



รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับการจำลองท่อขนส่ง
(Development of Mobile Application for Transport Pipeline Simulator)

โดย

นายณัฐวัชร มโนมัยวจี 5932923823

นายธนวัฒน์ บุญเวโรจน์กุล 5932927323

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับการจำลองท่อขนส่ง

นายณัฐวัชร มโนมัยวจิ

นายธนวัฒน์ บุญเวโรจน์กุล

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of Mobile Application for Transport Pipeline Simulator

Nattawat Manomaiwajee

Thanawat Boonvaerojkul

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Bachelor of Science Program in Chemical Technology Department

Faculty of Science Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

ชื่อโครงการ การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับการจำลองท่อขนส่ง

ชื่อนิติกร่วมโครงการ นายณัฐวัชร มโนมัยวจี

นายธนวัฒน์ บุญเวโรจน์กุล

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เนื่องจากจะสามารถสร้างความเข้าใจเชิงลึกเบื้องต้นให้กับผู้ใช้งาน อีกทั้งการพัฒนาการใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ จะช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ทางการค้า ซึ่งมีค่าลิขสิทธิ์การใช้งานสูง โดยทำการศึกษาทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง และการบ่งชี้อันตรายของกระบวนการและการปฏิบัติงาน จากนั้นนำไปเขียนภาษาคอมพิวเตอร์ คำนวณค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ออกแบบหน้าจอแสดงผลที่ง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้งาน นำไปสู่ผลลัพธ์คือโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถออกแบบสภาวะดำเนินการที่ต้องการ โดยการป้อนค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ชนิดของไหลที่ต้องการ อัตราการไหลเชิงปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ ส่วนเพิ่มเติมของท่อขนส่ง และอื่น ๆ โดยที่โปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถประเมินและให้คำแนะนำในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสมในสภาวะดำเนินการที่ผู้ใช้งานต้องการได้ ตัวอย่างเช่น สามารถคำนวณความดันลดที่ตกคร่อมในระบบท่อขนส่ง พร้อมทั้งคำนวณพลังงานของเครื่องอัดของไหลที่ระบบต้องการ และแนะนำขนาดของเครื่องอัดของไหล นอกจากนี้ยังสามารถทำนายผลของความปลอดภัยในกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรม Aspen plus V9 พบว่า มีสัดส่วนค่าความผิดพลาดสูงสุด คือ 3.979

คำสำคัญ: ระบบท่อขนส่ง, โปรแกรมประยุกต์, อุปกรณ์เคลื่อนที่

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิติกร

ณัฐวัชร มโนมัยวจี

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อนิติกร

ธนวัฒน์ บุญเวโรจน์กุล

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษา

เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ

Title Development of Mobile Application for Transport Pipeline Simulator

Student name Mr. Nattawat Manomaiwajee
Mr. Thanawat Boonvaerajkul

Advisor Assoc. Prof. Dr. Benjapon Chalermssinsuwan

Co-Advisor Dr. Ratchanon Piemjaiswang

**Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2019**

Abstract

The objective of this research is to develop the transport pipeline simulation program on mobile devices. It will be able to create basic insights for users. In addition, the development of mobile application will help users to operate conveniently, rapidly, and is an alternative for users of commercial computer applications which has high usage fee. The program includes the theory of fluid mechanics in the pipelines, heat transfer in transportation pipelines and hazard identification of processes and operations. Then, the programming code is developed to calculate the values of various variables and designs with user-friendly display screens, that lead to a mobile pipeline simulator. In the program, the user can design the desired operating conditions by entering important parameter values, such as desired fluid type, volumetric flow rates, pressure, temperature, additional parts of the pipeline, and etc. The mobile transport simulation program can evaluate and make recommendations regarding the appropriate components of the pipeline in the operating conditions that users need, for example, it can calculate the pressure drop across the pipeline, as well as can calculate the energy of the pump that the system needs, can recommend the size of the pump and can predict the impact of process safety. When comparing with the Aspen plus V9 program, the obtained results showed the highest error percentage of 3.979.

Keywords: Transport Pipeline System, Application, Mobile device

Department of Chemical Technology

Student's signature *Nattawat Manomaiwajee*

Major: Chemical Engineering

Student's signature *Thanawat Boonvaerajkul*

Advisor's signature *Benjapon Chalermssinsuwan*

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และ คำแนะนำในทุกด้าน ทั้งในด้านวิชาการและด้านการทำงาน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการวิจัย อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคตได้ นอกจากนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชา เคมีเทคนิคที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร. รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง นักวิจัยประจำสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย และช่วยปรับปรุงโปรแกรมจำลองบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึง ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำโครงการวิจัยนี้ให้บรรลุผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ครูบาอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง	6
2.2 การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง	16
2.3 ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Piping System)	22
2.4 ความรู้เบื้องต้นของภาษาโปรแกรมพื้นฐาน	35
2.5 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล	38
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	42
3.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย	42
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	42

3.3	วิธีการทดลอง	42
3.4	ตรวจสอบผลลัพธ์จากโปรแกรมจำลอง	44
บทที่ 4	ผลการวิจัย	46
4.1	การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลในการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ	46
4.2	เขียนโปรแกรมจำลองกระบวนการของท่อขนส่ง	51
4.3	การตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ	53
4.4	การตรวจสอบผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม	58
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1	สรุปผลการวิจัย	71
5.2	ข้อเสนอแนะ	72
	รายการอ้างอิง	73
	ภาคผนวก ก. การใช้งานโปรแกรม Pipeline simulator	74
	ภาคผนวก ข. Code ของโปรแกรม Pipeline simulator	88

สารบัญรูปภาพ

ตาราง	หน้า
รูปที่ 1 Moody chart	9
รูปที่ 2 Characteristic pump curves สำหรับ centrifugal pump	14
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง NPSH กับการเกิด Cavitation	15
รูปที่ 4 แนวโน้มสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในแต่ละวัสดุที่อุณหภูมิต่าง ๆ	17
รูปที่ 5 การเชื่อมต่อของความต้านทานทางความร้อนสำหรับการถ่ายโอนความร้อนถ่ายทรงกระบอก	19
รูปที่ 6 โครงสร้างภาษา HTML	36
รูปที่ 7 การสร้างสมการด้วยการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล	39
รูปที่ 8 ตัวอย่างการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลขั้นตอนที่ 1	49
รูปที่ 9 ตัวอย่างการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลขั้นตอนที่ 2	50
รูปที่ 10 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม ส่วนที่ 1	52
รูปที่ 11 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม ส่วนที่ 2	52
รูปที่ 12 เปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	53
รูปที่ 13 เปรียบเทียบความหนืดของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	54
รูปที่ 14 เปรียบเทียบความจุความร้อนของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	54
รูปที่ 15 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	55
รูปที่ 16 เปรียบเทียบความดันไอของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	55
รูปที่ 17 เปรียบเทียบความหนาแน่นของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	56
รูปที่ 18 เปรียบเทียบความหนืดของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	57
รูปที่ 19 เปรียบเทียบความจุความร้อนของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	57

รูปที่ 20	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ	58
รูปที่ 21	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยพื้นฐาน	59
รูปที่ 22	เปรียบเทียบความดันลดระหว่างโปรแกรมและการคำนวณมือ ที่ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ	59
รูปที่ 23	เปรียบเทียบ NPSH ระหว่างโปรแกรมและการคำนวณมือที่ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ	61
รูปที่ 24	เปรียบเทียบอายุการใช้งานของท่อ Stainless ระหว่างโปรแกรม และการคำนวณมือที่ความหนาต่อต่าง ๆ	62
รูปที่ 25	เปรียบเทียบอายุการใช้งานของท่อ Iron ระหว่างโปรแกรม และการคำนวณมือที่ความหนาต่อต่าง ๆ	63
รูปที่ 26	ระบบท่อของโจทยตัวอย่างที่มีความซับซ้อน	65
รูปที่ 27	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยซับซ้อน ส่วนที่ 1	65
รูปที่ 28	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยซับซ้อน ส่วนที่ 2	66
รูปที่ 29	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยซับซ้อน ส่วนที่ 3	66
รูปที่ 30	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยซับซ้อน ส่วนที่ 4	66
รูปที่ 31	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโจทยซับซ้อน ส่วนที่ 5	67
รูปที่ 32	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป	68
รูปที่ 33	ผลลัพธ์จากโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป (Aspen plus) ส่วนที่ 1	69
รูปที่ 34	ผลลัพธ์จากโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป (Aspen plus) ส่วนที่ 2	69
รูปที่ 35	ผลลัพธ์จากโปรแกรมที่เขียนขึ้น	70
รูปที่ ก-1	หน้าแรกของโปรแกรม Pipeline Simulator	75
รูปที่ ก-2	หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนข้อมูลองค์กรวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อ	76

รูปที่ ก-3 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลท่อส่วนที่ 1	77
รูปที่ ก-4 ปุ่ม Go ในส่วนท่อส่วนที่ 1	78
รูปที่ ก-5 ผลลัพธ์ที่ได้ในท่อส่วนที่ 1	79
รูปที่ ก-6 ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งระบบท่อ	79
รูปที่ ก-7 หน้าแรกของโปรแกรม Pipeline Simulator	80
รูปที่ ก-8 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลองค์รวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อ	81
รูปที่ ก-9 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลท่อส่วนที่ 1	82
รูปที่ ก-10 ปุ่ม segment ของโปรแกรม	83
รูปที่ ก-11 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลท่อส่วนอื่น ๆ	84
รูปที่ ก-12 ปุ่ม Go ของโปรแกรม	85
รูปที่ ก-13 ผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนของท่อส่วนที่ 1	86
รูปที่ ก-14 ผลลัพธ์ที่ได้ในท่อส่วนอื่น ๆ	86
รูปที่ ก-15 ผลลัพธ์ที่ได้ในระบบท่อองค์รวม	87

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวแปรความเสียดทานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ ที่พัฒนาอย่างเต็มที่แล้วของท่อรูปแบบต่าง ๆ	8
ตารางที่ 2 ความขรุขระของวัสดุของท่อขนส่งชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 3 ขนาดท่อเหล็กกล้ามาตรฐาน Schedule 40	10
ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) ในอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง	16
ตารางที่ 6 ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทั่วไป	18
ตารางที่ 7 Nusselt number สำหรับท่อขนส่งในกรณีที่ถูกอุณหภูมิพื้นผิวคงที่ และฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิวคงที่	20
ตารางที่ 8 Nusselt number สำหรับรูปทรงต่าง ๆ	21
ตารางที่ 9 ความเร็วที่เหมาะสมของน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ	24
ตารางที่ 10 ความดันและความเร็วที่เหมาะสมของไอน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ	24
ตารางที่ 11 อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน	24
ตารางที่ 12 ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อวัสดุต่าง ๆ	25
ตารางที่ 13 Nominal Pipe Size ต่าง ๆ คู่กับ Diameter Nominal	27
ตารางที่ 14 Properties ของน้ำ	46
ตารางที่ 15 Properties ของอากาศ	48
ตารางที่ 16 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความดันลดที่อัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ	60
ตารางที่ 17 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของ NPSH ที่อัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ	61

ตารางที่ 18 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอายุการใช้งานของท่อ Stainless ที่ความหนาที่ต่าง ๆ	63
ตารางที่ 19 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอายุการใช้งานของท่อ Iron ที่ความหนาที่ต่าง ๆ	64
ตารางที่ 20 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของการคำนวณต่าง ๆ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน นิคมอุตสาหกรรมมีการขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบท่อขนส่งมีความสำคัญอย่างสูงในการขนส่งสารต่าง ๆ เช่น น้ำ สารเคมี น้ำมันและแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งพบในอุตสาหกรรมทุกประเภท ไม่เพียงแต่อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเท่านั้น การพัฒนาโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถสร้างความเข้าใจเชิงลึกเบื้องต้นให้กับผู้ใช้งาน อีกทั้งการพัฒนาการใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ทางการค้า ซึ่งมีค่าลิขสิทธิ์การใช้งานสูง อีกทั้งโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ทางการค้าส่วนใหญ่สามารถจำลองระบบท่อขนส่งตามภาวะการดำเนินการที่ทราบ ไม่สามารถประเมินและให้คำแนะนำในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสม นอกจากนี้ ความก้าวหน้าทางกระบวนการทางเคมีที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้มีโอกาสเกิดความอันตรายในกระบวนการที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีบางปฏิกิริยานั้นมีความไวสูง เช่น กระบวนการคลอรีนชัน ดังที่เคยเกิดอุบัติเหตุมาแล้วในประเทศจีนในปี ค.ศ. 2004 หลังจากเหตุการณ์ในครั้งนั้น วงการวิศวกรรมเคมีได้ให้ความสำคัญกับการพิจารณาได้เริ่มตระหนักถึงความปลอดภัยในกระบวนการเทคโนโลยีในการควบคุมกระบวนการผลิตต่าง ๆ จะต้องพิจารณาการประเมินความปลอดภัยควบคู่ไปกับการดำเนินงาน ดังนั้น การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยพิจารณาในเรื่องนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นที่มาของโครงการการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถประเมินผล ให้คำแนะนำ และทำนายผลในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสมของความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้งานเพื่อให้ผู้ใช้งานตัดสินใจ ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถประเมินและให้คำแนะนำในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสม และสามารถทำนายผลของความปลอดภัยในกระบวนการที่เกิดขึ้นได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 กลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง

1. รูปแบบการไหลในท่อขนส่ง (laminar and turbulent flows)
2. การไหลแบบราบเรียบในท่อขนส่ง (laminar flow in pipe)
 - ท่อรูปทรงกลม/ท่อรูปทรงอื่น
 - อิทธิพลของความขรุขระ
 - อิทธิพลของการสูญเสียหลัก
 - อิทธิพลของการสูญเสียรอง
3. การไหลแบบปั่นป่วนในท่อขนส่ง (turbulent flow in pipe)
 - ท่อรูปทรงกลม/ท่อรูปทรงอื่น
 - อิทธิพลของความขรุขระ
 - อิทธิพลของการสูญเสียหลัก
 - อิทธิพลของการสูญเสียรอง
4. ระบบท่อขนส่งและการเลือกเครื่องอัดของไหล (piping networks and pump selection)
 - pump characteristic curves
 - required net head
 - water horsepower
 - brake horsepower
 - pump efficiency
 - net positive suction head

1.3.2 การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง

1. การนำความร้อน (heat conduction)
2. การพาความร้อนแบบบังคับภายนอก (external forced convection)
3. การพาความร้อนแบบบังคับภายใน (internal forced convection)
4. การพาความร้อนแบบอิสระ (natural convection)

5. การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี (radiation heat transfer)

1.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างข้อมูล (curve fitting)

1. linear least squares method
2. robust least-squares regression: Bisquare method

1.3.4 ความปลอดภัย

1. Net Positive Suction Head (NPSH)
2. การเลือกวัสดุที่ใช้ในท่อขนส่ง
3. อายุการใช้งานของท่อ

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์เคลื่อนที่ หมายถึง อุปกรณ์สื่อสารสมัยใหม่ที่สามารถพกติดตัวได้ตลอดเวลาเช่น สมาร์ทโฟน เป็นต้น

โปรแกรมประยุกต์ หมายถึง ซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน ในบางครั้งเรียกย่อว่า แอปพลิเคชัน คือ ซอฟต์แวร์ประเภทหนึ่งสำหรับใช้งานสำหรับงานเฉพาะทาง

ระบบท่อขนส่ง หมายถึง การขนส่งสิ่งของประเภทของเหลวและก๊าซ เช่น น้ำประปา น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์โดยการนำความรู้ทางด้าน การเขียนโปรแกรมมาประยุกต์ให้เข้ากับองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเคมีได้
2. ได้รับประสบการณ์ในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์
3. สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านความปลอดภัยของกระบวนการ ในโรงงานอุตสาหกรรมได้
4. สามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

- ศึกษาระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรมและการจำลองกระบวนการทางเคมีในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสม โดยเน้นไปที่ความปลอดภัยของกระบวนการ จากเอกสารการอบรมที่เกี่ยวข้องและบทความวิชาการต่าง ๆ
- ศึกษาการใช้งานโปรแกรมจำลองกระบวนการทางเคมีบนคอมพิวเตอร์ และภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนอุปกรณ์เคลื่อนที่
- เขียนโปรแกรมจำลองระบบท่อบนคอมพิวเตอร์ โดยคำนึงถึงเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสมโดยเน้นไปที่ความปลอดภัยของกระบวนการ และความปลอดภัยในกระบวนการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ
- ตรวจสอบภาษาคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมให้มีความถูกต้อง
- นำแบบจำลองระบบท่อบนคอมพิวเตอร์มาแปลงเป็นโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่
- ตรวจสอบและทดลองใช้โปรแกรม
- เขียนรายงานโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย

1.7.1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ วิธีการดำเนินการวิจัย และลำดับขั้นตอนการนำเสนอผลงานวิจัย

1.7.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม ความรู้เบื้องต้นของภาษาโปรแกรมพื้นฐาน การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.3 วิธีดำเนินการวิจัย

โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และวิธีการทดลอง

1.7.4 ผลการวิจัย

การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลในการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ เขียนโปรแกรมจำลองกระบวนการของท่อขนส่ง การตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ และการตรวจสอบผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

1.7.5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง ^[1]

2.1.1 รูปแบบการไหลในท่อขนส่ง (laminar and turbulent flows)

การไหลจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีความเป็นระเบียบสูง และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) มีการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นระเบียบสูง และมีความแปรปรวนของความเร็ว โดยการไหลในท่อขนส่งจะแบ่งรูปแบบการไหลได้ด้วยตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) หรือ Re

$$Re = \frac{\rho V_{avg} D_h}{\mu} \quad (2.1)$$

โดยที่ V_{avg} คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดไดนามิกของของไหล (kg/m-s)

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (2.2)$$

โดยที่ A_c คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

p คือ เส้นขอบเปียก (m)

เมื่อ $Re \leq 2,300$ จะถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และ $Re \geq 10,000$ จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

2.1.2 การไหลแบบราบเรียบในท่อขนส่ง (laminar flow in pipe)

เมื่อของไหลเคลื่อนที่ไปตามท่อขนส่งจะเกิดการสูญเสียความดันขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทาน ซึ่งเรียกว่า ความดันลด (Pressure drop or Pressure loss) และสามารถเขียนในรูปเฮดที่สูญเสีย (Head loss) ได้เช่นกัน

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{avg}^2}{2} \quad (2.3)$$

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} \quad (2.4)$$

Circular pipe only (laminar) $f = \frac{64}{Re} \quad (2.5)$

โดยที่ f คือ ตัวแปรความเสียดทาน หรือ Darcy friction factor (-)

L คือ ความยาวของท่อขนส่ง (m)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อขนส่ง (m)

$\frac{\rho V_{avg}^2}{2}$ คือ ความดันไดนามิก (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

เมื่อทราบค่าความดันลด (Pressure drop or Pressure loss) หรือเฮดที่สูญเสีย (Head loss) แล้ว จะสามารถคำนวณหาพลังงานที่เครื่องอัดของไหล (pump) ต้องการเพื่อที่จะเอาชนะความดันลดได้

$$\dot{W}_{pump,L} = \dot{V} \Delta P_L = \dot{m} g h_L \quad (2.6)$$

โดยที่ \dot{V} คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/s)

\dot{m} คือ อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

นอกจากนี้สามารถคำนวณพลังงานระหว่างจุด 2 จุดสำหรับกรณีที่เป็นสภาวะคงตัว ของไหลบีบอัดไม่ได้ และของไหลไหลใน 1 มิติได้ด้วย energy equation

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{pump,u} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{turbine,e} + h_L \quad (2.7)$$

โดยที่ P คือ ความดัน ณ จุดนั้น (Pa)

V คือ ความเร็วของของไหล ณ จุดนั้น (m/s)

z คือ ความสูง ณ จุดนั้น (m)

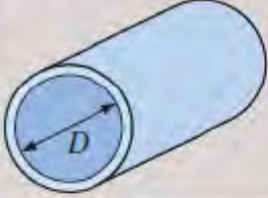
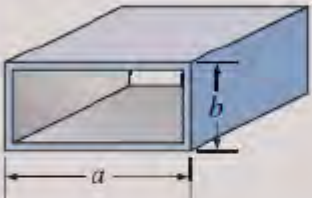
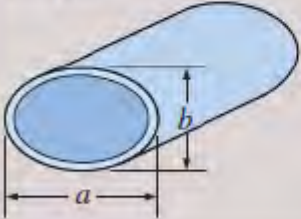
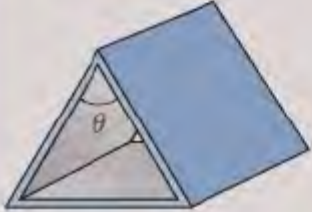
α คือ kinetic energy correction factors ซึ่งมีค่าเป็น 2 เมื่อการไหลเป็นแบบราบเรียบ และพัฒนาอย่างเต็มที่แล้ว, มีค่าเป็น 1.05 เมื่อการไหลเป็นแบบปั่นป่วนและพัฒนาอย่างเต็มที่แล้ว (-)

$h_{pump,u}$ คือ เฮดของปั๊มที่สามารถส่งให้ของไหลใช้งานได้ (m)

$h_{turbine,e}$ คือ เฮดของเทอร์ไบน์ที่ได้มาจากของไหล (m)

h_L คือ เฮดที่สูญเสีย (m)

ตารางที่ 1 ตัวแปรความเสียดทานสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่พัฒนาอย่างเต็มที่แล้วของท่อรูปแบบต่าง ๆ ^[1]

Tube Geometry	a/b or θ°	Friction Factor f
Circle 	—	64.00/Re
Rectangle 	a/b 1 2 3 4 6 8 ∞	56.92/Re 62.20/Re 68.36/Re 72.92/Re 78.80/Re 82.32/Re 96.00/Re
Ellipse 	a/b 1 2 4 8 16	64.00/Re 67.28/Re 72.96/Re 76.60/Re 78.16/Re
Isosceles triangle 	θ 10° 30° 60° 90° 120°	50.80/Re 52.28/Re 53.32/Re 52.60/Re 50.96/Re

2.1.3 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อขนส่ง (turbulent flow in pipe)

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ตัวแปรความเสียดทานจะขึ้นอยู่กับตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) และความขรุขระสัมพัทธ์ ϵ/D โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ Colebrook equation

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.8)$$

โดยที่ f คือ ปัจจัยความเสียดทาน (-)

ϵ คือ ความขรุขระของท่อขนส่ง (m)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อขนส่ง (m)

เนื่องจากสมการ Colebrook equation เป็นสมการแบบไม่ชัดเจน (implicit) ซึ่งแก้สมการได้ยาก ดังนั้น Haaland จึงได้คิดค้นสมการแบบชัดเจน (explicit) ขึ้นมา แต่จะมีความแม่นยำที่น้อยกว่า Colebrook equation

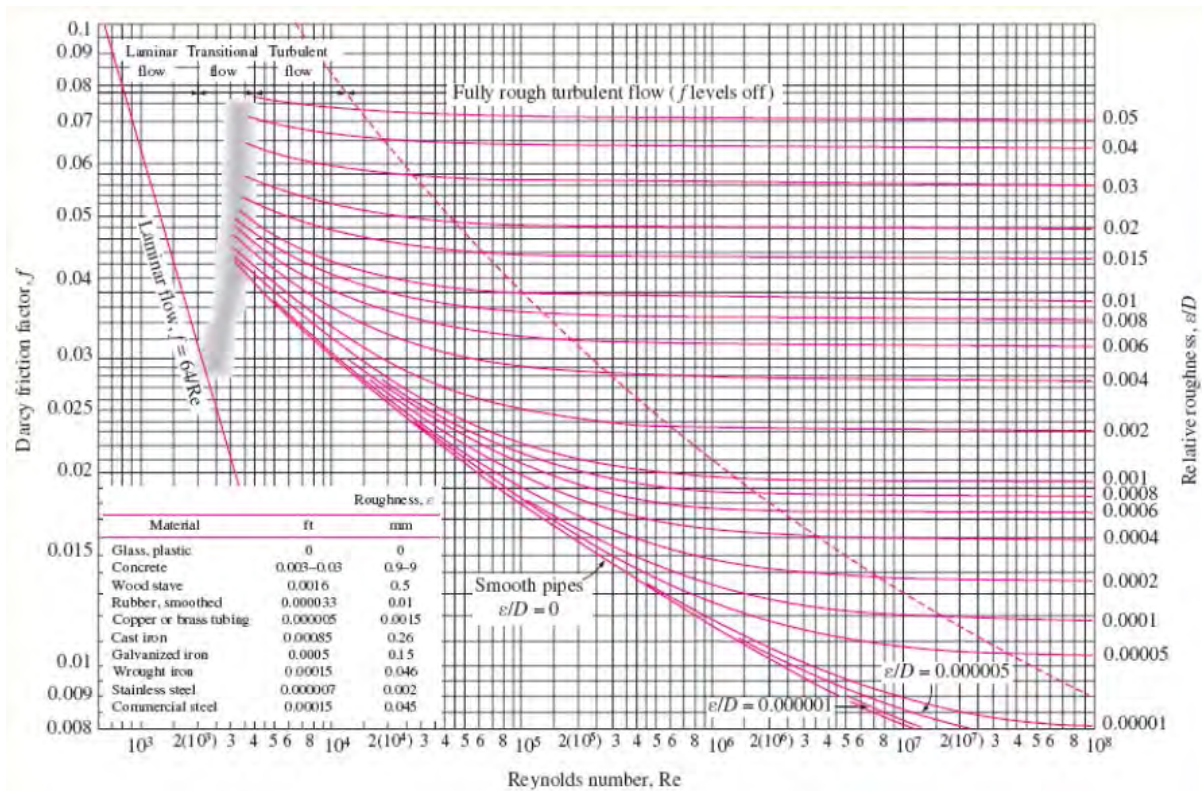
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right) \quad (2.9)$$

โดยที่ f คือ ปัจจัยความเสียดทาน (-)

ϵ คือ ความขรุขระของท่อขนส่ง (m)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อขนส่ง (m)

นอกจากใช้สมการในการคำนวณแล้ว ยังมีอีกทางเลือกคือ Moody chart ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 1 Moody chart ^[1]

ตารางที่ 2 ความขรุขระของวัสดุของท่อขนส่งชนิดต่าง ๆ ^[1]

Material	Roughness, ϵ	
	ft	mm
Glass, plastic	0 (smooth)	
Concrete	0.003–0.03	0.9–9
Wood stave	0.0016	0.5
Rubber, smoothed	0.000033	0.01
Copper or brass tubing	0.000005	0.0015
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Wrought iron	0.00015	0.046
Stainless steel	0.000007	0.002
Commercial steel	0.00015	0.045

ตารางที่ 3 ขนาดท่อเหล็กกล้ามาตรฐาน Schedule 40 ^[1]

Nominal Size, in	Actual Inside Diameter, in
$\frac{1}{8}$	0.269
$\frac{1}{4}$	0.364
$\frac{3}{8}$	0.493
$\frac{1}{2}$	0.622
$\frac{3}{4}$	0.824
1	1.049
$1\frac{1}{2}$	1.610
2	2.067
$2\frac{1}{2}$	2.469
3	3.068
5	5.047
10	10.02

2.1.4 การสูญเสียรอง (Minor losses)

โดยทั่วไปท่อขนส่งจะมีการสูญเสียหลัก (Major losses) อันเนื่องมาจากแรงเสียดทานและความยาวของท่อขนส่ง แต่จะมีการสูญเสียในอีกรูปแบบหนึ่ง เรียกว่า การสูญเสียรอง เป็นผลมาจากข้อต่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ระหว่างท่อขนส่งแต่ละส่วน โดยเหตุที่สูญเสียจากการสูญเสียรองจะเขียนในรูปแบบของสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) หรือ K_L

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.10)$$

โดยที่ K_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (-)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

เมื่อพิจารณาเหตุที่สูญเสียโดยรวมจะประกอบไปด้วยเหตุที่สูญเสียจากการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองรวมเข้าด้วยกัน ดังสมการต่อไปนี้

$$h_{L,total} = \sum_i f_i \frac{L_i V_i^2}{D_i 2g} + \sum_j K_{L,j} \frac{V_j^2}{2g} \quad (2.11)$$

โดยที่ f_i คือ ปัจจัยความเสียดทานของท่อขนส่งในแต่ละส่วน (-)

L_i คือ ความยาวของท่อขนส่งในแต่ละส่วน (m)

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนส่งในแต่ละส่วน (m)

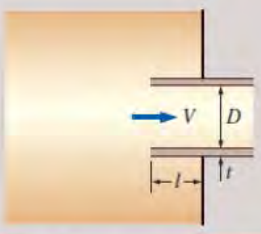
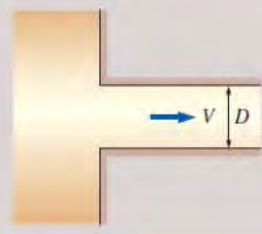
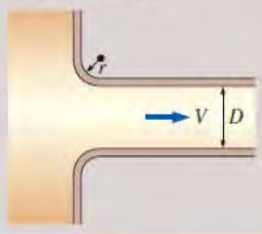
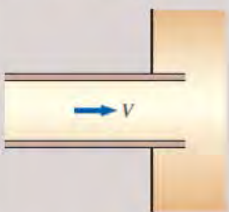
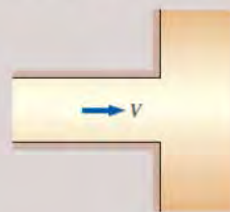
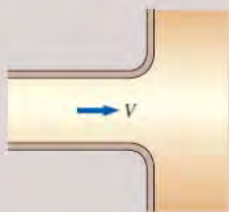
$K_{L,j}$ คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของท่อขนส่งในแต่ละส่วน (-)

V_i & V_j คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในแต่ละส่วน (m/s)

สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) หรือ K_L เป็นค่าที่ขึ้นกับรูปทรงของอุปกรณ์และข้อต่อชนิดต่าง ๆ โดยสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อขนส่ง (turbulent flow in pipe) ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) หรือ K_L จะแสดงในตารางต่อไปนี้ข้างล่าง

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) ในอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ^[1]

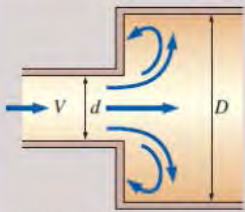
Loss coefficients K_L of various pipe components for turbulent flow (for use in the relation $h_L = K_L V^2 / (2g)$, where V is the average velocity in the pipe that contains the component)*

<p>Pipe Inlet Reentrant: $K_L = 0.80$ ($t \ll D$ and $l \approx 0.1D$)</p> 	<p>Sharp-edged: $K_L = 0.50$</p> 	<p>Well-rounded ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$ Slightly rounded ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$ (see Fig. 8-39)</p> 
<p>Pipe Exit Reentrant: $K_L = \alpha$</p> 	<p>Sharp-edged: $K_L = \alpha$</p> 	<p>Rounded: $K_L = \alpha$</p> 

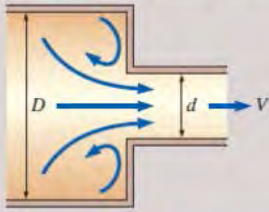
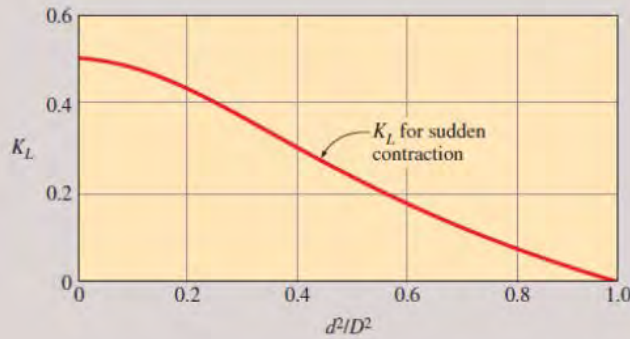
Note: The kinetic energy correction factor is $\alpha = 2$ for fully developed laminar flow, and $\alpha = 1.05$ for fully developed turbulent flow.

Sudden Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

Sudden expansion: $K_L = \alpha \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$

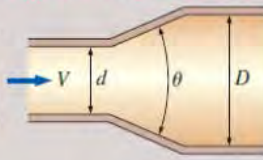


Sudden contraction: See chart.

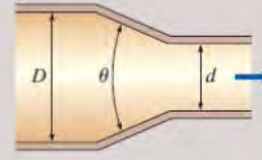



Gradual Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

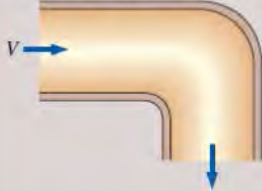
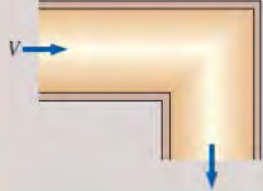
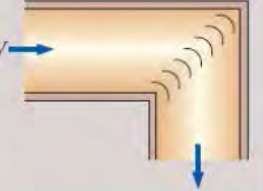
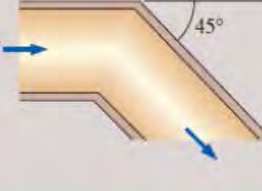

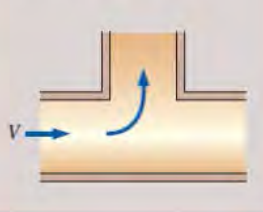
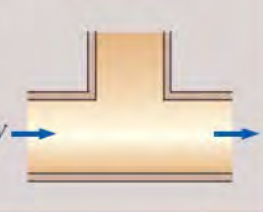
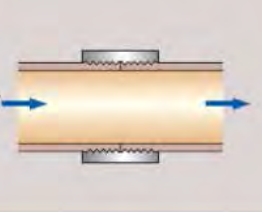

Expansion (for $\theta = 20^\circ$):
 $K_L = 0.30$ for $d/D = 0.2$
 $K_L = 0.25$ for $d/D = 0.4$
 $K_L = 0.15$ for $d/D = 0.6$
 $K_L = 0.10$ for $d/D = 0.8$



Contraction:
 $K_L = 0.02$ for $\theta = 30^\circ$
 $K_L = 0.04$ for $\theta = 45^\circ$
 $K_L = 0.07$ for $\theta = 60^\circ$



ตารางที่ 4 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficient) ในอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ^[1]

<p>Bends and Branches</p> <p>90° smooth bend: Flanged: $K_L = 0.3$ Threaded: $K_L = 0.9$</p> 	<p>90° miter bend (without vanes): $K_L = 1.1$</p> 	<p>90° miter bend (with vanes): $K_L = 0.2$</p> 	<p>45° threaded elbow: $K_L = 0.4$</p> 
<p>180° return bend: Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 1.5$</p> 	<p>Tee (branch flow): Flanged: $K_L = 1.0$ Threaded: $K_L = 2.0$</p> 	<p>Tee (line flow): Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Threaded union: $K_L = 0.08$</p> 
<p>Valves</p> <p>Globe valve, fully open: $K_L = 10$ Angle valve, fully open: $K_L = 5$ Ball valve, fully open: $K_L = 0.05$ Swing check valve: $K_L = 2$</p>		<p>Gate valve, fully open: $K_L = 0.2$ $\frac{1}{4}$ closed: $K_L = 0.3$ $\frac{1}{2}$ closed: $K_L = 2.1$ $\frac{3}{4}$ closed: $K_L = 17$</p> 	

เมื่อนำระบบท่อขนส่งไปเชื่อมต่อกับเครื่องอัดของไหล (pump) จะสามารถคำนวณเฮดของปั๊ม ($h_{pump,u}$) ได้จากสมการที่ (2.7) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

$$\Delta P = \rho g h_{pump,u} \quad (2.12)$$

$$\dot{W}_{pump,u} = \rho \dot{V} g h_{pump,u} \quad (2.13)$$

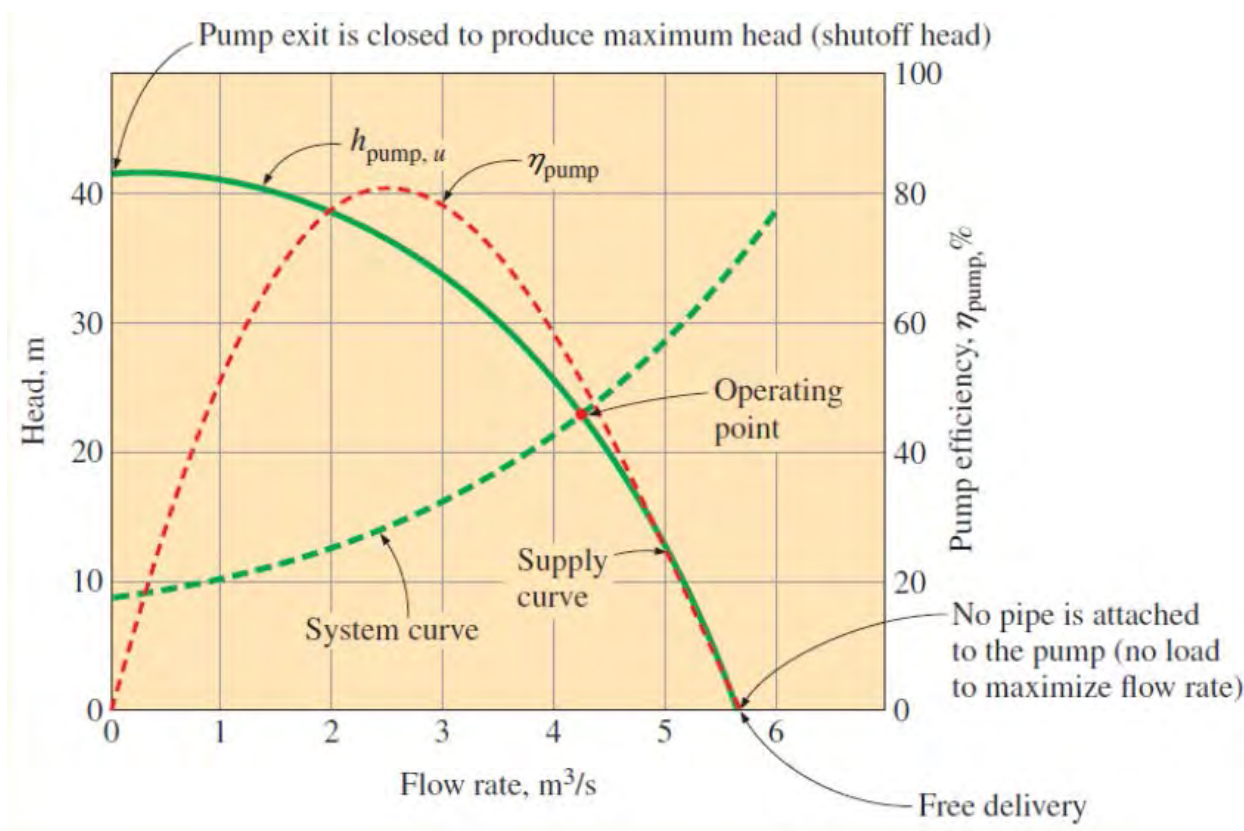
$$\dot{W}_{pump,shaft} = \frac{\rho \dot{V} g h_{pump,u}}{\eta_{pump}} \quad (2.14)$$

$$\dot{W}_{elect} = \frac{\rho \dot{V} g h_{pump,u}}{\eta_{pump-motor}} \quad (2.15)$$

$$\eta_{pump-motor} = \eta_{pump} \eta_{motor} \quad (2.16)$$

โดยที่ $W_{pump,u}$	คือ พลังงานที่เครื่องอัดของไหลต้องการ (W)
$W_{pump,shaft}$	คือ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องอัดของไหล (W)
W_{elect}	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องอัดของไหล (W)
η_{pump}	คือ ประสิทธิภาพของเครื่องอัดของไหล (-)
η_{motor}	คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (-)
$\eta_{pump-motor}$	คือ ประสิทธิภาพรวมระหว่างเครื่องอัดของไหลและมอเตอร์ (-)

ความสัมพันธ์ระหว่าง $h_{pump,u}$ และ \dot{V} สามารถนำไปสร้าง System curve ซึ่งคือความต้องการของระบบ และจะมีอีกเส้นพลอตหนึ่งที่มาจกสมรรถภาพ (performance) ของเครื่องอัดของไหล เรียกว่า Characteristic curve โดยจุดตัดระหว่าง System curve กับ Characteristic curve จะคือจุดที่ใช้ดำเนินการ (Operating point) ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 2 Characteristic pump curves สำหรับ centrifugal pump ^[1]

2.1.5 การเกิด Cavitation ในเครื่องอัดของไหลและ Net positive suction head

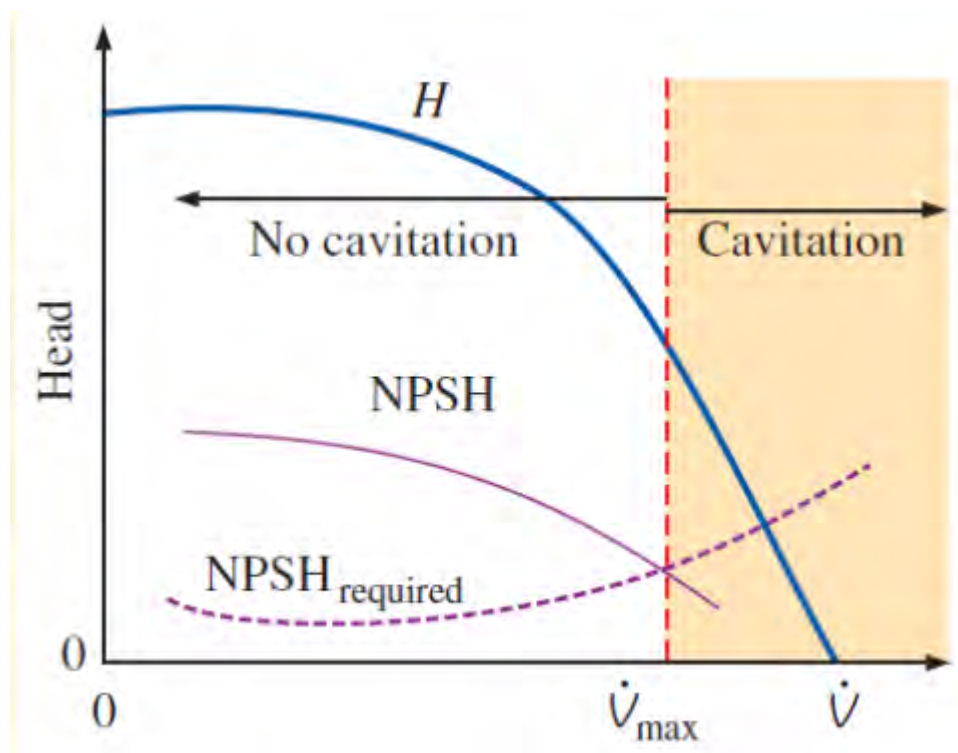
เมื่อความดันของระบบต่ำกว่าความดันไอของของไหล จะทำให้เกิดฟองแก๊สขึ้น ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับเครื่องอัดของไหล เรียกว่า Cavitation นอกจากนี้ยังมีวิธีการตรวจสอบว่าจะเกิด Cavitation จากการคำนวณค่า Net positive suction head ดังสมการต่อไปนี้

$$NPSH = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{pump\ inlet} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (2.17)$$

โดยที่ $NPSH$ คือ Net positive suction head (m)

P_v คือ ความดันไอของของไหล (Pa)

นอกจาก Characteristic curve ของเครื่องอัดของไหลที่ผู้ผลิตให้มาแล้ว ยังมี $NPSH_{required}$ ที่ผู้ผลิตให้มา เมื่อนำค่า $NPSH$ ไปสร้างความสัมพันธ์กับอัตราการไหลโดยปริมาตร (\dot{V}) จะทำให้ทราบว่าบริเวณที่ $NPSH > NPSH_{required}$ คือ บริเวณที่ใช้งานได้โดยที่ไม่เกิด Cavitation และจุดตัดระหว่าง 2 เส้นนี้ คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรสูงสุดที่ใช้งานได้ (\dot{V}_{max}) ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง NPSH กับการเกิด Cavitation ^[1]

2.2 การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง ^[2]

2.2.1 การนำความร้อน (Heat conduction)

การนำความร้อนคือการถ่ายโอนความร้อนในรูปแบบหนึ่ง ที่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอน ลักษณะของตัวกลางในการนำความร้อนจะไม่เคลื่อนไหวย เช่น การการถ่ายโอนความร้อนผ่านผนังทึบหรือเนื้อวัสดุต่าง ๆ ในการนำความร้อนจะมีสัมประสิทธิ์หนึ่งที่สำคัญคือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ thermal conductivity (k) โดยการนำความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ Fourier's law of heat conduction ดังต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.18)$$

โดยที่ \dot{Q}_{cond} คือ การถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อน (W)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)

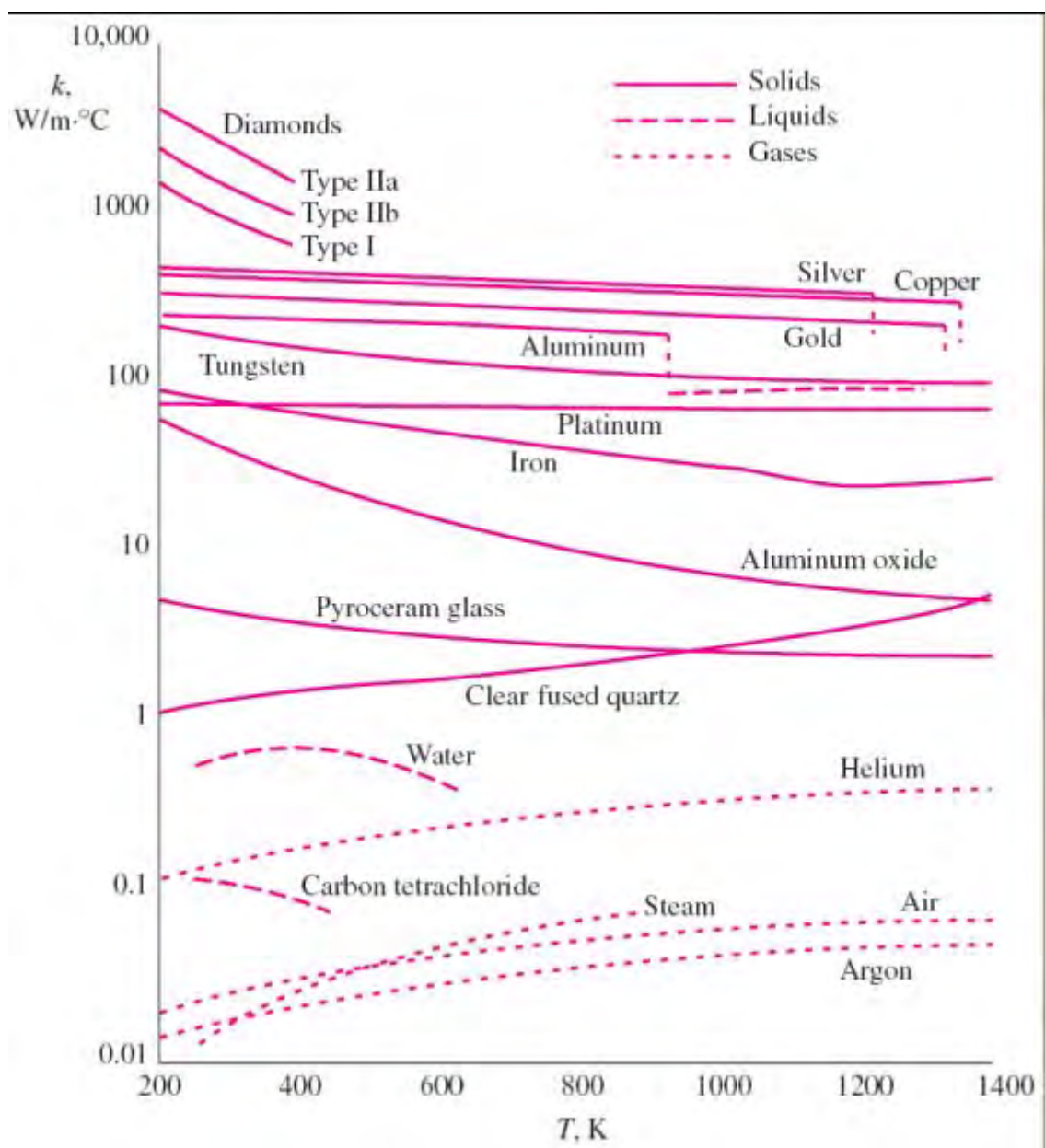
A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการนำความร้อน (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ คือ สัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิและระยะทางระหว่าง 2 จุด หรือ temperature gradient (K/m)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ thermal conductivity (k) เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดของวัสดุและอุณหภูมิของวัสดุนั้น ๆ ยิ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าสูง ยิ่งหมายความว่า การนำความร้อนเกิดได้ดี

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง ^[2]

Material	$k, W/m \cdot ^\circ C^{-1}$
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.607
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026



รูปที่ 4 แนวโน้มสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในแต่ละวัสดุที่อุณหภูมิต่าง ๆ [2]

2.2.2 การพาความร้อน (Heat convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับตัวกลางที่เคลื่อนที่ เช่น ของเหลวหรือแก๊ส และประกอบด้วยผลของการนำความร้อนและการเคลื่อนที่ของของไหลรวมกัน ยิ่งของไหลเคลื่อนที่เร็ว การถ่ายโอนความร้อนยิ่งมากขึ้น หากของไหลไม่เคลื่อนที่จะถือว่าการถ่ายโอนความร้อนมีผลมาจากการนำความร้อนเท่านั้น ซึ่งจะมีค่าต่ำที่สุด การพาความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลถูกแรงบังคับจากภายนอก เช่น พัดลม เครื่องอัดของไหล เป็นต้น และการพา

ความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่จากแรงลอยตัวอันเนื่องมาจากความหนาแน่นของตัวของไหลเอง ในการพาความร้อนจะมีสัมประสิทธิ์หนึ่งที่สำคัญคือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน หรือ convective heat transfer coefficient (h) โดยการพาความร้อนจะสามารถคำนวณได้จากสมการของ Newton's law of cooling ดังนี้

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.19)$$

โดยที่ \dot{Q}_{conv}	คือ การถ่ายโอนความร้อนด้วยการพาความร้อน (W)
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
A_s	คือ พื้นที่ผิวที่เกิดการพาความร้อน (m^2)
T_s	คือ อุณหภูมิของพื้นผิว (K)
T_∞	คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (K)

ตารางที่ 6 ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยทั่วไป [2]

Type of convection	$h, W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Free convection of gases	2–25
Free convection of liquids	10–1000
Forced convection of gases	25–250
Forced convection of liquids	50–20,000
Boiling and condensation	2500–100,000

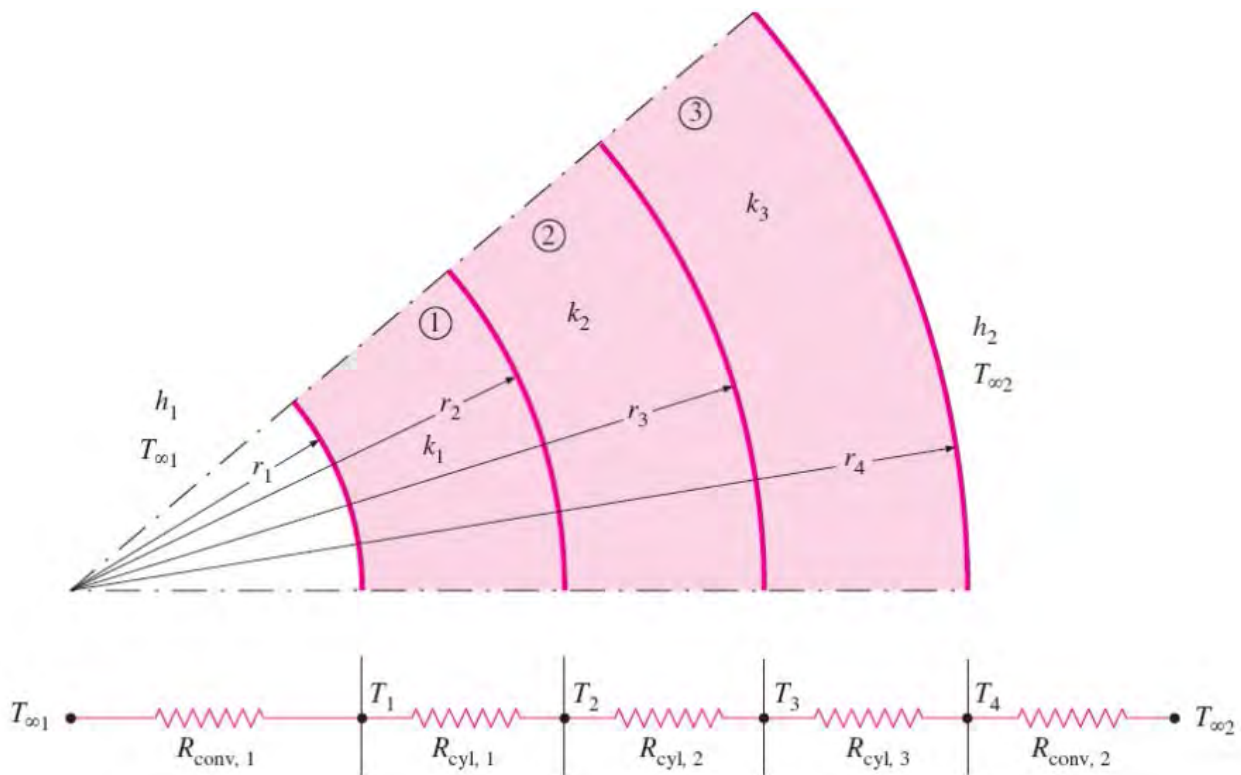
พิจารณาการถ่ายโอนความร้อนในรูปทรงกระบอกที่มีวัสดุหลายชั้น (อาจมีการหุ้มฉนวน) เป็นรูปแบบที่พบเป็นจำนวนมากสำหรับท่อขนส่ง จะสามารถพิจารณาในรูปแบบของความต้านทานทางความร้อน (Thermal resistance) หรือ R และคำนวณการถ่ายโอนความร้อนได้ดังต่อไปนี้

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cyl,1} + R_{cyl,2} + \dots + R_{cyl,n} + R_{conv,2} \quad (2.20)$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln(r_{n+1}/r_n)}{2\pi L k_n} + \frac{1}{h_2 A_{n+1}} \quad (2.21)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (2.22)$$

โดยที่ R_{total} คือ ความต้านทานในการถ่ายโอนความร้อนโดยรวม (K/W)
 $R_{conv,i}$ คือ ความต้านทานในการพาความร้อนในสิ่งแวดล้อมส่วนต่าง ๆ (K/W)
 $R_{cyl,j}$ คือ ความต้านทานในการนำความร้อนในส่วนต่าง ๆ ของทรงกระบอก (K/W)



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อของความต้านทานทางความร้อนสำหรับการถ่ายโอนความร้อนถ่ายทรงกระบอก [2]

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ภายในท่อขนส่ง จะสามารถคำนวณได้ผ่าน Nusselt number (Nu) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การไหลในท่อขนส่งเป็นแบบราบเรียบ และการไหลในท่อขนส่งเป็นแบบปั่นป่วน

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_h} \quad (2.23)$$


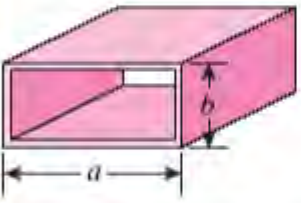
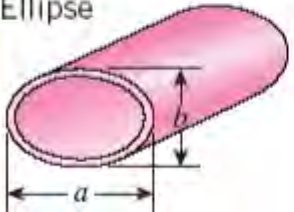
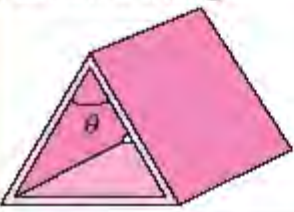
โดยที่ Nu คือ Nusselt number (-)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

2.2.3 การไหลแบบราบเรียบในท่อขนส่ง (laminar flow in pipe)

ตารางที่ 7 Nusselt number สำหรับท่อขนส่งในกรณีที่อุณหภูมิพื้นผิวคงที่และฟลักซ์ความร้อนของพื้นผิวคงที่ [2]

Nusselt number and friction factor for fully developed laminar flow in tubes of various cross sections ($D_h = 4A_c/p$, $Re = V_{avg}D_h/\nu$, and $Nu = hD_h/k$)				
Tube Geometry	a/b or θ°	Nusselt Number		Friction Factor f
		$T_s = \text{Const.}$	$\dot{q}_s = \text{Const.}$	
Circle 	—	3.66	4.36	64.00/Re
Rectangle 	a/b 1 2 3 4 6 8 ∞	2.98 3.39 3.96 4.44 5.14 5.60 7.54	3.61 4.12 4.79 5.33 6.05 6.49 8.24	56.92/Re 62.20/Re 68.36/Re 72.92/Re 78.80/Re 82.32/Re 96.00/Re
Ellipse 	a/b 1 2 4 8 16	3.66 3.74 3.79 3.72 3.65	4.36 4.56 4.88 5.09 5.18	64.00/Re 67.28/Re 72.96/Re 76.60/Re 78.16/Re
Isosceles Triangle 	θ 10° 30° 60° 90° 120°	1.61 2.26 2.47 2.34 2.00	2.45 2.91 3.11 2.98 2.68	50.80/Re 52.28/Re 53.32/Re 52.60/Re 50.96/Re

2.2.4 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อขนส่ง (turbulent flow in pipe)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad (2.24)$$

โดยที่ $n = 0.4$ สำหรับกรณีการให้ความร้อนกับของไหลที่ไหลในท่อขนส่ง

$n = 0.3$ สำหรับกรณีการทำความเย็นให้กับของไหลที่ไหลในท่อขนส่ง

Pr คือ Prandtl number ของของไหล (-)

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ภายนอกท่อขนส่ง จะสามารถคำนวณได้ผ่าน Rayleigh number (Ra_L) และ Nusselt number (Nu) ดังสมการต่อไปนี้ร่วมกับสมการที่ (2.23)

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3\rho^2}{\mu^2} Pr \quad (2.25)$$

โดยที่ Pr คือ Prandtl number ของของไหล (-)

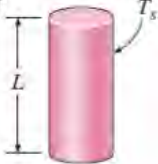


β คือ Volume expansion coefficient มีค่าเท่ากับ $1/T$ สำหรับแก๊สอุดมคติ ($1/K$)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดไดนามิกของของไหล ($kg/m-s$)

L_c คือ ความยาวเอกลักษณ์ของรูปทรงนั้น (m)

ตารางที่ 8 Nusselt number สำหรับรูปทรงต่าง ๆ [2]

Vertical cylinder 	L		A vertical cylinder can be treated as a vertical plate when $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
Horizontal cylinder 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\}^2$
Sphere 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$

2.3 ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Piping System) ^[3]

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี มาตรฐาน และข้อกำหนดหรือแนะนำต่าง ๆ ของการใช้ท่อในระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากท่อมีความสำคัญอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะท่อเปรียบเสมือนเส้นเลือดแดงที่ใช้ขนส่งสารต่าง ๆ ให้กระบวนการในโรงงานสามารถดำเนินไปได้ ฉะนั้นการเลือกท่อที่เหมาะสมจะทำให้กระบวนการดำเนินไปอย่างเหมาะสมได้ ซึ่งโดยทั่วไป ระบบท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยจะอ้างอิงตามมาตรฐานต่าง ๆ ของต่างประเทศ สำหรับประเทศไทย มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อที่มักใช้อ้างอิง ได้แก่ American Society of Mechanical Engineers (ASME) และ American Petroleum Institute (API)

ตัวอย่างมาตรฐานของต่างประเทศ

- American Society of Testing Materials (ASTM)
- American National Standards Institute (ANSI)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Petroleum Institute (API)
- American Waterworks Association (AWWA)
- American Petroleum Institute Standard (APIS)
- Japanese Industrial Standards (JIS)
- Deutscher Industrial Normen (DIN)

ตัวอย่างมาตรฐานของท่อ

- ASTM A53 – Steel Pipe
- ASTM A312 – Stainless Steel Pipe
- AWWA C151 – Ductile Iron Pipe
- API 5L – Line pipes
- ISO 11960, API 5CT – tubing
- ASTM A 53/A 53M – Electric-welded and seamless steel pipes, black or hot-dip galvanized
- ASTM A 106 – Seamless carbon steel pipes for high temperature performance

2.3.1 Piping and Pipeline Codes

สำหรับมาตรฐานอ้างอิงเกี่ยวกับระบบท่อที่นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้แก่ ASME B31 pressure piping code ซึ่งเป็นกลุ่มเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อทั้งหมด และจะแยกออกเป็นหลาย ๆ เล่ม ขึ้นอยู่กับเนื้อหาในแต่ละส่วน เช่น

- ASME B31.1 Power piping
- ASME B31.2 Fuel gas piping
- ASME B31.3 Process piping (ใช้อ้างอิงกับงานส่วนใหญ่ได้ทั่วไป)
- ASME B31.4 Liquid petroleum transportation piping

นอกจากนี้ยังมี ASME Boiler and Pressure Vessel Codes (ASME B&PV) ซึ่งใช้อ้างอิงในการออกแบบและสร้าง Pressure vessels

2.3.2 Factor to Consider in Designing Piping System

- ✓ วัสดุท่อและขนาดท่อ
- ✓ อุณหภูมิใช้งานและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
 - Insulation, thermal expansion, freezing/solidification, viscosity
- ✓ ความยืดหยุ่นของระบบท่อต่อ Physical หรือ thermal shocks
- ✓ รางรับท่อ ส่วนหนุนรับท่อ และตัวจับยึดท่อ
- ✓ การเปลี่ยนแปลงในระบบและการใช้งาน
- ✓ การบำรุงรักษาและการตรวจสอบ
- ✓ ความยากง่ายในการติดตั้ง
- ✓ ลักษณะการไหลในท่อ (ต่อเนื่อง หรือเป็นช่วง ๆ)
- ✓ ความปลอดภัย (design factor, relief valves and flare system)

2.3.3 Reasonable Design Flow Velocity (ตารางที่ 9 - 12)

ตารางที่ 9 ความเร็วที่เหมาะสมของน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ ^[3]

❖ Water flowing in pipes

Service condition	Reasonable velocity, m/s
Boiler feed water	2.5-4.6
Pump suction and drain lines	1.2-2.1
General services	1.2-3.0
City water	< 2.1

ตารางที่ 10 ความดันและความเร็วที่เหมาะสมของไอน้ำในการไหลในท่อที่สภาวะต่าง ๆ ^[3]

❖ Steam flowing in pipes

Steam condition	Pressure, kPa	Service	Reasonable velocity, m/s
Saturated	1-175	Heating	20-31
Saturated	>175	Powerhouse Process piping	31-51
Superheated	>1380	Boiler and turbine	36-100

ตารางที่ 11 อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน ^[3]

Guidelines for Corrosion Allowance

Corrosion Allowance for steel pipes	mm/year
Superheated steam	0.3
Saturated steam	0.8
Steam coils in cargo tanks and liquid fuel tanks	2.0
Feed water for boilers in open circuit systems	1.5
Feed water for boilers in closed circuit systems	0.5
Blow-down systems for boilers	1.5

ตารางที่ 11 (ต่อ) อัตราการกัดกร่อนของ Steel pipes ที่การไหลขององค์ประกอบสารแตกต่างกัน ^[3]

Corrosion Allowance for steel pipes	mm/year
Compressed air	1.0
Hydraulic oil	0.3
Lubricating oil	0.3
Fuel oil	1.0
Thermal oil	1.0
Fresh water	0.8
Sea water	3.0
Refrigerants referred to in Section 13	0.3
Cargo systems for oil tankers	2.0
Cargo systems for ships carrying liquefied gases	0.3
Copper	0.8
Brass	0.8
Copper-tin alloys	0.8
Copper-nickel alloys with less than 10% of Ni	0.8
Copper-nickel alloys with at least 10% of Ni	0.5
Aluminium and aluminium alloys	0.5

ตารางที่ 12 ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อวัสดุต่าง ๆ ^[3]

Value of absolute roughness, e for new commercial pipes

Surface	Absolute Roughness Coefficient – ϵ	
	(m) 10^{-3}	(feet)
Copper, Lead, Brass, Aluminium (new)	0.001 – 0.002	$3.33 – 6.7 \times 10^{-6}$
PVC and Plastic Pipes	0.0015 – 0.007	$0.5 – 2.33 \times 10^{-5}$
Stainless steel	0.015	5×10^{-5}
Steel commercial pipe	0.045 – 0.09	$1.5 – 3 \times 10^{-4}$

ตารางที่ 12 (ต่อ) ค่าความหยาบเฉลี่ยของท่อวัสดุต่าง ๆ ^[3]

Surface	Absolute Roughness Coefficient – ϵ	
	(m) 10^{-3}	(feet)
Stretched steel	0.015	5×10^{-5}
Weld steel	0.045	1.5×10^{-4}
Galvanized steel	0.15	5×10^{-4}
Rusted steel (corrosion)	0.15 – 4	$5 - 133 \times 10^{-4}$
New cast iron	0.25 – 0.8	$8 - 27 \times 10^{-4}$
Worn cast iron	0.8 – 1.5	$2.7 - 5 \times 10^{-3}$
Rusty cast iron	1.5 – 2.5	$5 - 8.3 \times 10^{-3}$
Sheet or asphalted cast iron	0.01 – 0.015	$3.33 - 5 \times 10^{-5}$
Smoothed cement	0.3	1×10^{-3}
Ordinary concrete	0.3 – 1	$1 - 3.33 \times 10^{-3}$
Coarse concrete	0.3 – 5	$1 - 16.7 \times 10^{-3}$
Well planed wood	0.18 – 0.9	$6 - 30 \times 10^{-4}$
Ordinary wood	5	16.7×10^{-3}

2.3.4 การเลือกใช้วัสดุท่อและการประกอบท่อ

- คุณลักษณะของท่อ
- ลักษณะและสมบัติของท่อที่ทำจากวัสดุประเภทต่าง ๆ
- การเลือกใช้งานท่อประเภทต่าง ๆ
- การเลือกใช้วิธีการประกอบท่อชนิดต่าง ๆ

2.3.5 Standards for Piping

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Pipe diameters)
 - ASME B36.10 M: Welded and seamless wrought steel pipes
 - ASME B36.19 M: Stainless steel

- ขนาดท่อ (Pipe sizes)
 - The outside diameter of the pipe is standardized
 - IPS Iron pipe size
 - NPS Nominal pipe size
 - NPS 2 = 2 inch nominal diameter (OD = 2.375 in)
 - NPS 3 = 3 inch nominal diameter (OD = 3.5 in)
 - DN Diameter nominal developed by ISO (metric)

2.3.6 การกำหนดคุณลักษณะของท่อ (Pipe) (ตารางที่ 13)

- กำหนดขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ (Nominal diameter) และเลขระดับความหนา (Schedule number)
- เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือภายนอกของท่อ
- เส้นผ่านศูนย์กลางระบุใช้เฉพาะกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพียงค่าเดียวเท่านั้น
 - ตัวอย่าง: ขนาดระบุ 2" จะหมายถึงท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 2.375"

ตารางที่ 13 Nominal Pipe Size ต่าง ๆ คู่กับ Diameter Nominal ^[3]

Pipe Size Designations in NPS and DN

NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
1/8	6	3 1/2	90	22	550	44	1100
1/4	8	4	100	24	600	48	1200
3/8	10	5	125	26	650	52	1300
1/2	15	6	150	28	700	56	1400
3/4	20	8	200	30	750	60	1500
1	25	10	250	32	800	64	1600

ตารางที่ 13 (ต่อ) Nominal Pipe Size ต่าง ๆ คู่กับ Diameter Nominal ^[3]

NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
1 ¹ / ₄	32	12	300	34	850	68	1700
1 ¹ / ₂	40	14	350	36	900	72	1800
2	50	16	400	38	950	76	1900
2 ¹ / ₂	65	18	450	40	1000	80	2000
3	80	20	500	42	1050	-	-

2.3.7 การกำหนดคุณลักษณะของท่อ (Pipe)

1. เลขระดับความหนาที่กำหนดขึ้นตามความหนาของผนังท่อ
2. การหาเลขระดับความหนาโดยประมาณ

$$\text{เลขระดับความหนา (Schedule)} = 1000 \times P / S \times E$$

โดย P = ความดันทำงาน (Pa)

S = ความเค้นของวัสดุที่ยอมให้ได้ (N/m)

E = ประสิทธิภาพของรอยต่อเชื่อม

2.3.8 ความแตกต่างระหว่าง Pipes และ Tubes

- คำว่า Pipe และ Tube ในภาษาไทยหมายถึงท่อ แต่โดยทั่วไป เวลาพูดถึง Pipes จะนึกถึงท่อขนาดใหญ่ ในขณะที่ Tubes จะนึกถึงท่อขนาดเล็ก
- นอกจากนี้ ท่อที่อยู่ภายนอก (Outdoor) จะนิยมเรียกว่า Pipe ในขณะที่ท่อที่อยู่ภายใน (Indoor) เช่น อยู่ในเตาเผา อยู่ในหม้อไอน้ำ เป็นต้น จะเรียกว่า Tubes
- ความแตกต่างระหว่าง Pipes และ Tubes แสดงดังตารางด้านล่าง

Feature	Pipe	Tube
Size	NPS, DN	Actual OD
Thickness	Schedule No.	Gauge No., Actual thickness
Method of production	Hot roll	Hot roll, Cold drawn
Surface finish	Not very smooth	Smooth

2.3.8 Piping Material Selection

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกวัสดุท่อ มีดังนี้

- Strength
 - Yield & Tensile strength
 - Creep strength
 - Fatigue strength
- Corrosion resistance
- Material fracture toughness
- Fabricability
- Availability & cost

2.3.9 Deterioration in Service

- General considerations
 - Fire resistance
 - Possibility of brittle fracture
 - Susceptibility to crevice corrosion
 - Possibility of galvanic corrosion
 - Chilling effect of the loss of pressure
 - Compatibility of materials such as
 - Packing

- Gaskets
- Thread sealants
- Specific material considerations
 - Carbon and low alloy steel
 - High alloy steel
 - Aluminum and aluminum alloys
 - Copper and copper alloys
 - Polymer

2.3.10 ประเภทของวัสดุท่อ

อาจแบ่งวัสดุท่อออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ท่อโลหะ และท่อที่ไม่ใช่โลหะ

ท่อโลหะ เช่น ท่อเหล็กกล้า ท่อเหล็กหล่อ ท่อทองแดง ท่ออะลูมิเนียม

ท่อที่ไม่ใช่โลหะ เช่น ท่อพลาสติก ท่อยาง

2.3.10.1 ท่อเหล็กกล้า

โดยส่วนใหญ่ ท่อที่ผลิตออกมาใช้งานจะผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) ส่วนประกอบทางเคมีและกรรมวิธีการผลิตจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละบริษัทผู้ผลิตและตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จะเป็นผู้กำหนดมาตรฐานในการผลิตท่อทางอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบระบบท่อส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานของต่างประเทศแทน เนื่องจากมีมาตรฐานจำนวนมากให้เลือกใช้มากกว่า

2.3.10.2 ประเภทของเหล็กกล้า

เหล็กกล้าแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด คือ

2.3.10.2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain carbon steel)

2.3.10.2.2 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำความแข็งแรงสูง (High-strength low alloy steel)

2.3.10.2.3 เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low alloy steel)

2.3.10.2.4 เหล็กกล้าหล่อ (Cast steel)

2.3.10.2.5 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)

2.3.10.2.6 เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel)

2.3.10.2.7 เหล็กกล้าพิเศษ (Special purpose steel)

2.3.10.3 ท่อเหล็กกล้าที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

2.3.10.3.1 เหล็กกล้าคาร์บอน

- นิยมใช้มากที่สุด
- มีราคาถูกที่สุด
- แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่
 - เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) มีคาร์บอน 0.05-0.3 wt.% (ใช้มากที่สุด)
 - เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) มีคาร์บอน 0.3-0.5 wt.%
 - เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.5 wt.% ขึ้นไป

2.3.10.3.2 เหล็กกล้าผสมต่ำ

- เหล็กกล้าคาร์บอนที่ผสมโลหะบางชนิดเข้าไป
- โลหะที่ผสมเข้าไปจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนให้ดีขึ้น
- มีราคาสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา

2.3.10.3.3 เหล็กกล้าไร้สนิม

- มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่
- แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด
 - ออสเทนิติก (Austenitic)
 - เฟอริติก (Ferritic)
 - มาเทนซิติก (Martensitic)
- โดยทั่วไปจะใช้เกรดออสเทนิติกเป็นหลักในระบบท่อทั่วไป เนื่องจากทนความร้อนได้ดี และมีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าชนิดอื่น
- มีราคาแพง

2.3.10.3.4 ท่อเหล็กหล่อ

- โดยทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ 2.5-4.0 wt.%
- คุณสมบัติแข็ง แต่เปราะ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนสูง
- นิยมนำมาใช้ในการขนส่งน้ำหรือแก๊ส และในระบบท่อฝังดิน เนื่องจากสามารถรับแรงกดได้มากเป็นพิเศษ
- ไม่สามารถนำมาใช้กับของไหลที่มีอุณหภูมิสูง ความดันสูง หรือระบบที่มีการสั่นสะเทือน เนื่องจากความเปราะของเหล็กหล่อ (ไม่ควรใช้กับไอน้ำอุณหภูมิเกินกว่า 503 K และน้ำมันที่อุณหภูมิสูงกว่า 423 K)
- การกำหนดขนาดระบุของท่อเหล็กหล่อ จะแตกต่างจากท่อเหล็กกล้า โดยจะกำหนดตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID)

2.3.10.3.5 ท่อทองแดงและทองแดงผสม

- ทองแดงผสมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ
 - ทองเหลือง: โลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี
 - บรอนซ์: โลหะผสมระหว่างทองแดงกับดีบุก
- โดยทั่วไป ท่อทองแดงและท่อทองเหลืองที่ใช้งานมีอยู่ 2 ชนิด
 - ชนิดแข็งแรงพิเศษ
 - ชนิดธรรมดา
- นิยมใช้งานบริเวณที่ต้องการอายุการใช้งานที่ยาวนาน (เนื่องจากท่อทองแดงและท่อทองเหลืองมีราคาแพง) และใช้เพื่อเป็นตัวนำความร้อนที่ดี

2.3.10.3.6 ท่ออะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม

- อะลูมิเนียม
 - โลหะที่ใช้มากเป็นอันดับสองรองจากเหล็กกล้า
 - ราคาไม่แพง
 - ท่ออะลูมิเนียมใช้งานอยู่ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณท่อเหล็กกล้า
 - สมบัติของอะลูมิเนียม
 - นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี
 - มีความแข็งตึงน้อยกว่าเหล็กกล้า

- ความต้านทานการล้าไม่สูง
- ไม่ทนต่อการสึกหรอ

2.3.10.3.7 ท่อพลาสติก

- ในปัจจุบัน ท่อพลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในระบบงานท่อ ทั้งในระบบน้ำท่อทิ้ง ในระบบท่อน้ำทิ้ง ในระบบสุขภัณฑ์ และในระบบท่อทางอุตสาหกรรม
- ข้อดีของท่อพลาสติก
 - ราคาไม่แพง
 - น้ำหนักเบา
 - มีการติดตั้งที่ง่าย
 - ไม่มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนและการกัดกร่อน
 - มีสภาพความต้านทานทางเคมีสูง
- ข้อเสียของท่อพลาสติก
 - ไม่ทนต่อสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง

2.3.11 หลักสำคัญในการวางผังระบบท่อ

2.3.11.1 มีการวางแผนที่ดีตั้งแต่เริ่มแรก

- ❖ การวางแผนที่ดีตั้งแต่เริ่มแรกจะช่วยให้สามารถประหยัดพื้นที่ในการวางท่อ และยังช่วยให้สามารถเดินเส้นท่อในแนวเส้นตรงให้ได้มากที่สุด

2.3.11.2 หลีกเลี่ยงการที่ต้องเดินเส้นท่อผ่านหน่วยผลิตอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง

2.3.11.3 ระมัดระวังเส้นท่อกุ่มอื่นและสายไฟฟ้า

2.3.11.4 ออกแบบท่อที่มีความยืดหยุ่นสูง

2.3.11.5 สำหรับท่อหลัก (Main line) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่และมีท่อสาขา (Branch lines) ขนาดเล็กหลายเส้นต่ออยู่กับท่อหลัก ต้องแน่ใจว่าท่อสาขามีความยืดหยุ่นเพียงพอสำหรับการขยายตัว/หดตัว

2.3.11.6 ระวังเป็นพิเศษในเรื่องการขยายตัวของท่อ

2.3.12 การควบคุมอุณหภูมิในท่อ

- ✓ การใช้ฉนวน (Insulation)
 - เพื่อลดการสูญเสียความร้อนหรือความเย็นในกระบวนการผลิตให้กับสิ่งแวดล้อม
 - ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสัมผัสกับเส้นท่อที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก ๆ
- ✓ การหุ้มปลอกท่อ (Jacketing)
 - ลักษณะของปลอกท่อจะทำเป็นท่อสวมเข้ากับท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ
 - ระหว่างผนังท่อของปลอกท่อกับผนังท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิจะมีช่องไหลไหลอยู่เพื่อถ่ายเทความร้อนหรือความเย็นให้กับท่อของไหลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ
 - มีราคาแพง
- ✓ การเดินท่อนำความร้อน (Heat tracing)
 - ทำให้อุณหภูมิของไหลคงที่อยู่เสมอ
 - ทำได้ด้วยการนำท่อนำความร้อนหรือสายนำความร้อนด้วยไฟฟ้ามาเชื่อมติดกับเส้นท่อเพื่อจ่ายความร้อนคงที่
 - การใช้สายนำความร้อนด้วยไฟฟ้า สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ได้ดีกว่าและควบคุมอุณหภูมิในช่วงกว้างมากกว่าท่อนำความร้อน
 - การติดตั้ง จะมีฉนวนหุ้มอยู่โดยรอบอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการนำความร้อนได้สูงสุด

2.3.13 การหุ้มฉนวนในท่อ

- การหุ้มฉนวนในท่อแบ่งได้ 2 ชนิด
 - การหุ้มฉนวนแบบปิดสำหรับใช้งานแบบเย็น
 - การหุ้มฉนวนแบบเปิดสำหรับการใช้งานแบบร้อน
- การหุ้มฉนวนแบบปิดสำหรับใช้งานแบบเย็น สามารถหยุดยั้งความชื้นในบรรยากาศไม่ให้แพร่เข้ามาสัมผัสกับผนังท่อและเกิดการควบแน่นบนผิวของผนังท่อ เช่น Cellular glass
- การหุ้มฉนวนแบบเปิดสำหรับการใช้งานแบบร้อน สามารถปล่อยให้ความชื้นออกจากผนังท่อร้อนได้ มักใช้กับ Overlap insulation jacket เช่น Calcium silicate
- Jacket (Lagging) เป็นส่วนที่หุ้มปิดทับฉนวนอีกที มักทำจากอะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม หรือวัสดุผสมคอมโพสิต

➤ ตัวอย่างของวัสดุฉนวนสำหรับท่อ

- Cellular glass (ASTM C 552): -400 – 900 °F
- Phenolic foam (ASTM C 1126): -50 – 250 °F
- Elastomeric foam (ASTM C 534): -35 – 180 °F
- Fiberglass (ASTM C 553): -35 – 800 °F
- Mineral wool (ASTM C 547): -250 – 1200 °F
- Calcium silicate (ASTM C 533): -250 – 1200 °F

2.4 ความรู้เบื้องต้นของภาษาโปรแกรมพื้นฐาน

2.4.1 HTML

ความรู้เบื้องต้นของ HTML ^[4] ^[5]

ต้นกำเนิดของภาษา HTML เกิดจาก เมื่อปี 1989 นักฟิสิกส์ชื่อ Tim Berners-Lee แห่งสถาบันวิจัย CERN เสนองานวิจัยเรื่อง prototyped ENQUIRE และ Hypertext system ใช้สำหรับนักวิจัยของสถาบันเพื่อแบ่งข้อมูลกัน

HTML เป็นตัวย่อมาจาก Hypertext Markup Language เป็นภาษาหลักที่ใช้ในการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ในอินเทอร์เน็ต โดยสามารถนำเสนอข้อมูลตัวอักษร รวมทั้งเชื่อมต่อเพื่อ แสดงภาพ เสียง และไฟล์ในรูปแบบอื่น ๆ ^[4]

HTML เริ่มพัฒนาโดย ทิม เบอร์เนอรส์ ลี (Tim Berners Lee) สำหรับภาษา SGML ในปัจจุบัน HTML เป็นมาตรฐานหนึ่งของ ISO ซึ่งจัดการโดย World Wide Web Consortium (W3C) ในปัจจุบัน ทาง W3C ผลักดัน รูปแบบของ HTML แบบใหม่ ที่เรียกว่า XHTML ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้าง XML แบบหนึ่งที่มีหลักเกณฑ์ในการกำหนดโครงสร้างของโปรแกรมที่มีรูปแบบที่มาตรฐานกว่า มาทดแทนใช้ HTML รุ่น 4.01 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ขณะที่ HTML รุ่น 5 ยังคงยังอยู่ในระหว่างการศึกษา โดยได้มีการออกตราฟต์มาเสนอเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2551 ^[5]

โดยภาษา HTML จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของคำสั่ง (tag) เป็นส่วนที่กำหนดรูปแบบของข้อความที่แสดง ซึ่งเราเรียกว่า Tag โดยจะอยู่ในเครื่องหมาย < ... >
2. ส่วนของบทความทั่วไป เป็นส่วนของข้อความที่เราต้องการแสดงผล

โครงสร้างของ HTML ^[6]

โครงสร้างของ HTML จะประกอบไปด้วยส่วนของคำสั่ง 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น ส่วนหัว (Head) และส่วนที่เป็นเนื้อหา (Body)



รูปที่ 6 โครงสร้างภาษา HTML

การจัดโครงสร้างแฟ้มเอกสาร

ในความง่ายของภาษา HTML นั้นเพราะภาษานี้ไม่มีโครงสร้างใด ๆ มากำหนดนอกจากโครงสร้างพื้นฐานเท่านั้น หรือแม้แต่จะไม่มีโครงสร้างพื้นฐานอยู่ โปรแกรมที่เขียนขึ้นมา นั้น ก็สามารถทำงานได้เสมือนมีโครงสร้างทั้งนี้ เป็นเพราะว่าตัวโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์จะมองเห็นทุกสิ่งทุกอย่างในโปรแกรม HTML เป็นส่วนเนื้อหาทั้งสิ้น ยกเว้นในส่วนหัวที่ต้องมีการกำหนดแยกออกไปให้เห็นชัดเท่านั้น จะเขียนคำสั่ง หรือข้อความที่ต้องการให้แสดงอย่างไรก็ได้ เป็นเสมือนพิมพ์งานเอกสารทั่ว ๆ ไปเพียง แต่ถ้าตำแหน่งใดมีการทำตำแหน่งพิเศษขึ้นมา เว็บเบราว์เซอร์ถึงจะแสดงผลออกมาตามที่ถูกกำหนด โดยใช้คำสั่งให้ตรงกับรหัสที่กำหนดเท่านั้น

การแสดงผลที่เว็บเบราว์เซอร์

หลังจากมีการพิมพ์โปรแกรมนี้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้บันทึกเป็น ไฟล์ที่มีนามสกุล .htm หรือ .html จากนั้นให้เรียกโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ขึ้นมาทำการทดสอบ ข้อมูลที่เราสร้างจะถูก นำมาที่ออกมาแสดงที่จอภาพ ถ้าไม่เขียนอะไรผิด บนจอภาพก็จะแสดงผลตามนั้น

ถ้าเรามีการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลในโปรแกรมเดิม ให้อยู่ในรูปของ โปรแกรมใหม่ ก็จำ เป็นต้องโหลด โปรแกรมขึ้นมาใหม่ เพียงแต่เลื่อนเมาส์

ไปคลิกที่ปุ่ม Refresh โปรแกรมก็จะทำการ ประมวลผลและแสดงผลออกมาใหม่ ในคำสั่ง HTML ส่วนใหญ่ใช้ตัวเปิด เป็นเครื่องหมายน้อยกว่า

< ตามด้วยคำสั่ง และปิดท้ายด้วยเครื่องหมายมากกว่า > และมีตัวปิดที่มีรูปแบบเหมือนตัวเปิดเสมอ เพียงแต่จะมี เครื่องหมาย / อยู่หน้าคำสั่งนั้นๆ เช่น คำสั่ง <BODY> จะมี </BODY> เป็นคำสั่งปิด เมื่อใดที่ผู้เขียนลิ้มหรือพิมพ์ คำสั่งผิด จะส่งผลให้การทำงานของโปรแกรมผิดพลาดทันที

คำสั่งเริ่มต้นสำหรับ HTML

คำสั่งหรือ Tag ที่ใช้ในภาษา HTML ประกอบไปด้วยเครื่องหมายน้อยกว่า <ตามด้วย ชื่อคำสั่งและปิดท้าย ด้วยเครื่องหมายมากกว่า

> เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตกแต่งข้อความ เพื่อ การแสดงผลข้อมูล โดยทั่วไปคำสั่งของ HTML ส่วนใหญ่จะอยู่เป็นคู่ มี เพียงบาง คำสั่งเท่านั้น

ที่มีรูปแบบคำสั่งอยู่เพียงตัวเดียว ในแต่ละคำสั่ง จะมีคำสั่งเปิดและปิด คำสั่งปิดของแต่ละ คำสั่งจะมี รูปแบบเหมือนคำสั่งเปิด เพียงแต่จะเพิ่ม /

(Slash) นำหน้าคำสั่ง ปิดให้ดู แตกต่าง เท่านั้น และในคำสั่งเปิดบางคำสั่ง อาจมีส่วนขยายอื่นผสมอยู่ด้วย ในการ เขียน ด้วยตัวอักษร

เล็กหรือใหญ่ ทั้งหมดหรือเขียนปนกันก็ได้ ไม่มีผลอะไร

คำสั่งเริ่มต้น

รูปแบบ <HTML>.....</HTML>

คำสั่ง <HTML> เป็นคำสั่งเริ่มต้นในการเขียนโปรแกรม และ </HTML>เป็นคำสั่งจุดสิ้นสุดโปรแกรมเหมือนคำสั่ง Beign และ End ใน Pascal

คำสั่งการทำหมายเหตุ

รูปแบบ <!-- -->

ตัวอย่าง <!-- END WEBSTAT CODE --> ข้อความที่อยู่ในคำสั่งจะปรากฏอยู่ในโปรแกรมแต่ไม่ถูกแสดง บนจอภาพ

ส่วนหัว

รูปแบบ <HEAD>.....</HEAD>

ใช้กำหนดข้อความ ในส่วนที่เป็น ชื่อเรื่อง ภายในคำสั่งนี้ จะมีคำสั่งย่อย อีกหนึ่งคำสั่ง คือ <TITLE>

กำหนดข้อความในไตเติลบาร์

รูปแบบ <TITLE>.....</TITLE>

ตัวอย่าง <TITLE> บทเรียน HTML </TITLE>

เป็นส่วนแสดงชื่อของเอกสาร จะปรากฏ ขณะที่ไฟล์ HTML ทำงานอยู่ ข้อความ ที่กำหนด ในส่วนนี้ จะไม่ถูกนำไปแสดง ผลของ เว็บบราวเซอร์แต่จะปรากฏในส่วนของไตเติลบาร์ (Title bar) ที่เป็นชื่อของวินโดว์ข้างบนไม่ควรให้ยาวเกินไป เพียงให้รู้ว่าเว็บเพจที่กำลัง ใช้งานอยู่เกี่ยวข้องกับอะไร

ส่วนของเนื้อหา

รูปแบบ <BODY>.....</BODY>

ส่วนเนื้อหาของโปรแกรมจะเริ่มต้นด้วย คำสั่ง <BODY> และจบลงด้วย </BODY> ภายในคำสั่งนี้ คือ ส่วนที่จะแสดงทางจอภาพ

2.5 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล

ในการ curve fitting เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear regression) โดยปกติเส้นถดถอยจะไม่สามารถลากผ่านค่าข้อมูลทุกค่าในแผนภาพการกระจาย นั่นคือสมการถดถอยไม่สามารถใช้คาดคะเนค่าตัวแปรตาม y ทุกค่าได้ถูกต้องจากค่าตัวแปรอิสระ x อย่างไรก็ตาม เราต้องการสมการถดถอย หรือค่า a และ b ที่ทำให้คาดคะเนค่าตัวแปรตามได้ดีที่สุด หรือผิดพลาดน้อยที่สุดหนึ่ง การประมาณค่า a และ b จากข้อมูล $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ เพื่อให้ได้เส้นตรงที่เข้ากับข้อมูลที่สุด ซึ่งวิธีที่นิยมที่สุดคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method) วิธีนี้จะให้ค่าประมาณ a และ b ที่ทำให้ความแตกต่างของ

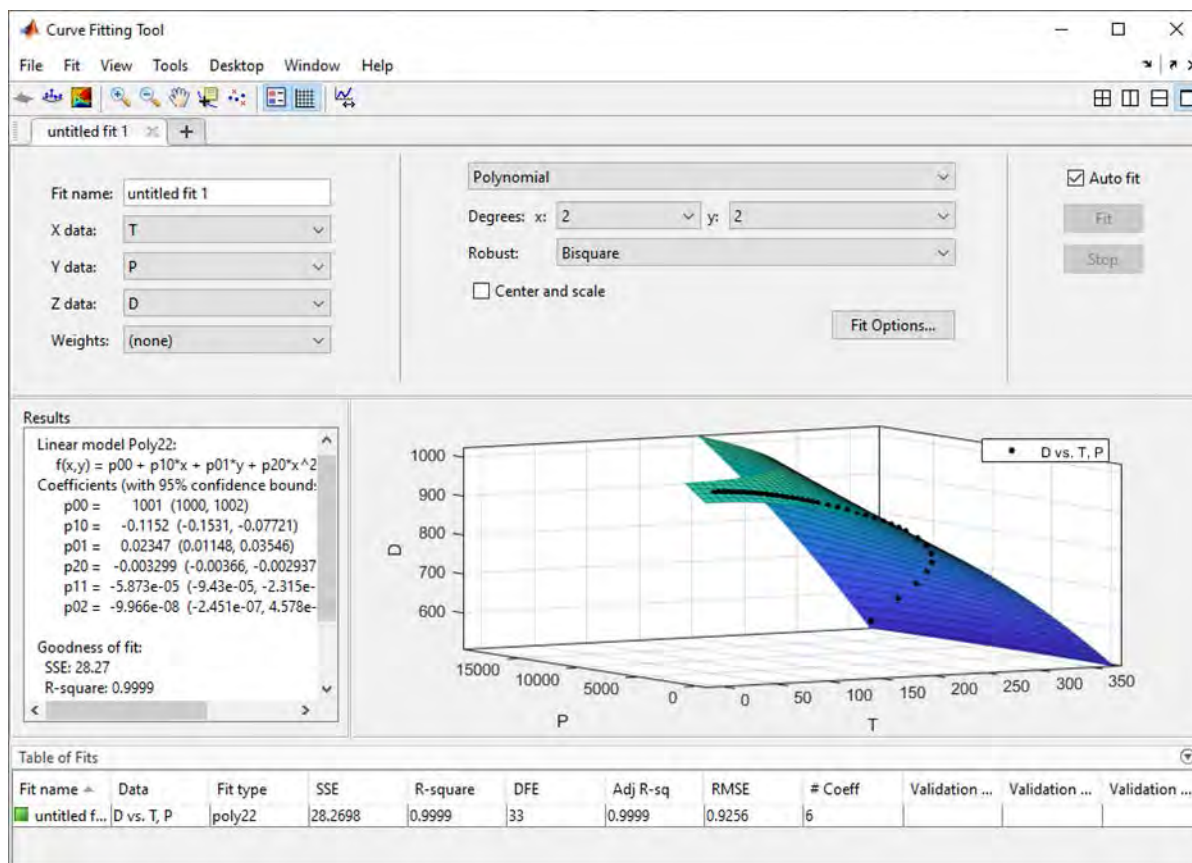
ค่าตัวแปรตามกับค่าที่คาดคะเนได้จากสมการถดถอยมีค่าน้อยที่สุด ถ้าให้ \hat{y} แทนค่าคาดคะเนของตัวแปรตาม สมการถดถอยที่จะประมาณขึ้น คือ

$$\hat{y} = a + bx \quad (2.26)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.27)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.28)$$

นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยแบบพหุ (Multiple regression) ซึ่งจะมีความซับซ้อนที่มากกว่าสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear regression)



รูปที่ 7 การสร้างสมการด้วยการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [7] [8]

Lixin Wei และคณะได้ศึกษาผลของอัตราการไหลเริ่มต้นและอุณหภูมิเริ่มต้นทำงานใหม่ต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนของน้ำมันดิบ ท่อขนส่ง และดินที่ล้อมรอบ ในระหว่างกระบวนการปิดการทำงานและเริ่มต้นทำงานใหม่ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการจำลองเชิงตัวเลข ในการศึกษาการกระจายและการ

แปรผันของอุณหภูมิของน้ำมันดิบร่วมกับดินโดยรอบในระหว่างกระบวนการเริ่มต้นทำงานใหม่ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการจัดการการผลิตและการทำงานที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพของท่อขนส่งน้ำมันร้อน ได้ผลลัพธ์คือ หลังจากกระบวนการปิดการทำงานที่เหมือนกันของการลดลงของอุณหภูมิ อุณหภูมิน้ำมันมีการตอบสนองทันทีที่เริ่มดำเนินการสำหรับจุดเริ่มต้นของท่อ สำหรับจุดกึ่งกลางและจุดสิ้นสุดของท่อ มีเวลาหน่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบเกิดขึ้น เมื่อท่อขนส่งเริ่มต้นทำงานใหม่ อุณหภูมิน้ำมันจะพบกับสองขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในขั้นแรกคือการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างช้า ๆ ของอุณหภูมิของน้ำมัน และจากนั้นอุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อาจมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิน้ำมันลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออัตราการไหลขาเข้าใหม่ต่ำกว่าค่าที่แน่นอนค่าหนึ่ง แม้ว่าท่อขนส่งจะถูกเริ่มต้นทำงานใหม่ไปแล้ว เงื่อนไขนี้จะเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดไขของน้ำมัน นอกจากนี้เมื่อเพิ่มอัตราการไหลขาเข้าใหม่เวลาที่จำเป็นสำหรับอุณหภูมิน้ำมันจะเข้าสู่สถานะที่คงตัวจะสั้นลง ตามร้อยละเดียวกันของเวลาเริ่มต้นทำงานใหม่ที่จำเป็น ข้อมูลลักษณะอุณหภูมิตามแนวท่อขนส่งโดยทั่วไปจะเหมือนกัน แต่ด้วยการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลขาเข้าใหม่ อุณหภูมิน้ำมันจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราการไหลขาเข้าใหม่ของกระบวนการเริ่มต้นทำงานใหม่ สามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันตามแนวท่อ แต่ช่วงของอุณหภูมิน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมีขีดจำกัด และช่วงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันจะลดลง และหลังจากกระบวนการปิดการทำงานที่เหมือนกันของการลดลงของอุณหภูมิ อุณหภูมิจะแตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิน้ำมันมีแนวโน้มที่จะคงที่สำหรับอุณหภูมิเริ่มต้นทำงานใหม่ที่ต่างกัน นอกจากนี้เมื่อน้ำมันที่ไหลผ่านจุดกึ่งกลางและจุดสิ้นสุด พัฒนาการของอุณหภูมิจะมีประสิทธิภาพเหมือนกัน การเข้ามาของน้ำมันร้อนมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเคลื่อนที่ของน้ำมันที่เหลืออยู่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้นทำงานใหม่ สามารถปรับปรุงอุณหภูมิน้ำมันและลดความหนืดของน้ำมันดิบอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยของท่อขนส่ง แต่ผลลัพธ์นั้นมีขีดจำกัด เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นทำงานใหม่เพิ่มขึ้น ทำให้การสูญเสียความร้อนก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นด้วยการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นทำงานใหม่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมันร้อนจะเพิ่มขึ้นซึ่งใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบ

จากการวิจัยของ Raoni และคณะ ได้ทำการปรับปรุงความปลอดภัยในอุตสาหกรรมมีการวิเคราะห์อันตรายได้หลายวิธีการ HAZOP เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการวิเคราะห์เพื่อระบุความเปราะบางของกระบวนการที่มีอันตรายโดยใช้ความรู้พื้นฐานของกระบวนการแก้ปัญหา ถึงแม้ว่าการประยุกต์และเทคนิคในการวิเคราะห์ทางด้านกระบวนการความปลอดภัยจะมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่การพัฒนาวิธีการใหม่ก็มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มความปลอดภัยให้กับอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ทำการเสนอวิธีการที่เป็นระบบสำหรับวิธีการและระบุความเปราะบางของกระบวนการที่มีอันตรายโดยใช้การจำลองกระบวนการและการประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ การจำลองกระบวนการช่วยให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการที่เกิดจากความผิดปกติ

ของอุปกรณ์และประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความเป็ยงเบนที่พิจารณาถึงกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นแบบพลวัต และการเปรียบเทียบวิธีการ HAZOP กับวิธีการที่เสนอในงานวิจัยนี้ นำเสนอโดยใช้กรณีศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันนอกลายฝั่งซึ่งได้แสดงข้อดีของการใช้การจำลองกระบวนการเพื่อระบุความเป็ยงเบนในระหว่างกระบวนการแบบพลวัตของพฤติกรรมที่ผิดปกติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

1. โปรแกรม Aspen plus V9
2. โปรแกรม Visual studio code

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. คอมพิวเตอร์
2. หนังสือ Fluid Mechanic ^[1]
3. หนังสือ Heat and Mass Transfer ^[2]

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การออกแบบโปรแกรมเบื้องต้น

ขั้นตอนแรกจะต้องออกแบบการใช้งานของโปรแกรมซึ่งจะต้องออกแบบให้มีความง่ายต่อการใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดค่าฟังก์ชันหรือตัวแปรที่ต้องการจะใช้งานให้เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งจะมีขั้นตอนเริ่มต้นดังนี้

- 3.3.1.1 กำหนดสมการที่สำคัญต่อการคำนวณในระบบท่อขนส่ง
- 3.3.1.2 ออกแบบหน้าต่างการใช้งานให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน
- 3.3.1.3 เขียนโปรแกรมในการคำนวณ

3.3.2 การสร้างสมการคำนวณ สมบัติของสารที่ขึ้นกับสภาวะที่ดำเนินการโดยใช้วิธี linear least squares method และ robust least-squares regression: Bisquare method

3.3.3 การเขียนโปรแกรมใช้งานด้วยภาษา HTML ในโปรแกรม Visual studio code ^[9]

ขั้นตอนที่ 1 เขียนคำสั่ง <HTML>...</HTML> เพื่อเริ่มต้นในการใส่คำสั่งตัวต่อไป โดยที่จะมีแบบฟอร์มดังนี้

```
<html>

<head> <title> ส่วนชื่อเอกสาร </title> </head>

<body>

    tag คำสั่ง

</body>

</html>
```

โดยที่

```
<HTML>.....</HTML>
```

คำสั่ง <HTML> เป็นคำสั่งเริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมและคำสั่ง </HTML> เป็นการสิ้นสุดโปรแกรม HTML

```
<HEAD>.....</HEAD>
```

Head Section เป็นส่วนที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลเฉพาะของหน้านั้น ๆ เช่น ชื่อเรื่องของหน้าเว็บ (Title) ชื่อผู้จัดทำเว็บ (Author) คีย์เวิร์ดสำหรับการค้นหา (Keyword) โดยมี Tag สำคัญ คือ

```
<TITLE> Pipeline Simulator</TITLE >
```

```
<BODY>.....</BODY>
```

Body Section เป็นส่วนเนื้อหาหลักของหน้าเว็บ ซึ่งการแสดงผลจะต้องใช้ Tag จำนวนมาก ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล เช่น ข้อความ รูปภาพ เสียง วิดีโอ หรือไฟล์ต่าง ๆ ส่วนเนื้อหาเอกสารเว็บ เป็นส่วนการทำงานหลักของหน้าเว็บ ทั้งนี้ให้บ่อนคำสั่งทั้งหมดภายใต้ Tag <BODY> ... </BODY>

ขั้นตอนที่ 2 เขียนคำสั่งรายข้อสารที่ต้องการจะเลือกและข้อความที่เราต้องการ ในที่นี้ คือ น้ำและอากาศ

ขั้นตอนที่ 3 เขียนคำสั่งเพิ่มกล่องข้อความที่ต้องกรอกและข้อความที่เราต้องการในก็คืออุณหภูมิ ซึ่งเราจะต้องเขียนค่าความต้องการในระบบท่อเช่น

ขั้นตอนที่ 4 เขียนคำสั่งเพิ่มกล่องข้อความที่ต้องกรอกและข้อความที่เราต้องการในก็คือความดัน

ขั้นตอนที่ 5 เขียนคำสั่งเพิ่มปุ่ม Go และ Segment โดยที่ปุ่มจะทำหน้าที่คำนวณหา ความดันลดที่ตกคร่อม(kPa) และ NPSH (m) ในส่วนของท่อที่เรากรอก ส่วนปุ่ม Segment ทำหน้าที่เพิ่มขึ้นส่วนของท่อให้มากขึ้นตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ขั้นตอนที่ 6 เขียนฟังก์ชันในการคำนวณ ความดันลดที่ตกคร่อม (kPa) และ NPSH(m)

ขั้นตอนที่ 7 เขียนฟังก์ชันในการคำนวณ NPSH (m) รวมเมื่อใส่ชิ้นส่วนท่อมากกว่า 1 ส่วน

ขั้นตอนที่ 8 เขียนฟังก์ชันในการคำนวณ KL ของอุปกรณ์เสริมของระบบท่อ

ขั้นตอนที่ 9 เขียนฟังก์ชันในการคำนวณหาความร้อนสูญเสียในระบบท่อ

ขั้นตอนที่ 10 เขียนฟังก์ชันในการคำนวณหาอุณหภูมิสุดท้ายและอายุการใช้งานของท่อ

ขั้นตอนที่ 11 เขียนกราฟแสดงผล ความดันลดที่ตกคร่อม อุณหภูมิสุดท้ายและความร้อนสูญเสีย

ขั้นตอนที่ 12 ตกแต่งโปรแกรมจำลองให้มีความน่าใช้งานมากยิ่งขึ้น

3.4 ตรวจสอบผลลัพธ์จากโปรแกรมจำลอง

3.4.1 สร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ

3.4.2 เขียนโปรแกรมจำลองกระบวนการของท่อขนส่ง

3.4.3 ตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการ

3.4.3.1 ตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของน้ำ

3.4.3.2 ตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของอากาศ

3.4.4 ตรวจสอบผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

- 3.4.4.1 เปรียบเทียบผลกับการคำนวณมือในโจทย์พื้นฐาน
- 3.4.4.2 เปรียบเทียบผลกับการคำนวณมือในโจทย์ที่มีความซับซ้อน
- 3.4.4.3 เปรียบเทียบผลกับโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป Aspen plus V9

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลในการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสภาวะดำเนินการ

ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล จะต้องทราบค่าของสมบัติต่าง ๆ ที่สภาวะดำเนินการ ในงานวิจัยนี้จะใช้ของไหล 2 ชนิด คือ น้ำและอากาศ ซึ่งจะมีค่าสมบัติต่าง ๆ ตามสภาวะดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 Properties ของน้ำ ^{[1] [2]}

T (°C)	P (kPa)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	C_p (J/kg-K)	k (W/m-K)
0.01	0.6113	999.8	0.001792	4217	0.561
5	0.8721	999.9	0.001519	4205	0.571
10	1.2276	999.7	0.001307	4194	0.58
15	1.7051	999.1	0.001138	4185	0.589
20	2.339	998	0.001002	4182	0.598
25	3.169	997	0.000891	4180	0.607
30	4.246	996	0.000798	4178	0.615
35	5.628	994	0.000720	4178	0.623
40	7.384	992.1	0.000653	4179	0.631
45	9.593	990.1	0.000596	4180	0.637
50	12.35	988.1	0.000547	4181	0.644
55	15.76	985.2	0.000504	4183	0.649
60	19.94	983.3	0.000467	4185	0.654
65	25.03	980.4	0.000433	4187	0.659
70	31.19	977.5	0.000404	4190	0.663
75	38.58	974.7	0.000378	4193	0.667
80	47.39	971.8	0.000355	4197	0.67

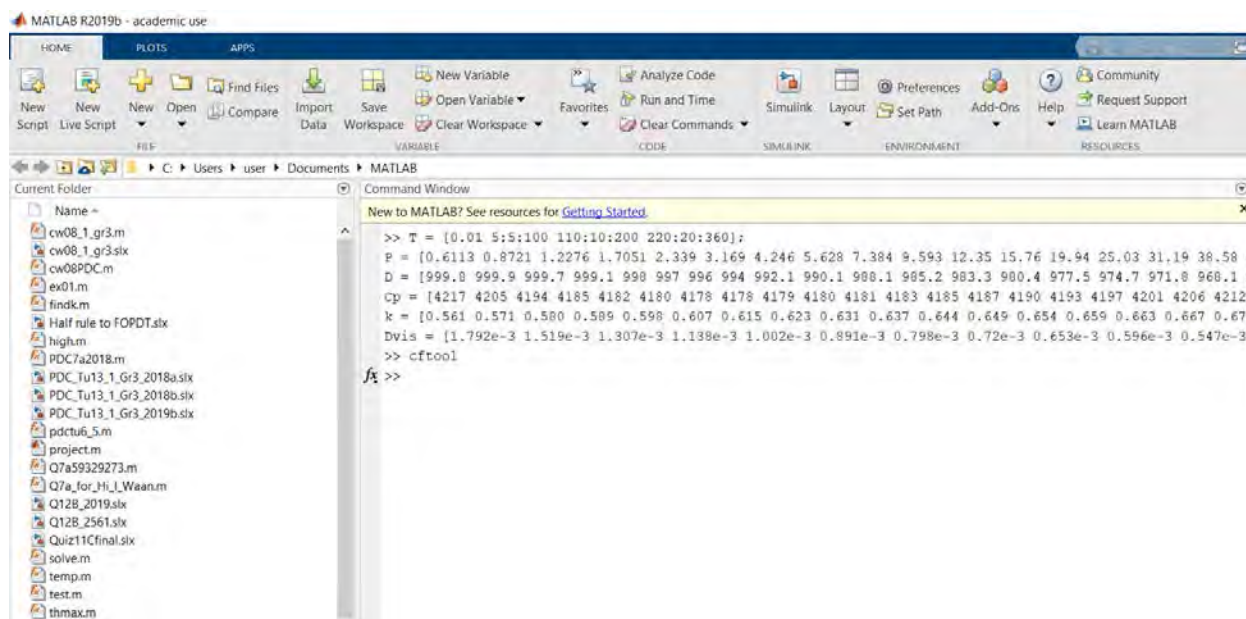
T (°C)	P (kPa)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	C_p (J/kg-K)	k (W/m-K)
85	57.83	968.1	0.000333	4201	0.673
90	70.14	965.3	0.000315	4206	0.675
95	84.55	961.5	0.000297	4212	0.677
100	101.33	957.9	0.000282	4217	0.679
110	143.27	950.6	0.000255	4229	0.682
120	198.53	943.4	0.000232	4244	0.683
130	270.1	934.6	0.000213	4263	0.684
140	361.3	921.7	0.000197	4286	0.683
150	475.8	916.6	0.000183	4311	0.682
160	617.8	907.4	0.000170	4340	0.68
170	791.7	897.7	0.000160	4370	0.677
180	1002.1	887.3	0.000150	4410	0.673
190	1254.4	876.4	0.000142	4460	0.669
200	1553.8	864.3	0.000134	4500	0.663
220	2318	840.3	0.000122	4610	0.65
240	3344	813.7	0.000111	4760	0.632
260	4688	783.7	0.000102	4970	0.609
280	6412	750.8	0.000094	5280	0.581
300	8581	713.8	0.000086	5750	0.548
320	11274	667.1	0.000078	6540	0.509
340	14586	610.5	0.000070	8240	0.469
360	18651	528.3	0.000060	14690	0.427

ตารางที่ 15 Properties ของอากาศ ^{[1][2]}

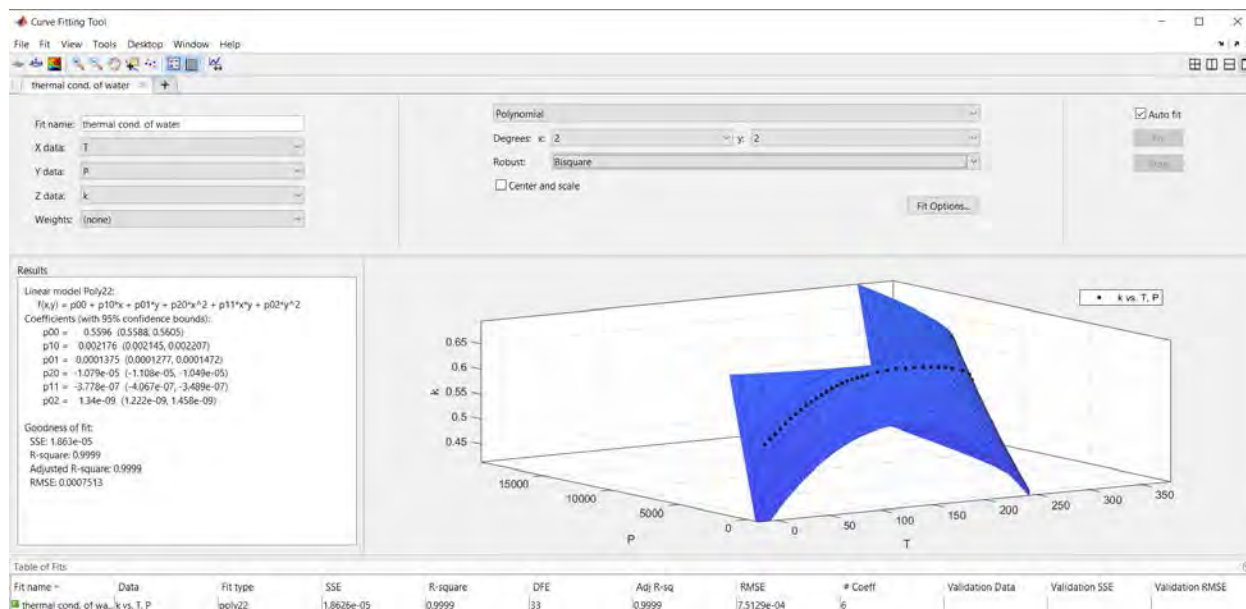
T (°C)	P (kPa)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	C_p (J/kg-K)	k (W/m-K)
-100	10	0.2011	0.00001192	968.1	0.01527
-50	20	0.3121	0.00001503	976.8	0.01917
-40	30	0.4480	0.00001562	978.6	0.01991
-30	40	0.5728	0.00001619	980.4	0.02064
-20	50	0.6877	0.00001676	982.2	0.02137
-10	60	0.7939	0.00001730	984.1	0.02208
0	70	0.8923	0.00001783	985.9	0.02278
10	80	0.9838	0.00001834	987.8	0.02347
20	90	1.069	0.00001884	989.6	0.02416
30	100	1.149	0.00001933	991.5	0.02484
40	200	2.224	0.00001982	993.4	0.02555
50	300	3.233	0.00002030	995.3	0.02625
60	400	4.181	0.00002077	997.2	0.02695
70	500	5.074	0.00002124	999.2	0.02763
80	1000	9.860	0.00002175	1001	0.02848
90	1500	14.38	0.00002226	1003	0.02938
100	2000	18.66	0.00002276	1005	0.03013
150	2500	20.57	0.00002489	1015	0.03330
200	3000	22.08	0.00002694	1025	0.03635
250	3500	23.30	0.00002896	1036	0.03930
300	4000	24.30	0.00003099	1046	0.04216
350	4500	25.14	0.00003303	1057	0.04497
400	5000	25.86	0.00003511	1067	0.04773
600	5500	21.93	0.00004363	1110	0.05813

T (°C)	P (kPa)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	C_p (J/kg-K)	k (W/m-K)
800	6000	19.47	0.00005233	1151	0.06826
1000	10000	27.35	0.00006085	1187	0.07851
1500	15000	29.46	0.00007841	1241	0.1008
2000	20000	30.64	0.00009126	1211	0.1159

นำค่าข้อมูลดิบของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำและอากาศไปทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับสภาวะดำเนินการด้วย Curve fitting tool ในโปรแกรม MATLAB วิธีการคือ 1. สร้างตัวแปรในการเก็บข้อมูลดิบต่าง ๆ (รูปที่ 8) 2. เปิด Curve fitting tool และเลือกตัวแปรที่สร้างขึ้น นำมาทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ และเลือกวิธีการในการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เหมาะสม เช่น robust least-squares regression: Bisquare method โดยสามารถดูได้จากเสถียรภาพของสมการที่ได้มาและค่า R-square หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าผลลัพธ์มีความแม่นยำสูง (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 ตัวอย่างการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 9 ตัวอย่างการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลขั้นตอนที่ 2

สมการต่าง ๆ ที่ได้จากการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลมีดังนี้

สำหรับน้ำ

$$\text{Density} = 1001 - 0.1152T + 0.02347P - 0.003299T^2 - 5.87E-05TP - 9.97E-08P^2$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosity} &= 0.001705 - 4.19E-05T + 7.25E-06P + 4.56E-07T^2 - 1.29E-08TP - 2.39E-09T^3 \\ &+ 7.24E-12T^2P \end{aligned}$$

$$\text{Heat capacity} = 4184 - 0.2934T + 0.3853P + 0.003483T^2 - 0.00133TP + 2.01E-05P^2$$

$$\text{Conductivity} = 0.5596 + 0.002176T + 0.0001375P - 1.08E-05T^2 - 3.78E-07TP + 1.34E-09P^2$$

$$\text{Vapor pressure} = 10^{(7.96681 - 1668.21/(T+228))} * 0.133322$$

สำหรับอากาศ

$$\text{Density} = 28.95P / (8.3145 * (T+273.15))$$

$$\text{Viscosity} = 1.78E-05 + 4.76E-08T + 2.42E-10P - 7.47E-11T^2 + 1.53E-11TP - 8.45E-13P^2$$

$$\text{Heat capacity} = 986.2 + 0.1858T - 0.0003724P - 0.0002035T^2 + 2.90E-05TP - 6.76E-07P^2$$

$$\text{Conductivity} = 0.02286 + 6.87E-05T - 3.11E-07P + 6.34E-09T^2 - 5.05E-09TP + 3.47E-10P^2$$

โดยที่ P คือ ความดันที่ใช้ดำเนินการในระบบ (kPa)

T คือ อุณหภูมิที่ใช้ดำเนินการในระบบ (°C)

4.2 เขียนโปรแกรมจำลองกระบวนการของท่อขนส่ง

ใน ส่วนที่ 1 (รูปที่ 10) ของหน้าต่างของโปรแกรมมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ 1. บริเวณที่แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณโดยรวม ประกอบด้วย ความดันลด (kPa) NPSH (m) การถ่ายโอนความร้อน (W) และอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดของท่อขนส่ง (year) 2. บริเวณที่ใช้กรอกสภาวะการดำเนินการต่าง ๆ ประกอบด้วย การเลือกของไหลที่ใช้ในท่อขนส่ง การเลือกวัสดุของท่อขนส่ง อุณหภูมิเริ่มต้นของของไหล (°C) ความดันเริ่มต้นของของไหล (kPa) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2) อัตราการไหลโดยปริมาตร (m^3/s) และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (°C)

ใน ส่วนที่ 2 (รูปที่ 11) จะเป็นการกรอกข้อมูลจำเพาะของ Section ของท่อขนส่งนั้น ๆ ประกอบด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางขาเข้าของท่อขนส่ง (m) เส้นผ่านศูนย์กลางขาออกของท่อขนส่ง (m) การเปลี่ยนแปลงของความสูงระหว่างขาเข้าและขาออกของท่อขนส่ง (m) ความยาวของท่อขนส่ง (m) ความหนาของท่อขนส่ง (m) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลด้านใน (W/m^2-K) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของบรรยากาศด้านนอก (W/m^2-K) และการเลือกอุปกรณ์เพิ่มเติมต่าง ๆ ของท่อขนส่ง ในบริเวณด้านล่างจะเป็นบริเวณที่แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณประจำ Section นั้น ๆ ประกอบด้วย ความดันลด (kPa) อุณหภูมิขาออกของท่อขนส่ง (°C) NPSH (m) การถ่ายโอนความร้อน (W) และอายุการใช้งานของท่อขนส่ง (year) โดยรายละเอียดการใช้งานสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก. ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ได้แก่ สมการของเรย์โนลด์ สมการของฮาแลนด์ สมการความสูญเสียรอง สมการอนุรักษพลังงานกล สมการคำนวณค่า NPSH สมการกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ สมการกฎการเย็นตัวของนิวตัน สมการความร้อนสัมผัส สมการของนัสเซล สมการอายุการใช้งาน เป็นต้น

Pipeline Simulator

Delta P (total) is kPa
 NPSH (total) is m
 Q (total) W
 Life span (minimum) year

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

รูปที่ 10 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม ส่วนที่ 1

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

Delta P (seg1) is kPa
 T(out) (seg1) is C
 NPSH (seg1) is m
 Q (seg1) is W
 Life span (seg1) is year

Segment

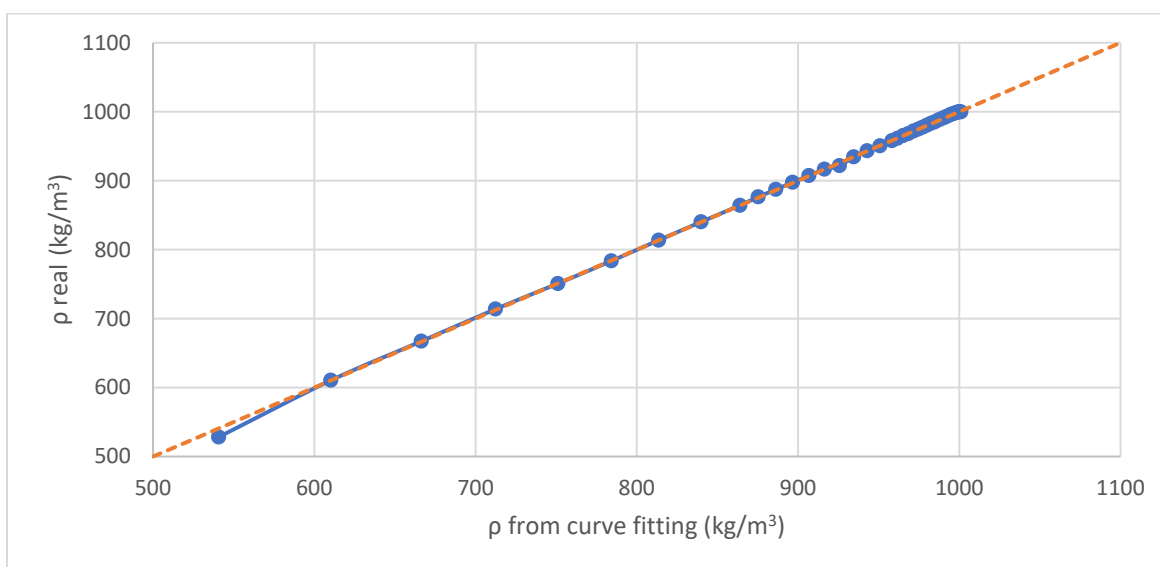
Go

รูปที่ 11 หน้าต่างแสดงผลของโปรแกรม ส่วนที่ 2

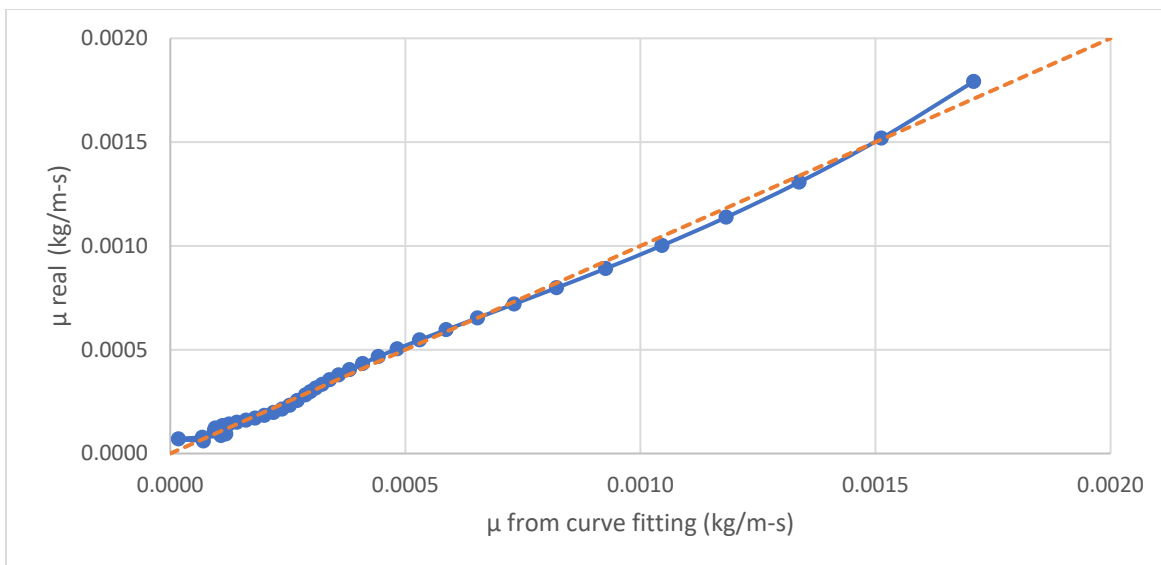
4.3 การตรวจสอบการสร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสภาวะดำเนินการ

4.3.1 สำหรับน้ำ

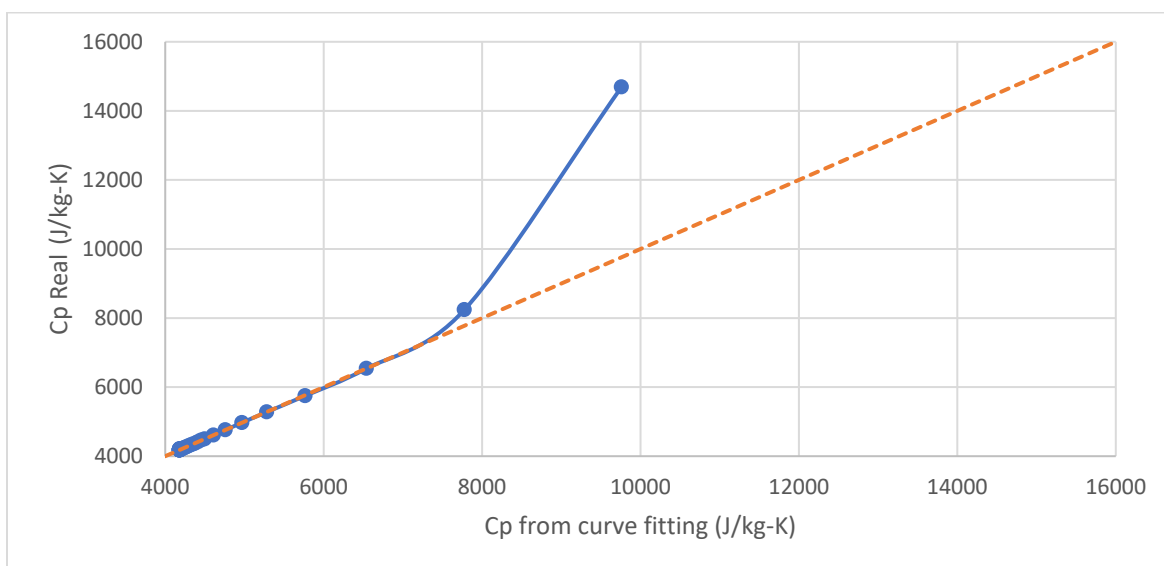
จากการสร้างสมการคำนวณค่าสมบัติของน้ำที่ขึ้นกับสภาวะดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ 0.01 – 360 °C และความดันที่ 0.6113 – 18,651 kPa โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ผลต่าง ๆ ดังรูปที่ 12 – 16 สำหรับค่าความหนาแน่นของน้ำ (รูปที่ 12) พบว่ามีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณเล็กน้อย บริเวณส่วนต้นของกราฟที่ความหนาแน่นมีค่าต่ำ สำหรับค่าความหนืดของน้ำ (รูปที่ 13) พบว่ามีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณในหลาย ๆ บริเวณพอสมควร สำหรับความจุความร้อนของน้ำ (รูปที่ 14) พบว่าที่ส่วนท้ายของกราฟ ค่าความจุความร้อนมีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณสูง อาจเป็นผลมาจากการเลือกวิธีสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลยังไม่เหมาะสมเพียงพอ สำหรับสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำ (รูปที่ 15) พบว่าความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณมีความเบี่ยงเบนที่น้อยในทุก ๆ บริเวณของกราฟ สำหรับความดันไอของน้ำ (รูปที่ 16) พบว่ามีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณพอสมควรที่บริเวณส่วนปลายของกราฟที่ค่าความดันไอสูง โดยภาพรวมแล้ว ค่าความเบี่ยงเบนของสมบัติของน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5% ^[10] ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้



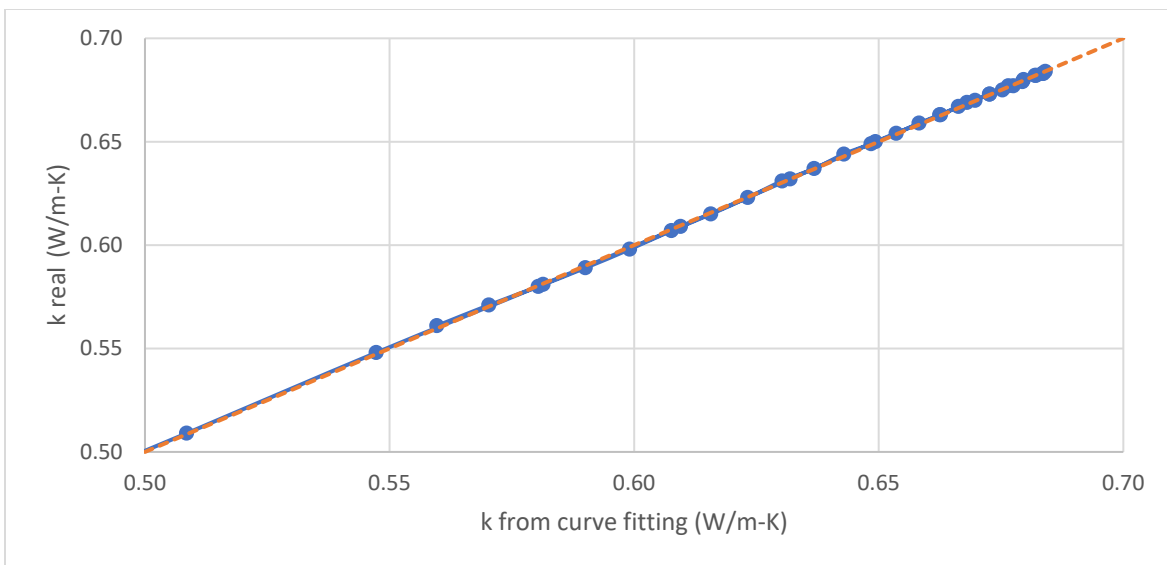
รูปที่ 12 เปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



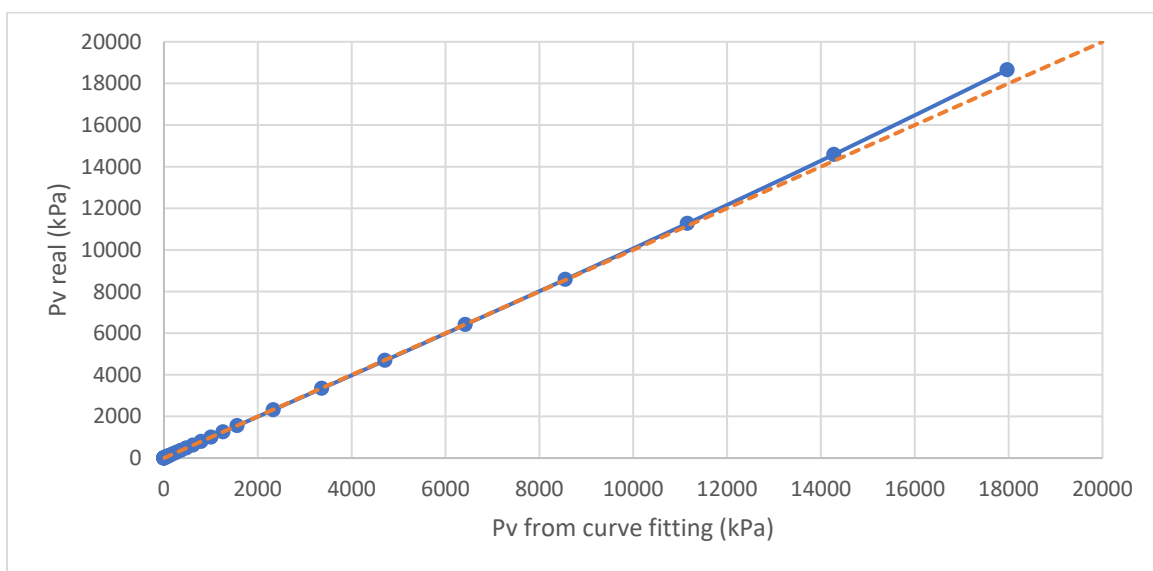
รูปที่ 13 เปรียบเทียบความหนืดของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



รูปที่ 14 เปรียบเทียบความจุความร้อนของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



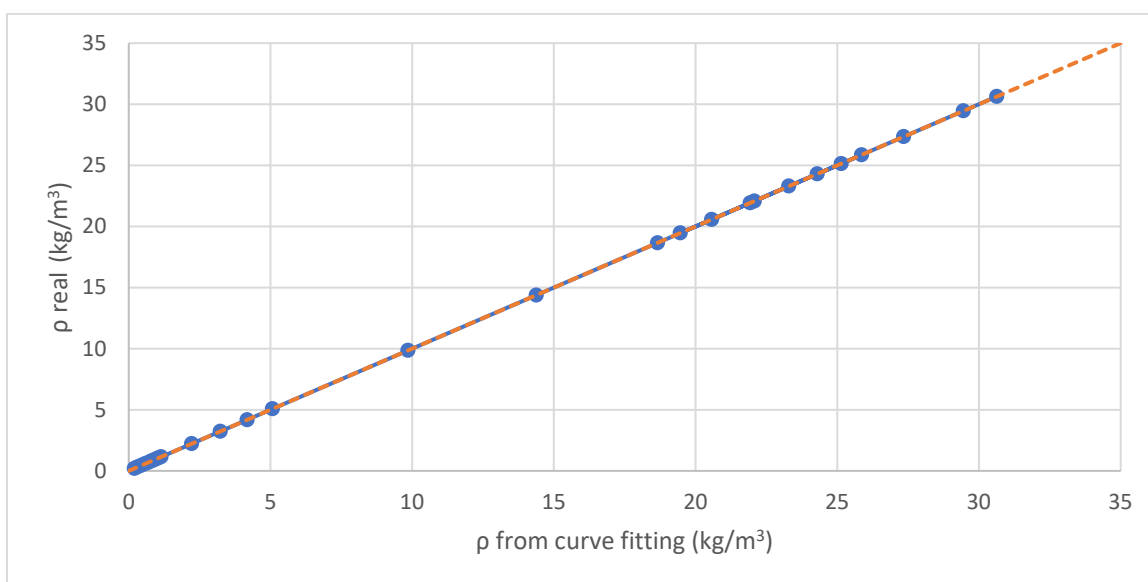
รูปที่ 15 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



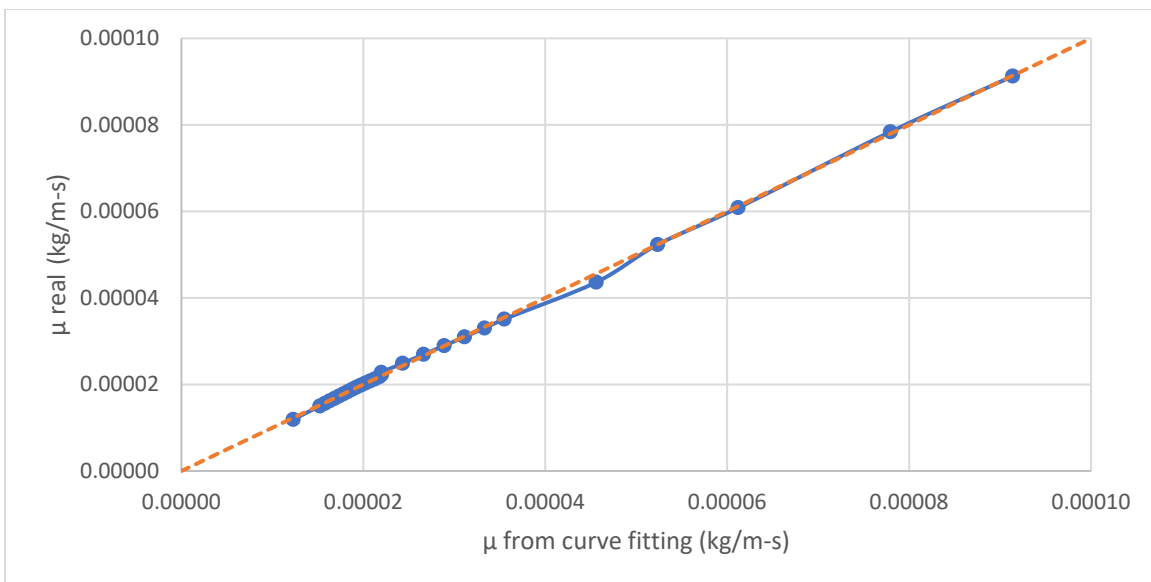
รูปที่ 16 เปรียบเทียบความดันไอของน้ำระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ

4.3.2 สำหรับอากาศ

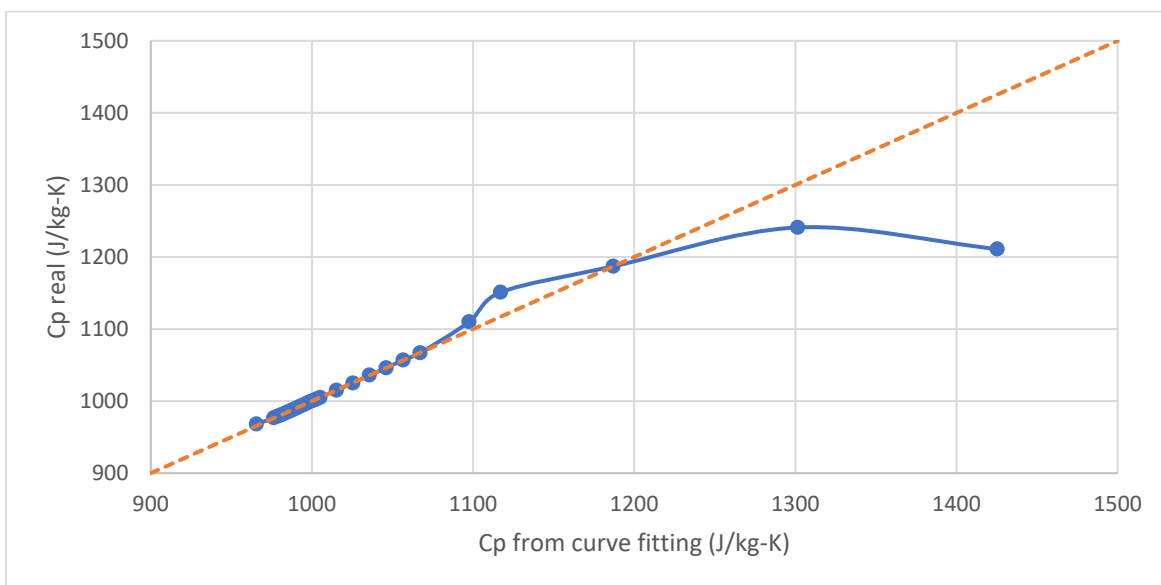
จากการสร้างสมการคำนวณค่าสมบัติของอากาศที่ขึ้นกับสถานะดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ $-100 - 2,000$ °C และความดันที่ $10 - 20,000$ kPa โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ผลต่าง ๆ ดังรูปที่ 17 - 20 สำหรับค่าความหนาแน่นของอากาศ (รูปที่ 17) พบว่าแทบไม่มีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณ สำหรับค่าความหนืดของอากาศ (รูปที่ 18) พบว่ามีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณเล็กน้อยในบริเวณช่วงกลาง ๆ ของกราฟ สำหรับค่าความจุความร้อนของอากาศ (รูปที่ 19) พบว่ามีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณค่อนข้างมากในช่วงกลางของกราฟ และมีความเบี่ยงเบนมากในช่วงท้ายของกราฟ อาจเป็นผลมาจากการเลือกวิธีสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลยังไม่เหมาะสมเพียงพอ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ (รูปที่ 20) พบว่าแทบไม่มีความเบี่ยงเบนระหว่างค่าจริงและค่าจากการคำนวณ โดยภาพรวมแล้ว ค่าความเบี่ยงเบนของสมบัติของอากาศมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5% ^[10] ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้



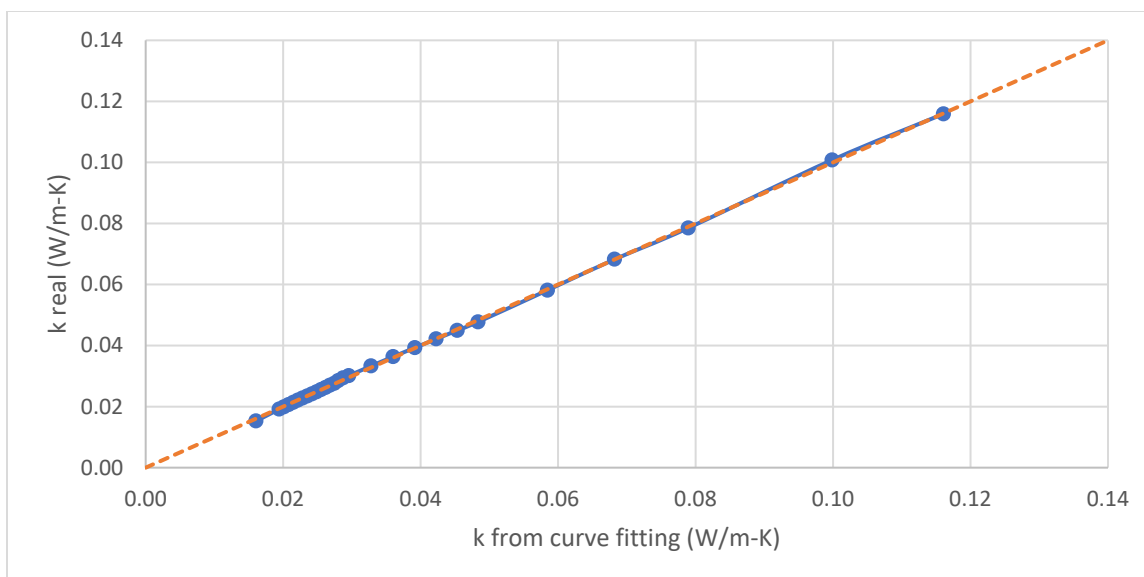
รูปที่ 17 เปรียบเทียบความหนาแน่นของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



รูปที่ 18 เปรียบเทียบความหนืดของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



รูปที่ 19 เปรียบเทียบความจุความร้อนของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ



รูปที่ 20 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศระหว่างค่าจริงและค่าการจากคำนวณ

4.4 การตรวจสอบผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

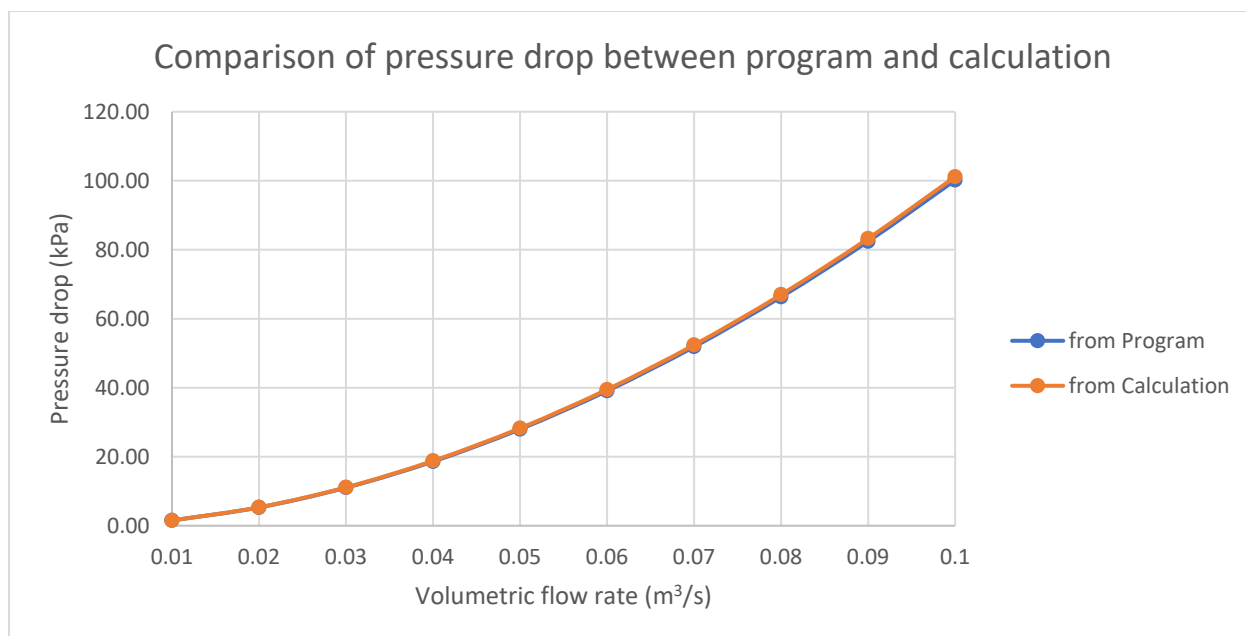
4.4.1 การเปรียบเทียบผลกับการคำนวณมือในโจทย์พื้นฐาน

จากผลลัพธ์การคำนวณความดันลดระหว่างการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น (รูปที่ 22 และตารางที่ 16) กับการคำนวณด้วยมือตามทฤษฎี พบว่าค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ 1 เท่านั้น และมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 1.03 โดยค่าความคลาดเคลื่อนอาจเป็นผลมาจากสมการคำนวณสมบัติที่มีความเบี่ยงเบนกับค่าจริง และการใช้สมการของฮาแลนด์ที่ทำให้ค่าปัจจัยความเสียดทานมีความเบี่ยงเบนจากความเป็นจริง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ในขอบเขต 5% ^[10] ดังนั้นค่าความดันลดที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมถือว่ามีความถูกต้องรองรับได้ มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยสามารถนำค่าความดันลดนี้ไปใช้งานในด้านอื่น ๆ ต่อได้ เช่น การออกแบบระบบท่อ พลังงานของเครื่องอัดของไหลที่เหมาะสม เป็นต้น นอกจากนี้การคำนวณความดันลดด้วยโปรแกรมยังมีข้อดีคือ สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วกว่าการคำนวณเองด้วยมือ

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.1
Temperature ambient(C)	25

Section #1	
Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	10
h (outside) (W/m ² .K)	5
Select option units (this unit is installed behind pipe)	None

รูปที่ 21 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์พื้นฐาน

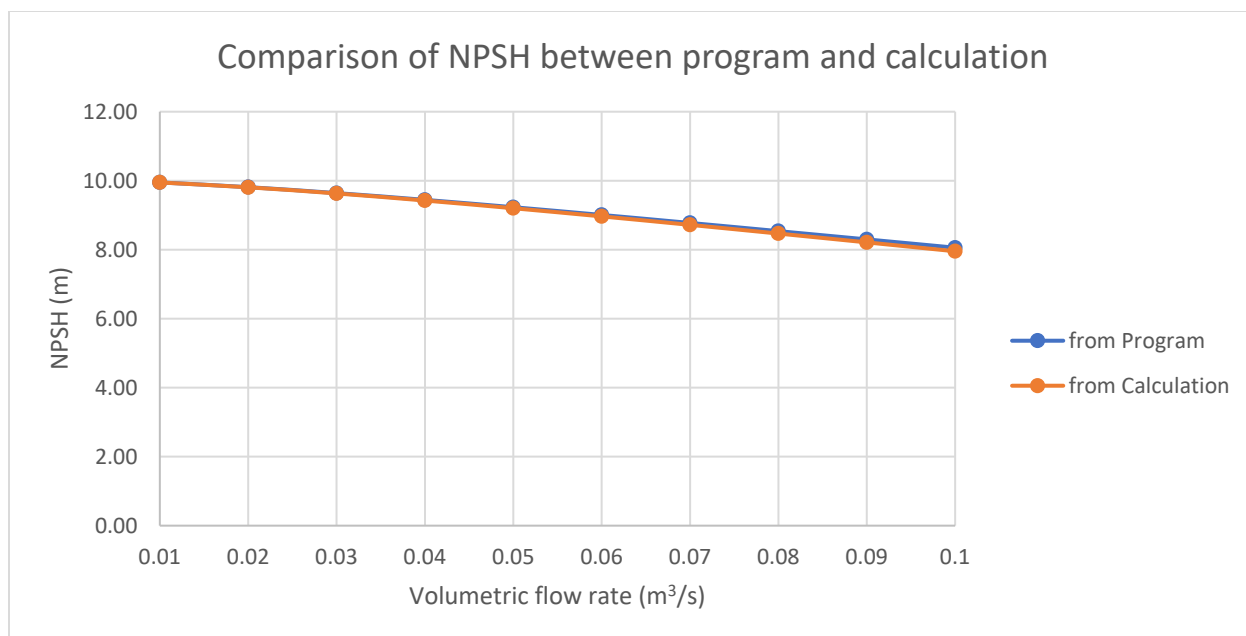


รูปที่ 22 เปรียบเทียบความดันลระหว่างโปรแกรมและการคำนวณเมื่อที่ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ

ตารางที่ 16 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของความดันลดที่อัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ

Flow rate (m ³ /s)	Pressure drop from Program (kPa)	Pressure drop from calculation (kPa)	%error
0.01	1.52	1.54	0.94
0.02	5.29	5.34	1.01
0.03	11.02	11.13	0.96
0.04	18.61	18.80	1.02
0.05	27.98	28.27	1.03
0.06	39.08	39.48	1.03
0.07	51.87	52.40	1.02
0.08	66.33	67.00	1.01
0.09	82.43	83.26	0.99
0.10	100.16	101.15	0.98

จากผลลัพธ์การคำนวณ NPSH ระหว่างการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น (รูปที่ 23 และตารางที่ 17) กับการคำนวณด้วยมือตามทฤษฎี พบว่าค่าคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้น เมื่อค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรมากขึ้น แต่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 1.30 เท่านั้น ซึ่งความคลาดเคลื่อนของ NPSH จะเกิดจากสมการคำนวณสมบัติที่มีความเบี่ยงเบนกับค่าจริง และค่าความคลาดเคลื่อนของความดันลดด้วย ต่างจากความดันลดที่มีความคลาดเคลื่อนมาจากสมการคำนวณสมบัติเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของ NPSH อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ในขอบเขต 5%^[10] ดังนั้นค่า NPSH ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมถือว่ามีทฤษฎีที่ถูกต้องรองรับไว้ มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยสามารถนำค่าความดันลดนี้ไปใช้งานในด้านอื่น ๆ ต่อได้ เช่น ในด้านความปลอดภัยของเครื่องอัดของไหลเพื่อป้องกันการเกิด Cavitation ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์ เป็นต้น นอกจากนี้การคำนวณ NPSH ด้วยโปรแกรมสามารถทำได้อย่างรวดเร็วมากเช่นเดียวกับความดันลด

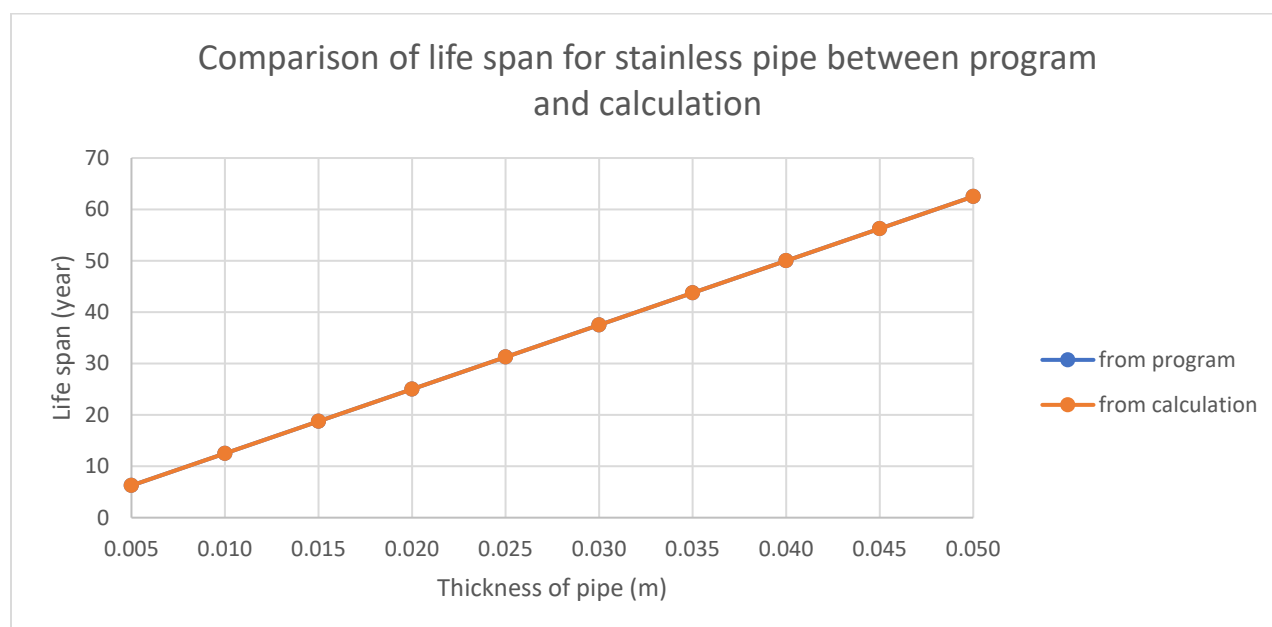


รูปที่ 23 เปรียบเทียบ NPSH ระหว่างโปรแกรมและการคำนวณที่ค่าอัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ

ตารางที่ 17 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของ NPSH ที่อัตราการไหลโดยปริมาตรต่าง ๆ

Flow rate (m ³ /s)	NPSH from Program (kPa)	NPSH from calculation (kPa)	%error
0.01	9.95	9.95	0.01
0.02	9.81	9.81	0.05
0.03	9.64	9.63	0.11
0.04	9.44	9.42	0.21
0.05	9.23	9.20	0.32
0.06	9.01	8.97	0.47
0.07	8.77	8.72	0.63
0.08	8.54	8.47	0.83
0.09	8.30	8.21	1.05
0.10	8.06	7.95	1.30

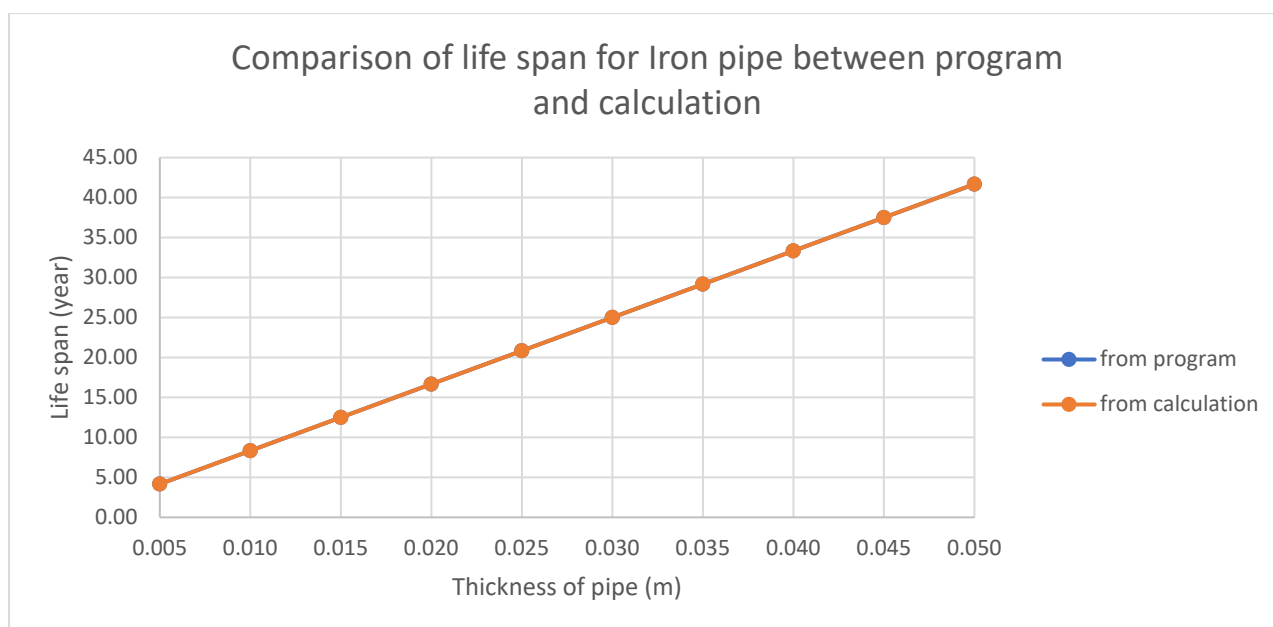
จากผลลัพธ์การคำนวณอายุการใช้งานของท่อ (รูปที่ 24 และ 25 กับตารางที่ 18 และ 19) ระหว่างการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น กับการคำนวณด้วยมือตามทฤษฎี พบว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนของอายุการใช้งาน เกิดขึ้นที่ความหนาของท่อต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณอายุการใช้งาน คำนวณจากอัตราการกัดกร่อนของท่อต่อปีที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผลิตท่อเท่านั้น และไม่ได้เป็นสมการที่มีการคำนวณอย่างความซับซ้อน เหมือนกับความดันและ NPSH ดังนั้นค่าอายุการใช้งานที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมถือว่ามีความถูกต้องรองรับไว้ มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยสามารถนำค่าความดันค่านี้ออกไปใช้งานในด้านอื่น ๆ ต่อได้ เช่น ในด้านความปลอดภัยในการใช้งานท่อขนส่งชนิดนี้ ว่ามีอายุการใช้งานสูงสุดและควรเปลี่ยนท่อชนที่กี่ปี เพื่อเป็นการป้องกันการแตกหรือรั่วของท่อขนส่ง ซึ่งอาจนำมาซึ่งอุบัติเหตุและอันตรายต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 24 เปรียบเทียบอายุการใช้งานของท่อ Stainless ระหว่างโปรแกรมและการคำนวณมือที่ความหนาท่อต่าง ๆ

ตารางที่ 18 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอายุการใช้งานของท่อ Stainless ที่ความหนาท่อต่าง ๆ

Thickness of stainless pipe (m)	Life span from Program (year)	Life span from calculation (year)	%error
0.005	6.25	6.25	0.00
0.010	12.50	12.50	0.00
0.015	18.75	18.75	0.00
0.020	25.00	25.00	0.00
0.025	31.25	31.25	0.00
0.030	37.50	37.50	0.00
0.035	43.75	43.75	0.00
0.040	50.00	50.00	0.00
0.045	56.25	56.25	0.00
0.050	62.50	62.50	0.00



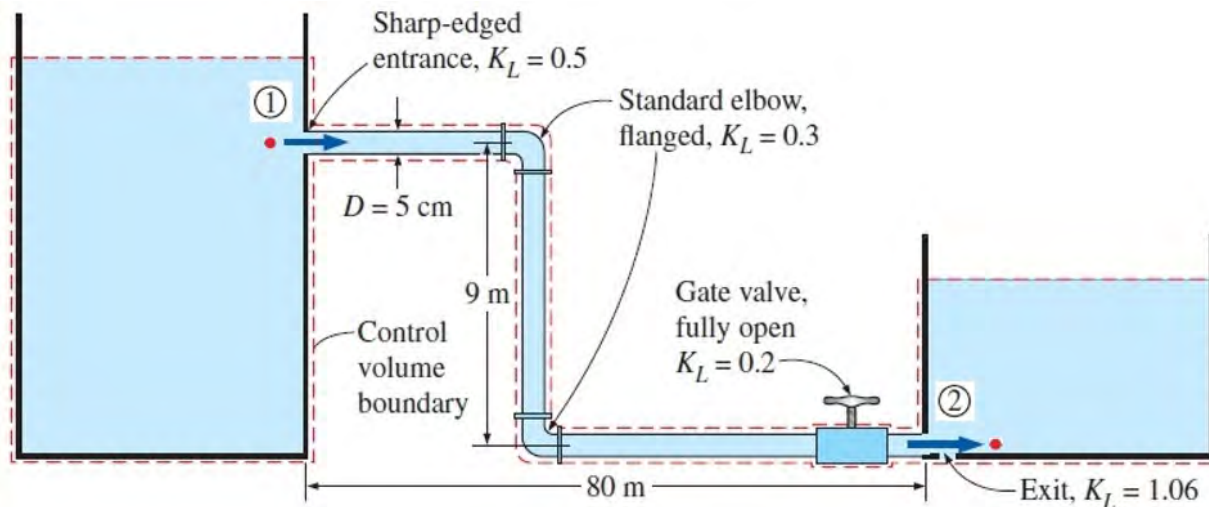
รูปที่ 25 เปรียบเทียบอายุการใช้งานของท่อ Iron ระหว่างโปรแกรมและการคำนวณเมื่อที่ความหนาท่อต่าง ๆ

ตารางที่ 19 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของอายุการใช้งานของท่อ Iron ที่ความหนาท่อต่าง ๆ

Thickness of Iron pipe (m)	Life span from Program (year)	Life span from calculation (year)	%error
0.005	4.17	4.17	0.00
0.010	8.33	8.33	0.00
0.015	12.50	12.50	0.00
0.020	16.67	16.67	0.00
0.025	20.83	20.83	0.00
0.030	25.00	25.00	0.00
0.035	29.17	29.17	0.00
0.040	33.33	33.33	0.00
0.045	37.50	37.50	0.00
0.050	41.67	41.67	0.00

4.4.2 การเปรียบเทียบผลกับการคำนวณมือในโจทท์ที่มีความซับซ้อน

น้ำมีอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 6 ลิตรต่อวินาที ไหลผ่านท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ดังรูปที่ 26 จงหาความดันลระหว่างจุดที่ 1 และ 2 (โจทท์จากหนังสือ Fluid Mechanic ^[1])



รูปที่ 26 ระบบท่อของโจทย์ตัวอย่างที่มีความซับซ้อน ^[1]

Select Component	Water
Select Material	Iron
Temperature(C)	10
Pressure(kPa)	1.2276
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.006
Temperature ambient(C)	25

[Section #1](#)

Diameter(inlet)(m)	0.05
Diameter(outlet)(m)	0.05
Elevation length(m)	-9
Length(m)	89
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) Sharp-edged entrance

รูปที่ 27 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์ซับซ้อน ส่วนที่ 1

[Section #2](#)

Diameter(inlet)(m)	0.05
Diameter(outlet)(m)	0.05
Elevation length(m)	0
Length(m)	0
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) Smooth bend 90 (flanged) ▼

รูปที่ 28 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์ซับซ้อน ส่วนที่ 2

[Section #3](#)

Diameter(inlet)(m)	0.05
Diameter(outlet)(m)	0.05
Elevation length(m)	0
Length(m)	0
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) Smooth bend 90 (flanged) ▼

รูปที่ 29 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์ซับซ้อน ส่วนที่ 3

[Section #4](#)

Diameter(inlet)(m)	0.05
Diameter(outlet)(m)	0.05
Elevation length(m)	0
Length(m)	0
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) Gate vavle (fully open) ▼

รูปที่ 30 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์ซับซ้อน ส่วนที่ 4

Section #5

Diameter(inlet)(m)	0.05
Diameter(outlet)(m)	0.05
Elevation length(m)	0
Length(m)	0
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) Exit ▾

รูปที่ 31 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับโจทย์ซับซ้อน ส่วนที่ 5

- โดยที่ ความดันลดจากการคำนวณจากหนังสือ คือ 185.35 kPa
 ความดันลดจากการคำนวณด้วยโปรแกรม คือ 184.58 kPa
 ร้อยละของความคลาดเคลื่อน คือ 0.42 %

จากผลลัพธ์ดังแสดงด้านบน พบว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถคำนวณความดันลดในกรณีที่มีความซับซ้อนได้ และมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเพียง 0.42 จึงถือได้ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้น นอกจากสามารถคำนวณกรณีพื้นฐานทั่วไปได้แล้ว ยังสามารถคำนวณกรณีที่มีความซับซ้อนที่มีอุปกรณ์เพิ่มเติมต่าง ๆ ต่อท่อขนส่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเชื่อถือได้อีกด้วย นอกจากกรณีที่มีความซับซ้อนมาก อาจต้องใช้เวลาในการคำนวณด้วยมือที่มาก และยังมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้สูง แต่การใช้โปรแกรมในการคำนวณ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดต่ำกว่าการคำนวณด้วยมือ

4.4.3 การเปรียบเทียบผลกับโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป

จากผลลัพธ์ต่าง ๆ คือ ความดันลด อุณหภูมิขาออกของท่อขนส่ง และการถ่ายโอนความร้อน พบว่า ร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นกับโปรแกรมจำลองสำเร็จรูป พบว่ามีร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 3.979 โดยที่ร้อยละของความคลาดเคลื่อนเป็นผลมาจากความเป็ียงของสมการคำนวณสมบัติ ซึ่งมีความแตกต่างกันของโปรแกรมที่เขียนขึ้นกับโปรแกรมจำลองสำเร็จรูป แต่ร้อยละของความคลาดเคลื่อนนั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่เชื่อถือได้ในขอบเขต 5% ^[10] และหากเปรียบเทียบความง่ายในการใช้งานโปรแกรมกับความเร็วในการใช้งาน พบว่า โปรแกรมที่เขียนขึ้นมีความง่ายในการใช้งานมากกว่า และยังสามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงในด้านลิขสิทธิ์ที่เป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของโปรแกรมจำลองสำเร็จรูป

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	100
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	1.5
Temperature ambient(C)	25

Section #1	
Diameter(inlet)(m)	0.6
Diameter(outlet)(m)	0.6
Elevation length(m)	0
Length(m)	50
Thickness (m)	0
h (inside) (W/m ² .K)	13046.52
h (outside) (W/m ² .K)	10
Select option units (this unit is installed behind pipe)	None

รูปที่ 32 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป

Main Flowsheet		B1 (Pipe) - Temperature - Plot		1 (MATERIAL) - Results (Default)		
Summary	Streams	Balance	Profiles	Properties	Property Grid	Status
Total pressure drop	9.05475	kPa				
Frictional pressure drop	9.05475	kPa				
Elevation pressure drop	0	bar				
Acceleration	0	bar				
Heat duty	-70678.3	J/sec				
Equivalent length	50	meter				

รูปที่ 33 ผลลัพธ์จากโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป (Aspen plus) ส่วนที่ 1

Main Flowsheet		B1 (Pipe) - Temperature - Plot		1 (MATERIAL) - Results (Default)		
Summary	Streams	Balance	Profiles	Properties	Property Grid	Status
	Inlet	Outlet				
Pressure	101.3	92.2452	kPa			
Temperature	100	99.9905	C			
Mixture velocity	5.30517	5.30511	m/sec			
Erosional velocity	4.02564	4.02562	m/sec			
Reynolds number	1.04569e+07	1.04558e+07				
Liquid volume fraction	1	1				
Vapor volume fraction	0	0				
Flow regime	All liquid	All liquid				

รูปที่ 34 ผลลัพธ์จากโปรแกรมการจำลองสำเร็จรูป (Aspen plus) ส่วนที่ 2

Results
Delta P (seg1) is 9.43 kPa
T(out) (seg1) is 99.99 C
NPSH (seg1) is 0.43 m
Q (seg1) is -70631.70 W

รูปที่ 35 ผลลัพธ์จากโปรแกรมที่เขียนขึ้น

ตารางที่ 20 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของการคำนวณต่าง ๆ

Result lists	Result from Program	Result from Aspen Plus	%error
Pressure drop (kPa)	9.43	9.05	3.979
Outlet Temperature (°C)	99.99	99.99	0.001
Heat transfer (W)	-70,631.70	-70,678.30	0.066

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อขนส่ง ได้แก่ กลศาสตร์ของไหลในท่อขนส่ง การถ่ายโอนความร้อนในท่อขนส่ง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างข้อมูล (curve fitting) ความปลอดภัย และการเขียนโปรแกรมในภาษา HTML จากนั้นนำทฤษฎีทั้งหลายไปพัฒนาโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อสร้างสมการคำนวณสมบัติของสารที่ขึ้นกับสภาวะดำเนินการ จากนั้นนำสมการคำนวณสมบัติที่ได้มาและสมการตามทฤษฎีต่าง ๆ ได้แก่ สมการทางกลศาสตร์ของไหล^[1] และสมการการถ่ายโอนความร้อน^[2] มาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา HTML ซึ่งโปรแกรมนี้จะสามารถคำนวณค่าความดันลดของท่อขนส่ง อุณหภูมิขาออกของท่อขนส่ง NPSH การถ่ายโอนความร้อนของท่อขนส่ง และอายุการใช้งานของท่อขนส่งในแต่ละ Section นอกจากนี้ยังสามารถสรุปค่าความดันลด NPSH การถ่ายโอนความร้อน และอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดของระบบท่อโดยรวมได้ ซึ่งค่าที่คำนวณได้เหล่านี้จะสามารถประเมินและให้คำแนะนำในเรื่ององค์ประกอบของระบบท่อขนส่งที่เหมาะสม และสามารถทำนายผลของความปลอดภัยในกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ โปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นจะช่วยให้ผู้ใช้งานทำงานได้สะดวกรวดเร็ว และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้ใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนคอมพิวเตอร์ทางการค้า ซึ่งมีค่าลิขสิทธิ์การใช้งานสูง นอกจากการเขียนโปรแกรมแล้ว สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก คือ การตรวจสอบความถูกต้อง ในการวิเคราะห์ตรวจสอบผลลัพธ์ต่าง ๆ จากการคำนวณด้วยโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจสอบค่าสมบัติจากสมการที่ได้มาจากการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล และการตรวจสอบผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

การตรวจสอบความถูกต้องของสมการคำนวณสมบัติจากการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด ความจุความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความดันไอสำหรับน้ำ และความหนาแน่น ความหนืด ความจุความร้อน และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสำหรับอากาศ จะพบว่าสำหรับสมบัติของสาร ส่วนมากจะมีความเบี่ยงเบนจากค่าจริงเพียงเล็กน้อย บางชนิดจะมีความเบี่ยงเบนจากค่าจริงปานกลางถึงสูง แต่โดยภาพรวมของทั้งน้ำและอากาศแล้ว ความเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่คำนวณและค่าจริงจะมีความเบี่ยงเบนเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ในขอบเขต 5%^[10] และสามารถนำไปใช้งานต่อได้

การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ซึ่งทำการตรวจสอบเทียบกับการคำนวณมือด้วยโจทย์พื้นฐาน โจทย์ที่ซับซ้อน และโปรแกรมจำลองสำเร็จรูป สำหรับการตรวจสอบเทียบกับโจทย์พื้นฐาน ความดันลุดจะมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 1.03 NPSH จะมีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 1.30 อายุการใช้งานของท่อชนิด Stainless จะไม่มีความคลาดเคลื่อน และอายุการใช้งานของท่อชนิด Iron จะไม่มีความคลาดเคลื่อนเช่นกัน สำหรับการตรวจสอบเทียบกับโจทย์ที่มีความซับซ้อน จะพบว่า มีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนคือ 0.42 และสำหรับการตรวจสอบเทียบกับโปรแกรมจำลองสำเร็จรูปจะพบว่ามีค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 3.979 ซึ่งความคลาดเคลื่อนจากทั้ง 3 กรณีจะเกิดจากความเบี่ยงเบนจากค่าจริงของสมบัติของสาร จากสมการที่ได้จากการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล และการใช้สมการของฮาลแลนด์ที่ทำให้ค่าปัจจัยความเสียดทานมีความเบี่ยงเบนจากความเป็นจริง โดยสรุปแล้วค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนในกรณีต่าง ๆ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ในขอบเขต 5% ^[10] ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ มีความถูกต้องแม่นยำ เกิดขึ้นในพื้นฐานของความเป็นจริง มีทฤษฎีเบื้องหลังรองรับไว้ และสามารถนำผลลัพธ์เหล่านี้ไปใช้งานต่อไปได้ ตัวอย่างเช่น การออกแบบระบบท่อขนส่งที่เหมาะสม การเลือกใช้เครื่องอัดของไหล พร้อมกับมีความปลอดภัยในกระบวนการ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- โปรแกรมนี้มีข้อจำกัดคือช่วงการใช้งาน เนื่องจากการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าสมบัตินี้มีช่วงจำกัด คือ ในช่วงอุณหภูมิ 0.01 – 360 °C ความดันที่ 0.6113 – 18,651 kPa และในช่วงอุณหภูมิ -100 – 2,000 °C ความดันที่ 10 – 20,000 kPa สำหรับน้ำและอากาศ ตามลำดับ โดยที่สามารถกำจัดข้อจำกัดนี้ได้ด้วยการเพิ่มช่วงของข้อมูลให้มากขึ้น
- ในอนาคตอาจมีวิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ของข้อมูล หรือ Equation of states เพิ่มเติมที่สามารถลดค่าความเบี่ยงเบนของค่าสมบัติจากการคำนวณเทียบกับค่าจริง ซึ่งจะส่งผลให้ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองท่อขนส่งบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
- สามารถนำโปรแกรมไปพัฒนาเพิ่มเติมต่อไปได้ เช่น การเพิ่มสารของไหลในท่อขนส่งมากขึ้น การเพิ่มรูปแบบท่อขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ การเพิ่มเติมในส่วนแสดงผล

รายการอ้างอิง

- [1] Yunus A. Cengel, John M. Cimbala, Fluid Mechanics. McGraw-Hill Education. 3 (2014).
- [2] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill Education. 5 (2015).
- [3] รศ. ดร.เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, ระบบท่อในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Piping System). คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.). 1 (2019).
- [4] นันทวัฒน์ ไชยรัตน์. ข้อมูลเกี่ยวกับ HTML. [Online]. 2019. Available from: https://www.hellomyweb.com/course/html/intro_html/#smooth-scroll-top [accessed 19 March 2020].
- [5] HTML. [Online]. 2020. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/HTML>. [accessed 19 March 2020].
- [6] โครงสร้างพื้นฐานของ HTML. [Online]. 2020. Available from: <https://sites.google.com/site/class0223/learnhtml>. [accessed 19 March 2020].
- [7] Lixin Wei, Qimeng Lei, Jian Zhao, Hang Donga, Lin Yang, Numerical simulation for the heat transfer behavior of oil pipeline during the shutdown and restart process. Case Studies in Thermal Engineering. 12 (2018) 470 – 483.
- [8] Raoni, Rafael, Argimiro R. Secchi, and Micaela Demichela. Employing Process Simulation for Hazardous Process Deviation Identification and Analysis. Safety Science. 101 (2018) 209–219.
- [9] หน่วยที่ 2 ความรู้เบื้องต้นภาษา HTML. [Online]. 2019. Available from: http://html-tpn-m5.blogspot.com/p/blog-page_1.html. [Accessed 12 April 2020].
- [10] Yen HsiungKiang, Chapter 2 - Model development and validation methodology: A classical big data application. Fuel Property Estimation and Combustion Process Characterization. 1 (2018) 11 – 39.

ภาคผนวก ก.

การใช้งานโปรแกรม Pipeline simulator

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Pipeline simulator

1 สำหรับท่อ 1 ส่วน

1.1 เปิดโปรแกรมเข้ามาที่หน้า user interface

Pipeline Simulator

Delta P (total) is kPa
NPSH (total) is m
Q (total) W
Life span (minimum) year

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1

รูปที่ ก-1 หน้าแรกของโปรแกรม Pipeline Simulator

1.2 กรอกข้อมูลองค์รวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อคือ ชนิดของไหล อุณหภูมิ ความดัน ค่าความถ่วง อัตราการไหล อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

Pipeline Simulator

Delta P (total) is kPa
NPSH (total) is m
Q (total) W
Life span (minimum) year

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1

รูปที่ ก-2 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลองค์รวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อ

1.3 กรอกข้อมูลสำหรับในส่วนของท่อที่ต้องการ คือ รัศมีภายใน ระดับความต่างกันของท่อ ความยาวท่อ ความหนา ค่าความร้อนจำเพาะของสาร อุปกรณ์เสริมซึ่งติดตั้งหลังท่อ

Section #1	
Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

- Delta P (seg1) is kPa
- T(out) (seg1) is C
- NPSH (seg1) is m
- Q (seg1) is W
- Life span (seg1) is year

Segment

Go

รูปที่ ก-3 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของการกรอกข้อมูลท่อส่วนที่ 1

1.4 กดปุ่ม Go เพื่อคำนวณ

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

- Delta P (seg1) is kPa
- T(out) (seg1) is C
- NPSH (seg1) is m
- Q (seg1) is W
- Life span (seg1) is year

Segment

Go

รูปที่ ก-4 ปุ่ม Go ในส่วนท่อส่วนที่ 1

1.5 คู่มือผลลัพธ์ที่ต้องการ

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None ▾


Results

Delta P (seg1) is 5.29 kPa
T(out) (seg1) is 25.00 C
NPSH (seg1) is 9.81 m
Q (seg1) is 0.00 W
Life span (seg1) is 125.00 year

+ Segment

Go

รูปที่ ก-5 ผลลัพธ์ที่ได้ในท่อส่วนที่ 1



Section 1

Delta P (total) is 5.29 kPa
NPSH (total) is 9.81 m
Q (total) 0.00 W
Life span (minimum) 125.00 year

Select Component	Water ▾
Select Material	Stainless ▾
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

Section #1

รูปที่ ก-6 ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งระบบท่อ

2 สำหรับท่อหลายส่วน

2.1 เปิดโปรแกรมเข้ามาที่หน้า user interface

Pipeline Simulator

Delta P (total) is kPa
NPSH (total) is m
Q (total) W
Life span (minimum) year

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1

รูปที่ ก-7 หน้าแรกของโปรแกรม Pipeline Simulator

2.2 กรอกข้อมูลองค์รวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อคือ ชนิดของไหล อุณหภูมิ ความดัน ค่าความถ่วง อัตราการไหล อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

Pipeline Simulator

Delta P (total) is kPa
NPSH (total) is m
Q (total) W
Life span (minimum) year

Select Component	Water
Select Material	Stainless
Temperature(C)	25
Pressure(kPa)	101.3
Gravity(m/s ²)	9.81
Flowrate(m ³ /s)	0.02
Temperature ambient(C)	25

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1

รูปที่ ก-8 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลองค์รวมที่จำเป็นสำหรับระบบท่อ

2.3 กรอกข้อมูลสำหรับในส่วนของท่อที่ 1 ที่ต้องการ คือ รัศมีภายใน ระดับความต่างกันของท่อ ความยาวท่อ ความหนา ค่าความร้อนจำเพาะของสาร อุปกรณ์เสริมซึ่งติดตั้งหลังท่อ

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

- Delta P (seg1) is kPa
- T(out) (seg1) is C
- NPSH (seg1) is m
- Q (seg1) is W
- Life span (seg1) is year

Segment

Go

รูปที่ ก-9 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของข้อมูลท่อส่วนที่ 1

2.4 กดปุ่ม segment เพิ่มจำนวนส่วนของท่อ

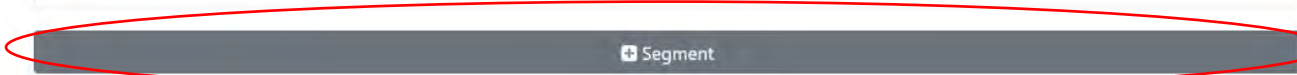
Section #1


Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

- Delta P (seg1) is 5.29 kPa
- T(out) (seg1) is 25.00 C
- NPSH (seg1) is 9.81 m
- Q (seg1) is 0.00 W
- Life span (seg1) is 125.00 year





รูปที่ ก-10 ปุ่ม segment ของโปรแกรม

2.5 กรอกข้อมูลสำหรับในส่วนของท่านอื่นที่ต้องการ คือ รัศมีภายใน ระดับความต่างกันของท่าน ความยาวท่าน ความหนา ค่าความร้อนจำเพาะของสาร อุปกรณ์เสริมซึ่งติดตั้งหลังท่าน

Section #2

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None ▾

Results

- Delta P (seg2) is kPa
- T(out) (seg2) is C
- NPSH (seg2) is m
- Q (seg2) is W
- Life span (seg2) is year

+ Segment

Go

รูปที่ ก-11 หน้าแรกของโปรแกรมในส่วนของคุณข้อมูลท่านอื่น ๆ

2.6 กดปุ่ม Go เพื่อคำนวณ

Section #2

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None ▾

Results

Delta P (seg2) is kPa

T(out) (seg2) is C

NPSH (seg2) is m

Q (seg2) is W

Life span (seg2) is year

+ Segment

Go

รูปที่ ก-12 ปุ่ม Go ของโปรแกรม

2.7 คู่มือผลลัพธ์ที่ต้องการ

Section #1

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thickness (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

Results

Delta P (seg1) is 5.29 kPa
T(out) (seg1) is 25.00 C
NPSH (seg1) is 9.81 m
Q (seg1) is 0.00 W
Life span (seg1) is 125.00 year

+ Segment

Go

รูปที่ ก-13 ผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนของท่านที่ 1

Flowrate(m³/s) 0.02

Temperature ambient(C) 25

Section #1

Section #2

Diameter(inlet)(m)	0.1
Diameter(outlet)(m)	0.1
Elevation length(m)	0
Length(m)	10
Thick (m)	0.1
h (inside) (W/m ² .K)	2
h (outside) (W/m ² .K)	2

Select option units (this unit is installed behind pipe) None

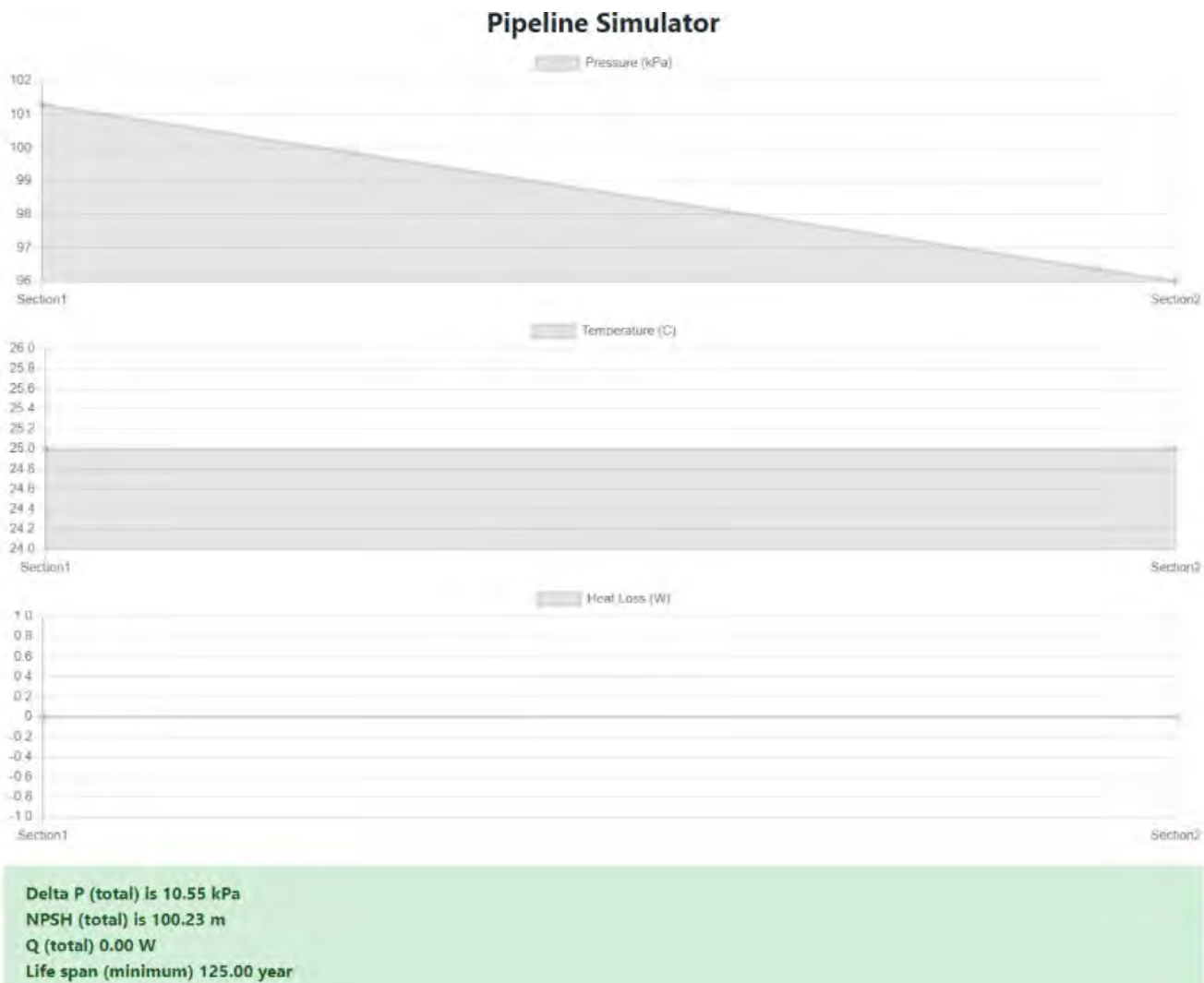
Results

Delta P (seg2) is 5.26 kPa
T(out) (seg2) is 25.00 C
NPSH (seg2) is 9.28 m
Q (seg2) is 0.00 W
Life span (seg2) is 125.00 year

+ Segment

Go

รูปที่ ก-14 ผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนอื่น ๆ



รูปที่ ก-15 ผลลัพธ์ที่ได้ในระบบท่อองค์กรวม

ภาคผนวก ข.

Code ของโปรแกรม Pipeline simulator

รูปแบบของ Code ในภาษา HTML ที่เขียนขึ้นทั้งหมดในงานวิจัยนี้

```
<!doctype html>

<html lang="en">

  <head>

    <!-- Required meta tags -->

    <meta charset="utf-8">

    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">

    <!-- Bootstrap CSS -->

    <link rel="stylesheet"
href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.4.1/css/bootstrap.min.css"
integrity="sha384-Vkoo8x4CGsO3+Hhxv8T/Q5PaXtkKtu6ug5TOeNV6gBiFeWPGFN9MuhOf23Q9Ifjh"
crossorigin="anonymous">

    <link rel="stylesheet" href="css/font-awesome.min.css">

    <title>Pipeline Simulator</title>

  </head>

  <div class="row">

    <div class="col-sm">

    </div>

    <div class="col-sm">

      <h5 style="text-align:center; font-weight: bold; font-size: 25px;">Pipeline Simulator</h5>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-sm">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="container">
```

```
<div class="row" id="plot" style="display:none;">
```

```
<div class="col">
```

```
<canvas id="Pchart" width="" height="250" style="width:100%;"></canvas>
```

```
<canvas id="Tchart" width="" height="250" style="width:100%;"></canvas>
```

```
<canvas id="Qchart" width="" height="250" style="width:100%;"></canvas>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row" style="margin-top:15px;">
```

```
<div class="col">
```

```
<div class="alert alert-success" role="alert">
```

```
<p class="" style="margin:0px; font-weight: bold">Delta P (total) is <span
id="deltaP"></span> kPa</p>
```

```

<div class="row" id="NPSHrow">

  <div class="col">

    <p class="" style="margin:0px; font-weight: bold">NPSH (total) is <span
id="NPSH"></span> m </p>

  </div>

</div>

<p class="" style="margin:0px; font-weight: bold">Q (total) <span id="Qtotal"></span>
W</p>

  <p class="" style="margin:0px; font-weight: bold">Life span (minimum) <span
id="lifemin"></span> year</p>

</div>

</div>

</div>

```

```

<div class="row">

  <div class="col-3">

    <p>Select Component</p>

  </div>

  <div class="col-6">

    <div class="dropdown">

```



```
<select id="component" class="form-control">
  <option value="water">Water</option>
  <option value="air">Air</option>
</select>
</div>
</div>
<div class="col-3"></div>
<div class="col-3">
  <p>Select Material</p>
</div>
<div class="col-6">
  <div class="dropdown">
    <select id="material" class="form-control">
      <option value="stainless">Stainless</option>
      <option value="iron">Iron</option>
    </select>
  </div>
</div>
</div>
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">  
  
<p>Temperature(C)</p>  
  
</div>  
  
<div class="col-6">  
  
  <input type="number" class="form-control" id="T" value="25" aria-  
describedby="emailHelp">  
  
</div>  
  
<div class="col">  
  
  
  
</div>  
  
<div class="col">  
  
  
  
</div>  
  
</div>  
  
<div class="row">  
  
<div class="col-3">  
  
<p>Pressure(kPa)</p>  
  
</div>  
  
<div class="col-6">  
  
  <input type="number" class="form-control" id="P" value="101.3" aria-  
describedby="emailHelp">  
  
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Gravity(m/s<sup>2</sup></p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control" id="g" value="9.81" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Flowrate(m<sup>3</sup>/s)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control" id="F" value="0.02" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Temperature ambient(C)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control" id="Tam" value="25" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="accordion" id="accordionExample">
```

```
<div class="card">
```

```
<div class="card-header" id="headingOne">
```

```
<h2 class="mb-0">
```

```
<button class="btn btn-link" type="button" data-toggle="collapse" data-  
target="#collapseOne" aria-expanded="true" aria-controls="collapseOne">
```

```
Section #1
```

```
</button>
```

```
</h2>
```

```
</div>
```

```
<div id="collapseOne" class="collapse show" aria-labelledby="headingOne" data-  
parent="#accordionExample">  
  
  <div class="card-body">  
  
    <div class="row">  
  
      <div class="col-3">  
  
        <p>Diameter(inlet)(m)</p>  
  
      </div>  
  
      <div class="col-6">  
  
        <input type="number" class="form-control Diin" id="" value="0.1" aria-  
describedby="emailHelp">  
  
      </div>  
  
      <div class="col">  
  
      </div>  
  
    </div>  
  
    <div class="row">  
  
      <div class="col-3">  
  
        <p>Diameter(outlet)(m)</p>  
  
      </div>  
  
      <div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control Diout" id="" value="0.1" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Elevation length(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control Ele" id="" value="0" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Length(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control L" id="" value="10" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```



```
<div class="row">

  <div class="col-3">

    <p>Thickness (m)</p>

  </div>

  <div class="col-6">

    <input type="number" class="form-control Thick" id="" value="0.1" aria-
describedby="emailHelp">

  </div>

  <div class="col">

  </div>

</div>

</div>

<div class="row">

  <div class="col-3">

    <p>h (inside) (W/m<sup>2</sup>.K)</p>

  </div>
```

```
<div class="col-6">

    <input type="number" class="form-control Hin" id="" value="2" aria-
describedby="emailHelp">

</div>

<div class="col">

</div>

</div>

<div class="row">

    <div class="col-3">

        <p>h (outside) (W/m<sup>2</sup>.K)</p>

    </div>

    <div class="col-6">

        <input type="number" class="form-control Hout" id="" value="2" aria-
describedby="emailHelp">

    </div>

    <div class="col">

</div>

</div>
```

```

<div class="row">

  <div class="col-6">

    <p>Select option units (this unit is installed behind pipe)</p>

  </div>

  <div class="col-6">

    <div class="dropdown">

      <select id="" class="form-control unit">

        <option value="smoothbend90">Smooth bend 90 (thread)</option>
<!--KL=0.9 -->

        <option value="180returnbend">180 return bend (thread)</option> <!--KL=1.5 -->

        <option value="sharpedgedentrance">Sharp-edged entrance</option>
<!--KL=0.5 -->

        <option value="smoothbend90flanged">Smooth bend 90
(flanged)</option> <!--KL=0.3 -->

        <option value="gatevavlefullyopen">Gate vavle (fully open)</option>
<!--KL=0.2 -->

        <option value="exit">Exit</option> <!--KL=1.06 -->

        <option value="none" selected>None</option> <!--KL=0 -->

      </select>

    </div>

```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="card" style="">
```

```
<div class="card-body">
```

```
<h5 class="card-title">Results</h5>
```

```
<p class="text-primary" style=" font-weight: bold">Delta P (seg1) is <span  
class="deltaP"></span> kPa</p>
```

```
<p class="text-primary" style=" font-weight: bold">T(out) (seg1) is <span  
class="Tout"></span> C</p>
```

```
<p class="text-primary" style=" font-weight: bold">NPSH (seg1) is <span  
class="NPSH"></span> m</p>
```

```
<p class="text-primary" style=" font-weight: bold">Q (seg1) is <span  
class="Q"></span> W</p>
```

```
<p class="text-primary" style=" font-weight: bold">Life span (seg1) is <span  
class="Life"></span> year</p>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<style>
```

```
.card p {
```

```
  line-height: 15px;;
```

```
}
```

```
</style>
```

```
<div class="row" style="margin-top:20px;">
```

```
<div class="col">
```

```
<button class="btn btn-secondary btn-block" onclick="addSeg();"
type="button" ><i class="fa fa-plus-square" aria-hidden="true"></i> Segment</button>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col" style="margin-top:25px;">
```

```
<button class="btn btn-primary btn-block" onclick="button_click()" type="button"
>Go</button>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<!-- Optional JavaScript -->
```

```
<!-- jQuery first, then Popper.js, then Bootstrap JS -->
```

```
<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.slim.min.js" integrity="sha384-
J6qa4849bLE2+poT4WnyKhv5vZF5SrPo0iEjwBvKU7imGFAV0wwj1yYfoRSJoZ+n"
crossorigin="anonymous"></script>
```

```
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/popper.js@1.16.0/dist/umd/popper.min.js"
integrity="sha384-Q6E9RHvblyZFJoft+2mJbHaEwldlvI9IOYy5n3zV9zzTml3UksdQRVvoxMfooAo"
crossorigin="anonymous"></script>
```

```
<script src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.4.1/js/bootstrap.min.js"
integrity="sha384-wfSDF2E50Y2D1uUdj0O3uMBJnjuUD4Ih7YwaYd1iqfktj0Uod8GCExl3Og8ifwB6"
crossorigin="anonymous"></script>
```

```
<script src="chartjs/Chart.bundle.min.js"></script>
```

```
<script>
```

```
console.log("Happy new year")
```

```
P=[];seg=[];N=[];numseg=1;Temp=[];
```

```
function pipe(T,P,g,F,Tam,Diin,Diout,Ele,L,component,material,Thick,Hin,Hout,unit) {
```

```
this.T = T,  
  
this.P = P,  
  
this.g = g,  
  
this.F = F,  
  
this.Tam = Tam,  
  
this.Diin = Diin,  
  
this.Diout = Diout,  
  
this.Ele = Ele,  
  
this.L= L,  
  
this.component = component,  
  
this.material = material,  
  
this.Thick = Thick,  
  
this.Hin = Hin,  
  
this.Hout = Hout,  
  
this.unit = unit,  
  
this.calDen = function() {  
  
    if (this.component=="water"){  
  
        return 1001+((-0.1152)*this.T)+(0.02347*this.P)+((-0.003299)*Math.pow(this.T,2))+((-  
5.87*(Math.pow(10,-5))) *this.T*this.P)+((-9.97*Math.pow(10,-8))*Math.pow(this.P,2));  
  
    }  
}
```

```

else if (this.component=="air"){

    return this.P*(28.95/(8.3145*(this.T+273.15)));

}

},

this.calCp = function() {

    if (this.component=="water"){

        return 4184+(-0.2934*this.T)+(0.3853*this.P)+(0.003483*Math.pow(this.T,2))+(-
0.00133*this.T*this.P)+(2.01*(Math.pow(10,-5))*Math.pow(this.P,2));

    }

    else if (this.component=="air"){

        return 986.2+(0.1858*this.T)+(-0.0003724*this.P)+(-
0.0002035*Math.pow(this.T,2))+2.9*(Math.pow(10,-5))*this.T*this.P+(-6.76*(Math.pow(10,-
7))*Math.pow(this.P,2));

    }

},

this.calVis = function() {

    if (this.component=="water"){

        return 0.001705+(-4.19*(Math.pow(10,-5))*this.T)+(7.25*(Math.pow(10,-
6))*this.P)+(4.56*(Math.pow(10,-7))*Math.pow(this.T,2))+(-1.29*(Math.pow(10,-8))*this.T*this.P)+(-
2.39*(Math.pow(10,-9))*Math.pow(this.T,3))+7.24*(Math.pow(10,-12))*(Math.pow(this.T,2))*this.P);

    }

    else if (this.component=="air"){

```



```

    return (1.78*Math.pow(10,-5))+(4.76*Math.pow(10,-8)*this.T)+(2.42*Math.pow(10,-
10)*this.P)+(-7.47*Math.pow(10,-11)*Math.pow(this.T,2))+(1.53*Math.pow(10,-11)*this.T*this.P)+(-
8.45*Math.pow(10,-13)*Math.pow(this.P,2));

```

```

    }

```

```

},

```

```

this.calK = function() {

```

```

    if (this.component=="water"){

```

```

        return 0.5596+(0.002176*this.T)+(0.0001375*this.P)+(-1.08*Math.pow(10,-
5)*Math.pow(this.T,2))+(-3.78*Math.pow(10,-7)*this.T*this.P)+(1.34*Math.pow(10,-
9)*Math.pow(this.P,2));

```

```

    }

```

```

    else if (this.component=="air"){

```

```

        return 0.02286+(6.87*Math.pow(10,-5)*this.T)+(-3.11*Math.pow(10,-
7)*this.P)+(6.34*Math.pow(10,-9)*Math.pow(this.T,2))+(-5.05*Math.pow(10,-
9)*this.T*this.P)+(3.47*Math.pow(10,-10)*Math.pow(this.P,2));

```

```

    }

```

```

},

```

```

this.calHeattransfer = function() {

```

```

    if (this.material=="stainless"){

```

```

        this.Kpipe = 15;

```

```

    }

```

```

    else if (this.material=="iron"){

```

```

        this.Kpipe = 80;
    }

    return
    (1/(this.Hin*2*Math.PI*(this.Diin/2)*this.L))+((Math.log(((this.Diin/2)+this.Thick)/(this.Diin/2)))/(2*Math.PI*this.L*this.Kpipe))+1/(this.Hout*2*Math.PI*((this.Diin/2)+this.Thick)*this.L);
},

    this.calLife = function() {

        if (this.material=="stainless"){

            this.corrosion = 0.0008;

        }

        else if (this.material=="iron"){

            this.corrosion = 0.0012;

        }

        return this.Thick/this.corrosion;
    },

    this.calf = function() {

        if (this.material=="stainless"){

            this.rough = 0.000002;

        }

        else if (this.material=="iron"){

            this.rough = 0.00026;

        }
    }

```

```

return 1/Math.pow((-
1.8*Math.log10((Math.pow((((this.rough)/this.Diin)/3.7),1.11))+6.9/this.calRe()))),2);

    },

this.calPv = function() {

return Math.pow(10,(7.96681-(1668.21/(parseFloat(this.T)+228))))*0.1333222;

    },

this.Ac = function() {

return ((Math.pow(this.Diin,2))*(Math.PI))/4;

    },

this.velocity = function() {

return (this.F/this.Ac());

    },

this.velocityout = function() {

return ((Math.pow(this.Diin,2))/(Math.pow(this.Diout,2)))*this.velocity();

    },

this.calRe = function() {

    return (this.calDen()*this.velocity()*this.Diin)/this.calVis();

},

this.hL = function() {

    if (this.unit=="smoothbend90"){

        this.KL=0.9;

```

```
    }  
  
    else if (this.unit=="180returnbend"){  
        this.KL=1.5;  
    }  
  
    else if (this.unit=="sharpedgedentrance"){  
        this.KL=0.5;  
    }  
  
    else if (this.unit=="smoothbend90flanged"){  
        this.KL=0.3;  
    }  
  
    else if (this.unit=="gatevavlefullyopen"){  
        this.KL=0.2;  
    }  
  
    else if (this.unit=="exit"){  
        this.KL=1.06;  
    }  
  
    else if (this.unit=="none"){  
        this.KL=0;  
    }  
  
    return ((this.calf()*(this.L/this.Diin)+this.KL)*(Math.pow(this.velocity(),2))/(2*this.g));  
},
```

```

this.calQ = function() {

return (this.Tam-this.T)/this.calHeattransfer();

    },

this.caldeltaP = function() {

if (this.calRe(<2300){

    this.Alpha=2;

}

else if (this.calRe(>10000){

    this.Alpha=1.05;

}

return (this.calDen()*(((this.Alpha*Math.pow(this.velocityout(),2))-
(this.Alpha*Math.pow(this.velocity(),2)))/2)+(this.g*(this.Ele+this.hL())))/1000;

},

this.caldeltaT = function() {

return this.calQ()/(this.F*this.calDen()*this.calCp());

    },

this.calTout = function() {

return this.T+this.caldeltaT();

    },

this.calNpsh = function() {

```

```

        return ((this.P-this.caldeltaP())/(this.calDen()*this.g)*1000) +
(Math.pow(this.velocityout(),2)/(2*this.g) - ((this.calPv()*1000)/(this.calDen()*this.g));

        //return ( ( (this.P-this.caldeltaP()) / (this.calDen()*this.g)*1000
)+((Math.pow(this.velocityout(),2)/(2*this.g))-((this.calPv()*1000)/(this.calDen()*this.g));

    }

}

function TotalNPSH() {

    deltaP=parseFloat($("#deltaP").html());

    velocityout=seg[numseg-1].velocityout();

    calPv=seg[numseg-1].calPv();

    calDen=seg[numseg-1].calDen();

    g = parseFloat($("#g").val());

    P1 = parseFloat($("#P").val());

    return ((P1-deltaP/(calDen*g)*1000) + (Math.pow(velocityout,2)/(2*g)) -
((calPv*1000)/(calDen*g)));

}

function button_click() {

    F = parseFloat($("#F").val());

    g = parseFloat($("#g").val());

    //T = parseFloat($("#T").val());

```

```
Temp[0] = parseFloat($("#T").val());

Tam = parseFloat($("#Tam").val());

P[0] = parseFloat($("#P").val());

Diin= $("#.Diin")

Diout= $("#.Diout")

component =$("#component").val();

material =$("#material").val();

Ele =$("#.Ele")

L= $("#.L")

Thick = $("#.Thick")

Hin = $("#.Hin")

Hout = $("#.Hout")

unit = $("#.unit")

if (component == "air"){

    $("#.NPSHrow").hide();

}

else {

    $("#.NPSHrow").show();

}
```

```

//seg[0] = new
pipe(T,P[0],g,F,Tam,parseFloat(Diin[0].value),parseFloat(Diout[0].value),parseFloat(Ele[0].value),par
seFloat(L[0].value),component,material,parseFloat(Radin[0].value),parseFloat(Radout[0].value),par
seFloat(Hin[0].value),parseFloat(Hout[0].value),unit[0].value);

seg[0] = new
pipe(Temp[0],P[0],g,F,Tam,parseFloat(Diin[0].value),parseFloat(Diout[0].value),parseFloat(Ele[0].val
ue),parseFloat(L[0].value),component,material,parseFloat(Thick[0].value),parseFloat(Hin[0].value),
parseFloat(Hout[0].value),unit[0].value);

for (i=1 ; i<numseg ; i++){

P[i]=P[i-1]-seg[i-1].caldeltaP();

N[i]=N[i-1]-seg[i-1].calNpsh();

Temp[i]=Temp[i-1]+seg[i-1].caldeltaT();

//Q[i]=Q[i-1]-seg[i-1].calQ();

//seg[i] = new
pipe(T,P[i],g,F,Tam,parseFloat(Diin[i].value),parseFloat(Diout[i].value),parseFloat(Ele[i].value),parse
Float(L[i].value),component,material,parseFloat(Radin[i].value),parseFloat(Radout[i].value),parseFl
oat(Hin[i].value),parseFloat(Hout[i].value),unit[i].value);

seg[i] = new
pipe(Temp[i],P[i],g,F,Tam,parseFloat(Diin[i].value),parseFloat(Diout[i].value),parseFloat(Ele[i].value)
,parseFloat(L[i].value),component,material,parseFloat(Thick[i].value),parseFloat(Hin[i].value),parse
Float(Hout[i].value),unit[i].value);

```



```

    $("#deltaP").html(round(P[0]-(P[i]-seg[i].caldeltaP()),2));

    //$("#Tout").html(T[0]-(T[i]-seg[i].caldelT()));

}

j=0;

k=0;

r=0

m=0;

n=0;

// DISPLAY RESULTS

Qdata = [];

//LifeData=[];

//ToutData=[];

if (numseg==1){

    Qdata[0] = seg[0].calQ();

    $("#deltaP").html(round(seg[0].caldeltaP(),2));

    $("#NPSH").html(round(seg[0].calNpsh(),2));

    $("#Q").html(round(seg[0].calQ(),2));

    $("#Qtot").html(round(seg[0].calQ(),2));

    $("#Life").html(round(seg[0].calLife(),2));

    $("#Tout").html(round(seg[0].calTout(),2));

```

```
} else {  
  
    npshtotal = TotalNPSH();  
  
    $("#NPSH").html(round(npshtotal,2));  
  
};  
  
$(".deltaP").each(function(){  
  
    try {  
  
        $(this).html(round(seg[j].caldeltaP(),2));  
  
        j++;  
  
    }  
  
    catch(err) {  
  
        //  
  
    }  
  
});  
  
$(".NPSH").each(function(){  
  
    try {  
  
        $(this).html(round(seg[k].calNpsh(),2));  
  
        k++;  
  
    }  
  
    catch(err) {  
  
        //
```

```
    }

});

Q_total = 0;

Qdata[0] = seg[0].calQ();

//Q_total = Qdata[0];

$(".Q").each(function(){

    try {

        Qdata[r] = seg[r].calQ();

        Q_total = Q_total+Qdata[r];

        $(this).html(round(seg[r].calQ(),2));

        r++;

        $("#Qtotal").html(round(Q_total,2));

    }

    catch(err) {

        //

    }

});

LifeArray = [];

$(".Life").each(function(){
```

```
try {  
  
    LifeArray[m] = seg[m].calLife();  
  
    $(this).html(round(seg[m].calLife(),2));  
  
    $("#lifemin").html(round(Math.min.apply(Math, LifeArray),2));  
  
    m++;  
  
}  
  
catch(err) {  
  
    //  
  
}  
  
  
});  
  
$(".Tout").each(function(){  
  
    try {  
  
        $(this).html(round(seg[n].calTout(),2));  
  
        n++;  
  
    }  
  
    catch(err) {  
  
        //  
  
    }  
  
});
```

```
$("#plot").show();

plot(P,"Pchart","Pressure (kPa)");

plot(Qdata,"Qchart","Heat Loss (W)");

plot(Temp,"Tchart","Temperature (C)");

}

function addSeg(seg){

    numseg++;

    $('#template .segnum').html(numseg);

    $('#accordionExample').append($('#template').html());

}

</script>

<script>

function round(value, decimals) {

    return Number(Math.round(value +'e'+ decimals) +'e-'+ decimals).toFixed(decimals);

}

}
```

```
function plot(data,name,title){  
  
xval = [];  
  
for (i = 0; i < numseg; i++) {  
  
    xval[i] = "Section" + (i+1);  
  
}  
  
var ctx = document.getElementById(name).getContext('2d');  
  
var myChart = new Chart(ctx, {  
  
    type: 'line',  
  
    data: {  
  
        labels: xval,  
  
        datasets: [{  
  
            label: title,  
  
            data: data,  
  
        }]  
  
    },  
  
    options: {  
  
        scales: {  
  
            yAxes: [{  
  
                ticks: {  
  
                    beginAtZero: false
```

```
        }
    }}
}
}
});
}
</script>
</body>

<div class="" id="template" style="display: none;">

<div class="card">

    <div class="card-header" id="headingTwo">

        <h2 class="mb-0">

            <button class="btn btn-link collapsed" type="button" data-toggle="collapse" data-
target="#collapseTwo" aria-expanded="false" aria-controls="collapseTwo">

                Section #<span class="seignum"></span>

            </button>

        </h2>

    </div>

    <div id="collapseTwo" class="collapse" aria-labelledby="headingTwo" data-
parent="#accordionExample">

        <div class="card-body">
```

```
<!-- Start Seg 2-->
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Diameter(inlet)(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control Diin" id="" value="0.1" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Diameter(outlet)(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control Diout" id="" value="0.1" aria-  
describedby="emailHelp">
```



```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Elevation length(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control Ele" id="" value="0" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col-3">
```

```
<p>Length(m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">
```

```
<input type="number" class="form-control L" id="" value="10" aria-  
describedby="emailHelp">
```

```
</div>
```

```
<div class="col">
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="row">
```

```
<div class="col">
```

```
<p>Thick (m)</p>
```

```
</div>
```

```
<div class="col-6">

    <input type="number" class="form-control Thick" id="" value="0.1" aria-
describedby="emailHelp">

</div>

<div class="col">

</div>

</div>

<div class="row">

    <div class="col-3">

        <p>h (inside) (W/m<sup>2</sup>.K)</p>

    </div>

    <div class="col-6">

        <input type="number" class="form-control Hin" id="" value="2" aria-
describedby="emailHelp">

    </div>

    <div class="col">

</div>

</div>
```

```

<div class="row">

  <div class="col-3">

    <p>h (outside) (W/m<sup>2</sup>.K)</p>

  </div>

  <div class="col-6">

    <input type="number" class="form-control Hout" id="" value="2" aria-
describedby="emailHelp">

  </div>

  <div class="col">

    </div>

</div>

<div class="row">

  <div class="col-6">

    <p>Select option units (this unit is installed behind pipe)</p>

  </div>

  <div class="col-6">

    <div class="dropdown">

      <select id="" class="form-control unit">

```

```

        <option value="smoothbend90">Smooth bend 90 (thread)</option>
<!--KL=0.9 -->

        <option value="180returnbend">180 return bend (thread)</option>
<!--KL=1.5 -->

        <option value="sharpedgedentrance">Sharp-edged entrance</option>
<!--KL=0.5 -->

        <option value="smoothbend90flanged">Smooth bend 90
(flanged)</option> <!--KL=0.3 -->

        <option value="gatevavlefullyopen">Gate vavle (fully open)</option>
<!--KL=0.2 -->

        <option value="exit">Exit</option> <!--KL=1.06 -->

        <option value="none" selected>None</option> <!--KL=0 -->

</select>

</div>

</div>

</div>

<div class="card" style="">

    <div class="card-body">

        <h5 class="card-title">Results</h5>

        <p class="text-primary" style=" font-weight: bold">Delta P (seg<span
class="segnum"></span>) is <span class="deltaP"></span> kPa</p>

        <p class="text-primary" style=" font-weight: bold">T(out) (seg<span
class="segnum"></span>) is <span class="Tout"></span> C</p>

```

```
<p class="text-primary" class="NPSHrow" style=" font-weight: bold">NPSH
(seg<span class="segnum"></span>) is <span class="NPSH"></span> m</p>
```

```
<p class="text-primary" class="" style=" font-weight: bold">Q (seg<span
class="segnum"></span>) is <span class="Q"></span> W</p>
```

```
<p class="text-primary" class="" style=" font-weight: bold">Life span (seg<span
class="segnum"></span>) is <span class="Life"></span> year</p>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<!-- End Seg 2-->
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</html>
```