

반도체 세정공정용 퍼지미터의 안정화

Stabilization of Purge meter for WET Cleaners Process in Semiconductor Manufacturing

*김신호¹, #정선환², 최성대³, 김도태⁴

*S. H. Kim¹, #S. H. Cheong(shcheong@kumoh.ac.kr)², S. D. Choi³, D. T. Kim⁴

¹ 금오공과대학교 대학원, ^{2,3} 금오공과대학교 기계공학부, ⁴ 경일대학교 기계자동차공학부

Key words : Purge meter, DI water, Teflon, Float, Tapered tube, RNG $k-\epsilon$

1. 서론

일반적으로 반도체나 디스플레이 제조공정에는 각 공정마다 세정공정이 있다. 이것은 반도체 제조공정에서 식각, 연마, 절단 등을 한 후 발생하는 이물질을 제거하기 위한 것으로서, 초순수(purge DI water) 및 각종 화학약품 등이 세정제로 사용되며, 항상 일정한 량의 세정제를 공급하기 위해, 각 배관에는 유량조절과 정량공급이 가능한 퍼지미터(purge meter)를 장착하여 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 이 때 펌프의 맥동과 유체의 유동에 의해 부레(float)가 떨리는 현상이 발생되어 유량조절에 따른 정량공급의 정도가 떨어지는 문제점을 가지고 있다.

본 연구는 퍼지미터의 유동해석을 통해 구조설계 상의 문제점을 찾아내어 개선함으로써 안정된 유량공급이 가능한 모델을 제시하고자 한다.

2. Purge-meter의 유량계측 원리

퍼지미터는 Fig. 1,2와 같이 수직한 테이퍼 관(tapered glass tube) 속에 여러 가지 형태의 부레를 넣어, 테이퍼 관 아래에서 유체가 공급되면, 부레에 가해지는 유체의 압력과 부레의 겉보기 중량이 같아지는 위치에서 부레가 정지하기 때문에 이 부레의 정지위치를 이용하여 유량을 계측하는 측정기기이고, 구조가 간단하며 가격이 저렴하기 때문에 산업용 유량계측기로 널리 사용된다. 여기서 부레의 정지위치에 따라 부레의 최대 직경부와 테이퍼 관에 따라 형성된 환상유로(annular passage)의 단면적이 변하기 때문에, 가변 면적유량계(variable area type flow meter), 부레형 면적유량계(float type area flow meter), 로타미터(rotameter)라고도 한다.

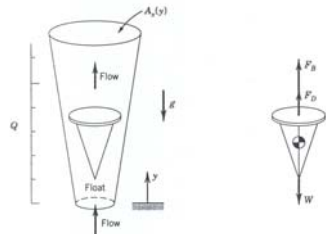
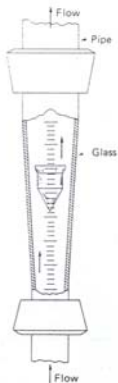


Fig. 1 Structure of Purge-meter Fig. 2 Modeling of Purge-meter

이 유량계측의 기본원리는 유체가 플로트에 작용하는 항력 F_D , 중력 W , 부력 F_B 사이의 힘의 평형 관계에 기초한다. 즉 플로트에 작용하는 항력은 플로트를 지나가는 유체의 평균속도에 비례하며, 수직방향 y 에 대한 힘의 평형을 고려하면 다음과 같다.

$$\sum F_y = 0 = -F_B + W - F_D \quad (1)$$

여기서

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U A_x^2, W = \rho_b V_b, F_B = \rho V_b \quad \text{이다.}$$

따라서

$$\frac{1}{2} C_D \rho U A_x^2 = g(\rho_b - \rho) V_b \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 ρ_b 는 플로트의 밀도, ρ 는 유체의 밀도, C_D 는 플로트의 항력계수, A_x 는 테이퍼 관의 단면적, U 는 플로트를 통과하는 유체의 평균속도, V_b 는 플로트의 체적이다.

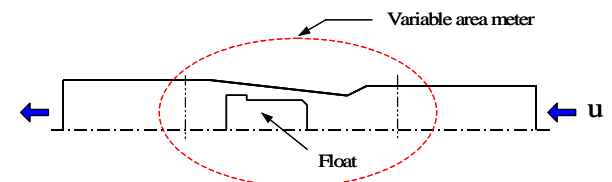
힘이 평형을 이루는 상태에서 플로트는 테이퍼 관 속의 어느 위치에서 정지하게 된다. 이 위치는 유체의 유동속도와 유량에 따라 변하며 유량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q = U A_a(y) = |C_D K_1|^{1/2} \quad (3)$$

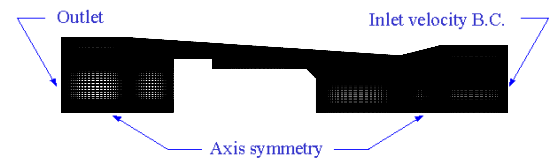
식 (3)에서, $A_a(y)$ 는 플로트와 테이퍼관 사이의 환상 면적(annular area)이며, 이것은 플로트의 높이에 따라 변한다. K_1 은 유량계의 설계와 사용 유체에 의존하는 상수이다. 환상면적은 수직한 테이퍼 관에서 플로트의 위치함수이므로 플로트의 수직 위치로부터 직접 유량을 측정할 수 있으며, 유량은 눈금에서 읽을 수 있다.

3. Purge-meter의 테이퍼 관, 플로트부의 유동해석

3.1 해석모델 및 지배방정식



(a) Schematic diagram



(b) Computational domain

Fig. 3 Abridged general view of flow analysis

본 연구에서 채택한 계산모델을 Fig. 3(a) 및 (b)에 나타내었다. 측정부의 기하학적 형상과 물리적 조건이 면적식 유량계의 중심축에 대하여 대칭적이므로 2차원 축대칭 모델을 사용하였다. 유량계 입구에서 정확한 유동형태가 알려져 있지 않기 때문에 입구유량 40 l/min에 해당하는 $u=0.78$ m/s를 초기속도로 부과하였다. 또한, 유량계 입구에서 충분히 발달된 유동(fully-developed flow)을 얻기 위하여 입구 지름의 10배에 해당하는 길이를 계산영역으로 포함시켰기 때문에 입구 유동은 층류(laminar) 상태로 나타나며, 난류강도는 유량계 내부 압력 및 유동상태의 계산인자로 나타내지 않았다.

3.1 경계조건 및 수치해법

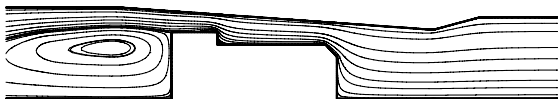


Fig. 4 Taper tube - at streamline shape of float department

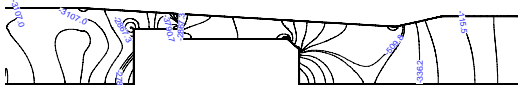


Fig. 5 Taper tube pressure distribution of float department

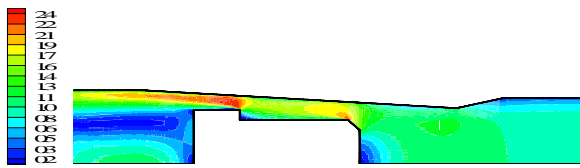


Fig. 6 Taper tube speed of float department($u=0.78$ m/s($Q=40$ l/min))

본 수치계산에서는 열 및 유동해석 전문프로그램인 FLUENT(v6.0)를 사용하였다. FLUENT는 FVM(finite volume method)을 기초로 하고 있으며, 운동량방정식은 2nd order up-wind scheme을 사용한다. 수렴조건은 잔류항(residual)의 크기가 1×10^{-4} order 이내에 들어올 경우에 수렴하는 것으로 하였다.

4. 시작품 설계 및 제작



Fig. 8 3D Modeling



Fig. 9 A trial product

유동해석을 통해 확인한 압력손실과 유동장애를 부분을 변경하여 3D 모델링을 통해 시작품을 직접 제작하였다.

5. 시작품 성능평가

5.1 실험장치

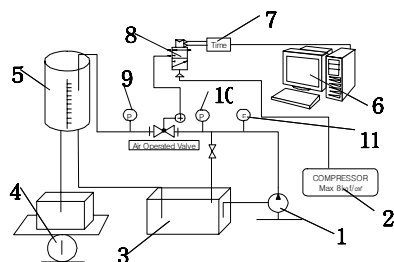


Fig. 10 Test of Flow & Pressure system

1. Pump(5kgf/cm²) 2. Compressor(max105kgf/cm²) 3. Tank(100 l)
4. Weight Sensor 5. Volume Tank(70 l) 6. 485Communication system 7. Timer 8. 3Way Solenoid Valve 9,10 P/T sensor 11.

Flowmeter

5.2 실험 방법

- (1) 테이퍼관은 동일한 상태에서 플로트의 변형에 따른 유량 테스트.
- (2) 니들밸브 부착에 따른 유량 테스트.
- (3) 출구측 Body에 고정터빈을 부착하여 Hunting현상 파악.

5.3 성능평가결과 및 고찰

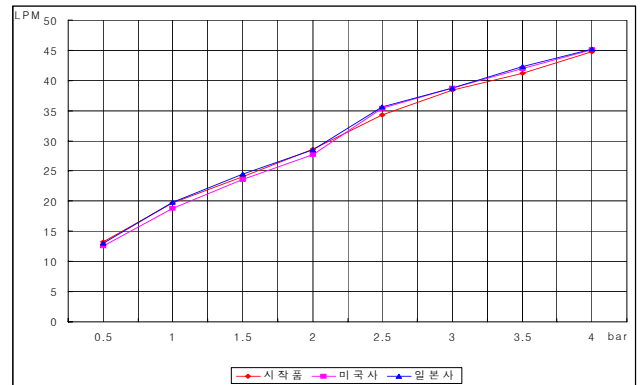


Fig. 10 Performance test result standard (0.5~4.0bar)

Fig. 10은 플로트 변형에 따른 평균 유량값으로 지시되는 유량값은 시작품과 외국제품과는 큰 변화는 나타나지 않았으나, 글라스 테이퍼관과 플로트의 마찰저항이 다른 제품보다 작아서 Hunting이 작고, 그래프가 다른 제품보다 선정적으로 나타나는 것을 볼 수가 있다.

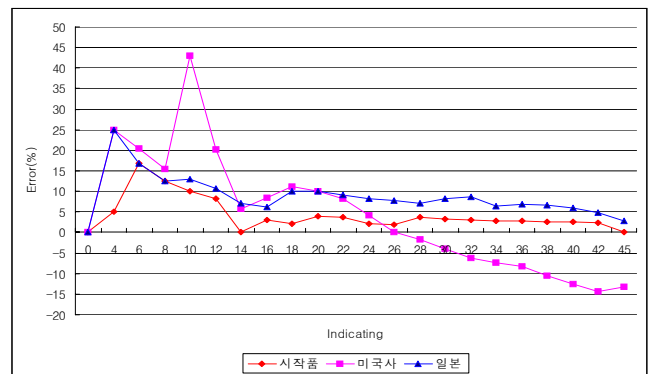


Fig. 11 Flow meter side error ratio comparison

Fig. 11은 유량지시에 따른 오차율을 나타낸 것으로 플로트의 마찰저항을 최소화한 시작품이 다른 제품보다 월등히 정밀한것을 그래프를 통해 볼 수가 있다. 미국사의 12LPM에서 오차범위를 크게 벗어나는 것을 볼 때 플로트의 형상에 따라 유량구간별로 영향이 미치는 것을 알 수가 있다. 이 실험은 반복시험을 통해 얻은 평균 오차율이다.

4. 결론

본 연구를 통해 현재 상용화된 Purge-meter의 유동장애는 원인은 플로트 형상에 있는 것으로 파악되며, 시작품제작 평가로 안정화 할 수 있는 가능성을 검토하였다.

참고문헌

1. (주)티엠에스 코리아 부설연구소 기술자료