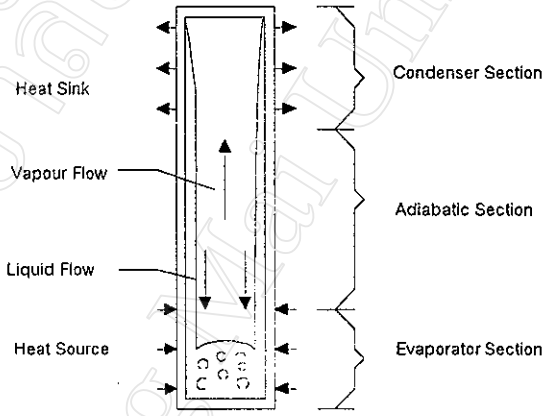
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการและทฤษฎีของเทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอน คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก (ประดิษฐ์ เทอดทูล, 2541) ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำเย็นภายในท่อ ซึ่งระเหยโดยการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนจากการควบแน่นให้กับแหล่งรับความร้อน รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอนซึ่งมีลักษณะเป็นท่อสุญญากาศที่มีสารทำเย็นอยู่ภายในท่อ เทอร์โมไซฟอนมีลักษณะเป็นท่อระบบปิดซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น



รูปที่ 2.1 : ลักษณะส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอน
ที่มา : Engineering Science Data Unit (1981)

หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน คือ ความร้อนจากส่วนทำระเหยจะทำให้สารทำเย็นซึ่งมีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและลอยขึ้นไปสู่ส่วนควบแน่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดการควบแน่นและไหลกลับลงสู่ส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำเย็นมีค่าสูงมาก ดังนั้นสารทำเย็นจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้โดยที่อุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการส่งผ่านความร้อนสูง ดังนั้นจึงสามารถนำเทอร์โมไซฟอนมาใช้ประโยชน์ในด้านการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมากมาย เช่น นำมาใช้เป็นเครื่องอุ่นอากาศสำหรับระบบการเผาไหม้ (Air Pre-Heater) หรือใช้เป็นเครื่องอุ่น

น้ำป้อนที่ใช้ในระบบหม้อไอน้ำ (Economizer) เป็นต้น และในระบบที่มีความต้องการการระบายความร้อนของอุปกรณ์บางชนิดก็สามารถนำเครื่องมือส่งผ่านความร้อนชนิดนี้ไปใช้งานได้ เช่น การระบายความร้อนจากอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์หรือแม้แต่การนำไปใช้ในการรักษาความสมดุลย์ของอุณหภูมิบนดาวเทียมได้ด้วย

2.2 เงื่อนไขการออกแบบเพื่อสร้างท่อความร้อนหรือเทอร์โมไซฟอน

ส่วนประกอบ 3 ส่วนที่สำคัญของท่อความร้อน คือ สารทำเย็น วัสดุพรุนและท่อบรรจุ ในการออกแบบและสร้างท่อความร้อนนั้นจะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายประการ และมีหลักการพื้นฐานในการพิจารณาดังนี้ (Dunn, P. D., and Reay, D. A., 1982)

2.2.1 สารทำเย็น

คุณสมบัติของสารทำเย็นเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบท่อความร้อน เพราะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อวัฏจักรการทำงานของระบบ เนื่องจากต้องมีการระเหยตัวและการควบแน่นอยู่ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน เพื่อที่จะพิจารณาสารทำเย็นที่เหมาะสมที่สุดนั้น สิ่งที่ควรจะต้องพิจารณา ได้แก่

- มีความเข้ากันได้ดีกับวัสดุท่อหรือวัสดุพรุน
- มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี
- ต้องมีคุณสมบัติความเปียกได้ (Wettability) กับวัสดุท่อและวัสดุพรุนเป็นอย่างดี
- ความดันไอต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไปที่อุณหภูมิปฏิบัติงานนั้น ๆ
- มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง
- มีค่าการนำความร้อนสูง
- มีความหนืดต่ำทั้งขณะที่อยู่ในสภาวะของเหลวและไอ
- มีความตึงผิวสูง
- มีจุดเยือกแข็งต่ำ หรือเดือดได้ง่าย

ในการสร้างท่อความร้อนเพื่อใช้งานนั้นปัญหาที่พบบ่อยๆ สำหรับกรณีของการเลือกสารทำเย็น คือ ความไม่มีเสถียรภาพทางความร้อนของสารทำเย็น ซึ่งเป็นปัจจัยให้เกิดความเสียหายต่อท่อความร้อนทั้งในด้านของสมรรถนะการส่งผ่านความร้อน และในด้านของการเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่นขึ้นในระบบ ในการออกแบบท่อความร้อนนั้นนอกจากจะต้องทราบปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้แล้วยังต้องเลือกสารทำเย็นที่มีความเหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ทำการใช้งานด้วย ซึ่งชนิดของสารทำเย็นและช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของสารทำเย็นชนิดต่าง ๆ นั้นแสดงดังในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงชนิดและช่วงอุณหภูมิการใช้งานของสารทำเย็น

สารทำเย็น	จุดหลอมละลาย (°C)	จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (°C)
ฮีเลียม	-272	-296	-271 - -269
ไนโตรเจน	-210	-196	-203 - -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 – 100
R11	-111	24	-40 – 120
เพนเทน	-130	28	-20 – 120
R113	-35	48	-10 – 100
R123	-40	28	-20 - 80
อะซิโตน	-95	57	0 – 120
เมธทานอล	-98	64	10 – 130
เอธทานอล	-112	78	0 – 130
เฮปเทน	-90	98	0 – 150
น้ำ	0	100	30 – 200
โทลูอิน	-95	110	50 – 200
ปรอท	-39	361	250 – 650
โปแตสเซียม	62	774	500 – 1000
โซเดียม	98	892	600 – 1200
ลิเทียม	179	1340	1000 – 1800
เงิน	960	2212	1800 – 2300

ที่มา : Dunn, P. D., and Reay, D. A., 1982

2.2.2 โครงสร้างวัสดุพรุน

โครงสร้างวัสดุพรุนนี้มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับท่อความร้อนที่ออกแบบให้ใช้งานต้านแรงโน้มถ่วงของโลก ทั้งนี้เพื่อสร้างแรงคาพิลลารีที่ใช้ในการดึงของเหลวย้อนกลับสู่ส่วนทำระเหย ซึ่งลักษณะของโครงสร้างวัสดุพรุนที่ดีนั้น ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

. มีโครงสร้างที่สามารถสร้างแรงคาพิลลารีได้

. ต้องมีความเข้ากันได้ดีกับสารทำเย็นและวัสดุท่อ

. ต้องมีความพรุนในระดับที่เหมาะสมกับสารทำเย็นชนิดนั้น ๆ

. ต้องมีลักษณะของโครงสร้างที่สัมผัสกับผนังด้านในของท่อบรรจุอย่างแนบแน่นดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ซึ่งลักษณะและชนิดของวัสดุพรุนนั้นมีหลายอย่างและมีขนาดความพรุนหลาย ๆ ค่า ดังนั้นในการออกแบบจะต้องทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการสร้างแรงคาพิลลารีของวัสดุพรุนให้เหมาะสมและสามารถใช้ได้กับสารทำเย็นและวัสดุท่อที่จะใช้

2.2.3 ท่อบรรจุ

ท่อบรรจุนับเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ประกอบสร้างท่อความร้อนทุก ๆ ชนิด ท่อบรรจุนั้นต้องมีความเชื่อถือได้ว่าไม่มีการรั่วซึม ทั้งยังต้องมีความเชื่อถือได้ในเรื่องของความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิและแรงดันของสารทำเย็นในขณะปฏิบัติงาน ในขณะเดียวกันก็ยังต้องมีความสามารถในการนำความร้อนได้เป็นอย่างดีด้วย ในการเลือกชนิดของวัสดุทำท่อบรรจุนั้นจะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

. ความเข้ากันได้กับสารทำเย็น และสภาวะสิ่งแวดล้อมภายนอก
. อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก
. ค่าการนำความร้อน
. ความสะดวกต่อการขึ้นรูปและการสร้าง
. ความพรุน
. มีความสามารถเปียกได้กับสารทำเย็น

ซึ่งในการออกแบบการใช้งานในหลายกรณีนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอย่างยิ่ง คือ อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก เช่นในงานที่ต้องการใช้ในอวกาศเป็นต้น

2.3 การพิจารณาความเข้ากันได้ของระบบท่อความร้อน

ในระบบท่อความร้อนที่มีการทำงานร่วมกันของสารทำเย็น วัสดุพรุน และท่อบรรจุนั้น ความเข้ากันได้ของปัจจัยทั้ง 3 นี้นับว่าเป็นความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่น้อยไปกว่าเงื่อนไขการออกแบบทั้งหมดเมื่อต้องใช้งานท่อความร้อนเป็นระยะเวลายาวนาน ทั้งนี้เพราะความเข้ากันได้นี้จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทำงาน ความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนทั้งแบบเล็กน้อยและแบบรุนแรงรวมไปถึงความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่น ซึ่งจะเป็นตัวการลดสมรรถนะของท่อความร้อนลง ดังนั้นการพิจารณาถึงความเข้ากันได้จะสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำท่อความร้อนไปใช้งานในระยะยาว ซึ่งตัวอย่างความเข้ากันได้และไม่ได้ของสารทำเย็นกับวัสดุท่อหรือวัสดุพรุนนั้น แสดงดังในตาราง 2

ตาราง 2 ข้อมูลความเข้ากันได้ของวัสดุพรุนกับสารทำเย็นที่มีอุณหภูมิใช้งานต่ำ

วัสดุ	สารทำเย็น			
	น้ำ	อะซิโตน	แอมโมเนีย	เมธทานอล
ทองแดง	RU	RU	NU	RU
อลูมิเนียม	GNC	RL	RU	NR
สแตนเลส	GNT	PC	RU	GNT
นิเกิล	PC	PC	RU	RL
ไฟเบอร์	RU	RU	RU	RU

ที่มา : Dunn, P. D., and Reay, D. A., 1982

เมื่อ RU คือ จากการทดสอบแนะนำว่าใช้ได้ดี
RL เคยมีการทดสอบแล้วพบว่าดี
PC ค่อนข้างเหมาะสม
NR ไม่แนะนำให้ใช้
GNC จะทำให้เกิดก๊าซในทุก ๆ อุณหภูมิทำงาน
GNT จะเกิดก๊าซในสภาวะที่เหมาะสม เช่น เมื่อพบว่ามีการออกซิไดซ์เกิดขึ้น

2.4 การศึกษาอายุการใช้งานของท่อความร้อน

การทดสอบอายุการใช้งานของท่อความร้อนเป็นสิ่งแรกที่จะต้องทำเมื่อออกแบบท่อความร้อนระบบใดๆขึ้นมา แต่ในทางปฏิบัติการทดสอบระบบในระยะเวลาที่ยาวนานภายใต้สภาวะใช้งานจริงๆ เป็นการยากและไม่สะดวก ดังนั้น จึงได้มีการศึกษาการใช้ปัจจัยต่างๆในการเร่งทดสอบอายุการใช้งานของท่อความร้อน ซึ่งตัวแปรที่ใช้ทดสอบอายุการใช้งานมีมากมาย เช่น ความบริสุทธิ์ของสารทำเย็น อุณหภูมิการทำงาน การถ่ายเทความร้อน ความเข้ากันได้ของวัสดุพรุนและผนัง เป็นต้น ซึ่ง Dunn, P. D., and Reay, D. A. (1982) ได้สรุปปัจจัยต่างๆ ที่ต้องพิจารณาในการทดสอบเกี่ยวกับอายุการใช้งานหรือการเร่งอายุการใช้งานของท่อความร้อนไว้ว่า ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณานั้น ได้แก่ สารทำเย็นและท่อทดสอบ ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวกับสารทำเย็นนั้นแยกออกได้เป็น

1. ความบริสุทธิ์ของสารทำเย็น ซึ่งสารทำเย็นนั้นจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนใดๆ อันจะทำให้คุณสมบัติของสารทำเย็นเปลี่ยนไป
2. อุณหภูมิการทดสอบ จะต้องทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิที่สารทำเย็นชนิดดังกล่าวสามารถทำงานได้เพราะสารทำเย็นนั้นจะมีความไวอย่างมากต่ออุณหภูมิปฏิบัติงาน
3. อัตราการส่งผ่านความร้อน โดยอัตราการส่งผ่านความร้อนที่ต่างกันจะมีผลอย่างมากที่ทำให้การเดือดภายในท่อความร้อนนั้นมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนและกัดเซาะได้มากขึ้น
4. ความเข้ากันได้ของสารทำเย็นกับวัสดุท่อ หมายถึงสารทำเย็นนั้นต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุท่อแม้จะเปลี่ยนอุณหภูมิก็ตาม ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวนี้ต้องได้รับการศึกษาและพิจารณาอย่างละเอียด
5. ก๊าซที่ไม่ควบแน่นอันจะส่งผลต่อทั้งสมรรถนะการส่งผ่านความร้อนและการรวมตัวกันกับสารทำเย็นด้วย

ส่วนทางด้านวัสดุที่ใช้ทำท่อนั้นแยกเป็น

1. การสั่นสะเทือนและความเร่ง จะต้องไม่ส่งผลต่อวัสดุทำท่อและไม่ส่งผลให้ระบบปฏิบัติงานผิดพลาด
2. ความมีมาตรฐานของวัสดุท่อ ซึ่งหมายถึงวัสดุท่อต้องมีมาตรฐานเป็นเนื้อเดียวกันทั้งท่อและท่อทดสอบในชุดการทดสอบต้องผลิตด้วยมาตรฐานการผลิตเดียวกัน
3. สภาวะแวดล้อมต้องไม่ทำให้ระบบการทดสอบนั้นเกิดความเสียหายหรือกระทบกระเทือนได้
4. การกัดกร่อนที่ผิวสัมผัสเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจและให้ความสนใจอย่างละเอียดเพื่อใช้ทำนายอายุการใช้งานของท่อความร้อนได้

การใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียสในการศึกษาอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอน

เนื่องจากมีหลายกลไกของความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่มีการกระตุ้น จึงมักมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียสกับการทดสอบอายุการใช้งาน กลไกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัตราหรือพฤติกรรมอันเนื่องมาจากปัจจัยต้นมากกว่า 1 ปัจจัย มักจะเหมาะสมกับแบบจำลองนี้ เช่น การกัดกร่อน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแพร่ การคืบ หรือการเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่น เป็นต้น ซึ่งพฤติกรรมต่าง ๆ เหล่านี้นั้นล้วนแต่เป็นปัจจัยของทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการปฏิบัติงานทั้งสิ้น โดยทั่วไปแบบจำลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ

$$F(T) = C * \exp(-A/kT) \quad (2.1)$$

เมื่อ F(T) คือ ตัวแปรที่ต้องการพิจารณา

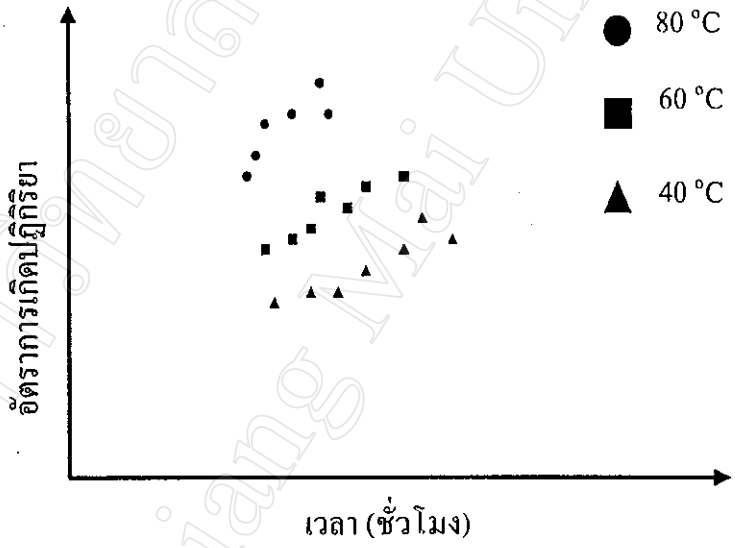
C คือ ค่าคงที่

A คือ พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา

k คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์แมน (Boltzman)

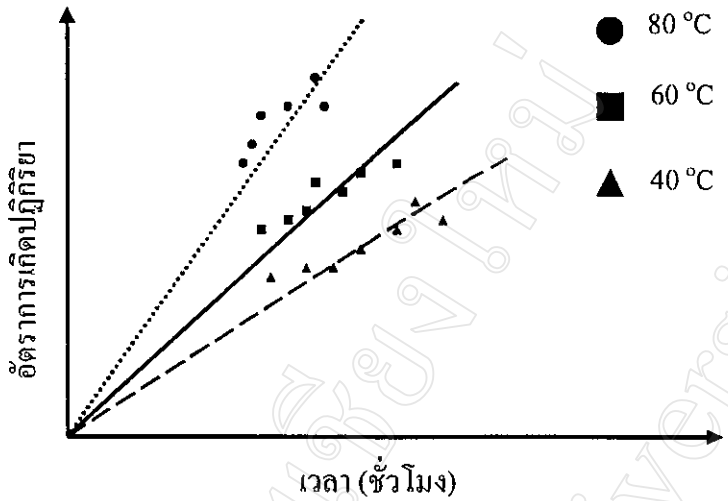
T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

โดยวิธีการเก็บข้อมูลนั้นจะทำการเก็บข้อมูลการทดสอบในทุก ๆ ช่วงอุณหภูมิการทดสอบดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 2.2



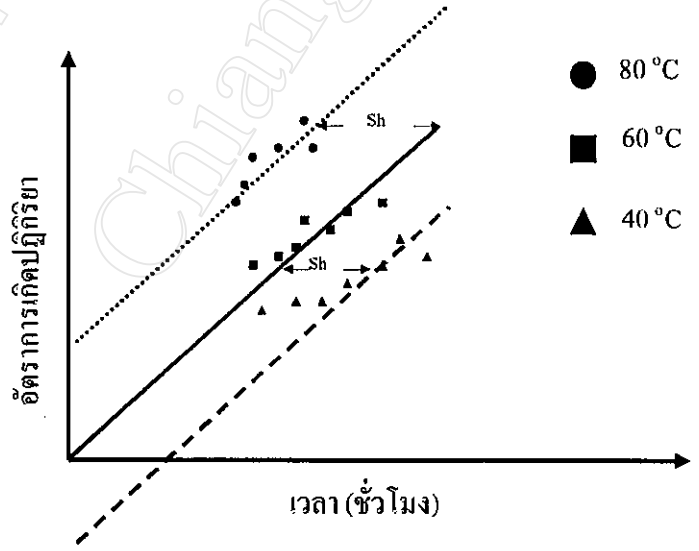
รูป 2.2 แสดงลักษณะของการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองอาร์รีเนียส

จากนั้นจะทำการสร้างสมการเส้นตรงของแต่ละข้อมูลทดสอบเพื่อเลือกหาตัวแทนข้อมูลที่จะใช้ในการทำนายผล ดังแสดงในรูป 2.3



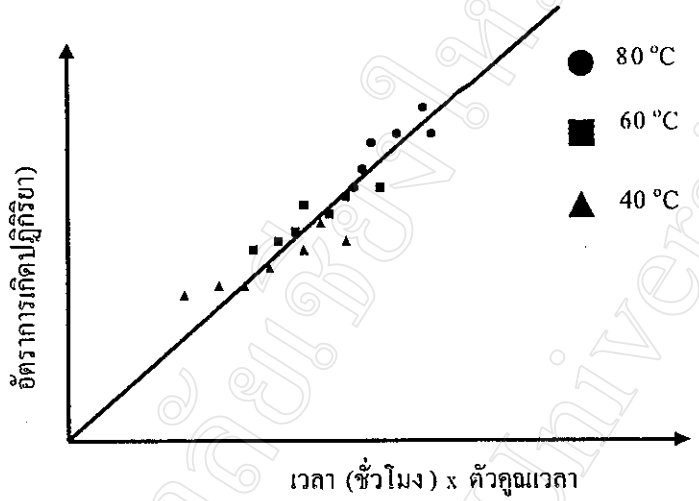
รูป 2.3 แสดงการเทียบข้อมูลให้เป็นฟังก์ชันเส้นตรงเพื่อเตรียมใช้กับแบบจำลอง

แล้วจึงทำการเลือกชุดข้อมูลการทดสอบที่มีความเชื่อถือได้มากที่สุด มาใช้เป็นเกณฑ์หลักของการเทียบข้อมูลอื่น และทำการหาตัวคูณเวลาเพื่อทำการปรับเทียบข้อมูลอื่น ดังรูป 2.4 ซึ่งตัวคูณเวลานั้นคือ ตัวปัจจัยที่ใช้คูณกับสมการเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับเส้นตรงที่ได้เลือกไว้ ว่าจะใช้เป็นเส้นหลักในการคำนวณ เพื่อนำผลการคูณนั้นมาทำการเลื่อนเส้นตรงที่ต้องการจะเลื่อนมาปรับเทียบกับเส้นที่เลือกไว้ เพื่อใช้สร้างเส้นโค้งมาตรฐานขึ้นมา



รูป 2.4 แสดงการเลือกข้อมูลที่เชื่อถือได้มากที่สุดเป็นเกณฑ์การปรับเทียบ

หลังจากได้ตัวคูณเวลาแล้วจึงสร้างเส้นโค้งมาตรฐานเพื่อใช้ในการทำนายผลตามที่ต้องการดังแสดงในรูป 2.5 ซึ่งเส้นโค้งมาตรฐานนี้สามารถใช้ทำนายผลของตัวแปรที่ต้องการศึกษาในระยะเวลาและช่วงตัวแปรที่ควบคุมที่นอกเหนือช่วงระยะเวลาที่ทดสอบได้ด้วย



รูป 2.5 แสดงเส้นโค้งมาตรฐานในการใช้ทำนายผลข้อมูล

หลังจากนั้นจึงทำการเทียบผลของผลของตัวคูณเวลากับตัวแปรที่เกี่ยวข้องอีก 1 ตัวที่เหลือเพื่อเตรียมใช้ในการทำนายในระยะเวลาหรือตามตัวแปรที่เกี่ยวข้องนั้นต่อไป ซึ่งแบบจำลองของอาร์รีเนียส นี้สามารถนำไปใช้ได้กับการทำนายผลการทดสอบในระยะยาวของตัวแปรที่ต้องการศึกษาโดยไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการทดสอบยาวนานดังที่ต้องการจริง

2.5 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุท่อ (Mechanical Properties of Tube Materials)

คุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากสำหรับงานในด้านวิศวกรรม คือเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบวัสดุโดยทั่วไปจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกล และศึกษาถึงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงมากระทำ เพราะคุณสมบัติทางกลจะแสดงถึงผลของความเค้นหรือความเครียดหรือทั้งความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุในการตอบสนองแรงที่มากระทำ

ความแข็งแรง (Strength)

หมายถึง คุณสมบัติทางกลของวัสดุ ที่พิจารณาจากความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำ ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดขึ้นตามลักษณะของแรงที่มากระทำด้วย ในการระบุความแข็งแรงของวัสดุนั้นจะต้องบอกถึงเงื่อนไขที่ทำการทดสอบมาด้วย เพราะว่าความแข็งแรงจะแตกต่างกันเนื่องมาจากสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระทำ
2. อัตราเร็วของแรงที่มากระทำ
3. อุณหภูมิที่ทำการทดสอบขณะนั้น

ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain)

ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในของวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างของวัสดุนั้น แรงต้านทานภายในจะกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้นและหน่วยของความเค้นนั้นคิดได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุนั้น นั่นคือ จะมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นต้น ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะแรงภายนอกที่มากระทำ เช่น วัสดุได้รับแรงดึงก็จะเกิดความเค้นดึง วัสดุได้รับแรงอัดก็จะเกิดความเค้นอัด เป็นต้น

ความเครียด คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางที่แรงมากระทำ เช่น เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึงก็จะยืดออก (Elongation) และเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัดก็จะหดเข้า (Contraction)

ในทางวิศวกรรมนิยมระบุส่วนยืดหรือส่วนหดเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการยืดหรือการหดต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ และเรียกอัตราส่วนนี้ว่าความเครียด

ดังนั้น $\varepsilon = (L-Lo)/Lo$ (2.2)

เมื่อ ε = ความเครียด

L = ความยาวใหม่ภายหลังที่ได้รับแรงภายนอกมากระทำ

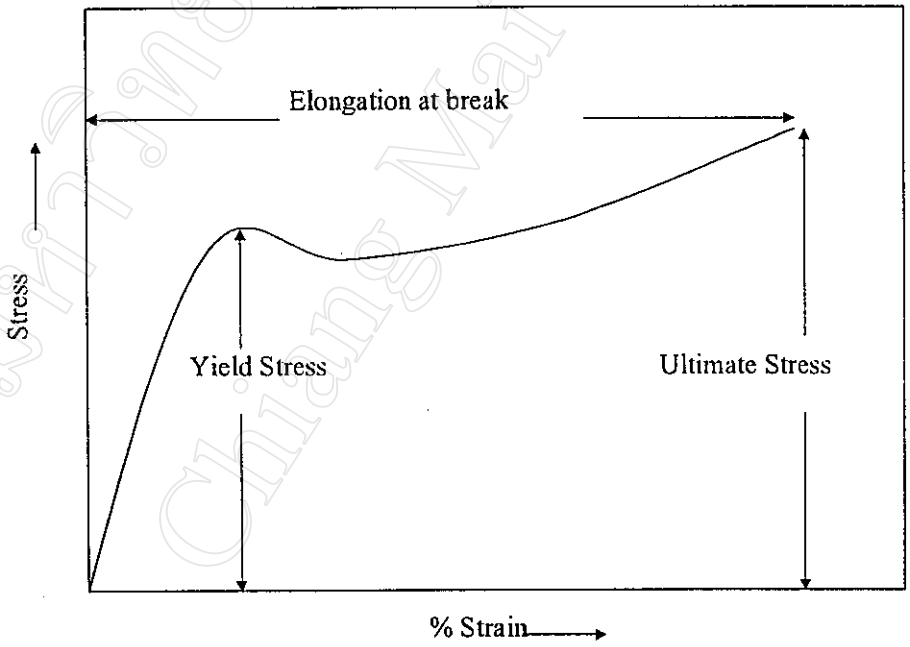
Lo = ความยาวเดิม หรือความยาวพิกัดของวัสดุ

สำหรับหน่วยของความเครียดนั้นไม่นิยมระบุหรือกำกับ เพราะมีหน่วยเป็นความยาวต่อความยาวซึ่งตัดกันเอง และนิยมบอกเป็นเปอร์เซนต์

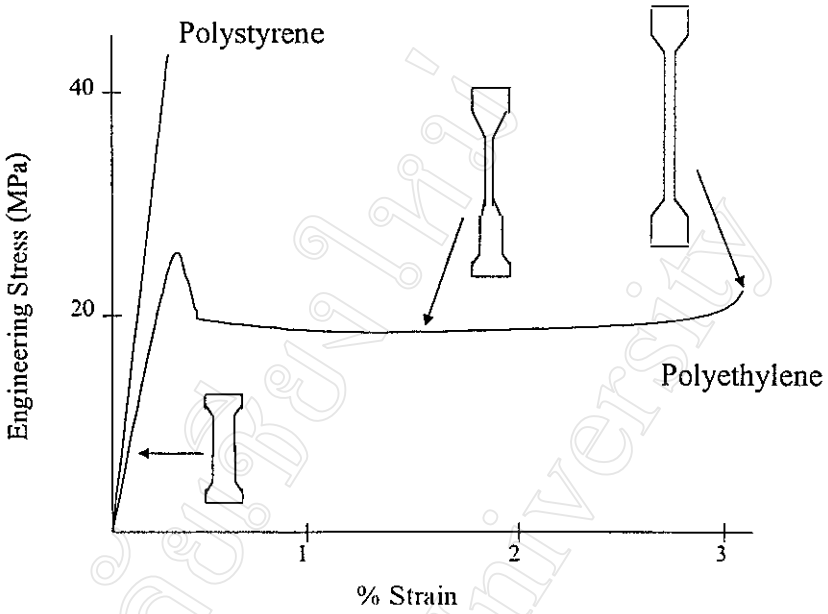
การทดสอบการดึง (Tension Test)

การทดสอบโดยการดึง เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุและนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่น ให้ผลเกี่ยวกับ ความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป โดยทั่วไปการทดสอบต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอดึงชิ้นทดสอบให้ยืดออก และขาดในที่สุด และมีการหาว่าวัสดุยืดออกมากน้อยเท่าใดก่อนที่จะเกิดการขาดออกจากกัน

ในการทดสอบการทนแรงดึง มักมีการเขียนกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียด รูปแบบทั่วไปของเส้นโค้งความเครียดกับความเค้นสำหรับพลาสติกแสดงได้ในรูป 2.6 ส่วนรูป 2.7 เป็นกราฟความเค้น-ความเครียดสำหรับโพลีสไตรีนและโพลีเอธิลีนพร้อมกับภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นทดสอบโพลีเอธิลีน

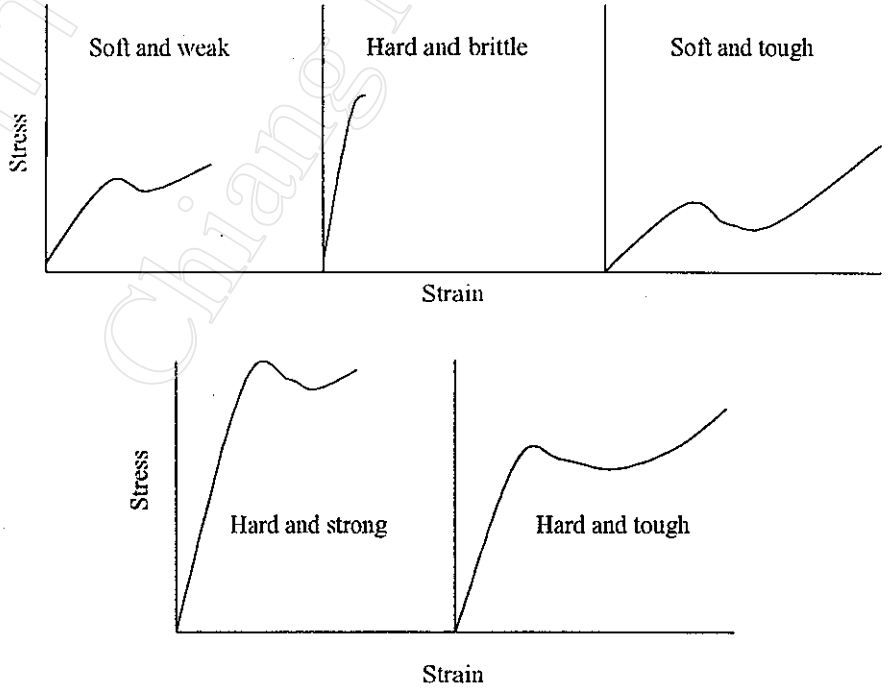


รูป 2.6 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดทั่วไปในการทดสอบ



รูป 2.7 กราฟความเค้น-ความเครียดสำหรับโพลีสไตรีนและโพลีเอธิลีน

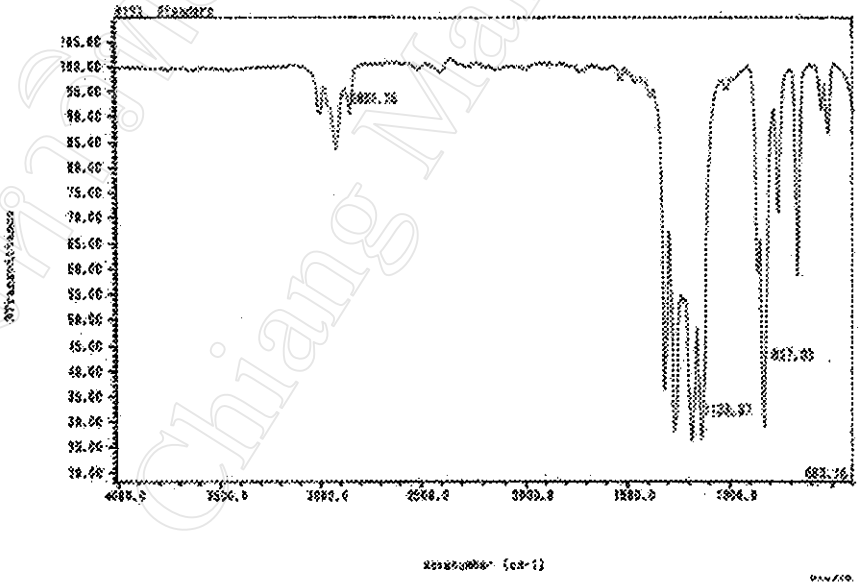
เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุโพลีเมอร์มีได้หลายแบบดังแสดงในรูป 2.8



รูป 2.8 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุโพลิเมอร์

2.6 การวิเคราะห์สารทำความเย็นโดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infra-red spectroscopy , IR)

อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์เทคนิคหนึ่งซึ่งใช้ในการหาโครงสร้างของโมเลกุลและใช้ในการทำคุณภาพวิเคราะห์สารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ (พิมล เรียนวัฒนา, 2526) โดยการผ่านรังสีอินฟราเรดซึ่งมีช่วงคลื่นระหว่าง 4000-400cm^{-1} หรือ 2.5-1.5 ไมครอน เข้าไปในสาร เมื่อโมเลกุลของสารได้รับรังสี IR ที่มีความถี่ตรงกับการสั่นแบบยืด (Stretching) และการงอ (Bending) ของพันธะใดๆ ก็จะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่นั้นตามสมการ E=hV ซึ่งในขณะนั้นโมเลกุลจะมีพลังงานมากกว่าปกติและเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้น (Ground State) ก็จะต้องปลดปล่อยพลังงานที่รับไว้นั้นออกมาในรูปของความร้อน เราจึงวัดปริมาณของรังสี IR ที่ส่งผ่านออกมาโดยเป็นฟังก์ชันกับความถี่หรือช่วงคลื่นของรังสี IR ได้เป็นกราฟของเลขคลื่นในช่วงต่างๆ กับปริมาณรังสีที่ส่งผ่านออกมา (% transmittance) เรียกกราฟนี้ว่าอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum) ซึ่งเมื่อนำกราฟที่ได้นี้มาพิจารณาค่าของยอดแหลมที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเครื่องทดสอบก็จะทราบได้ว่ายอดแหลมดังกล่าวนั้นเป็นยอดแหลมของพันธะทางเคมีระหว่างอะตอมของธาตุชนิดใด



รูป 2.9 ลักษณะของ IR spectrum ของสารทำเย็น R113

ตำแหน่งและลักษณะของยอดแหลมที่ปรากฏในสเปกตรัม IR เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชั่น เพราะฉะนั้นถ้าสเปกตรัม IR ของสารหนึ่งไม่มีการดูดกลืนรังสี IR ที่ตำแหน่งการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันใด แสดงว่าสารนั้นไม่มีหมู่ฟังก์ชั่นนั้นแน่นอน

เช่น เราทราบว่าหมู่ C=O หรือ C=C ดูดกลืนรังสี IR ที่เลขคลื่นเท่าใด ถ้าเราวัดอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวหนึ่ง ปรากฏว่าไม่มีการดูดกลืนรังสีที่เลขคลื่นดังกล่าว เราจึงสามารถสรุปได้ว่าสารนั้นไม่มีหมู่ C=O หรือ C=C ในโมเลกุลแน่นอน

2.7 การวิเคราะห์สารทำความเย็นโดยใช้อะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโทรสโคปี (Atomic Absorption Spectroscopy , AAS)

เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ธาตุต่างๆได้มากถึง 70 ธาตุ เป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่น และมีสภาพไวสูง มีหลักการการทำงานคือ AAS เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นกับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานได้ต่างกัน เช่น อะตอมของทองแดงสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร เพราะแสงที่ความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมทองแดงเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งความยาวคลื่นค่านี้เป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด (พิมล เรียนวัฒนา, 2526)

เช่น ถ้าต้องการตรวจสอบว่าในสารตัวอย่างมีทองแดงเป็นองค์ประกอบหรือไม่ เราก็จะใช้แหล่งกำเนิดแสง เป็น หลอดไฟของธาตุทองแดง ใช้ความยาวคลื่นของธาตุทองแดง 325 นาโนเมตร ทำการพ่นสารละลายเข้าไปยังเปลวไฟของเครื่อง AAS แล้วดูว่าที่ 325 นาโนเมตร มีการดูดกลืนแสงหรือไม่ ถ้ามีการดูดกลืนแสงก็แสดงว่าสารตัวอย่างมีธาตุทองแดง พร้อมทั้งบอกปริมาณที่มีอยู่ แต่ถ้าไม่มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นค่านี้ก็แสดงว่าไม่มีธาตุทองแดงอยู่ในสารตัวอย่าง