

CPW 전송선을 이용한 전자식 자동차용 연료 센더 장치

Electric Fuel Sender Apparatus for the Vehicles Using CPW Transmission Line

손 태 호

Taeho Son

요 약

CPW(Co-Planer Waveguide) 전송선을 이용하여 자동차 연료 게이지 시스템인 전자식 연료 센더를 개발 제작 하였다. 전송선 주위의 물질에 따라 전송선의 특성 임피던스가 변화되는 특성을 이용하였다. 자동차 연료통 속의 휘발유 혹은 경유의 높이에 따라 전송선의 특성 임피던스가 변화하면 반사량이 달라지므로 반사된 전압을 증폭함으로써 기존의 기계식 장치를 대체하는 시스템을 제작하였다. 브이(buoy)에 의한 부력과 연동된 저항 변화를 이용한 기존의 floating 방식이 갖는 기계식 작동 고장을 없애고, 유량 높이 오차를 줄이도록 하였다. 두께 1.6 mm의 Epoxy 기판에 CPW 전송 선로 및 제반 전자 장치를 구성하여 실측한 결과 기존 시스템에 비해 높이 오차가 적고 선형성이 우수한 특성을 보였다. 이 시스템은 PCB상 SMT로 제작되어 저가이면서도 양산성이 좋고 수명이 반영구적이어서 기존 시스템과의 경쟁력에서 우위를 보일 것으로 예상된다.

Abstract

Electric fuel sender for the vehicle fuel gauge system was designed and fabricated based on the CPW(Co-Planer Waveguide) transmission line theory. It is applied on this system that characteristic impedance of RF transmission line can be varied by the surrounded material of the line. By the characteristic impedance owing the level of gasoline or diesel fuel in vehicle fuel tank, CPW line has corresponding reflected signal as much as changed impedance. Detected signal is amplified, and delivered to fuel indicator into cluster unit on dash board.

Conventional floating mechanical buoy level gauge has several defects as low reliability and high break down rate by mechanical operation, and has not good linearity for the fuel level difference. CPW line with electric circuits are constructed on 1.6 mm thickness epoxy substrate, and measurement shows that this system has more accurate level and better linearity than conventional mechanical system. New electric fuel sender which has good productivity with long lifetime and low-in-cost by the SMT chip assembling could be replaced this system with conventional floating buoy system.

Key words : Electric Fuel Sender, Co-Planer Waveguide, Fuel Gauge, RF Transmission

I. 서 론

기존에 사용하고 있는 자동차의 연료량을 측정하는 장치는 일상생활에 널리 적용되는 브이(buoy)에 의한 부력을 이용하는 floating 방식이다. 이 방식

은 브이(buoy)의 부력에 의해 뜨는 만큼 암(arm)으로 연결된 가변 저항이 작동되도록 함으로써 변화된 저항 값에 의한 전압으로 연료량의 높이를 알아내는 방식이다. 기름보다 가벼운 buoy 물체를 암(arm)으로 연결하는 기계적 작동 때문에 부품간의

순천향대학교 정보통신공학과(Department of IT Engineering, Soonchunhyang University)

· 논문 번호 : 20060316-023

· 수정완료일자 : 2006년 4월 12일

이격이 발생하기 쉽고 불량률이 매우 높다. 더욱이 저항 접촉부의 접점 불량과 이물질 끼임에 의해 작동 고장이 잦은 단점을 가짐으로써 자동차의 5대 불량에 손꼽히고 있는 실정이다^{[1],[2]}.

따라서 기계적인 작동을 배제한 여러 가지 시스템이 고안되어 왔었다. 그 방법으로는 레이더(radar) 원리를 이용하여 높이에 따른 시간차로 연료량을 알아내는 방법, 레이저(laser)를 이용하는 방법 및 적외선(infra red)에 의한 방법 등이 있다. 또한 연료량에 따른 공진 주파수 변화를 이용하는 방법들이 있었으나, 기존 시스템의 단가에 비해 가격 경쟁력에 밀려 생산되지 못하고 있다. 비교적 가격적인 면에서 저가로 구현할 수 있는 정전 용량 변화 방식의 시스템은 있다. 그러나 전기가 통하지 않는 부도체인 휘발유나 경유가 갖는 1.8 정도의 낮은 유전율에 의해 적은 정전 용량의 변화에 기인된 큰 오차의 발생 및 시스템의 불안정 등의 단점이 있다^{[1],[2]}.

이 연구는 기존 기계식 buoy 시스템이 갖는 단점을 배제하기 위해 전자식으로 구성되는 전자식 연료 센더(EFS: Electric Fuel Sender)를 개발, 제작하는 연구이다. 기존 전자식 방식과는 다른 RF 전송선의 임피던스에 의한 반사 이론을 적용한다. RF 고주파를 발생시켜 CPW 전송선^[4]에 공급하면 연료량의 높이에 따라 임피던스 변화에 따른 반사 전압이 다르게 된다. 반사된 신호를 감지하고 증폭 및 검파하여 지시 시스템으로 보냄으로써 유량의 높이를 알 수 있다. 감지 장치인 전송선은 스트립, 마이크로스트립, CPS 등을 적용할 수 있으나 주변 유전율 변화 비교적 민감한 특성을 갖는 CPW를 적용한다.

두께 1.6 mm를 갖는 에폭시 기판에 장치를 구현하고 실험하여 그 특성을 나타내고, 기존 시스템과 비교 검토한다.

II. 기존의 Floating 방식

자동차 연료 펌프 모듈은 연료의 높이를 감지하는 연료 센더(fuel sender)와 연료를 엔진 룸까지 밀어주는 연료 펌프로 이루어진다.

그림 1은 기존에 사용되고 있는 브이 방식의 연료 펌프 모듈을 나타낸 것이다.



그림 1. 기존의 floating 방식의 연료 센더 모듈
Fig. 1. Conventional floating type fuel sender module.

그림 1에서 보듯이 기존의 연료 센더 장치는 연료 펌프 모듈 한편에 부착되어 있고, 브이의 부력에 의한 압 끝에 연결된 가변 저항을 구동시키는 방식이다. 가변 저항은 세라믹 기판에 만들어져 있고, 자동차 탱크의 형태에 따라 유량이 달라지기 때문에 이를 보상하는 구조로 설계되어 있다. 따라서 여러 가지 단점을 가지고 있는데 이를 나타내면 다음과 같다.

2-1 구조적 단점

- 브이 작동 공간으로 부피가 크게 요구된다.
- 연료 출렁임에 의한 arm의 휨이 발생하기 쉽다.
- 사용 시 저항 접촉부의 이격이 발생될 수 있다.
- 기계적 동작에 의해 수명이 영구적이지 못하다.

2-2 동작상 단점

- 기구적 이격에 의한 접점 불량이 발생될 수 있다.
- 장기간 사용 시 저항 접촉부에 마모 및 이물질에 의한 불량이 발생된다.
- 기계적 동작에 의한 높이 오차가 발생된다.
- 저항식 에너지로그에 의한 작동으로 여타의 정보를 첨가할 수 없다.

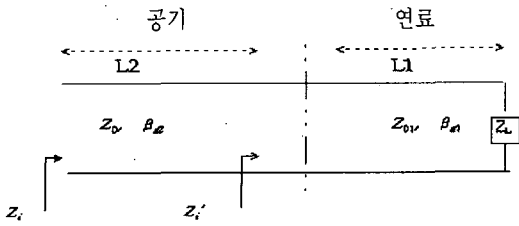


그림 2. 전송선 모델
Fig. 2. Transmission line model.

III. CPW 전송선에 의한 전자식 연료센더

기존 floating 방식 연료 센더가 갖는 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 RF 전송선을 유량 높이 감지 장치로 사용하는 시스템을 만들었다.

전송선 끝부분에 종단 저항을 갖는 RF 전송선을 만들고, 휘발유 혹은 경유의 유량이 바닥일 때 완전 정합이 되도록 한다. 그러면 반사 계수는 0이 되고 반사와 전압 역시 0이 된다.

그림 2는 연료 높이별 반사 계수를 구하기 위한 전송선 이론의 모델이다. 그림 2에서 종단 임피던스를 Z_L , 연료통 속 연료의 높이와 공기의 높이를 L_1 , L_2 , 연료통 속 연료에 잠긴 전송선의 전파 상수 및 공기 상태에서의 전파 상수를 각각 β_{g1} , β_{g2} 라 하면, 유량의 높이에 따라 연료 높이에서의 입력 임피던스는 연료에 둘러싸인 전송선의 특성 임피던스를 Z_{01} 이라 하였을 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_i' = Z_{01} \frac{Z_L + jZ_{01}[\tan(\beta_{g1}L_1)]}{Z_{01} + jZ_L[\tan(\beta_{g1}L_1)]} \quad (1)$$

종단 저항과 반대편 끝부분인 회로 연결 부분에서의 임피던스도 식 (1)과 같은 방식으로 구할 수 있다.

따라서 회로 연결 부분의 반사 계수는

$$\rho = \frac{Z_i' - Z_0}{Z_i' + Z_0} \quad (2)$$

가 되므로 반사와 전압의 크기를 구할 수 있다.

식 (1), (2)를 이용하여 RF 전송선의 일종인 평행 2 선로(parallel 2 wire line)에 대한 유량 표면에서의 임피던스와 반사 계수를 구한 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1의 계산을 위해 적용된 전송선의 특성 임피던

표 1. 유량 높이별 유량에서의 임피던스 및 반사계수의 이론적인 값

Table 1. Theoretical values of impedance at fuel height and reflection coefficient versus fuel height.

유량 높이 [cm]	임피던스	반사계수	비고
0.0	200.00 + j .00	0.00000	
2.0	198.79 - j10.44	0.02635	
4.0	195.28 - j20.22	0.05245	
6.0	189.80 - j28.76	0.07807	
8.0	182.83 - j35.68	0.10297	
10.0	174.90 - j40.77	0.12695	
12.0	166.50 - j44.00	0.14981	
14.0	158.08 - j45.50	0.17139	
16.0	149.97 - j45.44	0.19152	
18.0	142.39 - j44.06	0.21009	

스는 제작의 용이성을 고려하기 위하여 200 Ω으로 하였다. 이때 전송선의 굵기는 0.7 mm, 선간 간격은 1.22 mm이다. 또한 종단 저항을 200 Ω으로 하고, 휘발유의 비유전율은 주파수 120 MHz에서 network analyzer를 이용하여 측정된 것으로 1.84를 적용하였다.

표 1에서 보듯이 휘발유가 없을 때는 임피던스가 200 Ω이고, 반사계수는 0이 된다. 그러나 선로 주위의 휘발유에 의해 전송선의 특성 임피던스가 변하고 또한 휘발유의 높이가 식 (1)에서 L 로 나타나므로 휘발유 높이에서의 임피던스는 복소수로 나타나게 된다. 연료의 높이가 증가함에 따라 반사 계수가 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서 적용한 전송선은 CPW이다. 이는 기관으로 쉽게 제작할 수 있기 때문에 양산성이 좋고 관련 전자 부품과의 연결이 용이한 장점을 지니고 있기 때문이다. 또한 CPW는 기관으로 실현 가능한 마이크로스트립 혹은 슬롯 선로 등 여타의 전송선에 비해 주위 물질인 휘발유에 의해 보다 큰 특성 임피던스 변화를 보임으로써 보다 큰 반사 전압을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 본 연구에서 적용한 CPW 전송선 및 회로를 포함한 회로 기관을 보인 것이다.



그림 3. CPW 전송선 및 회로 소자
Fig. 3. CPW line and circuit elements.

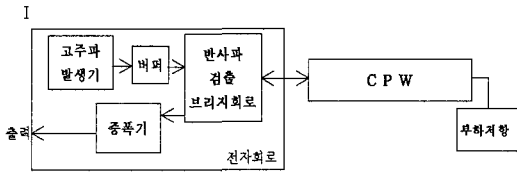


그림 4. 전자식 연료 게이지를 위한 회로의 블록선도
Fig. 4. Circuit block diagram for EFS(Electric Fuel gauge System).

앞에서 설명한 바와 같이, CPW 전송선은 연료의 높이 정보를 얻기 위한 일종의 센서 역할을 한다. 따라서 연료의 높이 정보를 얻기 위해서는 회로가 필요하다. 전자식 연료 게이지를 위한 회로의 블록 선도는 그림 4와 같다.

회로는 RF를 발진하는 발진 회로와 CPW 전송선에 고주파 신호의 공급과 반사 전압을 동시에 감지하고 검파하는 브릿지 회로, 검파된 신호를 증폭하는 증폭 회로 및 자동차 온도 환경을 위한 온도 보상 회로로 구성되어 있다. 게이지 출력 신호는 자동차 클러스터에 있는 마이크로프로세서로 보내지는데, 프로세서에 입력된 유량 높이별 지시기 전압에 그림 4 회로 출력을 맞추면 바로 대체가 가능하고, 아니면 그림 4 회로의 출력을 지시기 전압으로 변환하는 프로그램을 마이크로프로세서에 프로그램하여 넣으면 된다.

본 장치에서 가장 중요한 것은 CPW 전송선의 연료 높이별 반사 전압을 구하는 것이다. CPW의 경우, 전송선 주위의 유전율 변화에 따른 특성 임피던스의 계산은 그리 쉽지 않고, 계산을 하더라도 근사해에 의한 오차가 따른다. 따라서 본 연구에서는 Ansoft사 HFSS 시뮬레이션을 통하여 특성 임피던스의 변화와 연료 높이별 반사 계수를 구하였다.

시뮬레이션을 위한 CPW의 제원은 특성 임피던

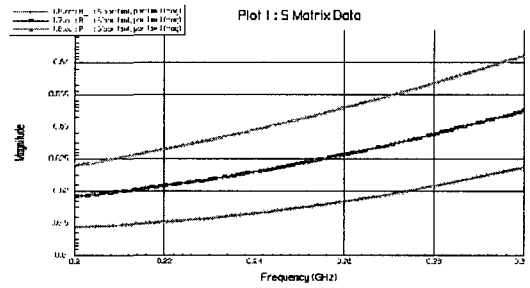


그림 5. CPW의 주파수별 반사계수(중단저항 100 Ω)
Fig. 5. CPW reflection coefficient versus frequencies (load resistance=100 ohms).

스 100 Ω으로 설계하였고, 적용된 기판은 두께 1.6 mm, 비유전율 4.7의 epoxy 기판이다. 시뮬레이션은 먼저 중단 저항을 정하는 시뮬레이션을 수행한다. 이는 중단 저항에 따라 유량 높이별 선형성이 우수한 값을 구하기 위한 것이다.

선형성이 우수한 중단 저항을 선택한 후 주파수별 반사 계수를 구하면 그림 5와 같다.

그림 5에서 3개의 데이터는 위에서부터 연료의 비유전율이 1.6, 1.7 및 1.8에 대한 각각의 주파수별 반사 계수를 얻은 것이다. 이때 제원은 CPW 특성 임피던스 100 Ω, 중단 저항 100 Ω, 유량의 높이가 80 mm이다.

연료의 비유전율은 network analyzer를 이용하여 커패시턴스 측정법으로 측정하였다. 이는 평판 커패시터를 만들고 커패시터의 커패시턴스를 측정함으로써 내부 유전체의 유전율을 알아내는 방식이다. 이렇게 측정한 결과 주파수 220 MHz에서 휘발유는 1.84, 경유는 1.77로 측정되었다. 이를 표로 나타내면 다음 표 2와 같다.

연료의 비유전율은 연료 회사에 따라 약간씩 차

표 2. 휘발유 및 경유의 비유전율(주파수 220 MHz)
Table 2. Relative dielectric constant for gasoline and diesel(frequency 220 MHz).

종류	휘발유		경유	
	커패시턴스 [pF]	비유전율	커패시턴스 [pF]	비유전율
LG	61.6	1.84	59.2	1.77
SK	61.5	1.84	59.3	1.77
Oil Bank	60.4	1.80	59.03	1.76

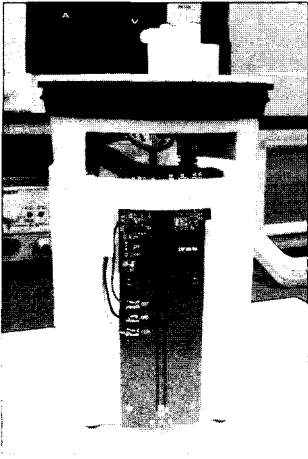


그림 6. 제작된 CPW 전송선 연료 센더 장치
Fig. 6. Electric fuel sender by CPW transmission line.

이가 있다. 휘발유의 경우에도 옥탄가에 따라 또한, 첨가제의 첨가에 따라 1.79~1.86 정도로 차이가 발생되었다.

비유전율의 차이는 CPW 전송선의 특성 임피던스에 영향을 미치므로 차이에 의한 게이지 시스템 출력 오차를 검토하여야 한다. 이 연구에서는 가장 낮게 측정된 경유의 유전율과 가장 높게 측정된 휘발유의 비유전율을 계상하여 이에 따른 게이지 출력 오차를 시뮬레이션 및 실측한 결과는 반사 계수 1.8 % 정도로 나타났다. 이는 자동차 규격에서 허용하는 연료 게이지 허용 오차 3 % 내에 들어가므로 이 시스템은 휘발유와 경유를 겸용하여 사용하여도 무방함을 알 수 있다.

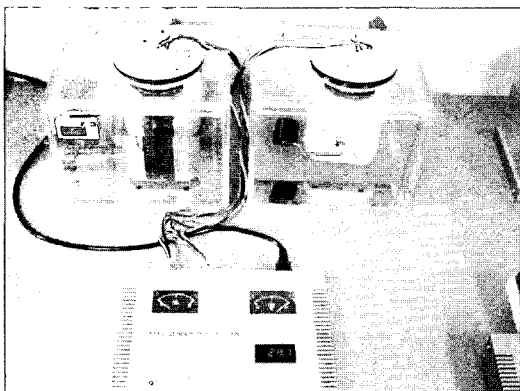


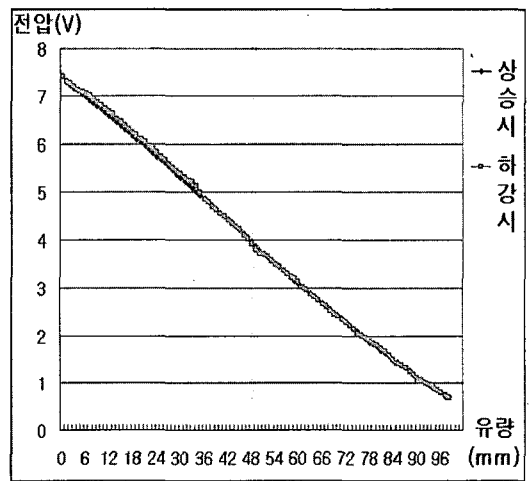
그림 7. 유량 높이 비교 실험을 위한 측정 치구
Fig. 7. Test fixture for height data comparison.

이상과 같이 제작된 전자식 연료 게이지를 자동 차용 연료 펌퍼 모듈에 장착시킨 그림은 그림 6과 같다.

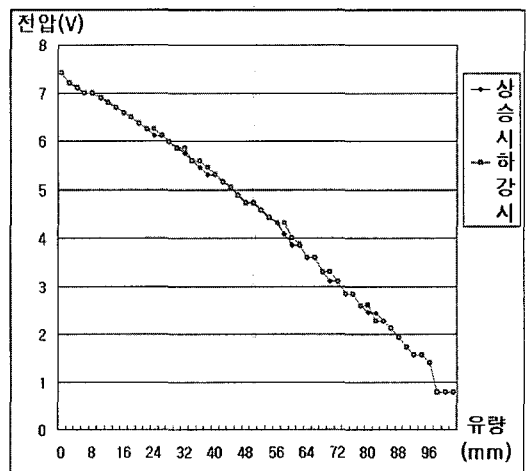
그림 7은 그림 6과 같이 제작된 장치와 그림 1과 같은 기존 시스템에 대해 휘발유에 대한 연료 높이별 출력 전압을 실측하기 위한 장치의 그림이다.

측정 결과는 그림 8의 (a), (b)와 같다.

그림 8에서 보듯이 연료인 휘발유의 높이별 지시 계에 연결된 센더의 출력 전압을 측정된 결과, 둘 다



(a) 전자식
(a) EFS



(b) 브이식
(b) Buoy

그림 8. 기존 연료 센더의 연료 높이별 출력 전압 선형 특성

Fig. 8. Linearity of output voltage versus fuel height.

요구 오차인 3 %를 만족하지만 이 연구 결과인 EFS(a)가 요구하는 특성인 선형성이 기존 buoy에 의한 floating 방식의 결과(b)보다 더욱 뛰어나게 나타나고 있다.

자동차의 움직임 등 연료의 출렁임에 의한 작동은 지연 회로를 사용하여 급격한 지시 변화를 방지하고 있다. 이는 센더 장치에서는 다루지 않고 클러스터 모듈에서 적용하고 있다.

RF 전송선에 의한 유량 높이는 비선형 특성도 쉽게 얻을 수 있다. 비선형 특성은 연료통의 구조가 높이에 따라 양이 달라지는 현상으로 발생된다. 따라서 자동차 설계시 비선형 특성을 요구하게 되는데, 전송선의 길이를 변화시키면 쉽게 얻을 수 있다. 이는 전송선 길이에 따라 임피던스가 달라지기 때문에 반사되는 반사전압의 변화로부터 얻을 수 있다.

그림 9는 비선형 특성을 얻기 위한 장치이다. 연료 높이에 따른 전압의 비선형 특성은 자동차 설계자인 현대자동차로부터 나온 것이다⁶⁾.

그림 10은 제작된 그림 9로부터 측정된 출력 전압을 보인 것이다. 설계 제원인 연료통 높이 0, 25, 65, 90, 120 mm에서 각각 8.5, 7.2, 4.0, 2.3, 1.0 [v]의 설계 제원에 비해 8.56, 7.24, 4.05, 2.33, 1.02 [v]가 나타남으로써 오차 이내로 설계치와 잘 일치함을 보이고 있다. 이는 본 연구에서 연료 높이에 따른

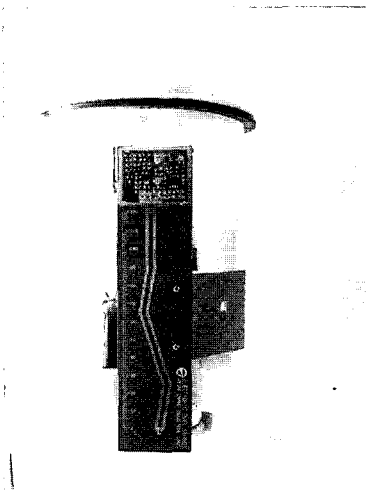


그림 9. 비선형 특성을 위한 EFS
Fig. 9. EFS for nonlinear characteristics.

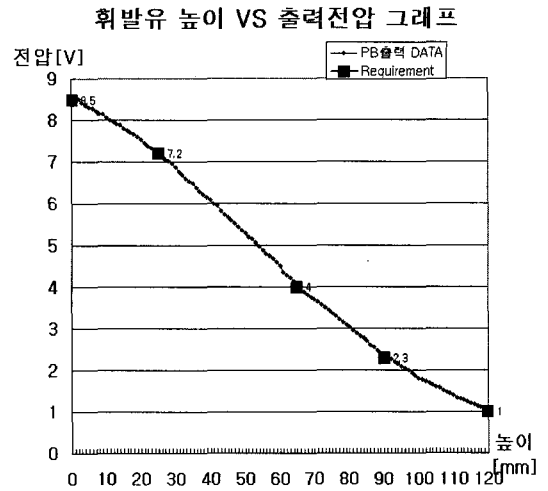


그림 10. 그림 9 EFS의 비선형 특성
Fig. 10. Nonlinear output voltage of Fig. 9's EFS.

출력의 선형은 물론 비선형 특성도 쉽게 구현되고 있음을 보이고 있다.

IV. 결 론

Buoy 부력을 이용한 기존의 자동차용 연료 센더 장치를 대신할 수 있는 전송선 개념에 의한 전자식 센더 장치를 개발 제작하였다.

주위 물질 변화에 특성 임피던스가 민감한 CPW를 센서로 하여 전송선 반사와 전압을 이용하여 유량 높이를 산출하였다. 측정된 자동차 연료인 휘발유 및 경유의 유전율을 이용하여 반사율을 시뮬레이션하고, 이를 설계에 적용하였다.

두께 1.6 mm인 에폭시 기판으로 제작된 전자식 연료 센더 장치를 펌퍼 모듈에 부착하여 유량 높이 별 출력 전압을 측정된 결과, 선형 특성이 기존 장치보다 더 우수하게 나타났다. 또한 자동차 설계시 부득이 발생하는 비선형적 특성은 전송선의 길이를 조절함으로써 연료 높이별 출력 전압이 다르게 나타남을 실측으로 보임으로써 본 연구의 다양한 구현성을 입증하였다.

현재 이 장치는 현대 자동차 신차 모델에 적용되기 위하여 경창산업(주)에서 환경 시험 및 양산 체재 준비 중에 있고, 향후 전 차종에 적용을 목표로 업무를 추진하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 선행연구팀, "전자식 연료센더 사업계획서 발표 자료", 경창산업 선행연구팀 보고서, 2003년 11월.
- [2] 손태호, "전송선을 이용한 자동차 연료 게이지", 대한민국 발명특허 제0517305호.
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [4] 김영권, 마이크로파공학, 진영사, 1995년.
- [5] K. C. Gupta, R. Garg, I. Bahl, and P. Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines*, 2nd Edition, Artech House, 1996.
- [6] 선행연구팀, "DFSS 자동차 연료계 시스템 개발 사양", 경창산업 선행연구팀 개발보고서, 2005년 9월.

손 태 호



1979년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과 (공학사)
1986년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과 (공학석사)
1990년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과 (공학박사)
1980년~1981년: 영국 Ferranti사 연

구원

1978년~1987년: LG이노텍(주) 연구소 근무
1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원
1999년~2000년: University of Illinois 연구교수
2000년~2003년: (주)넷시텔콤 위촉 연구소장
2002년~2006년: (주)에스비텔콤 기술고문
2005년~현재: (주)하이트렉스 기술고문
1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수
[주 관심분야] 위성통신, 휴대폰 및 RFID용 안테나설계,
자동차용 전장품 개발, 전자파 생체영향 등