

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.10.629>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

산성 용액 내 유속 측정을 위한 내산성 센서 개발

최규진* · 윤진원** · 유상석***

* 충남대학교 차세대기판학과, ** 충남대학교 기계공학과

Development of Acid Resistance Velocity Sensor for Analyzing Acidic Fluid Flow Characteristics

Gyujin Choi*, Jinwon Yoon** and Sangseok Yu***

* Dept. of Advanced Electronic Circuit Substrate, Chungnam Nat'l Univ.,

** Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received January 12, 2016 ; Revised July 27, 2016 ; Accepted July 29, 2016)

Key Words: PCB(인쇄회로기판), Acid Resistance(내산성), Velocity Sensor(유속센서), Signal Processing(신호처리), Active Filter(능동필터)

초록: 미세 회로 기판 제조에 적용되는 습식공정 중 도금조에서 미세 기판의 정밀한 가공을 위해 산성 용액 반응조 내부의 유동특성을 관찰하는 것이 중요하다. 하지만, 상용 유속계 중 내산성을 갖춘 센서가 거의 없어 측정이 매우 어렵다. 본 연구에서는 내산성을 갖는 압저항 센서에 신호처리 기술을 적용하여 유속을 측정할 수 있는 센서를 개발하였다. 상용유속계 수준의 유속데이터 획득을 위해서는 높은 임피던스를 갖는 압저항 센서에 증폭회로 및 저역통과필터를 부착하였으며, 이 때 사용되는 신호처리회로의 출력과 상용유속계의 출력이 일치되도록 하는 신호처리회로의 선정을 위해 Butterworth, Bessel, Chebyshev 필터 회로를 제작하여 유속 측정을 통해 출력을 상용유속계의 출력과 비교한 결과 0.0128 %, 0.0023 %, 5.06 %의 MSE를 확인할 수 있었다. 인가 유속을 변경하면서 내산성 센서의 측정 가능 영역을 확인해 본 결과, 저속 저압 구간에서는 신호와 노이즈 구분이 어려워 신호 처리 알고리즘을 적용해도 원하는 결과를 얻지 못하였고, 2~6 m/s에서 2.7 % 미만의 오차를 갖는 신뢰성 있는 측정이 가능하였다.

Abstract: This study presents the development of an acid resistance velocity sensor that is used for measuring velocity inside a copper sulfate plating bath. First, researchers investigated the acid resistance coating to confirm the suitability of the anti-acid sensor in a very corrosive environment. Then, researchers applied signal processing methods to reduce noise and amplify the signal. Next, researchers applied a pressure-resistive sensor with an operation amplifier (Op Amp) and low-pass filter with high impedance to match the output voltage of a commercial flowmeter. Lastly, this study compared three low-pass filters (Bessel, Butterworth and Chebyshev) to select the appropriate signal process circuit. The results show 0.0128, 0.0023, and 5.06% of the mean square error, respectively. The Butterworth filter yielded more precise results when compared to a commercial flowmeter. The acid resistive sensor is capable of measuring velocities ranging from 2 to 6 m/s with a 2.7% margin of error.

1. 서 론

습식공정은 여러 산업분야의 표면처리공정에서 에칭, 도금, 박리 등 다양한 공정에 적용되는 방법으로 제품 전체를 반응조에 침수시켜 한번에

반응시키는 일괄공정이다. 습식공정에서는 균일하고 신속한 반응을 얻기 위해 약품을 교반하여 제품과 반응시킨다.⁽¹⁾ 최근 모바일 기기의 경박 단소, 고효율화 트렌드에 따라 미세회로(micro-circuit)제품의 수요 증가로 선풍 40 μm 미만의 기판이 양산되고 있으며,^(2,3) 공정의 산포관리 난도가 더욱 증가하면서 산포를 예측하고 관리해야

† Corresponding Author, sangseok@cnu.ac.kr

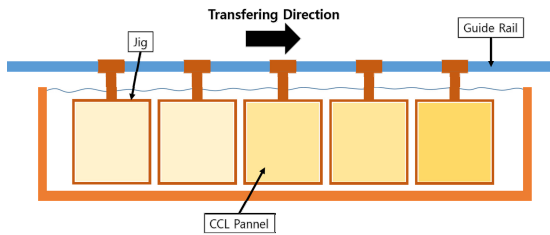


Fig. 1 Scheme of Wet Vertical Continuous plating process facility

할 필요성이 더 커지고 있다.

습식공정 중 수직연속도금설비에서는 기관 제조에 필요한 회로를 형성하고 다층 셀을 쌓는 경우 도금을 이용해 층간 도통에 사용되는 비아 필(Via fill)을 형성하며, Fig. 1에는 이러한 수직 연속 도금 설비에서 인쇄회로기판의 이동 경로를 보여주고 있다.

도금설비에서 발생하는 다양한 불량률의 원인 중 특히, 연속 이동식 도금판으로 분사되는 유동의 불균일 현상은 주요한 도금 불량률의 원인으로 추측된다. 하지만, 도금공정에서 사용하는 도금액에는 황산구리 수용액 및 다양한 첨가제가 사용되며, 약품들의 반응성과 도금형성, 전기장 환경 등으로 일반적인 유속측정 장치의 사용이 어렵다. 강산 용액에서 사용할 수 있는 센서의 부재로, 대부분의 수직 연속 도금설비에서 유체의 유속에 의한 영향은 직접 계측에 의한 분석 기술보다는 해석적인 방법⁽⁴⁻⁶⁾에 의존해 왔으며, 그 결과마저도 대부분 기업 비밀이기 때문에 문헌상에 매우 희박하다.

본 연구에서는 반응조 내에서 분사되는 산성용액의 유속을 직접 계측할 수 있는 기술을 개발하고자 한다. 이를 위해, 산성 용액에서 유속 계측이 가능한 내산성 센서 및 신호처리 알고리즘을 개발하고자 하며, 개발된 센서와 상용 유속계를 이용해 센서 계측의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 유속 측정 개요

유체의 유속을 측정할 때 다양한 방법을 선택할 수 있다. 유체의 운동에 의해 발생하는 현상을 통해 유속을 추정할 수 있으며 대표적인 측정 방법은 압력측정법, 저항력 측정법, 회전 속도 측정법, 추적법, 열식 측정법 등이 있다.⁽⁷⁾ 이러한

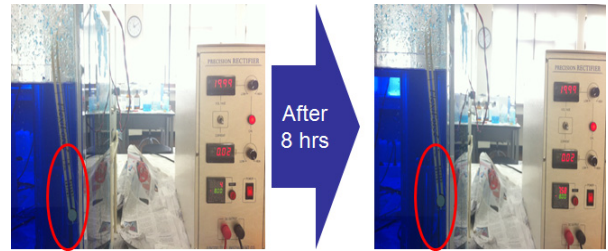


Fig. 2 Acid resistance capability test of velocity sensor candidates

방법을 이용한 상용 유속계는 대부분 공기나 물 등 일반 유체를 대상으로 유속을 측정하는 기술이 대부분으로 이미 많은 연구와 함께 다양한 제품이 시장에 출시되어 있다.

본 연구에서는 습식 공정에 사용되는 황산동 용액에 부식되거나 도금반응이 일어나지 않는 센서를 선정하는 것이 필요하기 때문에 기존의 상용 유속계의 적용이 불가능하다. 일반적인 액체 측정용으로 신뢰성이 높은 임펠러 미터는 금속표면을 갖고 있으며, 피토티관 등의 금속관도 약품과 반응하여 부식이 발생할 수 있다. 또 도금조의 특성상 금속성 재질은 도금이 형성되어 미세 공정 제품에 불량을 초래할 수 있다. 레이저도플러 유속계나 입자영상유속계와 같이 설비 외부에서 유속을 측정하거나 설비 내부의 유동에 간섭을 발생시키지 않는 측정장치를 개발해야 하지만, 전체 습식 공정에서 원하는 시기에 직접 유속 측정을 하기에는 부적합하다.

수직연속도금 설비는 전해동도금공정이 이뤄지는 설비로 약품 내에 전류가 흐르며 Anode에서 제품을 고정하는 지그방향으로 전기장이 형성되어 있다. 따라서 전기장에 민감한 센서를 설비에 투입할 경우 센서가 파손되거나 심각한 잡음을 발생하게 된다. 전기장이외에 설비가 제품을 이송하며 발생하는 진동, 교반에 의해 발생할 수 있는 열충격 등의 잡음발생 원인이 있으며, 이러한 잡음을 회피하거나 제거할 수 있는 방법이 요구된다.

2.2 내산성 센서 선정

산성 용액에서의 유속 측정을 위해 언급된 제약사항을 만족시킬 수 있는 센서를 선정하기 위해 4종의 센서($V_{\text{sensor}1-4}$)를 선정하였으며, $V_{\text{sensor}1}$ 은 힘의 변화인 충격량에 따라 반응하는 센서이며 $V_{\text{sensor}2}$ 와 $V_{\text{sensor}3}$, $V_{\text{sensor}4}$ 는 가해진 압력에 따라 반

Table 1 Candidates of velocity measurement sensor

Spec.	V _{sensor1}	V _{sensor2}	V _{sensor3}	V _{sensor4}
Sensing Area	10mm	12.7mm	9mm	25mm
Thickness	3 mm	0.45mm	0.203mm	0.203mm
Width	10.56mm	19.05mm	14mm	14mm
Length	10.56mm	60.325mm	179mm	56.8mm
Waterproof	No	No	Yes	Yes

응하는 센서로 구체적인 제원은 Table 1에 표시하였다. 각각에 대한 방수 특성을 우선 평가하고, 여기에 다시 Fig. 2와 같은 모형 도금조의 산성용액에 담근 상태로 8시간 연속 측정하여 내산성 평가를 진행하였다.

이를 통해, 방수특성이 우수하고, 두께가 얇으며 검지 영역이 실제 이덕터 유속 측정에 가장 유리한 V_{sensor3}를 최종 선정하였다.

V_{sensor3}는 Tekscan사의 Flexiforce A201-1 센서로 폴리에틸렌 필름 사이에 전도성잉크가 충전된 형태로 수직방향의 외력이 작용하면 저항값이 변하는 특징을 가진다.^(8,9) 외력이 없는 상태에서 수십 MΩ 이상의 저항을 가지며, 인가압력이 증가함에 따라 수십 kΩ까지 감소하게 된다.

센서의 두께는 약 0.2 mm로 기관 원판형태로 설비에 투입할 수 있으며, 표면이 고분자 재질로 되어있어 Fig. 2와 같은 측정환경에서 설비 내의 도금액에 반응하지 않았다. 센서는 구동회로를 통해 전류를 입력하면 압력에 비례하는 전압출력을 얻을 수 있고 임피던스가 커서 센서로부터 신호취득을 위해 증폭기 소자를 사용해야 한다.

사용된 압저항 센서는 고임피던스 소자로서 미세한 전류신호를 발생시킨다. 저준위의 전류신호를 측정할 경우 잡음이 심각한 영향을 끼칠 수 있으므로 이를 제거하는 것이 중요하다.

2.3 센서 성능 평가 장치

내산성 측정센서를 개발하고 성능을 평가하기 위해 센서의 출력을 비교할 수 있도록 유속 측정장치를 제작하였다. 아크릴 중합접착을 이용하여 유체순환에 의한 스트레스에 견딜 수 있게 하였으며, 외부에서 관찰이 용이하도록 했다. 알루미늄 프로파일과 클램프를 이용하여 센서를 쉽게 설치·제거할 수 있도록 하였으며, 노즐과의 간격을 조절하고 쉽게 정렬할 수 있도록 하였다. 또한, Fig. 3과 같이 순환수 방식의 구조로서 수조

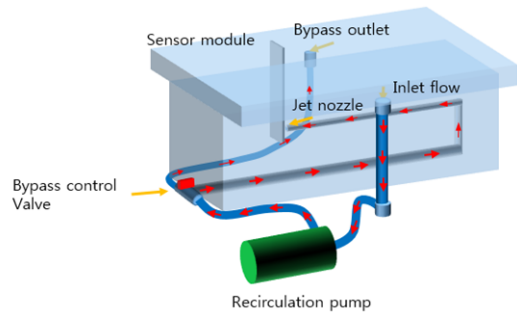


Fig. 3 Flow circulation through plating bath emulator



Fig. 4 Experimental apparatus of velocity sensor evaluation under electrolyte flow in electroplating bath

상부에 흡입구를 위치시켜 노즐과 센서부분의 유동장에 영향을 줄일 수 있도록 설계하였다.

유속의 인가는 황형 다단펌프를 사용하였으며, 단상인버터를 통해 펌프회전속도를 조절하여 유량을 변화시킬 수 있도록 하였다. 바이패스 밸브를 설치하여 유량을 차단하거나 다양한 범위의 유속을 연속적으로 출력할 수 있도록 하였다.

유체 분사에 사용된 노즐은 내경 6.7 mm, 4.8 mm의 SUS 튜브를 사용하였으며, 샤프에지 형태의 오리피스를 가진다. 센서는 노즐과 중심을 일치시켜 설치하였으며, 노즐과 센서와의 간격은 20 mm로 설정하였다. Fig. 4는 전체 성능 평가 장치를 보여주고 있다.

개발한 내산성 센서의 성능 평가를 위해 Schiltknecht사의 MicroWater64 상용유속계를 기준 센서(Reference sensor)로 사용했다. 동일 유속에 대해 개발한 센서의 측정값이 기준 센서의 측정값과 일치하도록 하는 것을 목표로 하였다. Fig. 5에 보여지는 기준 센서는 날개의 회전속도를 통해 유속을 측정하는 임펠러미터로 Table 2에는 기준 센서와 내산성 센서(개발센서)의 제원을 비

Table 2 Comparison of commercial flowmeter and acid resistance sensor

	Schiltknecht MicroWater64	Acid resistance sensor	Unit
Mesurement range	0.4-5.0	2.0-6.0	m/s
Response time	80000	5	μs
Linearity error	2.0	3.0	%fs



Fig. 5 reference impeller meter for validation of velocity sensor

교해서 보여주고 있다.

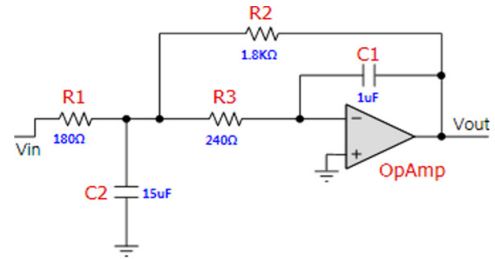
2.4 데이터 취득 및 처리

NI의 Labview를 이용하여 유속데이터를 취득할 수 있도록 하였다. 측정장치로 myDAQ을 이용하였으며 최대 200 kS/s의 샘플링 속도를 가진다. 2개의 아날로그 입력 채널을 통해 센서의 출력전압을 취득하였으며, 아날로그 출력 채널을 통해 단상인버터의 출력주파수를 지령하도록 했다. 디지털 포트를 통해 SSR(Solid state relay)을 구동하여 인버터의 전원공급/차단을 조작하여 불의로 신호가 차단되었을 때 전원이 차단되어 펌프가 정지되도록 고장 안전 루프(Fail safe)를 구축하였다.

데이터 취득은 1000Hz의 샘플링속도로 전압데이터를 엑셀 스프레드시트에 출력 되도록 하였다. Labview를 통해 신호 처리를 위한 인터페이스를 구성하였으며, 그래프를 통해 센서의 출력을 확인할 수 있고, 인버터를 지령하여 펌프를 작동함으로써 센서에 유속을 인가할 수 있도록 하였다. 기준 센서와 다양한 유속 범위에서의 출력비교를 위해 시간 함수를 사용하여 3초에서 10초까지 펌프를 자동으로 작동되도록 하였으며, 15초 구간까지 데이터를 취득하여 펌프구동전원 차단 후 유속 감소에 따른 센서의 동특성을 관찰할 수 있도록 하였다.

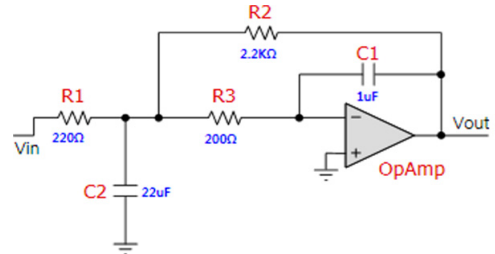
2.5 저역통과필터 신호처리회로

내산성 센서는 고 임피던스로 인해 출력신호가 약하고 노이즈가 크다. 그러므로, 노이즈 성분을 제거하고 미약한 신호를 증폭하여 유속데이터를 원활하게 취득할 수 있도록 하는 필터 설계가 매



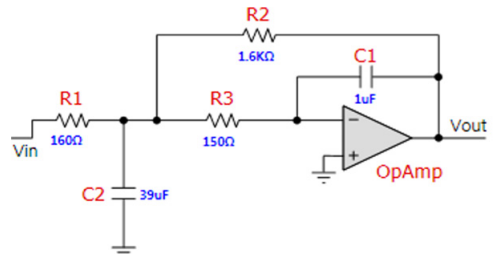
QualityFactor (Q): 0.58
 Filter Response: Bessel
 Circuit Topology: MultipleFeedback
 Min GBW reqd.: 36.946 kHz

(a) Bessel filter



QualityFactor (Q): 0.71
 Filter Response: Butterworth
 Circuit Topology: MultipleFeedback
 Min GBW reqd.: 35.5 kHz

(b) Butterworth filter



QualityFactor (Q): 0.957
 Filter Response: Chebyshev1dB
 Circuit Topology: MultipleFeedback
 Min GBW reqd.: 50.2425 kHz

(c) Chebyshev filter

Fig. 6 Design specification of 50Hz 2nd order lowpass filter

우 중요하다. 본 연구에서는 노이즈 제거 및 증폭을 위해 능동저역통과 필터를 설계하였으며, 필터는 Texas Instruments의 Filter Pro 툴을 사용하였다. 필터 설계 시에는 한 단자가 접지되는 Single ended 타입의 필터를 설계하였다. 공정 설비에서 발생하는 진동, 전기장, 열 등의 강한 노이즈 환경에서 발생하는 노이즈를 억제하고 미약한 전류신호를 증폭할 수 있도록 50Hz의 차단주

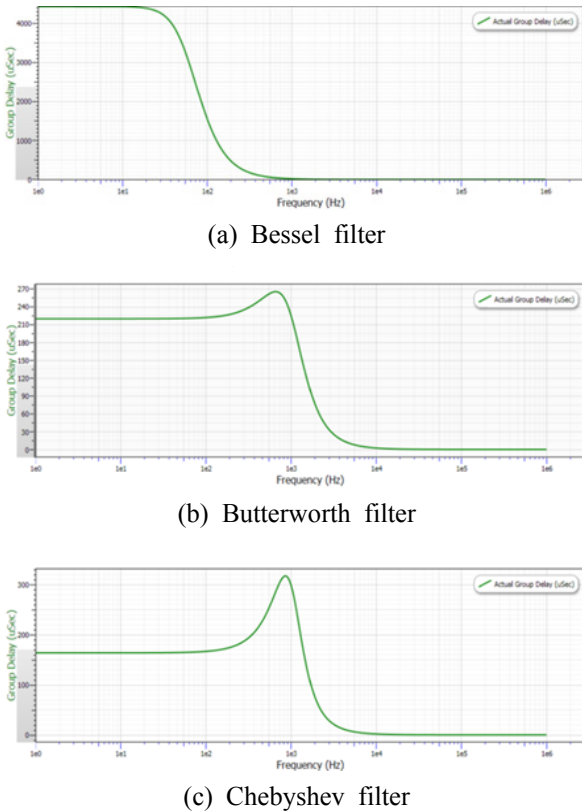


Fig. 7 Frequency responses of low pass filters (Chebyshev, Butterworth, Bessel)

과수를 설정하여 리플을 허용하지 않는 Bessel, Butterworth 필터, 1dB 이하의 리플을 허용하는 Chebyshev 필터 3종을 제작하였다. Fig. 6에는 제작된 3종의 저역 통과 필터의 기본 설계 정보를 보여주고 있으며, 각 필터를 적용하였을 때 레퍼런스 센서 신호와 비교하여 가장 유사한 신호를 출력하는 필터를 선정할 수 있도록 필터 출력 결과를 비교하였다.

Fig. 7에는 각각의 필터 적용 시에 출력의 특성을 보여주고 있다. Bessel 저역통과필터는 차단주파수 부근에서 감쇄특성이 완만하여 차단주파수를 초과하는 주파수의 신호차단이 미흡하지만 리플 발생을 차단할 수 있으며, 위상지연이 가장 적은 특징을 가지고 있다. Chebyshev 필터는 위상지연이 가장 크게 나타나며 차단주파수부근에서 리플이 발생하지만 가장 샤프한 감쇄특성을 가지고 있다. Butterworth 필터는 두 필터의 중간 정도의 특징을 가지며, Bessel 필터와 마찬가지로 리플 발생을 차단할 수 있다.

회로제작에 사용된 소자는 1%(F급) 산화금속피막저항, 5%(E24) 세라믹콘덴서 및 전해콘덴서, 범

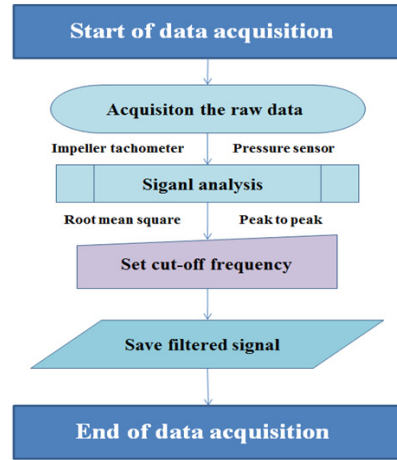


Fig. 8 Data acquisition and signal processing flow chart

용연산증폭기 LM324를 사용하였고 증폭비 20dB, 차단주파수 50Hz를 갖는 신호처리회로를 구성하여 사용하였다.

2.6 실험조건 및 방법

동일한 인가유속에 대해 신호처리회로를 통해 출력된 신호와 기준 센서 신호와 비교하여 유사한 출력을 갖는 신호처리회로를 선정하기 위하여 모사 도금조에서 센서를 설치하고 4.2m/s의 유속을 인가하여 얻어진 출력신호의 평균유속과 표준편차를 비교하였으며, 전체 신호 처리 흐름도는 Fig. 8과 같다.

상용 센서의 구동전원은 myDAQ을 이용하였으며, DC파워 서플라이를 이용하여 압 저항 센서의 구동전원과 신호처리회로의 구동전원으로 사용하였다. 실험에 사용할 구동유체는 상온수를 사용하였으며, 단상인버터를 이용하여 4.2m/s의 유속을 인가할 수 있도록 하였다. 이를 위해 우선 내산성 센서의 제조사 권장방법에 따라 분동을 이용하여 교정하기 위해, 분동의 무게에 따른 저항의 변화와 출력전압을 측정하였다.

또한 베르누이 법칙을 이용하여 추정된 유속과 출력전압의 관계식과 분동실험데이터를 통해 얻어진 관계식을 사용하여 추정된 유속을 비교하여 유속추정관계식이 유효한지 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분동실험을 통한 압저항 센서 교정 출력 신호의 신뢰성 확보를 위해 내산성 센서

Table 3 Pressure sensitive resistor calibration data

Deadweight [g]	Resistance [Ω]	Conductance [$1/\Omega$]
100	76000	1.31579E-05
200	44500	2.24719E-05
500	15700	6.36943E-05
1000	6700	0.000149254

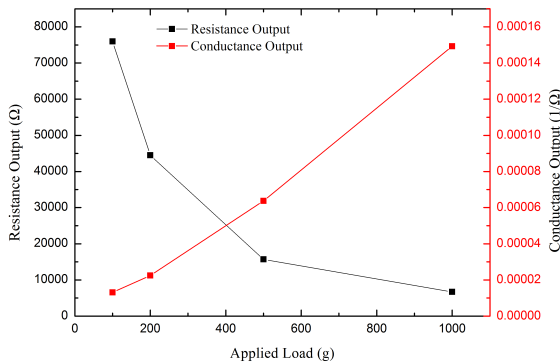


Fig. 9 Sensor calibration using deadweight

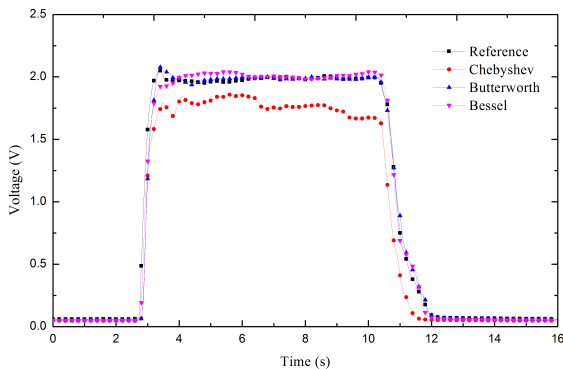


Fig. 10 Comparison of output signal of Reference sensor and signal out from 3 filters

제조사에서 권장하는 방법에 따라 센서의 컨디셔닝과 교정을 진행하였다. 센서를 판위에 고정하여 센서 중심부에 3~4회 분동을 이용하여 압력을 인가하여 영점드리프트를 제거하였다. 인가압력에 따른 저항값을 측정하기 위해 100g, 200g, 500g, 1000g의 분동을 이용하였으며, Table 3과 같은 저항값의 변화를 확인하였다.

Fig. 9와 같은 정하중에 대한 저항과 전도율을 이용해 센서에 가해진 압력과 출력 전압 상관관계를 얻을 수 있다. 여기에 신호처리 필터를 적용하여 노이즈를 제거한 후, 압력에 따른 전압 상관식이 구하고, 이를 이용해 센서에 가해진 유체의 전압과 유속 관계를 구하였다.

Table 4 Output of signal processing circuits(5-10sec.)

	Reference sensor	Bessel filter	Butterworth filter	Chebyshev filter
Average Voltage (5-10s)	1.985V	2.001V	1.987V	1.770V
Error	-	0.8%	0.1%	10%
Mean Square Error	-	0.00128	0.00023	0.05060

3.2 신호처리회로에 따른 출력신호

Fig. 10에는 모사도급조 실험장치를 이용하여 3초부터 10초까지 4.2 m/s의 유속을 인가 후 상용 유속계(Reference sensor)의 전압과 본 연구를 통해 개발된 내산성 압저항 센서와 3가지 신호처리 회로를 이용해 통해 취득된 전압파형 데이터를 보여주고 있다. 상용 유속계의 취득 데이터를 보면, 전압 인가 후 약 2초 후부터 안정된 신호 파형을 보이는 것을 볼 수 있으며, 이는 센서 문제라기보다는 모사 수조 내에 유속을 인가하면, 내부 유동으로 인해 안정화 하는데까지 소요되는 시간으로 판단할 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 안정화 이후 데이터를 취득하여 이를 상용 유속계 결과와 비교 하였으며, 통상 안정화까지 걸리는 시간이 인가 후 약 2초이다.

Table 4에는 유속 인가에 따른 상용 유속계와 개발 유속계의 전압 데이터에 대한 상대 비교를 보여주고 있다. 데이터는 5초에서 10초까지 누적 신호의 5초간 평균 전압을 구하고 이를 상용 유속계의 신호와 비교를 통해, 각 필터 사용 시 오차를 구하였다. Bessel 필터에서는 평균전압 0.8%의 오차가 발생하였으며, 평균제곱오차(Mean square error, 이하 MSE)는 0.00128으로 유사하였으나, 펌프가 처음 동작하며 발생하는 서지에 의한 피크가 출력되지 않음을 알 수 있었다. Butterworth 필터의 출력은 평균유속 0.1%의 오차가 발생하였으며, MSE는0.00023으로 가장 유사함을 알 수 있었다. 실제 데이터 평균에는 포함 하지 않지만, Butterworth 필터의 경우 펌프구동 초기 유속이 증가할 때와 정지 시에 유속이 감소할 때 역시 상용유속계와 가장 유사한 결과를 보였다. Chebyshev 필터의 출력은 평균유속에서 10%의 오차를 확인하였으며, MSE는 0.05060임을 확인하였다. 출력신호의 파형 역시 다른 필터와 비

Table 5 Experimental evaluation of acid resistance sensor

Velocity Input	Output Voltage	Sensor measured velocity	% Error
1.0	0.018V	-	-
1.5	0.383V	1.844	18.6%
2.0	0.504V	2.054	2.70%
2.5	0.875V	2.550	1.90%
3.0	1.198V	2.973	0.90%
3.5	2.739V	3.525	0.07%
4.0	3.540V	3.929	1.80%
4.5	5.194V	4.475	0.56%
5.0	7.089V	5.008	0.16%
5.5	9.310V	5.546	0.08%
6.0	11.337V	5.982	0.03%

교하여 불일치함을 볼 수 있었다.

3.3 인가유속과 측정유속의 비교

유량계의 정확도를 평가하는 방법으로 두 개의 상용 유량계를 이용해 불확도를 판별하는 방법이 개발되었으나, 본 연구에서는 개발 중인 센서의 정확도를 평가하기 위한 것이므로 유량계 교정 방법을 사용할 수 없었다.⁽¹⁰⁾ 그러므로, 본 연구에서는 개발된 센서의 불확도와 작동 범위를 확인하기 위한 방법으로, 모사 도급조에서 인가된 유속에 대한 상용 유속계의 측정값과 내산성 센서 측정값을 비교하여 센서 유속 측정 범위를 정하고자 하였다. 전체 진행 과정은 3.2절의 결과를 얻는 과정과 동일하며 결과는 Table 5에 표시하였다. 신호처리 필터 개발과정과 같이 여기서도 모든 유속 측정에서 3초가 되는 시점에 유속을 인가하였다. 이때, 먼저 인버터의 유체 인가 속도가 얼마인지 찾기 위해 상용 유속계를 이용해 유속을 측정하였다. 그 후 동일한 주파수의 인버터 입력으로 펌프를 가동한 후 개발 센서를 이용해 전압을 측정하였다. 측정된 전압은 분동 실험 결과에서 찾아낸 압력과 전압 상관식을 이용해 유속을 도출하였다. 여기서, 유체 속도는 3초에 인가하지만, 3~5초 사이에 인가된 유체가 떨림 현상을 보였기 때문에 실제 계측을 위한 데이터는 5초부터 10초까지 획득 후 변환하였다.

Table 5는 인가 유속(상용 유속계로 측정)과 측정 유속에 따른 결과와 오차를 보여주고 있다.

1.5 m/s 미만의 유속범위에서 유속신호가 측정되지 않았으며, 1.5 m/s에서는 약 18.6%의 오차를 보였고 1.9 m/s 이상에서 오차가 5% 미만으로 감소하였으며, 2.0 m/s 이상에서는 2.7% 이하의 오차를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

개발 센서는 유속 1 m/s 이하의 저속 구간에서는 3초부터 10초까지 유속을 인가해도 전압 출력의 변화가 없었다. 그러므로, 낮은 범위의 유속을 측정하기 위해 신호의 증폭비를 올려야 하지만, 센서의 비선형성으로 발생하는 오차 역시 증가하여 측정값을 신뢰할 수 없게 되었다. 즉 0~2 m/s까지의 정밀한 측정을 위해서는 현재 사용하고 있는 압저항 센서의 압력 반응 범위를 낮추어야 하지만, 이 경우 2 m/s 이상의 속도에서 비선형성이 존재하게 되어 단일 압저항 센서를 이용한 측정 범위는 제한적일 수 밖에 없다.

압저항 센서가 압력이 매우 낮은 상태에서는 신호를 발생시키지 못했기 때문에, 유효한 속도 측정 범위가 2 m/s~6 m/s로 제한되는 환경이 되었지만, 압저항 센서를 저압용과 고압용으로 다층 설계 하면, 저속에서의 속도 측정도 가능할 것으로 보여진다. 신호 처리 알고리즘과 보정 과정은 그대로 적용할 수 있기 때문에, 본 연구에서 진행했던 개발 과정과 동일한 방식으로 다층 센서 구조를 가지는 형태로 변형하면, 정밀하게 저속에서 고속까지 유속 측정이 가능할 것으로 보여진다.

4. 결 론

본 연구에서는 기관의 미세화로 도금을 위한 습식공정에서 반응조 내의 유동특성을 관찰하는데 사용할 내산성 센서를 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 센서의 내산성을 보증하기 위해 다양한 코팅 방법을 적용한 결과 최종적으로 두께 0.2 mm의 폴리 에틸렌 압저항 센서를 유속 측정을 위한 센서로 선정하였다.

(2) 신호처리 및 노이즈 저감을 위해 50 Hz 차단주파수를 갖는 Bessel, Butterworth, Chebyshev 저역통과 능동필터를 제작하여 계단 입력에 대한 특성 평가를 하였으며, 응답성이 우수한 Butterworth 필터를 신호처리 필터로 선정하였다.

(3) 센서의 영점 조절과 전압-압력 상관식을 도출하기 위해 분동 실험을 실시하여 압력과 발생

전압 사이 상관식을 도출하였다. 이를 통해, 동압에 따른 유속 상관 관계를 도출하였으며, 실험 결과를 상용 유속계와의 상대 비교를 통해 개발된 내산성 센서가 2~6 m/s 구간에서 2.7% 이하의 오차를 갖는다는 것을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 충남대학교 자체연구사업으로 수행되었음.

참고문헌 (References)

- (1) Choi, K. M., "Wet Process Facility and Wet Process Method," *KR Patent 10-2005-0025326*, May, 28, 2005.
- (2) Lee, S. W., 2015, "Correlation of Current Carrying Capacity with Fusing Current on PCB-Trace," *Kyungki Univ.*, Suwon.
- (3) Garich, H., Gebhart, L., Taylor, E. J., Inman, M. and McCrabb, H., 2007, "Development and Characterization of Plating Cell Geometry for Printed Circuit Board and Packaging Applications," *ECS Transactions*, Vol. 3, No. 16, pp. 1~10.
- (4) Ritter, G., McHugh, P., Wilson, G. and Ritzdorf, T., 2000, Two- and Three-dimensional Numerical Modeling of Copper Electroplating for Advanced ULSI Metalization, *Solid-State Electronics*, 44, pp. 797~807.
- (5) Litovka, Y. V. and Mikheev, V. V., 2006, "Numerical Calculation of the Electric Field in an Electroplating Bath with Bipolar Electrodes," *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, Vol. 40, No. 3, pp. 328~334.
- (6) Park, J., Choi, S., Hoover, R., Kim, K., Sohn, S., Shin, Y., Phongikaroon, S., Simpson, M. and Hwang, I., 2015, "Comparison Between Numerical Simulations and Experimental Results on Copper Deposition in Rotating Cylinder Hull Cell," 164, pp. 218~226.
- (7) Huijsing, J. H., Schuddent, J. P. and Verhoef, W., 1982, "Monolithic Intergrated Direction-Sensitive Flow Sensor," *IEEE.Electron Devices*, Vol. 29, No. 1, pp. 133~136.
- (8) Hollinger, A. and Wanderley, Marcelo., M. 2006 "Evaluation of Commercial Force-sensing Resistors," *Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression*.
- (9) Hope, S., 1994, "Flow Calibration: Heart of Flowmeter Accuracy," *Intech-International Journal of Instrumentation and Control*, Vol. 41, No. 4, pp. 36~40.
- (10) Lim, K., Choi, J. and Lee, W., 2004, "A Study on the Uncertainty Estimation of Flowmeter Calibrator with Two Master Flowmeters," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 28, No. 10, pp. 1219~1230.