

## สารบัญ

|                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                              | ค    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                              | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                           | ฉ    |
| สารบัญตาราง                                                  | ญ    |
| สารบัญภาพ                                                    | ฎ    |
| อักษรย่อและสัญลักษณ์                                         | ด    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                 | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา                                | 1    |
| 1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง                      | 3    |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                                  | 13   |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ                                        | 13   |
| 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย                                        | 13   |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี                                      | 14   |
| 2.1 ชนิดและประโยชน์ของพลังงานน้ำ                             | 14   |
| 2.2 กังหันน้ำ                                                | 17   |
| 2.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์                               | 61   |
| 2.4 การหาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด                      | 63   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ                                   | 64   |
| 3.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                                  | 64   |
| 3.2 แผนการดำเนินงาน                                          | 64   |
| บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ                       | 103  |
| 4.1 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเสถียรภาพความสูงคงที่ 4 เมตร | 103  |
| 4.2 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเสถียรภาพความสูงคงที่ 3 เมตร | 106  |

สารบัญ(ต่อ)

|                                                                             | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.3 ผลการทดสอบกักกันน้ำที่ควบคุมเสถียรภาพสูงถึง 2 เมตร                      | 109  |
| 4.4 ผลการทดสอบกักกันน้ำที่ควบคุมเสถียรภาพสูงถึง 1.5 เมตร                    | 112  |
| 4.5 ผลการทดสอบกักกันน้ำที่ควบคุมเสถียรภาพสูงถึง 1 เมตร                      | 114  |
| 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี                              | 117  |
| 4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยอื่นๆ                                   | 124  |
| บทที่ 5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์                                          | 128  |
| 5.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำกักกันน้ำไปใช้งานกับ<br>อาคารหอพัก | 132  |
| 5.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำกักกันน้ำไปใช้งานกับ<br>โรงพยาบาล  | 136  |
| บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ                                         | 138  |
| 6.1 สรุปผลการทดสอบ                                                          | 138  |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ                                                              | 140  |
| บรรณานุกรม                                                                  | 141  |
| ภาคผนวก                                                                     | 143  |
| ภาคผนวก ก ผลการคำนวณหาขนาดของใบกักกันน้ำ                                    | 144  |
| ภาคผนวก ข ตัวอย่างในการคำนวณ                                                | 160  |
| ประวัติผู้เขียน                                                             | 177  |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                                                                              | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ผลการทดสอบกังหันน้ำชนิด Propeller (Alexander et al., 2007)                                                                     | 5    |
| 1.2 ค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆ (Arriaga, 2009)                                                                         | 10   |
| 3.1 ตารางแสดงปริมาณน้ำทิ้งของหอพักขนาด 4 ชั้น                                                                                      | 66   |
| 3.2 ตัวแปรเริ่มต้นของการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ                                                                                  | 68   |
| 3.3 ตัวแปรควบคุมของการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำ                                                                                    | 69   |
| 3.4 ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำที่เหมาะสมจากโปรแกรม                                                                             | 73   |
| 3.5 ผลการคำนวณหาความยาวคอर्डของใบกังหันน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ                                                                          | 76   |
| 3.6 ผลการคำนวณหามุมปะทะ ระยะเคมเบอร์สูงสุด และมุมตั้งใบที่ตำแหน่งต่างๆ                                                             | 77   |
| 3.7 ผลการคำนวณหาหรัศมีส่วนโค้งของใบกังหันน้ำและมุมของส่วนโค้งที่ตำแหน่งต่างๆ                                                       | 78   |
| 3.8 ผลการคำนวณหาค่า Theta ratio ค่า Exaggeration factor และผลต่างระหว่างค่า Theta ratio กับค่า Exaggeration factor ที่ตำแหน่งต่างๆ | 79   |
| 3.9 ผลการคำนวณหารูปร่างของใบกังหันน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ                                                                               | 79   |
| 3.10 ผลการคำนวณหาหรัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes ความสูงของ Guide vanes และระยะความสูงของการติดตั้งกังหันน้ำ                | 81   |
| 3.11 ผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของ Spiral casing ที่ตำแหน่งใดๆ                                                                       | 81   |
| 3.12 ผลการคำนวณหามุมและความกว้างของ Guide vanes                                                                                    | 82   |
| 4.1 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเฮดความสูงคงที่ 4 เมตร                                                                             | 104  |
| 4.2 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเฮดความสูงคงที่ 3 เมตร                                                                             | 107  |
| 4.3 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเฮดความสูงคงที่ 2 เมตร                                                                             | 110  |
| 4.4 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเฮดความสูงคงที่ 1.5 เมตร                                                                           | 113  |
| 4.5 ผลการทดสอบกังหันน้ำที่ควบคุมเฮดความสูงคงที่ 1 เมตร                                                                             | 115  |
| 4.6 ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำจากการทดสอบ                                                                         | 117  |
| 4.7 ผลการทดสอบกังหันน้ำของ Alexander et al. (2007) และกังหันน้ำของงานวิจัยนี้                                                      | 126  |
| 5.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างกังหันน้ำ                                                                                                  | 131  |
| 5.2 ข้อมูลกังหันน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์                                                                                | 132  |
| 5.3 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากน้ำทิ้งของอาคารพักอาศัยขนาด 15 ชั้น                                                                       | 133  |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง |                                                            | หน้า |
|-------|------------------------------------------------------------|------|
| 5.4   | ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากน้ำทิ้งของโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ | 136  |

สารบัญภาพ

| รูป  |                                                                                                                                     | หน้า |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1  | ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยในระหว่างปี พ.ศ. 2546 - 2555<br>(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2555)                                  | 1    |
| 1.2  | สัดส่วนของแหล่งพลังงานสำหรับผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย<br>(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2555)                                           | 2    |
| 1.3  | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังและประสิทธิภาพของกังหันน้ำ<br>(Taiple et al., 2007)                                           | 4    |
| 1.4  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะและประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำ<br>(Alexander et al., 2009)                                     | 5    |
| 1.5  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลและความเร็วรอบกับกำลัง<br>ทางกลที่กังหันน้ำผลิตได้ (Singh and Nestmann, 2009)           | 6    |
| 1.6  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ<br>(Singh and Nestmann, 2009)                                              | 6    |
| 1.7  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลและความเร็วรอบกับกำลัง<br>ทางกลที่กังหันน้ำผลิตได้ (Singh and Nestmann, 2009)           | 7    |
| 1.8  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ<br>(Singh and Nestmann, 2009)                                              | 7    |
| 1.9  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการไหลและความเร็วรอบกับกำลัง<br>ทางกลที่กังหันน้ำผลิตได้ (Singh and Nestmann, 2009)           | 8    |
| 1.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพของกังหันน้ำ<br>(Singh and Nestmann, 2009)                                              | 8    |
| 1.11 | ภาพตัดขวางของกังหันน้ำ Agnew (Yassi et al., 2009)                                                                                   | 9    |
| 1.12 | กังหันน้ำ Agnew ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยการติดตั้งอุปกรณ์ปรับทิศทาง<br>การไหลเข้าของน้ำ (Yassi et al., 2009)                       | 9    |
| 1.13 | กังหันน้ำชนิด Split pipe reaction turbine (Date and Akbarzadeh, 2008)                                                               | 10   |
| 1.14 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพกังหันน้ำและความเร็วรอบ<br>กับกำลังทางกลที่กังหันน้ำผลิตได้ (Date and Akbarzadeh, 2008) | 11   |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูป  |                                                                                                   | หน้า |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.15 | แผนผังการติดตั้งกังหันน้ำชนิด Siphon turbine (Stark et al., 2011)                                 | 12   |
| 1.16 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Stark et al., 2011)                        | 12   |
| 2.1  | พลังงานน้ำตกที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ (Daugherty and Franzini, 1989)                        | 15   |
| 2.2  | พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง                                                                               | 16   |
| 2.3  | กังหันน้ำชนิด Impulse (Creager and Justin, 1963)                                                  | 18   |
| 2.4  | หลักการการทำงานของกังหันน้ำชนิด Reaction                                                          | 19   |
| 2.5  | กังหันน้ำชนิด Francis ขนาด 30,000 แรงม้า (Creager and Justin, 1963)                               | 20   |
| 2.6  | Guide vanes ของกังหันน้ำชนิด Kaplan (Creager and Justin, 1963)                                    | 21   |
| 2.7  | กังหันน้ำชนิด Kaplan ขนาด 74,000 แรงม้า (Creager and Justin, 1963)                                | 21   |
| 2.8  | รูปหลายมุมของความเร็วของกังหันน้ำชนิดไหลตามแนว<br>(Daugherty and Franzini, 1989)                  | 23   |
| 2.9  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะกับ Peripheral-velocity factor<br>(Daugherty and Franzini, 1989) | 27   |
| 2.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะกับประสิทธิภาพ<br>(Daugherty and Franzini, 1989)                 | 29   |
| 2.11 | แรงยกและแรงดันที่กระทำกับใบพัด (Turton, 1995)                                                     | 30   |
| 2.12 | การแตกแรงยกและแรงดันที่กระทำกับใบพัดในแนวสัมผัสและแนวแกน<br>(Turton, 1995)                        | 31   |
| 2.13 | ความเร็วสัมผัสเฉลี่ยและมุมของความเร็วสัมผัสเฉลี่ย                                                 | 32   |
| 2.14 | การแบ่งภาคตัดขวางของใบพัดตามแนวรัศมี                                                              | 35   |
| 2.15 | มุมปะทะ                                                                                           | 36   |
| 2.16 | มุมตั้งใบพัด ความยาวคอร์ด และระยะช่องว่างระหว่างใบพัด                                             | 36   |
| 2.17 | ช่องการไหลของน้ำภายในกังหันน้ำ (Wright and Gerhart, 2010)                                         | 37   |
| 2.18 | มุม Incidence และมุม Deviation (Turton, 1995)                                                     | 38   |
| 2.19 | ความเร็วที่ตำแหน่งทางเข้ากังหันน้ำ                                                                | 39   |
| 2.20 | ความเร็วที่ตำแหน่งทางออกกังหันน้ำ                                                                 | 43   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูป                                                                                                                     | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.21 ชนิดของใบกังหันน้ำ (Turton, 1995)                                                                                  | 45   |
| 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะเชิงปริมาตรการไหลกับจำนวนใบกังหันน้ำ<br>(Simpson and Williams, 2011)              | 46   |
| 2.23 ค่าปรับแก้สัมประสิทธิ์แรงยกสำหรับกังหันน้ำแบบหลายใบ<br>(Simpson and Williams, 2011)                                | 49   |
| 2.24 ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำแบบบางที่มีความหนาคงที่<br>(Simpson and Williams, 2011)                          | 50   |
| 2.25 ส่วนโค้งของใบกังหันน้ำ                                                                                             | 51   |
| 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างระยะช่องว่างระหว่างใบพัดกับ<br>Exaggeration factor (Simpson and Williams, 2011) | 52   |
| 2.27 อุปกรณ์ในระบบกังหันน้ำชนิด Propeller (สุธรรม, 2549)                                                                | 53   |
| 2.28 Guide vanes หรือ Wicket gates (Wright and Gerhart, 2010)                                                           | 54   |
| 2.29 Spiral casing ชนิดพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส                                                           | 55   |
| 2.30 ภาพตัดขวางของกังหันน้ำและ Spiral casing (Simpson and Williams, 2011)                                               | 56   |
| 2.31 การแบ่งพื้นที่หน้าตัดของ Spiral casing                                                                             | 58   |
| 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย                                                                                                | 65   |
| 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์                                                                       | 71   |
| 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะกับประสิทธิภาพไฮดรอลิก                                                             | 73   |
| 3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 1,000 W                                                                      | 83   |
| 3.5 แผนผังการสร้างชุดทดสอบกังหันน้ำ                                                                                     | 84   |
| 3.6 เหล็กกล่องขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ in                                                                | 85   |
| 3.7 ถังเก็บน้ำพลาสติกขนาด 500 liters                                                                                    | 85   |
| 3.8 ขนาดและตำแหน่งของท่อส่งน้ำ                                                                                          | 86   |
| 3.9 ตำแหน่งของอุปกรณ์วาล์วต่างๆ                                                                                         | 87   |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูป  |                                                                            | หน้า |
|------|----------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.10 | เหล็กแผ่นสำหรับสร้างใบกังหันน้ำ                                            | 88   |
| 3.11 | เหล็กตันสำหรับสร้างเป็นคุม                                                 | 88   |
| 3.12 | คุมและใบกังหันน้ำ                                                          | 89   |
| 3.13 | เหล็กแผ่นสำหรับสร้าง Guide vanes                                           | 90   |
| 3.14 | Guide vanes                                                                | 90   |
| 3.15 | Guide vanes                                                                | 91   |
| 3.16 | การติดตั้งลูกปืนแบบเข็ม                                                    | 91   |
| 3.17 | Spiral casing                                                              | 92   |
| 3.18 | การเชื่อมประกอบ Guide vanes กับ Spiral casing                              | 92   |
| 3.19 | เพลากังหันน้ำ                                                              | 93   |
| 3.20 | การติดตั้งซีลกันรั่ว                                                       | 94   |
| 3.21 | การติดตั้งใบกังหันน้ำเข้ากับ Guide vanes                                   | 94   |
| 3.22 | เพลารองรับกำเนิดไฟฟ้าและเพลากังหันน้ำ                                      | 95   |
| 3.23 | การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                                               | 95   |
| 3.24 | เกจวัดความดันและอุปกรณ์ระบบ Pneumatic                                      | 96   |
| 3.25 | การติดตั้งสายวัดความดัน                                                    | 97   |
| 3.26 | แผงโหลดหลอดไฟ                                                              | 97   |
| 3.27 | ชุดทดสอบกังหันน้ำ                                                          | 98   |
| 3.28 | เครื่องมือวัดความเร็วรอบอินฟราเรด                                          | 99   |
| 3.29 | เครื่องมือวัด Multimeter                                                   | 99   |
| 3.30 | เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิด อัลตราโซนิก                                   | 100  |
| 3.31 | การทดสอบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า                                                 | 101  |
| 4.1  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 4 เมตร            | 105  |
| 4.2  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพโดยรวม<br>ที่เสดความสูง 4 เมตร | 106  |
| 4.3  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 3 เมตร            | 108  |



สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูป  |                                                                                                               | หน้า |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.4  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพโดยรวม<br>ที่เสดความสูง 3 เมตร                                    | 109  |
| 4.5  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 2 เมตร                                               | 111  |
| 4.6  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพโดยรวม<br>ที่เสดความสูง 2 เมตร                                    | 112  |
| 4.7  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 1.5 เมตร                                             | 113  |
| 4.8  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพโดยรวม<br>ที่เสดความสูง 1.5 เมตร                                  | 114  |
| 4.9  | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 1 เมตร                                               | 116  |
| 4.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพโดยรวม<br>ที่เสดความสูง 1 เมตร                                    | 116  |
| 4.11 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำ<br>จากการทดสอบ                               | 119  |
| 4.12 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำ<br>ทางทฤษฎี                                  | 120  |
| 4.13 | เปรียบเทียบประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำทางทฤษฎีกับประสิทธิภาพ<br>ไฮดรอลิกของกังหันน้ำจากการทดสอบ           | 121  |
| 4.14 | ผลการทดสอบกังหันน้ำสถานะที่มีไหลและไม่มีไหลที่อัตราการไหล $0.017 \text{ m}^3/\text{s}$<br>และเสดความสูง 1.8 m | 124  |
| 4.15 | ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะกับประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกังหันน้ำ<br>ของ Alexander et al. (2009)            | 125  |
| 4.16 | เปรียบเทียบผลการทดสอบกังหันน้ำของงานวิจัยนี้กับกังหันน้ำของ<br>Alexander et al. (2009)                        | 127  |
| 5.1  | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 4 เมตร                                               | 129  |
| 5.2  | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้าที่เสดความสูง 4 เมตร                                               | 129  |

อักษรย่อและสัญลักษณ์

| สัญลักษณ์   | ความหมาย                                               | หน่วย   |
|-------------|--------------------------------------------------------|---------|
| $A_d$       | พื้นที่ที่ตั้งฉากกับความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลตามแนวแกน | $m^2$   |
| $b$         | ความยาวคอรัคตามแนวแกน                                  | m       |
| $b_g$       | ความกว้างของ Guide vanes                               | m       |
| $b_0$       | ความสูงของ Guide vanes                                 | m       |
| $B$         | ความกว้างของใบกังหันน้ำ                                | m       |
| $i$         | มุม Incidence                                          | deg     |
| $c$         | ความยาวคอรัค                                           | m       |
| $cam_{max}$ | ระยะแคมเบอร์สูงสุด                                     | m       |
| $C_D$       | สัมประสิทธิ์แรงต้านของใบกังหันน้ำ                      | -       |
| $C_H$       | สัมประสิทธิ์เฮด                                        | -       |
| $C_L$       | สัมประสิทธิ์แรงยกของใบกังหันน้ำ                        | -       |
| $C_p$       | สัมประสิทธิ์กำลัง                                      | -       |
| $C_Q$       | สัมประสิทธิ์อัตราการใช้                                | -       |
| $g$         | ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก                     | $m/s^2$ |
| $H$         | เฮดความสูง                                             | m       |
| $H_m$       | เฮดของ Euler                                           | m       |
| $N$         | ความเร็วรอบของกังหันน้ำ                                | rpm     |
| $N_q$       | ความเร็วจำเพาะเชิงปริมาตรการใช้                        | -       |
| $N_s$       | ความเร็วจำเพาะ                                         | -       |
| $P_E$       | กำลังไฟฟ้า                                             | W       |
| $P_{Eu}$    | กำลังของ Euler                                         | W       |

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

| สัญลักษณ์   | ความหมาย                                         | หน่วย   |
|-------------|--------------------------------------------------|---------|
| $P_i$       | กำลังของของไหลที่ให้กับกังหันน้ำ                 | W       |
| $P_{Linc}$  | กำลังการสูญเสียเนื่องจาก Incidence loss          | W       |
| $P_{Lprof}$ | กำลังการสูญเสียเนื่องจาก Profile loss            | W       |
| $P_r$       | กำลังทางกลของกังหันน้ำ                           | W       |
| $P_{Wout}$  | กำลังการสูญเสียเนื่องจากน้ำที่ไหลออกจากกังหันน้ำ | W       |
| $Q$         | อัตราการไหล                                      | $m^3/s$ |
| $r_g$       | รัศมีของตำแหน่งที่ติดตั้ง Guide vanes            | m       |
| $r_h$       | รัศมีของคูล                                      | m       |
| $r_m$       | รัศมีของเกลียว                                   | m       |
| $r_t$       | รัศมีของใบกังหันน้ำ                              | m       |
| $R_{arc}$   | รัศมีส่วนโค้งของใบกังหันน้ำ                      | m       |
| $s$         | ระยะช่องว่างระหว่างใบพัด                         | m       |
| $t$         | ความหนาของใบกังหันน้ำ                            | m       |
| $T$         | แรงบิดของกังหันน้ำ                               | N.m     |
| $T_{Eu}$    | แรงบิดของ Euler                                  | N.m     |
| $T_{Linc}$  | แรงบิดเนื่องจาก Incidence loss                   | N.m     |
| $T_{Lprof}$ | แรงบิดเนื่องจาก Profile loss                     | N.m     |
| $u$         | ความเร็วเชิงเส้นของใบกังหันน้ำ                   | m/s     |
| $V_a$       | ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหล                        | m/s     |
| $V_1$       | ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่ตำแหน่งทางเข้า       | m/s     |
| $V_2$       | ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่ตำแหน่งทางออก        | m/s     |

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย                                   | หน่วย |
|-----------|--------------------------------------------|-------|
| $W_1$     | ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลที่ตำแหน่งทางเข้า | m/s   |
| $W_2$     | ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลที่ตำแหน่งทางออก  | m/s   |
| $W_m$     | ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลเฉลี่ย            | m/s   |
| $z$       | จำนวนใบพัด                                 | ใบ    |

อักษรกรีก

| สัญลักษณ์      | ความหมาย                                                | หน่วย             |
|----------------|---------------------------------------------------------|-------------------|
| $\alpha$       | มุมปะทะ                                                 | deg               |
| $\alpha_1$     | มุมที่ของไหลไหลเข้ากั้นน้ำที่ตำแหน่งทางเข้า             | deg               |
| $\alpha_2$     | มุมที่ของไหลไหลเข้ากั้นน้ำที่ตำแหน่งทางออก              | deg               |
| $\alpha_w$     | มุมของการติดตั้ง Guide vanes                            | deg               |
| $\beta$        | มุมตั้งใบพัด                                            | deg               |
| $\beta_1$      | มุมของใบกั้นน้ำที่ตำแหน่งทางเข้า                        | deg               |
| $\beta_{1f}$   | มุมของใบกั้นน้ำที่เกิดขึ้นจริงที่ตำแหน่งทางเข้า         | deg               |
| $\beta_2$      | มุมของใบกั้นน้ำที่ตำแหน่งทางออก                         | deg               |
| $\beta_m$      | มุมของความเร็วสัมผัสเฉลี่ย                              | deg               |
| $\delta$       | มุม Deviation                                           | deg               |
| $\eta_g$       | ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า                        | -                 |
| $\eta_h$       | ประสิทธิภาพไฮดรอลิกของกั้นน้ำ                           | -                 |
| $\eta_m$       | ประสิทธิภาพของระบบส่งถ่ายกำลัง                          | -                 |
| $\theta_{arc}$ | มุมของส่วนโค้งของใบกั้นน้ำ                              | deg               |
| $\lambda_0$    | ระยะความสูงของการติดตั้งกั้นน้ำ                         | m                 |
| $\mu$          | ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล                               | Pa.s              |
| $\rho$         | ความหนาแน่นของน้ำ                                       | kg/m <sup>3</sup> |
| $\sigma$       | อัตราส่วนระหว่างความยาวคอรัคกับระยะช่องว่างระหว่างใบพัด | -                 |
| $\phi$         | ค่า Peripheral-velocity factor                          | -                 |
| $\psi$         | สัมประสิทธิ์ของงานที่ได้จากกั้นน้ำ                      | -                 |
| $\omega$       | ความเร็วเชิงมุมของใบกั้นน้ำ                             | rad/s             |