

## เอกสารอ้างอิง

1. จุฑานิตย์ เมธิยานนท์, 2547, “การศึกษาผลของตัวประสานที่ผลิตจากฟางข้าวต่อสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 18, 18-20 ตุลาคม 2547, จังหวัดขอนแก่น, หน้า 779-783.
2. ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์, 2549, “การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันจากกะลามะพร้าวโดยใช้ฟางข้าวหมัก และโมลาสเป็นตัวประสาน”, วารสารสงขลานครินทร์ฉบับ-วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ฉบับที่ 6 พ.ย.-ธ.ค., หน้า 1305-1316.
3. ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์, 2549, “การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 83-88.
4. รติยา มณีศรี, 2539, การพัฒนาการใช้วัชพืชเพื่อแทนไฟเบอร์บอร์ด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 95-98.
5. Odozi, T.O., Akaranta, O. and Ejike, P.N., 1986, “Particle boards from Agricultural Waste”, **Agricultural Waste Technology**, Vol. 16, No. 3, pp 237-240.
6. ประลองค์ ดำรงค์ไทย, 2541, “แท่งเชื้อเพลิงเขียวเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน”, วนสาร, ฉบับที่ 55, หน้า 53-60.
7. Husian, Z., Zainac, Z. and Addullah, Z., 2002, “Briquetting of palm fiber and shell from the processing of palm nuts to palm oil”, **Biomass and Bioenergy**, Vol. 22, No. 10, pp. 505-509.
8. อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, 2551, “การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพด และกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา, 17-19 มกราคม 2551, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, หน้า 454-457.
9. Xianglang, Z., Deping, X., Zhihua, X. and Qingru, C., 2001, “The effect of different treatment condition on binder preparation for lignite briquette”, **Fuel Processing Technology** [Electronic], Vol. 73, pp. 185-196, Available : Elsevier / Science Direct [22 มกราคม 2550].
10. Mayoral, M.C., Izquierdo, M.T., BleZa, M.J., Andress, J.M., Rubio, B. and Miranda, J.L., 2001, “DSC study of curing in smokeless briquetting”, **Thermochemica Acta** [Electronic], Vol. 371, No.pp.41-44, Available : Elsevier / Science Direct [14 มกราคม 2550].

11. Alexy, P., Kosikova, B. and Podstranska, G., 2000, "The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties", **Polymer** [Electronic], Vol. 41, pp. 4901-4908, Available : Elsevier / Science Direct [12 มีนาคม 2550].
12. Richard, S.R., 1989, "Physical of Fuel Briquettes", **Fuel Processing Technology** [Electronic], Vol. 25, pp.89-100, Available : Elsevier / Science Direct [8 มีนาคม 2550].
13. สำเริง สุชานุกุทธิ์, 2545, การศึกษาการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้โปรดิเวเซอร์แก๊สจาก ผักตบชวาอัดแท่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 18-20.
14. Tanthansakun, S., 1993, **Steam Gasification Up-Flow Biomass Gasifier**, Master of Engineering Thesis, Energy Management Technology Program, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, pp. 14-117.
15. วีรชัย อางหาญ, 2550, "การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน", การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 19-20 กรกฎาคม 2550, โรงแรมราชพฤกษ์ แกรนด์ไฮเทล จ.นครราชสีมา, หน้า 103-161.

ภาคผนวก ก  
ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนการผสมต่างๆ  
ระหว่างสับุดำกับตัวประสานแป้งเปียก

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับุดำกับตัวประสานแป้งเปียก |               | ค่าความร้อน (MJ/kg) |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| สับุดำ (%)                                      | แป้งเปียก (%) |                     |
| 60                                              | 40            | 13.874              |
| 65                                              | 35            | 14.375              |
| 70                                              | 30            | 14.768              |
| 75                                              | 25            | 15.076              |
| 80                                              | 20            | 15.342              |
| 85                                              | 15            | 15.602              |
| 90                                              | 10            | 15.754              |
| 95                                              | 5             | 15.823              |

ตารางที่ ก.2 ผลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนการผสมต่างๆ  
ระหว่างสับุดำกับตัวประสานโมลาส

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับุดำกับตัวประสานแป้งเปียก |           | ค่าความร้อน (MJ/kg) |
|-------------------------------------------------|-----------|---------------------|
| สับุดำ (%)                                      | โมลาส (%) |                     |
| 60                                              | 40        | 13.524              |
| 65                                              | 35        | 14.055              |
| 70                                              | 30        | 14.425              |
| 75                                              | 25        | 14.742              |
| 80                                              | 20        | 15.045              |
| 85                                              | 15        | 15.278              |
| 90                                              | 10        | 15.436              |
| 95                                              | 5         | 15.518              |

ตารางที่ ก.3 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับุ่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้เป้่งเปียก  
เป็นตัวประสานที่สั้ดส่ว 15 %

| สั้ดส่วการผสมระหว่่างสับุ่ดำ<br>กับซังข้าวโพดต่อเป้่งเปียก |                   |                   | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับุ่ดำ<br>(%)                                             | ซังข้าวโพด<br>(%) | เป้่งเปียก<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 45                                                         | 40                | 15                | 14.574                 | 1443                                       | 1.205                            |
| 55                                                         | 30                |                   | 14.945                 | 1412                                       | 1.124                            |
| 65                                                         | 20                |                   | 15.208                 | 1364                                       | 1.054                            |
| 75                                                         | 10                |                   | 15.366                 | 1318                                       | 0.933                            |

ตารางที่ ก.4 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับุ่ดำและกากมันสำปะหลัง  
ซึ่งใช้เป้่งเปียกเป็นตัวประสานที่สั้ดส่ว 15 %

| สั้ดส่วการผสมระหว่่างสับุ่ดำ<br>กับกากมันสำปะหลังต่อเป้่งเปียก |                       |                   | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับุ่ดำ<br>(%)                                                 | กากมันสำปะหลัง<br>(%) | เป้่งเปียก<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 45                                                             | 40                    | 15                | 13.755                 | 1383                                       | 1.082                            |
| 55                                                             | 30                    |                   | 14.281                 | 1338                                       | 0.976                            |
| 65                                                             | 20                    |                   | 14.566                 | 1306                                       | 0.914                            |
| 75                                                             | 10                    |                   | 14.784                 | 1265                                       | 0.825                            |

ตารางที่ ก.5 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและชานอ้อยซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำกับชานอ้อยต่อแป้งเปียก |             |               | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|--------------------------------------------------|-------------|---------------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| สับูดำ (%)                                       | ชานอ้อย (%) | แป้งเปียก (%) |                        |                                        |                              |
| 45                                               | 40          | 15            | 13.126                 | 1075                                   | 0.564                        |
| 55                                               | 30          |               | 13.384                 | 1094                                   | 0.575                        |
| 65                                               | 20          |               | 13.885                 | 1122                                   | 0.603                        |
| 75                                               | 10          |               | 14.185                 | 1143                                   | 0.621                        |

ตารางที่ ก.6 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและแกลบซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำกับแกลบต่อแป้งเปียก |          |               | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|-----------------------------------------------|----------|---------------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| สับูดำ (%)                                    | แกลบ (%) | แป้งเปียก (%) |                        |                                        |                              |
| 45                                            | 40       | 15            | 12.385                 | 1283                                   | 0.855                        |
| 55                                            | 30       |               | 12.627                 | 1242                                   | 0.794                        |
| 65                                            | 20       |               | 13.062                 | 1217                                   | 0.737                        |
| 75                                            | 10       |               | 13.37                  | 1174                                   | 0.676                        |

ตารางที่ ก.7 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำกับซังข้าวโพดต่อแป้งเปียก |                |               | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด (MPa) |
|-----------------------------------------------------|----------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| สับูดำ (%)                                          | ซังข้าวโพด (%) | แป้งเปียก (%) |                     |                                     |                           |
| 40                                                  | 40             | 20            | 14.332              | 1411                                | 1.132                     |
| 50                                                  | 30             |               | 14.687              | 1376                                | 1.044                     |
| 60                                                  | 20             |               | 14.958              | 1322                                | 0.945                     |
| 70                                                  | 10             |               | 15.173              | 1286                                | 0.857                     |

ตารางที่ ก.8 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำกับกากมันสำปะหลังต่อแป้งเปียก |                    |               | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด (MPa) |
|---------------------------------------------------------|--------------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| สับูดำ (%)                                              | กากมันสำปะหลัง (%) | แป้งเปียก (%) |                     |                                     |                           |
| 40                                                      | 40                 | 20            | 13.414              | 1351                                | 0.994                     |
| 50                                                      | 30                 |               | 13.709              | 1306                                | 0.912                     |
| 60                                                      | 20                 |               | 14.113              | 1264                                | 0.806                     |
| 70                                                      | 10                 |               | 14.374              | 1228                                | 0.722                     |

ตารางที่ ก.9 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้แบ่งเป็ยก  
เป็นตัวประสานที่สัคส่วน 20 %

| สัคส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำ<br>กับชานอ้อยต่อแบ่งเป็ยก |                |                  | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|-------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับู่ดำ<br>(%)                                        | ชานอ้อย<br>(%) | แบ่งเป็ยก<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 40                                                    | 40             | 20               | 12.616                 | 1043                                       | 0.4612                           |
| 50                                                    | 30             |                  | 12.859                 | 1058                                       | 0.48221                          |
| 60                                                    | 20             |                  | 13.396                 | 1074                                       | 0.5014                           |
| 70                                                    | 10             |                  | 13.638                 | 1088                                       | 0.5121                           |

ตารางที่ ก.10 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและเกลบซึ่งใช้แบ่งเป็ยก  
เป็นตัวประสานที่สัคส่วน 20 %

| สัคส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำ<br>กับเกลบต่อแบ่งเป็ยก |             |                  | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|----------------------------------------------------|-------------|------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับู่ดำ<br>(%)                                     | เกลบ<br>(%) | แบ่งเป็ยก<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 40                                                 | 40          | 20               | 11.918                 | 1247                                       | 0.7708                           |
| 50                                                 | 30          |                  | 12.187                 | 1210                                       | 0.6943                           |
| 60                                                 | 20          |                  | 12.393                 | 1175                                       | 0.641                            |
| 70                                                 | 10          |                  | 12.752                 | 1142                                       | 0.5914                           |

ตารางที่ ก.11 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำ<br>กับซังข้าวโพดต่อโมลาส |                   |                  | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|-----------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับูดำ<br>(%)                                       | ซังข้าวโพด<br>(%) | กากน้ำตาล<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 45                                                  | 40                | 15               | 14.255                 | 1565                                       | 2.35                             |
| 55                                                  | 30                |                  | 14.632                 | 1543                                       | 2.254                            |
| 65                                                  | 20                |                  | 14.878                 | 1507                                       | 2.107                            |
| 75                                                  | 10                |                  | 15.152                 | 1482                                       | 2.015                            |

ตารางที่ ก.12 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับูดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับูดำ<br>กับกากมันสำปะหลังต่อโมลาส |                       |                  | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความ<br>หนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความ<br>ต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| สับูดำ<br>(%)                                           | กากมันสำปะหลัง<br>(%) | กากน้ำตาล<br>(%) |                        |                                            |                                  |
| 45                                                      | 40                    | 15               | 13.358                 | 1512                                       | 2.115                            |
| 55                                                      | 30                    |                  | 13.772                 | 1486                                       | 2.031                            |
| 65                                                      | 20                    |                  | 14.214                 | 1451                                       | 1.906                            |
| 75                                                      | 10                    |                  | 14.482                 | 1427                                       | 1.815                            |

ตารางที่ ก.13 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู๋ดำและชานอ้อยซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู๋ดำกับชานอ้อยต่อโมลาส |             |               | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด (MPa) |
|-----------------------------------------------|-------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| สับู๋ดำ (%)                                   | ชานอ้อย (%) | กากน้ำตาล (%) |                     |                                     |                           |
| 45                                            | 40          | 15            | 12.685              | 1238                                | 1.195                     |
| 55                                            | 30          |               | 12.974              | 1268                                | 1.288                     |
| 65                                            | 20          |               | 13.322              | 1282                                | 1.356                     |
| 75                                            | 10          |               | 13.689              | 1302                                | 1.412                     |

ตารางที่ ก.14 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู๋ดำและแกลบซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู๋ดำกับแกลบต่อโมลาส |          |               | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด (MPa) |
|--------------------------------------------|----------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| สับู๋ดำ (%)                                | แกลบ (%) | กากน้ำตาล (%) |                     |                                     |                           |
| 45                                         | 40       | 15            | 11.891              | 1435                                | 1.807                     |
| 55                                         | 30       |               | 12.124              | 1402                                | 1.724                     |
| 65                                         | 20       |               | 12.543              | 1374                                | 1.617                     |
| 75                                         | 10       |               | 12.755              | 1330                                | 1.496                     |

ตารางที่ ก.15 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำกับซังข้าวโพดต่อโมลาส |                |               | ค่าความร้อน(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด(MPa) |
|--------------------------------------------------|----------------|---------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|
| สับู่ดำ (%)                                      | ซังข้าวโพด (%) | กากน้ำตาล (%) |                    |                                    |                          |
| 40                                               | 40             | 20            | 13.984             | 1548                               | 2.46                     |
| 50                                               | 30             |               | 14.432             | 1507                               | 2.314                    |
| 60                                               | 20             |               | 14.647             | 1480                               | 2.217                    |
| 70                                               | 10             |               | 14.876             | 1458                               | 2.125                    |

ตารางที่ ก.16 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำกับกากมันสำปะหลังต่อโมลาส |                    |               | ค่าความร้อน(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด(MPa) |
|------------------------------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|
| สับู่ดำ (%)                                          | กากมันสำปะหลัง (%) | กากน้ำตาล (%) |                    |                                    |                          |
| 40                                                   | 40                 | 20            | 13.205             | 1488                               | 2.218                    |
| 50                                                   | 30                 |               | 13.454             | 1448                               | 2.102                    |
| 60                                                   | 20                 |               | 13.687             | 1411                               | 2.016                    |
| 70                                                   | 10                 |               | 14.057             | 1394                               | 1.925                    |

ตารางที่ ก.17 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำกับชานอ้อยต่อโมลาส |             |               | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|-----------------------------------------------|-------------|---------------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| สับู่ดำ (%)                                   | ชานอ้อย (%) | กากน้ำตาล (%) |                        |                                        |                              |
| 40                                            | 40          | 20            | 12.362                 | 1176                                   | 1.3                          |
| 50                                            | 30          |               | 12.561                 | 1201                                   | 1.393                        |
| 60                                            | 20          |               | 12.895                 | 1220                                   | 1.461                        |
| 70                                            | 10          |               | 13.118                 | 1235                                   | 1.517                        |

ตารางที่ ก.18 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและแกลบซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำกับแกลบต่อแป้งเปียก |          |               | ค่าความร้อน<br>(MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด<br>(MPa) |
|------------------------------------------------|----------|---------------|------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| สับู่ดำ (%)                                    | แกลบ (%) | กากน้ำตาล (%) |                        |                                        |                              |
| 40                                             | 40       | 20            | 11.538                 | 1398                                   | 1.917                        |
| 50                                             | 30       |               | 11.848                 | 1365                                   | 1.844                        |
| 60                                             | 20       |               | 12.124                 | 1328                                   | 1.76                         |
| 70                                             | 10       |               | 12.318                 | 1293                                   | 1.676                        |

ตารางที่ ก.19 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสับู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้เป้่งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % โดยผลิตด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นใหม่

| สัดส่วนการผสมระหว่างสับู่ดำกับซังข้าวโพดต่อเป้่งเปียก |                |                | ค่าความร้อน (MJ/kg) | ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) | ค่าความต้านทานแรงกด (MPa) |
|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| สับู่ดำ (%)                                           | ซังข้าวโพด (%) | เป้่งเปียก (%) |                     |                                     |                           |
| 45                                                    | 40             | 15             | 14.165              | 1624                                | 1.462                     |
| 55                                                    | 30             |                | 14.527              | 1562                                | 1.352                     |
| 65                                                    | 20             |                | 14.698              | 1476                                | 1.17                      |
| 75                                                    | 10             |                | 14.896              | 1368                                | 0.997                     |



ตารางที่ ก.20 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกมีรูกลวงตรงกลาง

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                 | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 74.09                           | 25.87               | 13.61          | 1.83            | 47.03          | 2.01           | 9.65            | 5.94                        | 7.10                        | 15.10                        |
| 115.06                          | 21.98               | 13.53          | 2.20            | 48.47          | 2.29           | 11.55           | 5.57                        | 5.60                        | 17.20                        |
| 152.27                          | 24.06               | 14.07          | 2.42            | 45.91          | 2.26           | 11.27           | 6.01                        | 4.00                        | 16.40                        |
| 188.00                          | 25.6                | 12.54          | 1.75            | 47.11          | 1.87           | 11.67           | 5.66                        | 3.80                        | 8.00                         |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |      | Gasification Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|------|------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %    |                              |
| 74.09                           | 40.8                          | 1.30        | 3.20 | 69.58                        |
| 115.06                          | 56.02                         | 2.46        | 4.41 | 73.71                        |
| 152.27                          | 68.56                         | 2.86        | 4.19 | 85.96                        |
| 188.00                          | 85.14                         | 4.56        | 5.38 | 80.51                        |

ตารางที่ ก.21 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเล็กมีรูกลวงตรงกลาง

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                 | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 98.22                           | 18.97               | 16.05          | 2.24            | 48.14          | 2.04           | 12.56           | 5.53                        | 2.20                        | 3.70                         |
| 122.59                          | 18.65               | 15.53          | 1.34            | 52.30          | 2.07           | 10.11           | 5.05                        | 0.40                        | 1.80                         |
| 151.96                          | 1854                | 17.35          | 1.56            | 50.04          | 1.90           | 10.61           | 5.36                        | 0.40                        | 2.70                         |
| 176.26                          | 1896                | 18.37          | 149             | 47.27          | 1.55           | 12.36           | 5.52                        | 4.00                        | 4.00                         |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |      | Gasification Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|------|------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %    |                              |
| 98.22                           | 41.00                         | 2.43        | 6.08 | 85.29                        |
| 122.59                          | 53.00                         | 3.25        | 6.29 | 75.24                        |
| 151.96                          | 64.53                         | 3.87        | 6.03 | 81.29                        |
| 176.26                          | 77.74                         | 4.57        | 6.01 | 80.50                        |

ตารางที่ ก.22 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                 | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 99.30                           | 15.32               | 15.28          | 1.65            | 53.74          | 1.80           | 12.21           | 4.70                        | 0.80                        | 1.60                         |
| 120.61                          | 16.73               | 16.15          | 1.55            | 52.53          | 1.15           | 11.89           | 4.96                        | 2.00                        | 2.90                         |
| 150.70                          | 18.09               | 17.79          | 1.77            | 48.77          | 1.56           | 12.02           | 5.45                        | 2.10                        | 5.10                         |
| 175.87                          | 17.05               | 17.43          | 1.9             | 49.83          | 1.33           | 12.32           | 5.25                        | 1.10                        | 1.50                         |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |       | Gasification Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %     |                              |
| 99.30                           | 62.83                         | 16.15       | 26.30 | 47.85                        |
| 120.61                          | 65.81                         | 20.63       | 31.84 | 58.53                        |
| 150.70                          | 69.62                         | 23.77       | 34.30 | 75.92                        |
| 175.87                          | 80.34                         | 24.8        | 34.81 | 74.00                        |

ตารางที่ ก.23 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะแบบอัดเป็นแท่งเกลียว

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                 | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 105.18                          | 15.74               | 16.38          | 1.96            | 52.58          | 1.43           | 11.91           | 5.03                        | 0.70                        | 2.00                         |
| 113.33                          | 16.36               | 17.57          | 1.62            | 51.66          | 1.87           | 10.92           | 5.13                        | 1.10                        | 2.20                         |
| 154.48                          | 16.06               | 15.36          | 1.91            | 53.39          | 2.13           | 11.15           | 4.92                        | 0.80                        | 2.30                         |
| 180.09                          | 15.93               | 17.42          | 1.81            | 52.65          | 0.96           | 11.23           | 5.13                        | 1.50                        | 0.70                         |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |       | Gasification Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %     |                              |
| 105.18                          | 54.22                         | 15.8        | 29.33 | 62.94                        |
| 113.33                          | 59.84                         | 22.95       | 30.60 | 62.56                        |
| 154.48                          | 79.02                         | 28.94       | 29.25 | 61.97                        |
| 180.09                          | 95.64                         | 31.63       | 26.38 | 62.22                        |

ตารางที่ ก.24 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมตัน

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                 | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 97.28                           | 16.45               | 14.49          | 1.30            | 53.82          | 1.63           | 12.31           | 4.60                        | 0.20                        | 5.40                         |
| 120.38                          | 15.64               | 14.86          | 1.39            | 53.03          | 1.89           | 13.19           | 4.58                        | 0.35                        | 0.35                         |
| 147.11                          | 15.36               | 15.29          | 1.62            | 51.66          | 2.45           | 13.62           | 4.70                        | 0.40                        | 0.40                         |
| 177.28                          | 16.75               | 15.98          | 1.86            | 51.25          | 1.40           | 12.76           | 5.07                        | 0.10                        | 0.10                         |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |       | Gasification Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %     |                              |
| 97.28                           | 42.17                         | 4.97        | 11.23 | 68.48                        |
| 120.38                          | 52.38                         | 5.18        | 10.18 | 67.93                        |
| 147.11                          | 59.72                         | 6.00        | 10.11 | 74.70                        |
| 177.28                          | 79.88                         | 6.23        | 7.43  | 72.60                        |

ตารางที่ ก.25 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีววมวล  
ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นชิ้นไม้ที่สับเป็นเหลี่ยม

| Gas<br>Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Gas Properties      |                |                 |                |                |                 |                             |                             |                              |
|------------------------------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                    | Gas composition (%) |                |                 |                |                |                 | HHV<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) | Impurity                    |                              |
|                                    | CO                  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |                             | Tar<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Dust<br>(mg/m <sup>3</sup> ) |
| 104.61                             | 16.93               | 15.32          | 2.41            | 52.61          | 0.71           | 12.02           | 5.23                        | 7.50                        | 16.00                        |
| 123.75                             | 16.81               | 17.27          | 2.41            | 49.53          | 0.75           | 13.23           | 5.47                        | 21.80                       | 18.40                        |
| 148.66                             | 17.73               | 18.37          | 2.33            | 48.28          | 1.43           | 11.86           | 5.71                        | 20.90                       | 27.50                        |
| 177.54                             | 17.81               | 16.95          | 2.21            | 51.13          | 1.70           | 10.20           | 5.48                        | 22.30                       | 11.70                        |

| Gas Flow<br>(m <sup>3</sup> /h) | Biomass Consumption<br>(kg/h) | Ash Product |       | Gasification<br>Efficiency<br>% |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|---------------------------------|
|                                 |                               | kg/h        | %     |                                 |
| 104.61                          | 65.64                         | 7.14        | 10.83 | 53.77                           |
| 123.75                          | 74.42                         | 5.23        | 7.03  | 58.32                           |
| 148.66                          | 95.35                         | 6.58        | 7.71  | 57.43                           |
| 177.54                          | 116.95                        | 8           | 8.65  | 53.67                           |

ภาคผนวก ข

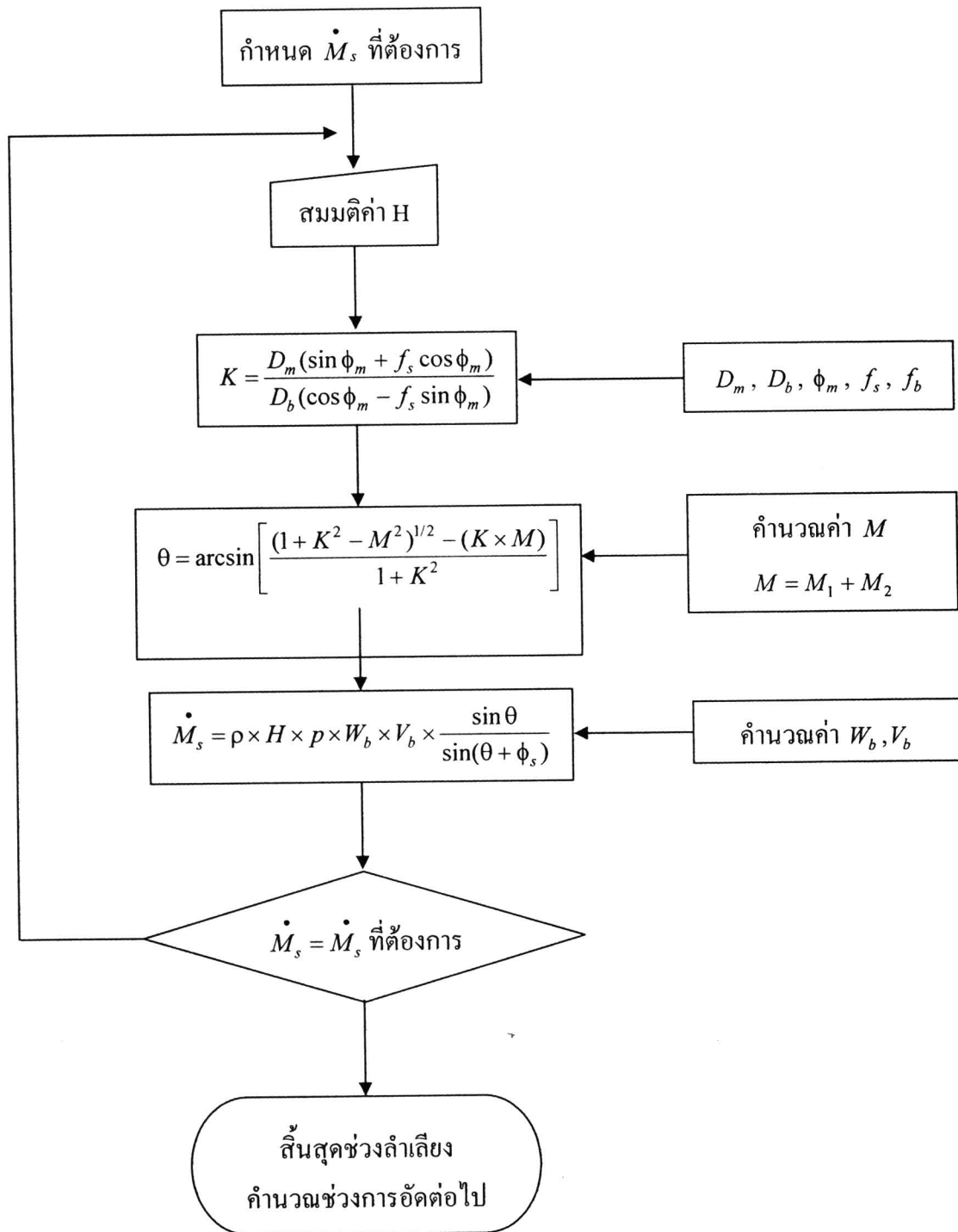
แผนภูมิขั้นตอนการคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง

ขั้นตอนการออกแบบสกรูที่ใช้ในงานวิจัยทำการกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของชีวมวล และองค์ประกอบต่างๆ เบื้องต้น ดังนี้

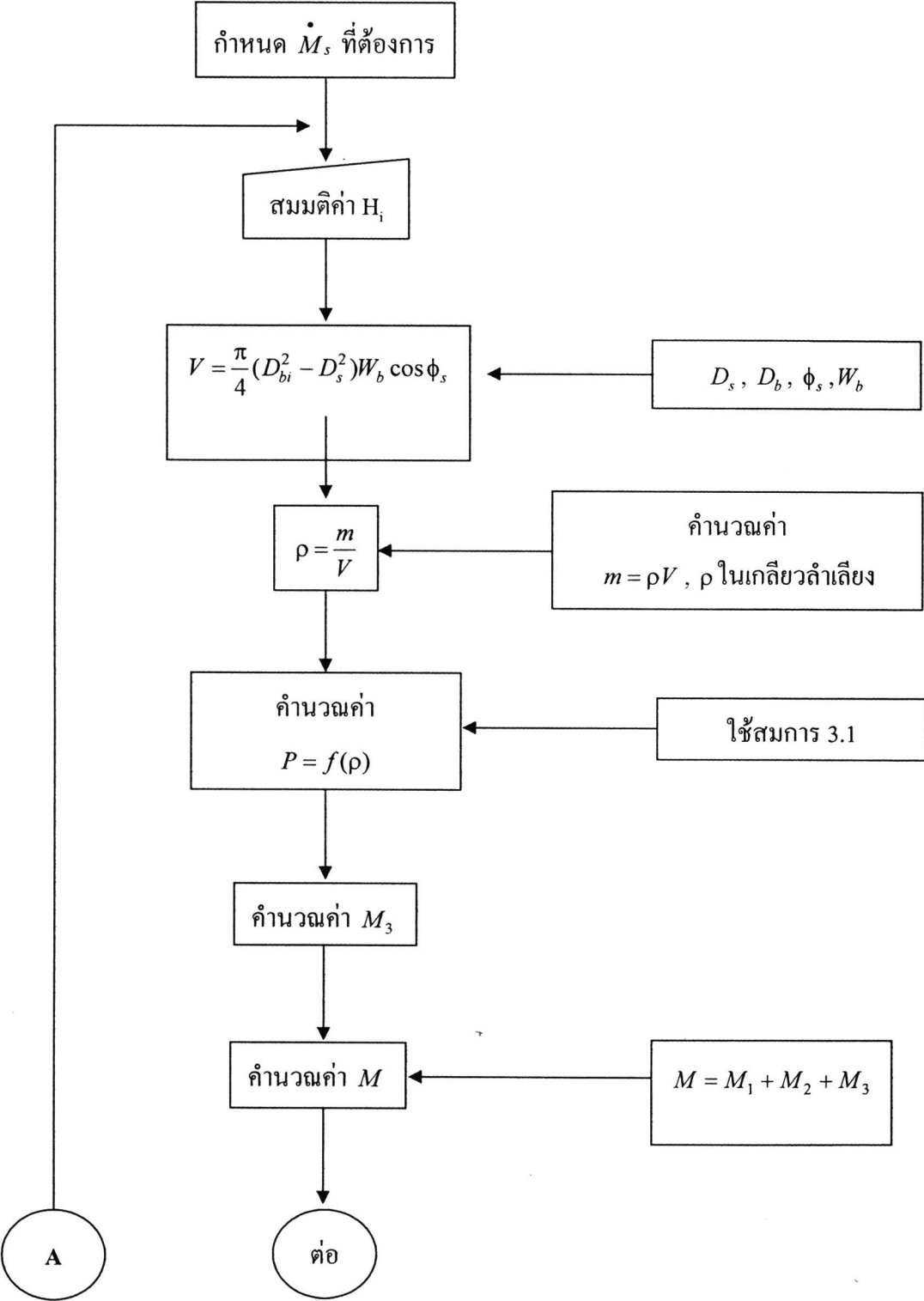
1. อัตราการไหลเชิงมวลของชีวมวล 0.65 kg/min
2. ความเร็วรอบของมอเตอร์ 50 rpm
3. เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู 34 mm
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของ Barrel 63 mm
5. ความหนาแน่นของชีวมวลเริ่มต้นที่  $415 \text{ kg/m}^3$
6. มุมเอียงของสกรู  $20^\circ$
7. ความหนาของฟันเกลียวสกรู 3.38 mm

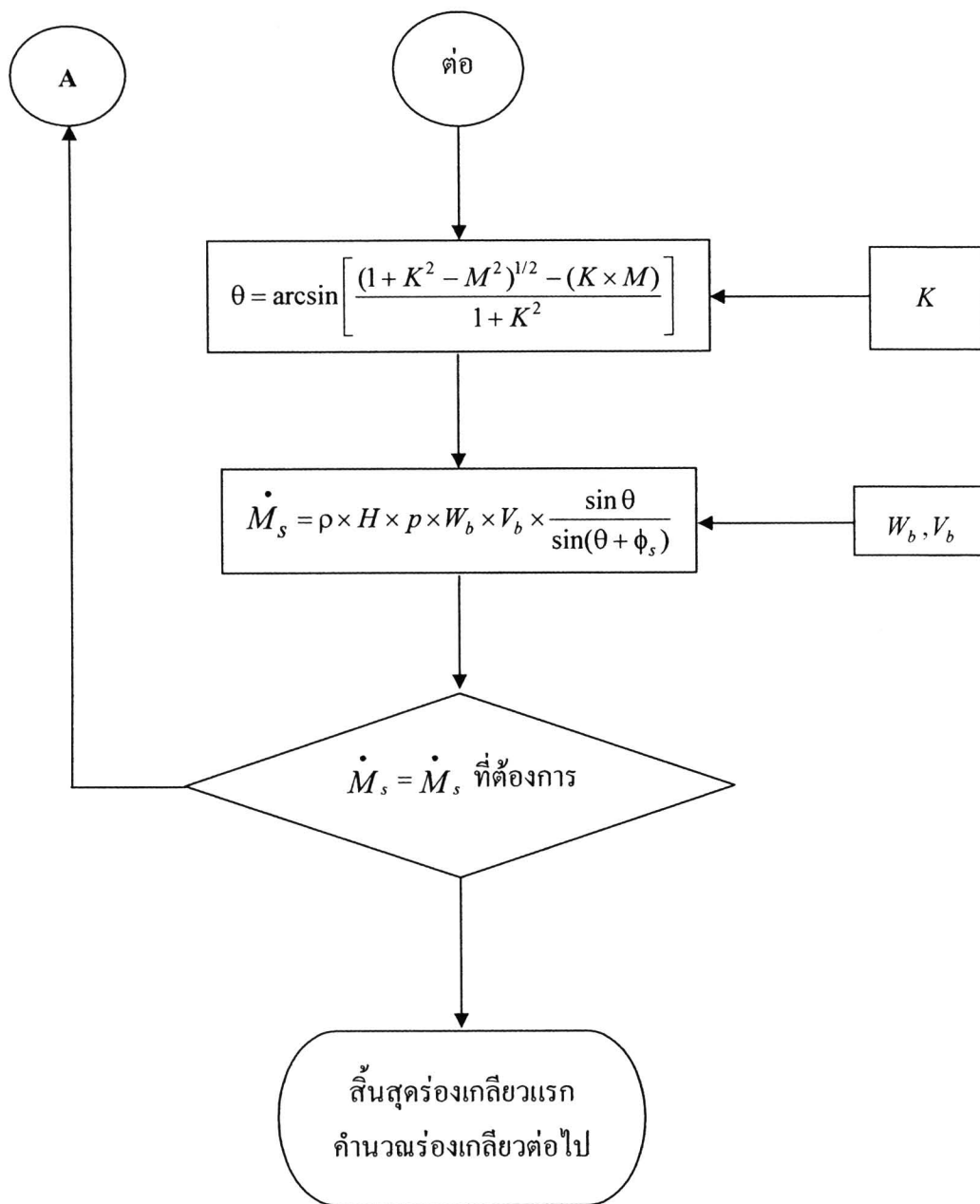
การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงการลำเลียง และช่วงการอัดตัว โดยการออกแบบช่วงการลำเลียง และช่วงการอัดตัวนี้ จะมีลักษณะการทำซ้ำ (Iteration) ดังแผนภูมิการคำนวณต่อไปนี้

# การคำนวณในช่วงลำเลียง



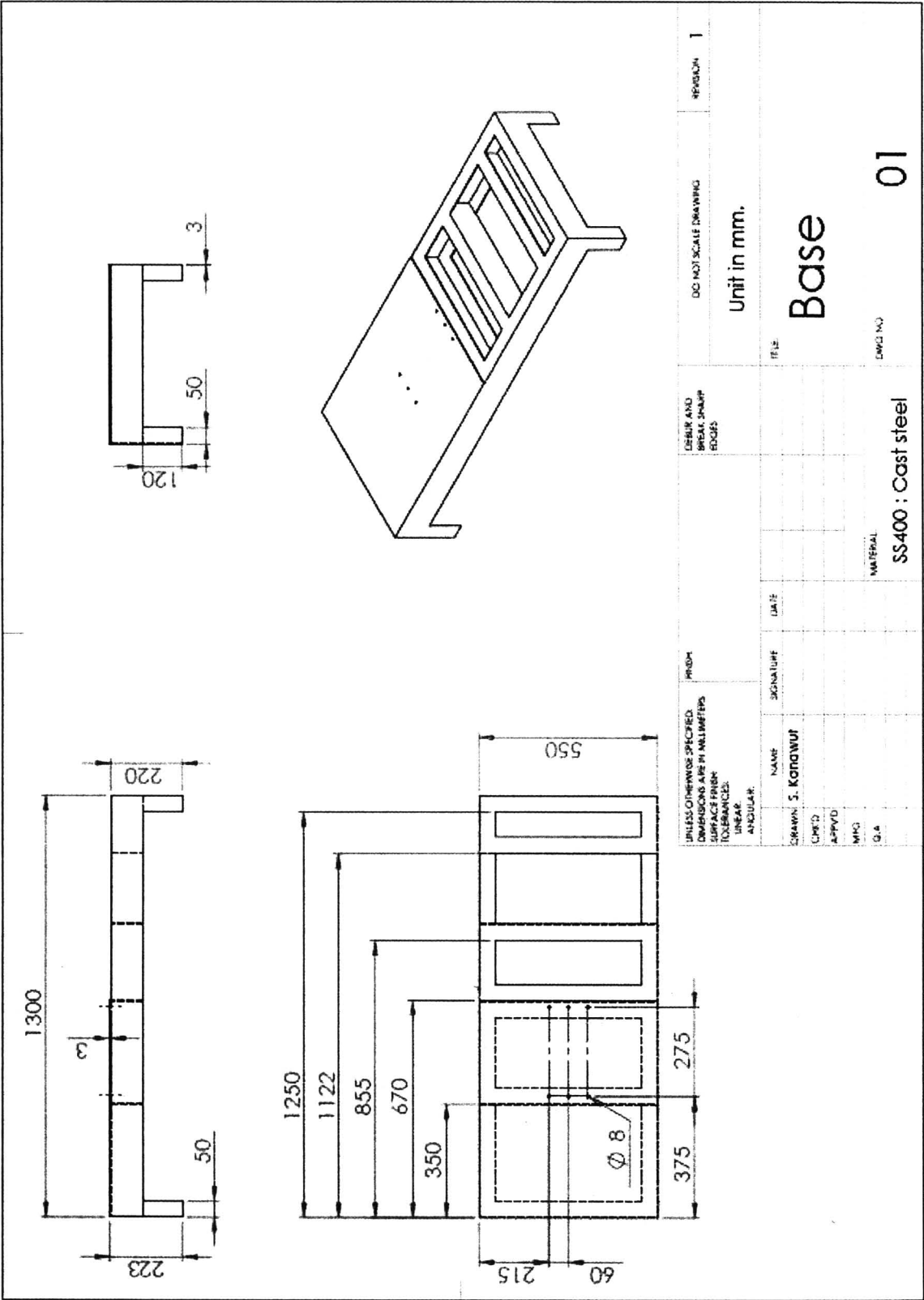
การคำนวณช่วงอัดตัว

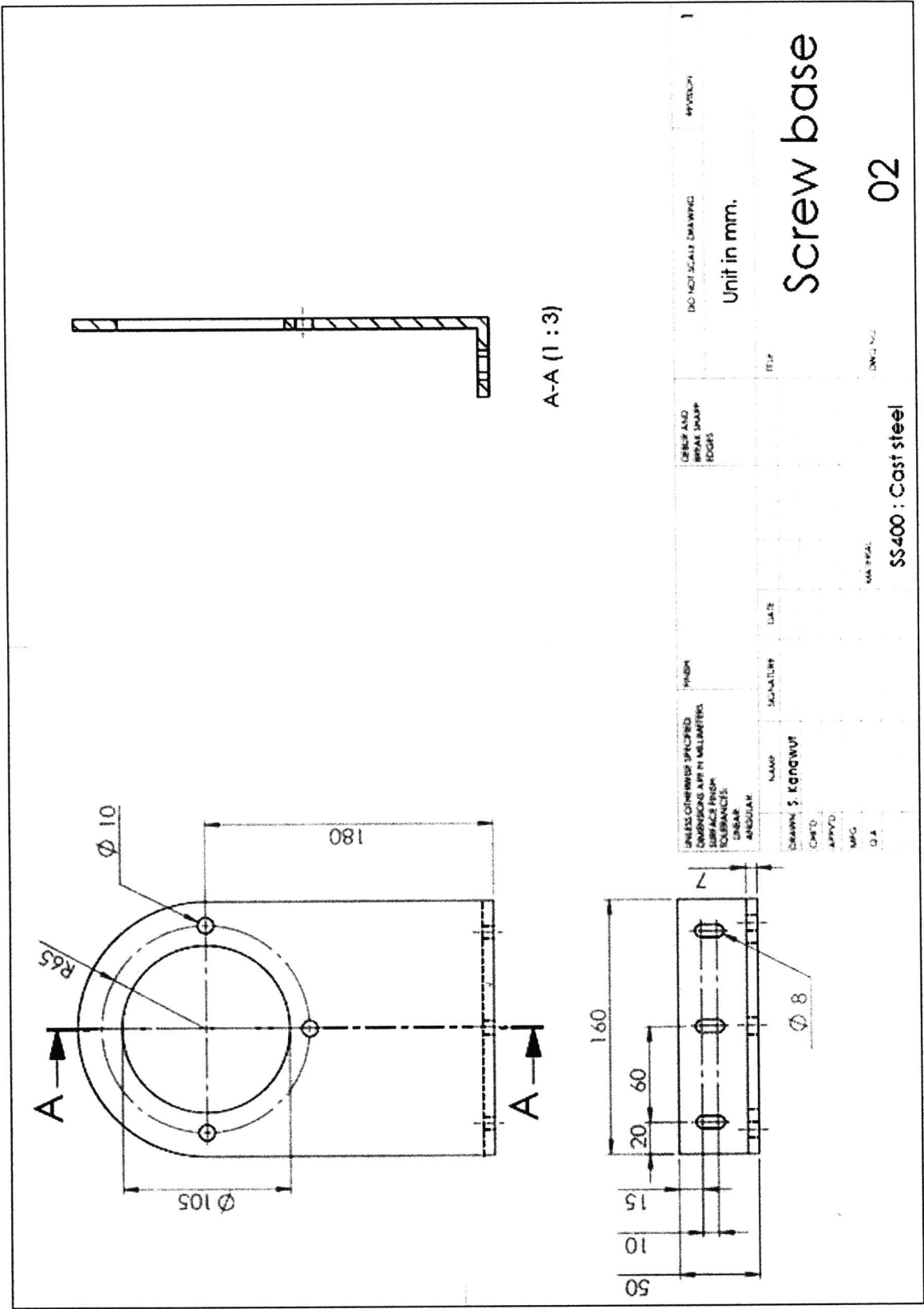


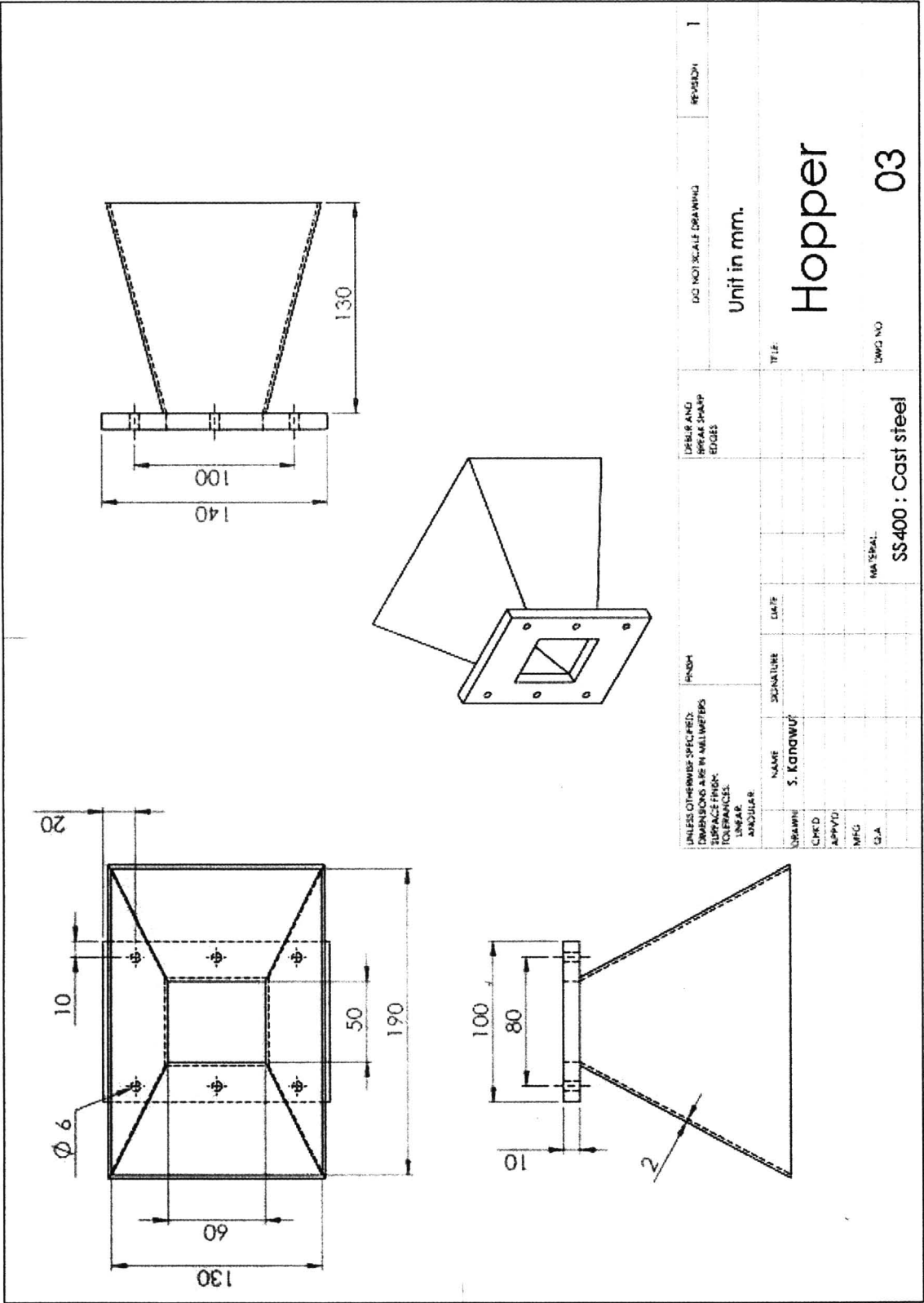


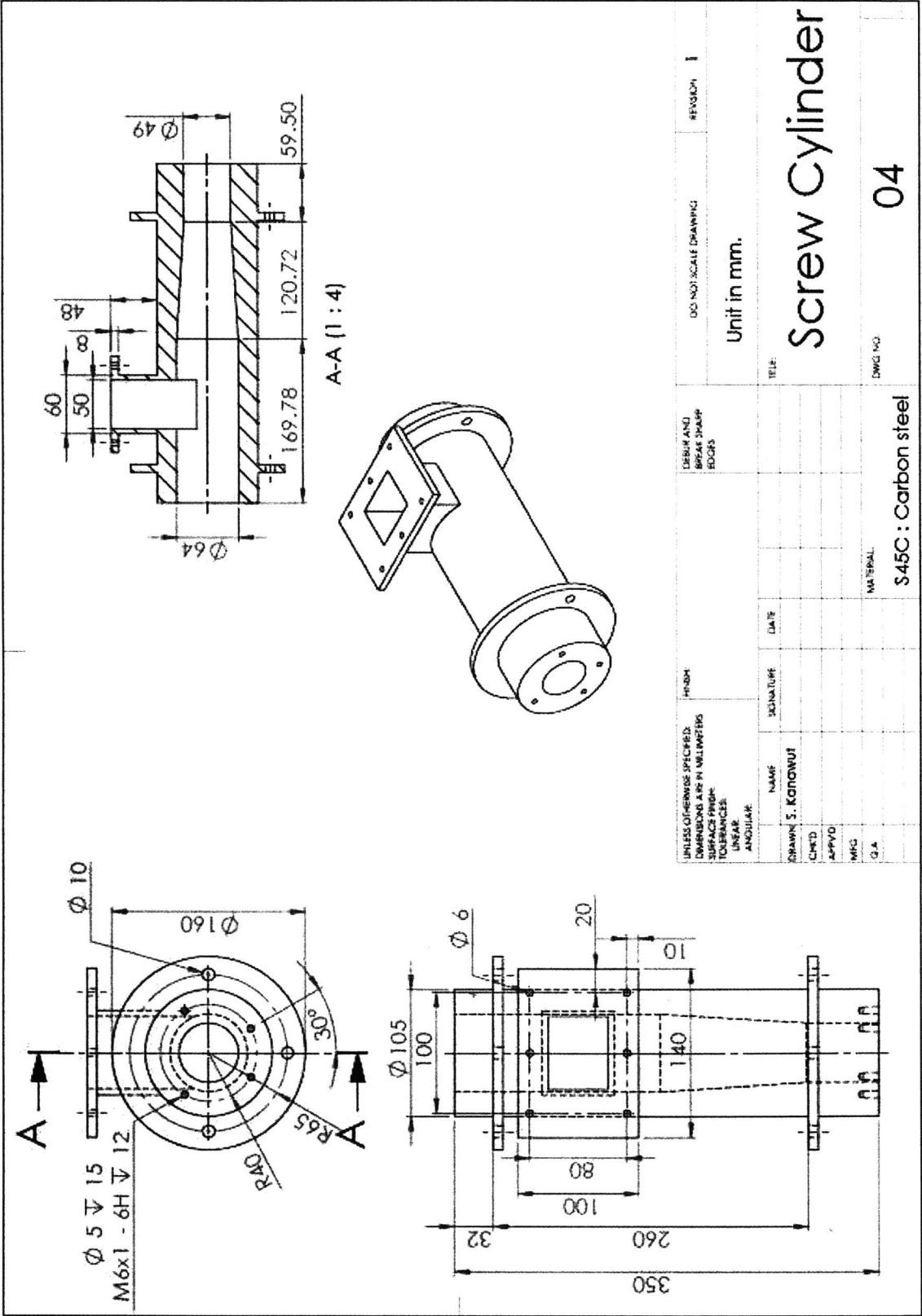
ภาคผนวก ค

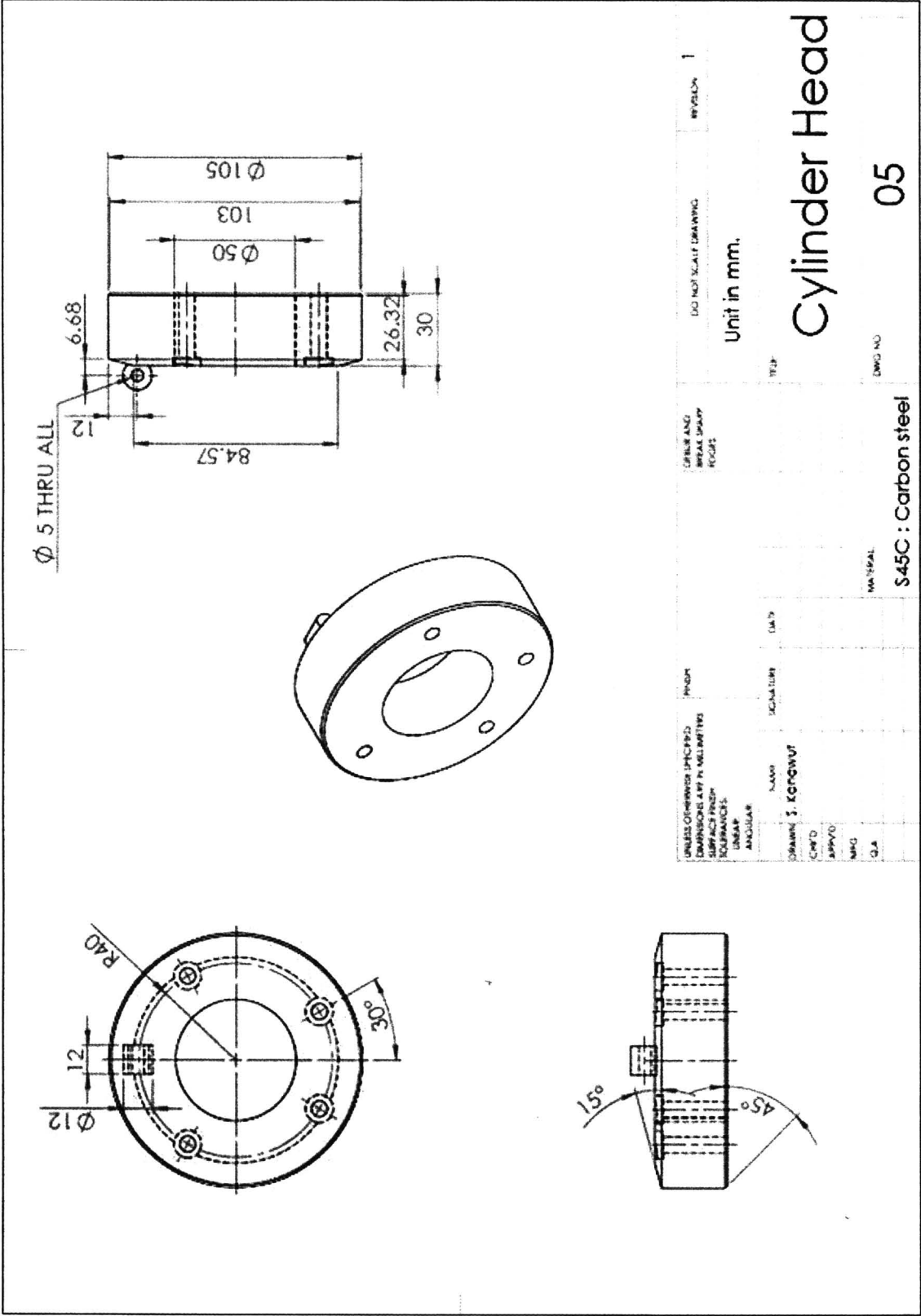
รูปแบบของสกรู และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

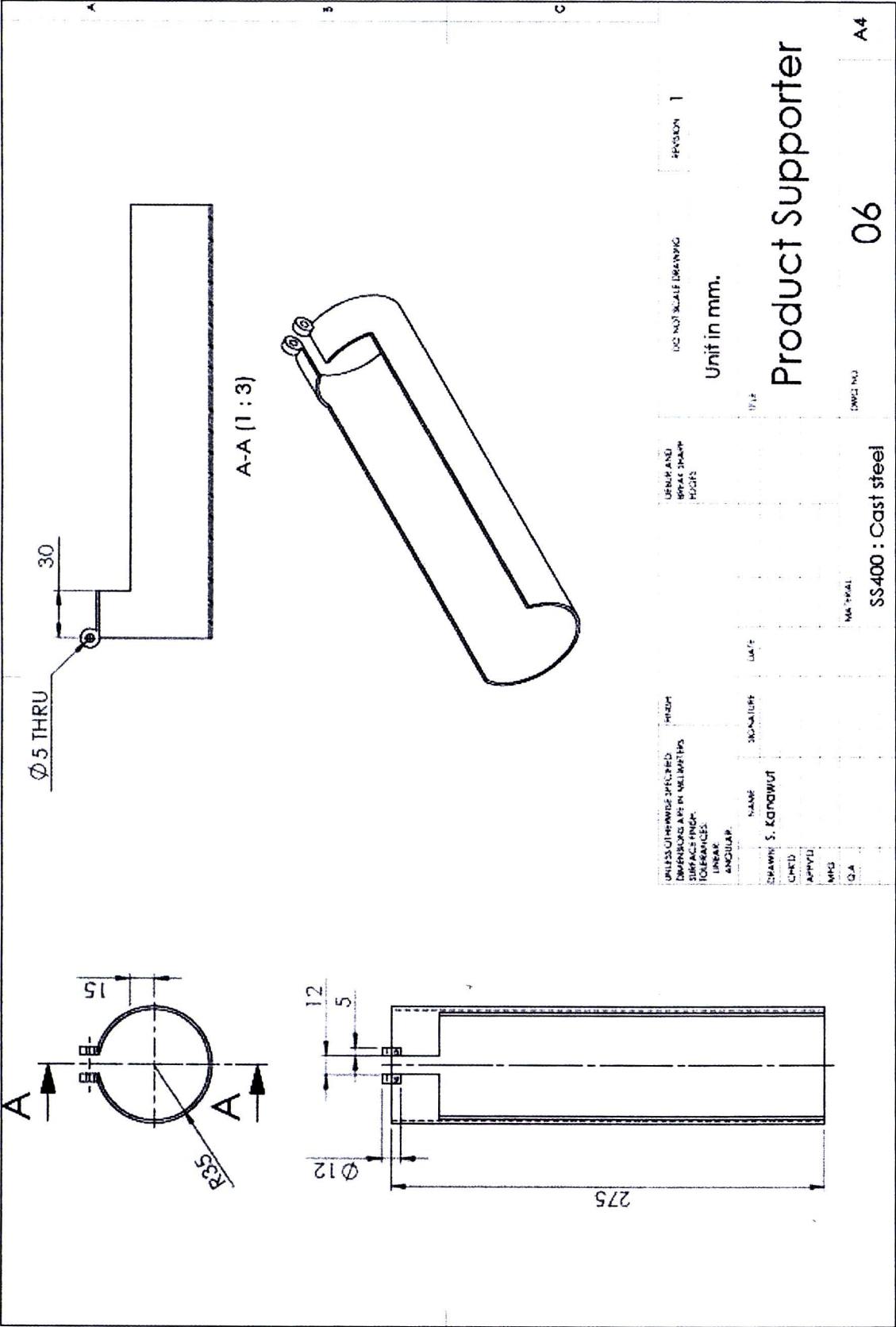


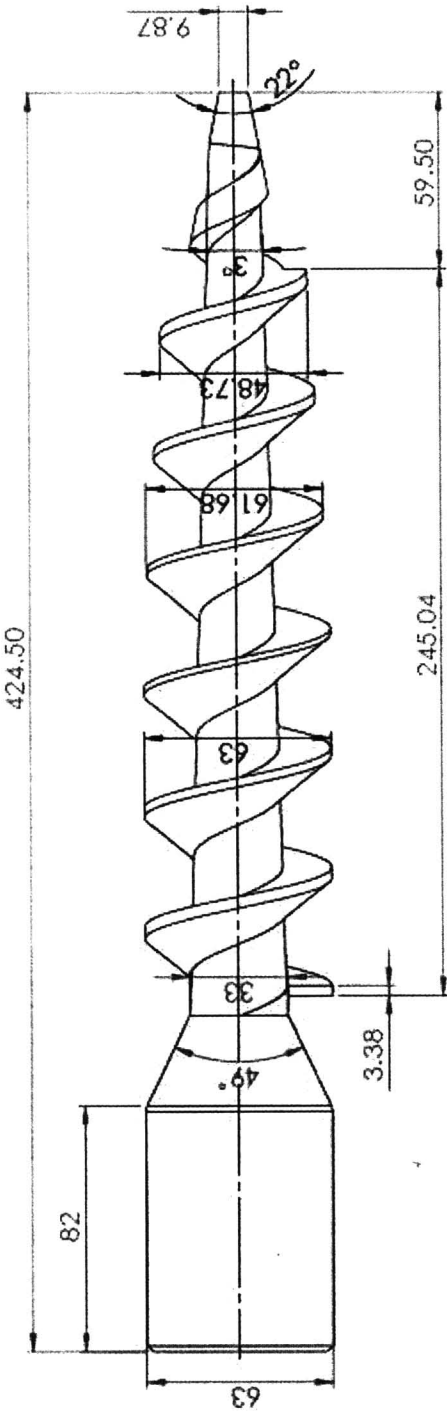




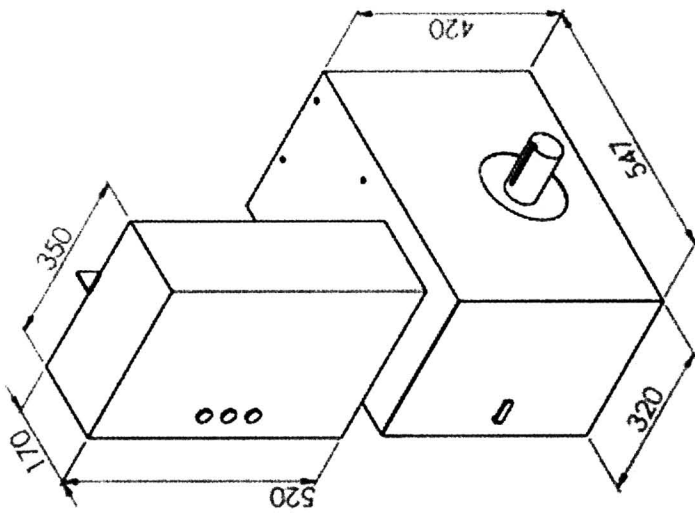




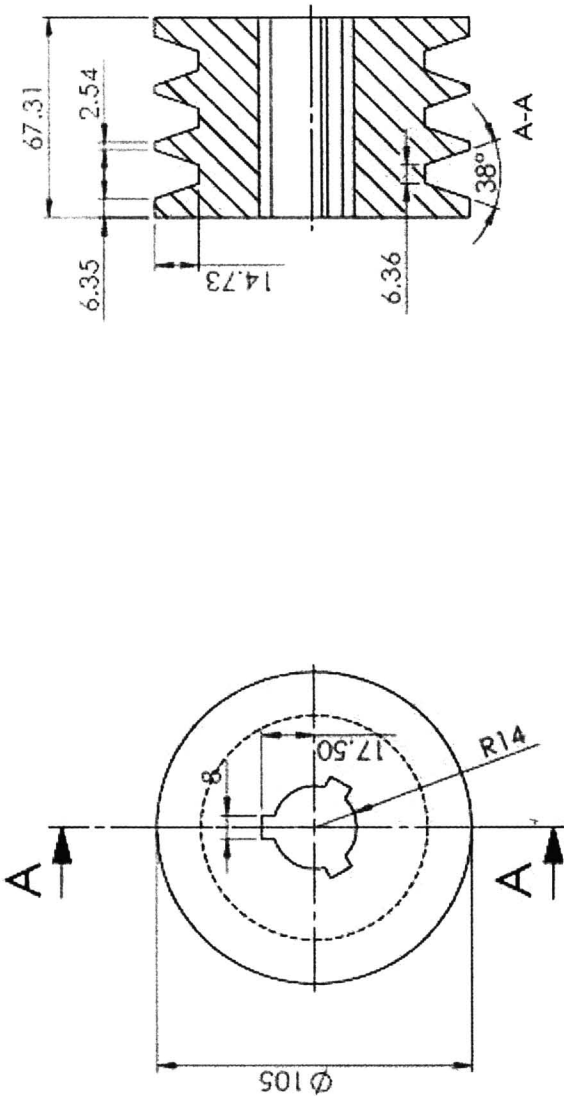




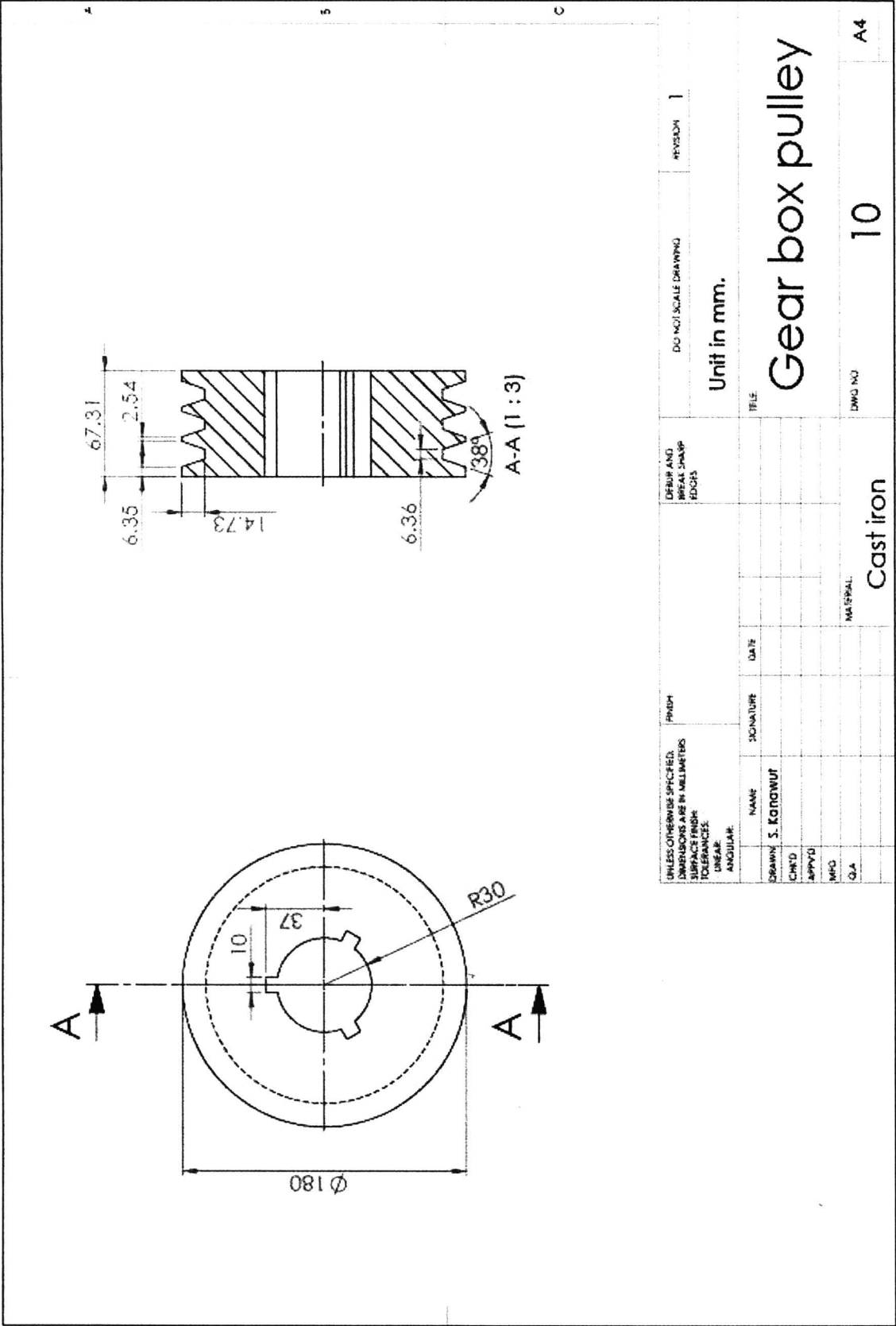
|                                                                                                                    |            |           |                                   |             |                      |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------|-------------|----------------------|----------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH<br>TOLERANCES:<br>LINEAR<br>ANGULAR |            | FINISH    | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES |             | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
| DRAWN                                                                                                              | NAME       | SIGNATURE | DATE                              | Unit in mm. |                      |          |
| CHKD                                                                                                               | S. KOTAMUT |           |                                   | Screw       |                      |          |
| APPD                                                                                                               |            |           |                                   | TITLE       |                      |          |
| MFG                                                                                                                |            |           |                                   | DWG NO.     |                      |          |
| D.A.                                                                                                               |            |           |                                   | 07          |                      |          |
| MATERIAL                                                                                                           |            |           |                                   | SUS 304     |                      |          |

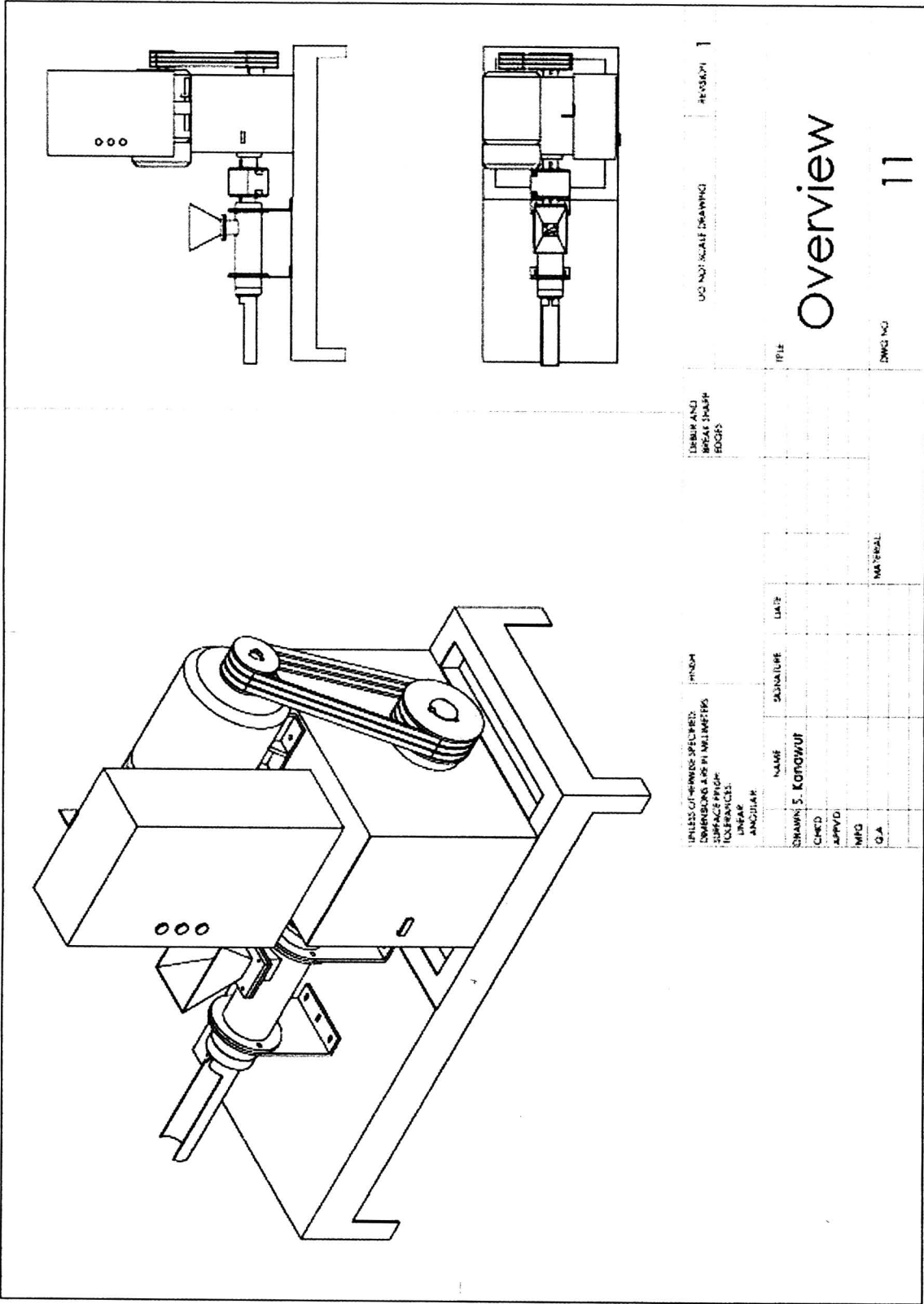


|                                                              |  |                      |  |
|--------------------------------------------------------------|--|----------------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS |  | REVISION             |  |
| SURFACE FINISH:<br>LINEAR<br>ANGULAR                         |  | 1                    |  |
| NAME<br>S. ECKHART                                           |  | DO NOT SCALE DRAWING |  |
| SIGNATURE                                                    |  | TITLE                |  |
| DATE                                                         |  | CONTROL UNIT         |  |
| CHECKED                                                      |  | UNIT in mm.          |  |
| APPROVED                                                     |  | Control Unit         |  |
| JANUARY                                                      |  | 08                   |  |
| G.A.                                                         |  | DWG NO.              |  |
| MULTIPLE                                                     |  | SS400 : Cast steel   |  |



| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>TOLERANCES: |             |      | FROM      |      | DESIGN AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES |  | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|------|-----------|------|------------------------------------|--|----------------------|----------|
| LINEAR                                                                      | ANGULAR     | NAME | SIGNATURE | DATE |                                    |  | Unit in mm.          | 1        |
| DRAWN                                                                       | S. KATROWUT |      |           |      |                                    |  | Motor pulley         |          |
| CHECKED                                                                     |             |      |           |      |                                    |  |                      |          |
| APPROVED                                                                    |             |      |           |      |                                    |  |                      |          |
| DATE                                                                        |             |      |           |      |                                    |  |                      |          |
|                                                                             |             |      |           |      | MATERIAL                           |  | DWG NO.              |          |
|                                                                             |             |      |           |      | Cast iron                          |  | 09                   |          |





ภาคผนวก ง  
ผลงานตีพิมพ์ และนำเสนอผลงาน

การประชุมวิชาการ ม.อ.ภูเก็ตวิจัยครั้งที่ 2 (2552)  
“สหวิทยาการเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน”  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต  
18-20 พฤศจิกายน 2552

## การศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสบู่ดำ

### Study of Biomass Briquette Production from a Trunk of *Jatropha*

เกรียงไกร วงศาโรจน์<sup>1\*</sup> ธนิต สวัสดิ์เสวี<sup>2\*</sup> นริศ ประทีนทอง<sup>3</sup> และ ประธาน วงศรีเวช<sup>4</sup>

<sup>1</sup>คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี Oeyoyo@hotmail.com

<sup>2</sup>คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>3</sup>ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งการศึกษาค่าความร้อนและความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือของลำต้นและกิ่งของสบู่ดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด โดยใช้แป้งเปียกและโมลาสเป็นตัวประสาน เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนการผสมชีวมวลดังกล่าวกับตัวประสานที่มีต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสบู่ดำ และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน สัดส่วนการผสมที่เหมาะสมที่สุดระหว่างสบู่ดำและตัวประสานคือที่ 85:15 โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54 - 15.36 MJ/kg

คำสำคัญ : สบู่ดำ , กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน , แท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

#### ABSTRACT

The objectives of this research were to study the production of biomass fuel briquette by extrusion technique and investigate the heating value of the briquette. Raw materials used in this work were the trunk and branch of *jatropha* was mixed with the waste product from postharvest such as rice husk , bagasse , cassava shell and corncob. The *jatropha* particles were stuck together with the binder (goo or molass). To obtain the high quality of briquette, the various ratios between *jatropha* particles and the binders were investigated. The result showed that the heating value increase with an increase in the *jatropha* particles. At the same conditions, the heating value of the briquette used goo as binder was higher than that one used the molass. The suitable ratio between the *jatropha* particles and the binder was 85:15. It was found that high heating value of the briquette was approximately 11.54 – 15.36 MJ/kg

Keyword: *Jatropha* , Extrusion technique, biomass fuel briquette

## 1. บทนำ

การพัฒนาและการใช้แหล่งพลังงานในประเทศ เช่น ก๊าซธรรมชาติ พลังน้ำ และถ่านหิน สามารถแก้ปัญหา การขาดแคลนพลังงานในประเทศได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังคง อาศัยพลังงานในลักษณะอื่น ไม่ว่าจะเป็น แสงอาทิตย์ พลังงานลมอันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพและ ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ พลังงานชีวมวล ถือเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เหมาะสมที่จะ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในพื้นที่ชนบทหรือชุมชน เกษตรกรรม รูปแบบหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากชีวมวล คือการนำมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้ โดยตรง หรือนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันซึ่งไม่มีอันตรายและไม่ซับซ้อนเหมาะกับการผลิต ไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่ชนบท

แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถผลิตได้โดยใช้วัสดุ จากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ของเหลือใช้ที่มาจากกระบวนการ อุตสาหกรรมที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น เศษไม้ แกลบ ชี้อ้อย ชานอ้อย และพวกชีวมวลที่เหลือจากกิจกรรมการเกษตรที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น ฟางข้าวและเศษต้นพืชต่างๆที่เหลือจาก การเก็บเกี่ยวของเกษตรกร ซึ่งการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล จากวัสดุดังกล่าวนี้มีเทคนิคและการใช้ตัวประสานที่ แตกต่างกัน จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการอัดแท่ง เชื้อเพลิงพบว่า ประลองค์ ดำรงค์ไทย [1] นักวิชาการป่าไม้ได้ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเขียวโดยการนำวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตร หรืออุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ชานอ้อยเน่าเปื่อย และขุยมะพร้าวมาอัดเป็นแท่งด้วย กระบวนการอัดเย็นจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ สกรูที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าโดยใช้ตัวเชื่อม ประสานจากภายนอกช่วย แล้วนำไปตากแดดให้แห้งจะ ได้แท่งเชื้อเพลิงที่สามารถใช้แทนฟืนและถ่านได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย ของฐานันต์ เมธิยานนท์[2] ประสาน สติชัยเรืองศักดิ์[3,4] และอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[5] ที่ได้ทำการศึกษการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าวของ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว กะลามะพร้าว ฟางข้าว ไม้ยางพารา ฟางข้าว ช้างข้าวโพด และ ชี้อ้อย ด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกและ โมลาสเป็นตัวประสาน ซึ่งทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความ ร้อนเหมาะสมนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

สนูปคำถือเป็นพืชทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการ ผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียง ดีเซล หลายหน่วยงานหันมาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสนูป คำเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ขณะเดียวกันก็มีเกษตรกร จำนวนมากที่สนใจจะปลูกสนูปคำเพื่อหีบน้ำมันไว้ใช้เอง การปลูกสนูปคำในอนาคตจึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นส่งผล ให้ปริมาณชีวมวลที่เหลือจากต้นสนูปคำเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการปลูกสนูปคำเมื่อต้นอายุครบ 1 ปีแล้วจะต้อง ทำการตัดแต่งกิ่งทุก ๆ 6 สัปดาห์เพื่อให้ต้นสูงเกินไป จนทำให้เก็บเกี่ยวได้ลำบากอีกทั้งการตัดแต่งกิ่งยังเป็นการ ทำให้สนูปคำติดผลเพิ่มขึ้นด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาวิธีการผลิต เชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสนูปคำด้วยเทคนิคการอัดเย็น แบบเอ็กซ์ทรูชัน ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่อัตรา ส่วนผสมของชีวมวลจากสนูปคำ แกลบ ชานอ้อย กากมัน ลำปะหุ่ง และช้างข้าวโพดรวมกับตัวประสานแป้งเปียก และโมลาส โดยจะใช้ชีวมวลจากกิ่งสนูปคำเป็นส่วนผสม หลัก ซึ่งสนูปคำเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงสุดที่ใช้ใน การทดลอง สำหรับชีวมวลอื่นๆ คือ ช้างข้าวโพดมัน ลำปะหุ่ง ชานอ้อย และแกลบ ซึ่งมีค่าความร้อนจากมาก ไปน้อย ตามลำดับ

## 2. อุปกรณ์

### 2.1 วัตถุดิบในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือกิ่งและลำต้นของ สนูปคำผสมกับชีวมวลอีก 4 ชนิด คือ แกลบ ชานอ้อย กาก มันลำปะหุ่ง และช้างข้าวโพด โดยค่าความร้อนและความ หนาแน่นของชีวมวลแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนของชีวมวลที่ใช้ทดลอง

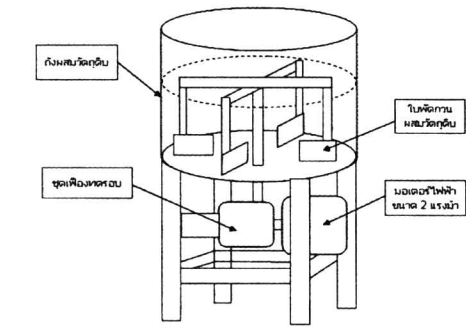
| ชีวมวล         | ค่าความร้อน(MJ/kg) |
|----------------|--------------------|
| สนุ่นดำ        | 15.742             |
| ขี้เถ้าข้าวโพด | 15.580             |
| กากมันสำปะหลัง | 14.407             |
| ขี้เถ้าอ้อย    | 13.281             |
| แกลบ           | 12.393             |

ในการทดลองจะทำการบดชีวมวลทั้งหมด ให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร หลังจากที่ได้นำชีวมวลไปตากแห้งจนมีความชื้นต่ำกว่า 15% db. สำหรับตัวประสานที่ใช้ในการทดลอง คือ โมลาส และแป้งเปียกซึ่งจะผสมลงในส่วนผสมของชีวมวลที่บดย่อยแล้วเพื่อเป็นตัวยึดเกาะวัตถุดิบให้เกาะตัวกันแน่นเป็นแท่งเชื้อเพลิงตามแบบของแม่พิมพ์[4,5]

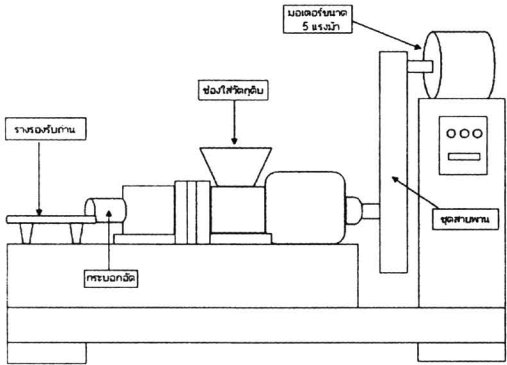
2.2 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงที่เงื่อนไขต่างๆ จะทำการบดชีวมวลทั้งหมดให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุ(Hammer mill) และขี้เถ้าหนักชีวมวลตามสัดส่วนที่ต้องการด้วยตาชั่ง สำหรับการผสมชีวมวลกับตัวประสานจะใช้เครื่องผสมวัสดุซึ่งมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้าเป็นตัวส่งกำลังเพื่อหมุนผสมวัตถุดิบทั้งหมดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน วัตถุดิบที่ผสมแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องอัดรีดแท่งเชื้อเพลิงแข็งแบบสกรูเพรสซึ่งใช้สกรูอัดแบบเกลียวหนอนขนาด 6.3 cm. ยาว 43 cm. โดยที่ปลายกระบอกลบอัดมีขนาด 5 cm. และมีมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสขนาด 5 แรงม้าเป็นตัวส่งกำลัง ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่ที่ 60 รอบต่อนาที แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดรีดจะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกประมาณ 11 mm และ 48 mm ตามลำดับ ในการวัดค่าความร้อนของแท่ง

เชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะใช้เครื่องทดสอบค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) ซึ่งสามารถวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ทั้งของแข็งและของเหลว



รูปที่ 1 ลักษณะเครื่องผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

3 การทดลอง

ในการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสนุ่นดำกับตัวประสาน และทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสนุ่นดำและชีวมวลอื่นๆ กับตัวประสาน [6]

3.1 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสนุ่นดำและตัวประสาน

ในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมสนุ่นดำต่อน้ำหนักของตัวประสานทั้งสองเพื่อศึกษาถึง

ผลกระทบที่มีต่อการจับตัวเป็นแท่งของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งสัดส่วนการผสมสบู่ดำค่อนน้ำหนักตัวประสานที่จะปรับเปลี่ยนในการทดลองเป็น 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 หลังจากได้สัดส่วนการผสมที่เหมาะสมจะใช้สัดส่วนการผสมนี้เพื่อทดลองในขั้นต่อไป

### 3.2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสบู่ดำและชีวมวลอื่นๆ กับตัวประสาน

เมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสมสบู่ดำกับตัวประสานเพื่ออัดแท่งเชื้อเพลิงแล้ว ในการทดลองต่อไปคือการผสมชีวมวลชนิดอื่นๆ คือ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และขี้ข้าวโพดลงไป แล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้สัดส่วนการผสมตัวประสานที่ได้จากการทดลองในขั้นแรก เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนสัดส่วนน้ำหนักการผสมชีวมวลอื่นๆ ที่มีต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสัดส่วนการผสมที่ใช้ในการทดลอง คือ สบู่ดำ: ชีวมวลอื่น: ตัวประสาน โดยกำหนดสัดส่วนของตัวประสานคงที่ไว้ที่ร้อยละ 15 และ 20 จะได้สัดส่วนการผสมเป็น 75:10:15, 65:20:15, 55:30:15, 45:40:15, 70:10:20, 60:20:20, 50:30:20 และ 40:40:20

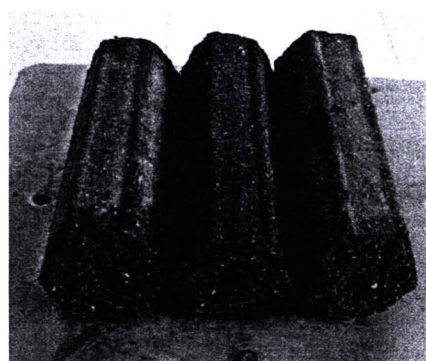
### 3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองผลิตเชื้อเพลิงแข็งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ 1) เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบโดยนำชีวมวลทั้งหมดไปตากจนมีค่าความชื้นต่ำกว่า 15% db. แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร ค่อยจากนั้นนำชีวมวลที่บดแล้วไปเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด 2) ก่อนทำการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งให้ทดสอบเดินเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเพื่อดูสภาพความพร้อมในใช้งาน 3) ทำการชั่งน้ำหนักของชีวมวลที่บดแล้วแต่ละชนิดและตัวประสานให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการทดลอง 4) นำส่วนผสมทั้งหมดไปผสมกันโดยใช้เครื่องผสมวัสดุ จนกระทั่งวัตถุดิบทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัว

ประสาน 5) หลังจากผสมวัตถุดิบกับตัวประสานได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว นำวัตถุดิบทั้งหมดป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยจะใส่ลงในถังพักป้อน (Hopper) 6) นำภาชนะมารองชีวมวลที่ยังไม่เป็นแท่งในขณะที่เริ่มอัดเนื่องจากในระยะแรกๆมวลของวัตถุดิบทั้งหมดยังไม่เต็มกระบอกอัดจึงยังไม่ติดเป็นก้อน รอจนกระทั่งเชื้อเพลิงติดกันเป็นแท่งยาว 7) ตัดแท่งเชื้อเพลิงออกเป็นท่อนโดยให้มีความยาวท่อนละ 15 cm 8) เปลี่ยนสัดส่วนการผสมของชีวมวลต่างๆกับตัวประสานตามเงื่อนไขที่ต้องการทดลอง แล้วผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงตามทุกเงื่อนไขจนครบ 9) นำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปอบที่อุณหภูมิ 103°C หรือตากแดดจนมีความชื้นประมาณ 10% db. แล้วนำไปทดสอบค่าความร้อน[7,8] และค่าความต้านทานแรงกด

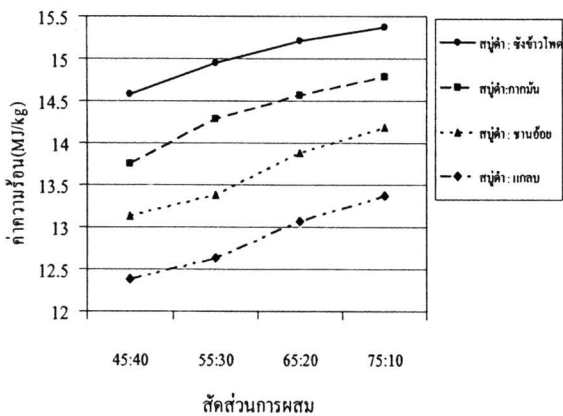
### 4. ผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้วัตถุดิบหลักเป็นสบู่ดำกับตัวประสานแป้งเปียกและโมลาสพบว่า มีเพียงสองสัดส่วนการผสมเท่านั้นที่ทำให้สามารถขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงได้ คือ น้ำหนักสบู่ดำต่อตัวประสานทั้งสองเป็น 80:20 และ 85: 15 ดังนั้นจึงใช้สัดส่วนการผสมตัวประสานทั้งสองนี้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยทำการเปลี่ยนสัดส่วนการผสมชีวมวลอื่นๆ



รูปที่ 3 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ในการทดลอง

4.1 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15



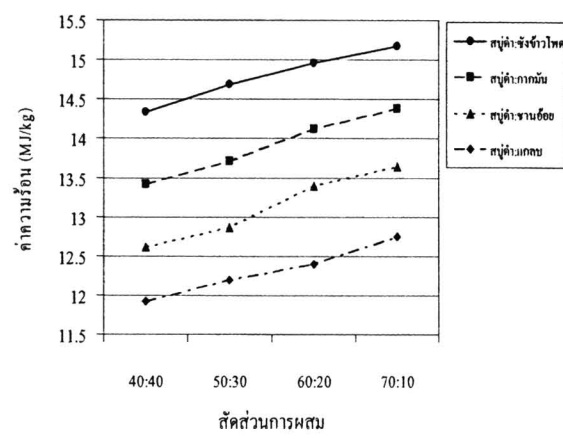
รูปที่ 4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 15

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสับดูค่าจะทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นเนื่อง จากสับดูค่ามีองค์ประกอบคาร์บอนและค่าความร้อนสูงกว่าวัสดุเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นที่นำมาผสม อีกทั้งจะสังเกตได้ว่า ถ้านำวัสดุชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงมาผสมก็จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มามีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย เช่น ในการทดลองนี้ค่าความร้อนของชังข้าวโพดสูงกว่ากากมันสำปะหลัง ดังนั้น แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมระหว่างสับดูค่ากับชังข้าวโพดจะมีค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมระหว่างสับดูค่ากับกากมันสำปะหลัง โดยค่าความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 12.38-15.36 MJ/kg ซึ่งค่าความร้อนจะสูงสุดที่สัดส่วนการผสมสับดูค่าต่อชังข้าวโพดต่อแป้งเปียกที่ 75:10:15

4.2 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20

ผลการทดลองที่ได้จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับกรณีที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 คือ ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น

ตามปริมาณสัดส่วนสับดูค่าที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 20

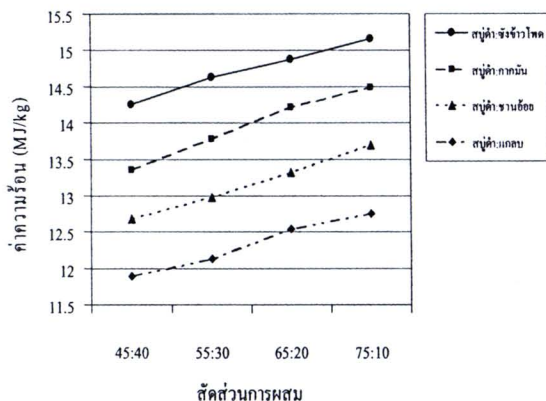
นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าที่แต่ละสัดส่วนการผสมจะมีค่าความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ตัวประสานแป้งเปียกในสัดส่วนร้อยละ 15 เพราะเมื่อผสมตัวประสานแป้งเปียกมากขึ้นจะทำให้สัดส่วนของปริมาณสับดูค่าซึ่งทำให้ได้ค่าความร้อนสูงลดลงไป ส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงลดลง โดยจากรูปที่ 5 ค่าความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 11.92-15.17 MJ/kg

4.3 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้ขี้เถ้าเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15

ลักษณะของผลการทดลองที่ได้จะคล้ายกับกรณีของตัวประสานแป้งเปียก คือ เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสับดูค่าจะทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสับดูค่ามีองค์ประกอบคาร์บอน และค่าความร้อนสูงกว่าวัสดุเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นที่นำมาผสม และจะสังเกตได้ว่าถ้านำวัสดุชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงมาผสมก็จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มามีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย เช่น ในการทดลองนี้ค่าความร้อนของชังข้าวโพดสูงกว่ากากมันสำปะหลัง ดังนั้น แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสม

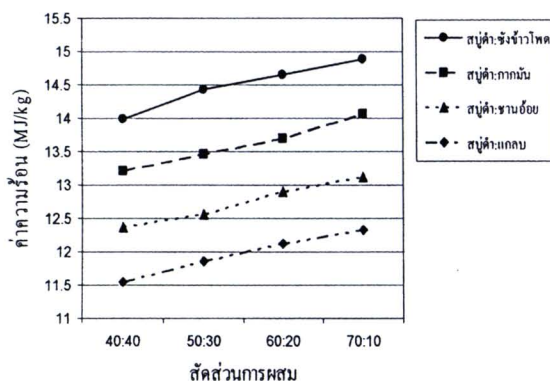


ระหว่างสบูดำกับขิงข้าวโพดจะมีค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมระหว่างสบูดำกับกากมันสำปะหลัง โดยจากรูปที่ 6 ค่าความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 11.89-15.15 MJ/kg



รูปที่ 6 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงใช้โมลาสเป็นตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 15

#### 4.4 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20

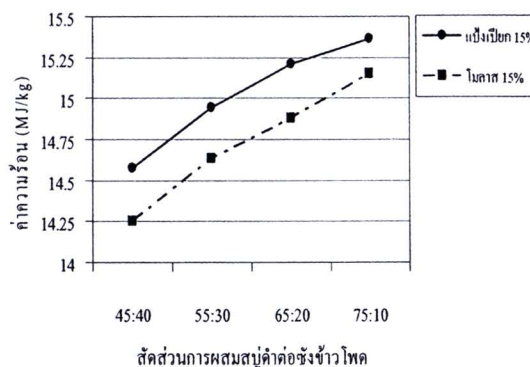


รูปที่ 7 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงใช้โมลาสเป็นตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 20

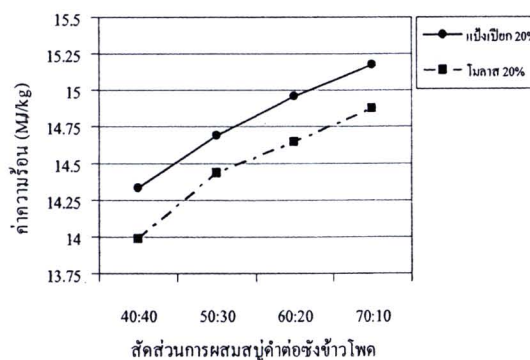
พบว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับกรณีสัดส่วนการผสมชีวมวลต่อโมลาสที่ 85:15 แต่ที่สัดส่วนการผสมเดียวกันค่าความร้อนของแท่ง

เชื้อเพลิงที่ได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ตัวประสานโมลาสในสัดส่วนร้อยละ 15 เนื่องจากเมื่อผสมตัวประสานแป้งเปียกมากขึ้นจะทำให้สัดส่วนของปริมาณสบูดำซึ่งทำให้ได้ค่าความร้อนสูงลดลงไป ส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงลดลง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสและแป้งเปียกเป็นตัวประสาน จะสังเกตได้ว่าที่สัดส่วนการผสมชีวมวลเดียวกันค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานจะต่ำกว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน เนื่องจากตัวประสานโมลาสมีความหนืดสูง เฝ้าน้ำมันได้ยากกว่าตัวประสานแป้งเปียก



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 15



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 20

จากกราฟในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความร้อนระหว่างแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมสับดูดำ และซังข้าวโพดโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานกับแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมสับดูดำ และซังข้าวโพดโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสานในสัดส่วนร้อยละ 20 เพื่อให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงตัวประสานที่มีต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

## 5. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น โดยใช้วัตถุดิบหลักเป็นสับดูดำผสมกับชีวมวลอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด ซึ่งใช้โมลาสและแป้งเปียกเป็นตัวประสานนั้นพบว่า สัดส่วนการผสมของชีวมวลต่อน้ำหนักตัวประสานที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงได้ คือ 85:15 และ 80:20 และการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมชีวมวลแต่ละชนิดจะส่งผลต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้ โดยจากการทดลองที่สัดส่วนของชีวมวลต่อตัวประสานที่ 85:15 และ 80:20 พบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะแปรผันตรงกับสัดส่วนการผสมสับดูดำ นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงเข้าไปในการผลิตจะทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย และที่สัดส่วนการผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน สำหรับค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 11.54 – 15.36 MJ/kg โดยแท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงสุด ผลิตจากการผสมสับดูดำและซังข้าวโพดโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานในสัดส่วน สับดูดำ: ซังข้าวโพด: แป้งเปียก เป็น 75:10:15

จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีมากมายในประเทศมาใช้ประโยชน์หรือนำมาเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นแท่ง

เชื้อเพลิง ซึ่งถือเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนการเกษตร รวมทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและพลังงานที่ต้องใช้ในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรดังกล่าวอีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.)ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย วัดพัทธมารามที่เอื้อเพื่อเครื่องบดย่อยวัสดุ เครื่องผสมวัตถุดิบและเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเพื่อเครื่องวัดค่าความร้อนเพื่อใช้ในการวัดค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสงค์ คำรงค์ไทย. (2541 ). แท่งเชื้อเพลิงชีวเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน, วนสาร, ฉบับที่ 55
- [2] สุชาติ เมธิยานนท์. (2546). การผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากชีเลื้อยโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชัน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17.
- [3] ประสาน สติชัยเรืองศักดิ์. (2549). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2 .
- [4] ประสาน สติชัยเรืองศักดิ์. (2547). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้โม-ลาสเป็นตัวประสาน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18.
- [5] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ. (2551). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีเลื้อยแกลบผสมผงถ่านซังข้าวโพด และผงถ่านกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน. การประชุมวิชาการ เครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา. 17-19 มกราคม 2551.

- [6] ชูนิติย์ เมธิยานนท์. (2547). การศึกษาผลของตัว-  
ประสานที่ผลิตจากฟางข้าวต่อสมบัติทางกายภาพของ  
เชื้อเพลิงอัดแท่ง. การประชุมวิชาการเครือข่าย  
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18.
- [7] สำเริง สุชานุกุญท์. (2547). การศึกษาการเดินเครื่องยนต์  
แก๊สโซลีนโดยใช้โปรคิวเซอร์แก๊สจากผักตบชวาอัด  
แท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร-  
มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] Coorattanchai, N. (1993). Producer Gas in Electricity  
Generation, Alternative Energy source V. Part D :  
Biomass/Hydrocarbon/Hydrogen, Edited by T.N.  
Veziroglu, Amsterdam, Elsevier Science Publishers  
B.V., 123-130

วิศวกรรมสาร มข.  
KKU Engineering Journal  
ปีที่ 38 ฉบับที่ 1  
มกราคม - มีนาคม 2554

## การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสับดำ

เกรียงไกร วงศาโรจน์<sup>1)</sup> ธนิต สวัสดิ์เสวี<sup>2)</sup> นริส ประทินทอง<sup>3)</sup> และ ประธาน วงศ์ศรีเวช<sup>4)</sup>

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของ ค่าความร้อน และความต้านทานแรงกด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลองคือ ลำต้นและกิ่งของสับดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และขังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน ทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุดิบจะถูกบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ วัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสับดำ และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่า แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54 - 15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46 - 2.46 เมกกะปาสคาล

**คำสำคัญ :** สับดำ , กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน , แท่งเชื้อเพลิงชีวมวล

<sup>1)</sup> นักศึกษาปริญญาโท, สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ 10140, อีเมล: Oeyoyo@hotmail.com

<sup>2)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สายวิชาเทคโนโลยีคุณภาพ, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ 10140, Corresponding Author, อีเมล: thanit.swa@kmutt.ac.th

<sup>3)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ 10140, อีเมล: Naris.pra@kmutt.ac.th

<sup>4)</sup> นักวิจัย, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, จังหวัดปทุมธานี 12120, อีเมล: pratarn@nanotec.or.th

## Biomass Briquette Production from Jatropha

Kriengkrai Wongsaroj<sup>1)</sup> Thanit Sawadsevi<sup>2)</sup> Naris Prathinthong<sup>3)</sup> and Pratarn Wongsrivej<sup>4)</sup>

### ABSTRACT

The objectives of this research were to study the production of biomass briquette by extrusion technique and investigate its properties in terms of heating value and compressive strength. Raw materials used in this work were the trunk and the branch of jatropha mixed with the waste product from postharvest such as rice husk, bagasse, cassava shell and corncob. The glutinous mass used as the binder was made from powder and molasses. Before mix with the binder, the raw materials was reduced the dimension by the grinder until they were smaller than 3 mm. To obtain the high quality of briquette, the raw materials were mixed with the binders at the various ratios. The results showed that the heating value increased with an increase in the jatropha particles. At the same mixture ratio, the heating value of the briquette used powder as the binder was slightly higher than that one used the molasses. The compressive strength of the briquette used powder as binder was lower than that one used the molasses. However, the heating value and the compressive strength of the briquette used both blinders were quite high for producing biomass briquette. In addition, the heating value was in the range of 11.54 – 15.36 MJ/kg and the compressive strength was in the range of 0.46-2.46 MPa.

**Keyword:** Jatropha , Extrusion , biomass briquette

---

<sup>1)</sup> Post graduated Student , Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, E-mail: Oeyoyo@hotmail.com

<sup>2)</sup> Assistant Professor, Division of Thermal Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Corresponding Author, E-mail: thanit.swa@kmutt.ac.th

<sup>3)</sup> Assistant Professor, Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, E-mail: naris.pra@kmutt.ac.th

<sup>4)</sup> Researcher, NANOTEC, National Science and Technology Development Agency, Pathumthan 12120, Email: pratarn@nanotec.or.th

1. บทนำ

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับชุมชนเกษตรกรรม การใช้ประโยชน์จากชีวมวลรูปแบบหนึ่งคือการนำมาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาไหม้โดยตรง หรือนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถผลิตได้โดยใช้วัสดุเหลือใช้ เช่น เศษไม้ แกลบ ชี้เลี้ยง และเศษต้นพืชต่างๆ ซึ่งการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุดังกล่าวนี้มีเทคนิคและการใช้ตัวประสานที่แตกต่างกัน ประลองค์ ดำรงค์ไทย (Pralong, 1998) นักวิชาการป่าไม้ได้ศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเยียวโดยการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ชานอ้อยเน่า เปื้อย และขุยมะพร้าวมาอัดเป็นแท่งด้วยกระบวนการอัดเย็นจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบสกรูที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าโดยใช้ตัวเชื่อมประสานช่วย แล้วนำไปตากแดดให้แห้งจะได้แท่งเชื้อเพลิงที่สามารถใช้แทนฟืนและถ่านได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของประสาน สติธัยเรืองศักดิ์(Prasarn, 2004) และอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (Apirak, 2008) ที่ได้ทำการศึกษากการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ผงถ่านกะลามะพร้าว ผงถ่านไม้ยางพารา ผงถ่านซังข้าวโพด และชี้เลี้ยง ด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกและโมลาสเป็นตัวประสาน ซึ่งทำให้ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเหมาะสมจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

สบู่ดำเป็นพืชทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซล หลายหน่วยงานหันมาส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสบู่ดำเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล การปลูกสบู่ดำในอนาคตจึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณชีวมวลที่เหลือจากต้นสบู่ดำเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากในการปลูกสบู่ดำเมื่อต้นอายุครบ 1 ปีแล้วจะต้องทำการตัดแต่งกิ่ง เพื่อให้ต้นสูงเกินไปจนทำให้เก็บเกี่ยวได้ลำบากอีกทั้งการตัดแต่งกิ่งยังเป็นการทำให้สบู่ดำติดผลเพิ่มขึ้นด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสบู่ดำด้วยเทคนิคการอัดเย็นแบบเอ็กซ์ทรูชัน ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่อัตราส่วนผสมของชีวมวลจากสบู่ดำ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพดรวมกับตัวประสานแป้งเปียกและโมลาสที่มีผลต่อค่าความร้อนและค่าการต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (Jindaporn, 2006) โดยจะใช้ชีวมวลจากกิ่งสบู่ดำเป็นส่วนผสมหลัก

2.อุปกรณ์

2.1 วัตถุดิบในการทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือกิ่งและลำต้นของสบู่ดำผสมกับชีวมวลอีก 4 ชนิด คือ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด โดยค่าความร้อนและความหนาแน่น (Bulk density ) ของชีวมวลแต่ละชนิดขณะที่ยังไม่ได้อัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง แสดงไว้ในตารางที่1

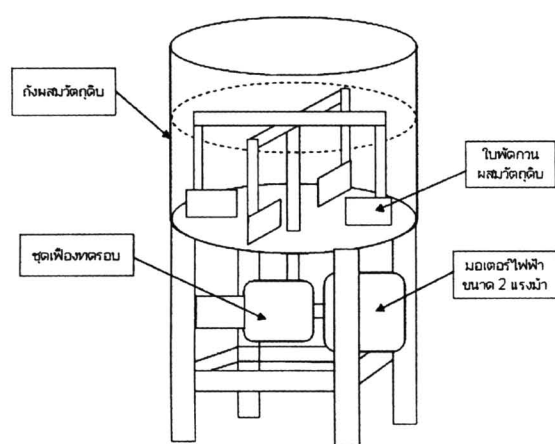
ตารางที่ 1 ค่าความร้อนและความหนาแน่น(Bulk density ) ของชีวมวลที่ใช้ทดลอง

| ชีวมวล         | ค่าความร้อน<br>( เมกกะจูล<br>ต่อกิโลกรัม ) | ความหนาแน่น<br>(กิโลกรัมต่อ<br>ลูกบาศก์เมตร) |
|----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| สบู่ดำ         | 15.742                                     | 123.552                                      |
| ซังข้าวโพด     | 15.580                                     | 375.158                                      |
| กากมันสำปะหลัง | 14.407                                     | 339.211                                      |
| ชานอ้อย        | 13.281                                     | 104.667                                      |
| แกลบ           | 12.393                                     | 219.136                                      |

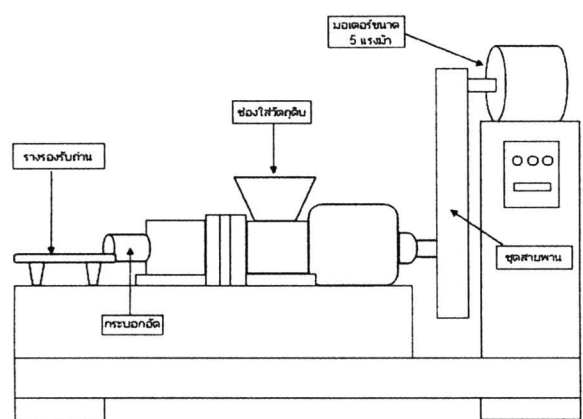
ในการทดลองจะทำการบดชีวมวลทั้งหมด ให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร หลังจากที่ได้นำชีวมวลไปตากแห้งจนมีความชื้นต่ำกว่า 15% มาตรฐานแท่ง สำหรับตัวประสานที่ใช้ในการทดลอง คือ โมลาส และแป้งเปียก

2.2 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงที่เงื่อนไขต่างๆ จะทำการบดชีวมวลทั้งหมดให้มีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตรด้วยเครื่องบดย่อยวัสดุ (Hammer mill) และชั่งน้ำหนักชีวมวลตามสัดส่วนที่ต้องการด้วยตาชั่ง สำหรับการผสมชีวมวลกับตัวประสานจะใช้เครื่องผสมวัสดุซึ่งมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้าเป็นตัวส่งกำลังเพื่อหมุนผสมวัตถุดิบทั้งหมดจนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 1 ลักษณะเครื่องผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบที่ผสมแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องอัดรีดแท่งเชื้อเพลิงแข็งแบบสกรูเพอร์ซึ่งใช้สกรูอัดแบบเกลียวหนอน

ขนาด 6.3 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร โดยที่ปลายกระบอกรัดมีขนาด 5 เซนติเมตร และมีมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสขนาด 5 แรงม้าเป็นตัวส่งกำลัง ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่ที่ 60 รอบต่อนาที (Prasarn, 2006) แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดรีดจะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกประมาณ 11 มิลลิเมตร และ 48 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในการวัดค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะใช้เครื่องทดสอบค่าความร้อน (Bomb Calorimeter) ซึ่งสามารถวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ทั้งของแข็งและของเหลว

3 การทดลอง

ในการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสับดูกับตัวประสาน และทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสับดูและชีวมวลอื่นๆ กับตัวประสาน

3.1 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสับดูและตัวประสาน

ในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมสับดูต่อน้ำหนักของตัวประสานทั้งสองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อการจับตัวเป็นแท่งของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (Thanit, 2004) ซึ่งสัดส่วนการผสมสับดูต่อน้ำหนักตัวประสานที่จะปรับเปลี่ยนในการทดลองเป็น 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 หลังจากได้สัดส่วนการผสมที่เหมาะสม จะใช้สัดส่วนการผสมนี้เพื่อทดลองในขั้นต่อไป

3.2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมสับดูและชีวมวลอื่นๆ กับตัวประสาน

เมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผสมสับดูกับตัวประสานเพื่ออัดแท่งเชื้อเพลิงแล้ว ในการทดลองต่อไปคือการผสมชีวมวลชนิดอื่นๆ คือ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และขี้ข้าวโพดลงไป แล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแท่ง

เชื้อเพลิงโดยใช้สัดส่วนการผสมตัวประสานที่ได้จากการทดลองในขั้นแรก เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนสัดส่วนน้ำหนักการผสมชีวมวลอื่นๆ ที่มีต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งสัดส่วนการผสมที่ใช้ในการทดลอง คือ สบู่ดำ: ชีวมวลอื่น: ตัวประสาน โดยกำหนดสัดส่วนของตัวประสานคงที่ไว้ที่ร้อยละ 15 และ 20 จะได้สัดส่วนการผสมเป็น 75:10:15, 65:20:15, 55:30:15, 45:40:15, 70:10:20, 60:20:20, 50:30:20 และ 40:40:20

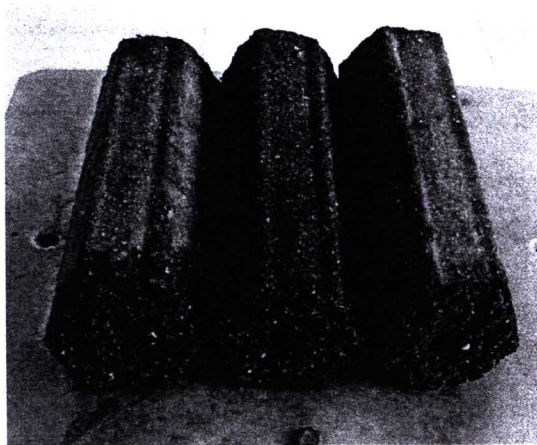
### 3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองผลิตเชื้อเพลิงแข็งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ 1) เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบโดยนำชีวมวลทั้งหมดไปตากจนมีค่าความชื้นต่ำกว่า 15% มาตรฐานแห้ง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร ต่อจากนั้นนำชีวมวลที่บดแล้วไปเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด 2) ก่อนทำการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งให้ทดสอบเดินเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเพื่อดูสภาพความพร้อมในใช้งาน 3) ทำการชั่งน้ำหนักของชีวมวลที่บดแล้วแต่ละชนิดและตัวประสานให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการทดลอง 4) นำส่วนผสมทั้งหมดไปผสมกันโดยใช้เครื่องผสมวัสดุจนกระทั่งวัตถุดิบทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวประสาน 5) หลังจากผสมวัตถุดิบกับตัวประสานได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว นำวัตถุดิบทั้งหมดป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็งโดยจะใส่ลงในถังพักป้อน (Hopper) 6) นำภาชนะมารองชีวมวลที่ยังไม่เป็นแท่งในขณะเริ่มอัดเนื่องจากในระยะแรกๆมวลของวัตถุดิบทั้งหมดยังไม่เต็มกระบอกอัดจึงยังไม่ติดเป็นก้อน รอจนกระทั่งเชื้อเพลิงติดกันเป็นแท่งยาว 7) ดัดแท่งเชื้อเพลิงออกเป็นท่อนโดยให้มีความยาวท่อนละ 15 เซนติเมตร 8) เปลี่ยนสัดส่วนการผสมของชีวมวลต่างๆกับตัวประสานตามเงื่อนไขที่ต้องการทดลอง แล้วผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงตามทุกเงื่อนไขจนครบ 9) นำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปตากแดด หรืออบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณ 10% ตามค่า

มาตรฐานแห้ง แล้วจึงนำไปทดสอบค่าความร้อน และค่าการต้านทานแรงกด

### 4. ผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้วัตถุดิบหลักเป็นสบู่ดำกับตัวประสานแบ่งเป็กและโมลาสพบว่ามีเพียงสองสัดส่วนการผสมเท่านั้นที่ทำให้สามารถขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงได้ คือ น้ำหนักสบู่ดำต่อตัวประสานทั้งสองชนิดเป็น 80:20 และ 85:15 ดังนั้นจึงใช้สัดส่วนการผสมตัวประสานทั้งสองสัดส่วนนี้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยทำการเปลี่ยนสัดส่วนการผสมของชีวมวลอื่นๆ

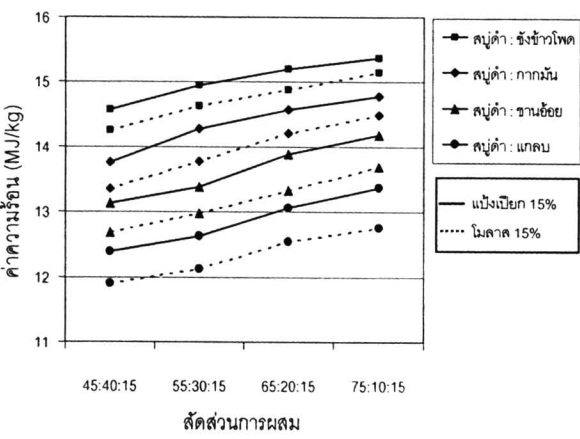


รูปที่ 3 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ในการทดลอง

#### 4.1 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบที่มีผลต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

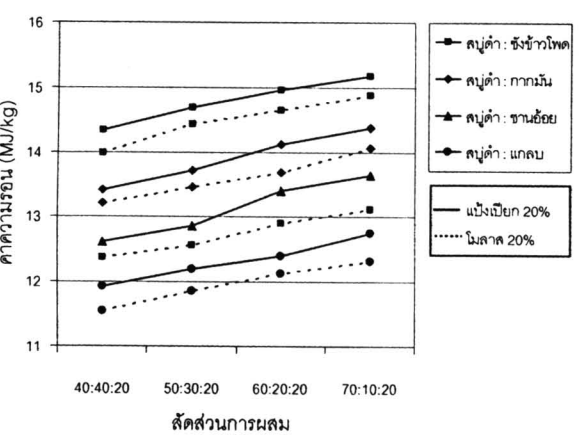
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสบู่ดำจะทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นเนื่อง จากสบู่ดำมีองค์ประกอบคาร์บอนและค่าความร้อนสูงกว่าวัสดุเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นที่นำมาผสม อีกทั้งจะสังเกตได้ว่าถ้านำวัสดุชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูงมาผสมก็จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงที่ได้มามีค่าความร้อนสูงตามไปด้วย เช่น ในการทดลองนี้ค่าความร้อนของขี้ข้าวโพดสูงกว่ากากมันสำปะหลัง ดังนั้น แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการ

ผสมระหว่างสบูดำกับขิงข้าวโพดจะมีค่าความร้อนสูงกว่า  
แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จาก การผสมระหว่างสบูดำกับกากมัน  
สำปะหลัง



รูปที่ 4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัวประสานใน  
สัดส่วนร้อยละ 15

นอกจากนี้พบว่าที่สัดส่วนการผสมเดียวกันแท่ง  
เชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าความร้อนสูง  
กว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โม่ลาคเป็นตัวประสานเนื่องจากตัว  
ประสานโม่ลาคมีความหนืดสูงเผาไหม้ได้ยากกว่าตัว  
ประสานแป้งเปียก แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนอยู่  
ในช่วง 11.89-15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

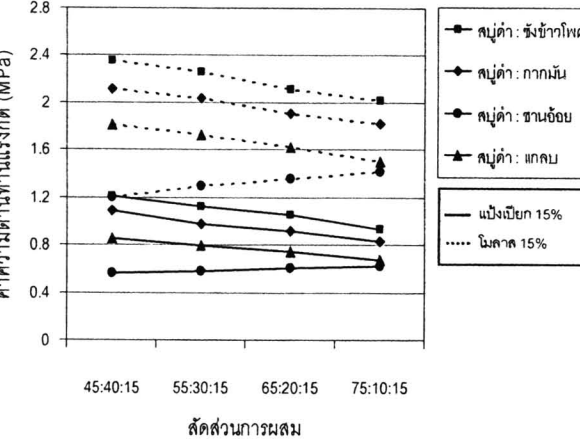


รูปที่ 5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงใช้ตัวประสานใน  
สัดส่วนร้อยละ 20

สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้สัดส่วนตัวประสานร้อยละ  
20 ผลการทดลองที่ได้จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับ  
กรณีที่ใช้ตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 คือ ค่าความร้อน  
ของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนสบูดำที่  
เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 และจะพบว่าที่แต่ละสัดส่วนการ  
ผสมจะมีค่าความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ตัว  
ประสานในสัดส่วนร้อยละ 15 เนื่องจากเมื่อผสมตัว  
ประสานมากขึ้นจะทำให้สัดส่วนของปริมาณสบูดำซึ่งมีค่า  
ความร้อนสูงลดลงไป ส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่ง  
เชื้อเพลิงลดลง โดยจากรูปที่ 5 ค่าความร้อนอยู่ในช่วง  
11.54-15.17 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

4.2 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบต่อค่าความต้านทาน  
แรงกด

สำหรับผลของค่าความต้านทานแรงกดของแท่ง  
เชื้อเพลิง พบว่าค่าความต้านทานแรงกดจะแปรผันตาม  
สัดส่วนการผสมวัตถุดิบที่มีค่าความหนาแน่นสูง

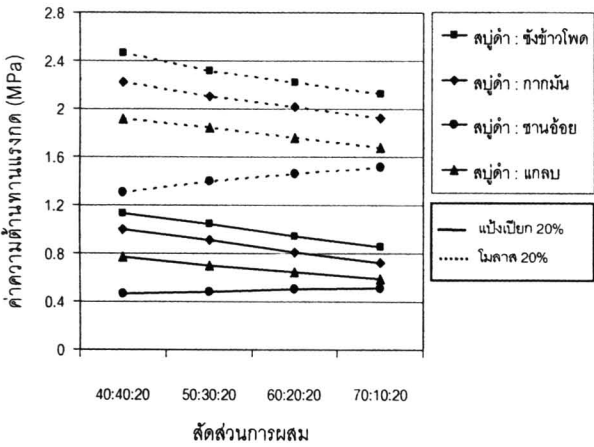


รูปที่ 6 ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัว  
ประสานในสัดส่วนร้อยละ 15

จากรูปที่ 6 เมื่อสัดส่วนของวัตถุดิบที่มีความ  
หนาแน่นสูงลดลงจะทำให้ค่าความต้านทานแรงกดลดลง  
ตามไปด้วย ดังนั้นแท่งเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างสบูดำต่อขิง-

ข้าวโพดที่สัดส่วน 45:40 จะมีค่าการต้านทานแรงกดสูงกว่า  
แท่งเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างสับดำและซังข้าวโพดที่สัดส่วน  
55:30 เนื่องมาจากค่าความหนาแน่นของซังข้าวโพดสูงกว่า  
สับดำ และแท่งเชื้อเพลิงที่ผสมวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูง  
ก็จะทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดที่สูงด้วยเช่นกัน ดังนั้น  
ที่สัดส่วนการผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ผสมซังข้าวโพดจะ  
มีค่าความต้านทานแรงกดสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผสมกากมัน  
สำปะหลัง เนื่องจากซังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า  
กากมันสำปะหลัง แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความต้านทาน  
แรงกดอยู่ระหว่าง 0.56 - 2.35 เมกกะปาสคาล

สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้สัดส่วนตัวประสานร้อยละ  
20 ผลการทดลองที่ได้จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับ  
กรณีที่ใช้ตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 คือ ค่าความ  
ต้านทานแรงกดจะแปรผันตามสัดส่วนการผสมวัตถุดิบที่มี  
ค่าความหนาแน่นสูงดังแสดงในรูปที่ 7 โดยค่าความ  
ต้านทานแรงกดอยู่ระหว่าง 0.46 - 2.46 เมกกะปาสคาล



รูปที่ 7 ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ตัว  
ประสานในสัดส่วนร้อยละ 20

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 6  
และ 7 พบว่าที่สัดส่วนการผสมเดียวกันค่าความต้านทาน  
แรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานใน  
สัดส่วนร้อยละ 20 จะสูงกว่าค่าความต้านทานแรงกดของ

แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานในสัดส่วน ร้อยละ  
15 เนื่องจากลักษณะของโมลาสจะมีความเหนียว และเมื่อ  
ผ่านการอบจะมีการยึดเกาะที่ดีส่งผลให้ค่าความต้านทาน  
แรงกดเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้จะพบว่าที่สัดส่วนการผสม  
เดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน จะมีค่า  
ความต้านทานแรงกดสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แบ่งเปียกเป็น  
ตัวประสานมาก เนื่องมาจากตัวประสานแบ่งเปียกมี  
ส่วนประกอบหลักเป็นน้ำ เมื่อนำแท่งเชื้อเพลิงไปตากหรือ  
อบแห้งน้ำจะระเหยไปทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในแท่งเชื้อเพลิงจึง  
เกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัว  
ประสาน

จากการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิงพบว่าสัดส่วนที่  
เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบต่อตัวประสาน คือ 85:15 และ  
80:20 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ส่วนประกอบของวัตถุดิบนั้นมีสัดส่วน  
ที่มากกว่าตัวประสาน ดังนั้นสมบัติของค่าความร้อน และค่า  
ความต้านทานแรงกดจึงขึ้นอยู่กับตัววัตถุดิบที่ใช้ในการอัด  
แท่งเชื้อเพลิง ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่พบว่า เมื่อผสม  
วัตถุดิบที่มีค่าความร้อนสูงในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นค่าความร้อน  
ของแท่งเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย เช่นเดียวกับการผสม  
วัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูงในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้  
ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น แต่ทั้งนี้  
การเปลี่ยนชนิดของตัวประสานก็จะส่งผลต่อค่าความร้อน  
และค่าความต้านทานแรงกดด้วยเช่นกัน

5. สรุปผล

ในการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น โดยใช้  
วัตถุดิบหลักเป็นสับดำผสมกับชีวมวลอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ  
ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และซังข้าวโพด ซึ่งใช้โมลาส  
และแบ่งเปียกเป็นตัวประสานนั้นพบว่า สัดส่วนการผสม  
ของชีวมวลต่อน้ำหนักตัวประสานที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูป  
แท่งเชื้อเพลิงได้ คือ 85:15 และ 80:20

จากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะแปรผันตรงกับสัดส่วนการผสมสับดูดำและที่สัดส่วนการผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แบ่งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 11.54 – 15.36 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม สำหรับค่าความต้านทานแรงกด พบว่าค่าความต้านทานแรงกดจะแปรผันตามสัดส่วนการผสมวัตถุดิบที่มีค่าความหนาแน่นสูง แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานจะมีค่าความต้านทานแรงกดสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แบ่งเปียกเป็นตัวประสานอย่างมาก ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าระหว่าง 0.46-2.46 เมกกะปาสคาล

สัดส่วนการผสมแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพื่อให้เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดสูง คือ การผสมสับดูดำและขี้ข้าวโพดโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสานในสัดส่วน สับดูดำ: ขี้ข้าวโพด: โมลาส 65:20:15 เนื่องจากตัวประสานโมลาสจะทำให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงต่ำกว่าตัวประสานแบ่งเปียกเพียงเล็กน้อย แต่ทำให้ได้ค่าความต้านทานแรงกดสูงกว่ามาก

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติที่เอื้อเฟื้อมอเตอร์สำหรับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง วัดพยัคฆาราม และสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมกรมวิชาการเกษตร ที่เอื้อเฟื้อเครื่องบดย่อยวัสดุ และเครื่องผสมวัตถุดิบ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเฟื้อเครื่องวัดค่าความร้อนเพื่อใช้ในการวัดค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

#### เอกสารอ้างอิง

Apirak Sawadkit (2008). A Production of Bar-Shaped Fuel from Husk Ashes Mixed with Corn-cob.

Knowledge Bank at Sripatum University . (Cited 2008 Jan 17). Available from:<http://dllibrary.spu.ac.th:8080/dspace/handle/123456789/560> (Access on April 27,2009).

Jindaporn Jamraloedluk (2006). Physical properties and combustion performance of briquettes produced from two pairs of biomass species, The 2<sup>nd</sup> Energy Technology Network of Thailand, Suranaree University of Technology 27-29 Jul. (In Thai).

Pralong Damrongthai (1998 ). Green fuel briquette, Thaisumi.co.ltd, Available from: <http://www.carcoal.snmcenter.com/charcoalthai/Green20Fuel%20Briquette.php>.(accessed on October 17, 2007)

Prasarn Sathitruangsak (2004). Briquette fuel producing from coconut shell by extrusion technique using molass as binder, The 18<sup>th</sup> Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand , Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, by Khon Kaen University, October 18-20 . (In Thai).

Prasarn Sathitruangsak (2006). Design of an extrusion screw and solid fuel produced from coconut shell, Songklanakarin J.Sci.Technol, Vol 28, No.2, 387-401 (In Thai).

Thanit Madhiyanon (2004). A study of influences of binder treated from wheat straw on physical properties of fuel briquette. The 18<sup>th</sup> Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand , Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel, by Khon Kaen University, October 18-20 . (In Thai).

ประวัติผู้วิจัย

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล                | นายเกรียงไกร วงศาโรจน์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| วัน เดือน ปีเกิด         | 17 ตุลาคม 2525                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ประวัติการศึกษา          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| มัธยมศึกษาตอนปลาย        | โรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย พ.ศ. 2543                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ปริญญาตรี                | วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2547                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ปริญญาโท                 | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2553                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ทุนการศึกษา              | ทุนเพชรพระจอมฯ พ.ศ. 2549<br>ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2550                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ประวัติการทำงาน          | ตำแหน่ง Supervisor บริษัท NOKPCT พ.ศ. 2548 - 2549                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ | เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริส ประทินทอง และ<br>ประธาน วงศ์ศรีเวช, 2552, “การศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีว-<br>มวลจากลำต้นสบู่ดำ”, การประชุมวิชาการ ม.อ.ภูเก็ตวิจัยครั้งที่ 2,<br>18-20 พฤศจิกายน, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต,<br>ภูเก็ต.<br><br>เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริส ประทินทอง และ<br>ประธาน วงศ์ศรีเวช, 2554, “การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสบู่-<br>ดำ”, วิศวกรรมสาร ม.ข., ปีที่38, ฉบับที่1, มกราคม - มีนาคม<br>2554. |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ข้อตกลงว่าด้วยการ โอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์

วันที่ 29 มีนาคม 2554



ข้าพเจ้า นายเกรียงไกร วงศาโรจน์

รหัสประจำตัว 49400808

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☒โท ☐เอก ☐ปร.ด

หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

อยู่บ้านเลขที่ 94/26 ตรอก/ซอย — ถนน 185 ม. 5

ตำบล/แขวง ทุ่งครุ อำเภอ/เขต ภาษีเจริญ จังหวัด กรุงเทพมหานคร

รหัสไปรษณีย์ 74000 ขอโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-

พระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี ดร. พัฒนะ รักความสุข ตำแหน่ง คณบดีคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลง ดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสนุ่ค่า”

ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ. ดร. ธนิต สวัสดิ์เสวี, ผศ. ดร. นริส ประทินทอง

ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ... นายเกรียงไกร วงศาโรจน์... ผู้โอนลิขสิทธิ์

(นายเกรียงไกร วงศาโรจน์)

ลงชื่อ... ดร. พัฒนะ รักความสุข... ผู้รับโอนลิขสิทธิ์

(ดร. พัฒนะ รักความสุข)

ลงชื่อ... ผศ. ดร. ธนิต สวัสดิ์เสวี... พยาน

(ผศ. ดร. ธนิต สวัสดิ์เสวี)

ลงชื่อ... ผศ. ดร. นริส ประทินทอง... พยาน

(ผศ. ดร. นริส ประทินทอง)

