

포토레지스트 공급용 미소유량계 개발

김신호*, 정선환⁺, 최성대⁺

(논문접수일 2007. 8. 28, 심사완료일 2007. 9. 28)

Development of Micro-flowmeter for Supplying Photo-resist

Shin-Ho Kim*, Seon-Hwan Cheong⁺, Seong-Dae Choi⁺

Abstract

This study was carried out to develop a flow control system using to supply PR(photo-resist) in the semi-conductor manufacturing process. The features of this system are to be able to measure the high viscosity and micro-flow. To meet above study object some ideas was induced to design a new concept valve with new material, multi-cross wheel, and new sealing method etc..

As the evaluations on the developed micro-flowmeter it was enough satisfied to use at the IT industries such as photo-resist process.

Key Words : viscosity(점도), PR(포토레지스트), Micro-flowmeter(미소유량계), Wheel(회전체), semiconductor(반도체)

1. 서론

반도체 제조공정에서 리소그래피 공정은 포토레지스트 도포, 노광, 현상, 에칭, 포토레지스트 제거 등이며, 회로의 미세화를 위해서 포토레지스트 도포공정은 매우 중요하다.

포토레지스트를 도포하는 PR공정에서는 유량제어 시스템을 통해 일정량의 감광액을 일정시간에 일정한 두께로 도포하는 것이 필요하므로, 이 제어시스템의 정밀화를 위해서 미소유량계의 개발이 필수적이다.

그런데 현재의 기술은 PR펌프를 통해 유량을 제어하고 있

어서 정밀한 유량제어가 불가능한 실정이다. 특히 펌프의 헛탕(Hunting)으로 인한 일정량의 약품공급이 불가능함으로 웨이퍼에 공급되는 감광액의 두께가 일정하지 못하여 불량 이 많이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 외국의 맥밀란(Mcmillan)과 말레마(Malema)라는 회사에서는 PR펌프에서 토출되는 유체를 측정하여 펌프를 제어하는 유량계를 개발하여 PR장비에 공급하여 장착하고 있으나, 미소유량과 고 점도 및 유색의 유체에는 사용이 불가능하여 PR공정목적에 적합하지 못 하다.

그 외 부가기능으로 펌프의 오작동이나, 유체공급 에어벨

* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과 (tms@tms-k.co.kr)

주소: 730-701 경상북도 구미시 양호동1번지

+ 금오공과대학교 기계공학부

브와 이 밸브를 온/오프(on/off)하는 솔레노이드 밸브의 불량률을 감지할 수 있는 기능이 없어 공정의 에러를 감지하지 못하여 웨이퍼 불량률을 최소화하기가 어렵다.

본 연구에서는 PR펌프에서 토출되는 감광액을 측정하여 펌프제어를 통한 정량공급이 가능한 미소유량계를 개발하고자 한다.

또한 연속적인 개발을 통해 플루컨트롤러와 PLC간의 네트워크를 통해 펌프의 고장과 밸브의 오작동을 판단할 수 있는 소프트웨어를 개발하여, 공정에서 발생하는 문제를 신속히 처리하게 함으로써 웨이퍼의 불량률을 최소화 할 수 있는 부가 기능을 갖도록 한다.

2. 유량계 설계 및 제작

2.1 설계의 이론적 모델

질량보존의 법칙은 흐르는 유체에 적용하여 얻는 식을 연속 방정식(continuity equation)이라 한다. 1차원 정상류에 대해서는 관(pipe)을 생각해 보면 어디서나 질량이 증가되거나 손실되지 않는다.

단면 1과 2에서 단면적을 A_1, A_2 라 하고, 속도와 밀도를 각각 V_1, V_2, ρ_1, ρ_2 라 하면 단위시간에 A_1 을 통하여 이동하는 유체의 질량은 $\rho_1 A_1 V_1$ 이고, A_2 를 통하여 이동하는 질량은 $\rho_2 A_2 V_2$ 이라고 하면 다음 식을 얻게 된다.

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (1)$$

여기서 \dot{m} 를 질량 유동률(mass flow rate) 이라하고 식 (1)을 연속방정식이라 한다.

식 (1)의 미분형은

$$d(\rho A V) = 0 \text{ 또는 } \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dA}{A} + \frac{dV}{V} = 0 \quad (2)$$

식 (2)에 g 를 곱하면

$$\begin{aligned} \dot{G} &= g\rho_1 A_1 V_1 = g\rho_2 A_2 V_2 \\ &= \gamma_1 A_1 V_1 = \gamma_2 A_2 V_2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 \dot{G} 를 중량유동률(weight flow rate)이라 한다.

식 (1)에서 비압축성($\rho_1 = \rho_2$)이면

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4)$$

여기서 Q 는 방출유량(discharge) 또는 체적유량이라 한다.

2.2 재료선정

Table 1은 반도체 제조공정에 사용되어지는 재료로 주로 불소수지계를 사용한다. 그 이유는 내열성, 전기적 성질, 마찰·마모성, 내약품성이 우수하기 때문이다. 여기서 유량계 설계시 미소유량을 측정하기 위해서는 회전하는 터빈의 회전에 마찰저항을 최소화 하기위해 소재자체에 자기윤활성을 지닌 불소수지계의 소재인 테프론(PTFE), 피에프에이(PFA), 세라믹(ceramics)를 선택한다. 특히 이 소재는 내약품성이 아주 우수하여 모든 유체에 부식이 되지 않는 성질을 지고 있을 뿐만 아니라 온도특성이 우수하여 저·고온에서 사용여도 내구성이 우수한 특징을 지니고 있다.

Table 1 Features of various fluorine resin

Section	PTFE	PFA	CERAMIC
Heat-resisting Property(°C)	200	250	500
Electrical Property	◎	◎	◎
Heating Property	95<	98<	-
Mechanical Property	△	○	○
Low-friction Property	◎	◎	◎
Proof Chemical	Acidity	◎	◎
	Alkali	◎	◎
	Solvent	◎	◎
Non adhesion Property	◎	◎	◎
Weather resistance	◎	◎	◎
Transparency	△	△	△
Specific gravity	2.17	1.45	6.1

Remarks: ◎ Most excellent, ○ Excellent, △ Applicable, × Non applicable

Table 1은 본 연구개발 사용되어지는 재료의 기계적·물리적인 특성을 나타낸 것이다.

2.3 톱니형 임펠러설계

Fig. 1은 본 연구에서 1차로 개발한 톱니형 휠을 가진 임펠러 유량계의 조립 단면도를 나타낸 것이다. 본체는 불소수지(teflon)를 사용하였으며, 입구측에 유로는 일정한 각도를 주어 느린 유속에서도 휠이 쉽게 회전하게 구성하였다. 즉, 유량은 유속에 비례함으로 미소유량이 흘러도 휠이 회전할 수 있기 때문이다. 또한 휠의 회전을 원활하고 빠른 유속에

의해 이탈하거나 흔들리지 않게 하기위해 세라믹 재질의 축과 베어링을 사용하여 휠을 고정하였다. 특히 화학약품을 사용가능한 재질로 구성되었다.

Fig. 1의 톱니바퀴 휠은 미소유량과 고유량 측정이 동시에 가능하게 설계하였으나, 고점도 유체에서는 내용적의 공간 확보가 어려워 유체의 마찰저항에 의해 휠의 회전이 급격히 감소할 것으로 예상하며 설계하였다.

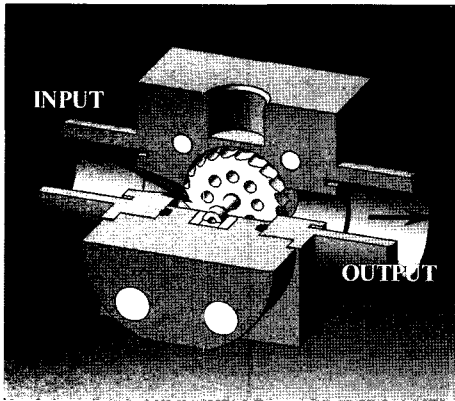


Fig. 1 Toothed wheel flowmeter

2.4 4개 크로스형 임펠러 설계

Fig. 2는 Fig. 1과 동일한 형태의 본체로 구성되었으며, 휠의 형태를 변경하여 물레방아 형태로 설계하였다. 이 형태는 휠의 무게가 증가하여 고속회전이 어려울 것으로 예상되나, 내용적의 공간 확보가 좋아 Fig. 1보다는 고점도 유체에서 휠이 회전을 할 수 있을 것으로 예상하며 설계하였다.

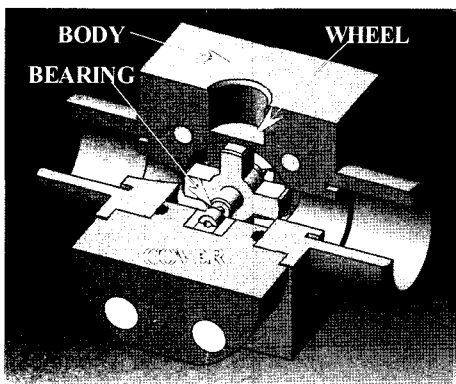


Fig. 2 4-Cross wheel flowmeter

2.5 6개 크로스형 임펠러 설계

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 형태를 설계되었으며, 휠의 형태 또한 Fig. 2와 같으나 2개 날개가 더 추가하여 Fig. 2의 단점이 무게를 최소화하여 휠의 회전력을 증가시켜 회전주파수를 최대한 얻을 수 있도록 설계하였다. 이는 Fig. 1과 2의 장점을 모두 가질 것으로 예상된다.

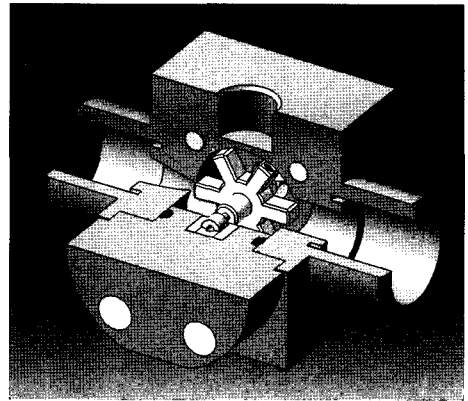


Fig. 3 6-Cross wheel flowmeter

2.6 누수방지를 위한 실링구조설계

Fig. 4는 히트사이클에 의해 불소수지의 수축과 팽창으로 누수현상이 생기는 것을 방지하기 위해 본체와 구성되는 커버는 3중 실링구조로 설계하였다. 1차적으로 수지와 수지가 슬라이드 형태로 밀폐를 하고, 2차적으로 오링(O-Ring)을 삽입하여 본체와 물성이 다른 소재로 대처함으로 수축과 팽창을 방지하게 하였다. 마지막으로 삼각뿔 형태의 돌출형으로 구성된 커버가 마지막으로 눌러 줌으로 완전한 밀폐상태를 가질 수 있도록 설계하였다.

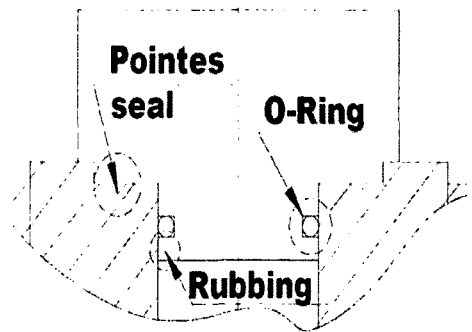


Fig. 4 Detail drawing of seal structure

3. 실험조건 및 장치

3.1 실험조건

미소유량계의 설계가 완료된 후 성능평가를 위한 프로세스를 Fig. 5과 같이 구성하였다.

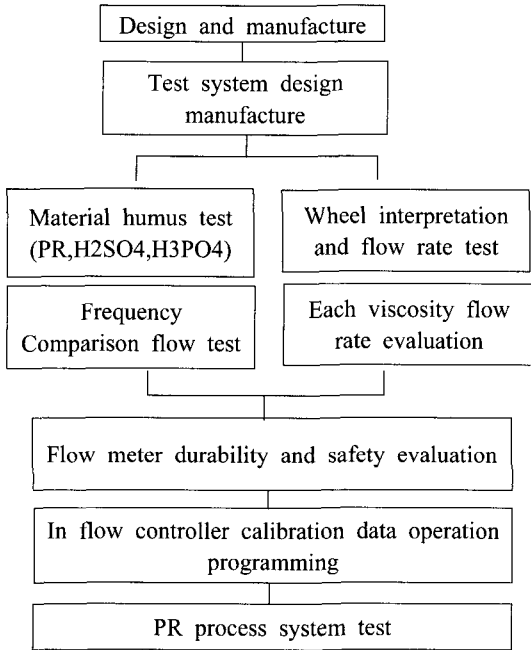
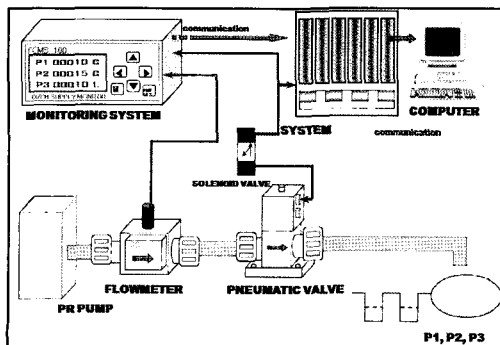


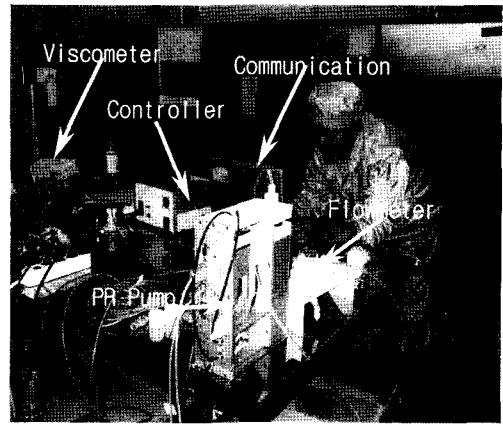
Fig. 5 Flow of performance test

3.2 장치 구성도

Fig. 6은 본 실험을 위한 시스템으로 (a)는 PR공정 시스템의 구성도이며, (b)는 PR펌프를 이용한 실험장치이다.



(a) Diagram of performance test apparatus



(b) View of practical test

Fig. 6 View of test apparatus & practical test

본 실험장치의 구성은 현 공정에서 사용하고 있는 PR펌프를 사용하였으며, 스테핑 모터를 이용한 피드백 제어를 통해 유량, 점도 및 내구성을 평가 할 수 있도록 제작되었다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유량계 재료별 부식성 평가

유량계 재료에 대한 부식성 시험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Corrosion of the material which it follows change of temperature

Chemicals	Material / Temperature(°C)					
	PTFE		SiC		ZrO2	
	50	100	50	100	50	100
PR	■	■	■	■	■	■
H2SO4	■	■	■	■	■	★
H3PO4	■	■	■	■	■	★

■ : resistant ★ : completely non resistant

본 실험방법은 각 약품별 배스(bath)를 제작하여 오븐에 넣어 각 온도를 설정한 다음, 일주일 주기로 확인하고 30일 동안 부식성을 확인한 결과이다. 현재 유량계에 적용되는 재료는 감광액(PR)에서는 온도에 상관없이 부식이 일어나지 않았으나, 황산(H2SO4)과 인산(H3PO4)이 고온에서는 질리코나아 세라믹(ZrO2)이 부식됨을 알 수 있었다. 일반적으로 질리코나아 세라믹은 약품에 부식이 되지 않는다고 대부

분 알려져 있었으나, 본 실험을 통해 인산은 7일 경과 후부터 부식이 일어나기 시작하였고, 황산의 경우 20일이 지나면서 경미하게 부식이 일어나는 것을 알 수가 있었다.

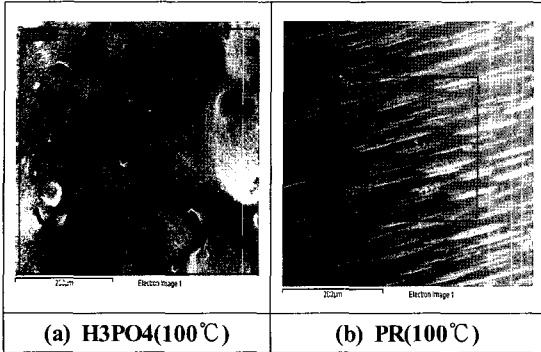


Fig. 7 View of corrosion according to change of temperature

Fig. 7은 질리코니아 세라믹의 부식상태를 촬영한 사진으로 인산의 경우는 약간의 부식을 보이고 있으나, PR에서는 부식이 일어나지 않았음을 알 수 있다.

한편 본 실험을 통해 고온 황산과 인산유체에는 알루미늄 및 질리코니아 세라믹을 대신하여 SiC를 사용하면 부식이 일어나지 않는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

4.2 임펠러 형상에 따른 이론적 유량평가

유량평가는 여러 형상의 임펠러에 대하여 유량측정 원리를 이용한 예측 실험방법으로 하였다.

즉, 터빈 또는 임펠러 유량계는 유동의 중간에 위치한 터빈의 회전 속도가 유속에 비례한다는 것을 이용한 것으로, 임펠러의 회전수를 알면 유속(유량)을 측정 할 수 있다는 이론적 해석을 통해 예측유량을 측정하였다.

이론식으론

$$Q = A \times V, \quad V = \Pi \times D \times N \quad (5)$$

여기서 (Q=유량, A=관로단면적, V=유속, D=관로직경, N=임펠러 회전수)이다.

Fig. 8의 데이터는 수두의 관차찰손실이 없다고 가정하고 수압이 모두 표준대기압(101.325kPa)으로 변한다는 가정하면 속도 V는 베르누이 정리에 의해 구한 데이터를 사용해서 그린 그래프이다. 그러나 손실수두를 고려하면 실유량은 이보다 작게 측정될 것으로 생각된다.

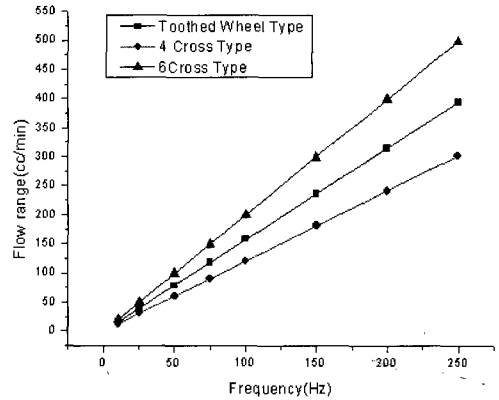


Fig. 8 Plot of flow-rang vs. frequency

Fig. 8에서 휠의 형태에 관계없이 유량은 회전수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있으며, 크로스의 수가 증가하면 유량도 증가함을 알 수 있다.

4.3 점도변화에 따른 최소 주파수변화

주파수변화 실험방법은 Fig. 8에서 예측실험 한 유량값을 가지고 실제 제작된 시작품에서 점도 변화에 따른 임펠러 회전 주파수의 변화를 알아 본 실험이다.

우선 순수물(DI water)에 물엿을 일정 비율 혼합하여 점도계로 점도를 측정후 준비된 탱크(tank)에 액을 넣어 PR 펌프로 공급하여 토출량에 따른 주파수를 측정하였다.

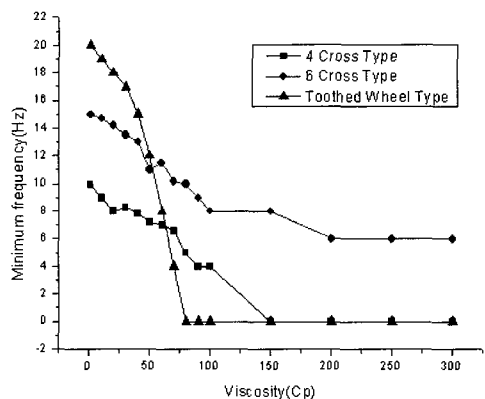


Fig. 9 The frequency changes according to the viscosities

Fig. 9의 실험결과를 보면 톱니바퀴형의 임펠러는 점도가 낮을 때 고주파수가 측정되었으나, 점도가 높아지면서 급격히 주파수가 떨어지더니 약 80cP 이상에서는 임펠러가 전혀

움직이지 않는 것을 확인 하였다.

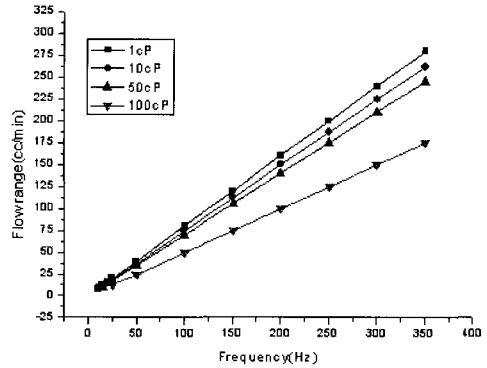
4개의 날개를 구성한 임펠러 또한 고점도에서는 측정이 불가능하였으나, 6개의 날개를 구성한 임펠러는 저점도에서 고점도까지 서서히 일정한 비율로 주파수가 줄어드는 것을 확인 하였다. 이는 내용적과 임펠러의 날개구성 비율에 따라 점도의 영향이 많이 미치는 것으로 생각된다.

4.4 점도변화에 따른 실유량 측정 평가

본 실험은 Fig. 8과 Fig. 9의 실험 결과를 토대로 하여 점도 변화를 주어 실유량을 측정한 실험이다. 실험방법은 Fig. 6의 실험 장치를 이용하였으며, 실험에 사용된 유체는 물과 물엿을 일정한 비율로 혼합하여 디지털 점도계를 통해 점도를 맞춘 후 각각의 탱크에 저장하여 점도변화를 주면서 실험하였다.

실험 결과는 Fig. 10과 같다.

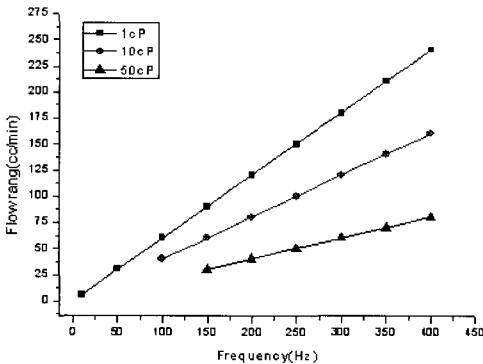
여기서 점도는 PR공정에서 사용되어지는 점도비율과 동일하게 실험하였다.



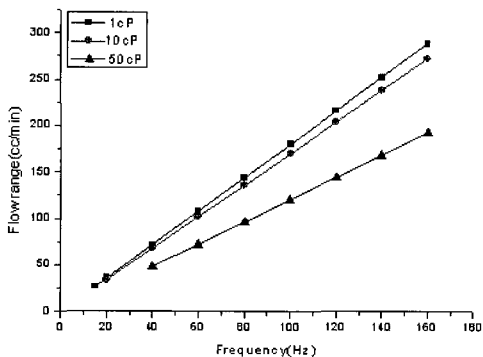
(c) 6-Cross wheel flowmeter

Fig. 10 The flow range according to viscosity change

Fig. 10의 (a)와 (b)결과를 보면 100cP의 점도에서는 휠이 전혀 회전을 하지 않아 측정이 불가능하였으며, 50cP에서는 만족할 만한 최소 유량을 얻지 못하였다. (a)와 (b)는 점도변화에 따른 유량이 크게 변하는 것을 알 수 있으며, PR공정에는 적용하기 힘든 결과가 나타났다. Fig. 10의 (c)는 점도변화에 따른 유량변화가 비율적으로 감소함을 알 수 있다. 점도 1cP에서 유량범위는 8~300cc/min까지 측정가능하며, 점도 100cP에서 유량범위는 10~180cc/min까지 측정이 가능하여 PR공정에서 측정하고자하는 유량범위를 만족하는 결과를 얻었다. 점도가 높아 질수 록 유량이 떨어지는 이유는 유체가 단위면적에 미치는 힘이 시간에 대한 함수로 표현되는 것으로 생각되어지며, 점도는 온도에 비례하기 때문에 가열하게 되면 점성도가 현저히 감소함으로, 향후의 실험에서는 온도 변화에 따른 점성 변화를 측정할 필요가 있다고 생각하였다.



(a) Toothed wheel flowmeter



(b) 4-Cross wheel flowmeter

4.5 유량계 베어링 및 축 내구성 테스트

본 실험방법은 표준 공기압 상태로 임펠러를 24시간 연속 회전시켜 10일 주기로 분해해 60일 동안 축과 베어링의 마모량을 측정하였다.

측정 결과는 Fig. 11과 같으며, 실험 현장에서 관찰된 결과를 보면, Al₂O₃(97%)는 세라믹, Al₂O₃(99.9%)은 사파이어, ZrO₂는 질니코니아 세라믹으로 각각의 마모량을 측정 한 결과 사파이어와 질리코니아 세라믹은 마모나 변형이 전혀 발생되지 않았으나, 알루미늄 세라믹은 30일이 경과 후 부터 시작하여 모마가 일어나기 시작하였다. 이를 통하여 유량계에 사용되는 베어링과 축은 사파이어와 질리코니아 또는 탄화규소(SiC)등을 화학약품에 따라 선정하여 적용하면 우수한 내구성을 지닐 것으로 생각되어진다.

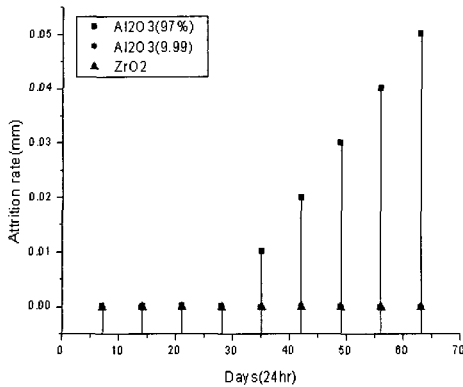


Fig. 11 Bearing and shaft of life test

5. 결론

본 연구는 포토레지스트 정량공급 제어를 위한 미소유량계를 개발할 목적으로 수행되었으며, 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 점도의 변화에 큰 영향을 받지 않고 미소유량을 측정하기 위해 3종류의 임펠러를 제작하였고, 각 실험을 통해 6개의 십자형 날개를 지닌 임펠러가 가장 우수한 특성을 갖는 것을 확인하였다.
- (2) 점도의 변화에 따른 주파수와 유량값의 보정을 위해 유량계 컨트롤러에서 10개의 점도값을 보정할 수 있도록 하였다.
- (3) 재료의 내구성과 부식성 실험을 통해 온도와 약품의 종류에 따라 여러 재질을 병행하여 사용하면 우수한 내구성을 지닌다는 것을 확인 하였다.
- (4) 본 연구개발의 가장 큰 목적인 고점도에서 미소유량측정이 가능한지에 큰 관심을 두었고 그 결과 목표치인 10cc/min 이하는 만족하지 못하였으나 10cc/min이상은 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.
측정가능 유량은 Min 10cc/min~Max 300cc/min까지가 가장 이상적이며, 점도는 약 100cP까지 측정 가능한 것을 실험을 통해 확인하였다.
- (5) PR공급은 스테핑 모터를 이용한 피드백(Feed back)제어 방식으로 밸로우즈를 통해 토출되는 용적량에 의존하던 불안정한 정량공급이 본 연구를 통해 개발된 미소유량계를 장착함으로 안정적으로 정량공급이 가능하게 하였다. 유량계를 설치하기 전의 공급 정밀도가 약 $\pm 5\%$ of FS이었으나, 유량계 설치 후 정밀도는 약 $\pm 1\%$ of RD정도

가 되는 것을 현장평가를 통해 확인하였다.

- (6) 접액부는 순수한 불소수지계로 구성되어 있으므로 금속 이온의 용출을 최소화하여 억제하여 환경문제를 배려하였다.

후기

본 연구는 금오공과대학교에서 지원한 과제입니다. 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- (1) TMS KOREA CO., LTD, *Technical laboratory technical data*.
- (2) Japanese instrument industry union, *Flow Measuring A to Z*.
- (3) SANG-A FLONTEL CO., LTD, *Technical laboratory technical data*.
- (4) Kim, D. T. and Yea, Y. T., 2000, "An Investigation into the Dynamic Characteristics of Turbine and Gear Motor Type Flowmeter," *Trans. of KSMTE*, Vol. 9, No. 3, pp. 83~89.
- (5) Jang, S. C., Yum, M. O. and Kim, D. T., 2003, "Flow Rate-Pressure Drop Characteristics of Dispersive ER Fluid According to Change of Electric Field Strength in clearance between Parallel Plates," *Trans. of KSMTE*, Vol. 12, No. 1, pp. 78~83.
- (6) Tsukanoto, H., 1989, "Theoretical Prediction of Meter Factor for a Helical Turbine Flowmeter," *Proc of 2nd Smpo, On Fluid Control and Measurement Oita*, pp. 63~68.
- (7) Hwang, J. D., Jong, J. Y., Lee, S. R. and Jung, Y. G., 2005, "A Study on the Reverse Engineering and Performance Test in the Development of Screw Flowmeter," *Journal of the Korea Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 4, No. 2, pp. 24~30.
- (8) Kim, D. T. and Hong, D. T., 1999, "Unsteady Flow Rate Measurement by Using Hydraulic Pipeline Dynamics," *Proceeding of the KSMTE Autumn Conference*, pp. 411~416.