บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้

3.1 บทนำ

เนื่องจากฝุ่นไม้เกิดการไหลได้ยากและมีการยุบตัวสูง ดังนั้นวิธีการอัดแบบลูกสูบด้วยระบบไฮดรอลิกจึงเหมาะสมกับการอัดฝุ่นไม้ให้เป็นแท่ง โดยในการอัดฝุ่นไม้จะใช้เพียงความดันเท่านั้นเพื่อบีบอัดอนุภาคให้ติดกันจะไม่มีการใช้ตัวประสานหรือความร้อนเข้าช่วย เพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากในสร้างชิ้นส่วนและลดความซับซ้อนจากการทำงานของเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ จึงเลือกใช้ต้นกำลังจากระบบไฮดรอลิกเพียงอย่างเดียว โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งจ่ายน้ำมันให้กับกระบอกไฮดรอลิกซึ่งจะเป็นตัวทำงาน

กระบวนการในการอัดฝุ่นไม้ให้เป็นแท่งมีขั้นตอนต่างๆดังนี้ คือจะป้อนฝุ่นไม้จากถังเก็บฝุ่นเข้าสู่แบบอัดจากนั้นจะทำการอัดเริ่มต้นเพื่อลดปริมาตรของฝุ่นไม้ลง ขณะนี้ฝุ่นไม้ในแบบอัดจะยังไม่แน่นต่อมาจะอัดฝุ่นไม้ในแบบอัดให้แน่นด้วยความดันสูง ฝุ่นไม้ที่ถูกบีบอัดก็จะแข็งเป็นแท่งและขั้นตอนสุดท้ายคือการนำแท่งฝุ่นไม้ออกจากแบบอัด จุดประสงค์หลักในการออกแบบเพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ก็คือ ต้องการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องจักรให้สูงขึ้น

3.2 เงื่อนไขและแนวคิด

3.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบ

ในการออกแบบได้กำหนดขอบเขตขั้นต้นไว้ดังนี้

1.เป็นการออกแบบเครื่องจักร ที่ใช้สำหรับอัดฝุ่นไม้ให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงแข็ง

2.แท่งฝุ่นไม้ที่อัดได้ มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน

3.ชุดต้นกำลังทั้งหมดใช้ระบบไฮดรอลิก

4.เครื่องจักรมีความซับซ้อนในการทำงานน้อยที่สุด

5.ออกแบบให้ง่ายต่อการสร้างชิ้นงานมากที่สุด

6.โครงสร้างเครื่องจักรมีขนาดกะทัดรัด และเหมาะสมในการรับแรง

7.ควบคุมการทำงานได้ง่าย และสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้

8.เครื่องจักรสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย

9.เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

3.2.2 แนวคิดในการออกแบบ

ออกแบบเฉพาะชิ้นส่วนและส่วนประกอบของเครื่องจักร ซึ่งทำหน้าที่ในการอัดแท่งฝุ่นไม้เท่านั้น ไม่รวมในส่วนของอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการลำเลียงฝุ่นไม้เข้าสู่เครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ และลำเลียงแท่งฝุ่นไม้ออกจากเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ ลักษณะของแท่งฝุ่นไม้ที่ได้จากการอัดเป็นแท่งรูปทรงกระบอกตัน และกำหนดให้แท่งฝุ่นไม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 30 มิลลิเมตรความยาวประมาณ 1-1.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในเตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรมที่ร่วมโครงการวิจัย

เนื่องจากฝุ่นไม้มีคุณสมบัติในการยุบตัวได้สูง ในการป้อนฝุ่นไม้เข้าสู่แบบอัดจึงจำเป็นต้องมีการอัดล่วงหน้าก่อนการอัดจริง เพื่อเป็นการลดปริมาตรของฝุ่นไม้ลงเป็นขั้นๆจากการกระทำดังกล่าวจะส่งผลให้สามารถออกแบบช่องอัดให้มีขนาดเล็กลงได้ เพราะหากป้อนฝุ่นไม้ปริมาตรมากๆเพียงครั้งเดียวจะต้องใช้ช่องป้อนที่ยาวทำให้เสียเวลาในการอัดนานขึ้น และเสียพื้นที่ที่ใช้ในการอัดเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เครื่องจักรต้องให้พื้นที่มากในการติดตั้ง

3.3 ผลการออกแบบ

3.3.1 การออกแบบแบบอัด

ชิ้นส่วนซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบหลักและสำคัญที่สุด ของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากฝุ่นไม้คือแบบอัด ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบแบบอัดที่คิดว่ามีความเป็นไปได้ในการสร้างชิ้นงานจริงเพื่อที่จะนำไปใช้งานขึ้นมาหลายๆแบบ โดยการออกแบบจะพิจารณาจากหลักการทำงานข้อดีข้อเสียและปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น เมื่อนำไปใช้งานของแต่ละแบบให้ละเอียดก่อนทำการสร้างชิ้นงานจริง เนื่องจากขั้นตอนในการสร้างมีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

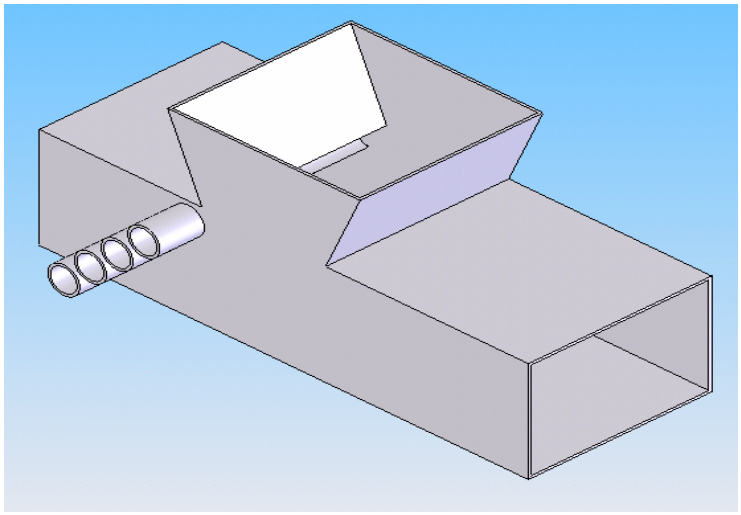
3.3.2 หลักการในการออกแบบแบบอัด

เนื่องจากระบบไฮดรอลิกที่ใช้กระบอกไฮดรอลิกเป็นต้นกำลัง เป็นระบบที่มีช่วงเวลาในการทำงานในแต่ละรอบและเป็นระบบที่ทำงานได้ไม่เร็วมากนัก การเพิ่มขนาดกำลังการผลิตของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากฝุ่นไม้ โดยการลดช่วงเวลาของรอบการทำงานให้สั้นลงจึงสามารถทำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการเพิ่มขนาดของแท่งเชื้อเพลิงแข็งให้ใหญ่มากขึ้นก็มีข้อจำกัดของการนำแท่งเชื้อเพลิงไปใช้งานในหม้อไอน้ำ ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากฝุ่นไม้ให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจึงต้องปรับปรุงในส่วนของขั้นตอนการอัดแท่งฝุ่นไม้ โดยจะต้องออกแบบให้สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้พร้อมกันครั้งละหลายๆแท่ง

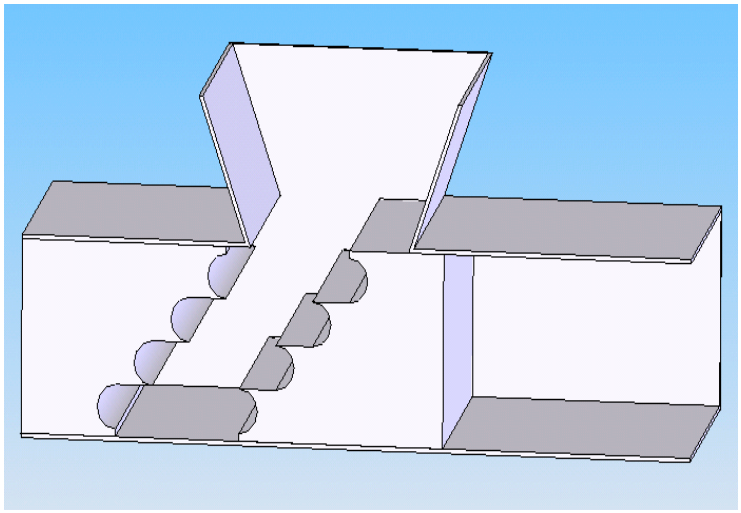
จากหลักการดังกล่าวข้างต้นจึงได้ทำการออกแบบแบบอัดขึ้นมาหลายๆแบบ เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกแบบที่ดีที่สุด

3.3.3 แบบอัดที่ได้ทำการออกแบบ

3.3.3.1 แบบอัดแบบเรียงซ้อนทแยงแนวดิ่ง มีหลักการทำงานคือฝุ่นไม้ในถังจะถูกป้อนและถูกอัดเริ่มแรกเข้าสู่แบบอัดด้วยแบบอัดตัวด้านขวา เมื่อแบบอัดตัวด้านขวาเคลื่อนที่ไปประกบกับแบบอัดตัวที่อยู่กับที่ทางด้านซ้าย ฝุ่นไม้จะถูกอัดเป็นแท่งทรงกระบอกยาวแต่ยังไม่แน่น จากนั้นฝุ่นไม้จะถูกอัดให้แน่นตามแนวยาวแท่งผ่านแบบอัด ได้แท่งฝุ่นไม้ออกมาทางด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ภาพแบบอัดแบบเรียงซ้อนทแยงแนวดิ่ง

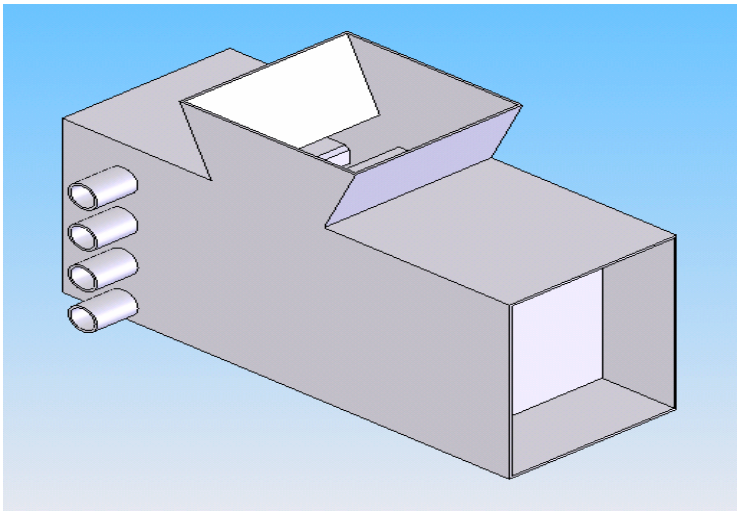


รูปที่ 3.2 ภาพตัดของแบบอัดแบบเรียงซ้อนทแยงแนวดิ่ง

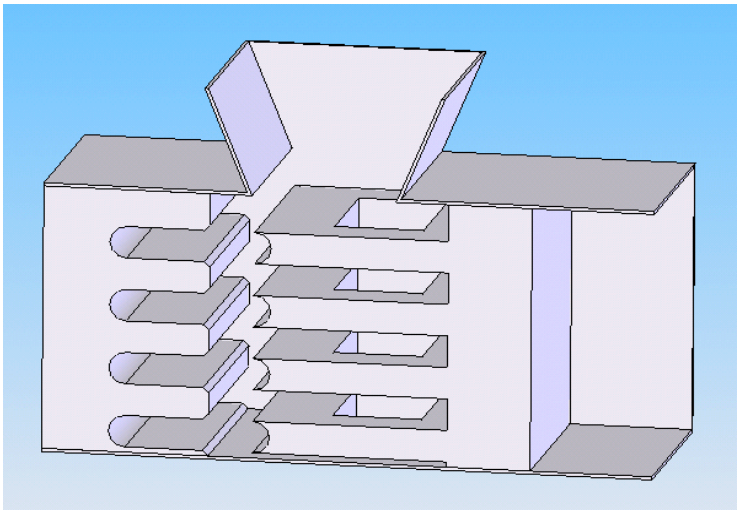
ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคืออยู่ในส่วนของแบบอัด เนื่องจากแบบอัดทั้งสองด้านมีหน้าสัมผัสกันเพื่อที่จะประกบกันได้สนิทเป็นทรงกระบอก จึงอาจจะทำให้มีเศษฝุ่นไม้ที่ถูกอัดในครั้งก่อนๆเข้าไปติดส่งผลให้แบบอัดประกบกันไม่สนิทได้ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจึงต้องถอดทำความสะอาด นอกจากนี้แท่งฝุ่นไม้ที่ได้จากการอัดอาจจะมีขนาดไม่เท่ากันทุกแท่ง เนื่องจากปริมาณฝุ่นไม้ที่เข้าสู่แบบอัดด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง

3.3.3.2 แบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวดิ่ง มีหลักการทำงานเหมือนกันกับแบบอัดแบบเรียงซ้อนทแยงแนวดิ่งแต่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขชุดแบบอัดใหม่ เพื่อแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากการที่มีเศษฝุ่นไม้ไปติดอยู่บริเวณหน้าสัมผัสของแบบอัดและฝุ่นไม้เข้าสู่แบบอัดไม่เท่ากัน โดยการทำให้แบบอัดตัวด้านขวามีช่องตรงกลางสำหรับให้ฝุ่นไม้ที่เกินจากการเข้าสู่แบบอัดไม่ถูกอัด ฝุ่นไม้จะตกกลับลงมาด้านล่างเพื่อใช้ป้อนเข้าสู่แบบอัดใหม่ในรอบถัดไป แบบอัดเรียงซ้อนแนวดิ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 3.3 และ3.4

ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ ปริมาณฝุ่นไม้ที่เข้าสู่แบบอัดน้อยกว่าค่าที่ได้ทำการออกแบบไว้ เนื่องจากในช่วงที่แบบอัดตัวด้านขวาเคลื่อนที่เข้ามาประกบกับแบบอัดตัวด้านซ้ายฝุ่นไม้อาจจะไหลไปอยู่ในช่องว่างระหว่างแบบอัด และตกลงสู่ด้านล่างทำให้ฝุ่นไม้ไม่เข้าไปในแบบอัด นอกจากนี้ในการควบคุมให้ฝุ่นไม้เข้าสู่แบบอัดเท่ากันทุกช่องนั้นทำได้ยาก

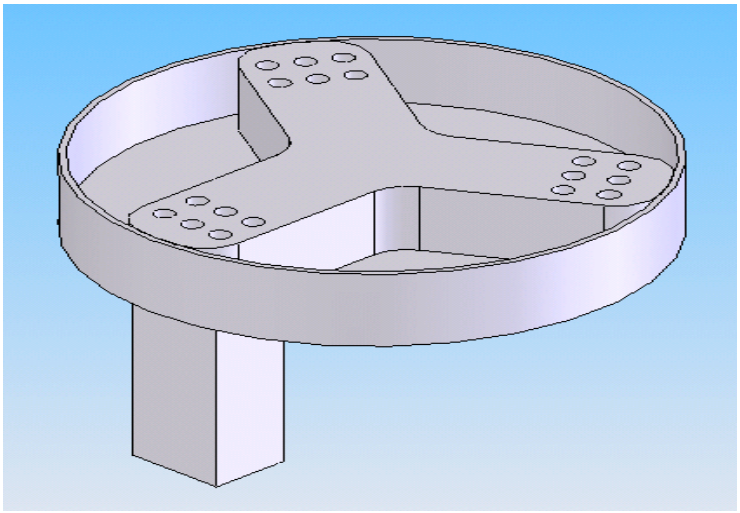


รูปที่3.3 ภาพแบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวดิ่ง

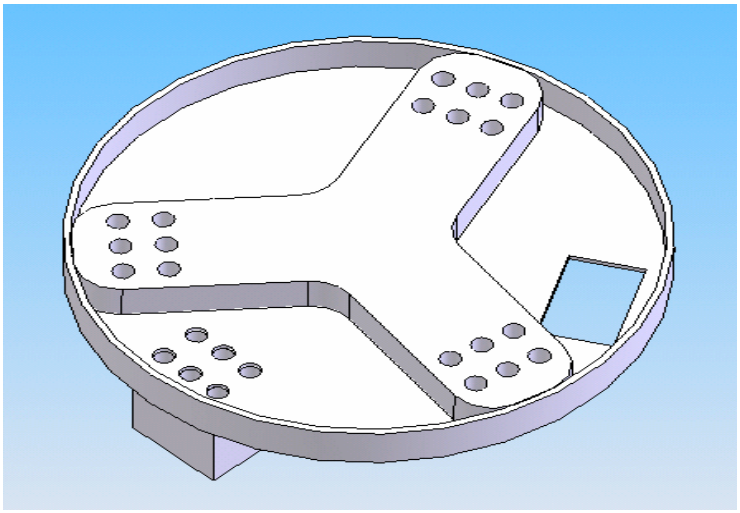


รูปที่ 3.4 ภาพตัดของแบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวดิ่ง

3.3.3.3 แบบอัดแบบโรเตอร์ มีหลักการทำงานคือฝุ่นไม้ในถังจะถูกลูกสูบดูดลงไปเก็บไว้ในกระบอกเก็บฝุ่นด้านล่าง เมื่อแบบอัดซึ่งมีลักษณะเป็นโรเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็นสามชุดแต่ละชุดทำงานต่างขั้นตอนกันหมุนช่องมาตรงกับกระบอกเก็บฝุ่น ลูกสูบก็จะดันฝุ่นไม้ในกระบอกเก็บฝุ่นขึ้นไปในแบบอัดเป็นการอัดเริ่มแรก ส่วนแบบอัดอีกสองชุดก็จะอยู่ในขั้นตอนการอัดจริงกับขั้นตอนการถอดแท่งฝุ่นไม้ออกจากแบบอัด โดยทุกขั้นตอนจะทำงานพร้อมกันเมื่อแต่ละขั้นตอนทำงานเสร็จทั้งหมดแบบอัดก็จะหมุนไปในขั้นตอนถัดไปเรื่อยๆตามลำดับ รูปที่ 3.5 และ3.6 แสดงแบบอัดแบบโรเตอร์



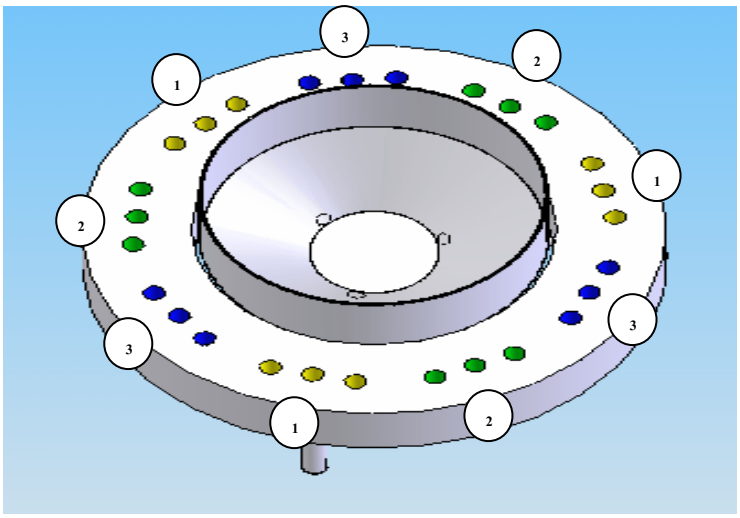
รูปที่ 3.5 ภาพแบบอัดแบบโรเตอร์



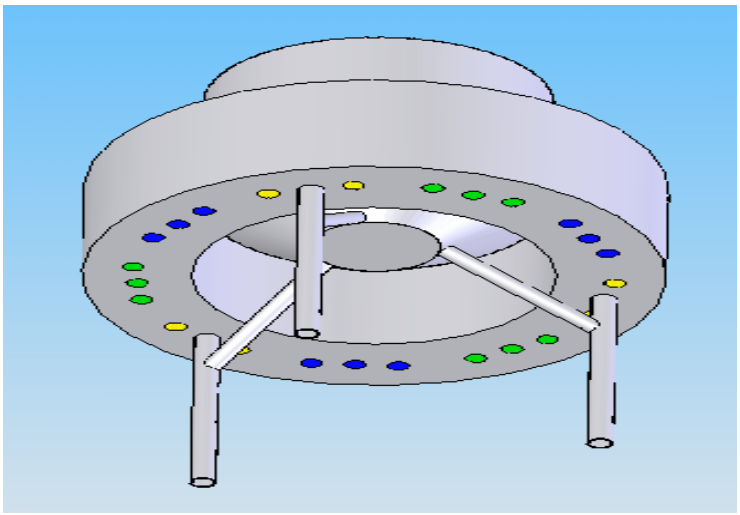
รูปที่ 3.6 ภาพด้านบนของแบบอัดแบบโรเตอร์

ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดคือ ในส่วนของช่องว่างระหว่างตัวโรเตอร์กับถังเก็บฝุ่นไม้ ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของแบบอัดซึ่งเป็นโรเตอร์จะมีการหมุนอยู่ตลอด ทำให้เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งอาจจะมีฝุ่นไม้เข้าไปติดในช่องว่างระหว่างตัวโรเตอร์กับถังเก็บฝุ่นไม้ได้ จึงต้องถอดออกมาทำความสะอาดซึ่งมีความยุ่งยากในการถอดประกอบชิ้นส่วน และในส่วนของลูกสูบที่ใช้ดูดฝุ่นไม้จะเกิดการสึกหรออยู่ตลอดเวลา เมื่อลูกสูบสึกหรอมากจนไม่มีแรงดูดฝุ่นไม้จะต้องทำการเปลี่ยนลูกสูบใหม่

3.3.3.4 แบบอัดแบบโรเตอร์ 3 ชุดป้อน มีหลักการทำงานเหมือนกันกับแบบอัดแบบโรเตอร์ แต่ได้ทำการเพิ่มแบบอัดเป็นสามชุดโดยแต่ละชุดแบ่งเป็นสามขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นตอนการดูดฝุ่นไม้จากถังเก็บลงมาในกระบอกดูดและเก็บฝุ่นไม้ (ในรูปแสดงกระบอกดูดและเก็บฝุ่นไม้เพียงกระบอกเดียวจากทั้งหมดสามกระบอก) แล้วอัดขึ้นไปในแบบอัดเพื่อเป็นการอัดเริ่มแรก แบบอัดขั้นตอนนี้แสดงด้วยหมายเลขหนึ่ง ขั้นตอนการอัดฝุ่นไม้ในแบบอัดให้แน่นแสดงด้วยหมายเลขสองและขั้นตอนการถอดแท่งฝุ่นไม้ออกจากแบบอัดแสดงด้วยหมายเลขสาม ดังในรูปที่ 3.7 และ3.8 แต่ละขั้นตอนมีสามช่อง แบบอัดหนึ่งชุดจึงสามารถอัดแท่งฝุ่นไม้ได้ครั้งละสามแท่ง ดังนั้นเมื่อรวมแบบอัดทั้งหมดสามชุดจะได้แท่งเชื้อเพลิงออกมาครั้งละเก้าแท่ง โดยแบบอัดทุกชุดจะทำงานพร้อมกันและเมื่อแต่ละขั้นตอนทำงานเสร็จทั้งหมด แบบอัดซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่ด้านนอกจะทำงานแบบโรเตอร์คือหมุนไปในขั้นตอนถัดไปเรื่อยๆตามลำดับ



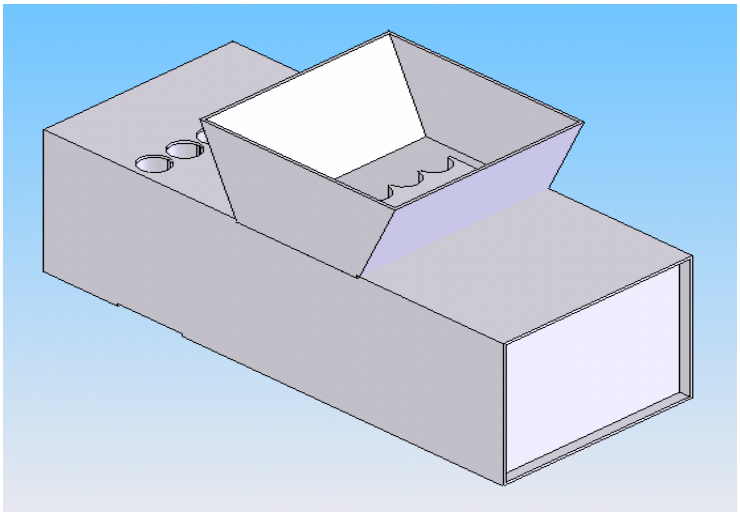
รูปที่ 3.7 ภาพแบบอัดแบบโรเตอร์ 3 ชุดป้อน



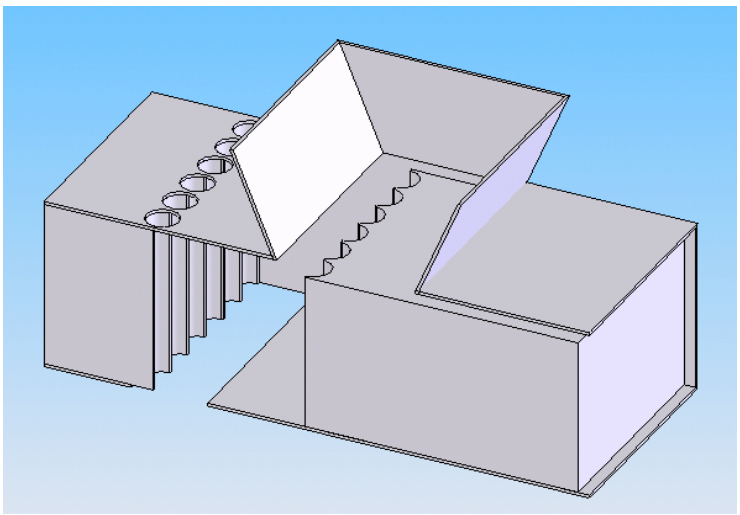
รูปที่ 3.8 ภาพด้านล่างของแบบอัดแบบโรเตอร์ 3 ชุดป้อน

ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อเชื่อมของท่อดูดและเก็บฝุ่นไม้คือ อาจจะมีฝุ่นไม้เข้าไปติดหรือฝุ่นไม้จะไม่เกิดการไหล ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมีการต่อท่อดูดฝุ่นไม้เอาไว้หลายจุด ในส่วนของลูกสูบขณะที่กำลังดันฝุ่นไม้เข้าไปในแบบอัด ฝุ่นไม้อาจจะไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บฝุ่นไม้ ได้ทำให้ฝุ่นไม้เข้าสู่แบบอัดไม่เพียงพอ และยังเป็นการยากที่จะควบคุมให้ฝุ่นไม้เข้าสู่แบบอัดได้เท่ากันทุกช่อง นอกจากนี้ลูกสูบที่ใช้ดูดฝุ่นไม้ยังเกิดการสึกหรออยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งลูกสูบจะหลวม ทำให้ไม่มีแรงดูดฝุ่นไม้จะต้องเปลี่ยนลูกสูบใหม่

3.3.3.5 แบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้ง มีหลักการทำงานคือฝุ่นไม้ในถังเก็บจะถูกป้อนและถูกอัดเริ่มแรกเข้าสู่แบบอัดด้วยแบบอัดตัวด้านขวา เมื่อแบบอัดตัวด้านขวาเคลื่อนที่ไปประกบกับแบบอัดตัวด้านซ้ายซึ่งอยู่กับที่จนสนิท ฝุ่นไม้จะถูกอัดเป็นแท่งทรงกระบอกยาวแต่ยังไม่แน่น จากนั้นฝุ่นไม้จะถูกอัดให้แน่นตามความยาวแท่งจากด้านบนลงมา โดยในการอัดแท่งฝุ่นไม้จะทำการอัดแบบไม่ผ่านแบบอัด ดังนั้นเมื่อแบบอัดตัวด้านขวาถอยกลับพร้อมกับช่องปิดด้านล่างเปิดออก แท่งฝุ่นไม้ก็จะตกลงมาด้านล่างทำให้ลดเวลาในการดันแท่งฝุ่นไม้ออกจากแบบอัด แบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้งแสดงไว้ดังรูปที่ 3.9 และ3.10



รูปที่ 3.9 ภาพแบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้ง



รูปที่ 3.10 ภาพตัดของแบบอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้ง

ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ เนื่องจากฝุ่นไม้ไม่ได้ถูกอัดผ่านแบบอัดจึงอาจจะทำให้แท่งฝุ่นไม้ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกที่ไม่กลมและติดกันทุกแท่ง แต่ก็ไม่ส่งผลต่อการนำไปใช้งานในการทำเป็นแท่งเชื้อเพลิง และในขณะที่ทำการอัดฝุ่นไม้ให้แน่นตามความยาวแท่งทรงกระบอกจากด้านบนลงมาในแบบเบ้าอัด แรงดันอาจจะดันฝุ่นไม้ในแบบอัดจนทำให้แบบอัดตัวด้านขวาเลื่อนออกมาได้ จึงต้องคิดออกแบบระบบล็อกแม่พิมพ์เพิ่มเติม

3.4 การสร้างชุดทดสอบการดูดฝุ่นไม้ด้วยสุญญากาศ

เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบดูดฝุ่นไม้ด้วยสุญญากาศ จึงได้ทำการสร้างชุดทดลองเพื่อดูดฝุ่นไม้ด้วยลูกสูบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.11 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ กระบอกสูบใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1½ นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร ก้านสูบใช้เหล็กเพลาตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว นำมากลึงเกลียวด้านปลายเอาไว้สำหรับใส่น็อตล็อกลูกสูบไม่ให้หลุด ส่วนลูกสูบได้จากการนำเทฟลอนมากลึงให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์ลางเท่ากับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อพีวีซีพอดี จากนั้นนำมาเจาะรูตรงกลางให้เข้ากับปลายด้านที่มีเกลียวของก้านสูบแล้วตัดให้ได้ความยาวประมาณ 4 เซนติเมตร นำกรวยมาต่อเข้ากับด้านปลายของท่อพีวีซีเพื่อใช้สำหรับใส่ฝุ่นไม้

รูปที่ 3.11 แสดงชุดทดลองการดูดฝุ่นไม้ด้วยมือ

จากการทดลองดูดฝุ่นไม้โดยใช้ชุดทดลองการดูดฝุ่นไม้ด้วยมือพบว่า เมื่อมีฝุ่นไม้มาเกาะติดที่ผนังของกระบอกสูบ จะทำให้เกิดความฝืดระหว่างผนังของกระบอกสูบกับลูกสูบมากขึ้นจึงต้องออกแรงมากในการดึงก้านสูบลงมาเพื่อที่จะดูดฝุ่นไม้ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลให้การดูดฝุ่นไม้ไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งความยาวของกระบอกสูบ จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการเปลี่ยนแปลงชุดทดลองการดูดฝุ่นไม้ จากการใช้มือดึงก้านสูบไปใช้แรงจากกระบอกไฮดรอลิกแทน นอกจากนี้ยังได้มีการเปลี่ยนกระบอกสูบ จากท่อพีวีซีมาใช้ท่อขัดผิวเรียบแข็งภายในแทน เพื่อลดความเสียดทานระหว่างผนังของกระบอกสูบกับลูกสูบ ชุดทดลองการดูดฝุ่นด้วยกระบอกไฮดรอลิกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 แสดงชุดทดลองการดูดฝุ่นด้วยกระบอกไฮดรอลิก

จากการหาปริมาณฝุ่นไม้ภายในกระบอกดูด ที่สามารถมีได้สูงสุดในกรณีต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ทั้งนี้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับการทดลองดูดฝุ่นไม้ ซึ่งจะศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ลูกสูบในการดูดฝุ่นไม้จากถังเก็บ โดยพิจารณาจากปริมาณฝุ่นที่เข้าไปอยู่ภายใน

กระบอก จากนั้นคิดเทียบเป็นค่าความหนาแน่นว่าเพียงพอกับการใช้งานหรือไม่ผลการทดลองได้ค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นไม้เมื่อกรอกฝุ่นไม้ใส่กระบอกดูด

กรอกฝุ่นไม้ใส่กระบอกดูด	ไม่เขย่า	เขย่าถังเก็บ	เขย่ากระบอก	เขย่าและเคาะกระบอก
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	137.34	145.92	153.81	189.08

ตารางที่ 3.2 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นไม้เมื่อดูดฝุ่นไม้ด้วยลูกสูบ

ดูดฝุ่นไม้โดยใช้ลูกสูบ	ดึงช้า	ดึงเร็ว
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	130.5	141.4

จากการทดลองได้ค่าความหนาแน่นของฝุ่นไม้ภายในกระบอกดูด ใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นบัลค์ (bulk density) ของฝุ่นไม้ และชุดทดลองสามารถดูดฝุ่นไม้ลงมาในกระบอกดูดได้เต็มทุกครั้ง จึงสรุปได้ว่าสามารถนำระบบดูดฝุ่นไม้ด้วยสุญญากาศมาใช้ในการออกแบบเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ได้จริง

3.5 วิธีการคำนวณ

การคำนวณเพื่อออกแบบเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากฝุ่นไม้ ในเบื้องต้นได้กำหนดให้แท่งฝุ่นไม้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 1-1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มีความหนาแน่นสูงสุด 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในการป้อนฝุ่นไม้เข้าสู่เบ้าอัดจะใส่ฝุ่นไม้ไว้ในถังเก็บ แล้วให้ฝุ่นไม้ไหลลงสู่รางรับฝุ่นเอง เมื่อทำการหาความหนาแน่นของฝุ่นไม้ภายในภาชนะจะได้ความหนาแน่นเท่ากับ 140 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ฝุ่นไม้มีความหนาแน่นบัลค์ 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นจึงใช้ค่านี้ในการคำนวณออกแบบ เพื่อหาปริมาตรฝุ่นไม้เริ่มต้นก่อนการอัด ซึ่งได้แสดงวิธีการคำนวณไว้ดังนี้

แท่งฝุ่นไม้รูปทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร คิดที่ความหนาแน่น 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ภายในเบ้าอัด เพราะเมื่อถอดแท่งฝุ่นไม้ออกจากเบ้าอัดความหนาแน่นจะลดลง โดยจะทำการอัดพร้อมกันครั้งละสี่แท่ง

ปริมาตรแท่งฝุ่นไม้แต่ละแท่ง $V = \frac{\pi d^2 h^3}{4}$

$= \frac{\pi \ x\ 30^2\ x\ 60^3}{4}$

$= 42{,}411.50 \quad mm^3$

ปริมาตรแท่งฝุ่นไม้ทั้งหมด = จำนวนแท่ง x 42,411.50

$= 4\ x\ 42{,}411.50$

$= 169{,}646 \quad mm^3$

มวลของแท่งฝุ่นไม้ทั้งหมด $m_d = \rho V$

$= 1{,}200\ x\ 169{,}646 \times 10^{-9}$

$= 0.204 \quad kg$

จากปริมาตรของฝุ่นไม้ทั้งหมดเมื่ออัดเป็นแท่งแล้ว 169,646 ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีมวล 204 กรัม สามารถที่จะคำนวณย้อนกลับไปเพื่อหาปริมาตรของฝุ่นไม้เริ่มต้นก่อนที่จะทำการอัดได้ โดยคิดว่ามวลของฝุ่นไม้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และฝุ่นไม้มีความหนาแน่นเริ่มต้น 140 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

มวลฝุ่นไม้ก่อนอัด = มวลฝุ่นไม้หลังอัด

ปริมาตรฝุ่นไม้เริ่มต้นก่อนอัด $V = \frac{0.204}{140}$

$= 1{,}457{,}142.86 \quad mm^3$

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปใช้คำนวณหาขนาดของกระบอกไฮดรอลิก

3.5.1 กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่หนึ่ง

3.5.1.1 กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่หนึ่งทำหน้าที่ในการป้อนและอัดฝุ่นไม้ล่วงหน้าก่อนการอัดจริง(feed and prepress) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (piston diameter) สามารถคำนวณได้จากฝุ่นไม้มวล 204 กรัม มีปริมาตรเริ่มต้นก่อนป้อนเข้าสู่เบ้าอัด 1,457,142.86 ลูกบาศก์มิลลิเมตร หลังจากถูกอัดล่วงหน้าภายในเบ้าอัดเพื่อลดปริมาตรลง 3.5 เท่า จะเหลือปริมาตรภายในเบ้าอัด

ปริมาตรฝุ่นไม้หลังจากอัดล่วงหน้า $V = \frac{1,457,142.86}{3.5}$

$= 416,326.53 \quad mm^3$

ความหนาแน่นหลังจากอัดล่วงหน้า $\rho = \frac{0.204}{416,326.53\ x\ 10^{-9}}$

$= 490 \quad kg/m^3$

จากการทดลองของวิริยะ ดวงสุวรรณ (2544) สรุปได้ว่าที่ความหนาแน่นของแท่งฝุ่นไม้ภายในเบ้าอัดประมาณ 490 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้ความดันในการอัดประมาณ 2.3 เมกะปาสคาล หากกำหนดให้ช่องป้อนฝุ่นไม้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 135 มิลลิมตร และสูง 150 มิลลิเมตร จะสามารถหาแรงอัดที่ความดันดังกล่าวได้จากสมการ

$$F = P_2 A_2 \qquad (3.1)$$
$$= 2.3\ x\ 10^6\ x\ (135\ x\ 150)\ x\ 10^{-6}$$
$$= 46,575 \quad N$$

โดยที่ F : แรงอัดที่ก้านสูบไฮดรอลิกหรือแรงอัดที่แท่งอัด (นิวตัน)

P_2 : ความดันปรากฏของแท่งฝุ่นไม้ในช่องอัด (ปาสคาล)

A_2 : พื้นที่หน้าตัดของช่องป้อนฝุ่น (ตารางเมตร)

จากแรงอัด 46,575 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงอัดสูงสุดที่กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่หนึ่งใช้เพื่ออัดฝุ่นไม้เริ่มต้นก่อนการอัดจริง สามารถหาขนาดของกระบอกไฮดรอลิกได้จากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ โดยขนาดพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบหาได้จากแรงอัดสูงสุดที่คำนวณได้กับค่าความดันของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ตามสมการ

$$A_1 = \frac{F_2}{P_1} \qquad (3.2)$$
$$= \frac{46,575}{10.3\ x\ 10^6}$$
$$= 4.5\ x\ 10^{-3} \quad m^2$$

โดยที่ F : แรงอัด (นิวตัน)

P_1 : ความดันน้ำมันไฮดรอลิก (ปาสคาล)

P_1= 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ $10.4x10^6$ ปาสคาล

A_1 : พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (ตารางเมตร)

ให้ d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ จากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบได้ดังนี้

$$d = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} \qquad (3.3)$$

$$= \sqrt{\frac{4\ x\ 4.5\ x\ 10^{-3}}{\pi}}$$

$$= 0.0757 \quad m \qquad = 75.7 \quad mm$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่หนึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 100 มิลลิเมตร

3.5.1.2 ช่วงชัก (stroke) หาได้จากการคำนวณความยาวของรางรับฝุ่นไม้โดยให้ฝุ่นไม้ทั้งหมดก่อนทำการอัดซึ่งมีจำนวน 1,457,142.86 ลูกบาศก์มิลลิเมตร อยู่ในรางรับฝุ่นไม้หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 135 มิลลิเมตร และสูง 150 มิลลิเมตร จะได้ความยาวของรางรับฝุ่นไม้โดยประมาณ จากสมการ

$$l = \frac{V}{A_2}$$

$$= \frac{1{,}457{,}142.86\ x\ 10^{-9}}{135\ x\ 150\ x\ 10^{-6}}$$

$$= 0.072 \quad mm \qquad = 71.96 \quad m$$

โดยที่ l : ความยาวของรางรับฝุ่น (เมตร)

V : ปริมาตรของฝุ่นไม้ก่อนป้อนเข้าช่องอัด (ลูกบาศก์เมตร)

A_2 : พื้นที่หน้าตัดของรางรับฝุ่น (ตารางเมตร)

ความยาวช่วงชักได้กำหนดให้มีความยาวเผื่อไว้สำหรับกรณีต่างๆดังนี้คือ ฝุ่นไม้ตกลงมาไม่เต็มหน้าตัดของรางรับฝุ่นไม้ กองฝุ่นไม้ในรางป้อนฝุ่นมีลักษณะลาดเทไม่เต็มช่องป้อนฝุ่นไม้ และฝุ่นไม้ล้นออกมาจากช่องป้อนฝุ่นในขณะที่ถูกดันเข้าสู่เบ้าอัด ดังนั้นจึงเลือกความยาวช่วงชัก 200 มิลลิเมตร

3.5.2 กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สอง

3.5.2.1 กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สองทำหน้าที่ในการอัดฝุ่นไม้จริง(press) เนื่องจากกระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สองเป็นกระบอกอัดหลัก ซึ่งต่ออยู่ในแนวเดียวกันกับเบ้าอัด ดังนั้นจึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ เท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบ้าอัดคือ 30 มิลลิเมตร คิดเป็นพื้นที่หน้าตัด

$$A_1 = \frac{\pi \ x \ 30^2}{4} = 706.86 \quad mm^2$$

แต่จะทำการอัดพร้อมกันครั้งละ 4 แท่ง จึงคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมดเท่ากับ 4 x 706.86 = 2,827.44 ตารางมิลลิเมตร จากการทดลองของวิริยะ ดวงสุวรรณ (2544) สรุปได้ว่าที่ความหนาแน่นของแท่งฝุ่นไม้ประมาณ 950-1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังถอดออกจากกระบอกอัดแล้วต้องใช้ความดันในขณะอัดประมาณ 73.5 เมกะปาสคาล ดังนั้นสามารถคำนวณหาแรงอัดได้จากสมการ (3.1)

$$\begin{aligned} F &= P_2 A_2 \\ &= 75 \ x \ 10^6 \ x \ 2{,}827.44 \ x \ 10^{-6} \\ &= 212{,}058 \quad N \end{aligned}$$

และสามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดลูกสูบของกระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สองได้จากสมการ (3.2)

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{F_2}{P_1} \\ &= \frac{212{,}058}{10.3 \ x \ 10^6} \\ &= 0.0206 \quad m^2 \end{aligned}$$

จากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบสามารถคำนวณหา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ ได้จากสมการ (3.3)

$$d = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}}$$
$$= \sqrt{\frac{4\ x\ 0.0206}{\pi}}$$
$$= 0.162 \quad m \qquad = 162 \quad mm$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 165 มิลลิเมตร

3.5.2.2 ช่วงชัก กำหนดให้กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สองมีความยาวช่วงชักเท่ากับความสูงของเบ้าอัดคือ 150 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากมีกระบอกไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 160 มิลลิเมตร ความยาวช่วงชัก 250 มิลลิเมตร อยู่แล้วจึงได้เลือกนำมาใช้งานโดยติดตั้งลิมิตสวิทซ์ เพื่อควบคุมไม่ให้กระบอกไฮดรอลิกหดกลับจนสุด

3.5.3 กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สาม

กระบอกไฮดรอลิกกระบอกที่สามทำหน้าที่ในการดันแท่งปิดฝุ่นไม้(discharge)ให้ปิดช่องเปิดด้านล่างของเบ้าอัดในขณะที่ทำการอัดแท่งฝุ่นไม้ และดึงแท่งปิดฝุ่นไม้ให้เปิดช่องเปิดด้านล่างของเบ้าอัดเพื่อให้แท่งฝุ่นไม้หลุดออกมาจากเบ้าอัด ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบอกไฮดรอลิกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 100 มิลลิเมตร และมีความยาวช่วงชักเท่ากับความกว้างช่องเปิดด้านล่างของเบ้าอัดฝุ่นไม้ ซึ่งมีขนาด 100 มิลลิเมตร

3.5.4 กำลังการผลิต

ระบบไฮดรอลิกจะใช้ปั๊มไฮดรอลิกเป็นตัวสร้างความดัน และเพิ่มอัตราการไหลให้กับน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อที่จะส่งจ่ายไปยังตัวทำงาน เช่น กระบอกไฮดรอลิก มอเตอร์ไฮดรอลิก เป็นต้น แรงของกระบอกไฮดรอลิกหรือแรงบิดของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความดันน้ำมัน ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้เรกกูเลเตอร์เป็นตัวควบคุม ให้ได้ค่าความดันตามที่กำหนดก่อนที่จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ ส่วนความเร็วในการทำงานจะได้จากอัตราการไหลของน้ำมัน ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้ลิ้นควบคุมการไหล และอุปกรณ์บังคับทิศทางการไหลติดตั้งไว้ในตำแหน่งต่างๆที่เหมาะสม

เครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ที่ทำการสร้างสามารถอัดฝุ่นไม้ได้มวล 204 กรัม และใช้เวลาในการทำงาน 13.225 วินาที ต่อหนึ่งรอบของการอัด เมื่อคิดกำลังการผลิตของเครื่องจักรจะอยู่ที่ประมาณ

55.53 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยรายละเอียดของกระบอกไฮดรอลิกทั้งสามกระบอกได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของกระบอกไฮดรอลิกทั้งสามกระบอก

Cylinder	Piston dia. (mm)	Rod dia (mm)	Stroke (mm)	Oil flow		Extension		Retraction	
				(litre/min)	(gpm)	time (s)	vel. (cm/s)	time (s)	vel. (cm/s)
1st cylinder	100	56	200	43.50	11.50	2.26	8.85	1.53	13.07
2nd cylinder	160	85	250	43.50	11.50	7.39	3.38	5.37	4.66
3rd cylinder	100	56	100	43.50	11.50	0.98	10.20	0.72	13.89

3.6 สรุป

การสร้างเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้ จะต้องเลือกแบบเบ้าอัดที่ตรงตามเงื่อนไขที่ได้วางไว้ให้มากที่สุด เกิดปัญหาในระหว่างการสร้าง การควบคุมและการใช้งานน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาเบ้าอัดแบบเรียงซ้อนทแยงแนวดิ่งและเบ้าอัดแบบเรียงซ้อนแนวดิ่ง จะเห็นได้ว่ามีหลักการทำงานเหมือนกันกับเบ้าอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้ง แต่เบ้าอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้งใช้เวลาในการทำงานแต่ละรอบน้อยกว่า และสามารถทำความสอาดแบบเบ้าอัดได้สะดวกกว่า ส่วนเบ้าอัดแบบโรเตอร์และเบ้าอัดแบบโรเตอร์ 3 ชุดป้อน เนื่องจากมีการทำงานในลักษณะเป็นโรเตอร์ทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุม ให้แบบเบ้าอัดหมุนไปหยุดตรงตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำทุกครั้ง และจะต้องออกแบบฐานเครื่องจักรให้แรงที่มากระทำต่อแบบเบ้าอัดสมดุลกันโดยรอบ ทั้งนี้ก็เพื่อไม่ให้เกิดแรงกระทำเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในการสร้างชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร และต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้นมากกว่าเบ้าอัดแบบอื่นๆซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้เบ้าอัดแบบเรียงซ้อนแนวตั้ง

ในเบื้องต้นได้มีการคำนวณแรงดันที่ใช้ในการอัดแท่งฝุ่นไม้ เพื่อเลือกขนาดของกระบอกไฮดรอลิก คำนวณกำลังการผลิตเพื่อเลือกขนาดของปั๊มน้ำมันไฮดรอลิก คำนวณหาขนาด

ของช่องป้อนฝุ่นไม้และแม่พิมพ์ แล้วจึงทำการออกแบบระบบอัดแท่งฝุ่นไม้ โครงสร้างเครื่องจักร และชิ้นส่วนประกอบต่างๆทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2005 ในการเขียนแบบ จากนั้นได้นำแบบเครื่องอัดแท่งฝุ่นไม้มาวิเคราะห์การรับแรงด้วยโปรแกรม COSMOSWorks 2005 เพื่อดูระยะยืดหดตัวของชิ้นส่วน การวิบัติภายในชิ้นส่วนและค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย