บทที่ 8

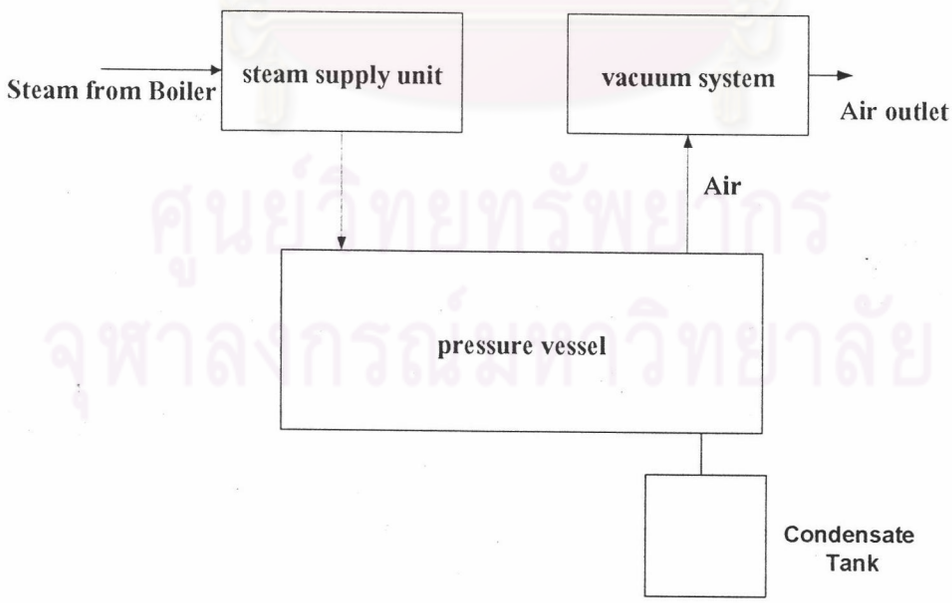
การคำนวณออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรม

จากผลการทดลองในบทที่ 7 พบว่า การฆ่าเชื้อโดยใช้ลมร้อนที่กำหนดอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูกมากกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ใช้ตู้ลมร้อนในโรงงาน) ไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่อยู่ภายในกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ตายได้หมดและการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการให้ความร้อนผ่านผนังที่กำหนดอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีไม่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่อยู่ภายในกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ให้ตายได้หมด เมื่อเทียบกับวิธีการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่กำหนดอุณหภูมิกึ่งกลางกระดูก 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย Salmonella ที่อยู่ภายในกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ได้หมด ถึงแม้จะยังคงมีปัญหาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ตาม

ดังนั้น ในการคำนวณออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรมในที่นี้ จะออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรง

8.1 รูปแบบของกระบวนการฆ่าเชื้อ

สามารถอธิบายรูปแบบของกระบวนการฆ่าเชื้อ ดังรูปที่ 8.1 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 8.1 ไดอะแกรมส่วนประกอบของอุปกรณ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียในระดับอุตสาหกรรม

รูปแบบของกระบวนการฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรมที่ใช้วิธีการป้อนไอน้ำเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อโดยตรง เพื่อที่จะทำให้ไอน้ำสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงและควบแน่นทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat) ให้กับผลิตภัณฑ์โดยตรง อีกทั้งไอน้ำบางส่วนจะแทรกเข้าไปในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์แล้วควบแน่นทำให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันไอน้ำที่ต้องการต้องมีอุณหภูมิจุดเดือดไม่สูงมาก เพื่อลดปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการฆ่าเชื้อจึงจำเป็นต้องกระทำโดยการดึงสุญญากาศล่วงหน้า จึงต้องใช้ระบบทำสุญญากาศด้วย ดังนั้นส่วนประกอบของเครื่องฆ่าเชื้อระดับอุตสาหกรรมที่ต้องการออกแบบ จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

8.1.1 ส่วนระบบป้อนไอน้ำ

เป็นส่วนควบคุมระบบการป้อนไอน้ำ เนื่องจากไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำมีความดันสูงมาก(8 bar Abs.)ไม่สามารถป้อนเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อได้โดยตรง เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกทำลายได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความดันลง โดยการติดตั้งวาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve) เพื่อควบคุมความดันขาออกให้ลดลงตามที่กำหนด คือ 2 bar Abs. และการเดินเครื่องจำเป็นต้องควบคุมอัตราการป้อนไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ และความดันภายในเครื่องฆ่าเชื้อให้เป็นไปตามที่กำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งวาล์วควบคุม (Control Valve) ซึ่งสามารถควบคุมการหรี่ของวาล์วโดยใช้เครื่องควบคุม (Controller) ที่ใช้ค่าความดันภายในเครื่องฆ่าเชื้อเป็นสัญญาณควบคุม

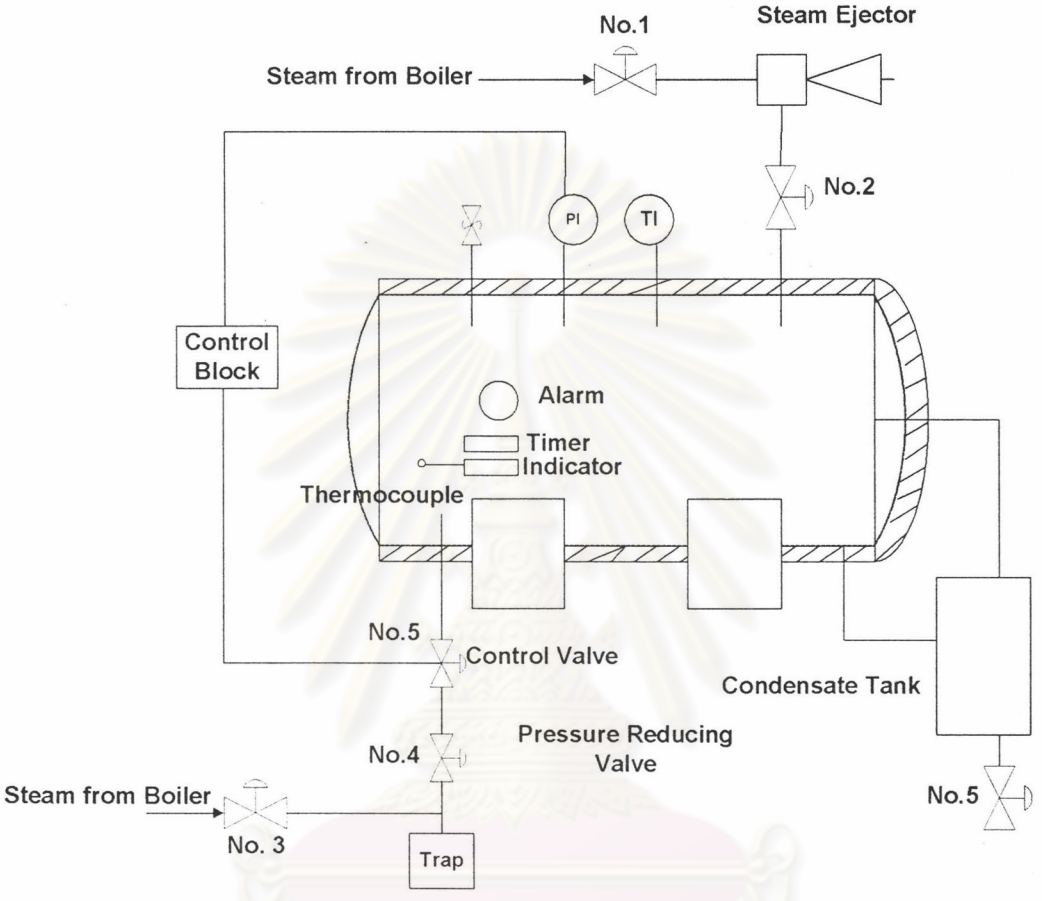
8.1.2 ส่วนตัวเครื่องฆ่าเชื้อ (Pressure Vessel)

เป็นส่วนที่ต่อกับส่วนระบบการป้อนไอน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการฆ่าเชื้อจะถูกวางเรียงบนถาดพื้นตะแกรงบนรถเข็นแล้วเลื่อนเข้าไปในส่วนตัวเครื่องฆ่าเชื้อ ไอน้ำจากระบบป้อนไอน้ำจะถูกป้อนเข้ามาภายในนี้เพื่อฆ่าเชื้อ การออกแบบจะเป็นถังทนความดันทรงกระบอกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน โดยจะออกแบบให้เอียงเล็กน้อยเพื่อที่สามารถระบายน้ำที่เกิดจากการควบแน่นภายในเครื่องฆ่าเชื้อได้ง่าย โดยในส่วนท้ายด้านล่างของตัวเครื่องฆ่าเชื้อจะต่อถังทนความดัน ขนาดเล็กเพื่อใช้บรรจุน้ำที่เกิดจากการควบแน่น

8.1.3 ส่วนระบบการทำสุญญากาศ (Vacuum System)

เป็นระบบที่ใช้สำหรับดึงสุญญากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อเพื่อทำให้ไอน้ำที่ป้อนเข้ามาแทรกซึมเข้าไปในส่วนลึกของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ยังทำให้สามารถใช้ไอน้ำความดันต่ำกว่าบรรยากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิฆ่าเชื้อไม่ให้สูงเกินไป เนื่องจากปัจจุบันในโรงงานมีการติดตั้งหม้อไอน้ำอยู่แล้ว ดังนั้นในการออกแบบระบบทำสุญญากาศจึงออกแบบโดยใช้อิเจคเตอร์ไอน้ำ (Steam Ejector) ในการดึงสุญญากาศ

8.2 การดำเนินงาน (Operating Procedure)



รูปที่ 8.2 ไดอะแกรมเครื่องฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรมโดยละเอียด

จากรูปที่ 8.2 ในการเดินเครื่องฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรม สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. วางผลิตภัณฑ์ลงในตะแกรง ไม่ให้วางซ้อนหรือเกยกัน โดย 1ชั้นสามารถวางได้ประมาณ 60 ชิ้น โดยวางตะแกรงซ้อนกันในรถเข็น คันละ 6-12 ชั้น จำนวน 3 คัน
2. เปิดฝาเครื่องฆ่าเชื้อ แล้วนำรถเข็นเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ จากนั้น สอดเทอร์โมคัปเปิล ** เข้าไปที่ใจกลางของปลายด้านหนึ่งของชิ้นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง* แล้วจึงปิดฝาเครื่องฆ่าเชื้อให้มิดชิดอากาศ

* *นำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปเจาะรูที่ใจกลางของปลายด้านหนึ่ง*

** *เทอร์โมคัปเปิลตัวนี้จะต่อเข้ากับเครื่องแสดงและบันทึกผลซึ่งต่อกับระบบ*

สัญญาณเตือนและอุปกรณ์Timing โดยตั้งค่าอุณหภูมิกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส ถ้าถึงอุณหภูมินี้แล้วอุปกรณ์ Timing จะเริ่มจับเวลาเป็นเวลา 15 นาทีแล้วจะส่งสัญญาณเข้าระบบสัญญาณเตือนเพื่อส่งเสียงเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ทำการ ปิดวาล์ว#3 ต่อไป

3. ตรวจสภาพตำแหน่งวาล์ว โดยวาล์วที่ต้องปิดคือ วาล์ว#3(วาล์วป้อนไอน้ำหลัก) และ #6(วาล์วระบายน้ำที่ควบแน่น) แล้วจึงเปิดสวิตซ์เครื่องควบคุม(Controller) เพื่อให้วาล์วควบคุม(Control Valve) ทำงาน
4. เปิดวาล์ว#1(วาล์วป้อนไอน้ำหลัก) แล้วจึงเปิดวาล์ว#2(วาล์วที่ต่อระหว่างเครื่องฆ่าเชื้อกับอิเจคเตอร์ไอน้ำ) รอให้ความดันภายในเครื่องฆ่าเชื้อลดลงจนถึง 100 torr (สังเกตจากเกย์สุญญากาศ) จากนั้นจึงปิดวาล์ว#2 แล้วจึงปิดวาล์ว#1 ตามลำดับ
5. เปิดวาล์ว#3 เพื่อป้อนไอน้ำด้านขาเข้าวาล์วลดความดันที่ตั้งค่าความดันไอน้ำขาออกให้คงที่(1 barG)
6. เมื่อสัญญาณเตือนจากระบบสัญญาณเตือนที่ต่อกับเทอร์โมคัปเปิล ดังขึ้น จึงปิดวาล์วเปิดวาล์ว#3
7. เปิดวาล์ว#1 ประมาณ 1 นาที แล้วจึงเปิดวาล์ว#2 รออีกประมาณ 10 นาที เพื่อให้น้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา
8. เมื่อครบเวลา 10 นาที ให้ปิดวาล์ว#2 แล้วจึงปิดวาล์ว#1
9. เปิดฝาเครื่องฆ่าเชื้อออก แล้วนำรถเข็นออกจากเครื่องฆ่าเชื้อ ซึ่งอาจทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วขึ้นโดยการเป่าด้วยพัดลมก็ได้
10. หลังจากนั้นทำการคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ออกมา นำผลิตภัณฑ์ที่คัดแยกเสร็จแล้วบรรจุหีบห่อต่อไป

8.3 ฐานของการออกแบบ (Design Basis)

อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้และโรงงานติดตั้งอยู่แล้วได้แก่

- หม้อไอน้ำ(Boiler)

  ขนาด 1 ตันไอน้ำ ความดันใช้งาน(Operating Pressure) 7-8 barG (T_{sat} 169.6-174.5 ^{o}C)

  อนึ่งในการออกแบบควรให้ความเร็วของไอน้ำในท่อ ไม่เกิน 25 m/s

อุปกรณ์ที่ต้องออกแบบเพิ่มเติม ได้แก่

- ตัวเครื่องฆ่าเชื้อ (Pressure Vessel)

  จากวัตถุประสงค์ การออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรมต้องมีกำลังการผลิต 150 kg/hr โดยที่ ผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น มีขนาดโตสุด 5.5*30*4 cm^3 และมี น้ำหนักประมาณ 0.5 kg ดังนั้นกำลังการผลิตที่ต้องการ เท่ากับ 300 ชิ้น/hr แต่การออกแบบเครื่องฆ่าเชื้อ

ในระดับอุตสาหกรรมนี้ จะทำการเดินเครื่องเป็นแบบกะ โดยแต่ละกะ กำหนดให้ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ดังนั้น ในแต่ละกะต้องสามารถใส่ผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 900 ชิ้น เพื่อให้ได้กำลังการผลิต เท่ากับ 150 kg/hr การเดินเครื่องฆ่าเชื้อต้องทำให้อุณหภูมิภายในกึ่งกลางกระดูกสูงถึง 70°C เป็นเวลา 15 นาที และสามารถทนความดันต่ำสุดและสูงสุดได้

- ถังระบายน้ำควบแน่น (Condensate Tank)
  ต้องสามารถบรรจุน้ำที่ควบแน่นภายในเครื่องฆ่าเชื้อได้หมดภายใน 1 กะ และสามารถทนความดันต่ำสุดและสูงสุดได้
- ตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์
  ในการวางผลิตภัณฑ์จะวางในลักษณะเรียงต่อกัน ไม่มีการวางซ้อนหรือวางเกยกัน โดยการออกแบบต้องสามารถเลื่อนเข้าเครื่องได้ง่ายไม่ยุ่งยาก และต้องใส่ผลิตภัณฑ์ได้ปริมาณ 900 ชิ้น/กะ ด้วย
- อิเจคเตอร์ (Steam Ejector)
  การออกแบบต้องสามารถดึงสุญญากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อให้ได้ 100 torr ภายในเวลา 15 นาที
- วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve)
  ใช้ควบคุมให้ไอน้ำที่ออกมามีความดันคงที่ตามที่ต้องการคือ 1 barG (2 bar Abs.)
- วาล์วควบคุม (Control Valve) ,เครื่องควบคุม (Controller) และเครื่องส่งสัญญาณความดัน (Pressure Transmitter)

  วาล์วควบคุม เป็นวาล์วที่จะทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของไอน้ำ เมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุม ต้องรับสัญญาณค่าความดันภายในถัง ที่ส่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณความดัน โดยควบคุมความดันที่ตั้งไว้(Setpoint) 260 torr แล้วทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรี่วาล์วเพื่อควบคุมความดันภายในเครื่องฆ่าเชื้อให้คงที่

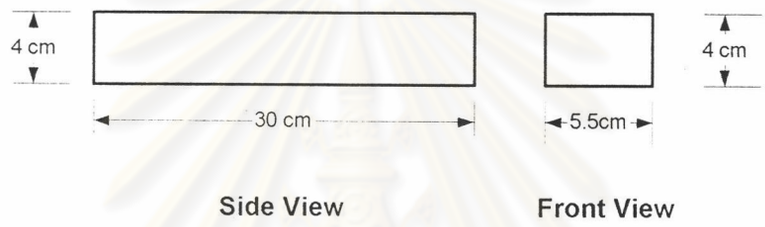
8.4 การออกแบบเชิงวิศวกรรม (Conceptual Design/Sizing)

การออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับเครื่องฆ่าเชื้อในระดับอุตสาหกรรม สามารถจำแนกได้ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

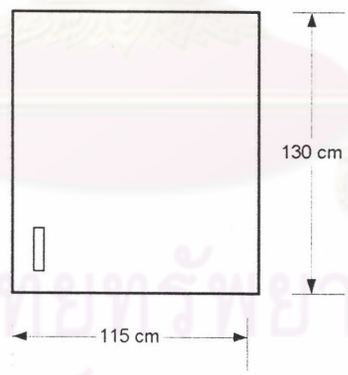
8.4.1 การออกแบบตะแกรงและรถเข็นสำหรับวางผลิตภัณฑ์

การออกแบบตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์ กำหนดจากกำลังการผลิตที่ต้องการ คือ 900ชิ้น/กะ แต่การออกแบบต้องเผื่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกคัดออก เนื่องจากไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นในที่นี้จึงออกแบบเผื่อไว้อีก 20% ทำให้ต้องออกแบบที่กำลังการผลิต เท่ากับ 1080ชิ้น/กะ โดยคิดจากขนาดผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น ดังในรูปที่ 8.3 ดังนั้น ขนาดของตะแกรงที่ออกแบบ มีขนาดกว้าง

115 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร สามารถวางผลิตภัณฑ์ได้ ประมาณ 60 ชิ้นต่อ 1 ตะแกรง ดังแสดงในรูปที่ 8.4 โดยจะออกแบบรถเข็นที่สามารถสอดตะแกรงไว้เป็นชั้นๆได้ ทั้งหมด 6 ชั้น ระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 20 ซนติเมตร จำนวน 3 คันเพื่อที่จะสามารถวางผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมด 1080 ชิ้น/กะ แต่ในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนำไปฆ่าเชื้อมาก ก็สามารถสอดตะแกรงได้ทั้งหมดเป็น 12 ชั้น โดยระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 10 เซนติเมตรโดยรถเข็นมีขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร และติดล้อหนา 5 เซนติเมตรไว้ใต้รถเข็น ดังแสดงในรูปที่ 8.5

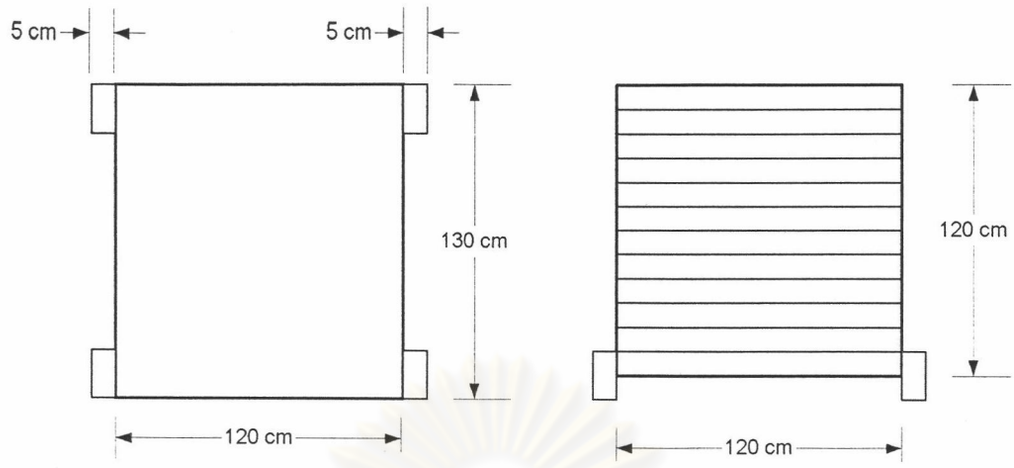


รูปที่ 8.3 ขนาดของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 8.4 ขนาดของตะแกรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.5 ขนาดรถเข็นที่ออกแบบ

8.4.1 การออกแบบตัวเครื่องฆ่าเชื้อ

การคำนวณขนาดของเครื่องฆ่าเชื้อสามารถคำนวณได้จาก ขนาดและจำนวนของรถเข็นที่วางผลิตภัณฑ์ให้ได้ 1080 ชิ้น/กะ ซึ่งต้องใช้รถเข็นทั้งหมด 3 คน ดังนั้น ความยาวของเครื่องฆ่าเชื้อต้องมากกว่า 390 เซนติเมตร และสามารถเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังได้จากขนาดของรถเข็นได้ คือไม่ต่ำกว่า $130\sqrt{2}$ เซนติเมตร โดยภายในจะทำการออกแบบราง เพื่อทำให้เลื่อนรถเข็นเข้าไปในตัวเครื่องฆ่าเชื้อได้ง่ายขึ้น และด้านล่างของรางจะวางท่อป้อนไอน้ำ เพื่อป้อนไอน้ำเข้าไปในเครื่องฆ่าเชื้อ

ในขณะที่ตัวเครื่องฆ่าเชื้อต้องเป็นถังทนความดัน โดยสามารถทนความดันจากภายนอก(1 บรรยากาศ)ในกรณีความดันภายในเป็นสุญญากาศ และต้องสามารถทนความดันภายใน(8 bar Abs.) ได้ด้วยในกรณีเกิดความผิดขณะปฏิบัติงาน ดังนั้นในการออกแบบตัวเครื่องฆ่าเชื้อจึงเลือกเป็นถังทนความดันทรงกระบอกและทำการหาความหนาของถังด้วย

จากข้อมูลข้างต้น ได้เลือกใช้ถังทนความดันทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ยาว 430 เซนติเมตร สำหรับรายละเอียดการคำนวณความหนาของถังเป็นดังนี้

การคำนวณความหนาของถังทนความดัน

จากเอกสารอ้างอิง[23] หน้า 25-52

กรณีถังภายใต้ความดันภายนอก(External Pressure)

สมมติฐาน เลือกเหล็กกล้าคาร์บอน หมายเลข SA 516 เกรด 60 ทนอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าความเค้นที่ยอมให้ได้สูงสุดในแรงดึง 915 kg/cm^2

P = ความดันออกแบบภายนอก 1.033 kg/cm^2

P_a= ความดันทำงานที่ยอมให้ได้สูงสุด kg/cm^2

D_0= เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก mm

L = ความยาว mm

สมมติ ความหนาของถัง(t) = 15 mm D_0 = 2030 mm

L = ความยาวถัง+1/3ของความสูงหัวถัง

= 4300+(1015/3)

= 4638.33

L/D_o = 4638.33/2030 = 2.28

D_0/t = 2030/15 = 135.33

จากกราฟหน้า 42 ในเอกสารอ้างอิง[23] จากค่า L/D_o และ D_0/t ทำให้หาค่า A = 0.00035

จากกราฟหน้า 43 ค่า A ที่ได้ หาค่าB ตามอุณหภูมิแ ละวัสดุที่กำหนด ได้ค่า B = 190

จากสูตร

$$P_a = \frac{4B}{3D_0/t}$$

$$= \frac{4*190}{3*135.33}$$

= 1.9 kg/cm^{2}kg/cm^2 ซึ่ง > 1.033 kg/cm^2

ดังนั้น เลือกเหล็ก หนา 15 mm

กรณีถังภายใต้ความดันภายนอก(External Pressure)

สมมติฐาน เลือกเหล็กกล้าคาร์บอน หมายเลข SA 516 เกรด 60 ทนอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าความเค้นที่ยอมให้ได้สูงสุดในแรงดึง 915 kg/cm^2

E = ประสิทธิภาพภาพของรอยต่อที่ตรวจสอบเป็นจุดของตัวถังและหัวถังครึ่งทรงกลมกับตัวถัง = 0.85

C.A. = ค่าเผื่อการกัดกร่อน = 3.2 mm

หาความหนาถังจากสูตร $$t = \frac{PR}{2SE + 0.8P} + C.A.$$

$$t = \frac{8*1015}{(2*915*0.85) + (0.8*8)} + 3.2$$

$$= 8.4 \text{ mm}$$

ดังนั้น ความหนาของถัง 15 mm สามารถทนทั้งความดันภายนอกได้เกิน 1 บรรยากาศและทนความดันภายในได้เกิน 8 bsr Abs.

<u>การคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ทั้งหมด</u>

พลังงานที่ต้องใช้ทั้งหมด = พลังงานที่ต้องใช้ในการอุ่นผนังท่อ + พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้กระดูกมีอุณหภูมิถึงจุดที่กำหนด

H_{total} = $m_{metal}Cp_{metal}\Delta T + m_{dogchew}Cp_{dogchew}\Delta T$

ในการคำนวณคิดในกรณีที่เลวร้ายที่สุด คือทำให้อุณหภูมิกระดูกมีค่า 120 องศาเซลเซียส

ดังนั้น พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้กระดูกมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 27 องศาเซลเซียสถึงจุดที่กำหนด 120 องศาเซลเซียส

น้ำหนักกระดูกทั้งหมด = 0.5 kg/ชิ้น*1080 ชิ้น

= 540 kg

$H_{dogchew}$ = $m_{dogchew}Cp_{dogchew}\Delta T$

จากเอกสารอ้างอิง[17] $Cp_{dogchew}$ เท่ากับ 0.3 kg/cm^2

= 450*0.3*(120-27)

= 15066 kcal

ในการคำนวณคิดในกรณีที่เลวร้ายที่สุด คือทำให้อุณหภูมิกระดูกมีค่า 120 องศาเซลเซียส

ดังนั้น พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้เหล็กมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 27 องศาเซลเซียสถึงจุดที่กำหนด 120 องศาเซลเซียส คำนวณจาก

H = $m_{metal}Cp_{metal}\Delta T$

จากเอกสารอ้างอิง[18] Property of Stainless Steel : Average Density Weight = 442 lb/ft^3

Cp_{meta} = 0.5 kg/cm^2

ปริมาตรของเหล็กทั้งหมด = ปริมาตรของฝา + ปริมาตร

= $4/3*\pi*(101.5^3-100^3) + \pi*430*(101.5^2-100^2)$

= 599642.07 cm^3 = 22.21 ft^3

น้ำหนักเหล็ก = 22.21*442 = 9816.36 lb

= 4456.63 kg

H_{metal} = $m_{metal}Cp_{metal}\Delta T$

= 4456.63*0.5*(120-37)

= 207233.24 kJ

= 49341.25 kcal

H_{total} = 49341.25+15066

= 64407.25 kcal

<u>การคำนวณหาความร้อนที่สูญเสีย (Heat Loss)</u>

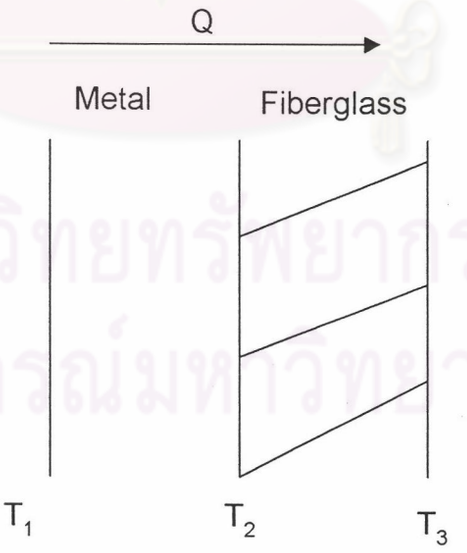
ในที่นี้จะหุ้มตัวเครื่องฆ่าเชื้อด้วย Fiberglass หนา 2 นิ้ว

จากเอกสารอ้างอิง[15] ภาคผนวก 11

$k_{fiberglass}$ = 0.035 Btu/h.ft^2(F/ft)

k_{metal} = 30 Btu/h.ft^2(F/ft)

ความร้อนที่สูญเสียเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากผิวเครื่องฆ่าเชื้อผ่านผนังเครื่องผ่านฉนวนไฟเบอร์กลาสไปสู่ภายนอกเครื่องโดยคิด ดังในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 ทิศทางการถ่ายเทความร้อน

ในกรณีเลวร้ายที่สุด คือที่ผิวเครื่องมีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น

T_1	=	120	องศาเซลเซียส
T_3	=	27	องศาเซลเซียส
r_1	=	100	เซนติเมตร
r_2	=	101.5	เซนติเมตร
r_3	=	104	เซนติเมตร
L	=	430	เซนติเมตร = 14.33 ฟุต

ที่ผิว เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนลักษณะทรงกระบอก

$$Q = \frac{(T_1 - T_3)L}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{metal}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{fibeglass}}}$$

Q = 19389.5 Btu/hr =4886.1 kcal/hr

ที่ฝาทั้ง2 ด้าน เป็นการถ่ายเทแบบการนำความร้อน สมมติเป็นลักษณะทรงกลม เพื่อให้ง่ายในการคำนวณคิดฝาทั้ง 2 ด้านไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนทั้งคู่

$$Q = \frac{4\pi k_{metal}(T_1 - T_2)}{(1/r_1) - (1/r_2)}$$

Q = 282591.1 Btu/hr =71212.96kcal/hr

ดังนั้น ความร้อนสูญเสียทั้งหมด เท่ากับ 4886.1+71212.96 = 76099.06 kcal/hr

เวลาในการเดินเครื่องทั้งหมด 2 ชั่วโมง ทำให้สูญเสียความร้อน เท่ากับ 152198.12 kcal

ดังนั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำทั้งหมด

= 64407.25+152198.12

= 216605.37 kcal

จาก ภาคผนวก ก ตารางไอน้ำอิ่มตัว ไอน้ำอิ่มตัวที่ความดัน 2 bar Abs. มีค่าความร้อนแฝง เท่ากับ 527 Kcal/kg

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ทั้งหมด

= 216605.37/527

= 411 kg

<u>การคำนวณหาขนาดของท่อป้อนไอน้ำ</u>

ความเร็วของไอน้ำในท่อ สูงสุด 25m/s

จาก ภาคผนวก ก ตารางไอน้ำอิ่มตัว ไอน้ำอิ่มตัวที่ความดัน 2 bar Abs. มีค่าSpecific Volume 0.903 m^3/kg

ปริมาณไอน้ำที่ต้องการ = 411*0.903 = 371.13 m^3

คิดเวลาในการป้อนไอน้ำทั้งหมด 2 ชั่วโมง

ดังนั้น คำนวณหา อัตราการไหลของไอน้ำ = 371.13/2 = 185 m^3/hr = 0.052 m^3/s

ดังนั้น คำนวณหา พื้นที่ที่ต้องการให้ไอน้ำออกมา

$= 0.052 / 25$

$= 0.0021\ m^2$

คำนวณหาขนาดท่อที่ต้องการ

$= \pi r^2 = 21\ cm^2$

$r = 2.59$ cm

ดังนั้น ขนาดท่อป้อนไอน้ำที่ต้องการเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 3 cm

<u>การคำนวณขนาดถังระบายน้ำควบแน่น (Condensate Tank)</u>

จากปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการฆ่าเชื้อทั้งหมด เท่ากับ 411 kg

จาก เอกสารอ้างอิง น้ำมีความหนาแน่น เท่ากับ 1000 kg/m^3

ปริมาณน้ำควบแน่น = 411/1000 = 0.411 m^3

ออกแบบเผื่อความผิดพลาด 20% ดังนั้นปริมาณน้ำควบแน่นเท่ากับ 0.493

ออกแบบถังระบายน้ำควบแน่น จะออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกนอน

โดยกำหนดความยาวของถัง เท่ากับ 1 m

ดังนั้นสามารถ คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางถัง จาก

ปริมาตรถัง $= \pi r^2 h = 0.493\ m^3$

$\therefore$ รัศมีของถัง เท่ากับ 0.4 m

ขนาดท่อที่ต่อระหว่างเครื่องฆ่าเชื้อกับถังระบายน้ำควบแน่น และท่อรักษาสมดุลในถังระบายน้ำ คิดเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อป้อนไอน้ำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อ ซึ่งเท่ากับ 3 cm

ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ต่อระหว่างเครื่องฆ่าเชื้อกับถังระบายน้ำควบแน่น และท่อรักษาสมดุลในถังระบายน้ำ เท่ากับ 6 cm

<u>การคำนวณขนาดของอิเจคเตอร์ไอน้ำ(Steam Ejector)</u>

สมมติฐาน จากเอกสารอ้างอิง[18] ความหนาแน่นของอากาศ 0.0808 lb/ft^2

การเดินเครื่องอิเจคเตอร์ไอน้ำจะต้องดึงสุญญากาศภายในเครื่องฆ่าเชื้อให้ได้ต่ำสุด 100 mmHg ภายในเวลา 15 นาที

ปริมาตรอากาศภายในถัง = $\pi r^2 L$

$= \pi * 100^2 * 430$

$= 13508.84$ lite

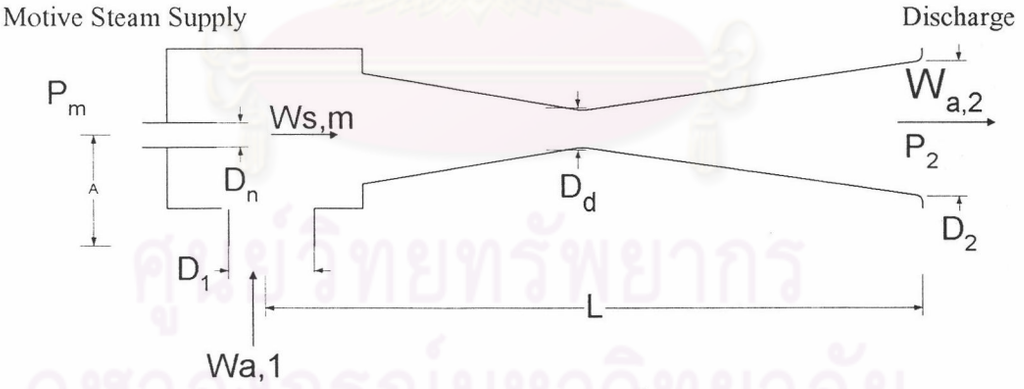
จากค่าความหนาแน่นของอากาศ, ปริมาตรของอากาศ และเวลาในการดึงสุญญากาศ ทำให้สามารถคำนวณอัตราการไหลของอากาศเข้าอิเจคเตอร์ไอน้ำได้

อัตราการไหลของอากาศเข้าอิเจคเตอร์ไอน้ำ($W_{a,1}$) เท่ากับ 161.71 lb/hr

จากเอกสารอ้างอิง Equipment Design Handbook เรื่อง Ejectors หน้า107 จากกราฟหาอัตราส่วนของอัตราการไหลของไอน้ำที่ป้อนเข้าอิเจคเตอร์ไอน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศที่ถูกดูดออก ได้ เท่ากับ 6

ดังนั้น อัตราการไหลของไอน้ำที่ป้อนเข้าอิเจคเตอร์ไอน้ำจะเท่ากับ 970.26 lb/hr

จากรูปที่ 8.7 แสดงส่วนที่สำคัญของอิเจคเตอร์ไอน้ำที่ต้องออกแบบ



รูปที่ 8.7 ส่วนที่สำคัญของอิเจคเตอร์ไอน้ำที่ต้องออกแบบ

ข้อมูลที่มีอยู่

$W_{a,1}$	=	161.71 lb/hr
$W_{s,m}$	=	970.26 lb/hr
$W_{a,2}$	=	161.71+970.26 = 1131.97 lb/hr
P_1	=	100 mmHg
P_2	=	760 mmHg

P_m = 8 bar Abs.

จากเอกสารอ้างอิง Equipment Design Handbook เรื่อง Ejectors หน้า114 จะสามารถคำนวณส่วนที่สำคัญของอิเจคเตอร์ไอน้ำได้ จากสูตรต่อไปนี้

1. $D_1 = 2\left(\frac{W_{a,1}}{P_1}\right)^{0.48}$

ดังนั้น D_1 เท่ากับ 2.52 ft

2. $D_2 = \frac{3}{4} D_1$

ดังนั้น D_2 เท่ากับ 1.89 ft

3. $L = 9D_1$

ดังนั้น L เท่ากับ 22.68 ft

4. $A = 2.5 D_1^{2/3}$

ดังนั้น A เท่ากับ 4.63ft

5. $D_d = 0.94\left(\frac{W_{a,2}}{P_2}\right)^{0.5}$

ดังนั้น D_d เท่ากับ 1.147 ft

6. $W_{a,m} = 50 P_m^{0.96} D_n^2$

ดังนั้น D_n^2 เท่ากับ 1.62 ft

<u>การเลือกขนาดวาล์วควบคุม (Control Valve) ตัวควบคุม (Controller) และ เครื่องส่งสัญญาณความดัน (Pressure Transmitter)</u>

การเลือกขนาดวาล์วควบคุม เลือกตามขนาดท่อป้อนไอน้ำ คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm จากรายละเอียด(Specification) วาล์วควบคุมของบริษัท SAMSON จะเลือกวาล์วควบคุมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ทนอุณหภูมิได้ -10 ถึง 220 องศาเซลเซียส ทนความดันได้ 150 psi ทำจากเหล็กหล่อเหนียว ปกติถ้าไม่ทำงานจะปิดวาล์ว และรับสัญญาณ 4-20 mA สำหรับตัวควบคุม (Controller) จะเลือกใช้แบบ PID และเครื่องส่งสัญญาณความดัน เลือกให้อยู่ในย่านความดัน0-1 barsAbs. และส่งสัญญาณในช่วง 4-20 mA.

8.4 สรุปการออกแบบ(Summary)

1. ขนาดของตะแกรงที่ออกแบบ มีขนาดกว้าง 115 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร สามารถวางผลิตภัณฑ์ได้ ประมาณ 60 ชิ้นต่อ 1 ตะแกรง โดยจะออกแบบรถเข็นที่สามารถสอดตะแกรงไว้เป็นชั้นๆได้ ทั้งหมด 6 ชั้น ระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 20 ซนติเมตร

2. รถเข็นที่ออกแบบมีขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร และติดล้อหนา 5 เซนติเมตรไว้ใต้รถเข็น

3. ถังทนความดันที่ออกแบบเป็นถังทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร ยาว 430 เซนติเมตร หนา 1.5 เซนติเมตร หุ้มตัวเครื่องฆ่าเชื้อด้วย Fiberglass หนา 2 นิ้ว

4. ปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ทั้งหมดเท่ากับ 411 kg

5. ขนาดท่อป้อนไอน้ำที่ต้องการเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 3 cm

6. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อป้อนไอน้ำให้อิเจคเตอร์ไอน้ำ 1.62 ft เท่ากับ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูดอากาศระหว่างเครื่องฆ่าเชื้อกับอิเจคเตอร์ไอน้ำ เท่ากับ 2.54 ft

ขนาดของอิเจคเตอร์ไอน้ำที่ออกแบบ ยาวประมาณ 22.68 ft

เส้นผ่านศูนย์กลางช่วงคอคอด เท่ากับ 1.147 ft

เส้นผ่านศูนย์กลางช่วงระบายไอ เท่ากับ 1.89 ft

7. การออกแบบถังระบายน้ำควบแน่น รัศมีภายในของถัง เท่ากับ 0.4 m ยาว 1 m หนา 1.5 cm เส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ต่อระหว่างเครื่องฆ่าเชื้อกับถังระบายน้ำควบแน่น และท่อรักษาสมดุลในถังระบายน้ำ เท่ากับ 6 cm

8.6 ตัวแปรที่ควรศึกษาภายหลังจากสร้างเครื่องฆ่าเชื้อ

หลังจากทำการฆ่าเชื้อด้วยเครื่องฆ่าเชื้อและเก็บข้อมูลต่างๆสักระยะ ก็จะสามารถคาดคะเนระยะเวลาที่จะใช้ในการฆ่าเชื้อได้

ทำให้ไม่จำเป็นต้องวัดอุณหภูมิภายในกึ่งกลางผลิตภัณฑ์เป็นตัวแปรที่ควบคุมอีกต่อไป จะเปลี่ยนเวลาเป็นตัวแปรที่ต้องควบคุมแทน แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงประเภทของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีขนาดและรูปร่างต่างกันก็จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อต่างกันด้วย ดังนั้นเวลาที่จะกำหนดเป็นตัวแปรที่ต้องการควบคุมจะเป็นเวลาที่ใช้เฉพาะกับผลิตภัณฑ์ประเภทนั้นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย