

캐비티가 존재한 사각 단면 분류층 연소실내에서 2상류의 유체역학적 거동에 관한 연구

박 상 규*

A Study on The Hydrodynamic Behaviours of Two Phase Flow in
Rectangular Entrained Flow Combustor with Cavity

Sang - Kyoo Park

Key words : Entrained flow(분류층), Pulverized coal(미분탄), Hydrodynamic behaviours(유체역학적 거동)

Abstract

The present study is aimed to investigate experimentally on the hydrodynamic behaviours of air - pulverized coal flow in rectangular combustor with cavity. Mean velocity, density and turbulent properties of pulverized coal in rectangular entrained flow combustor were measured by PDA.

Experimental results show that the flow reattachment point at the lower plane in the combustor chamber has been developed near $X/D=15$. The similarities at each section are found after the flow reattachment point. The maximum values of turbulent intensity and Reynolds shear stress have been shown near $Y/D=6$, which is higher than centerline. The maximum density of the pulverized coal sited in the range of $Y/D=6\sim 8$.

초 록

본 연구에서는 미분탄과 공기를 혼합하여 노즐을 통하여 바닥면에 캐비티가 존재한 사각단면 분류층 연소실로 분사 시킬 때에 분사된 혼합유동의 평균속도, 농도 및 난류특성치들의 유체역학적 거동을 3차원 측정이 가능한 PDA를 이용하여 실험적으로 규명하였다. 바닥면의 재부착점은 $X/D=15$ 인 부근에서 나타나며, 재부착점 이후에서 부터 각 단면의 상사성이 이루어 지는 것으로 나타났다. 사각 연소실 바닥면 관통의 영향을 받아 난류강도와 난류전단응력의 최대값은 중심축보다 높은 $Y/D=6$ 인 점에서 최대가 되며, 미분탄의 농도는 $Y/D=6\sim 8$ 인 점에서 최대 값이 나타났다.

* 여수수산대학교 기계공학과

1. 서 론

석탄가스화 복합발전(integrated coal gasification)은 석탄을 산소와 함께 고온, 고압의 가스화기에서 반응시켜 가스화한 후 집진 및 탈황장치에서 분진 및 황성분을 제거하여 생성된 청정가스를 천연가스 대신 복합발전의 가스터빈연료로 사용하는 방식이다. 이것은 기존 미분탄 발전방식에 비해 SOx, NOx, 분진 및 CO₂ 등의 공해물질을 현저하게 줄일 수 있고 발전효율이 높아 석탄사용에 따른 환경문제와 지구 온난화 문제 및 에너지 효율적인 이용을 위한 대안으로 제시되는 차세대 발전기술로 각광을 받고 있다.

다량의 에너지 소모는 심각한 환경문제를 초래하며, 갈수록 심해지는 환경규제와 발전소 건설에 수천억원 이상의 자금이 소요되는 점을 고려할 때 무엇 보다도 고효율, 저공해 및 발전소 경비 절감을 고려하여야 한다. 석유 천연가스는 석탄이나 중유보다 고가이기 때문에 일년중 대부분을 가동해야 하는 기저 부하용으로는 적합하지 않다. 또한, 석유나 천연가스는 지역 편재성이 크기 때문에 거의 수입에 의존하는 우리로서는 70년대 2번의 오일 쇼크때와 같이 안정적인 공급을 보장받을 수 없는 점도 무시할 수 없다^{1,2)}.

현재 발전 플랜트 에너지원의 25%정도를 석탄으로 의존하는 우리는 연료절감과 장치를 위해서도 고효율적으로 완전연소 시키는 방법이 필요하다. Yuan 등³⁾이 착화온도, 착화시간, 착화거리, 불꽃전달속도 및 NOx 배출 관계에서 미분탄의 농도를 고려하여 불꽃의 온정성이나 NOx 감소에 영향을 미치는 것을 보고하였으며, Chuan⁴⁾이 연소실내의 착화온도는 석탄질량과 연관이 있으며 저휘발 미분탄의 재가 비산되어 냉각벽관의 고온부식과 가마내의 부착등 부작용을 일으키며, 또한 미분탄의 국부적인 정체 농도장과 연소실내의 적절한 온도는 연소에 직접적인 영향을 미친다고 보고하고 있다. Shi⁵⁾는 PDA를 이용하여 연소실내의 농도분포 및 속도분포를 측정분석하여 입자의 속도는 기체속도의 영향을 받지 않는다고 밝혔다.

T. Shakouchi 등^{6,7)}은 원통면에 노즐을 부착하여 곡면 벽체를 형성시켜 원통 중심각에 따른 미분

탄의 속도, 농도, 과립 직경등을 측정분석 하였다. Kim⁸⁾은 석탄화기의 형태와 특징에 대해서 보고하였다.

본 연구에서는 캐비티가 존재한 사각단면 분류층 연소로의 노즐로 미분탄과 공기를 혼합시켜 연소실에 분사 시키고 사각연소로 바닥면의 관통으로 단면변화에 따른 유동장의 특성을 PDA⁹⁾(Particle dynamics analyzer)를 사용하여 미분탄의 평균속도, 농도 및 난류특성치들을 측정하여 코안다 효과(Coanda effect)가 나타난 연소실내의 유동을 규명하고자 하였다. 이 결과를 토대로 차세대 발전기술로 각광을 받고 있는 고효율, 저공해, 분류층 연소로 개발에 기초자료로 이용하는데 목적을 두고 있다.

2. 실 험

본 연구에 사용된 실험장치를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치의 전장은 약 5m이다. 송풍기에서 나오는 공기유동은 정류실에서 둘로 나뉘어 연소실로 유입되도록 제작하였다. 본 연구에서는 하단부 노즐의 공기유동을 차단하였으며, 정류실을 통과

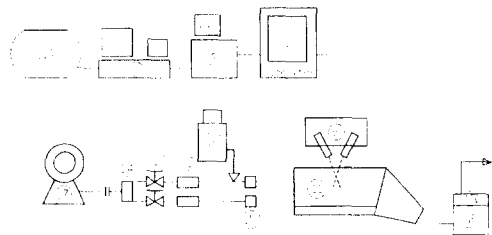


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

1. Water tank
2. fiber flow
3. Signal processor
4. Oscilloscope
5. Computer(486)
6. Lazer beam and traverse mechanism
7. Turbo blower
8. Valve
9. Flow meter
10. P. C. coal feeder
11. Combustion chamber
12. Cyclon
13. Filter
14. Settling chamber
15. Coupling

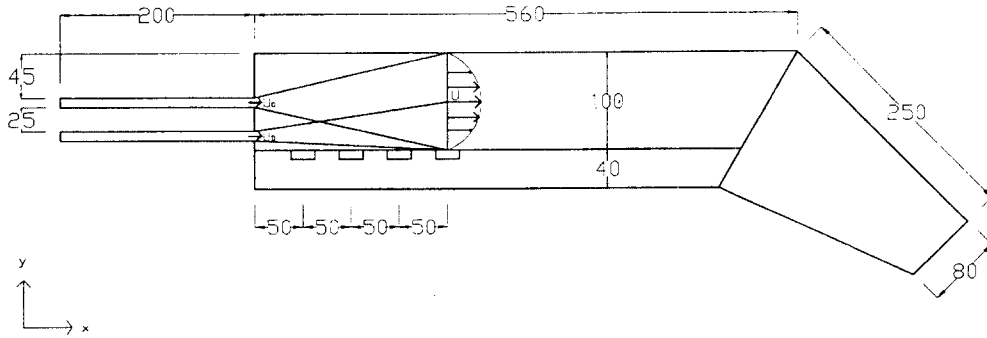


Fig. 2 Flow configuration and coordinate system

한 유동은 유량을 조절하는 밸브와 유량계를 거쳐 연소실에 분사된다. 사각 연소실의 노즐 500mm 앞에 설치된 분말공급기로 부터 공급된 미분탄과 혼합이 충분히 이루어져 연소실에 유입된다. 연소실로 유입된 2상 혼합유동은 사이클론, 필터를 거쳐 미분탄과 공기로 분리되어 공기만 이 대기중으로 분출된다.

노즐 출구면은 폭(D)과 길이(L)는 각각 10mm, 200mm이며, 연소실은 가로, 세로, 길이가 각각 200, 100, 500mm로 된 투명아크릴로 제작하였으며, 출구면에서 35mm되는 바닥면에 길이 30mm, 폭 200mm인 캐비티를 만들었다.

실험은 노즐폭과 유량계를 통과한 속도를 기준으로 레이놀즈 수 1.35×10^3 에서 수행하였다. 미분탄 공급기로 부터 40.2kg/hr로 공급되는 미분탄을 혼합하여 연소실 중심부노즐로 분사시킨다. 실험 입자는 미분탄 대신 비교적 구형도가 좋은 수지입자를 사용하였다. 입자의 직경은 $100 - 517 \mu\text{m}$ 이다. 측정영역은 노즐출구로 부터 $X/D=40$ 까지의 범위이다. DANTEC사, 속도계측 범위 $\pm 500\text{m/s}$, 입자의 직경 $0.5 \sim 10000 \mu\text{m}$ 3차원 PDA에 의해 측정, 분석하였다. Fig. 2는 2상분류 유동장과 좌표계를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 축방향의 미분탄 입자의 평균속도이다. 노즐출구로 분사되는 유동은 노즐출구 주위 유체의 영향을 받아 노즐에 근접한 부근에서는 중심축에서 최대속도가 나타나나, X축변화에 따라 각단

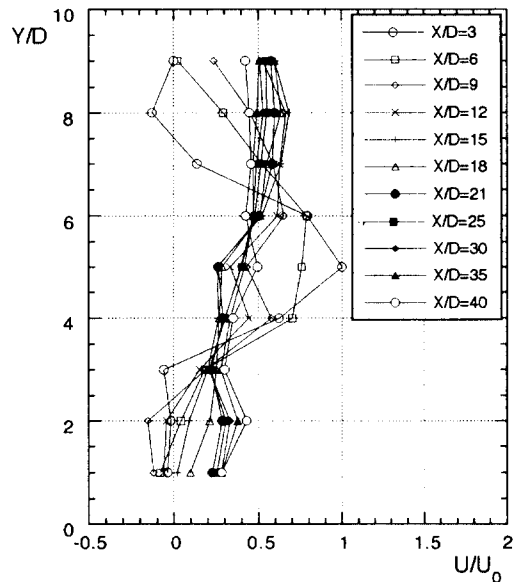


Fig. 3 Axial mean velocity distribution

면의 최대속도 값은 중심축 상부인 $Y/D=7 - 9$ 부근에서 나타난다. 이것은 미분탄과 공기의 혼합 2상유동이 연소로내의 바닥면의 관통으로 압력분포가 급격히 변하게 되고 중심축 하부에서 재부착점내의 캐비티 바닥면의 관통에 의한 역류가 상부에 영향을 미치기 때문으로 추정하였다. 바닥면의 재부착점은 대략 $X/D=14$ 에서 나타나며 $X/D=15$ 점 이후에서는 각단면의 속도 값은 양으로 나타난다. X/D 축 후류로 갈수록 각단면의 크기가 Y/D 축 변화에 관계없이 비슷하게 나타난다.

Fig. 4는 반경방향의 미분탄의 속도를 나타낸다. 노즐에 근접한 부근에서는 중심축을 기준으로 미

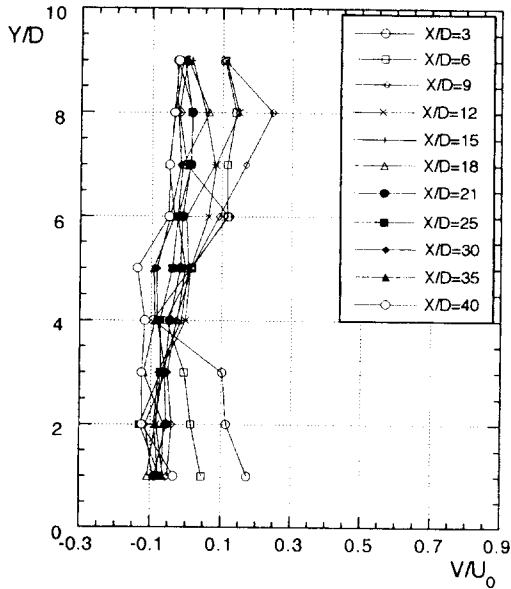


Fig. 4 Lateral mean velocity distribution

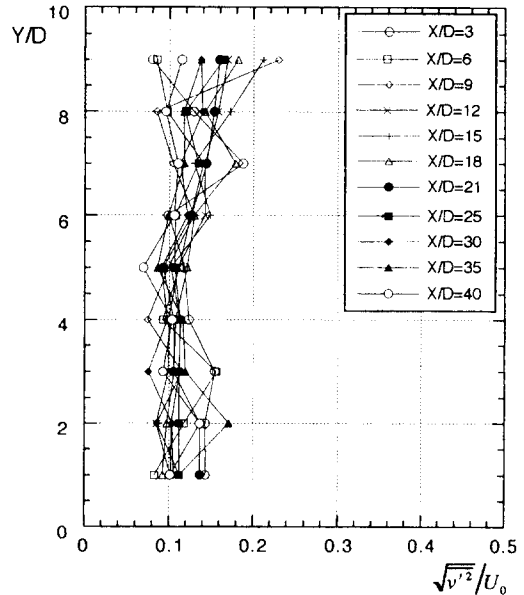


Fig. 6 Distribution of lateral turbulent intensity

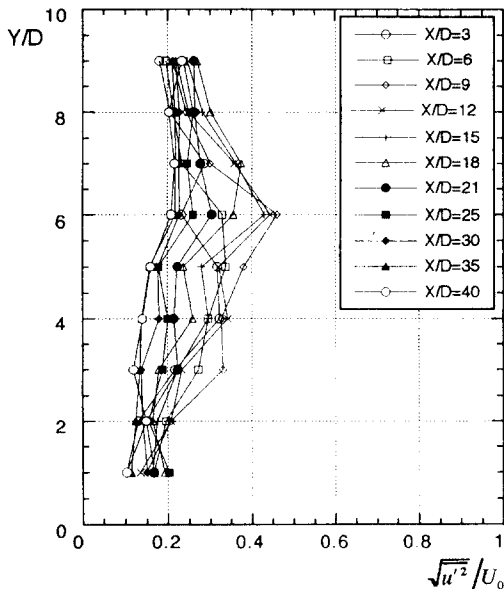


Fig. 5 Distribution of axial turbulent intensity

분단의 반경방향의 속도분포가 초기영역에서 $X/D=12$ 까지는 상부에서 값이 양의 값이 나타나나, 하부에서는 속도가 음의 값으로 차가 크게 나타난다. X/D 축 변화에 따라서는 크기가 점점 줄어들면서 거의 상사성을 유지한다. 반경방향의 속도

도 역시 바닥면의 관통의 영향을 크게 받아 중심축상, 하부의 속도분포가 비대칭으로 나타나는 것으로 보여진다.

Fig. 5와 6은 축방향과 수직방향의 난류강도를 나타낸다. 각단면의 축방향 난류강도의 각 단면의 최대값은 중심축보다 약간 윗쪽인 $Y/D=6$ 부근에서 나타나며, 최대값은 $X/D=9$ 인 점에서 0.46의 값을 가리키며 X/D 축변화에 따라서 점차 작아지는 경향을 보이고 있다. 이는 초기영역보다 주위공기와 혼합이 $X/D=9$ 인 부근에서 잘 이루어지기 때문으로 보여지며 또한 바닥면의 관통의 영향이 나타나 X/D 변화와 관계없이 중심축인 $Y/D=5$ 이하의 하부와 상부의 크기가 비대칭형으로 상사성을 보이고 있다. 반면 Fig. 6의 반경방향 난류강도의 값은 중심축 부근에서는 X/D 변화와 관계없이 값의 차이가 나타나지 않으나 상부면과 하부 바닥면 부근에서 차이가 큰것으로 나타났다. 입자가 바닥면의 관통으로 영향을 받지 않는 $X/D=15$ 이후에서는 축방향 난류강도와 같은 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 난류전단응력을 나타낸다. 난류전단응력 역시 $X/D < 9$ 이전에는 불안정한 분포를 나타내나 $X/D > 9$ 이후는 거의 상사성을 이루고 있으며 이는 노즐로부터 분사되는 유동의 운동량교환이

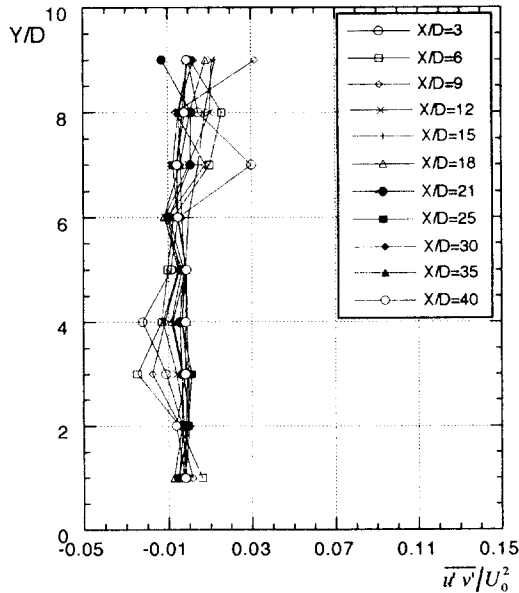


Fig. 7 Distribution of turbulent shear stress

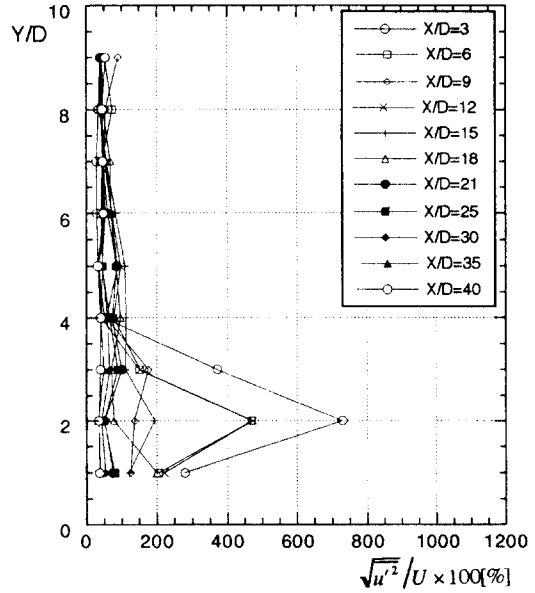


Fig. 9 Distribution of axial relative turbulent intensity

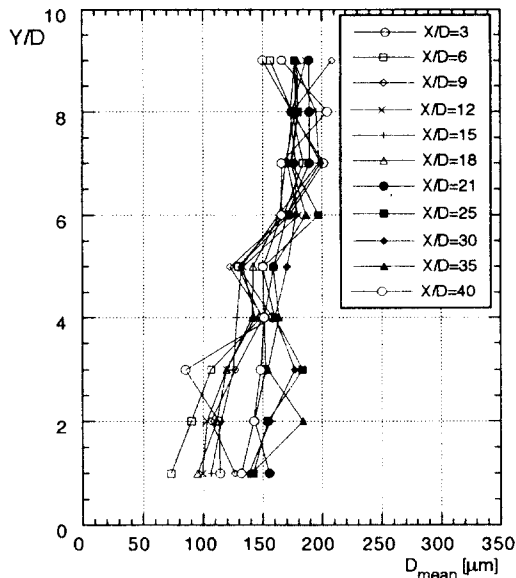


Fig. 8 Mean density distribution of pulverized coal

중심보다 약간 상, 하부에서 활발히 이루어지는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 9는 미분탄의 평균입자경을 나타낸다. 미분탄의 평균 입자경 크기 역시 중심축을 기준으로 해서 상부에서는 크기가 150-200 μm 정도로 X/D축

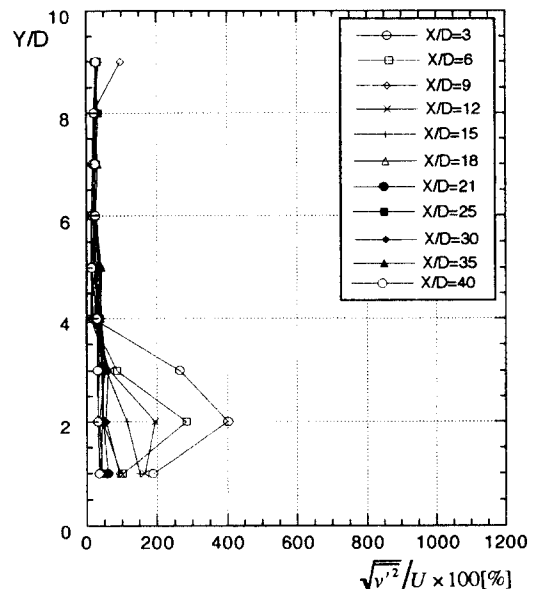


Fig. 10 Distribution of lateral relative turbulent intensity

변화에 따라서 상사성을 보이거나 하부에서는 상부보다 평균입자경도 작고 X/D축 변화에 따라서 값이 크게 차이가 나타나고 있다. 이는 박리구역내에서 캐비티 바닥면의 관통으로 인하여 영향을 받아

유동속도가 낮아서 미분탄의 농도도 작게 나타나는 것으로 사료된다. 특히 속도가 낮은 구역에서는 이러한 미분탄의 석출과 응집이 용이하다. 또는 Fig. 5의 입자경의 평균속도와도 밀접한 관계가 있다. 노즐 후류로 갈수록 재부착이 예측되는 $X/D=14$ 를 지나면서 캐비티의 영향을 벗어나 점차 각 단면의 상사성이 이루어 지는 속도분포의 경향과 유사한 분포를 나타낸다. 이는 연소실내의 바닥면의 영향을 받기 때문이며, 상부에서는 바닥면의 캐비티의 영향을 거의 받지 않기 때문에 비교적 큰 입자경이 일정한 크기의 관성력을 유지하기 때문인 것으로 보여진다.

Fig. 9와10은 각점 미분탄의 평균속도와 난류강도를 무차원화 시킨 결과이다. $Y/D > 4$ 이하에서 상대 난류강도가 크게 나타나며, 최대값은 $Y/D=2-3$ 되는 점에서 발생하였다. 이는 $Y/D < 4$ 지역에서는 공기의 속도가 작기 때문에 상대난류강도가 불규칙 하게 나타나는 반면, 상부에서는 고속유동의 영향을 받으며 비교적 큰 입자경이 밀집하여 농도분포를 이루기 때문에 상사성을 이루는 것으로 추정된다.

4. 결 론

캐비티가 존재한 사각단면 연소실에서 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미분탄 유동의 바닥면의 재부착점은 $X/D=15$ 부근에서 나타났다.
2. 입경의 평균속도 최대값은 $Y/D=7-9$ 인점에서 최대가 되며, 재부착점을 벗어난 $X/D=15$ 이후는 상사성을 보이고 있다.
3. 난류강도, 난류전단응력등은 $Y/D=6$ 인 부근에서 최대가 되며, $X/D=15$ 이후에서 상사성이 나타내었다.
4. 입자의 평균 입경 농도분포는 미분탄의 관성과 바닥면 관통의 영향을 받아 중심축 상부인

$Y/D=6-8$ 인 점에서 최대값을 나타냈다.

5. 상대난류강도는 바닥면 관통으로 재부착되는 곳까지 영향을 받는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) Chuan wei biao, "四角切向燃燒 煤粉鍋爐 燃用无烟煤的 可行性分析", Power Engineering, Vol. 15, No. 4, 1995, pp. 20 - 26.
- 2) Qin YuKun, Sun Shaozeng and Wi Shaohua, "Evolution of combustion Techniques with Fuel - rich Coal Stream", Journal of Combustion Science and Technology, Vol. 1, No. 1, 1995, pp. 43 - 48.
- 3) Yuan jian wei, Xu minghou, Shang Chang lian, and Man Cai Yuan, "Combustion of High Concentraion Pulverized Coal and Left - Right Dense Thin Phase Technique", 中國電力, 第1期, 1995, pp. 31 - 35.
- 4) Chuan Wei Biao, "Analysis on the Dense - thin Separation Combustion Technology of Pulverized Coal, 中國電力, 第7期, 1995, pp. 33 - 36.
- 5) Shi Xue Feng, Qion Ren Zhang, Xiao Ping Hua, "개봉단체와 단체 PDA 측량 및 저휘발분 매분열태 대비적 시험연구, Power Engineering, 제15권, 제2기, 1995, pp. 19 - 22.
- 6) T. Shakouchi and A Ichikawa, "Analysis of Gas - Particle Two - Phase Jet over a Cylindrical Surface : Diffusion of Solid Particles", Gas - Solid Flows ASME, Vol. 121, 1991, pp. 71 - 76.
- 7) T. Shakouchi, Y. Onsoheru and S Kato, "Analysis of - Two Dimensional, Turbulent Wall Jet Along a Circular Cylinder," , JSME International Journal, Vol. 32, No. 3, 1989, pp. 332 - 339.
- 8) Kim jong jin, "A Note on Integrated Coal Gasification Combined Cycle Technology", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 35, No. 12, 1995, pp. 1114 - 1132.
- 9) PDA Installation and User's guide, DANTEC.