

## 반도체 약액용 자동제어 플라스틱 밸브의 내부 유동해석

이규훈<sup>+</sup>, 이응석\*, 이민기<sup>+</sup>, 김진수<sup>+</sup>, 배일진<sup>++</sup>

(논문접수일 2011. 04. 30, 수정일 2011. 08. 27, 심사완료일 2011. 12. 13)

### Internal Flow Analysis and Structural Design in Plastic Automatic Control Valve for the Semiconductor Chemical Liquid

Gyu Hoon Lee\*, Eung Suk Lee<sup>+</sup>, Min Ki Lee<sup>+</sup>, Jin Su Kim<sup>+</sup>, Il Jin Bae<sup>++</sup>

#### Abstract

Diaphragm type noncontact automatic control valve is a valve for controlling acidic PR(Photo Resist) liquid used in the semiconductor process. PR is photosensitive liquid that changes phases depending on light transmittance. PR is very toxic and expensive; the purpose of this paper is to address methods that prevent loss due to leaks. The design of noncontact precise automatic control valve is expected to play an important role in controlling fluid flow, therefore influencing energy conservation and environmental improvement.

In this paper, diaphragm type automatic control valve's part design, assembly and simulation are introduced. Also, through the analysis of fluid flow the valve's internal velocity, pressure, and turbulent intensity are interpreted.

This paper proposes to contribute to the improvement of the valve's performance.

**Key Words :** Diaphragm(격판), Automatic control valve(자동제어 밸브), Photo resist(포토레지스트), Fluid flow(유체유동)

## 1. 서론

반도체 제조 공정에 사용되는 포토레지스트(photo resist)는 빛이나 방사, 열 등 여러 형태의 에너지에 노출되었을 때 내부 구조가 바뀌는 특성을 가진 혼합물로써, 마이크론(micron)이나 나노미터(nm) 이하의 미세형상 구현에 요구되는 재료로 반도체, LCD, 인쇄 분야, 인쇄 회로기판 분야 및 정밀 가공 금속 제품 등 산업 전반에 널리 이용된다. 특히, 반도체 또는 LCD 제조 공정에서의 포토레지스트는 빛 에너지에 의해 분해 또는 가교 등이 일어나 그 용해 특성이 변화하는 물질로 포토레지스트 위에 무늬(pattern)가 그려져 빛을 선택적으로 투과시킬 수

있는 덮개(mask)를 놓고 노광(exposure)하면 빛을 받은 특정 부위만 화학적으로 변하게 된다. 이를 용매(developer)에 처리하면 노광된 부분 또는 노광되지 않는 부분만 용해되어 결국 덮개(mask)의 무늬(pattern)이 포토레지스트로 구현된다.

현재 국내 반도체 제조 공정에서 사용되고 있는 포토레지스트의 화학적 특성은 강산성 액체로 인체에 매우 유해하며, 누수에 의한 경제적 손실 및 사고의 위험성이 잔존하고 있다. 이를 방지하기 위한 하나의 방법으로, 정밀 자동 밸브 설계는 누수에 의한 손실 감소 및 환경 개선에 중요하다. 또한 LFC(liquid flow control) 공정상비접촉식 초음파 유량계를 필수적으로 사용하는데 이때 거품(bubble)이 발생되면 측정값이 불확실하게

\* 충북대 공과대학 기계공학부 (eungsuk@chungbuk.ac.kr)  
주소: 충북 청주시 흥덕구 개신동 충북대 공과대학 기계공학부  
+ 충북대 기계공학부  
++ SNC(주)

나 계측이 불가하다. 따라서 이러한 거품(bubble) 발생을 방지할 수 있는 밸브 작동시의 구조 및 내부 형상 설계가 필요하다. 따라서 3D 설계 프로그램을 사용하여 밸브를 설계하고, 그 형상에 따라서 내부 유동 분석을 시행한다. 유동 분석에 사용되는 프로그램인 FLUENT는 유체의 흐름을 해석하여 실제 모델에 적용시키기 위해 시뮬레이션 하는 프로그램으로 많은 연구에 사용되고 있다<sup>(1)</sup>. 일반적으로 사용되는 자동 제어 밸브는 관(tube) 방식과 칸막이(diaphragm) 방식으로, 본 논문에서는 칸막이(diaphragm) 방식의 자동 제어 밸브를 개발하는 데 목적이 있다.

## 2. 자동 제어 밸브 설계

Fig. 1은 본 논문을 통하여 개발된 자동 제어 밸브의 시스템 구성도로 기준 유량을 설정하면, 초음파센서 유관 유닛부를 통하여 측정된 유량을 밸브 모터 구동 유닛부에 신호를 전달하여 유체의 유량을 조절하는 구조다.

Fig. 2는 칸막이(diaphragm) 방식을 적용하여 개발된 자동 제어 밸브의 단면도로 입구측과 출구측 직경은  $\varnothing 3.5\text{mm}$ , 높이는 100mm이다. Fig. 2에서 원형의 얇고 유연한 부품이 유동 부분의 위, 아래를 덮고 있으며 덮개의 외측은 고정되고, 밸브의 개폐에 의해 중심축이 상하로 움직인다. 밸브 off시 유체는 밸브 윗부분 도넛모양의 공간에 정체해 있다가 밸브를 on하게

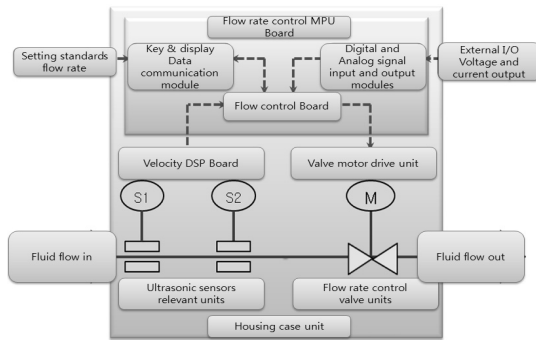


Fig. 1 Automatic control valve system configuration

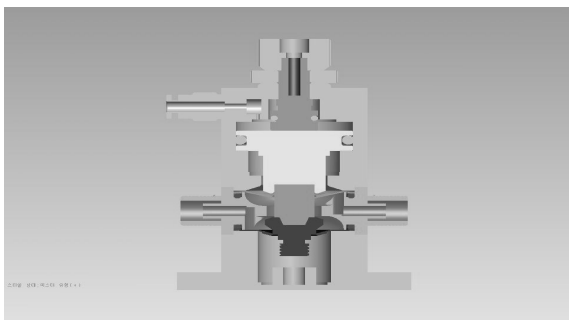


Fig. 2 The design of Automatic Control Valves

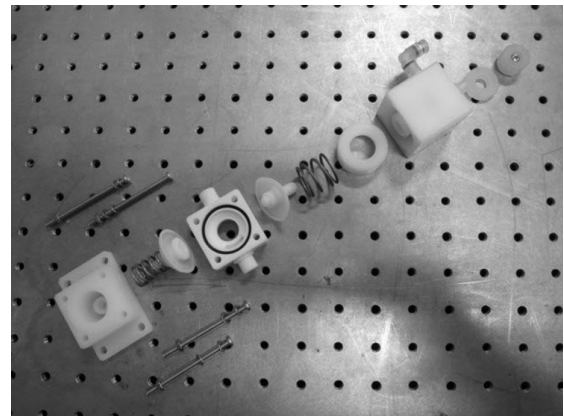
되면 중심축이 내려가면서 유체 또한 아랫부분 도넛모양 공간을 통해 좌측 출구로 빠져 나간다. 밸브 상단의 수동 밸브는 stroke를 조절하고 좌측상단의 가압 라인을 통하여 밸브를 개폐한 방식이며,

Fig. 3은 실제작된 칸막이(diaphragm) 방식 밸브의 분해도 및 조립도다.

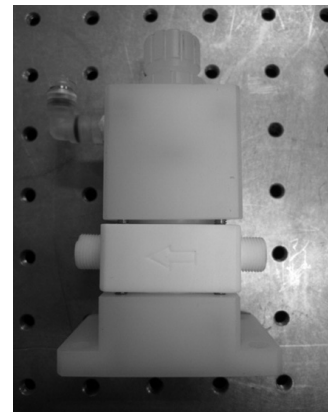
## 3. 작동 유체 simulation

### 3.1 전산 유체 해석(C.F.D)

Fig. 4는 복잡한 칸막이 방식의 밸브를 유동해석 하기 전에 좀 더 형상이 간단한 파이프 내부를 해석한 결과이다. 각 입구의 초기 속도 조건을 0.01, 0.1, 1m/s로 지정하고 속도 분포도를 관찰하였다. 유체의 경로가 심하게 변하는 부분, 즉 단면이 심하게 변하는 구간에서 속도가 급격하게 저하되는 현상을 관찰할 수 있고, 입구측에 비해 출구측에서는 마찰에 의한 손실로 인해서 속도 저하를 관찰할 수 있었다. 또한, 각 입구측 초기 조건에 따라서 속도 분포의 변화는 있었지만, 크게 영향을 끼치



(a) Resolution



(b) Assembly

Fig. 3 Diaphragm valve

지는 않았다.

Fig. 5는 같은 조건에서의 정압 분포도를 해석한 결과이다. 속도 분포도와 달리, 압력 분포에서는 각 초기 조건에 따라서 뚜렷한 압력 변화를 관찰할 수 있다. 유동이 진행됨에 따라서, 마찰로 인한 압력 손실에 의한 압력 저하가 두드러진다. 또한, 유동의 경로가 변하는 부분에서는 속도 분포도와 마찬가지로 압력변화가 일정한 유동의 흐름일 때 보다 크게 나타났다.

Fig. 6은 동일한 파이프에서 1m/s의 초기 속도 조건을 주고, 파이프를 경사지게 만들어서 비교해 본 시뮬레이션이다. (a)는 구간별 정압 분포를 나타내고 있다. 정압 분포 시뮬레이션에서는 큰 차이점을 찾을 수 없었다. 하지만 (b)와 (c)의 동압 분포와 속도 분포도에서는 직각인 파이프와 비교했을 때 보다 경사진 파이프에서 유동의 방향이 심하게 변하는 구간에서 그 변화가 적은 점을 찾아볼 수 있다.

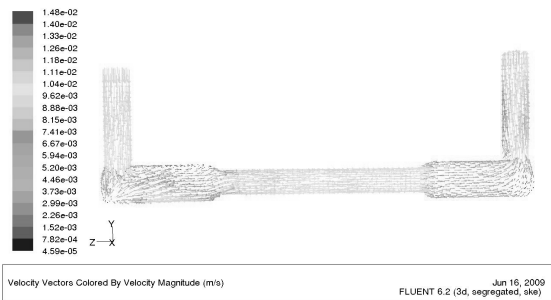
Fig. 7은 칸막이(diaphragm) 방식의 밸브를 실제작전 전산유

체역학 전용프로그램인 FLUENT를 사용하여 밸브의 입구측과 출구측에 대하여 유동해석을 수행하였다. 해석 수행 조건은 mass-flow-inlet 조건으로 하였다.

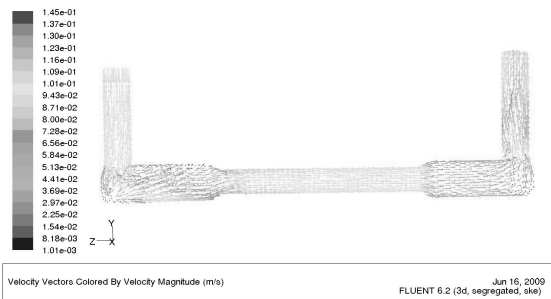
Fig. 8은 반복되는 해석에 의해 수렴해 가는 각 값들을 그래프로 표현한 것으로, 수렴값의 수치로 신뢰할 수 있는 해석 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 9는 정압 분포 해석의 결과로, 입구측 압력보다 출구측 압력이 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 변화하는 단면적과 표면 마찰로 인하여 수두 손실이 발생했다는 것을 보여주고, 그 외 단면적이 크게 변화하는 구간에선 압력의 변화가 큰 것을 볼 수 있다.

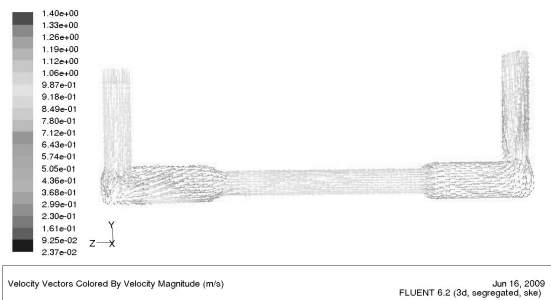
Fig.10은 동압 분포의 결과로 단면적이 변하는 구간에서 동압이 크게 발생함을 볼 수 있다. Fig. 11은 속도 분포도로 동압 분포의 모습과 유사한 모습을 보인다. 이것은 전체 구간의 유량이 같으므로 입구측과 출구측의 속도 분포가 같게 나타난다. 그리고 역시나 단면적이 변하는 구간에서는 속도의 변화가 심



(a) Inlet Condition : 0.01m/s

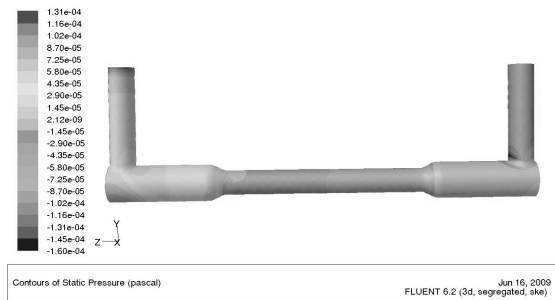


(b) Inlet condition : 0.1m/s

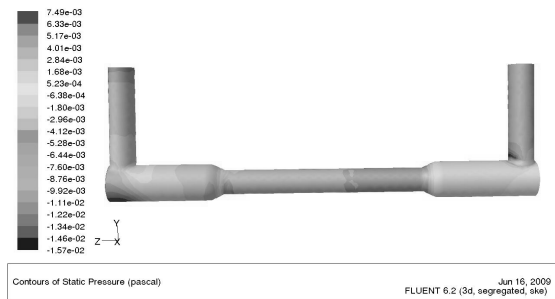


(c) Inlet condition : 1m/s

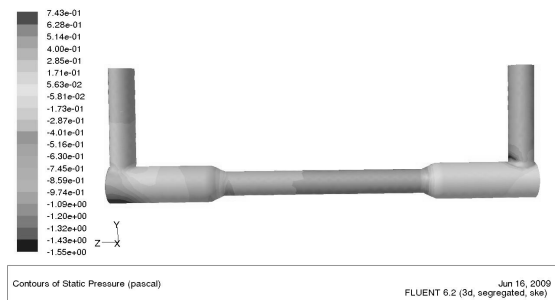
Fig. 4 Velocity magnitude of Pipe



(a) Inlet Condition : 0.01m/s



(b) Inlet condition : 0.1m/s



(c) Inlet condition : 1m/s

Fig. 5 Static pressure of Pipe

하고, 속도가 0에 가까운 구간들이 보이는데 이런 구간에서 정체현상이 발생함을 알 수 있다. Fig. 12는 각 구간별 난류율을 보여준다. 붉은색 부분이 심한 난류가 생기는 부분으로 표면의 변화가 심하고 정체가 예상되는 부근에 난류가 발생함을 보여준다.

Fig. 13(a)는 유동의 경로를 선으로 이어 표현한 속도 스트림라인이다. Fig. 12(b)와 같이 확대해서 보게 되면 꺾이거나 혹은 굴곡이 보이는 표면에서 스트림라인이 엉켜 있는 모습을 볼 수 있는데 이 구간에서 와류가 발생함을 알 수 있다.

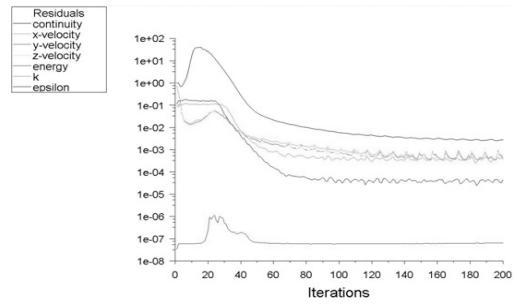
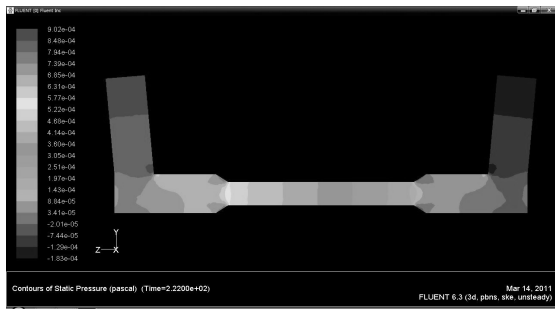


Fig. 8 FLUNT Convergence



(a) Static Pressure

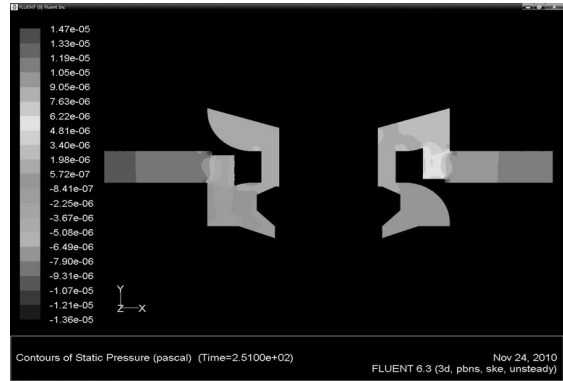
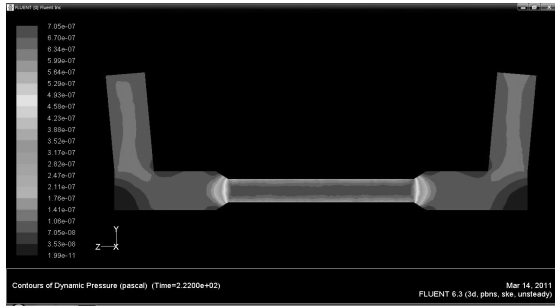


Fig. 9 Static Pressure



(b) Static Pressure

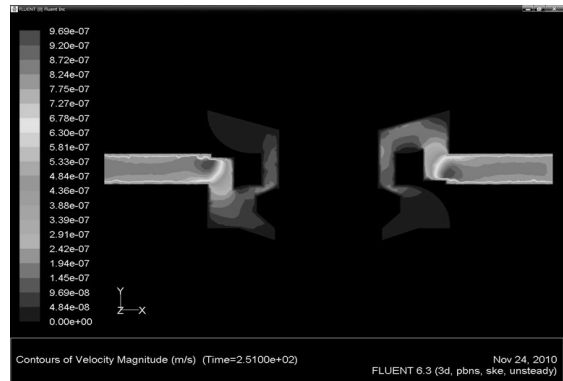
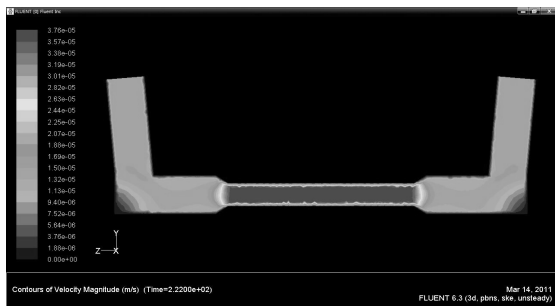


Fig. 10 Dynamic Pressure



(c) Velocity Magnitude

Fig. 6 Sloping pipe flow analysis

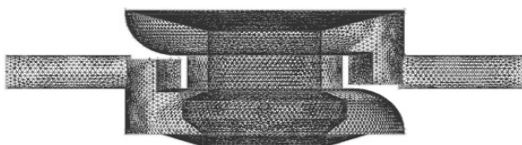


Fig. 7 FLUNT Flow analysis modeling

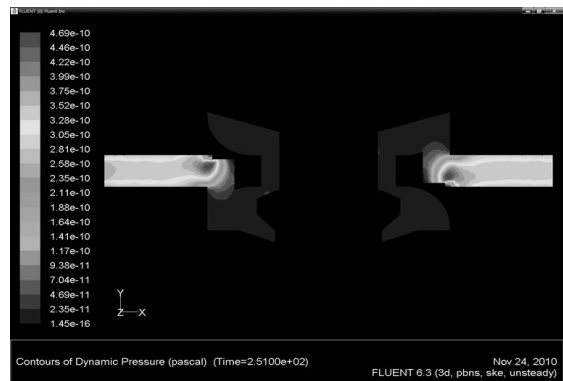


Fig. 11 Velocity Magnitude

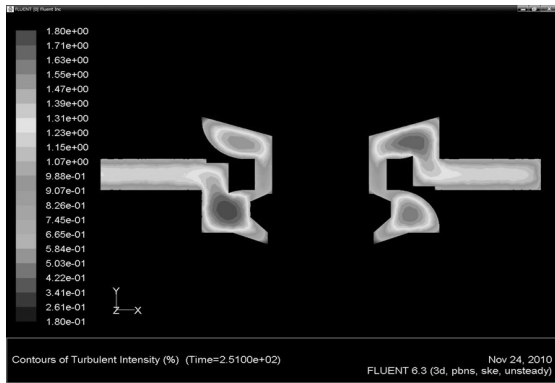
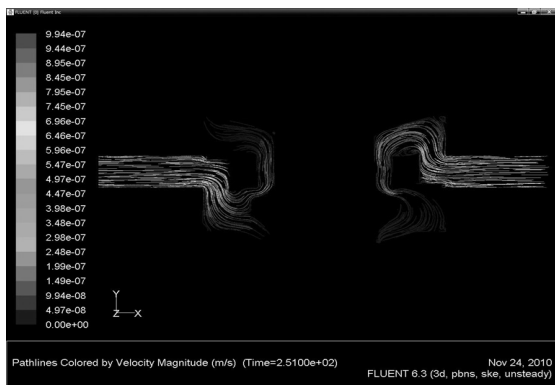
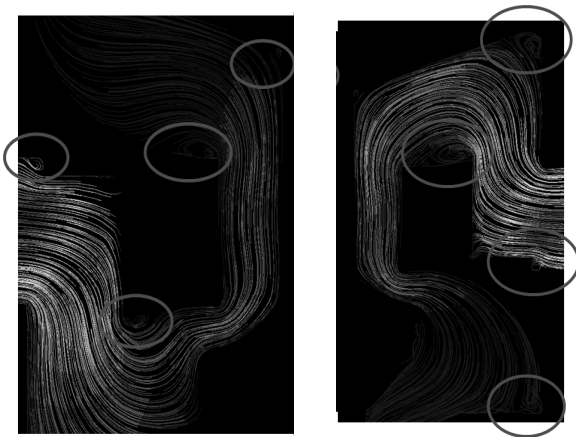


Fig. 12 Turbulent Intensity



(a) Velocity Magnitude



(b) A detail of Velocity Magnitude

Fig. 13 Velocity Magnitude

#### 4. 결론

본 논문에서는 Pro-Engineer, Ansys Gambit, Fluent 프로그램을 통하여 실제 밸브를 제작하기 전에 발생할 수 있는 현상들을 관찰했다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

유체가 흐르는 관경의 확대와 축소가 잦고 형상이 복잡하기 때문에 단면적의 변화와 표면마찰에 의한 손실수두로 출구측의 압력 저하가 두드러진다. 또한 국부적인 와류현상이 발생하고 흐름이 정체되는 구간이 있음을 확인할 수 있다. 흐름이 정체되는 구간에서는 예상했던 대로 난류현상이 발생함을 확인할 수 있다. 입구측 초기 설정값은 0.01kg/s로 밸브내 전체적인 속도 및 압력값이 크지 않아 실질적인 공동현상은 발생하지 않을 것으로 보이나 단면적의 변화가 심하고 유동에 방해물이 많아 유속이 커지면 공동현상의 발생이 예상된다.

추후, 본 시뮬레이션 결과를 바탕으로 모형 밸브를 사용하여 반복, 실험을 통하여 오차를 줄이고, 결과를 도출하는 연구를 계속적으로 수행할 예정이다.

#### 참고 문헌

- (1) Kim, J. Y., Kwac, L. K., An, J. S., Yang, D. J., Song, K. S., and Park, K. H., 2004, "The Flow Analysis for Vibration and Noise Diagnostic of Vacuum Cleaner Fan Motor," *KSMTE*, Vol. 13, No. 4, pp. 56~63
- (2) Goldenberg, A. A., and Bezerghe, A., 1985, "A Preview Approach to Force Control of Robot Manipulators," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 20, No. 5, pp. 449~464.
- (3) Massey, B. S, 1989, *Mechanics of Fluid*, Chapman and hall, London, pp. 273~300.
- (4) White, F. M., 1974, *Viscous Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York, pp. 163~189.
- (5) Bernard, P., 2002, *Turbulent Flow : Analysis, Measurement, and Prediction*, Wiley, New York, pp. 156~211.
- (6) ANSYS, 2005, *Ansys Fluent Manual : GAMBIT 2.x Basic Training Notes*, ATES.
- (7) ANSYS, 2005, *Ansys Fluent Manual : FLUENT 6.x Advanced Training Notes*, ATES.