

## สารบัญ

|                                                  | หน้า |
|--------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                  | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                               | ค    |
| คำอุทิศ                                          | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ                                  | ฉ    |
| สารบัญ                                           | ช    |
| สารบัญตาราง                                      | ฉ    |
| สารบัญรูป                                        | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                     | 1    |
| 1.1 ภาพรวมของปัญหาการไหลในระบบท่อ                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                      | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา                            | 2    |
| 1.4 ภาพรวมของรายงาน                              | 3    |
| บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา                   | 4    |
| 2.1 การแก้ปัญหาระบบท่อ                           | 4    |
| 2.1.1 Hardy Cross Method                         | 4    |
| 2.1.2 Newton-Raphson Method                      | 5    |
| 2.1.3 Linear Theory Method                       | 6    |
| 2.2 ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา                       | 6    |
| บทที่ 3 การไหลในท่อ                              | 16   |
| 3.1 บทนำ                                         | 16   |
| 3.2 กฎการอนุรักษ์                                | 16   |
| 3.3 การสูญเสียแรงดันในท่อ                        | 18   |
| 3.4 แฟกเตอร์ความเสียดทาน                         | 19   |
| บทที่ 4 การไหลในระบบท่อ                          | 24   |
| 4.1 บทนำ                                         | 24   |
| 4.2 กฎการอนุรักษ์มวล                             | 24   |
| 4.3 กฎการอนุรักษ์พลังงาน                         | 25   |
| 4.3.1 สมการพลังงานภายในวงรอบปิดพื้นฐาน           | 26   |
| 4.3.2 สมการพลังงานจากแหล่งจ่ายน้ำไปยังจุดจ่ายน้ำ | 27   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                             | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.4 การแก้ปัญหาค่าไหลในระบบท่อ                                              | 28   |
| 4.5 ระบบท่อที่ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำ<br>และมีแหล่งจ่ายน้ำมากกว่าหนึ่งแหล่ง | 30   |
| บทที่ 5 การออกแบบระบบท่อที่ถูกต้องที่สุด                                    | 34   |
| 5.1 บทนำ                                                                    | 34   |
| 5.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบท่อ                                 | 34   |
| 5.3 การหาค่าใช้จ่ายของระบบท่อ                                               | 35   |
| 5.4 วิธีลองผิดลองถูก                                                        | 36   |
| 5.5 วิธีโปรแกรมทางคณิตศาสตร์                                                | 38   |
| 5.6 วิธี Analytical Method                                                  | 40   |
| บทที่ 6 วิธี Analytical Method                                              | 41   |
| 6.1 Brute Force Method                                                      | 41   |
| 6.2 Calculus Method                                                         | 46   |
| บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอนะ                                                  | 50   |
| 7.1 บทสรุป                                                                  | 50   |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ                                                              | 51   |
| บรรณานุกรม                                                                  | 52   |
| ภาคผนวก                                                                     | 54   |
| ภาคผนวก ก. วิธีหาค่า $m$ สำหรับใช้ในการหาค่าใช้จ่ายของระบบท่อ               | 55   |
| ภาคผนวก ข. การหาอนุพันธ์ย่อยของ $C$ เทียบกับ $D_i$                          | 60   |
| ประวัติผู้เขียน                                                             | 63   |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                        | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงผู้ทำการศึกษาและวิธีแก้ปัญหา                                                          | 7    |
| ตารางที่ 3.1 ค่าความขรุขระสัมบูรณ์ $e$ ของท่อที่ผลิตขาย (ท่อใหม่)                                      | 21   |
| ตารางที่ 3.2 สรุปสมการหาค่า $f$ สำหรับ Darcy-Weisbach Equation                                         | 22   |
| ตารางที่ 5.1 แสดงค่าขนาดท่อ, Cost และตรวจสอบค่าความดันที่จุดจ่าย                                       | 37   |
| ตารางที่ 6.1 แสดงค่า Cost ที่คำนวณได้จากวิธี Brute Force Method โดยสมมติค่า $D_2$ และ $D_4$            | 44   |
| ตารางที่ 6.2 แสดงค่า Cost และขนาดท่ออื่นๆที่คำนวณได้จากวิธี Brute Force Method<br>โดยการสมมติค่า $D_1$ | 49   |
| ตารางที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบท่อที่ได้จากวิธีทั้งสาม                                | 50   |
| ตารางที่ ก.1 แสดงราคาท่อ PVC แข็ง ชนิดปลายเรียบ (1 ท่อนยาวเท่ากับ 4 เมตร)                              | 55   |
| ตารางที่ ก.2 แสดงราคาต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ PVC แข็ง ชนิดปลายเรียบ                                 | 56   |
| ตารางที่ ก.3 แสดงราคาท่อ HDPE ชนิดความหนาแน่นสูง                                                       | 58   |
| ตารางที่ ก.4 แสดงราคาท่อ SUPERTUBE PB                                                                  | 59   |

## สารบัญรูป

หน้า

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 1.1 ภาพรวมของปัญหาเกี่ยวกับระบบท่อ                                         | 2  |
| รูปที่ 3.1 การไหลในท่อ                                                            | 17 |
| รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $f$ กับ Reynold number และความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อ | 20 |
| รูปที่ 3.3 Moody Diagram                                                          | 23 |
| รูปที่ 4.1 จุดต่อในระบบท่อจุดหนึ่ง                                                | 25 |
| รูปที่ 4.2 ระบบท่อที่มี 3 basic loop                                              | 26 |
| รูปที่ 4.3 วงรอบปิดพื้นฐานใดๆ                                                     | 26 |
| รูปที่ 4.4 ระบบท่อ 2 loop                                                         | 28 |
| รูปที่ 4.5 ระบบท่อที่ประกอบด้วยสูบและอ่างเก็บน้ำ                                  | 31 |
| รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการแก้ปัญหการไหลในระบบท่อ                                       | 33 |
| รูปที่ 5.1 ขั้นตอนของวิธีลองผิดลองถูก                                             | 39 |
| รูปที่ 6.1 solution diagram                                                       | 43 |
| รูปที่ 6.2 ขั้นตอนของ Brute Force Method                                          | 45 |
| รูปที่ 6.3 ขั้นตอนของ Calouius Method                                             | 47 |
| รูปที่ 6.4 ระบบท่อที่มีหนึ่ง loop                                                 | 48 |
| รูปที่ ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง unit cost กับ diameters ของท่อ PVC             | 57 |