<기술논문>

차량 주행 상태에 따른 연료량 유동의 안정 지침에 대한 연구

허 진¹⁾ · 박 종 명¹⁾ · 이 선 봉^{*2)}

계명대학교 지능형자동차대학원¹⁾ · 계명대학교 기계자동차공학부²⁾

A Study on Stable Indication for a Sloshing of Fuel-quantity according to Driving State of Vehicle

Jin Hur¹⁾ · Jongmyeong Park¹⁾ · Seonbong Lee^{*2)}

¹⁾Graduate School of Intelligent Vehicle & Transportation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Received 28 February 2011 / Revised 23 June 2011 / Accepted 14 October 2011)

Abstract : In this paper, the application of robust fuel gauge algorithm in the external environment to general fuel gauge system is proposed. The proposed fuel gauge system is composed of two modules which are Moving Average Filter (MAF) and Inclination Filter (IF). They are used to show correctly the amount of fuel in the external environment which are curve road, slope or acceleration/deceleration driving. In parallel, verification and validation processes using Software In the Loop Simulation (SILS) in personal computer and Hardware In the Loop Simulation (HILS) similar to actual vehicle environments are established. Through this research, it turned out to be possible to operation of gauge become correct of external environment.

Key words : Fuel gauge(연료 지침계), Fuel gauge system(연료 게이지 시스템), Sloshing(연료 출렁임), Sensor(센서)

1. 서 론

자동차에 있어서 연료는 주행을 가능하도록 하는 기본적인 에너지원이다. 그 연료량에 따라 차량의 주행 거리가 정하여지므로 연료량의 정보를 인지하는 것은 운전자에게는 안전과 관련된 정보이다. 차량의 연료량은 설계 시 차량마다 연료 탱크의 형상을 어떻게 할 것인가에 따라 전체 연료량이 결정된다. Fig. 1에서 보여 지듯이 이 방식은 브이가 연료 유체의 부력에 의해 움직이는 만큼 브이에 연결된 암(arm)에 접점식 가변 저항이 작동되도록 하는 방식으로 연료량의 높이에 따른 저항의 변화값을 전압으로 변환하여 계기판에 전달하게 된다. 이 신호를 이용하여 계기판 내의 연료 지침계가 동작하여

Fig. 1 Mechanical buoy of fuel gauge system

연료 잔량을 가리키고 운전자가 차량의 주행 가능 거리를 알 수 있게 한다. 연료 지침계는 정확한 정보를 전달하여야 하는 특성 때문에 정밀도가 필수적

*Corresponding author, E-mail: seonbong@kmu.ac.kr

이며 정확한 시스템 설계가 중요하다.¹⁾

일반적으로 교차 코일 무브먼트의 설계는 연료 탱크의 센서 저항값을 설계한 후, 연료 지침계인 교차 코일의 감김 수를 결정하여 실제 변화량을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법은 차량이 정상 주행이 아닌 다른 외부 환경의 요인을 받는 주행 상태일 경우 또는 신차 개발 등의 연료 시스템 부품이 바뀌는 경우마다 무브먼트를 새로 개발하거나 실제 제품과 맞춤을 행해야 하는 등의 시스템 적용에 따른 개발의 손실 등에 많은 문제점을 가지고 있다.^{2,3)}

따라서 본 연구는 자동차 부품군 중의 하나인 차량의 연료시스템에서 연료잔량을 계측하는 연료 지침 시스템의 차량 주행환경 변화 강인성에 관하여 연구하였다. 연료에 관련된 연구는 많이 있으나 차량 주행환경에 강인성을 가진 연료잔량을 측정하는 방법에 관한 연구는 국내외에서 활발히 이루어지지 않는 상황이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 외부 환경 변화에 강인한 연료 지침 시스템의 알고리즘을 개발하고, 개발된 알고리즘을 이용하여 설계 모델을 개발하고 실제 연료시스템 모듈을 이용한 주행시험을 통해 검증하여, 외부 환경에 강인한 연료 지침 시스템을 설계할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 기존 연료 지침계의 제어 방식과 문제점

교차 코일과 스텝 모터의 두 가지 제어 방식은 정상 상태 주행 시에 센서 저항값 대비 연료 지침계의 동작 각도가 선형적 응답성을 가지고 있다. 그러나 차량이 흔들리거나 경사진 도로에서와 같이 비정상 상태의 경우 연료량의 변화가 바로 센서값의 변화로 나타나게 되고 연료 지침계의 출력거림 현상이 발생하게 된다. 이에 대한 해결 방법은 기계적 방식과 지연방식을 들 수 있다. 기계적 방식으로 실제 연료센서 저항값은 차량의 유동에 따라 계속해서 변화하므로 무브먼트 내부에 댐핑 오일을 주입하여 응답성을 늦춤으로써 연료 유동에 의한 지침의 떨림을 방지하게 하는 것이다. 또한, 지연 방식은 차량이 비정상상태가 지연 시간을 초과하여 주행하는 경우 실제 값과의 오차를 지시하게 된다. Table 1은 본 연구에서 고려하고 있는 차량이 경사로와 커브

Table 1 The measured data resistance of fuel system

Fuel gauge display	Fuel tank liter	Resistance (Ω)	Measured resistance (Ω)	Resistance for correction	Measured error angle
E	4.0	279.0	272.1	6.9	2.8
1/4	13.0	135.18	148.0	5.18	3.2
1/2	18.5	100 $\pm$ 3	101.5	-1.5	1.8
3/4	27.0	66.75	65.0	1.75	1.5
F	32.0	38.34	42.3	-3.96	1.0

길, 급가감속 주행상태의 연료 변화량에 대한 오차를 측정하기 위하여 실차에 연료탱크와 연료 지침계를 별도로 설치한 다음 5개의 시료를 측정하여 연료량에 따른 저항값 평균과 연료 지시계의 각도오차를 나타내었다. 실측 시 지연 시간은 연료량의 변화에 따라 저항이 변화될 때 계기판의 지침 무브먼트가 기구적으로 안정화 되는 180초로 선정하였고, 이는 현재 양산 중인 무브먼트의 실제 값을 측정하여 얻은 기준이다.

급가·감속과 차량속도에 따른 연료의 흔들림 현상에 의한 비정상상태에서는 실제 연료 소비 중에도 지연 시간으로 설정된 일정 시간 동안 저항의 변화치를 무시하여 지시에 대한 오차가 발생한다. 또한 지연 시간을 초과하여 불안정한 도로를 주행할 때에도 연료의 잦은 흔들림으로 인한 오차 발생 등의 지시 정밀도에 대한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 간접 제어 방식의 경우에는 추가적으로 저항값이 일정 오차 범위 이상의 값이 입력되는 경우를 제외한 시간 동안은 이전 값을 표시하여 지침계의 오작동을 제어하는 방식(예, Fig. 2 참조)을 택하고 있으나, 차량 운행 시 급가·감속, 경사도, 조향각 등에 의해서 발생하는 연료 탱크 내의 연료량 기울기 변화를 고려하지 않고 연료 센서 저항값의 변화만으로 연료 잔량을 확인하기 때문에 Fig. 3과 같이 연료 지침계에 부정확한 지침을 나타낼 수 있고, 설계 기준으로 선택한 연료량에 따른 센서 저항값의 변화(Fig. 2)와 실제 측정값(Fig. 3)의 차이가 발생한다.⁴⁾

3. 강인 연료 시스템의 설계

3.1 간접 제어 방식의 연료 시스템

본 연구에서 제안된 연료 지침 제어 알고리즘은

Fig. 2 Variation in resistance of fuel system when normal driving without external conditions

Fig. 3 The difference between normal and with external conditions

Fig. 4 Diagram of fuel gauge system using MCU

Moving Average Filter (MAF)와 Inclination Filter (IF)의 두 가지의 모듈로 구성된다. MAF 모듈은 차량속도, 커브도로와 급가감속 주행 시 또는 불규칙적인 노면 상에서의 주행에 따른 연료의 출력거림을 보상해주는 모듈이다. 속도에 따른 출력임은 주기와

최대 최소값이 비교적 규칙적으로 제어가 용이하여 불규칙하고 예측이 어려운 커브도로, 급가감속 및 조향의 출력임에 초점을 맞추어 MAF모듈 적용하였다. IF 모듈은 차량의 경사로 주행에 따른 연료의 출력임을 보상해주기 위하여 설계되어진다. Fig. 4는 MCU를 이용한 간접 제어 연료 지침 시스템에 본 연구 방법을 도식화하였다.

3.2 연료 시스템의 강인 제어 로직 개발

본 연구에서 강인 연료 지침 제어 로직을 제안하며 그 개념과 플로우 차트(flow chat)를 Fig. 5에 나타내었다.

먼저 초기 연료량이 입력되고 차량이 주행을 하면 주행상태에서 연료센서는 연료량에 대한 저항값을 계속하여 MAF모듈을 거친다. MAF 의해 차량 주행 시 발생하는 크고 작은 출력임을 제어하게 된다. 출력임 제어 보정값으로 경사로 주행인지 아닌지를 판단 후, 경사로 주행일 시 IF모듈에 의한 보정값이 최종 결과값이 되어 연료 지침을 한다.

Fig. 5 A flow chart of fuel system considered by disturbance

강인 연료 지침 시스템의 개발을 위하여 실제 측정 대상 차량의 연료 시스템 모듈은 다음과 같다.

- (1) 연료 탱크의 용량: 35 ℓ
- (2) 연료 센서의 최대, 최소 저항범위: 300 ~ 30 Ω
- (3) 연료량과 저항값의 매칭 세그먼트: 45개

연료시스템을 대상으로 연료 탱크의 체적에 따른 연료 센서의 저항 값, 연료 지침계의 지시 위치 등을 설계 기준 대비 5개의 시료를 이용하여 실측한 그 값을 간략하게 대표적인 값들을 Table 2에 나타내었다.

연료 센서의 저항값은 차량의 흔들림이나 기울기로 인하여 변화하므로 연료센서의 저항값을 보정하기 위하여 연속적으로 샘플링한 후 그 값들의 평균값을 이용하여 제어 로직 연료 시스템의 입력 기준값으로 적용하였으며, 샘플링 된 값의 평균값을 얻기 위한 MAF의 개념은 Fig. 6과 같다.

Moving Average 값은 계기판에 표시되는 시점을 기준하며, 이러한 기준 시점의 평균값을 구하기 위해서 이전의 입력값 중에서 가장 오래된 값 하나를

Fig. 6 Moving average filter

제거하고 새로운 값을 더하는 것을 반복하여 평균을 구하는 것이 MAF의 개념이다.⁵⁾

본 연구에서는 MAF는 센서에서 출력되는 지시 기준 시점의 연료 센서 저항값을 샘플링한 후 그 값을 평균하여 입력값으로 선정하였고, 개념은 식 (1)과 같다.

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-N}}{N} \quad (1)$$

이 때 식 (1)에서 F_t 는 샘플링한 후 평균값, N 는 평균값을 구하기 위한 샘플링 수, A_{t-1} 는 시간 t 에 대한 저항값이다.

샘플링 수를 선정하기 위하여 연료 20L, 저항값 94.16Ω을 기준으로 하여 Fig. 7(a)와 같이 실차환경인 일반도로에서 출력임에 대한 데이터를 수집하였다. 그리고 Fig. 7(b)는 샘플링 수를 각각 다르게 하여 저항값 최대, 최소값에 대한 오차 범위를 나타낸 그래프이다.

본 연구에서는 MCU에 대한 부하와 메모리에 대한 제약을 고려하여 오차율 1%내의 샘플링 수 150개를 선정하였다. 그러나 실제 차량 제품 설계나 제품을 양산 할 시에는 추가적인 실험으로 보다 정확한 샘플링 수를 구할 필요성이 있다.

IF의 개념은 차량이 경사로를 일정 시간 이상 주행하여 발생할 수 있는 지속적 기울임의 지시 오차를 보정하기 위해 지시 기준 이전의 연료 센서 저항값과 현재 샘플링된 저항값과의 차이를 비교하였다. 또한 연료량에 대한 세그먼트는 차량주행 시 연료의 소비에 의해 한 개의 세그먼트 차이를 나타낼 것이라 가정하였다. 그리하여 아래 식 (2)와 같이 비

Table 2 The resistance of matched liter when measuring 35 liter fuel tank

NO	Volume Level (Liter)	Segment Number Sensor	Display Point Cluster	Resistance (Ω)
1	3.0	45	End Stop(3.0L)	305±3
2	3.5		<Empty>	
3	4.0	44		279.00
4	4.5			
5	5.0	43		253±2
6	5.5	42	LFW' (5.5L)	247±2
7	6.0	41		238.47
8	6.5	40		229.94
9	7.0			
10	7.5	39		221.41
11	8.0	38		212.88
12	8.5	37		204.35
13	9.0	36		195.82
14	9.5			
51	28.0	10		61.07
52	28.5	9		58.23
53	29.0	8		55.39
54	29.5	7		52.55
55	30.0	6		49.70
56	30.5	5		46.86
57	31.0	4		44.02
58	31.5	3	< Full >	41.18
59	32.0	2		38.34
60	32.5			
61	33.0			
62	33.5	1	Full Stop(33.3L)	35.5±1/-1.5

(a) Raw data

(b) Sampling data

Fig. 7 Sampling of moving average filter

교된 결과값이 Table 2에 나타난 정상 상태에서의 연료탱크의 체적에 대한 센서 측정 저항값은 두 개 이상 세그먼트(segment) 차이를 가지면 경사로로 판단하도록 하였다.

$$Seg_{t-1} - Seg_t \geq 2 \text{ or } Seg_{t-1} - Seg_t \leq -2 \quad (2)$$

위의 식에서 Seg_{t-1} 와 Seg_t 는 설계 기준 세그먼트의 값을 나타낸다.

또한, 제어 로직을 통과한 저항값이 Table 2의 실험값과 비교하여 이상 상태가 확인되면 이전 연료 소비율로 보정하도록 함으로써 실제 차량 상태를 지시하도록 하였다. 경사도를 벗어났다는 판단은 경사도 상태의 저항값과 이전의 샘플링된 저항값에 연료 소비율을 고려한 값이 일치하게 되면 정상 상태로 복귀하였다고 판단하였다.

이렇게 제안된 제어 로직과 현재 양산에 적용하고 있는 시간 지연 회로를 함께 적용하게 되면 기존 간접 제어 시스템에서 발생하였던 연료량의 지시 정보의 오차를 거의 발생시키지 않는 강인한 연료 지침 시스템의 개발이 가능해진다.

4. 제안한 시스템의 검증

4.1 SILS(Software-in Loop Simulation) 검증

본 연구에서는 강인 연료 지침 시스템의 제어 로직 개발과 검증을 위해 내셔널 인스트루먼트(National Instruments)의 랩뷰(LabVIEW) 8.6을 사용하였다.

Fig. 8 A graph of fuel system considered by vehicle velocity

Fig. 9 A graph of fuel system considered by vehicle inclination

출렁임의 오차값에 대한 제어 로직 적용 전후의 시뮬레이션 결과를 그래프를 Fig. 8에, 경사도의 오차값에 대한 제어 로직 적용 전후의 시뮬레이션 결과 그래프를 Fig. 9에 나타내었다. 외란으로 인해 노이즈가 발생된 기존 연료시스템에 제안한 제어 로직을 적용한 연료 지시 상태의 시뮬레이션 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 또한 기존 시스템과의 비교를 위해 기존 연료시스템의 그래프(Fig. 2)와 제어 로직의 시뮬레이션 결과(Fig. 10)를 비교하여 Fig. 11에 나타내었으며, 이 결과에서 제어 로직 미적용 시(Fig. 3)와 비교할 때 강인성을 SILS 상태에서 확인할 수 있었다.⁶⁻⁸⁾

4.2 HILS(Hardware-in Loop Simulation) 검증

제안한 강인 연료시스템을 하드웨어 검증을 통해 검증하였다. 하드웨어 검증장치는 Fig. 12와 같이 차량에 장착되어지는 연료 탱크와 연료 센서를 이용

Fig. 10 A resistance of fuel system applied by development logic

Fig. 11 Comparison between resistances of fuel system applied by development logic and resistances of fuel system when normal driving condition

Fig. 12 HILS System

하여 동일한 환경이 되도록 하였다.

데이터 계측 및 제어를 위해 NI에서 제공하는 NI USB-6210을 이용하여 센서의 아날로그 신호를 디지털 형태의 데이터로 변환시켰다. SILS로 검증된

Fig. 13 Test result when fuel volume is full

Fig. 14 Test result when fuel volume is 3/4

로직의 가상 노이즈 생성은 연료 탱크에 인위적인 힘을 가하여 연료 센서에서의 실측 저항값을 측정하여 구하였다. Table 2의 데이터 값을 이용하여 연료 지침계가 Full, 3/4, 1/2, 1/4 등 4 지점에서 외란으로 인한 출력임과 경사도를 등판 시의 기울어짐에 대하여 실측, 검증하였고 결과는 다음과 같다.⁹⁾

Fig. 13과 같이 연료 잔량이 Full일 때는 연료가 가득 차있어 출력임 발생이 미세하였으며, 경사로 주행에서 나타나는 기울어짐 역시 연료 센서의 브이가 움직일 수 있는 공간이 없어 연료 센서의 저항값이 크게 변화되지 않았다.

연료 잔량이 3/4일 때는 연료 체적이 전체의 반 이상을 차지하고 있어 출력임이 크지 않았다. 하지만 경사로 인한 기울어짐에 의해 나타나는 오차는 Fig. 14에서 알 수 있듯이 크게 발생하였다. 개발한 강인 연료시스템이 적용된 그래프에서는 기울어짐이 발생 하였으나 노이즈를 인식하고 공인 연비 기준으로 기존 연료 잔량에서 감소됨을 알 수 있다.

연료 잔량이 1/2이 되는 지점부터는 연료가 차지하는 부피만큼 공간이 있어 연료 탱크를 흔들었을 때, Fig. 15에서 보여주는 것과 같이 출력임의 높이

Fig. 15 Test result when fuel volume is 1/2

Fig. 16 Test result when fuel volume is 1/4

가 큰 것으로 나타났다. 이것은 기울어짐도 연료 센서의 브이가 움직일 수 있는 공간이 커질 때 큰 오차를 보이는 것으로 판단되었다. 이러한 오차의 변화를 제어된 결과값으로 Fig. 15에 같이 나타내었다.

연료 잔량이 1/4인 지점 Fig. 16에서 보이는 것과 같이 출력임과 기울어짐의 오차를 제안한 강인 연료시스템으로 제어한 결과와 함께 나타내었다.

또한 본 연구에서는 하드웨어 검증 장치를 실제 차량에 설치하여 실차환경과 동일하게 하도록 하였다. 이 실험을 위해 계명대학교 캠퍼스에 위치한 경사도 10%, 12.5%의 경사로와 6개의 과속방지턱 및 커브도로로 이루어진 테스트 도로를 선정하였다. 실차주행 시 반응하는 연료센서의 저항값을 측정한다음, MAF 모듈과 IF모듈을 사용하여 운전자에게 보다 정확한 연료량의 정보를 제시하기 위하여 테스트 경로에서 검증을 하였다(Fig. 17).

실차 검증을 위하여 연료량은 20L, 실측저항값 94.16Ω 기준으로 하였다. 스타트 포인트에서 터닝 포인트를 돌아 스타트 포인트까지 주행하면서 실측한 저항값과 제안한 강인 연료시스템의 결과값을 Fig. 18에 나타내었다.

Fig. 17 Test track in Keimyung Uni

Fig. 18 Test result of fuel gauge system

실측 결과에서 알 수 있듯이 최대 11L에서 27L 까지 오차가 발생된다. 제안된 강인 연료시스템은 차량의 주행 상태에 따라 변화하는 연료 센서의 오차를 제어하여 차량의 주행 상태에 영향을 받지 않고 정확한 정보를 제공하고 있다. 이러한 결과에서 제안된 연료시스템은 정확한 연료 잔량을 확인할 수 있고 지시정확도의 강인성을 확인할 수 있다.

그러나 제안한 연료시스템을 양산 제품으로 생산하기 위해서는 추가적으로 다양한 테스트 도로에서의 실험이 필요하다. 즉 예를 들어 장시간 동안 다양한 경사도의 경사로와 커브도로 및 비포장도로에서 고속, 저속주행실험의 필요성이 있다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 연료 지침계에 발생하는 여

러 가지 외부 환경 요인에 의한 지시 정밀도 저하, 운전자에게의 잘못된 정보 전달 등을 최소화하고 신뢰성을 높인 제어 로직을 개발하였고, 이러한 강인 연료 시스템을 개발 검증할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 또한 이를 통해 연료지침계의 강인성을 높이는 방법을 제시하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 차량의 주행상태에 따라 연료의 기울어짐과 출력임에 대하여 보정 제어로직을 개발하였고, SILS 상태에서 제어 로직 미적용 시와 비교하여 연료지침의 강인성을 검증하였다.
- 2) 강인 연료 시스템의 검증을 위해 실제 차량에 장착되어지는 연료 탱크와 연료 센서로 동일한 환경(HILS)을 구성하여 실 주행 시와 같이 외란을 가하여 오차와 보정 제어한 값으로 나타내어 검증하였다.
- 3) HILS장비를 실제로 실차에 설치하여 경사로, 커브구간 등 같은 주행 상태에 따라 변화하는 연료 센서의 오차를 제어하여 차량의 주행 상태에 영향을 받지 않는 지시정확도의 강인성을 검증하였다.
- 4) 또한, 본 연구에서 제시한 모델 베이스 개발 방법의 강인 연료 지침 시스템은 신규 차량의 개발이나 연료 시스템 변경 시 외부 요인에 의해 지시 오차가 발생할 경우 제어 로직으로 모델링된 시스템의 설계 변수만을 제어함으로써 대응 가능하기 때문에 설계 자유도가 높아 새로운 연료 지침 시스템의 개발 시 기존 부품의 공용화가 가능해져 설계 및 부품 개발 기간 단축 등을 통한 원가 절감 및 품질 향상이 기대된다.

References

- 1) T. H. Son, "Electronic Fuel Sender Apparatus for the Vehicles Using CPW Transmission Line," Bulletin of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering & Science., Vols.1, 7-4, 2006.
- 2) S. B. Lee and B. Y. Lee, "A Study of Fuel System Matching Method Using Characteristic Chart in Vehicle," Transactions of the KSME (A), Vol.32, No.2, pp.194-201, 2008.
- 3) D. H. Kim, S. B. Lee and B. M. Kim, "Process Design of a Permalloy Shielding Can for Shape Fixability," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, Vol.219, pp.723-734, 2005.
- 4) W. B. Ribben, Understanding Automotive Electronics, SAE, Burlington, pp.327-337, 2006.
- 5) S. H. Kim, J. S. Kim, Y. J. Kim and Y. S. Kim, "A Study of Voltage Drop Compensation Algorithm Using Moving Average," Proceeding of the KIEE Annual Summer Conference, pp.1202-1295, 2004.
- 6) D. Y. Kwak, LabVIEW, OHM, Seoul, 2006.
- 7) R. Bitter, T. Mohiuddin and M. Nawrocki, LabVIEW Advanced Programming Techniques, CRC Press, Boca Raton, 2005.
- 8) K. Y. Lee, S. J. Hong, S. H. Oh and W. T. Lee, "A Study of Model Based Automotive Electronic System Development Process," Fall Conference Proceedings, KSAE, KSAE06-F0231, pp.1480-1485, 2006.
- 9) J. W. Son, D. H. Kum, S. B. Lee and S. Lee, "Model-based Design and Validation Method for Body Electronic Systems," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.23, No.9, pp.39-46, 2006.