

속도차가 존재하는 두 분류의 2상유동에 관한 연구

박상규* · 양희천** · 정동화***

Study on Two Phase Flow of Two Jets Existing Velocity Difference

S.K.Park · H.C.Yang · D.H.Jeong

Key words : Two phase flow (2상유동), Jet(분류), Solid particle(고체입자), Recirculation zone(재순환영역)

Abstract

In this study, the mixing process of two-phase flow which makes two jets existing velocity difference are analyzed.

The primary jet is jetted on the condition of the state mixed pulverized solid particle with air, and the velocity in the secondary jet is changed into three kinds velocities(0,60,75%)The velocity vector field, concentration field and turbulent properties of solid particles are measured by using 3-Dimensional Particles Dynamics Analyzer.As the velocity of secondary jet increases, the solid particle recirculation zone becomes larger. Also, solid particle concentration gets dense due to velocity decrement of particles.

1. 서 론

2상난류유동에 관한 현상은 산업분야에서 많이 볼 수 있다. 예를들면 미분탄연소기, 디젤엔진의 분사, 석탄분말의 공기이송장치 및 석탄가스화장치 등을 들 수 있다. 특히, 석탄가스화 복합발전(Integrated coal gasification combined cycle)기

술은 석탄을 산소와 함께 고온, 고압하에서 연소시켜 가스화한 후 집진 및 탈황정제하여 천연가스 대신 복합발전의 가스터빈 연료로 사용하는 방식이다. 기존 미분탄을 이용한 발전방식에 비해 SOx, NOx, 분진 및 CO₂등의 공해물질을 줄일 수 있고, 발전효율이 높아 석탄 사용에 따른 환경문제와 지구 온난화 문제 및 에너지의 효율적인 이

* 여수대학교 기계공학과(원고접수일 : 98년 3월)

** 여수대학교 자동차공학과

*** 순천공업전문대학

용을 위한 대안으로 제시되는 차세대 발전기술중의 하나이다. 이러한 복합발전의 효율을 향상시키기 위해서는 석탄가스화, 가스정제장치 및 가스터빈등의 각각의 성능을 높여야 이룩할 수 있다.

석탄가스화 복합발전 초기에는 고정층 가스화장치를 채택하였고, 유동층방식을 거쳐 현재 대부분 분류층 가스화장치를 목표로 개발하고 있다. 고정층 및 유동층 가스화장치는 석탄종류에 대한 제한성과 반응속도가 느려 부하추종성이 떨어지지만 분류층 가스화장치는 다양한 탄종에 관계없이 적합하고 대용량화 할 수 있는 잇점과 부하변동에 따른 적응력이 뛰어나기 때문이다^{1, 2)}.

Kim 등³⁾은 석탄가스화 복합발전 시스템의 구성기기들의 장,단점을 비교 분석하였고, Yuan 등⁴⁾이 분류형 연소실은 미분탄의 평균입자에 따라서, 착화온도, 시간, 거리, 불꽃전달속도 및 NOx 감소에도 영향이 있는것으로 보고 하였으며, Chuan 등^{5, 6)}은 연소실내의 착화온도는 석탄질량과 관련이 있고, 연소시 저휘발 미분탄의 재가 비산되어 냉각벽관의 고온부식, 연소실내의 부착등 부작용을 일으키게 된다고 밝혔으며, 또한 미분탄의 국부적인 정체와 연소실내의 적절한 온도는 연소에 직접적인 영향을 미친다고 보고 하고 있다.

Shi 등⁷⁾은 PDA를 이용하여 분류층 연소실내의 입자분포 및 속도를 측정분석하여 입자의 속도는 기체속도의 영향을 받지 않는다고 밝혔다.

T. Shakouchi 등^{8, 9)}은 원통면에 노즐을 부착시켜 곡면 벽체를 형성시켜 원통중심가에 따른 미분탄의 속도, 농도, 과립직경등을 측정분석 하였다.

본 연구는 연소실 중심에 위치한 노즐을 통하여 미세입자와 공기를 혼합시킨 2상유동을 연소실에 분사 시키고, 같은 방향으로 다른 노즐로는 공기만을 고속 분사시켜 연소실내에서 혼합유동이 되도록 하였다.

일반적으로 분류층 가스화장치는 미세입자와 산화제가 동일방향으로 분사하기 때문에 연소시 출구의 고온가스의 냉각에 따른 에너지 손실이 발생하는 단점이 있으며, 특히 고온에서 반응하므로 스톱의 배출성등의 문제점을 보완하기 위하여, 선행과제로 연소실내에서 비연소시 입자의 유체역학적 거동을 규명하고자 한다. 입자의 속도벡터

장, 농도장 및 난류특성치 값들은 PDA¹⁰⁾(Particle dynamics analyzer)를 사용하여 측정, 분석하였다.

이 결과는 고효율, 저공해, 분류층 가스화장치 및 산업용보일러 연소실 개발을 위한 기초자료로 사용하는데 목적을 두고 있다.

2. 실험

본 연구에 사용된 실험장치를 Fig.1 에 나타내었다. 실험장치는 분류발생장치, 시험부 및 분말 흡입장치등 크게 3부분으로 나눌 수 있으며, 전장은 약 5m이다. 송풍기에서 나오는 압축된 공기유동은 정류실에서 둘로 나뉘어 진다. 사각 연소실 중심축으로 향하는 1차분류는 유량계와 유량을 조절하는 밸브를 거쳐, 연소실입구 500mm앞에 설치된 분말공급기로 부터 미세분말과 혼합되어 2차원으로 만들어진 평면노즐을 통하여 사각연소실에 분사된다. 2차분류는 유량계와 밸브를 거쳐 연소실 중심축으로 분사되는 1차분류 중심축보다 간격(H)이 32.5mm 아래인 위치에 2차분류 중심축이 되도록 제작하였다. Table 1은 본 실험의 조건을 나타냈다.

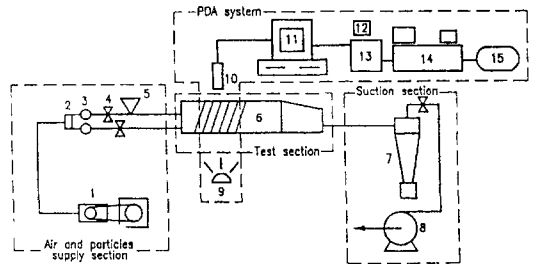


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

- 1.Turbo blower 2.Settling chamber 3.Pipe type flowmeter
- 4.Valve 5.Solid particle screw feeder 6.Testsection
- 7.Cyclone seperator 8.Suction blower 9.Laser emitter
- 10.Laser receiver 11.Computer 12.Oscilloscope
- 13.Signal processor 14.Fiber flow 15.Water tank

Table 1. The conditions of experiment

실험	1차분류속도Uf1 (m/s)	2차분류속도Uf2 (m/s)
1	15	0
2	15	60
3	15	75

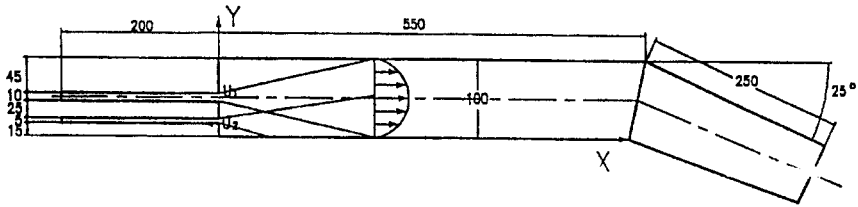


Fig. 2 Coordinate system and test section

두개의 노즐로부터 분사된 각각의 분류는 사각연소실내에서 혼합되며, 이 혼합된 2상유동은 사이클론, 필터를 거쳐 미세분말과 공기를 분리시켜, 흡입 송풍기를 이용하여 공기만을 대기중으로 분출 되도록 제작하였다. 사각연소소에 부착된 두개의 2차원으로 만들어진 평면노즐 출구면은 1차 분류의 경우는 세로폭(D), 가로(L)가 10mm, 200mm 이고, 2차분류는 세로폭(D) 5mm, 가로(L)200mm 로 제작하였다. 사각연소실의 시험부는 가로, 세로, 길이 각각 200, 100, 550mm인 투명아크릴로 제작하였으며, 미세분말을 유도하기 위하여 시험부 후류부분의 상판을 25° 기울게 하여 미세분말을 제어 하도록 설계하였다. Fig.2는 시험부의 세부도이다.

실험은 유량계를 통과한 속도(Uf1:15%)를 기준으로 Reynolds no. 1.02×10^4 에서 수행하였다. 이때 하단부 유량계를 통과한 공기속도(Uf2)는 0, 60, 75% 3가지로 속도변화되도록 설정하였다.

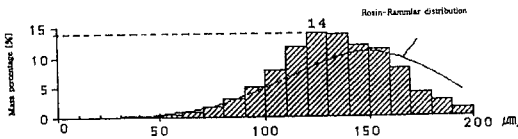


Fig. 3 Particle diameter distribution

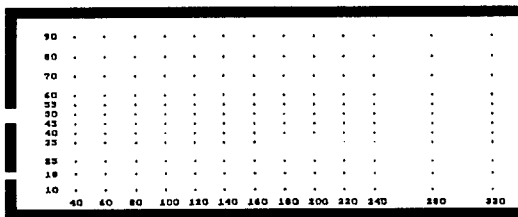


Fig. 4 Particle of test points

실험에 사용한 미세분말은 구형도가 좋은 0-200 μm 직경인 수지입자를 사용하였으며, Fig.3은 본 실험에 사용한 수지 입자경 크기의 분포도이다. 이 수지는 미세분말 공급기로부터 40.2kg/hr의 비율로 공급된다. 측정영역은 노즐출구에 인접한 부근에서는 간격을 좁게 측정하였으며 후류로 갈수록 점차 간격을 넓히어 $X/D=40$ 까지 13X12 포인트를 $\pm 500\%$ 의 범위의 속도 및 입자의 직경이 0~10000 μm 까지 측정 가능한 DANTEC의 3차원 PDA에 의해 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 연소실내의 입자의 속도장, 농도장 및 난류성분들을 분석하였다. Fig.4는 측정위치 및 범위를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

Fig.5,6 및 Fig.7은 1차분류의 유량계의 속도 U1이 15%로 고정하여 미세분말입자(0-50 μm)와 공기를 혼합시켜 분사하였고 2차분류속도에 따라서 각각 실험 1(U2:0%), 2(U2:60%), 3(U2 :75%)으로 나누어 입자의 유동을 벡터장으로 나타낸 것이다. 1차 분류의 중심축을 기준으로 Y축 약 60mm 부근까지 입자의 유동이 X축 양의 방향으로 진행하고 있으나, Y축 60mm 이상에서는 음의 방향의 분포를 보이고 있다. 따라서 2차분류의 공기속도가 점차 커짐에 따라 아래면의 입자속도 벡터장이 크게 나타나고 윗면의 입자역류속도도 정성적으로 점차 커진 것으로 나타나고 있다. 이는 2차 분류의 속도가 증가하면 할수록 코안다현상과 같은 흡입 효과가 나타나 1차분류 분사각이 중심축 하부로 기울어 지며, 또한 중심축 윗면은 와류가 점차 커져 와류영역도 점차 넓어진 것으로 나타나고 있다.

Fig.8,9 및 Fig.10은 Fig.5,6 및 Fig.7과 동일한

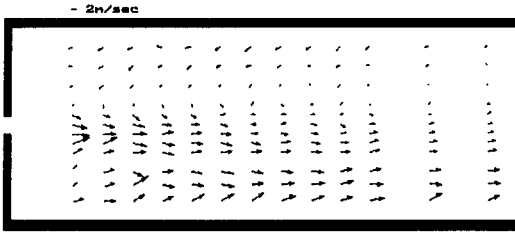


Fig. 5 0-50 μ m particle mean velocity in exp. 1

Fig. 6 0-50 μ m particle mean velocity in exp. 2

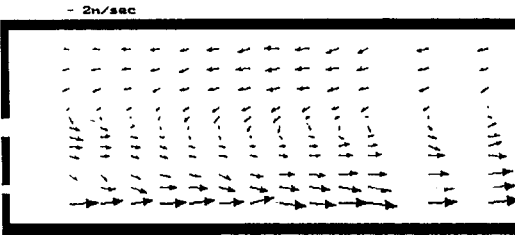


Fig. 7 0-50 μ m particle mean velocity in exp. 3

실험조건이나 입자의 크기가 0-200 μ m인 유동의 벡터장을 나타낸 것이다. 입자가 큰 경우도 역시 2차분류가 커짐에 따라 앞의 입자경 0-50 μ m인 유동장의 경우와 마찬가지로 경향을 나타내나, 미소하나마 재순환영역이 연소실 앞쪽으로 당겨지는 것은 입자의 관성력이 영향을 미치는 것으로 사료된다. Fig.11은 1차 분류 중심축상의 입자속도를 나타낸 것이다. 실험1은 단상의 기체가 분출되는 자유분류의 특성과 같이 1차분류가 분사된후 입자속도가 점차 완만하게 감소하는 경향을 나타내나, X축 150mm후류에서는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 2차분류의 공기속도가 점차 60, 75%로 증

가 함에 따라서 1차분류 중심축 입자속도는 후류로 갈수록 속도가 급격하게 감소된다. 2차분류의 속도가 60%인 경우에는 중심축 140mm되는 곳에서 최저속도를 나타내나, 75%로 분사된 경우는 120mm에서 부터 음의 속도가 나타나며, 160mm인 곳에서 음의 속도가 최대로 크게 나타난후 200mm 이후에서 다시 양의 속도로 나타났다. 2차분류의 공기속도가 증가하면 할수록 점차 재순환영역이 연소실 앞면까지 영향을 미치게 되며 중심축 윗면의 입자의 역류유동이 점차 크게 형성되면서 재순환영역이 넓고, 뚜렷하게 형성됨으로서 중심축 입자의 속도가 크게 저하되는 정체현상을 야기하는 것으로 사료된다.

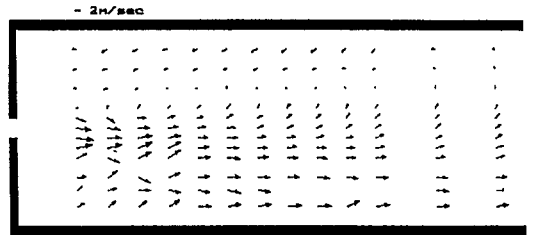


Fig. 8 0-200 μ m particle mean velocity in exp. 1

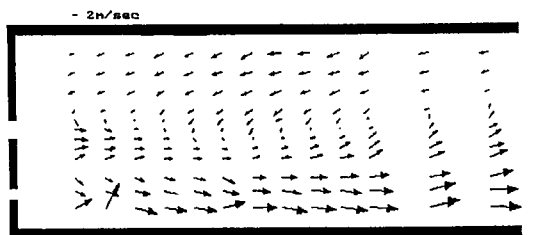


Fig. 9 0-200 μ m particle mean velocity in exp. 2

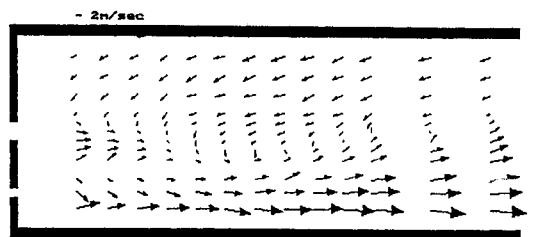


Fig. 10 0-200 μ m particle mean velocity in exp. 3

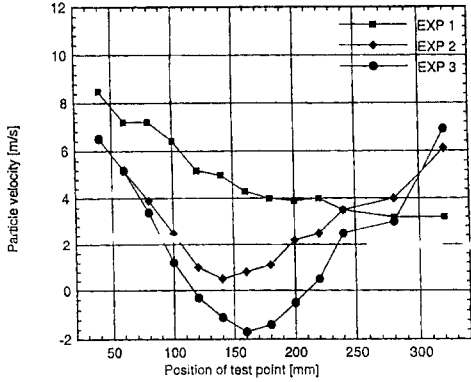


Fig. 11 Comparison of particle velocities on the central axis

Fig. 12, 13 및 Fig. 14는 흐름방향과 반경방향의 떨림속도를 $\sqrt{u'^2+v'^2}$ 로 정의하여 난류강도를 나타낸 것이다. Fig. 12는 미세한 입자와 과 공기만이 분사되는 경우로서 연소실 내부의 주위공기의 유입현상으로 노즐인접한 부근에서 입자의 난류강도가 다소 크며 후류로 진행할수록 X축 각단면의 난류강도 크기가 비슷한 경향을 나타낸다. Fig. 13, 14에서는 2차분류의 공기속도가 증가할수록 1차분류의 영향권내에서는 입자의 영향으로 난류강도가 작게 나타나나, 재순환영역이 형성된 이후에서는 입자의 속도가 작아지고, 2차분류의

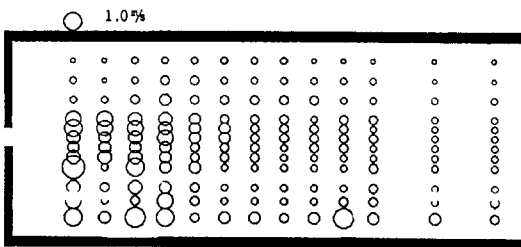


Fig. 12 Turbulent intensity in exp. 1

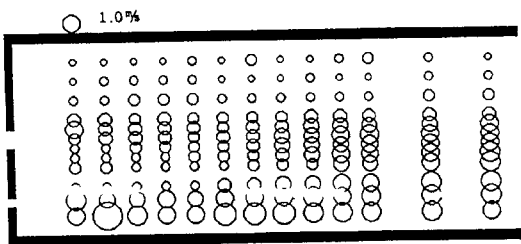


Fig. 13 Turbulent intensity in exp. 2

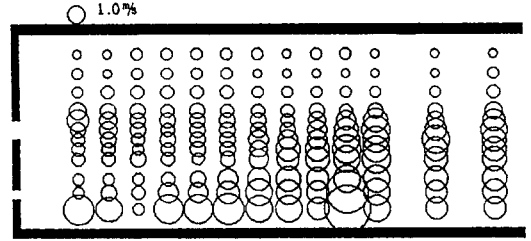


Fig. 14 Turbulent intensity in exp. 3

확산에 영향을 받아 입자의 운동량교환이 활발하여 연소실 후류부에서 난류강도가 크게 나타난다.

Fig. 15, 16 및 Fig. 17은 각 실험의 연소실내 측정 위치에서 단위체적당 입자의 농도분포를 나타낸 것이다. 실험1의 경우는 1차분류가 확산되는 전영역에서 고른 분포를 나타내나, 2차분류의 공기속도가 60, 75%로 증가함으로써 재순환영역이 뚜렷하게 나타나 노즐출구에서 재순환영역까지 입자의 농도가 더 농후하게 나타나고 있다. 이는 Fig. 11에서의 2차분류 공기속도가 증가함에 따라 1차분류 중심축 입자속도가 감소되어 발생한 와류현상으로 인한 재순환영역과 밀접한 관계가 있으며 공기속도가 클수록 1차분류의 입자속도가 정체되어 농도가 농후한 영역이 점차 좁아지기 때문에 입자농도분포값도 훨씬 크게 나타나고 있다.

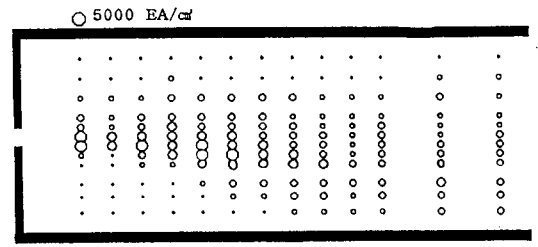


Fig. 15 Particle concentration in exp. 1

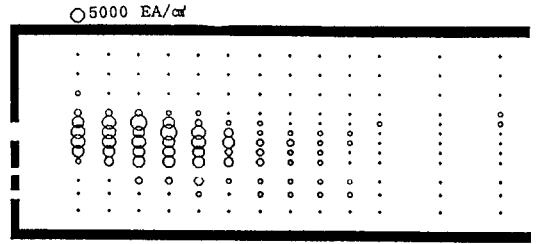


Fig. 16 Particle concentration in exp. 2

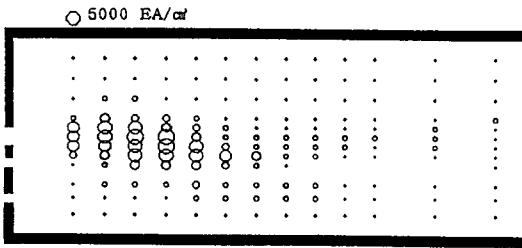


Fig. 17 Particle concentration in exp. 3

Fig.18은 각실험의 1차분류 중심축상의 입자농도를 나타내고 있다. 2차분류 공기속도가 클수록 중심축의 농도가 농후하게 나타나며, 농도가 농후한 최고점이 점차 앞쪽으로 당겨지는 것은 재순환영역을 형성하는 와류의 세기의 영향을 받아 입자속도가 정체로 인하여 농도가 농후하게 나타나는 것으로 사료된다.

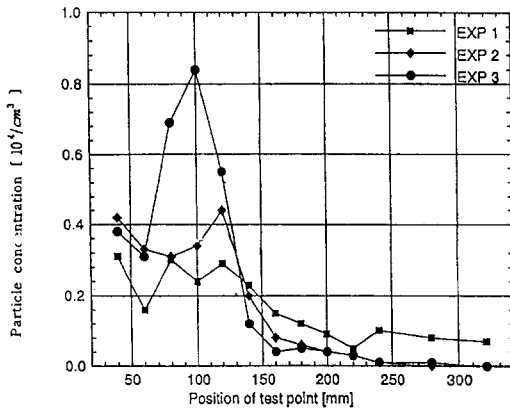


Fig. 18 Comparison of particle concentration on the central axis

4. 결 론

연소실내 속도차가 존재한 두분류의 혼합되는 과정을 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2차분류의 속도가 증가 할수록 연소실내의 재순환영역이 넓어진다.
2. 연소실 중심축 입자의 속도는 와류의 영향으로 급격히 속도가 저하되고, 입자농 도는 노즐출구

에서 재순환영역이 나타나기전까지 농후하게 나타났다.

3. 입자의 난류강도는 연소실내 농도가 농후한곳에서는 작으나, 2차분류속도에 영향을 받아 농도가 희박한 후류에서 난류강도 값이 크게 나타났다.

참고문헌

1. 지평삼, "석탄가스화 혼합발전", 전기학회지, Vol.41, NO.6, pp.12-17, 1992.
2. 박영철, 손재익, "석탄가스 탈황기술 개발 현황", Energy R&D, Vol.14, No.1, pp.198-212, 1992.
3. 김종영,김종진, "석탄가스화 복합발전 기술특성", 대한기계학회지, Vol.35, No.12, pp.1114-1132, 1995.
4. Yuan,J.W., Xu,M.H., Sheng,C.L. and Han,C.Y., "Combustion of High Concentration Pulverized Coal and Left-right Dense-thin Phase Technique" 中國電力, 第1期, pp.31-35, 1995.
5. Chuan,W.B., "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, pp.20-26, 1995.
6. Chuan,W.B., "Analysis on the Dense-thin Separation Combustion Technology of Pulverized Coal, 中國電力, 第7期, pp.33-36, 1995.
7. Shi,X.F., Qian,R.Z. and Xiao,P.H., "개봉둔체와 둔체 PDA 측량 및 저휘발분 매분열태대비적 시험 연구, Power Engineering, 제15권, 제2기, pp.19-22, 1995
8. Shakouchi,T. and Ichikawa,A., "Analysis of Gas-particle Two-phase jet over a Cylindrical Surface:Diffusion of Solid Particles", Gas-Solid Flows ASME, Vol.121, pp.71-76, 1991.
9. Shakouchi,T., Onsoheru,Y. and Kato,S., "Analysis of a Two Dimensional, Turbulent Wall Jet Along a Circular Cylinder", JSME International Journal, Vol.32, No.3, pp.332-339, 1989.
10. PDA Installation and User's guide, DANTEC.

저 자 소 개



박상규(朴相圭)

1960년 5월생. 1981년 조선대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업. 1983년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1991년- 현재 여수대학교 기계공학과 부교수. 당학회 종신회원



양희천(楊熙千)

1961년 4월생. 1985년 중앙대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1987년 중앙대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1994년 중앙대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1997년- 현재 여수대학교 자동차공학과 전임강사. 당학회 회원



정동화(鄭東和)

1958년 9월생. 1981년 조선대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1992년 한양대학교 산업대학원 기계공학과(석사). 1995년 경희대학교 대학원 기계공학과 박사과정수료). 1992년- 현재 순천공업전문대학 차량기계과 조교수. 학회종신회원