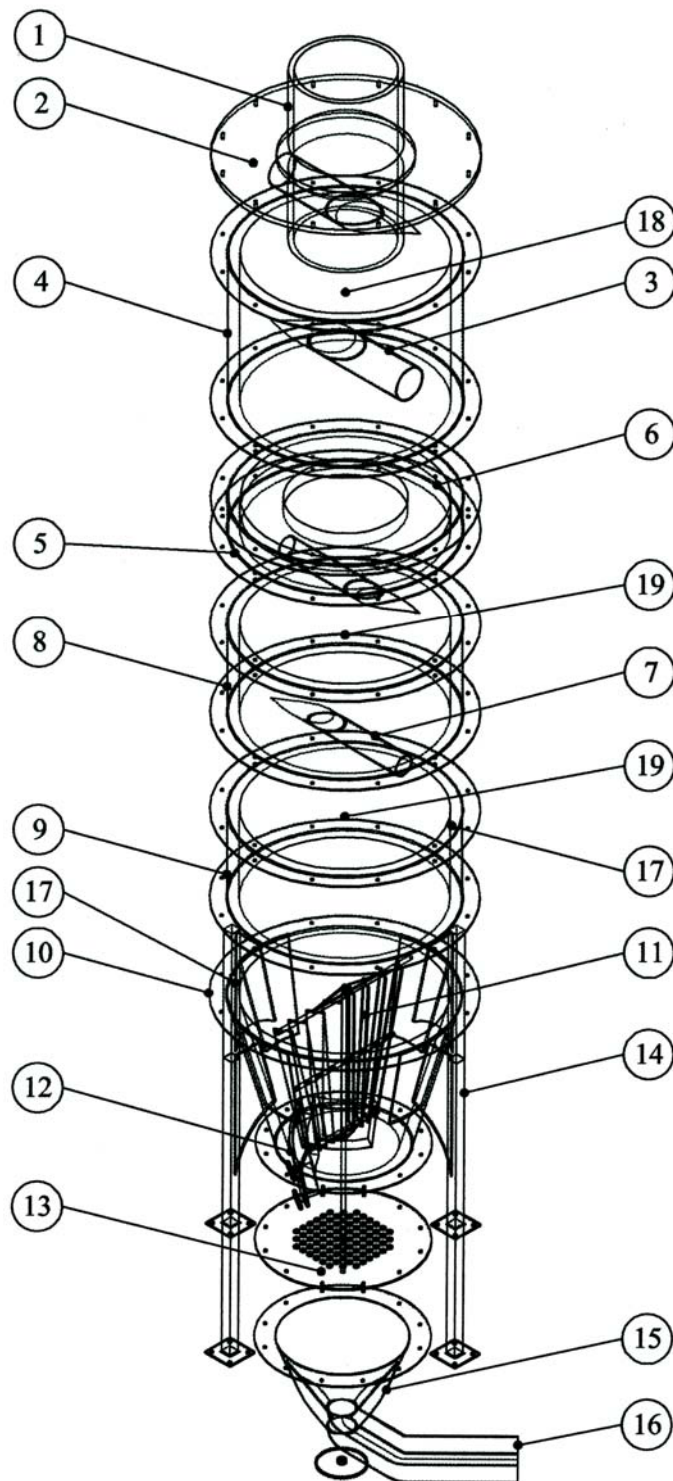
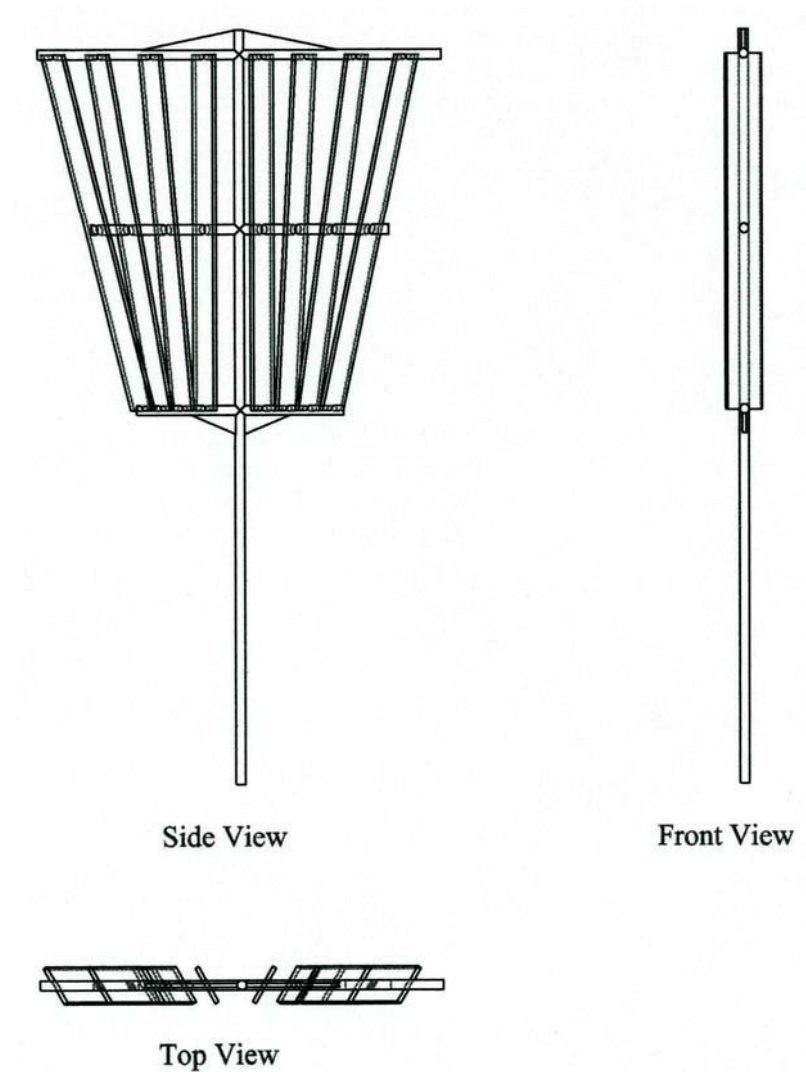




1. ท่อทางออกก๊าซเผาไหม้
2. ฝาปิดหัวเตา
3. ท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 1
4. หัวเตา
5. ตัวเตาส่วนวงแหวนวอร์เทค
6. วงแหวนวอร์เทค
7. ท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 3
8. ตัวเตาส่วนห้องเผาไหม้ฟลูอิดไคซ์เบค  
ท่อนที่ 1
9. ตัวเตาส่วนห้องเผาไหม้ฟลูอิดไคซ์เบค  
ท่อนที่ 2
10. ส่วนล่างของเตา
11. ใบกวน
12. ประตูลูก
13. ตะแกรงกระจายลม
14. ขาดัง
15. ห้องจ่ายอากาศส่วนที่ 2
16. ท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 2
17. อิฐทนไฟฉาบด้วยซีเมนต์ทนไฟ
18. ห้องเผาไหม้แบบวอร์เทค  
(ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 1)
19. ห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบค  
(ห้องเผาไหม้ส่วนที่ 2)

รูปที่ 15. ส่วนประกอบของเตาวอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบคแบบแยกชิ้น



รูปที่ 16. ไบกวน

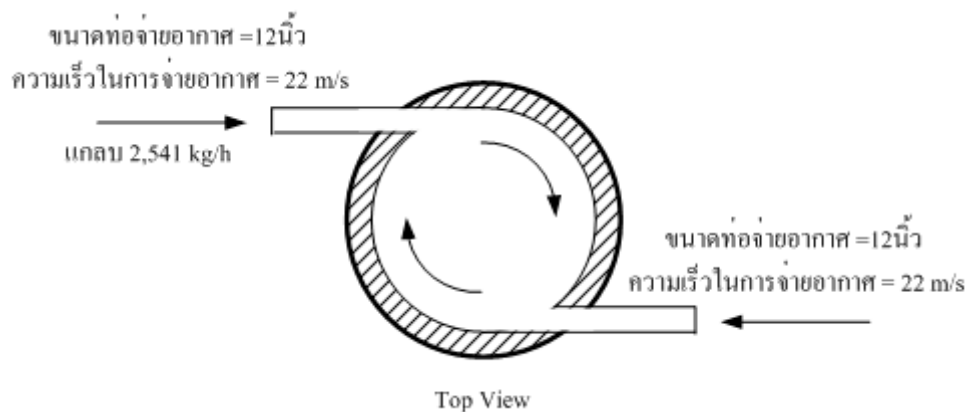
### 2.8.7. การหาปริมาณอากาศส่วนที่ 1 และการออกแบบท่ออากาศส่วนที่ 1

ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนที่ 1 จะใช้สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของอากาศส่วนที่ 1 ใน VFBC ในระดับห้องปฏิบัติการมาคำนวณเพื่อที่จะทำให้ค่า Swirl number ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดย

$$\begin{aligned}
 (A/F)_{\text{pri. air}} &= 5.83 \quad \text{kg air /kg rice husk} \\
 \text{ดังนั้น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนที่หนึ่ง} &= 5.83 \left( \frac{\text{kg air}}{\text{kg rice husk}} \right) \times 2,541 \left( \frac{\text{kg fuel}}{\text{h}} \right) \\
 &= 14,814 \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
 \text{และ อัตราการไหลเชิงปริมาตร} &= 14,814 \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1}{1.2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \\
 &= 3.44 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

ในการออกแบบท่ออากาศส่วนที่ 1 จะแบ่งการจ่ายอากาศออกเป็นสองท่อเท่าๆกัน ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 17 โดยแต่ละท่อจะมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ  $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$  โดยความเร็วที่ใช้ในการจ่ายอากาศจะเท่ากับ  $22 \text{ m/s}$  การป้อนกลับเข้าเตาเผาไหม้จะใช้ท่อเพียงท่อเดียวในการลำเลียงกลับส่วนอีกท่อหนึ่งจะมีไว้เพื่อรักษาม่านอากาศที่เกิดขึ้นให้มีค่าใกล้เคียงกับ VFBC ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยขนาดของท่อที่ใช้สามารถคำนวณได้จาก

$$D_{\text{pri}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{1.72 \text{ (m}^3/\text{s)}}{22 \text{ (m/s)}}} = 0.316 \text{ m} \approx 12''$$



รูปที่ 17. แสดงการจ่ายอากาศส่วนที่ 1 เข้าเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบด

เมื่อนำข้อมูลที่ออกแบบของอากาศส่วนที่ 1 มาคิดเป็น Swirl number ได้ดังนี้

จากสมการ 
$$S = \sum_{i=1}^m f_i^2 \frac{\pi D_e D_o}{4 A_{t,i}}$$

$m = 2$

$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$  (d คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 1 โดยเท่ากับ  $0.305 \text{ m}$ .)

$f_i = \frac{5.83}{5.83 + 2.19 + 2.02} = 0.58$

$D_e = 0.9 \text{ m}$

$D_o = 1.8 \text{ m}$

แทนค่าในสมการ

$$S_1 = \left( 0.58^2 \frac{\pi \times 0.9 \times 1.8}{4 \times (\pi/4) \times (0.305)^2} \right) + \left( 0.58^2 \frac{\pi \times 0.9 \times 1.8}{4 \times (\pi/4) \times (0.305)^2} \right) = 11.75$$

เมื่อนำค่า Swirl number ของ VFBC ระดับห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกับค่าใกล้เคียงคือ Swirl number ของ VFBC ระดับห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 10.45 และ Swirl number ของ VFBC ขนาด 9 MW มีค่าเท่ากับ 11.75 ดังนั้นเลือกขนาดท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 1 เท่ากับ 12 นิ้ว และความเร็วในการจ่ายอากาศส่วนที่ 1 เท่ากับ 22 m/s

### 2.8.8. การหาปริมาณอากาศส่วนที่ 3 และการออกแบบท่ออากาศส่วนที่ 3

ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนที่ 3 จะใช้สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของอากาศส่วนที่ 3 ใน VFBC ในระดับห้องปฏิบัติการมาคำนวณ

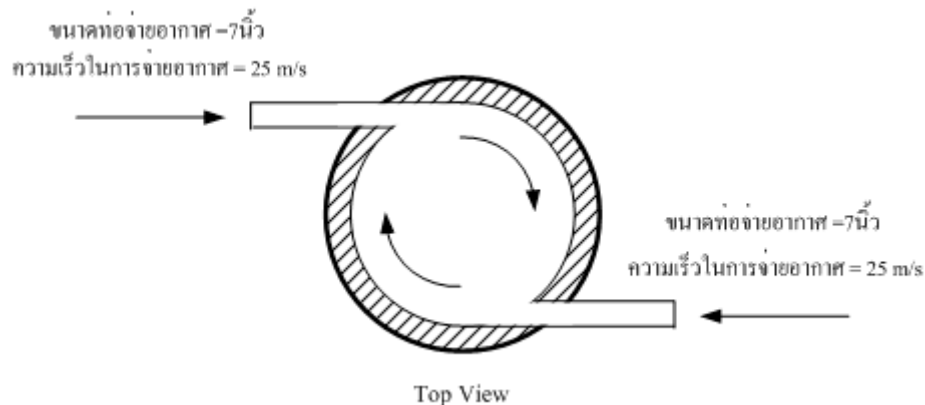
โดย  $(A/F)_{\text{ter. air}} = 2.02 \text{ kg air / kg rice husk}$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนที่สาม} &= 2.02 \left( \frac{\text{kg air}}{\text{kg rice husk}} \right) \times 2,541 \left( \frac{\text{kg fuel}}{\text{h}} \right) \\ &= 5,132 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และ อัตราการไหลเชิงปริมาตร} &= 5,132 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1}{1.2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \\ &= 1.19 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ในการออกแบบท่ออากาศส่วนที่ 3 จะแบ่งการจ่ายอากาศออกเป็นสองท่อเท่าๆกัน ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 18 โดยแต่ละท่อจะมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ  $0.595 \text{ m}^3/\text{s}$  ความเร็วที่ใช้ในการจ่ายอากาศจะเท่ากับ 25 m/s โดยขนาดของท่อที่ใช้สามารถคำนวณได้จาก

$$D_{\text{ter}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{0.595 \text{ (m}^3/\text{s)}}{25 \text{ (m/s)}}} = 0.174 \text{ m} \approx 7''$$



รูปที่ 18. แสดงการจ่ายอากาศส่วนที่ 3 เข้าเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไคซ์เบด

เมื่อนำข้อมูลที่ออกแบบของอากาศส่วนที่ 1 มาคิดเป็น Swirl number ได้ดังนี้

จากสมการ

$$S = \sum_{i=1}^m f_i^2 \frac{\pi D_c D_o}{4 A_{t,i}}$$

$$m = 2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \text{ (d คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 3 โดยมีขนาดเท่ากับ 0.1778 m.)}$$

$$f_i = \frac{2.02}{5.83 + 2.19 + 2.02} = 0.201$$

$$De = 0.9 \text{ m}$$

$$Do = 1.8 \text{ m}$$

แทนค่าในสมการ

$$S_3 = \left( 0.201^2 \frac{\pi \times 0.9 \times 1.8}{4 \times (\pi/4) \times (0.178)^2} \right) + \left( 0.201^2 \frac{\pi \times 0.9 \times 1.8}{4 \times (\pi/4) \times (0.178)^2} \right) = 4.131$$

เมื่อนำค่า Swirl number ของ VFBC ระดับห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกับมีค่าใกล้เคียงกันคือ Swirl number ของ VFBC ระดับห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 4.96 และ Swirl number ของ VFBC ขนาด 9 MW มีค่าเท่ากับ 4.131 ดังนั้น เลือกขนาดท่อจ่ายอากาศส่วนที่ 3 เท่ากับ 7 นิ้ว และความเร็วในการจ่ายอากาศส่วนที่ 3 เท่ากับ 25 m/s

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย คุณวิบูรณ์ เทเพนท์ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมกลุ่มงานวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวที่กรุณาให้คำแนะนำต่องานวิจัยนี้ และนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยเหลือในส่วนการทดลองของ VFBC ระดับห้องปฏิบัติการโดยมีรายชื่อดังต่อไปนี้ นายอำนาจ มากกลาง นายสิงห์ชัย ทรัพย์อุดมมาก นายวสันต์ ศรีคำมูล นายธีระวัชร อ่อนดี นายไกรสร ล้อสุวรรณ นายสุรสิทธิ์ ภูเมือง นายอนุชา ใจกล้า นายสุรัตน์ จตุรสุขสกุล นายอดิเรก ใสส่อง นายวีระ ศรีอริยะกุล นายเสรี อรพัฒนานนท์ นายวรรณ โฉนเป้น นายคำนวน เพ็ญรักษา และ นายสิทธิโชค นพคุณขจร

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Gupta, A.k., Lilley, D.G and Syred, N. 1984. Swirl Flows. Abacus Press, Tunbridge Wells, England.
- [2] Singh, R., Maheshwari, R.C and Ojha, T.P. 1980. Development of a Husk Fired Furnace. J. agric Engng Res., 25 : 119-120.
- [3] Soponronnarit, S., Swasdisevi, T., Wetchacama S, Shujinda A and Srisawat B. 2000. Cyclone Rice Husk Furnace and Its Application on Paddy Drying, Int. Energy J., 1(2) : 67-75.
- [4] Tumambig, J.A., 1984, Testing and Evaluation of Rice Hull-Fed Furnace for Grain Drying, National Post Harvest Institute for Research and Extension., : 197-214.
- [5] Armesto, L., Bahillo, A., Veijonen, k., Cabanillas, A. and Otero, J. 2002. Combustion Behavior of Rice Husk in a Bubbling Fluidized Bed, B Bioenergy., 23(3) : 171-179.

- [6] Natarajan, E., Nordin A and Rao A.N. 1998. Overview of Combustion and Gasification of Rice Husk in Fluidized Bed Reactor, *B Bioenergy*, 14(5/6) : 533-546.
- [7] Werther, J., Saenger, M., Hartge E.U., Ogada, T. and Siagi, Z. 2000. Combustion of Agricultural residues, *Prog. Energy Combust. Sci*, 26(1) : 1-27.
- [8] Rao, T.R., and Bheemarasetti, J.V. Ram. 2000. Minimum Fluidization Velocities of Mixtures of Biomass and Sands, *Energy*, 26(6) : 633-644.
- [9] Nigh, S., Yang, G., Zhu A.Q. and Zhao, C.S. 1992. Measurements of Gas-Particle Flows and Elutriation of an 18 i.d. Cold Vortexing Fluidized-Bed Combustor Model, *Powder Technol.*, 69 : 139-146.
- [10] Yang, G., and Nieh S. 1987. Particle Flow Pattern in the Freeboard of a Vortexing Fluidized Bed, *Powder Technol.*, 50 : 121-131.
- [11] Yang, G. and Nieh, S. 1989. On the Suspension Layers in the Freeboard of Vortexing Fluidized Beds, *Powder Technol.*, 57 : 171-179.
- [12] Shang et al, Patent Number: 4,867,079. Combustor with Multistage Internal Vortices.
- [13] Nieh, S., and Zhang, J. 2000. Swirling, Reacting, Turbulent Gas-Particle Flow in a Vortex Combustor, *Powder Technol.*, 122 : 70-78.
- [14] Madhiyanon, T., Piriyaungroj, N., Nathakarannakule, A. and Soponronnarit, S. 2003(a). A Study on Air-Rice Husk Flow Behavior Cold Model, In Proc 4<sup>th</sup> the Technical Conference of the Thai Society of Agricultural Engineering., Kasetsart University, Bangkok, Thailand, Much. 13-14, 2003 : 332-343.
- [15] Madhiyanon, T., Piriyaungroj, N., Nathakarannakule, A. and Soponronnarit, 2003(b). The Vortexing-Fluidized bed Combustor Cold Model : Experiment Study of Air-Rice Husk Flow Behavior, *K & D Journal of EIT.*, 14(4) : 59-67.
- [16] Patent Number: 4,867,079. Combustor with Multistage Internal Vortices.
- [17] Patent Number: 4,881,476. Cyclone Reactor with Internal Separation and Axial Recirculation.
- [18] Becker et al, Patent Number: 4,881,476. Cyclone Reactor with Internal Separation and Axial Recirculation.

ภาคผนวก 1 ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดซ์เบดโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบในระดับปฏิบัติการ กรณีใช้อากาศส่วนเกินในการเผาไหม้ 182%

$$\eta_{th} = \left[ \frac{(m_a)(Cp_g T_g - Cp_{amb} T_{amb})}{m_f HHV} \right] \times 100$$

จากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแกลบจากกรมวิทยาศาสตร์บริการพบว่าในเชื้อเพลิงแกลบเมื่อนำมาเผาไหม้แล้วจะได้เถ้าเท่ากับ 14 %

เมื่อ

$m_a$  = อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.0863 kg/s

$m_f$  = อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.0075 kg/s

$Cp_g$  = ค่าความจุความร้อนของแก๊สเผาไหม้ 1.19 kJ/Kg °K  
(ที่อุณหภูมิแก๊สเผาไหม้ ( $T_g$ ) เท่ากับ 850 °C)

$Cp_{abm}$  = ค่าความจุความร้อนของอากาศที่ป้อน 1.005 kJ/Kg °K  
(ที่อุณหภูมิอากาศภายนอก ( $T_{amb}$ ) เท่ากับ 29 °C)

HHV = ค่าความร้อนของแกลบเท่ากับ 14500 kJ/Kg

$$\eta_{th} = \left[ \frac{(0.0863(1.19 \times (850 + 273)) - (1.005)(29 + 273))}{0.0075 \times 14500} \right]$$

$\eta_{th}$  = 82 %

## ภาคผนวก 2 บทความสำหรับการเผยแพร่

1. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2546, การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศ-เกลบนภายในเตาเผาไหม้จำลองที่มีลักษณะการไหลแบบไซโคลนร่วมกับการไหลแบบฟลูอิดไซ์เบด, การประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อสิ่งแวดล้อม, 13 – 14 มีนาคม 2546 ณ เศรษฐมณี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, หน้า 332 - 343
2. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2546, การพัฒนาเตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไซ์เบดสำหรับเชื้อเพลิงเกลบ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15 – 17 ตุลาคม 2546, หน้า 662 - 670
3. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2546,เตาเผาไหม้จำลองวอร์เทค-ฟลูอิดไซ์เบด : การศึกษาเชิงการทดลองพฤติกรรมการไหลของอากาศและเกลบ, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนาปีที่ 14 ฉบับที่ 14 , หน้า 59 – 67
4. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์ และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2547, เตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไซ์เบดแบบสองห้องเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงเกลบ, SONGKLANAKARIN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol.26 NO.6, ประจำเดือน พฤศจิกายน – ธันวาคม 2547
5. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, พีระวัตร ทองนอก และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2547, เตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไซ์เบด : Part I ผลกระทบของอากาศส่วนที่หนึ่งต่อสมรรถนะเตา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 18 – 20 ตุลาคม 2547, หน้า 166
6. ฐานิตย์ เมธิยานนท์, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์, พีระวัตร ทองนอก และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2547, เตาเผาไหม้วอร์เทค-ฟลูอิดไซ์เบด : Part II ผลกระทบของอากาศส่วนที่สองต่อสมรรถนะเตา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 18 – 20 ตุลาคม 2547, หน้า 167