

Strain Sensor 를 이용한 Fuel Sender 개발

김병규*, 김태송*, 강기윤*, 이진희*, 문성욱*, 박종오*, 홍예선**

Development of Strain Sensor for Measuring Buoyancy

Byungkyu Kim*, Taesong Kim*, Giyoon Kang *, Jinhee Lee*, Sung Moon*, Jong-oh Park*, Yehsun Hong**

ABSTRACT

Currently, potentiometric method has been employed to measure fuel amount for automobile. However, potentiometer could be malfunctioned or damaged due to the additives or dirt in fuel because a variable electric resistor is immersed in fuel. Therefore, a device employing strain sensor is designed and tested to verify the possibility as an alternative of the conventional fuel sender.

Existing fuel tank has irregular cross section. Therefore, buoyancy is not increased linearly as fuel amount is increased. We design a floater that can compensate the irregular cross section of fuel tank and make buoyancy to increase linearly with increasing fuel amount. New fuel sender, comprising of strain gages on circular membrane, the above commented floater and the cover to prevent the disturbance due to sudden acceleration and deceleration, is designed and tested to replace current fuel sender. On the other hand, we are developing strain sensor that has strain gage deposited directly on the circular membrane with cantilever beam.

Key Words : Floater (부표), Strain Sensor (스트레인 센서), Buoyancy (부력), Fuel Sender (연료량 측정장치)

기호설명

A_i = section ratio of a operating point to the reference

r_0 = inner radius of the floater in reference section

r_1 = inner radius of the floater in current operating point

R = outer radius of the floater

h = height

V = volume

1. 서론

현재 자동차 연료량 측정은 Fig. 1 에서 보는

바와 같이 부표(floater) 형식의 저항 변화식 형상을 하고 있다. 이것은 연료량의 변화에 따라 부표를 부양시키고, 그 지지부의 각도에 따른 저항 변화를 측정하는 형태로 부표의 크기 면에서 소형화할 수 있는 장점이 있는 반면 고정부가 길게 나와 있어야 하는 단점이 있다. 한편 연료 첨가물로 인한 센서부의 부식과 센서부에 쌓이는 이 물질에 의한 저항 측정 오 동작으로 인해 신뢰성에 대한 문제가 제기되고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서 부표를 이용한 연료량 측정방법에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해서 진행되고 있다. 국내에서는 주식회사 용마콤(Yongmacom)의 이부용 등이 스트레인 게이지(Strain Gage) 로드셀(Load Cell)를 이용하여 일정한 단면을 갖는 연료탱크에서의 연료량을 측

2000년 12월 22일 접수

* 한국과학기술연구원

** 한국항공대학교

정하는 방법을 제안하였고^[1], 이스라엘에서는 Gintec Active Safety 사의 Adam 등이 보 형태의 로드셀과 불규칙한 단면을 갖는 연료 탱크의 단면보상을 회로적으로 보상하는 방법을 이용하여 연료량을 측정하는 방법을 제안하여 미국 특허를 취득하였다^[2].

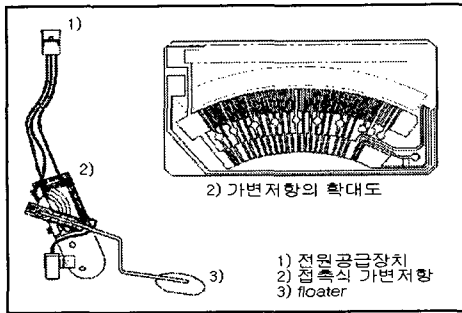


Fig. 1 Potentiometric floater

본 연구에서는 기존의 기계적인 접촉에 의하여 측정하는 potentiometric 방식의 문제점을 해결함과 동시에 불규칙한 연료 탱크의 단면을 보상할 수 있는 부표를 개발하여 박판위에 스트레인 게이지를 직접 형성한 스트레인센서와 결합함으로써 새로운 형태의 연료측정 장치를 고안 개발하고자 한다.

일정한 용기 안의 유체의 변화량에 대한 어떤 물체가 받는 부력의 크기는 그 물체가 유체에 잠긴 부피에 비례한다. 따라서 일정한 단면을 가지고 있는 탱크에 있는 부표의 부력은 연료량의 변화에 따라 선형적으로 증가할 것이다. 그렇지만 일반적으로 연료 탱크의 단면은 불규칙적인 형상이므로 연료량의 변화에 따라 연료탱크 내에서의 액위의 변화는 선형적일 수가 없다. 그러나 연료 탱크의 단면 변화를 보상할 수 있는 부표를 설계 제작하여 부력을 측정한다면 연료량에 대한 부력의 비선형적인 관계를 선형적인 관계로 유도해 낼 수 있을 것이다. 이러한 개념의 연료측정 장치 개발의 타당성을 확인하기 위하여 1 차 실험에서는 기존의 연료탱크에서 얻은 연료량의 변화에 대한 높이 데이터를 근거로 단면보상 부표를 제작하고, 상용화되어 있는 로드셀을 이용하여 부력을 측정하였다. 2 차 실험에서는 단면 보상용 부표와 스트레인 센서를 결합하여 부력의 변화에 따른 박판에서의 스트레인의 변화를 측정하였다.

한편, 상용화된 폴리이미드나 페놀계 레진의

고분자 필름 위에 증착하여 제작된 foil 형태의 스트레인 게이지를 cantilever 구조를 갖는 stainless steel 박판에 부착하여 새로운 형태의 부력 측정용 센서로서의 가능성을 검증하였다. 아울러 이러한 부력을 스트레인 센서로 감지하기 위하여 적용하는 스트레인 게이지는 고분자 폴리머 위에 형성되어 있기 때문에 유기물질인 연료에 약하고 가격이 높아 바로 사용하기 어렵다. 본 연구에서는 연료측정 시스템과 일체화를 위하여 탄성이 우수하고 부식이 되지 않는 SUS316 박판 위에 저가의 센서를 제조하여 센싱 모듈과 일체화가 가능하도록 스트레인 센서 제조 연구를 병행하여 수행하였다.

2. 단면보상 부표 설계 및 실험

2.1 단면적 보상 방안

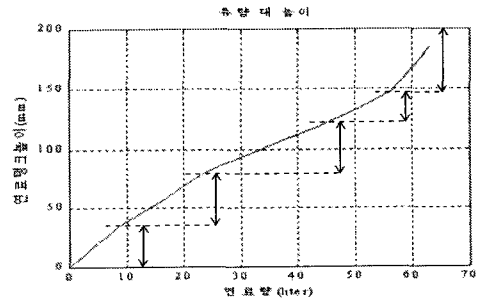


Fig. 2 Volume vs. height of fuel in a fuel tank

부표의 궁극적인 설계 목표는 연료량의 변화에 따라 부표가 받는 부력을 선형적으로 증가 시키고자 하는 것이다. 따라서 불규칙한 연료탱크의 단면에서도 부력이 연료량에 선형적으로 비례하도록 부표의 형상이 연료탱크의 단면 정보를 담고 있어야 한다. 부표의 연료탱크 단면적 보상 방안은 다음과 같다. 연료량에 따른 연료 탱크 내에서의 높이 변화를 실험적으로 구하고 그 데이터의 그래프에서 기울기를 찾으면 그 값이 바로 단면적 정보이다. 여기서 기울기는 '1/단면적 비'를 가진다. 이러한 기울기에 따라 몇 개의 구간으로 나누어 부표의 단면을 설계할 수 있다. Fig.2 는 연료량에 대한 연료탱크내의 높이를 나타낸다. 본 연구에서는 네 번째 구간을 기준으로 다섯 개의 기울기 구간으로 나누어 각각의 단면을 결정했다.

부표단면은 원형으로 외경은 고정시키고 내경을 다섯 단계로 변화시키는 pipe 형태로 했다. 여기서 내경을 구하는 식은 다음과 같다.

$$A_f = (V - \sum V) / (h - \sum h_{pi})$$

$$r_i = \sqrt{R^2 - (R^2 - r_0^2) \times (A_f \div 0.427632)}$$

2.2 1, 2 차 부표 설계 및 실험

2.2.1 1, 2 차 부표 설계치

Table 1. 1st and 2nd design value of the floater

	R(mm)	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	하중(g)	부피(ml)
1차	7.5	6.25	5.75	4.25	5	6.5	28.52	24.253
2차	13	10	8.75	5	7	11	22.95	91.813

1, 2 차 부표의 외경 및 내경의 치수는 Table 1 과 같다. 1 차 설계 부표는 상용 로드셀을 이용하여 부력과 부피간의 선형관계를 확인하기 위한 목적으로 engineering plastic 를 이용하여 가공한 수치이고, 2 차 설계 부표는 현재 사용되고 있는 가벼운 복합재료로 가공되어진 수치이다. 각 구간의 수치는 가공의 편의성을 위한 근사치이다.

위의 설계 자료를 토대로 예상되는 부피와 부력간의 그래프는 Fig. 3 과 같다.

Simulation 에서 가정된 유체는 물이며 Fig. 3 의 좌측이 1 차, 우측이 2 차 설계를 각각 나타낸다. 두 개의 결과 모두 매우 선형적인 결과를 나타내고 있으므로 단면 보상용 부표 개념의 타당성을 확인할 수 있다. 여기서 (-)부호는 중력 방향으로 작용하고 있음을 나타낸다. 1 차 설계 결과의 부력은 0~13(g), 2 차 설계 결과는 0~52(g) 정도의 부력의 변화 폭을 나타낸다. 2 차 설계치는 1 차 설계치의 부피 확대를 통해 부력을 키워 sensor 의

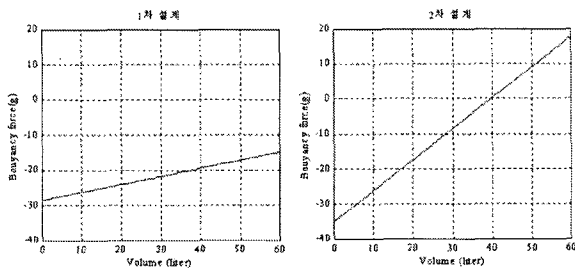


Fig. 3 Simulation 1st and 2nd design of floater

sensitivity 를 높이기 위한 것이다.

2.2.2 1, 2 차 설계 실제 탱크 실험

1 차 실험에서는 앞서 제안한 단면 보상용 부표 개념을 실험적으로 검증하기 위하여 Fig. 4 의 실험장치를 이용하여 실험을 수행하였다.

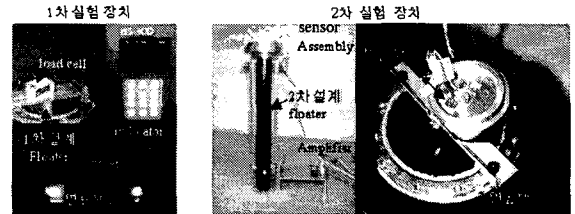


Fig. 4 1st and 2nd floater experimental device

실험장치-1) 1 차 실험용:

- 로드셀 : Transducer Technique GS0 - 30
- Digital Weighing Indicator : BS-300 (봉신 로드셀)-측정단위 0.1g

2) 2 차 실험용:

- 자체 제작 박막 센서(sus316 0.4t, 0.5t ,CAS 스트레인 게이지) unit
- AD624 amplifier (500 배 증폭 회로 사용)

1 차 실험 결과는 Fig. 5 에서 보는 바와 같이 Simulation 결과와 실험 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

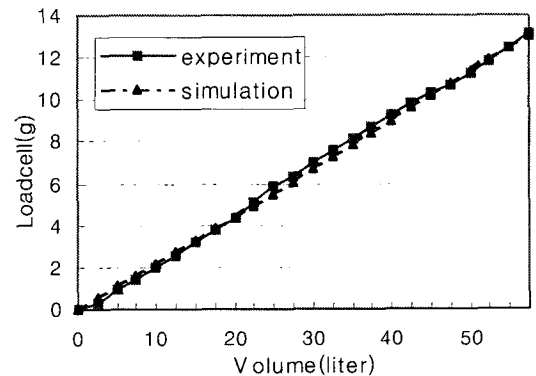


Fig. 5 Test result of 1st design value of floater

2 차 실험에서는 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 자동차의 급감속 또는 가속으로 인한 외란을 막을 수 있는 외란 방지부(Cover, 박판 변위 제한부 및 부표 변위 제한부), 외팔보 형상을 가공한 원형

박판에 스트레인 게이지를 부착한 Sensing 부 그리고 불규칙한 연료 탱크의 단면을 보상하여 부력을 선형적으로 이끌어 낼 수 있는 부표를 일체형으로 구성하여 유량변화에 따른 외팔보의 변형으로 인한 strain 변화를 실험적으로 구하였다.

스트레인 게이지를 full bridge 로 구성하여 온도 등에 의한 영향을 배제하였고, 외팔보 두께의 변화에 따른 Sensitivity 를 조사하기 위하여 0.4t, 0.5t 의 SUS316 을 이용하였다.

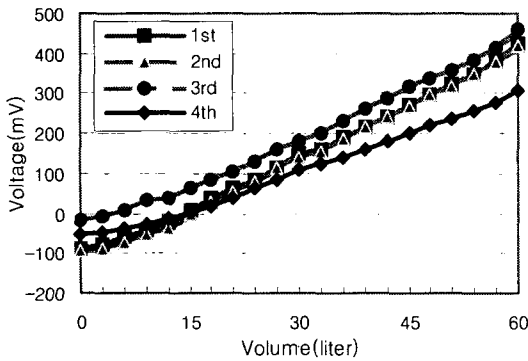


Fig. 6 Test result of 2nd design with 0.4 t

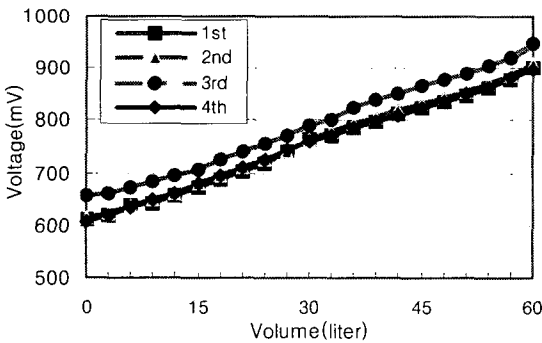


Fig. 7 Test result of 2nd design with 0.5 t

Sensor assembly 의 재현성과 선형성을 살펴보기 위하여 반복 실험을 수행하였다. 실험은 실제 연료탱크에 물을 60 리터까지 5 리터씩 증가시키며, 스트레인의 변화를 관찰하는 방법으로 수행하였다. Fig. 6, 7 의 출력전압 값은 앰프를 이용하여 500 배 증폭한 값이다. Fig. 6 에서 1st, 2nd 실험 결과는 Sensor assembly 를 초기설치에 변화를 주지 않고 행한 실험이고, 3rd 는 Sensor assembly 그대로 연료탱크에서 떼어내고 재설치한 후의 실험 결과이

다. 4th 는 Sensor assembly 의 각 부품을 분해 조립한 후 재설치한 실험 결과를 나타낸다. 3rd 실험 결과의 offset 은 설치 위치의 변화에 따른 영향을 나타내며, 4th 실험 결과의 기울기가 다르게 나타나는 것은 외팔보에 작용하는 힘과 모멘트가 재조립 시에 항상 일정한 값으로 설정되지 않기 때문에 발생한 결과이다. 이것은 박판에 부표를 고정할 때 스냅링을 사용하기 때문이다. 0.5t 의 실험 결과는 Fig. 7 에 나타내었으며 0.4t 의 결과와 경향이 유사하게 나타났다.

0.5t 결과에서는 재조립 시에 발생하는 변화는 보이지 않았지만 신뢰성 있는 Fuel Sender 를 만들기 위해서는 Fuel Sender 조립과 연료탱크에 Fuel Sender 를 설치할 때 조립 방법 및 설치자세를 일정하게 유지하는 것이 필요함을 알 수 있다.

0.4mm 두께의 박판에서는 -100 ~ 440(mV)의 변화를 보이고 0.5mm 두께의 박판에서는 600 ~ 900(mV)의 변화를 나타냈다. 0.4mm 박판에서의 전체적인 출력값의 변화 폭은 0.5 mm 박판에 비해 약 1.8 배 우수한 것으로 보인다. 그렇지만 센서부의 조립성 면에서 살펴볼 때는 0.5mm 박판이 유리한 것으로 보인다.

3. Strain Sensor 제작 실험

3.1 감지물질

Fuel sender 용 일체형 센서를 제작하기 위하여 기존의 foil 형태의 스트레인 게이지 센서 대신에 SUS316 박판위에 압저항 막을 증착하여 센서로서 사용 가능성을 조사하였다. Foil 스트레인 게이지의 경우에 Sensing 물질의 선택에서 고려해야 할 사항은 측정 감도, 작동 형태, 작동환경, Gage 의 길이, 스트레인의 한계, 온도에 따른 저항 변화율과 스트레인의 거동이 있다. 이런 것을 고려하여 Gage Factor 가 2 이상이고, 현재 상용화된 Sensing 물질을 중심으로 조사한 결과 Al 과 Au 와 같은 순금속이나 Nichrome V, Constantan, Advance 와 같은 Alloy^[3], Piezoresistive 성질을 갖는 산화물^[4]이 이용되고 있다. 이러한 물질들 중에서 일단 간단한 방법으로 증착이 가능한 물질을 선정하여, Al, Au 를 Sensing 물질로 선택하여 실험하기로 하였다^[5].

3.2 절연물질

일반적인 Foil 스트레인 게이지는 폴리이미드나 페놀계 레진의 고분자 필름 위에 증착하여 제작을 하지만 본 연구에서와 같은 일체형의 센서로 제작하기 위해서는 기판위에 절연층을 형성해서 기판과 Sensing Material 과의 전기적인 절연을 충분히 얻을 수 있음과 동시에 또한 기판과 전극물질의 접합성을 고려하여 결정해야 한다. 본 실험에서는 이러한 조건들을 고려 접합성이 양호한 절연물질로 알려진 TiO₂ 막을 선택하였으며, 적절한 절연성을 얻을 수 있는 두께를 얻기 위하여 Sol-Gel 코팅을 이용 두께별, 온도별로 증착 특성을 측정하므로써 최적의 두께와 온도를 결정하였다.

3.3 기판의 종류 및 두께 선정

Ashark 등의 논문에 의하면 SUS 316L 1.5 × 50.08 × 10.27 mm 기판에 절연층으로 SiO₂ 를 2 μm 입힌 후 전극물질로 Bi₂O₃-V₂O₅ 6000 Å을 증착하여 제작한 스트레인 게이지의 경우에 Glass 를 이용하여 제작된 스트레인 게이지에 비하여 낮은 감도를 나타내지만, 낮은 Hysteresis 와 좋은 직선성을 나타내어 우수한 응용성을 보이는 것으로 보고하고 있다^[6]. 이러한 보고와 Fuel Sender 에 응용하기 위해서는 일체형으로 제작을 고려하여 SUS 316 을 기판으로 선정하였다. 이러한 Stainless 기판을 사용하는 경우는 감도가 저하되는데 기판 표면의 조도(Roughness)가 상대적으로 큰 값을 나타내기 때문으로 보고하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 적절한 절연층의 두께를 선정할 필요가 있기 때문에 절연층의 두께에 대한 영향을 고려한 실험도 실시하였다. 0.1, 0.2, 0.3 mm 두께의 SUS 316 을 이용하여 10× 20 mm의 크기로 절단하여 패턴을 제작하여 감도에 대한 영향을 고려하여 하나의 두께를 선택하여 실험하였다.

3.4 패턴설계 및 제작

상용화된 Foil 스트레인 게이지의 저항이 120 ± 1Ω , 350± 1Ω 을 정하고 있으므로, 저항을 맞추어 길이와 두께를 정하는 방식으로 패턴을 설계하였다. Al 과 Au 의 경우에 2000 Å을 두께를 갖고, 선폭을 50, 100 μm로 한 패턴을 120, 350 를 기준으로 하여 제작하였고, Lift-off 공정과 에칭 공정을 이용하여 패턴을 형성하였다. 저항의 변화는 Gage 의 선 폭과 길이를 변화시킴으로써 해결할 수 있

다. 먼저 Sol-Gel 코팅법을 이용하여 TiO₂ 절연막을 1~6 회를 코팅하여, 400, 500, 600℃의 온도에서 열처리를 한후 절연막의 저항을 측정한 결과 수십~수백 kΩ이상의 저항이 측정되어 충분히 절연막으로 작용하는 것을 확인하였다. 하지만 SUS 기판 표면의 Morphology 가 좋지 않은 관계로 short 가 발생하는 경우가 생겼지만 절연막의 두께를 증가시킴으로써 해결하였다.

에칭 공정은 다음과 같이 Al 을 evaporator 를 이용하여 2000 Å의 두께로 샘플의 전면에 증착한 후 포토레지스트를 코팅하여 패턴을 형성한 후에 에칭속도가 500~1000 Å/min.인 H₃PO₄ : H₂O : CH₃COOH : HNO₃ 섞어서 제조한 Al 에칭용액을 이용하여 패턴을 형성하였다.

이러한 에칭방법을 이용한 패턴형성 공정으로 샘플을 제작한 결과 90~140Ω 의 저항폭이 넓은 값을 얻었다. 이러한 결과는 Al 막의 성질에 따른 에칭속도의 변화 및 에칭 용액의 농도 감소에 따른 에칭속도의 변화 등에 의한 요인으로 균일한 에칭을 하지 못한 결과로 해석되고 있는데, 이러한 문제점은 추후 공정을 완전히 정비하면 개선될 수 있을 것으로 생각된다.

3.5 Al 막을 이용한 스트레인센서의 평가

Fig. 8 은 Al 박막을 이용하여 50 μm의 선폭을 가지는 120Ω 의 Grid 패턴의 샘플 사진이다. 패턴 형성 결과 선폭이 50, 100± 5 μm을 갖는 것으로 확인되었으며, 에칭 결과는 저항 측정후 저항값이 증가한 경우는 Al 박막의 선폭이 overetching 되어 얇은 경우에 해당하고 저항값이 감소한 경우는 etching 이 덜되어 선폭이 굵게 남아 있기 때문으로 판단된다. 에칭공정의 정확한 제어를 통하여 충분히 개선될 것으로 여겨진다. Al 을 이용하여 제작한 센서의 측정 결과를 Fig. 9 에 나타내었다.

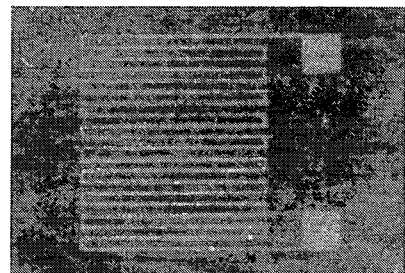


Fig. 8 Fabricated strain gage in this research

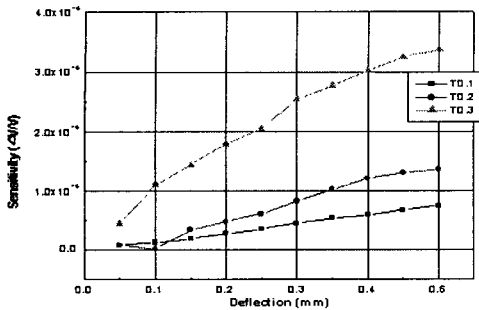


Fig. 9 Test result of the fabricated strain gage

길이 10 mm Cantilever 의 경우 기관의 두께를 0.1, 0.2, 0.3mm 로 변화하면서 측정된 결과를 나타낸 것으로 변위를 시뮬레이션 결과로부터 유추하면 0.3 mm 정도의 변위를 나타낼 것으로 생각된다. 이 변위에서 감도를 상용 스트레인 게이지와 비교하면 약 $3.0 \times 10^{-4} \epsilon$ 과 약 $0.8 \times 10^{-4} \epsilon$ 으로 감도의 차이가 발생했는데 이것은 감지막 자체의 성질과 제작공정 상의 문제로 여겨진다. 기관의 두께가 0.1mm 에서 0.3mm 로 증가할수록 감도가 커지는 경향이 있으며 이는 기관의 탄성의 영향 때문으로 판단된다. 제작된 스트레인 게이지도 가해주는 변위에 따라서 직선적으로 감도가 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며, 추후 공정의 개선을 통하여 일체화된 스트레인 게이지의 제작이 가능하다는 증거이며, 연료탱크에 최대한 연료가 채워졌을 때 발생하는 부력에 대하여 최대의 감도를 갖는 기관을 선택 앞서 발생한 문제점을 해결하고 측정 시스템의 보완과 스트레인 게이지 제작 공정의 안정화를 이룩하여 보다 안정된 결과를 얻을 것으로 확신한다.

4. 결론

본 연구에서의 이론과 실험을 통해 스트레인 게이지를 이용한 부력 측정 방식의 센서개발에 관한 타당성을 살펴보았다. 1 차 실험을 통하여 불규칙한 단면을 가지고 있는 연료탱크의 단면을 부표 형상으로 보상함으로써 부력이 부피의 변화에 대해서 선형적인 관계를 갖는다는 것을 확인하였다. 2 차 실험에서는 단면 보상 부표, 박판형 센서, 외란 방지부 그리고 sensing 구동부를 기구적으로 일체형으로 만들어 새로운 형태의 스트레인

센서를 이용한 Fuel Sender 개발 가능성을 확인하였다. 실험을 통해서 박판에 부착된 스트레인 센서의 반복성, 선형성을 증가시키고, hysteresis 를 줄일 수 있다면 지금의 제품을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 센서와 일체화된 시스템을 개발하기 위하여 SUS316 박판위에 스트레인 센서를 직접 형성하기 위한 가능성을 확인하였으며, 센서의 구조와 공정을 개선 보다 우수한 특성의 저가형 센서의 개발이 기대된다.

후 기

본 논문은 G7 차세대 자동차 기술개발 사업의 일환으로 지원을 받아 수행된 연구의 일부분입니다.

참고문헌

1. Buyong Lee, "Liquid level/Volume measuring System Using Strain-Gauge Load Cell and Method of Measuring Liquid Level/Volume," US Patent No. 6,026,683, Feb. 22, 2000.
2. Mordechai Adam, Ben Zion Shisgal, Yosef Fashchik and Hanam Anderman, "Device for Measuring the Volume of Liquid in a Container," US Patent 6,029,514, Feb. 29, 2000.
3. 김상진, "자동차를 위한 센서," 연학사, 1998.
4. K.I. Arshak, F. Ansari, D. Mcdonagh and D. Collins, "Development of a Novel Thick-film Strain Gauge Sensor System," Meas. Sci. Technol., Vol. 8, p. 58, 1997.
5. K. Jating, J.M. Bell, M.V. Swain, L.S. Wielunski, R. Clissold, "Measurement of the Micro Mechanical Properties of Sol-gel FiO_2 Films," Thin Solid Film Vol. 332, p. 189, 1998.
6. K.I. Arshak, F. Ansari, D. Collins and R. Perrem, "Characterization of a Thick-film/Thin -film Strain Gauge Sensor on Stainless Steel," Materials Science and Engineering, B26, p. 13, 1994.