

## 흡입관이 부착된 이젝터의 속도분포와 압력분포 연구

이행남† · 박길문\* · 이덕구\*\* · 설재림\*\*

(원고접수일 : 2004년 9월 13일, 심사완료일 : 2005년 5월 12일)

### A Study on the Velocity Profiles and Pressure Distributions in Ejector Linking Inhale Duct

Heang-Nam Lee† · Gil-Moon Park\* · Duck-Gu Lee\*\* · Jae-Lim Sul\*\*

**Abstract** : The ejector is used to obtain a vacuum state, and it has been applied to a lot of industry field such as a heat engine, a fluid instrument power plant, a food industry, an environment industry etc., because there is no problem even it is mixed with any kind of liquid, gas, and solid. The flow characteristics in the ejector was investigated by a PIV and a CFD. The agreement between numerical analysis and experiment shows the validity of this study and the results of this study would be useful to the engineers who design for the flow systems for heating, ventilation, air conditioning and wastewater purification plants.

**Key words** : Ejector(이젝터), PIV(Particle image velocimetry), CFD(Computational fluid dynamics), Mean vlocity vector(평균속도벡터), Total pressure distribution (전압력분포)

#### 1. 서 론

일반적으로 유체의 이동은 중력에 의한 위치에너지를 이용하는 방법과 펌프와 같은 동력에너지를 이용하는 방법이 있다. 이젝터는 분사유체의 운동에너지를 이용하여 진공을 얻는 장치로 기계적 운동부분이 거의 없기 때문에 높은 신뢰도의 유체기기이다. 또한 생산현장의 열기관이나 유체기계발전소의 대류열전달 및 공기조화 덕트시스템

등에는 필연적으로 관로망이 연결되며 이들 관로망의 설계는 플렌트 전체의 효율뿐만 아니라 안정성과도 밀접한 관계를 갖고 있다. Fluegel<sup>(1)</sup>은 액체-액체 이젝터의 기본방향을 베르누이 방정식과 운동량 방정식을 적용하여 기본적인 해석방법을 제시하였으며 증기-증기 이젝터의 각각의 상태를 엔탈피-엔트로피 선도로 나타내었다. Sun and Eames<sup>(2)</sup>는 증기-증기 이젝터의 이론연구와 응용분야를 확립하였다. Witte<sup>(3)</sup>는 액체-가스 이

† 책임저자(조선대학교 기계공학과), E-mail : hnalee@mail.chosun.ac.kr, Tel : 062)230-7131

\* 조선대학교 기계공학과

\*\* 조선대학교 대학원 기계공학과

젝터에 대한 이론적인 설계방법을 제시하였고, Biswas and Mitra<sup>(4)</sup>는 다공노즐에 흡입량과 액체와 가스의 혼합 특성을 규명하였다. 이러한 유동의 거동에 관한 실험으로서 최근 PIV는 정밀한 가시광 레이저와 광학장치 사용으로 전체유동장의 속도분포, 난류강도, 운동에너지, 와류 등을 파악할 수 있으며 입력 장치를 통한 실험부의 연속적인 해석이 언제라도 가능하며 보다 정확한 이젝터 유동특성을 규명할 수 있다. 본 연구는 이젝터의 구동관로의 Re 수를 변화 시키면서 PIV를 이용한 유동 가시화 실험으로 정상, 비압축성 유동에서의 속도 벡터 분포를 가시화시킴으로써 이젝터의 유동패턴과 흡인 현상을 분석하고 이러한 실험을 바탕으로 주어진 실험조건과 같은 조건으로 CFD 분석을 통하여 비교 연구하고자 한다<sup>(5)-(7)</sup>.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 실험을 위해 정사각형 단면을 갖는 흡입관로가 부착된 확대관로와 원형단면을 갖는 구동관로가 조합된 실험장치의 개략도이다. 사각 단면의 덕트를 사용한 이유는 가시광 레이저빔의 굴절을 방지하기 위해서이다.

실험에 사용된 개방된 분지 사각덕트는 유동가시화를 위해 사각덕트 두께가 5mm, 내부 원형관은 3mm인 투명아크릴로 제작하였으며 내부 단면적은 45×45mm, 수력직경은 45mm, 완전발달영역을 만들기 위한 입구영역은 2.5m로 설계하였으며, 구동관로의 직경  $D_s$ 는 24mm이고, 흡입관로와 구동관로의 혼합길이는 2m, 전체길이는 4.5m로 설계, 제작하였다.

실험의 가시화를 위해 사용된 장비는 Table 1과 같으며 고속도계측을 위해 조명과 카메라의 동기화를 시켰으며 AOM(Acoustic Optical Modulator)을 이용하여 연속광의 레이저를 적절한 펄스 시간간격을 설정하였다. 입구영역에서의 작동유체인 공기를 일정한 유량을 유지시키기 위해 220V 정전압 트랜스를 이용하여 송풍기의 RPM을 조절하였다.

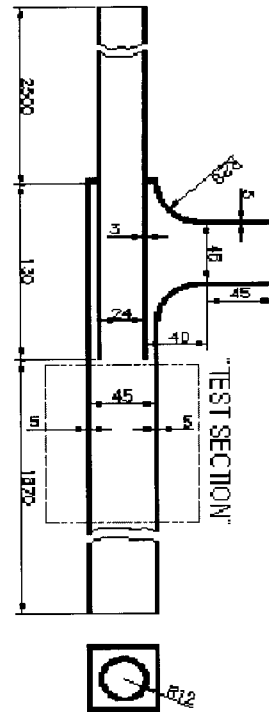


Fig. 1 Experiment apparatus and test section

### 2.2 PIV 계측

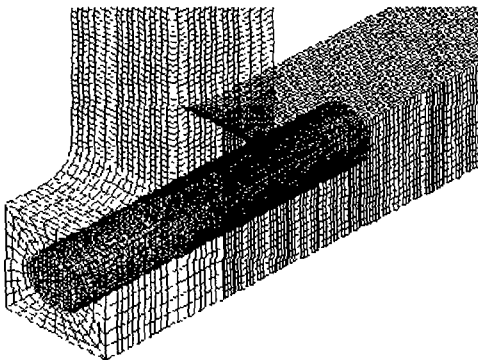
실험 온도는 20℃에서 ±1℃의 온도차를 유지시켰고, 작동 유체는 공기를 이용하였으며 구동관로에 송풍기를 이용하여 유동시켰다. 가시화 입자는 작동유체의 유동장에 영향을 끼치지 않으면서 Test section에 충분한 입자분포를 형성시키기 위해 초음파형 가슴기를 이용하여 입자를 생성, 주입시켰다. CCD 카메라에 실제로 측정된 test section은 mixing area 100mm × 45 mm 으로 잡았으며, 고속 유동의 유동영상을 획득하기 위하여 AOM에 의하여 단속된 조명으로 촬영한 영상은 CCD카메라의 홀수필드와 짝수필드에 각각 입력된다.

실험조건은 입구 쪽 유량을  $Q_1=1.136 \ell/S$ ,  $Q_2=1.706 \ell/S$ ,  $Q_3=2.276 \ell/S$ 로 유량을 변화시켜 가면서, Mixing area의 영상을 취득 하였으며, 이 때, 각각의 Re 수는  $Re_1=3,989$ ,  $Re_2=5,992$ ,  $Re_3=7,995$  이다.

저장된 영상은 영상처리장치(DT3152)로부터 아날로그신호를 2차원의 디지털영상정보로 바꾼 후, 각종 전처리 과정은 전용 소프트웨어 CACTUS2000을 이용하였다. 이 과정으로 잡음 제거, 회전보정, 배경제거를 실행한 후, 계조치 상호상관법을 이용한 탐색반경(SAR), 상관영역(CAS)을 적절히 선택하여 속도벡터의 신뢰도를 향상시켰으며, 이때의 탐색영역의 반경은 9~12픽셀로 설정하였다. 또한 시간평균 속도벡터를 얻기 위해 130장의 영상을 순차적으로 처리한 후 산술 평균하였다. 이 실험결과는 CFD 분석을 통해 해석된 결과 값과 비교, 분석하였다.

**Table 1 Experimental condition of flow visualization test**

	Item	Specification
PIV System Equipments	Fan	HIDRIVE-J100(HYUNDAI)최대 풍압5000mmAg최대풍량 3m <sup>3</sup> /min
	Probe	KANOMAX LLS Probe
	Laser	LEXEL Argon-Ion Laser (최대 7W)
	camera	FASTCAM-RABBIT-MINI ( 30 ~ 400 fps )
	Image Grabber	DT-3152 (DATA Translation) - 256 Grey Level
	Com-puter	Pentium IV PC (CPU 2.54 GHz RAM 1G)
	Soft-ware	CACTUS'2000 (Cross-Correlation Algorithm)



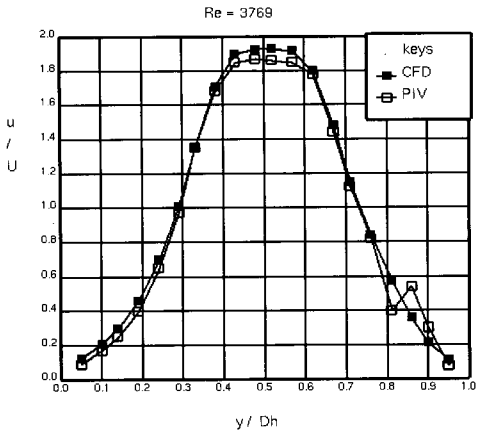
**Fig. 2 Three dimensional grid of the ejector**

### 3. CFD 분석

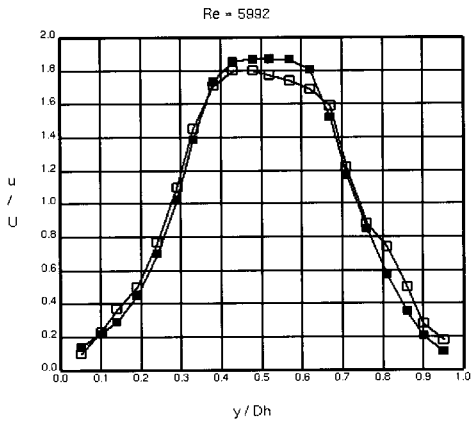
본 연구에서는 PIV 계측 실험을 바탕으로 실제적인 실험과 동일한 조건으로 CFD 분석을 이용하여 직경비 1 : 1.9에 따른 혼합관로의 축 방향 속도와 2차 유동의 속도분포를 해석하여 속도분포, 난류에너지 강도, 난류 소산, 와류 분포 등의 유동특성을 비교 분석하였는데, 사용된 상용 CFD 해석 코드는 STAR-CD이며, 해석은 유한체적법인 Simple 알고리즘을 사용하여 구동관로의 유속을 고려하여 정상 상태, 비압축성 유동으로 가정하였다. Ejector의 모델에 대해서 구동관로의 유동형태를 보다 더 자세히 구현하고자 원형관로는 Ogrid mesh를 사용하였으며, Mixing Area 부분은 메시를 더 강화하였다. Fig 2는 CFD 해석에 사용될 모델링을 보여주고 있다.

### 4. 결과 및 고찰

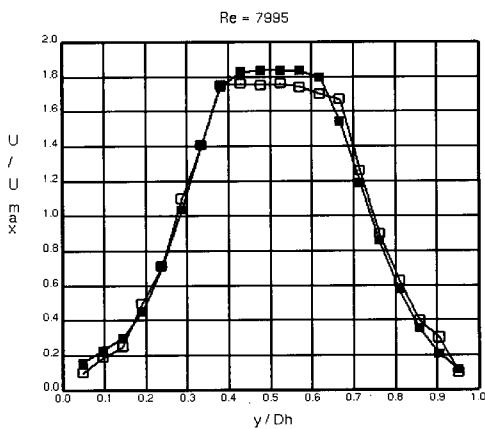
Fig. 3에서는 직경비 1 : 1.9의 조건에서 속도 조건  $V_1 = 2.51$  m/s,  $V_2 = 3.77$  m/s,  $V_3 = 5.03$  m/s에서 PIV 실험 분석값과 CFD 수치해석값의 차이를 확인하고, 결과의 검증을 나타내기 위해 두 가지값을 임의의 지점을 선정하여 비교 분석 하였다. 비교 지점은 구동관로와 확대관로가 만나는 지점을 지점(L = 0mm)을 시작으로, 구동관로에서 빠져나온 지점으로부터 확대관로의 거리 L = 70mm인 지점에 대한 평균속도분포를 비교 및 분석하였는데, 이 부분을 선정한 이유는 수치해석에서 정상상태로 가정하였고, 또한 구동관로에서 빠져나온 부분이 분지관의 영향으로 인한 유동패턴의 영향이 어느 정도 안정성을 찾아가는 구간이라 생각하였기 때문이다. 확대관로의 높이에 대한 각 지점의 비 ( $\frac{y}{D_h}$ )가 벽면에 가까워지는 0.1~0.3, 0.75~0.9 구간에서 두 값에 대해 비교할만한 오차가 발생하는데, 이에 대한 원인은 벽면에 대한 점성력의 영향과 정상상태로의 가정, 평균 속도 벡터분포를 나타내었기 때문이며, 또한 구동관로에 유출되는 최대유속지점들에 대한



( a ) Re = 3989



(b) Re = 5992



(c) Re = 7995

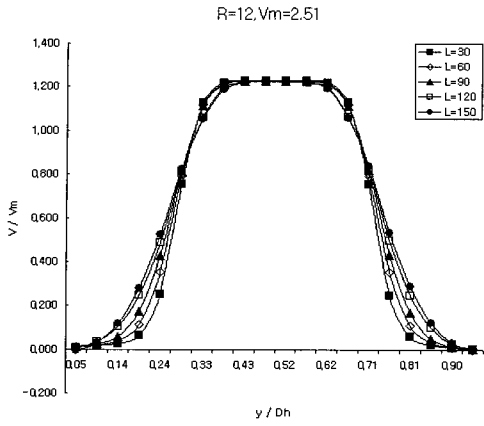
Fig. 3 Velocity distributions by PIV and CFD

PIV 실험값과 CFD 수치해석값과 비교해 볼 때, 실험값이 수치해석 값보다 더 작은 값을 나타내는 것도 이러한 이유 때문이라 생각된다.  $L=70\text{mm}$  인 지점에서 얻어진 PIV, CFD의 평균속도 값에 관한 일치도는 평균 93%이며, 이 이결과는 실험 결과와 수치해석결과가 어느 정도 일치함을 나타내고 있어 이젝터 유동특성 대한 분석을 수치해석을 이용하여 이젝터 장치에 대한 최적설계 구현이 가능하리라 생각된다.

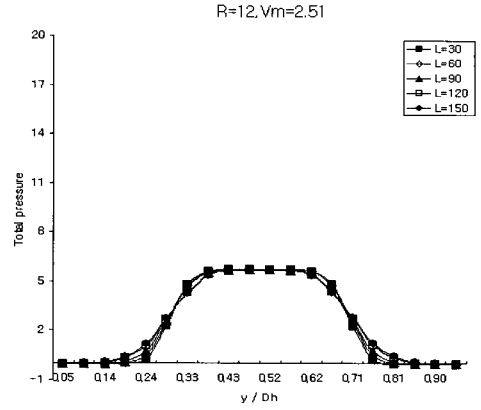
Fig. 4는 직경비가 1 : 1.9 일 때, 구동관로와 확대관로가 만나는 지점( $L = 0\text{mm}$ )을 기준으로 30mm, 60mm, 90mm, 120mm, 150mm 지점에 대해 입구 쪽 속도조건에 대한 확대관로의 각각의 높이에 대한 속도분포의 비로 무차원화 시킨 값을 나타내고 있다. Re 수가 큰 값을 가지는 각각의 속도 조건에 대해서 구동관로의 상·하 부분에서 속도 값이 차이가 발생함을 알 수 있는데, 이러한 원인은 분지관로가 부착된 부분과 가까이 위치한  $y / D_h > 0.5$  지점에서는 흡인에 의한 영향으로 벽면 가까이의 속도 값은 반대쪽 속도 값보다 더 작은 값을 나타내지만, 벽면에서 멀어질수록 속도벡터 값은 더 큰 값으로 회복됨으로써 유량의 효율을 증가시키고 있으며 이러한 현상은 입구속도가 증가함에 따라 회복구간의 폭 또한 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 5에서는 CFD를 통해 분석한 전압력 분포를 혼합관로의 전체높이에 대한 각 지점의 높이의 비로 나타내고 있다. 유동이 진행함에 따라 압력 분포가 어떠한 형태로 변화되어 가는가를 알아보기 위해 전압력 분포 또한 구동관로가 확대관로와 만나는 지점( $L = 0\text{mm}$ )을 기준으로 30mm, 60mm, 90mm, 120mm, 150mm 인 부분의 전압력 분포를 나타냈다.

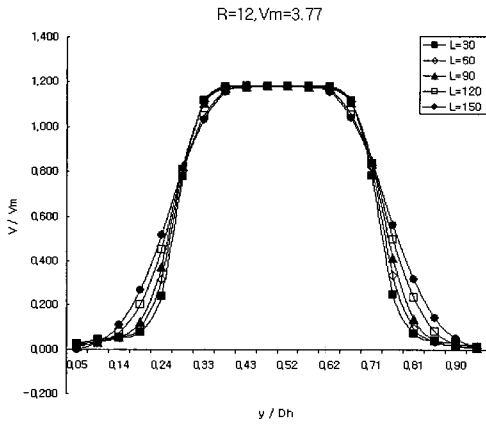
구동관로의 반지름이  $R=10\text{mm}$  인 조건하에서는 전압력 분포의 값이 입구 속도조건을 크게 줄수록 전압력 분포 값은 증가되는데, 이 때의 특이점은 분지관과 가까운 확대관로의 지점  $y/D_h > 0.5$ 에서 흡입의 영향으로 인한 전압력 분포값의 소멸정도는 반대 부분에 비해 작으나, 벽면에 가까워질수록, 속도가 커질수록 음압이 발생하게 되는데,



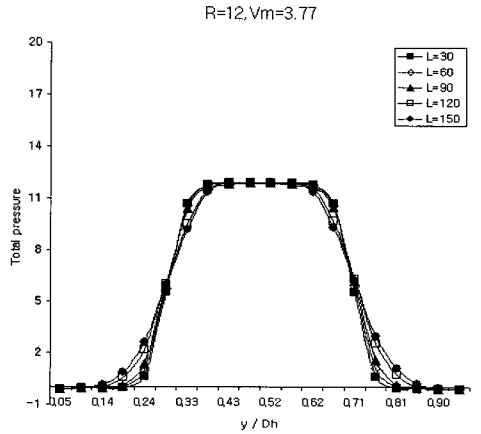
( a )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 2.51 \text{ m/s}$



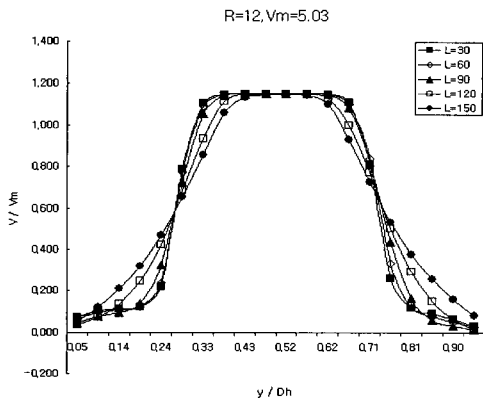
( a )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 2.51 \text{ m/s}$



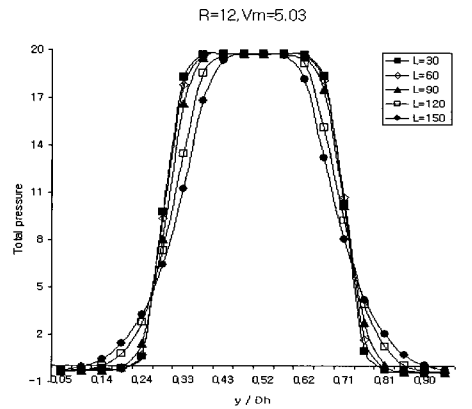
( b )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 3.77 \text{ m/s}$



( b )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 3.77 \text{ m/s}$



( c )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 5.03 \text{ m/s}$



( c )  $R = 12\text{mm}$ ,  $V_m = 5.03 \text{ m/s}$

**Fig. 4 Velocity distribution ( $D_s : D_h = 1 : 1.9$ )**

**Fig. 5 Total Pressure Distribution**

이러한 원인은 흡입 되어진 유동이 벽면 전단력에 의해 와류의 발생을 야기시켰기 때문에 발생한 것이라 생각되며, 이러한 현상은 유량의 효율을 저하시키는 원인이 되므로, 구동관로를 빠져 나온 후, 적절한 위치를 선정하여 확대관로에 노즐형상을 구현하여 유량손실을 최소화 할 수 있으리라 사료된다.

### 5. 결 론

본 연구는 분지관로가 부착된 Ejector 내의 흡인현상을 규명하기 위해 PIV 실험기법과 CFD 수치해석 분석을 사용하였고, 주관부의 유량 및 Re수의 변화에 따른 확대관로의 유동현상 및 평균속도벡터 및 정압력 분포를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있었다.

[ 1 ]  $L = 70\text{mm}$ 인 지점에서 얻어진 PIV, CFD의 평균속도 값에 관한 일치도는 평균 93%이며, 이젝터 유동특성 및 유량효율의 증가에 대한 분석을 수치해석을 이용하여 이젝터 장치에 대한 최적설계 구현이 가능하리라 생각된다.

[ 2 ]  $y / D_h > 0.5$  지점에서는 흡인에 의한 영향으로 벽면 가까이의 속도 값은 반대쪽 속도 값보다 더 작은 값을 나타내지만, 벽면에서 멀어질수록 속도벡터 값은 더 큰 값으로 회복됨으로서 유량의 효율을 증가시키고 있으며 이러한 현상은 입구속도가 증가함에 따라 회복구간의 폭 또한 증가된다.

[ 3 ] 벽면근처에서 Re수가 증가할수록 벽면전단응력에 의한 와류가 생성되어 음압력이 발생한다. 이것은 유량효율을 저하시키는 원인이 되므로 구동관로를 빠져나온후 적당한 위치를 선정하여 확대관로에 노즐을 장착하면 유량손실을 최소화 할 수 있다.

### 후 기

이 논문은 2004년 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] Ph.D Thesis. Chosun. Univ.: Koh.Y.H., "A Study on Turbulent Characteristics of Developing Turbulent Steady and Unsteady Flows in the Entrance Region of a Square Duct", 1992.
- [2] Sun, D.W, and Eames, I.E., "Recent developemets in the design the-ories and applications of Ejectors-a review", Journal of the Institute of Energy, Vol. 68, June, pp. 665~676, 1995.
- [3] Witte, J.H., "Efficiency and design of liquid-gas ejector", British-chemical Engineering, Vol. 10, No. 9 pp. 602~607, 1965.
- [4] Biswas, M.N, and Mitra, A.K., "Momentum Transfer in Horizontal Engineering multi-jet liquid-gas ejector", The Canadian Journal of Chemical Engieering, Vol. 59, pp. 634~637, 1989.
- [5] 윤석훈, 이원형, 전현필, "각종 이젝터를 이용한 진공 냉각장치", 한국박용기계학회지, pp. 229~304, 1995.
- [6] 오석영, 송길섭, "혼합탱크 내의 임펠라 형태에 따른 유동 특성에 관한 수치해석", 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 454~459, 2001.
- [7] 이행남, 이덕구, 박지만, "흡입관이 부착된 이젝터의 효과에 관한연구" 한국박용기관학회 추계학술대회 논문집, pp. 107~112, 2003.

### 저 자 소 개



**이행남 (李行男)**

1954년 3월생, 조선대학교 공과대학 기계공학과 교수, 조선대학교 대학원 기계공학과 졸업, 국민대학교 대학원 기계공학과 졸업.



### 박길문 (朴吉文)

1954년 3월생, 조선대학교 기계공학과 교수, 학사학위과정 졸업, 고려대학교 대학원 석사학위 졸업, 고려대학교 대학원 박사학위 졸업.



### 이덕구 (李德九)

1975년 3월생, 조선대학교 기계공학과 졸업, 조선대학교 일반대학원 기계공학과 석사 입학, 조선대학교 일반대학원 기계공학과 석사 졸업, 조선대학교 일반대학원 기계공학과 박사과정 입학, 광기술공학과 행정조교, 기계공학과 유체공학 실험조교, 조선대학교 대학원 기계공학과 박사수료

원 기계공학과 박사수료



### 설재림 (薛在林)

1962년 3월생, 조선대학교 산업대학원 기계공학과 석사과정 입학, 조선대학교 산업대학원 기계공학과 석사 졸업, 조선대학교 산업대학원 기계공학과 박사과정 입학, 현대자동차 근무, 조선이공대 자동차학과 겸임교수