ห้องสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังสนใจการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานกันมาก เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานน้ำมันหรือเพื่อการประหยัดพลังงานคือใช้พลังงานที่มีอยู่ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากได้ตระหนักถึงปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต การศึกษาวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าควรแก่การพิจารณาแง่หนึ่งก็คือ การใช้แหล่งพลังงานความร้อนคักย์ต่ำ (low potential heat sources) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า แหล่งพลังงานเหล่านี้ได้แก่ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (solar radiation) น้ำร้อนใต้พิภพ (geothermal water) และความร้อนที่เหลือทิ้ง (waste heat) จากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือจากขบวนการผลิตพลังงานต่าง ๆ ลักษณะของแหล่งพลังงานความร้อนเหล่านี้ก็คือ มีอุณหภูมิต่ำอยู่ในช่วง 80°-400° c และมีความหนาแน่นของฟลักซ์พลังงานต่ำ (1) การนำพลังงานความร้อนเหล่านี้มาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าวิธีหนึ่งก็คือ โดยการใช้เครื่องกังหันไอเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลคือ การหมุนของเครื่องกังหันแล้วไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง เครื่องกังหันไอสามารถทำงานด้วยวัฏจักรความร้อนที่มีอุณหภูมิขั้นสูงอยู่ในช่วงต่ำ ๆได้โดยการพิจารณาเลือกใช้สารทำงาน (working fluid) ที่มีคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิคส์เหมาะสมกับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่มีอยู่ โดยเฉพาะของไหลที่เป็นพวกสารอินทรีย์ (organic fluid) ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ (2) เช่น อะซิโตน (acetone), ฟรีออน (freon) เป็นต้น

จากการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของพลังจากแหล่งอาทิตย์หรือพลังงานความร้อนคักย์ต่ำ ได้แสดงให้เห็นว่า การผลิตพลังงานกลจากพลังงานความร้อนในระบบขนาดเล็กที่มีขนาดเพียง 2-3 กำลังม้า เป็นสิ่งที่น่าสนใจในขณะที่สถานีหรือระบบการผลิตพลังงานขนาดใหญ่ไม่ดึงดูดความสนใจ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ของตัวรับแสงขนาดใหญ่มาก และหน่วยผลิตพลังงานขนาดเล็กนี้ยังสามารถประยุกต์ได้อย่างกว้างขวางถ้ามันมีประสิทธิภาพดี ในการศึกษา

การผลิตพลังงานกลในระบบขนาดเล็กซึ่งมีขนาดกำลังตั้งแต่เศษส่วนของกำลังม้าจนถึง 100 กำลังม้า โดยใช้เครื่องกังหันไอและเครื่องจักรที่ใช้ลูกสูบทำงานด้วยไอน้ำหรือไอของสาร บางอย่างที่มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำนั้น เครื่องกังหันและเครื่องจักรที่ใช้ลูกสูบมีข้อดีแตกต่างกันอยู่ โดยทั่วไปแล้วการใช้เครื่องกังหันจะดีกว่าเครื่องจักรที่ใช้ลูกสูบในเครื่องขนาดใหญ่เท่านั้น กล่าวคือมีขนาดกำลังตั้งแต่ 500 กำลังม้าขึ้นไป (3) ทั้งนี้เนื่องจากในเครื่องกังหันขนาดเล็ก การสูญเสียต่าง ๆ ของเครื่องกังหันเมื่อเทียบกับกำลังงานที่มันสามารถผลิตได้แล้วจะเป็นเศษส่วนที่มากจึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ แต่การใช้เครื่องจักรที่ใช้ลูกสูบทำงานด้วยความดันไอต่ำจะต้องมีขนาดใหญ่มากซึ่งเป็นข้อเสีย ดังนั้นถ้าสามารถปรับปรุงข้อเสียต่าง ๆ ของเครื่องกังหันขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เครื่องกังหันก็เป็นตัวเลือกที่น่าเลือกใช้ สำหรับระบบพลังงานขนาดเล็กถึงแม้ว่าเครื่องกังหันไอขนาดเล็กที่ทำงานภายใต้วัฏจักรแรงกิน (Rankine cycle) ที่มีอุณหภูมิของแหล่งความร้อนอยู่ในช่วง 65° - 370° c โดยมีของไหลที่ใช้ทำงานเป็นสารอินทรีย์นั้น ประสิทธิภาพทั้งวัฏจักรของเครื่องกังหันจะมีค่าโดยประมาณอยู่ในช่วง 5-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ (4) แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับการทำงานด้วยแหล่งอุณหภูมิสูงปานกลางเช่น 150° c เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วเครื่องกังหันไอขนาดเล็กยังมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องจักรความร้อนขนาดเล็กอื่น ๆ อีกหลายเท่า (3)

การศึกษาวิจัยการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นงานเชิงกลในระบบขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกังหันไอได้มีการทำมาบ้างแล้ว เช่น H. Tabor และ L. Bronicki แห่งห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์กายภาพแห่งชาติของอิสราเอล ได้ทำการศึกษาและทดลองสร้างเครื่องกังหันไอขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อกังหัน 22 เซ็นติเมตร สำหรับนำไปใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ (3) S. Sankaranarayanan และ Dr.Pramode A. Paranjpe ได้ทำการวิจัยการใช้เครื่องกังหันไอขนาดเล็ก ในระบบการแปลงพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ได้จากตัวรับแสงแบบแผ่นราบธรรมดา โดยใช้สารอะซิโตน (acetone) เป็นสารทำงาน และใช้เครื่องกังหันแบบแรงผลักที่มีใบหมุนแถวเดียว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อกังหัน 152 มิลลิเมตร ใบกังหันสูง 15 มิลลิเมตร มีหัวฉีด 4 หัว กำลังงานจากการคำนวณออกแบบ 1.7 กิโลวัตต์ ใช้หมุนเครื่องสูบน้ำชนิดแรงเหวี่ยง คำนวณประสิทธิภาพของทั้งระบบได้

เท่ากับ 0.89 เปอร์เซ็นต์ (5) ถึงแม้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เครื่องกังหันไอขนาดเล็กทำงานด้วยความดันไอต่ำ ในระบบการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานเชิงกลจะยังมีน้อย แต่จากสมบัติทางเทอร์โมไดนามิคล้ายของของไหลที่เป็นสารอินทรีย์ (organic fluid) ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากที่จะสามารถเลือกมาใช้เป็นสารทำงานที่เหมาะสมได้ เป็นที่คาดได้ว่าจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกังหันไอขนาดเล็กซึ่งทำงานที่ระดับอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ ให้ดีขึ้นได้จนกระทั่งมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนศักย์ต่ำไปเป็นพลังงานเชิงกลเพื่อการผลิตไฟฟ้าได้อย่างจริงจังในอนาคต (3)

1.1 เครื่องกังหันไอ (Vapour Turbines)

เครื่องกังหันไอเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของเครื่องจักรความร้อน (heat engine) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานเชิงกล เครื่องกังหันไอที่รู้จักกันเป็นอย่างดีแล้วก็คือ เครื่องกังหันไอน้ำ (steam turbine) ซึ่งนิยมใช้เป็นเครื่องต้นกำลัง (prime mover) ในหน่วยผลิตพลังงานขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า เครื่องกังหันไอจะประกอบด้วยส่วนสำคัญที่จำเป็น 2 ส่วนคือ

1. หัวฉีด (nozzle) เป็นส่วนที่พลังงานความร้อนของไอความดันสูง ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์โดยการขยายตัวผ่านหัวฉีด ไอจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูง

2. ใบกังหัน (blade) ซึ่งติดอยู่บนล้อหมุน (rotor) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของไอที่ออกจากหัวฉีด ทำให้เกิดแรงกระทำต่อใบกังหันเนื่องจากการเปลี่ยนโมเมนตัม

ดังนั้นหลักการพื้นฐานของการทำงานของเครื่องกังหันไอคือ ผลิตลำไอ (jet of vapour) ความเร็วสูงโดยการขยายตัวของไอความดันสูงผ่านหัวฉีด และให้พุ่งเข้าสู่ใบกังหัน ตามปกติใบกังหันจะมีรูปร่างเป็นส่วนโค้ง ไอจะถูกบังคับให้ไหลไปตามความโค้งของใบกังหัน นั่นคือ ทิศทางการไหลของไอเปลี่ยนไปทำให้โมเมนตัมของไอเปลี่ยนไป เกิดแรงกระทำต่อใบกังหัน แรงกระทำนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

1.2 การแบ่งประเภทเครื่องกังหัน (Classification of Turbines)

เครื่องกังหันไม่ว่าจะเป็นกังหันกาซหรือกังหันไอสามารถแบ่งประเภทอย่างกว้าง ๆ ตามลักษณะการไหลของของไหล (กาซหรือไอ) ที่ไหลผ่านเครื่องกังหันได้เป็น 2 ประเภท (6) คือ

1.2.1 เครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวแกน (axial flow turbine) ของไหลจะไหลผ่านใบกังหันในทิศทางขนานกับแกนของการหมุน นั่นคือขนานกับเพลาของเครื่องกังหัน

1.2.2 เครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวรัศมี (radial flow turbine) ของไหลจะไหลผ่านใบกังหันในแนวรัศมีคือ ไหลอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับเพลาของเครื่องกังหัน ซึ่งอาจจะเป็นชนิดไหลเข้าสู่ศูนย์กลาง (inward radial flow) หรือชนิดไหลออกจากศูนย์กลาง (outward radial flow)

เครื่องกังหันทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมานี้ เมื่อพิจารณาจากลักษณะการทำงานของของไหลที่ผ่านใบกังหัน สามารถแบ่งเครื่องกังหันออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ คือ เครื่องกังหันแบบแรงผลัก (impulse turbine) และเครื่องกังหันแบบแรงดันกลับ (reaction turbine) เครื่องกังหันไอที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นประเภทไหลตามแนวแกน ส่วนเครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวรัศมีนั้นไม่ค่อยนิยมใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวแกนเป็นหลัก

1.2.1 เครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวแกน (Axial flow turbine) เครื่องกังหันประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1.2.1.1 เครื่องกังหันแบบแรงผลัก (Impulse turbine) เครื่องกังหันแบบนี้อาจจะนิยามได้ว่า เป็นระบบซึ่งโดยทางทฤษฎีแล้วการขยายตัวหรือความดันลดลง (pressure drop) ของของไหลทั้งหมดเกิดขึ้นในหัวฉีดที่ติดอยู่กับที่ โดยไม่มีการขยายตัวหรือความดันลดลงในขณะที่ไหลผ่านใบกังหันเลย (7) (ของไหลจะไหลผ่านใบกังหัน

ที่อยู่นิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ยกเว้นการลดลงเนื่องจากความเสียดทานระหว่างของไหลกับใบกังหัน ขณะที่ไหลผ่าน) ด้วยเหตุนี้ใบกังหันแบบแรงผลักจะต้องทำให้ทิศทางของการไหลของของไหลถูกเบี่ยงเบนไปมากที่สุดด้วยประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมแล้วเกิดแรงกระทำต่อใบกังหันมากที่สุด รูปร่างของใบกังหันแบบแรงผลักนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ (1.1) กล่าวคือ จะมีลักษณะสมดุลย์ทั้งซีกซ้ายและซีกขวาของเส้นที่ลากผ่านกึ่งกลางใบ เครื่องกังหันแบบแรงผลักนี้มีหลายชนิดจัดแบ่งได้เป็น

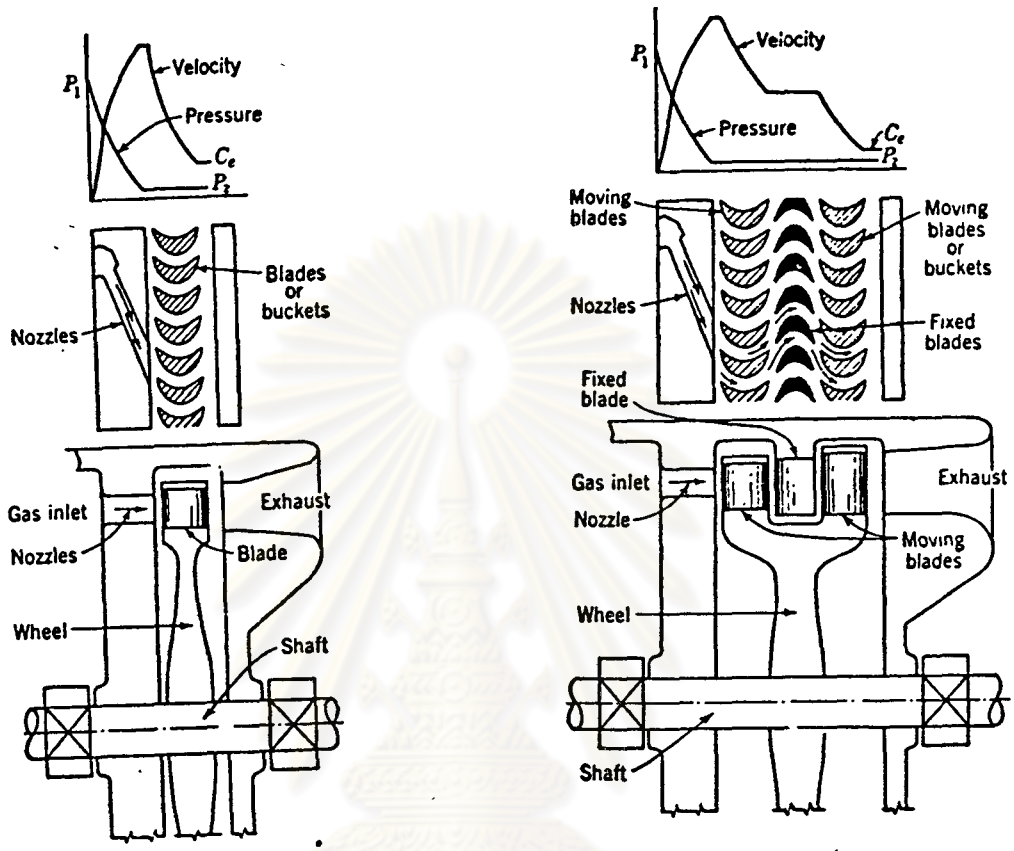
รูปที่ 1.1 ลักษณะของใบกังหันแบบแรงผลัก

1. <u>ชนิดแรงผลักธรรมดา</u> (Simple or single-stage impulse turbine) เป็นเครื่องกังหันแบบง่ายที่สุดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย เดอ ลาวาล์ (De Laval) (8) บางครั้งจึงเรียกเครื่องกังหันชนิดนี้ว่า เครื่องกังหันเดอลาวาล (De Laval turbine) เครื่องกังหันชนิดนี้จะประกอบด้วย หัวฉีดหนึ่งชุดอาจจะมีเพียงอันเดียวหรือหลายอัน และชุดของใบกังหันหนึ่งแถวดังที่แสดงในรูป 1.2 (ก) ก๊าซหรือไอจะขยายตัวผ่านหัวฉีดจากความดันสูงสู่ความดันต่ำที่ทางออกจะได้ลำไอพุ่งออกจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูงแล้วเข้าสู่ใบกังหันที่มีรูปร่างเหมาะสม เกิดแรงที่เนื่องจากทิศทางของลำไอถูกเหวี่ยงกระทำต่อใบกังหันทำให้เกิดการหมุนของล้อหมุนได้เป็นงานออกมาที่เพลาเครื่องกังหัน ในรูปที่ 1.2 (ก) จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันของก๊าซหรือไอในหัวฉีดและเมื่อผ่านใบกังหัน การลดลงของความดันหรือการขยายตัวของก๊าซหรือไอทั้งหมดเกิดขึ้นในหัวฉีด ได้ความเร็วของลำไอหรือลำก๊าซสูงสุดเมื่อออกจากหัวฉีด และเมื่อผ่านใบกังหันความเร็วจะลดลงจนกระทั่งออกจากใบกังหัน สำหรับความดันจะลดลงจนถึงความดันต่ำสุดที่ทางออกของหัวฉีดและขณะที่ผ่านใบกังหันความดันจะคงที่ตลอด อันนี้เป็นลักษณะเฉพาะในทางทฤษฎีของเครื่องกังหันแบบแรงผลัก เครื่องกังหันชนิดนี้มีความเร็วสูงมากอาจจะสูงถึง 30,000 รอบต่อนาที (9) ซึ่งเร็วเกินกว่า

ที่จะใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ เนื่องจากความเร็วใบกังหันเป็นสัดส่วนกับความเร็วของลำไอที่เข้าสู่ใบกังหัน ซึ่งก็คือความเร็วรอบหมุนจะสูงขึ้นเมื่อความเร็วลำไอสูงขึ้น จึงต้องใช้วิธีลดความเร็วรอบหมุนลงจึงจะนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเค้นในล้อหมุนและปีกหมุน สำหรับการหมุนด้วยความเร็วรอบสูง ๆ (9) จึงไม่นิยมใช้เครื่องกังหันชนิดนี้กันมากนักโดยเฉพาะงานที่ต้องใช้กำลังงานมาก ๆ เครื่องกังหันชนิดแรงผลักธรรมดานี้จะมีอัตราเร็วใบกังหันที่เหมาะสมประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วลำไอ (10)

2. ชนิดรวมความเร็ว (Velocity-compounded impulse turbine)

เนื่องจากกาซหรือไอที่ออกจากใบกังหันในชนิดแถวเดียวยังมีความเร็วสูงพอสมควร เพื่อที่จะนำพลังงานจลน์ของกาซหรือไอมาใช้ประโยชน์คือ ทำให้เกิดงานได้มากที่สุด และยังเป็นการลดความเร็วรอบหมุนของล้อกังหันลงด้วย โดยการเพิ่มจำนวนแถวของใบกังหันที่เคลื่อนที่หรือใบหมุน (moving blades) เป็น 2 แถวหรือมากกว่านั้นโดยมีแถวของใบกังหันที่ติดอยู่กับที่ (fixed blades) คั่นสลับกันไป ใบกังหันที่ติดอยู่กับที่หรือใบนิ่งนี้จะทำหน้าที่กลับทิศของกาซหรือไอที่ออกจากใบกังหันแถวแรกให้เข้าสู่แถวเคลื่อนที่แถวที่ 2 โดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลง (ในกรณีที่ไม่มีความเสียดทานในการไหลผ่านใบกังหันเลย) ใบกังหันที่อยู่กับที่อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ใบนำ (guide blade) รูปที่ 1.2 (ข) แสดงแผนภาพของเครื่องกังหันชนิดรวมความเร็วที่มีใบหมุน 2 แถว จะเห็นว่าไม่มีความดันตกของกาซหรือไอในขณะที่ไหลผ่านใบกังหันทั้งใบหมุนและใบนิ่ง ความดันลดลงหรือการขยายตัวของกาซหรือไอทั้งหมดเกิดขึ้นในหัวฉีด ส่วนความเร็วจะลดลงเป็นขั้น ๆ ถ้ากาซหรือไอที่ออกจากแถวหมุนแถวที่ 2 ยังมีความเร็วสูงพอก็อาจจะให้ผ่านต่อไปยังแถวหมุนที่ 3 และต่อ ๆ ไปจนกว่าความเร็วจะถูกใช้ไปเกือบหมด โดยทางทฤษฎีแล้วจำนวนแถวหมุนสามารถมีได้ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากมีความเสียดทานในการไหลผ่านใบกังหันมาก (9) จำนวนแถวหมุนจึงมีได้จำกัด เนื่องจากเครื่องกังหันชนิดนี้ความเร็วของกาซหรือไอจะลดลงเป็นขั้น ๆ เมื่อผ่านใบหมุนแต่ละแถว จึงอาจจะเรียกเครื่องกังหันชนิดนี้ว่าเป็นชนิดหลายขั้นความเร็ว (Velocity-stage impulse turbine) เครื่องกังหันชนิดนี้ที่มีใบหมุนจำนวน 2 แถวมักจะเรียกอีกชื่อ



(ก) (ข)

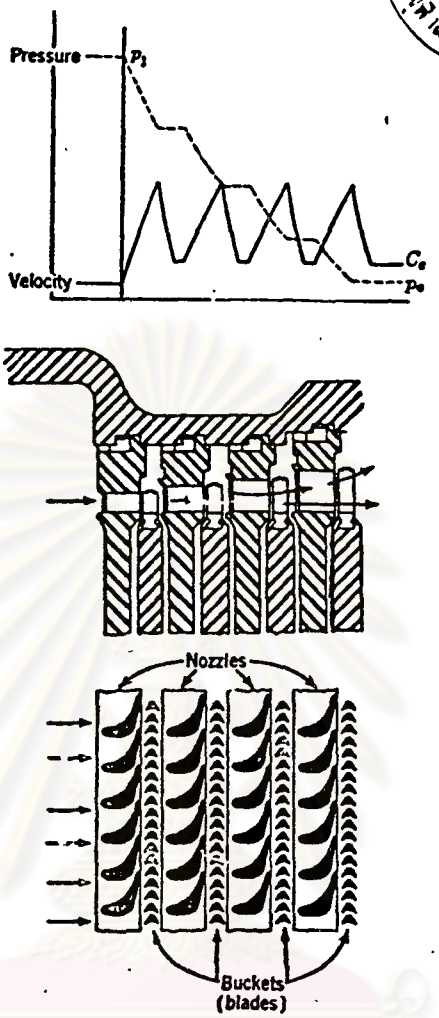
รูปที่ 1.2(ก) แสดงแผนภาพของหัวฉีด,ใบกังหัน และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันของกาซหรือไอของเครื่องกังหันชนิดแรงผลักธรรมดา (ข) แสดงแผนภาพของหัวฉีด, ใบกังหัน และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันของกาซหรือไอของเครื่องกังหันชนิดรวมความเร็ว (9)

กราฟในรูปที่ 1.2 (ก) และ 1.2 (ข) P_1 เป็นความดันของกาซหรือไอที่เข้าสู่หัวฉีด P_2 เป็นความดันที่ออกจากหัวฉีดและมีค่าคงที่ตลอดขณะผ่านใบกังหัน C_2 เป็นความเร็วสัมบูรณ์ของกาซหรือไอที่ออกจากใบกังหัน

หนึ่งว่า เครื่องกังหันเคอร์ติส (Curtis turbines) (4) ตามชื่อของผู้ที่สร้างขึ้นเป็นคนแรกคือ Charles Curtis เครื่องกังหันเคอร์ติสนี้อัตราเร็วที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของกาซหรือไอนั้น อัตราเร็วของใบกังหันจะมีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วของกาซหรือไอที่เข้าสู่ใบกังหัน (10)

3. ชนิดรวมความดัน (Pressure-compounded impulse turbine) เครื่องกังหันชนิดนี้ความดันลดลงของกาซหรือไอที่สามารถขยายตัวได้จะถูกแบ่งออกให้ค่อย ๆ ลดลงเป็นช่วง ๆ หรือเป็นขั้น ๆ ทำให้ความเร็วของกาซหรือไอที่เข้าสู่ใบกังหันไม่สูงมากนัก นั่นคือเป็นวิธีลดความเร็วของกาซหรือไอที่ออกจากหัวฉีดซึ่งจะทำให้อัตราเร็วของใบกังหันลดหรือทำให้เครื่องกังหันหมุนช้าลง และยังช่วยให้การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในการไหลลดลงด้วย (7) เครื่องกังหันชนิดนี้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นชนิดหลายขั้นความดัน (Pressure-stage impulse turbine) รูปที่ 1.3 แสดงแผนภาพของเครื่องกังหันชนิด 4 ขั้นความดัน ในแต่ละขั้นความดันจะประกอบด้วย หัวฉีด 1 ชุด ชุดใบกังหัน 1 แถว กาซหรือไอจะขยายตัวผ่านหัวฉีดลงสู่ความดันระดับหนึ่งทำให้มีความเร็วระดับหนึ่งแล้วพุ่งเข้าสู่ชุดใบกังหันทำให้เกิดงาน หลังจากออกจากใบกังหันชุดแรกแล้วกาซหรือไอที่มีความเร็วลดลงจะเข้าสู่ชุดหัวฉีดในขั้นที่ 2 ทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยการขยายตัวผ่านหัวฉีดลงสู่ความดันอีกระดับหนึ่งแล้วเข้าสู่ใบกังหันชุดที่ 2 และเป็นไปในลักษณะเช่นนี้ต่อๆ ไปคือ ความเร็วของกาซหรือไอจะเพิ่มขึ้นแล้วลดลงสลับกันไป โดยที่ความดันจะลดลงเป็นขั้น ๆ จนกระทั่งไม่สามารถลดต่อไปได้อีก เครื่องกังหันชนิดนี้บางทีก็เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องกังหันราเทียว (Rateau turbine) ความจริงแล้วเครื่องกังหันชนิดนี้ก็คือเครื่องกังหันที่ประกอบด้วยเครื่องกังหันชนิดแรงผลักธรรมดา (1 ขั้นความเร็ว) หลาย ๆ ชุดมาต่ออนุกรมกัน ซึ่งอาจจะมีจำนวนตั้งแต่ 3-20 ขั้น

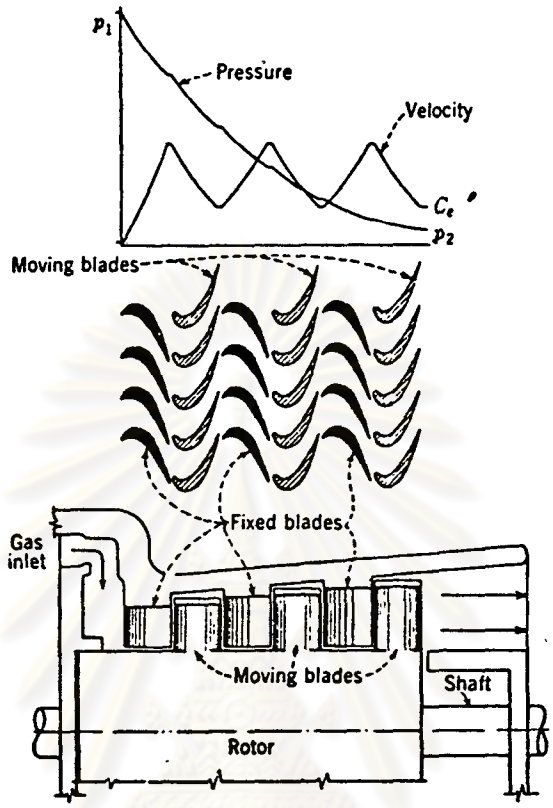
1.2.1.2 เครื่องกังหันแบบแรงดันกลับ (Reaction turbine) เครื่องกังหันแบบนี้การเปลี่ยนความดันของกาซหรือไอไปเป็นพลังงานจลน์จะค่อย ๆ เกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ กล่าวคือจะให้ความดันค่อย ๆ ลดลงเป็นช่วง ๆ ความเร็วของกาซหรือไอที่ได้จากการขยายตัวจึงไม่สูงและทำให้ความเร็วของใบหมุนอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ



รูปที่ 1.3 แสดงแผนภาพของหัวฉีดกับใบกังหัน และความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็วของกังหันแบบแรงผลักชนิด 4 ขั้นความดัน โดย P_1 เป็นความดันที่เข้าสู่หัวฉีดในขั้นแรก, P_e เป็นความดันที่ออกจากใบกังหันในขั้นสุดท้าย และ C_2 เป็นความเร็วสัมบูรณ์ที่ออกใบกังหันในขั้นสุดท้าย (9)

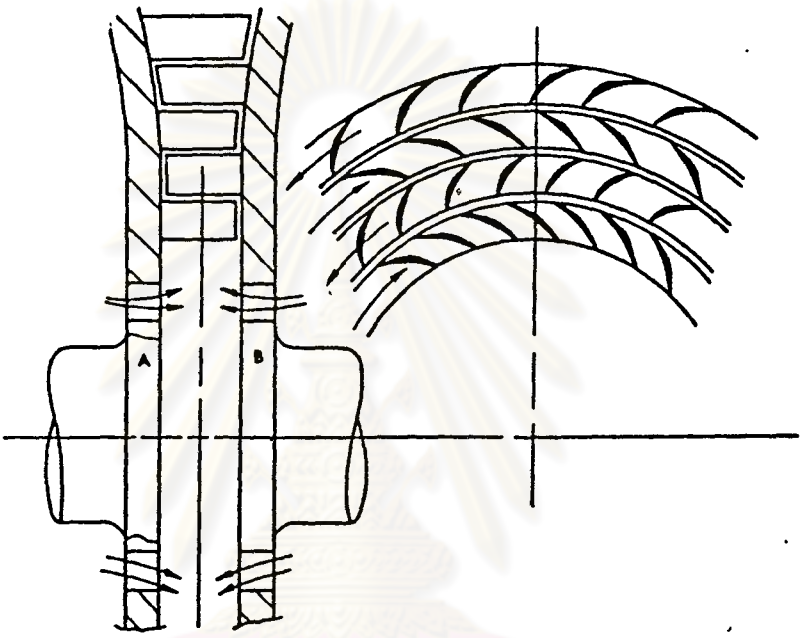
เครื่องกังหันอื่น (11) รูปที่ 1.4 แสดงแผนภาพของเครื่องกังหันแบบแรงดันกลับที่มี 3 ขั้น (มีแถวใบหมุน 3 แถว) และความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็วของกาซหรือไอที่ไหลผ่านเครื่องกังหัน จากรูปจะเห็นว่า ความดันของกาซหรือไอจะลดลงเมื่อผ่านใบกังหันทั้งใบนิ่งและใบหมุน กล่าวคือมีการขยายตัวเกิดขึ้นขณะที่ไหลผ่านไปบนใบทั้งสองชนิด ใบนิ่งจะทำหน้าที่คล้ายหัวฉีดในเครื่องกังหันแบบแรงผลัก คือ จะทำการเปลี่ยนทิศทางของกาซหรือไอในขณะเดียวกันก็มีการขยายตัวทำให้มีความเร็วสูงขึ้นแล้วผ่านเข้าใบหมุนเกิดแรงกระทำต่อใบกังหันเหมือนกับเครื่องกังหันแบบแรงผลัก แต่ในขณะที่กาซหรือไอผ่านไปบนใบหมุนความดันก็ยังลดลงอีก ทั้งนี้เนื่องจากช่องผ่านระหว่างใบกังหันในแถวใบหมุนมีรูปร่างเป็นหัวฉีด เพราะฉะนั้นจึงทำให้กาซหรือไอมีความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับใบกังหันพุ่งออกจากใบกังหันเกิดแรงดันกลับกระทำต่อใบกังหัน จะเห็นว่าแรงที่กระทำต่อใบกังหันทำให้เกิดการหมุนนั้นมีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งเป็นแรงผลักที่เนื่องมาจากการเปลี่ยนทิศทางเมื่อผ่านใบหมุนอีกส่วนหนึ่งเป็นแรงดันกลับเนื่องจากเกิดการขยายตัวมีความเร็วเพิ่มเมื่อออกจากใบกังหัน เครื่องกังหันแบบนี้เป็นแบบที่เรียกว่า เครื่องกังหันแบบแรงดันกลับครึ่งองศา (0.5 degree of reaction) หรือแรงดันกลับ 50 เปอร์เซ็นต์ (12) กล่าวคือ การทำงานของกาซหรือไอที่ผ่านใบกังหันครึ่งหนึ่งเป็นแบบแรงผลักอีกครึ่งหนึ่งเป็นแบบแรงดันกลับ เครื่องกังหันแบบนี้มักจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องกังหันพาร์สัน (Parson turbine) เนื่องจาก Sir Charles Parson เป็นผู้สร้างขึ้นเป็นคนแรก

1.2.2 <u>เครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวรัศมี</u> (Radial flow turbine) มี 2 ชนิด คือ ชนิดไหลเข้าสู่ศูนย์กลางตามแนวรัศมี (inward-flow radial turbine) และชนิดไหลออกจากศูนย์กลางตามแนวรัศมี (outward-flow radial turbine) สำหรับชนิดไหลออกจากศูนย์กลาง กาซหรือไอจะเข้าสู่ใบกังหันที่บริเวณแกนแล้วขยายตัวออกตามแนวรัศมีผ่านชุดใบกังหันหลาย ๆ แถวซึ่งติดอยู่บนล้อวงแหวนที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ล้อวงแหวนของใบกังหันที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันนี้อาจจะเป็นแบบแถวอยู่กับที่สลับกับแถวเคลื่อนที่ หรืออาจจะเป็นแบบเคลื่อนที่ทั้งหมดแต่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามสลับกันคนละแถว ตัวอย่างของ



รูปที่ 1.4 แสดงแผนภาพของเครื่องกังหันแบบแรงดันกลับ 3 ขั้น และความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเร็วของกาซที่หรือไอที่ไหลผ่านใบกังหัน โดยที่ P_1 เป็นความดันที่เข้าสู่หัวฉีดในขั้นแรก, P_2 เป็นความดันที่ออกจากใบกังหันในขั้นสุดท้าย และ C_2 เป็นความเร็วสัมบูรณ์ที่ออกจากใบกังหันในขั้นสุดท้าย (9)

เครื่องกังหันชนิดที่มีแถวใบกังหันหมุนในทิศทางตรงข้ามสลับกัน ก็คือ Ljungström turbine ซึ่งมีใบกังหันเป็นแบบแรงดันกลับ 50 เปอร์เซ็นต์ (13) ดังแสดงในรูปที่ (1.5)



รูปที่ 1.5 แสดงแผนภาพของเครื่องกังหันแบบ Ljungström ซึ่งเป็นชนิดไหลออกตามแนวรัศมี (6)

จากรูปที่ (1.5) ล้อหมุน A และ B ติดอยู่บนเพลาคนละอันที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน และมีใบกังหันติดสลับกันคนละแถว ล้อหมุน A และ B จะหมุนในทิศทางตรงกันข้ามด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ก๊าซหรือไอจะให้เข้าไปที่บริเวณเพลาของเครื่องกังหันแล้วขยายตัวออกตามแนวรัศมีผ่านใบกังหันของล้อหมุน A และ B ทำให้เกิดการหมุน

สำหรับชนิดไหลเข้าสู่ศูนย์กลางตามแนวรัศมี กาซหรือไอจะเข้าสู่ใบกังหันในแนวเส้นสัมผัสกับเส้นรอบวงขอบนอกของล้อหมุนแล้วไหลผ่านใบกังหันเข้าสู่ศูนย์กลางในแนวรัศมี และไหลออกไปตามแนวแกน ตามปกติแล้วเครื่องกังหันชนิดนี้จะเป็นแบบขั้นเดียว (single stage) คือ มีใบกังหันเพียงแถวเดียว ซึ่งใบกังหันจะเป็นแบบเดียวกับใบกังหันชนิดแรงดันกลับ ใบกังหันกับล้อหมุนประกอบกันในลักษณะคล้ายกับใบพัด (impeller) ของปั๊มแรงเหวี่ยง (centrifugal pump)

เครื่องกังหันประเภทไหลตามแนวรัศมีเหมาะกับการทำงานที่อัตราส่วนความดันต่ำเท่านั้น เนื่องจากความซับซ้อนของการไหลผ่านใบกังหันในกรณีที่มีหลาย ๆ ขั้น เครื่องกังหันประเภทนี้จึงมีใช้กันน้อย นอกจากนี้แล้วชนิดไหลเข้าสู่ศูนย์กลางยังเหมาะกับอัตราส่วนความดันที่ต่ำกว่าชนิดไหลออกจากศูนย์กลาง ทั้งนี้เกี่ยวข้องอยู่กับพื้นที่การไหลและการขยายตัวของกาซหรือไอ (12)

1.3 วัตถุประสงค์ หลักการและขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะเชิงกลของเครื่องกังหันไอขนาดเล็กที่ออกแบบและสร้างขึ้นเอง สำหรับทำงานที่ระดับความดันไอต่ำ ๆ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาระบบการแปลงพลังงานความดันไอไปเป็นพลังงานเชิงกล ซึ่งใช้ในระบบการแปลงพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยทางวัฏจักรความร้อนต่อไป

ในการศึกษาวิจัยนี้เริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีของเครื่องกังหันไอแบบแรงผลัก ซึ่งอธิบายการเกิดแรงกระทำบนใบกังหันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของของไหลที่ไหลผ่านใบกังหัน ทำให้เกิดแรงบิดและก่อให้เกิดการหมุน ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สำหรับการทดลอง ได้ทำการเลือกชนิด ออกแบบและสร้างเครื่องกังหันโดยใช้โลหะที่ไม่เป็นสนิม ได้แก่ ทองเหลือง อลูมิเนียม และเหล็กสแตนเลส ในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง

กังหัน และสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำการทดลอง รายละเอียดการสร้างเครื่องกังหันและอุปกรณ์การทดลองได้เสนอไว้ในบทที่ 3 ในการวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะสมรรถนะเชิงกลของเครื่องกังหันเท่านั้น โดยใช้อากาศอัดในการทดลองเครื่องกังหัน กล่าวคือ ศึกษาถึงแรงบิด กำลังงาน และอัตราไหลของมวลของอากาศที่เครื่องกังหันใช้ไป จากผลการทดลองด้วยการแปรค่าอัตราไหลของมวลของอากาศที่เข้าสู่ใบกังหัน ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ เปลี่ยนขนาดความดันอากาศอัด และเปลี่ยนขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางของหัวฉีด ที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 4 พบว่า การเพิ่มอัตราไหลของมวลของอากาศด้วยการเพิ่มความดันอากาศอัด สำหรับหัวฉีดที่ใช้แต่ละขนาด จะทำให้เครื่องกังหันมีแรงบิดและกำลังงานสูงขึ้น มีอัตราหมุนที่เครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราไหลของมวลของอากาศด้วยการเพิ่มขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางของหัวฉีด ก็จะให้ผลในลักษณะเดียวกัน ส่วนการลดอัตราไหลของมวลของอากาศโดยการลดจำนวนหัวฉีดลงครึ่งหนึ่ง จะทำให้แรงบิดและกำลังงานลดลงอย่างมาก คือ ลดลงมากกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่า ถ้าให้เครื่องกังหันทำงานที่กำลังงานต่ำ การสูญเสียต่าง ๆ ภายในเครื่องกังหันก็จะเป็นสัดส่วนที่มากเมื่อเทียบกับกำลังงานที่เครื่องกังหันผลิตได้ และจากการทดลองใช้ใบหมุนเพียงแถวเดียวในเครื่องกังหันเครื่องที่ 2 พบว่า เครื่องกังหันหมุนด้วยอัตราหมุนสูงขึ้น ที่ขนาดแรงบิดเท่ากันเมื่อใช้ใบหมุนแถวเดียวจะมีอัตราหมุนสูงกว่าเมื่อใช้ใบหมุน 2 แถวมาก และที่ภาวะเครื่องกังหันให้กำลังงานสูงสุดก็จะมีอัตราหมุนสูงกว่ามากเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ที่อัตราหมุนสูง ๆ เมื่อใช้ใบหมุนแถวเดียวจะมีสมรรถนะให้แรงบิดและกำลังงานสูงกว่าเมื่อใช้ใบหมุน 2 แถว นอกจากนี้ได้นำเครื่องกังหันแบบแรงผลักชนิด 1 ขั้นความเร็ว และแบบไหลตามแนวรัศมีชนิดมีใบหมุน 1 แถว ที่มีอยู่แล้วมาทำการทดลองเปรียบเทียบ พบว่ามีอัตราหมุนสูงใกล้เคียงกันและมีสมรรถนะดีที่อัตราหมุนสูง ๆ เช่นเดียวกัน แต่เครื่องกังหันแบบไหลตามแนวรัศมีมีสมรรถนะสูงกว่า