็นสารนำความร้อน (Media) แบบอื่น เช่น น้ำมันร้อน น้ำมันร้อน ไฟฟ้า และก๊าซจากการเผาไหม้
- 3) ไอน้ำนั้นง่ายต่อการควบคุม ด้วยเหตุผลที่คุณสมบัติของไอน้ำ อิ่มตัว อุณหภูมิและความดันของไอน้ำจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ดังนั้นการใช้พลังงานไอน้ำที่เข้ากระบวนการผลิตจึงง่ายต่อการควบคุม โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน หรืออุณหภูมิเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลได้
- 4) ความสามารถในการนำไปใช้งานได้หลากหลายลักษณะของไอน้ำ เช่น ให้ความร้อนและฆ่าเชื้อโรค ในกระบวนการผลิต อาหาร และยา การใช้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนคุณลักษณะของวัตถุดิบในการผลิต การพ่นเพื่อไล่สารระเหย (Volatile) ในหอกลั่น และการใช้ไอน้ำในการสร้างพลังงานจลน์เพื่อผลิตแวกคัมในระบบต่างๆ เป็นต้น

จากคุณสมบัติและประโยชน์ของไอน้ำ ทำให้เราได้รู้ถึงคุณค่าในการใช้ไอน้ำกับชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับเรา แต่การผลิตไอน้ำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ เหล่านี้ เราจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำมัน แก๊ส ถ่านหินหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ เพื่อให้ให้ความร้อนในการต้มน้ำ ผลิตเป็นไอน้ำออกมา ดังนั้น ไอน้ำจึงมีต้นทุนของตัวเองด้วย ต้นทุนของไอน้ำต่อหนึ่งกิโลกรัมนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิด และราคาของเชื้อเพลิงที่ใช้ในสภาวะปัจจุบันว่า ต้นทุนพลังงานเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิด ล้วนมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตไอน้ำทั้งสิ้น ดังนั้น การใช้ไอน้ำให้คุ้มค่า และเป็นประโยชน์สูงสุด จึงควรเป็นเรื่องที่น่าพิจารณาอย่างยิ่ง โดยเฉพาะกับผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อการใช้ไอน้ำ และบริหารการใช้พลังงาน บทความนี้ได้เสนอแนวทางการใช้พลังงานไอน้ำที่คุ้มค่ารูปแบบหนึ่ง ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยใช้เทคนิคการลดความดันไอน้ำผ่าน Micro Steam Turbine แทนการใช้วาล์วลดความดัน (PRV) ที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

2. เทคโนโลยีของ S2E Micro Steam Turbine

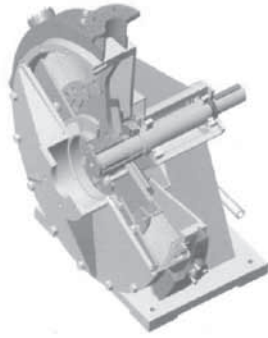
S2E Micro Steam Turbine อีกทางเลือกหนึ่งแทนการใช้ PRV ในการลดความดันไอน้ำในกระบวนการผลิต
S2E 50 – 500 kW
Steam To Energy Transformer



S2E Micro Steam Turbine เป็นการออกแบบให้ใช้ประโยชน์จากไอน้ำที่ความดันไม่สูงมากนัก โดยการนำไอน้ำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเป็นโครงสร้างนั้น จะมีความแข็งแรง สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ติดตั้ง และบำรุงรักษา โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษใดๆ และชุดของ Micro Steam Turbine นี้ ก็สามารถที่จะนำไปติดตั้งและแทนที่ในระบบเดิมได้ง่าย

Rotating Reducer

การลดความดันของไอน้ำโดยการใช้ PRV แบบดั้งเดิม เพื่อให้ได้ความดันไอน้ำต่ำกว่าจุดเริ่มต้นที่ออกจากหม้อไอน้ำจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนจากการลดความดันผ่าน PRV นี้ แต่ถ้าเราเปลี่ยนรูปแบบการลดความดันจาก PRV เป็น Rotating Reducer จะทำให้พลังงานที่สูญเสียนั้นถูกแปลงกลับไปเป็นรูปของพลังงานกลและไฟฟ้าโดยการหมุนตัวของ Rotating Reducer ซึ่งจะต่อเชื่อมกับชุดระบบผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator)



ความเป็นมาของเทคโนโลยี

จากแนวคิดในการเปลี่ยนแปลงการออกแบบเทอร์ไบน์จากแบบเดิมใช้ใบพัด (Blade) เปลี่ยนเป็นแบบ Bristles โดยวัสดุที่ทำ Bristles นั้น ได้ถูกวิจัยและศึกษามาอย่างยาวนาน ทั้งรูปร่างและความหนาแน่น มุมสัมผัสด้านขาเข้าของการทำงานที่ความดันต่ำที่ Bristles จะถูกปรับให้เหมาะสม โดยระบบหัวฉีดไอน้ำของ S2E Micro Steam Turbine ที่ได้ออกแบบนั้น จะสามารถแปลงพลังงานจลน์ของไอน้ำที่ความดันต่ำด้วยประสิทธิภาพที่สูงถึง 95%

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ทางกลศาสตร์ของการเคลื่อนไหวยของอากาศและก๊าซ จะเกิดพลังงานสูญเสียย่อย จากแรงเสียดทานและการหมุนที่ความดันไอน้ำที่ไม่สูงมากนัก และพลังงานจลน์ที่ความดันไอน้ำต่ำจะคายพลังงานให้ระบบที่ด้านทางเข้าของเทอร์ไบน์ ดังตัวอย่างของการออกแบบ S2E Micro Steam Turbine ที่ความเร็วทางออกของไอน้ำ 800 เมตร/วินาที จากหัวฉีด (Nozzle) พลังงานจะถูกนำไปใช้ที่ 80 เมตร ของความยาวของเส้นรอบวงของเทอร์ไบน์ โดยความดันไอน้ำขาออกจะหมุนเป็นแบบ Archimedean จากจุดศูนย์กลางของเทอร์ไบน์ และคอนเดนเสทจะถูกดึงออกโดยระบบแยกในส่วนท้ายของเทอร์ไบน์ ส่วนใบพัดของเทอร์ไบน์ จะถูกรองรับด้วยเบรคคุณภาพสูง รวมถึงระบบการหล่อลื่น และระบบระบายความร้อน ซึ่งระบบต่าง ๆ ถูกแบ่งแยกออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อที่จะลดการสิ้นเปลืองของเทอร์ไบน์

โดยทั่วไปมาตรฐานการผลิตใบพัดของเทอร์ไบน์นั้น จำเป็นต้องอาศัยทั้งเทคโนโลยีและความแม่นยำสูงในกระบวนการผลิต และในบางครั้งเทอร์ไบน์เหล่านี้ก็ต้องถูกใช้งานในขอบเขตที่จำกัดที่ต้องเป็นไอน้ำแห้งตามตัวแปรที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังมีการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ซับซ้อน

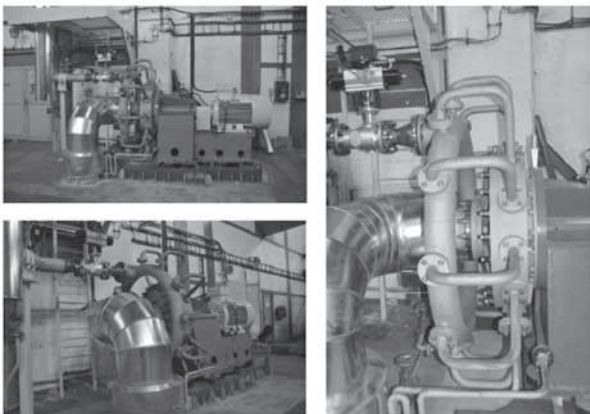
การเปลี่ยนใบพัดของเทอร์ไบน์จากระบบของ Steam Turbine แบบเดิมมาเป็นแบบ Bristles นั้น จะช่วยทำให้ S2E Micro Steam Turbine และผู้ใช้งาน มีความเป็นไปได้ในการเดินเครื่องที่นอกเหนือจากข้อจำกัดของเทอร์ไบน์แบบเดิม ดังต่อไปนี้

- สามารถใช้งานที่ไอน้ำเปียก (Wet Steam) ได้
- สามารถทำงานได้ในขณะที่สภาวะของพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง
- สามารถทำงานได้ทั้งแนวตั้งหรือแนวนอน
- สามารถใช้งานได้ทั้งที่ภาระโหลดตั้งแต่ศูนย์จนถึงสูงสุดโดยที่ประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์ไม่เปลี่ยนแปลง
- สามารถใช้งานเทอร์ไบน์ได้ที่รอบต่ำ 3,000 รอบ/นาที
- เวลาที่ใช้จากการเริ่มเดินเครื่องจนถึงกำลังการผลิตสูงสุดใช้เวลาประมาณ 10 นาที

Standard Operating Parameters

ประสิทธิภาพรวมของ S2E Micro Steam Turbine เท่ากับ 55%

- ประสิทธิภาพคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของไอน้ำเข้า-ออก/พลังงานความร้อนจากกราฟ Mollier/และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Generator
- ประสิทธิภาพรวมที่ได้นี้ได้คำนวณถึงการสูญเสียพลังงานจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ทั้งทางด้านความร้อน ไฟฟ้า และเครื่องกล มันจึงเป็นประสิทธิภาพที่แท้จริงของ S2E Micro Steam Turbine
- ในทางปฏิบัติแล้วข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้งานเพื่อใช้ออกแบบจะถูกรับประกันตามข้อมูลที่ให้ไว้
- เมื่อเทอร์ไบน์ต้องทำงานในสภาวะโหลดต่ำ เช่น $P_1 = 4$ บาร์ และ $T_1 = 140$ C/นี่คือจุดวิกฤตของอัตราการไหลของไอน้ำจากเทอร์ไบน์แต่ถึงอย่างนั้นประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์ก็ยังคงเป็น 55%
- เมื่อเทอร์ไบน์ต้องทำงานในสภาวะที่อัตราการไหลของไอน้ำอยู่ในจุดวิกฤต ประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์จะอยู่ในช่วง 55-60%
- ที่ตัวแปรขาเข้าเทอร์ไบน์มีค่าสูงกว่าที่ออกแบบไว้ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเทอร์ไบน์มากกว่า 60%
- สำหรับการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น เราคำนวณจากค่าประสิทธิภาพของเทอร์ไบน์ที่ 55%



Technical parameters

Characteristics	Specification
Electric Power 50kWe, 100kWe, 150kWe, 200kWe, 250kWe	50 – 250kWe
Incoming steam temperature	min 130 °C max 350 °C
Incoming steam pressure	min 4,0 bar max 20,0 bar
Outcoming steam temperature	min 105 °C max 315 °C
Outcoming steam pressure	min 1,0 bar max 5,0 bar
Steam flow	min 1,5 t/hour max 8 t/hour

3. กรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่งมีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง ความดันไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำเท่ากับ 10 Bar (abs) และมีการลดความดันไอน้ำโดยใช้วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve : PRV) ให้ความดันไอน้ำลดลงเหลือ 5 Bar (abs) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้น หากเปลี่ยนวิธีการลดความดันจากการเปลี่ยน PRV เป็น Micro Steam Turbine แทน จะทำให้ใช้ประโยชน์จากการลดความดันเพื่อมาผลิตไฟฟ้าได้ 196 กิโลวัตต์ คิดเป็นมูลค่า 5,174,400 บาท/ปี สามารถพิจารณาได้จากวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

- วิธีคำนวณ กำหนดให้
- ไอน้ำที่เข้า Micro Steam Turbine ความดัน 10 Bar (abs) และค่าความแห้งของไอน้ำเท่ากับ 95% มีค่า Enthalpy (h_1) เท่ากับ 2,767.4 กิโลจูล/กิโลกรัม
 - ไอน้ำที่ออกจาก Micro Steam Turbine ความดัน 5 Bar (abs) และค่าความแห้งของไอน้ำ 90.51% มีค่า Enthalpy (h_{2s}) เท่ากับ 2,548.117 กิโลจูล/กิโลกรัม
 - ประสิทธิภาพของ Micro Steam Turbine (η_T) เท่ากับ 55%
 - ราคาไฟฟ้าเท่ากับ 3.3 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมง และเวลาทำงานเท่ากับ 8,000 ชั่วโมง/ปี

จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้} &= \eta_T \times (h_1 - h_{2s}) \times \text{อัตราการไหลของไอน้ำที่ผ่าน Micro Steam Turbine} \\ &= \frac{0.55 \times (2,767.4 - 2,548.117) \times 10,000 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}}{3,600 \text{ กิโลจูล/กิโลวัตต์}} \\ &= 195.99 \text{ กิโลวัตต์ไฟฟ้า} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้} &= 195.99 \times 3.3 \times 8,000 \\ &= 5,174,136 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เงินลงทุน Micro Steam Turbine ขนาด 200 กิโลวัตต์} &= 16,000,000 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ} &= \frac{\text{ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้/เงินลงทุน}}{\sim 3 \text{ ปี}} \end{aligned}$$

4. unสรุป

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากการลดความดันไอน้ำในกระบวนการผลิตนั้น เป็นวิธีหนึ่งของการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกโรงงานที่มีการลดความดันไอน้ำก่อนเข้ากระบวนการผลิต โดยอาศัย PRV ผลประโยชน์ที่ได้จากเทคโนโลยีนี้ นอกจากสามารถนำพลังงานไอน้ำได้อย่างคุ้มค่าแล้ว ยังสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ประมาณ 7.23 ตัน/ปี (จากกรณีศึกษา) แต่ทั้งนี้โรงงานจะต้องศึกษาศักยภาพของไอน้ำที่ลดลง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการลงทุนก่อนการตัดสินใจ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Steven C. Stultz and John B. Kitto, 1992, Steam/its Generation and Use, 40th Edition, Published by The Babcock & Wilcox Company.
- [2] Spirax-Sarco, 2007, The Steam and Condensate Loop, First Edition, Published by Spirax Sarco Limited.

ขอข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ “เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากการลดความดันไอน้ำในกระบวนการผลิต” ได้ที่
บริษัท ฟูลซิสเต็ม เอ็นจิเนียริง จำกัด
66 หมู่ 2 ตำบลกระทุ่มล้ม อำเภอสองพระพราน จังหวัดนครปฐม 73220
โทรศัพท์ : (02) 420-6444-5, (02) 497-9280-4 แฟกซ์ : (02) 497-9255
www.fsetech.com, e-mail : fullsystem1@yahoo.com