<기술논문> DOI:10.3795/KSME-A.2008.32.2.194

특성 선도를 이용한 자동차용 연료 지침계의 연료 소비율에 따른 시스템 제어 방법에 관한 연구

이 선 봉† · 이 부 윤*

(2007년 6월 20일 접수, 2007년 12월 14일 심사완료)

A Study of Fuel Gauge System Matching Method Using Characteristic Chart to Fuel Consumption Ratio in Vehicles

Seon Bong Lee and Boo Youn Lee

Key Words : Fuel Gauge Moving Angle(연료 지침계 동작 각도), Cross Coil Movement(교차 코일 무브먼트), Fuel Gauge(연료 지침계), Fuel Consumption Ratio(연료 소비율), Characteristic Chart(특성 선도)

Abstract

In the present study, fuel system matching was analyzed, and a characteristic chart for common use for design-related parts is presented. Based on the characteristic chart thus presented, controlled fuel system matching was tested for a 35-liter fuel system, and actual mass product movement coils were applied to validate the test. The keynote of the present research is the use of the characteristic chart to devise a preferred fuel system matching method. Through the present study, it will be possible to design standard parts for efficient fuel system matching in the near future.

1. 서 론

자동차에 있어 연료는 주행을 위한 기본 에너지원이다. 또한, 그 연료량의 많고 적음에 따라 차량의 주행 거리가 정하여지므로 그 정보를 인지하고 운전하는 운전자에게는 가장 중요한 안전과 관련된 정보 중의 하나이기도 하다. 차량의 연료량은 최초 설계 시 차량마다 연료 탱크의 크기를 어떻게 할 것인가에 따라 전체 연료량이 결정되며, 이 결정의 주요 인자는 연료 탱크의 체적이다. 연료 탱크의 체적별(높이별) 연료 잔량을 연료 탱크에 내장된 연료 레벨 센서를 이용하여 전기적 신호로 바꾸어서 계기판에 전달하게 된다. 이 신호를 이용하여 계기판 내의 연료 지침계가 동작하여 연료 잔량을 지시하고 운전자가 차량의 주행 가능 거리를 알 수 있게 한다. 따라서, 연료 시스템으로 운전자에게 정보를 전달하는 연료 지침계는 차량의 정확한 정보를 전달하여야 하는 특성상 부품도 높은 정밀도가 필수적이며 시스템 설계 또한 중요하다. 연료 지침계로 이용되고 있는 무브먼트(movement)는 바이메탈(bi-metal) 방식, 교차 코일(cross coil) 방식, 스텝 모터(step motor) 방식 등 다양하나, 현재 일반적으로 사용되고 있는 교차 코일 방식의 무브먼트 구동 시스템은 180° 로 교차하여 감긴 코일에 전류를 제어하여 내장된 자석(magnet)을 회전 시킴으로써 차량 정보를 전달하며, 교차 코일 무브먼트 연료 지침계의 구조는 Fig. 1 과 같다.[1]

자동차의 연료 시스템은 연료가 공급되면 연료 탱크에 내장된 플로트(float)가 연료량에 따라 상하로 움직이고, 플로트 몸체의 일정 위치에 부착된 암(arm)의 끝에 접점식 가변 저항을 설치하여 차량에

† 책임저자, 회원, 계명대학교 기계자동차공학부
E-mail : seonbong@kmu.ac.kr
TEL : (053)580-5457 FAX : (053)580-6285
* 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

공급되는 전압인 12~13.5 Volt 에서 유량의 변화에 따른 플로트의 높이 변화, 즉 저항의 변화를 감지하여 연료 지침계인 교차 코일에 인가되는 신호를 제어하여 구동하는 방식이다. 이러한 제어 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 저항의 변화치를 전류로 환산하여 무브먼트를 제어하는 직접 제어 방식과 다른 하나는 저항의 변화량을 ECU (Electrical Control Unit)를 통해 제어하는 간접 제어 방식으로, 후자를 PWM(Pulse Widths Modulation) 제어 방식이라고도 한다. 연료 지침계의 일반적 제어 회로는 Fig. 2 와 같으며 연료량에 따른 저항 변화값을 입력 신호로 사용한다. 현재 양산되는 교차 코일 무브먼트의 경우 연료 시스템의 설계 방법은 연료 탱크의 연료량에 따른 높이별 체적을 계산하고, 체적에 따른 연료 센더의 저항값을 설계한 후, 연료 지침계인 교차 코일의 감김 수를 결정하여 실제 변화량을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 연료 시스템의 부품이 바뀔 때마다 교차 코일 무브먼트를 개발하거나 실측 맞춤을 행해야 하는 등의 양산 공정 손실과 시스템 적용에 따른 개발의 손실, 재고 관리 및 혼입 등에 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구는 위의 문제점을 해결하고자 새로운 특성 선도에 의한 시스템 설계 방법을 제안하고, 이 방법을 이용하여 연료 지침계의 전체 구동 각도의 선정과 구동 각도 내의 제어 방법에 대해 설계 자유도를 향상시키는 연료시스템 설계 방법을 제시하고자 한다.[2~4]

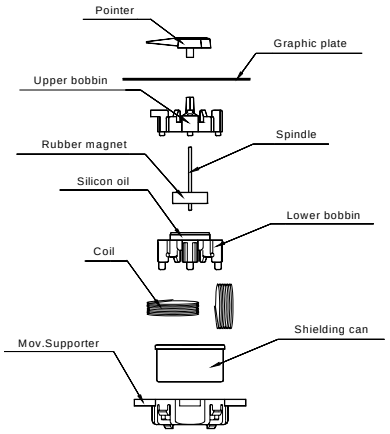

Fig. 1 The structure of cross coil movement of fuel gauge

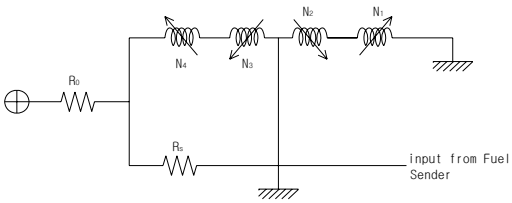

Fig. 2 Typical circuit diagram for fuel gauge system

2. 교차 코일 무브먼트의 구동 이론 및 설계

2.1 교차 코일 무브먼트의 설계식

연료 지침계에 적용되고 있는 교차 코일 무브먼트의 코일 감김에 대한 이해도는 Fig. 3 에 나타난 것과 같다. X-Y 축으로 교차된 코일과 자석의 관계로부터 일반적 관계식은 축 X, Y 에 두 개의 코일 쌍(pair)이 헬름홀츠(Helmholtz) 코일 쌍으로 감겨져 있으며 이것으로부터 발생하는 자기장(magnetic field)은 무브먼트의 중앙에서 감긴 코일 반경 높이의 10% 위치에 균등하게 작용한다고 가정한다.[5,6] 감김 코일 반경을 각각의 감김 쌍의 거리와 같다고 가정하면, 각 감김 코일에 발생하는 플럭스(flux)는 아래 식 (1)과 같다.

$$\text{Flux } (B_0) = (U_0\, N\, I) / L \tag{1}$$

여기에서 U_0는 자유 공간의 투자율(permeability), N 은 코일의 감김 수, I 는 연료 탱크에 내장된 플로트의 연료량에 따른 저항 변화의 전류 환산치, L 은 감김 코일 반경이다. 코일에 인가되는 전압을 V 로 나타내고, $I=V/R$ 을 식 (1)에 대입하면

$$\text{Flux } (B_0) = (U_0\, N\, V) / RL \tag{2}$$

이 되고, $R = 2LNR_l$ (R_l=Loop 저항)로부터 $k=2NR_l$ 로 두면

$$\text{Flux } (B_0) = (U_0\, N\, V) / kL^2 \tag{3}$$

을 구할 수 있다. 코일이 서로 교차되어 90°로 감겨져 있고 동작할 때, 이 감김 교차 코일에 의해 발생하는 벡터 합 각도는 식 (4)와 같다.

$$\text{Vector Angle } \tan\theta = \text{Flux (X)} / \text{Flux (Y)} \tag{4}$$

따라서, 식 (3)과 (4)의 관계로부터 구동 각도는 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{Angle } \theta = \tan^{-1} (V_x\, Ly^2) / (V_y\, Lx^2) \tag{5}$$

2.2 교차 코일 무브먼트의 구동 원리

교차 코일 무브먼트의 구동은 차량에 인가된 일정 전압에서 연료량 변화를 감지한 플로트에 장착된 저항의 변화를 전류로 환산하여 교차로 감긴 코일에 신호로 인가한다. 인가된 전류의 양은 교차로 감긴 코일에 상응하는 플럭스 량을 발생시키고 발생된 플러스 량에 의해 자기장이 Fig. 4 와 같은 신호로 나타난다(H_{sine} / H_{cosine}).[7]

형성된 자기장에 따라 합성 벡터가 식 (5)와 같은 방향으로 자기력을 작용하여, 자유롭게 움직이던 무브먼트 내의 자석은 Fig. 5 와 Fig. 6 과 같이 합 벡터 값의 방향으로 정지하게 된다. 이에 따라

플럭스 벡터의 합 방향으로 무브먼트 중앙부 자석이 회전하여 연료량을 지시한다.

교차 코일 무브먼트에 인가되는 전압 레벨별 주파수와 전류에 의한 자기력의 방향과의 상관 관계는 Table 1 과 같다[8]. 이와 같은 입력 주파수 별 전압 레벨과 코일의 전류에 의해 발생하는 자기력의 방향에 대한 분석은 다음과 같다.

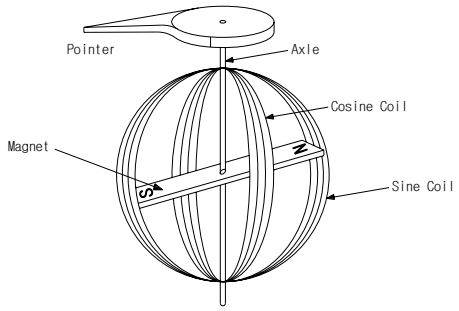

Fig. 3 Simplified diagram of cross coil movement

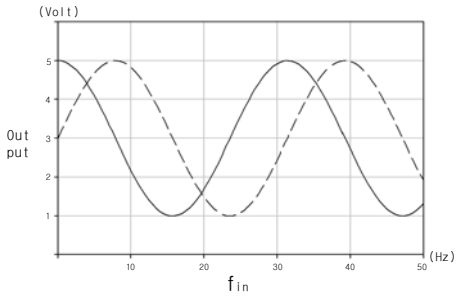

Fig. 4 Cross coil movement control signal

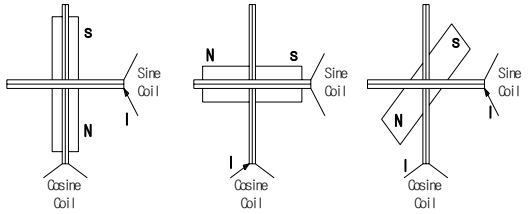

Fig. 5 Magnet and pointer are controlled by the H field generated by the two drive coil

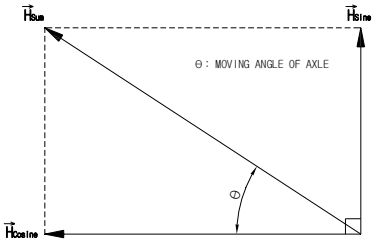

Fig. 6 Vector sum H_{sum} of H_{cosine} and H_{sine}

2.2.1 조건 1(V_{x2} - V_{x1} > 0, V_{y2} - V_{y1} > 0 의 경우)

f_{in} 0 에서 f_{in} 90 으로 입력 주파수가 증가할수록 sine 코일의 전압 레벨 폭은 커지고 cosine 코일의 전압 레벨 폭은 줄어들게 된다. 따라서 Fig. 7 과 같이 sine, cosine 코일에서 발생하는 자기장(H_{cosine})은 작아져서 자기장의 벡터 합(H_{sum})은 "0°" 방향에서 "90°" 방향으로 이동하고 f_{in} 90 에서 벡터 합이 90°의 위치에 있으므로 무브먼트 중앙부의 자석은 90° 방향이 된다.

Table 1 Relation of current direction and cross coil movement voltage level (Frequency)

Input Frequency (Hz)	Voltage level (V)	Coil current direction
f_{in} 0 ~ f_{in} 90	$V_{x2} - V_{x1} > 0$	X2 → X1
	$V_{y2} - V_{y1} > 0$	Y2 → Y1
f_{in} 90 ~ f_{in} 180	$V_{x2} - V_{x1} > 0$	X2 → X1
	$V_{y2} - V_{y1} < 0$	Y1 → Y2
f_{in} 180 ~ f_{in} 270	$V_{x2} - V_{x1} < 0$	X2 → X1
	$V_{y2} - V_{y1} < 0$	Y2 → Y1
f_{in} 270 ~ f_{in} 360	$V_{x2} - V_{x1} < 0$	X1 → X2
	$V_{y2} - V_{y1} > 0$	Y2 → Y1

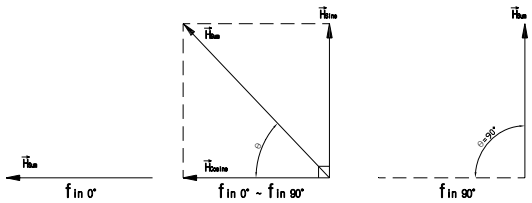

Fig. 7 Vector sum of f_{in} 0 to f_{in} 90 ranges

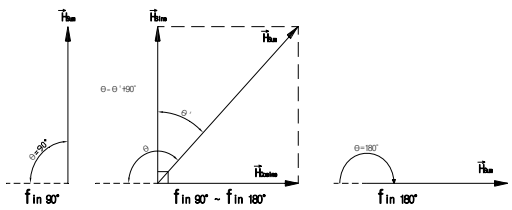

Fig. 8 Vector sum of f_{in} 90 to f_{in} 180 ranges

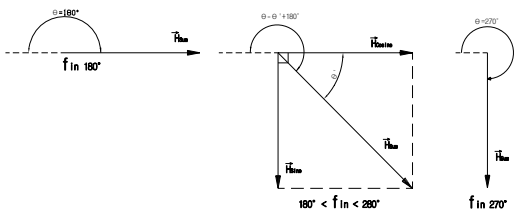

Fig. 9 Vector sum of f_{in} 180 to f_{in} 270 ranges

2.2.2 조건 2(V_{x2} - V_{x1} > 0, V_{y2} - V_{y1} < 0 의 경우)

f_{in} 90 에서 f_{in} 180 으로 입력 주파수가 증가할 때 sine 코일의 전압 레벨 폭은 줄어들고 cosine 코일의 전압 레벨 폭은 커지나 전류의 방향이 f_{in} 0 ~ f_{in} 90 구간에서의 방향과 반대이므로 코일에 발생하는 자기장의 방향은 Fig. 8 과 같이 된다.

2.2.3 조건 3(V_{x2} - V_{x1} < 0, V_{y2} - V_{y1} < 0 의 경우)

f_{in} 180 에서 f_{in} 270 으로 입력 주파수가 증가할 때 sine 코일의 전압 레벨 폭은 증가하지만 전류의 방향이 f_{in} 0 ~ f_{in} 180 구간에서의 방향과 반대가 되며, cosine 코일에서의 전압 레벨 폭은 감소하고 전류의 방향이 f_{in} 90 ~ f_{in} 180 구간에서의 전류 방향과 같다. 따라서 sine 코일 및 cosine 코일에서 발생하는 자기장의 방향은 Fig. 9 와 같이 된다.

2.2.4 조건 4(V_{x2} - V_{x1} < 0, V_{y2} - V_{y1} > 0 의 경우)

f_{in} 270 에서 f_{in} 360 으로 입력 주파수가 증가할 때 sine 코일의 전압 레벨 폭은 감소하고 전류의 방향은 f_{in} 180 ~ f_{in} 270 구간에서의 방향과 같게 된다. f_{in} 270 에서 f_{in} 360 구간에서 cosine 코일에서의 전압 레벨 폭은 증가하지만 전류의 방향이 f_{in} 90 ~ f_{in} 270 구간에서의 방향과 반대가 되어 발생하는 sine 코일 및 cosine 코일에서의 자기장의 방향은 Fig. 10 과 같이 된다.

Table 2 Linear type fuel consumption ratio at fuel sender resist vs. fuel tank volume

Fuel Sender Resistance (Ω)	Fuel Gauge (Display)	Fuel Tank Volume (ℓ)	Angle(˚)
30	FULL (Full Stop)	33.22	85.0
70	3/4	25.81	62.2
103	1/2	19.20	42.6
150	1/4	11.76	20.9
228	LFW(OFF)	5.08	2.3
232	LFW(ON)	4.65	1.2
255	EMPTY (End Stop)	1.94	-2.8

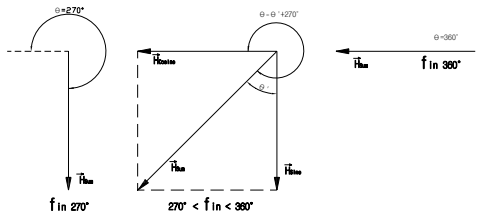

Fig. 10 Vector sum of f_{in} 270 to f_{in} 360 ranges

이와 같이 입력 주파수가 f_{in} 0 에서 f_{in} 360 으로 증가할 때 각 주파수에 대한 전압 레벨이 정해지며, 정해진 전압 레벨의 차이에 의해 코일에 인가된 전류에 의한 자기장의 발생과 발생된 자기장에 의한 자기력의 합 벡터 방향으로 무브먼트 내의 자석이 회전하여 연료량을 지시한다.

3. 연료시스템의 설계

3.1 연료시스템 설계법의 제안

본 연구에서 제안하는 연료 지침계의 시스템 설계 방법은 직접 제어 방식을 대상으로 하였다. 새로운 차량의 개발이나 차량 종류별 연료 탱크 높이에 따른 체적 상이, 연료 탱크 내의 플로트 암 길이에 따른 접점 센더 저항값 상이, 연료 센더 저항별 연료 지침계 지시 치의 상이 등이 발생할 때마다 시스템의 부품들을 신규 개발해야 하는 문제점을 해결하고자 한다. 이는 제안하는 방법이 어떠한 조건에서도 연료 지침계의 지시치를 설계자의 의도대로 제어할 수 있기 때문이다. 연료 시스템 설계 방법의 제안을 위하여 대상을 다음과 같이 선정하였다.[9]

(1) 연료 탱크 용량 : 35 ℓ
(2) 연료 센더의 최대, 최소값 : 30~300 Ω
(3) 연료 지침계 최대 구동각 : 90°

위의 연료시스템을 대상으로 연료 지침계의 설계를 위해 연료 지침계의 구동 각도가 연료 소비율에 따라 선형적으로 변형한다는 가정 아래 연료 센더별 연료 탱크 체적의 실제 측정한 값을 Table 2 에 나타내었다.

3.1.1 (+X) - (+Y) 분면의 설계

(+X) 분면의 X 축을 전체 연료량으로 두고 설계 대상인 35 ℓ에 맞추어 연료가 없는 경우 “0”, 연료가 최대일 경우 “35”를 기준으로 X 축의 간격을 균등하게 나눈다. 이 때 연료 탱크 내에 연료를 공급 하기 위해 설치된 연료 펌프의 기구적 공급 가능 최저 높이를 최저점(end stop)이라 하고, 35ℓ시스템의 경우 통상적으로 2~3 ℓ가 최저점이 된다. 또한, 연료 주입 시 과대 주입에 의한 넘침이나, 연료 펌프 시스템의 기구적 안정성 확보를 위해 연료가 주입되는 최대량을 제한하고 있는데, 이 때의 높이를 최고점(full stop)이라 하고, 35 ℓ시스템의 경우 32~33 ℓ 지점이 최고점이 된다. 즉, 35 ℓ시스템의 경우 약 31 ℓ가 사용 가능한 이론적 전체 연료량이 된다. (+Y) 분면은 연료 탱크의 연료량별 높이를 나타내는데 설계 대상 연료 시스템의 기구적 최저점과 최고점을 고려하여 높이를 균등하게 나누어 설계한다. 설계 대상 연료 시스템의 (+X) - (+Y) 분면 설계를 Fig. 11 에 나타내었다.

3.1.2 (-X) - (+Y) 분면의 설계

(+Y) 분면의 3.1.1 절에서 설명한 것과 같이 연료 탱크의 연료량별 높이를 나타내며 설계 대상 연료 시스템의 기구적 최저점과 최고점을 고려하여 연료 탱크의 높이를 균등하게 나눈 상태이다.

(-X) 분면의 경우는 연료 센더의 저항값을 나타내며, 이 때의 저항값은 플로트 암의 접점부의 공차를 고려하여 기준 저항값보다 폭을 넓혀 30~300 Ω 범위를 선정하는 것이 좋다. 이렇게 선정된 연료 센더의 저항값을 기준점에서 균등하게 나누어 설계한다. (-X) - (+Y) 분면 설계를 Fig. 12 에 나타내었다.

3.1.3 (-X) - (-Y) 분면의 설계

(-X) 분면의 경우는 3.1.2 절에서 설계한 것과 같이 연료 센더의 저항값을 나타내며 플로트 암의 점접부의 공차를 고려하여 기준 저항값보다 폭을 넓게 선정하여 기준점에서 균등하게 나누어 설계하였다.

(-Y) 분면의 경우는 연료게이지가 동작 되는 구간으로 “E”(empty), “1/4”, “1/2”, “3/4”, “F”(full) 등으로 나타내며, 연료 소비율에 따라 나누는 간격을 다르게 설계할 수 있으며, 간격을 달리 함에 따라 연료 소비율은 일정하더라도 운전자에게 보여지는 연료 지침계의 움직임은 선형적 또는 비선형적으로 다르게 보일 수 있도록 할 수 있다. 이러한 설계 자유도를 높일 수 있는 것이 본 연구에서 제안한 방법의 특징이다. 대상 시스템의 설계를 위해 균등하게 나눌 경우 (-X) - (-Y) 분면 설계를 Fig. 13 에 나타내었다.

3.1.4 4 사분면 연료시스템 설계 특성 선도

이와 같이 각 분면 별 축 값에 정의된 값을 시스템 설계에 적용하면 4 분면 형식이 되며 제안한 연료시스템의 설계는 연료 지침계의 동작 구간을 기준 축으로 둘 경우 다른 축의 값을 바꾸어서 적용할 수 있으므로 연료 지침계의 공용화도 가능해진다. 이렇게 제안한 방법을 정리하면 다음과 같다.

1) X-Y 축의 4 사분면을 활용한다.

2) +X, +Y 분면에서 +X 축은 연료 탱크의 연료량을 나타내고, +Y 축은 높이를 나타낸다.

3) -X, +Y 분면에서는 -X 축을 연료 센더의 저항값을 나타내고, +Y 축은 위와 동일하게 설계한다.

4) -X, -Y 분면에서는 -X 축은 위와 동일하게 두고 -Y 축은 연료 지침계의 지시치로 둔다.

위의 X-Y 축 4 사분 면에 연료 지침계 설계 대상 차량의 값을 구간별로 기록한 후, 각 구간을 선형적으로 연결하면 Fig. 14 와 같은 특성 선도를 구할 수 있다.

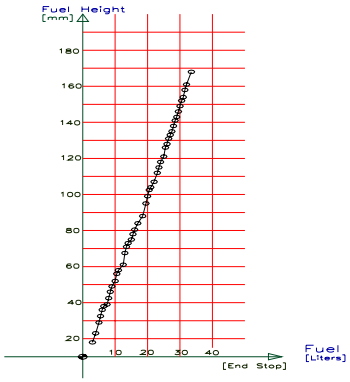

Fig. 11 Design of (+X) - (+Y) direction

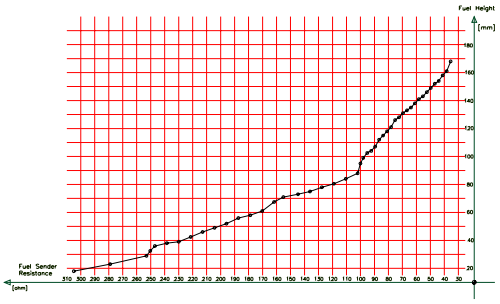

Fig. 12 Design of (-X) - (+Y) direction

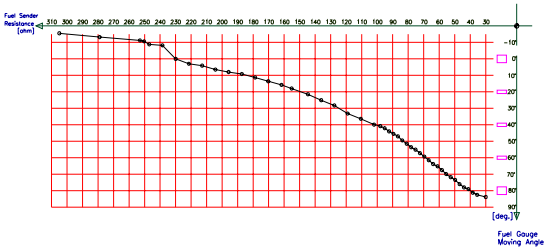

Fig. 13 Design of (-X) - (-Y) direction

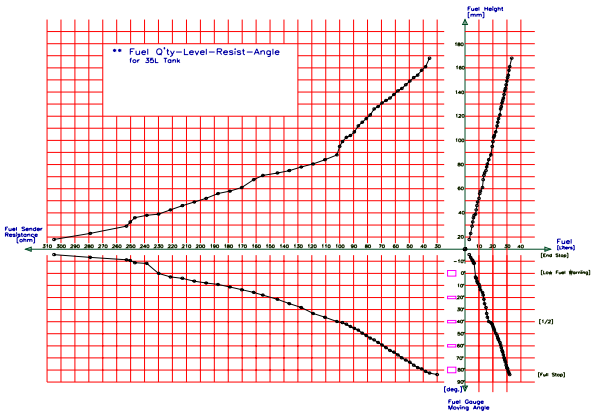

Fig. 14 Characteristic chart of 4-direction fuel system design

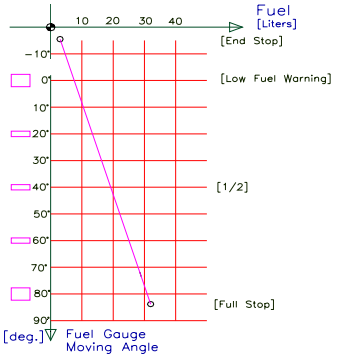

Fig. 15 Design of linear type for fuel consumption ratio vs. fuel gauge moving angle

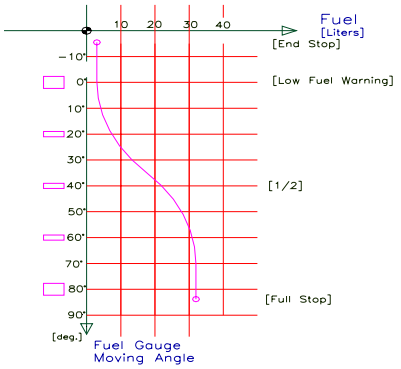

Fig. 16 Design of s-curve type for fuel consumption ratio vs. fuel gauge moving angle

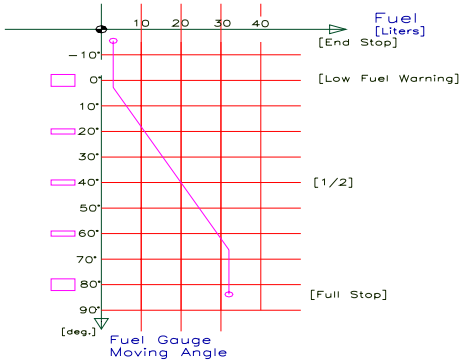

Fig. 17 Design of select area control type for fuel consumption ratio vs. fuel gauge moving angle

이 특성 선도를 이용하여 연료 지침계의 전체 각은 60°, 85°, 90° 등으로 적용 가능하고, 연료 지침계의 움직임 각도의 선형성도 제어 가능해진다. 이러한 설계 자유도의 확보는 부품의 공용화 설계에도 응용 가능하다.[10]

3.2 특성 선도를 이용한 연료시스템 설계 방법에의 응용

앞 절에서 기술한 바와 같이 직접 제어 방식의 교차 코일 무브먼트는 플로트에 내장된 연료 센더의 저항 변화 값을 이용하여 연료 지침계의 교차 코일에 흐르는 전류를 직접 제어하고, 이에 따라 형성된 자기장의 크기가 변하여 자기장의 합 벡터 방향으로 내장된 자석이 움직여서 연료량을 지시하게 된다. 이러한 연료량의 변화에 따른 연료 지침계의 지시 값은 제안한 방법으로 설계가 가능하다. 또한, 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 동작 각도의 자유도를 높일 수 있는데, 이는 연료 센더의 최대와 최소값을 기준으로 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 중간 각도에 대한 제어 설계가 가능하기 때문이다. 이러한 중간 각도의 제어 방법에 대해 고찰한다.

3.2.1 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율 제어 - 선형적 설계법

연료 소비율에 대한 연료 지침계 각도 동작율을 제어하는 방법은 일정 구간에서 연비를 좋게 보이게 하거나 안전과 연관된 구간에서는 연료 지침계 각도 동작율을 급격하게 변화시켜 운전자에게 주의를 환기시키는 방법으로 사용될 수 있다.

이러한 시스템 설계 방법 중 연료소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율을 선형적으로 제어하는 방법인 선형적 제어는 연료 소비율과 연료 지침계의 각도 동작율을 최대 구간에 맞추어 같은 비율로 동작시키는 일반적인 제어로 현재 많은 차량들이 이 방법으로 시스템 설계를 하고 있다. 연료 소비율에 따른 연료 지침계 각도 동작율의 선형적 설계 방법의 이해도를 Fig. 15 에 나타내었다.

3.2.2 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율 제어 s-curve 설계법

연료시스템 설계 방법 중 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율을 s-curve 형태로 제어하는 방법은 full 지점에서 3/4 지점까지 연료 소비율 대비 연료 지침계의 각도 동작율을 최소화하는 방법으로 연료를 가득 주입하고 난 후 일정 거리까지의 연료 지침계 각도 동작율을 최소화하면 운전자는 차량의 연비가 향상된 듯한 느낌을 받을 수 있다는 장점이 있다. 그리고 다른 구간에서 연료 소비율 대비 연료 지침계 각도 동작율을 보상하는데, 이 구간을 1/3 지점에서 empty 구간으로 하면 이 구간에서 연료 지침계의 각도 동작율이 급격하게 변해 운전자는 연료량의 보충 시점에 대한 주위를 기울일 수 있다는 장점이 있다. 국내 일부 차종에서 이 시스템 설계법을 적용하고 있으며 s-curve 설계 방법의 이해도를 Fig. 16 에 나타내었다.

3.2.3 연료 소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율의 선택 구간 제어 설계법

연료 소비율에 따른 연료 지침계의 각도 동작율

을 일정 구간만 선택하여 제어하는 방법은 full 지점에서 3/4 지점까지 또는 연료 충전 경고등(low fuel warning lamp) 점등 부근에서 empty 까지의 구간 등을 제어하는 것으로 구간 제어부와 연결되는 지점에서 변곡점을 갖는 단점이 있으나 대부분의 운전자들은 알기 어렵다. 이 방법은 선형적 제어 방법과 s-curve 제어 방법의 단점을 보완한 것으로, full 지점에서 3/4 지점까지 연료 소비율 대비 연료 지침계의 각도 동작율을 최소화하여 운전자는 차량의 연비가 향상된 듯한 느낌을 받을 수 있게 하는 것과 연료 충전 경고등 부근에서 empty 까지의 구간 각도 동작율을 최대화하여 운전자의 연료 충전 시점에 대한 주위를 환기시키는 목적으로 이용되기도 한다. 일정 구간에 대한 연료 소비율 대비 연료 지침계 각도 동작율의 이해도를 Fig. 17 에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

차량의 연료 시스템은 연료 탱크의 높이에 따른 체적의 변화를 플로트에 부착된 암의 접점 센더 저항 값을 신호로 받아 차량의 일정 전압에서 전류 값으로 환산하여, 교차 코일에 발생된 자기장의 합 벡터 방향으로 무브먼트에 내장된 자석이 회전하면서 지시하는 방식이다. 연료량의 정확한 지시는 운전자의 안전과 관련된 중요한 차량 정보로써 시스템의 구성 부품마다의 정밀도도 높아야 하지만 시스템 전체의 설계 정확도 또한 제일 중요한 인자 중의 하나이다. 이러한 시스템 설계 방법 중 본 연구에서 제안한 특성 선도를 이용한 설계법은 시스템 설계 시 발생하기 쉬운 각 부품간의 공차 누적에 의한 지시 오차를 최소화할 뿐 아니라 지시치의 구간별 제어도 가능해지며, 연료 시스템의 신규 개발 시 연료 탱크의 높이별 체적이 변하더라도 연료 센더나 연료 지침계는 기존의 부품을 공용화하여 설계할 수도 있다.

4.1 특성 선도를 이용한 시스템 설계법 결과

4 사분면을 이용한 연료 시스템의 설계 방법을 요약하면 아래와 같다.

1) X-Y 축의 4 사분면을 활용한다.

2) +X, +Y 분면에서 +X 축은 연료 탱크의 연료량을, +Y 축은 연료 탱크의 높이를 나타낸다.

3) -X, +Y 분면에서 -X 축을 연료 센더의 저항 값을 나타내고, +Y 축은 위와 동일하게 설계한다.

4) -X, -Y 분면에서는 -X 축은 위와 동일한 연료 센더의 저항 값으로 두고 -Y 축은 연료 지침계의 지시치로 둔다.

5) +X, -Y 분면에 연료 지침계의 구간별 제어 방식을 결정하고 나머지 분면에 설계 인자들을 종속적으로 결정한다.

위의 설계 방법을 기준으로 35 ℓ시스템에 적용한 구간별 실제 측정 결과를 Table 3 에 나타내었다. 실측 방법은 교차 코일 무브먼트의 특성 선도에 나타난 연료 센더의 각 높이별 저항 값을 인가한 후 지시되는 각도를 측정하였고, 현재 양산되고 있는 제품을 대상으로 실시하였다. 측정 결과에서 알 수 있듯이 전체 구간에서 시스템 설계 결과와 실측치와의 최대 오차율은 3% 이하, 각도 환산치 0.5° 이하로 운전자가 전혀 인지할 수 없을 정도의 결과로 정확도가 높음을 알 수 있었다.

4.2 특성 선도를 이용한 설계법의 응용

앞에서 고찰한 바와 같이 제안된 특성 선도를 이용한 설계는 연료 시스템에 연관되어 있는 중요 부품의 특성을 입력 대비 출력 신호의 시스템으로 나타냄으로써 제어되는 상태를 설계자의 의도를 간단하게 파악할 수 있었다.

또한 운전자에게 직접 정보를 전달하는 연료 지침계의 각도 동작율을 설계자 의도대로 제어 함으로써 구간 제어의 설계 자유도를 높일 수도 있었다.

Table 3 Applied for 35 liter fuel system to use characteristic chart at cross coil movement test result

Segment	Gauge Display	Volume	Angle(°)						
			Ref	SP#1	SP#2	SP#3	SP#4	SP#5	Ave.
1	FULL	33.22	83.6	85.0	84.6	84.6	85.0	86.0	85.0
2		31.64	81.5	84.6	83.0	83.6	84.0	84.6	84.0
3		31.06	79.4	82.6	81.0	82.6	83.0	83.6	82.6
4		30.48	77.3	80.5	78.0	79.0	80.5	81.0	79.8
5		29.88	75.2	78.0	76.0	76.5	78.0	78.5	77.4
6		29.24	73.2	76.0	74.0	75.0	75.5	75.5	75.2
7		28.57	71.1	73.5	71.5	72.5	73.5	72.5	72.7
8		27.90	69.0	70.5	69.0	70.0	70.5	70.5	70.1
9		27.22	66.9	67.5	66.0	67.0	67.5	67.0	67.0
10		26.52	64.8	64.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.2
11	3/4	25.81	62.7	62.7	61.5	62.0	62.0	62.7	62.2
12		25.11	60.4	60.0	59.0	60.0	60.0	59.5	59.7
13		24.41	58.1	57.5	57.5	57.5	57.5	57.0	57.4
14		23.69	55.7	55.0	55.0	55.5	55.5	55.0	55.2
15		22.94	53.4	53.5	53.5	54.0	54.0	54.0	53.8
16		22.21	51.1	51.0	50.5	51.0	51.5	52.0	51.2
17		21.44	48.8	49.0	49.0	49.0	49.9	50.0	49.4
18		20.68	46.4	46.0	46.0	46.0	46.5	47.5	46.4
19		19.93	44.1	44.5	44.0	44.0	45.0	44.5	44.4
20	1/2	19.20	41.8	42.5	42.0	42.8	42.8	43.0	42.6
21		18.44	39.7	40.0	40.0	40.0	40.8	40.0	40.2
22		17.67	37.6	37.5	37.5	37.5	38.0	38.0	37.7
23		16.90	35.5	35.0	35.0	35.0	35.5	35.0	35.1
24		16.13	33.4	33.0	32.5	33.5	34.0	33.0	33.2
25		15.38	31.4	31.5	30.5	31.5	31.5	31.0	31.2
26		14.63	29.3	29.0	29.0	29.0	30.0	28.5	29.1
27		13.86	27.2	27.5	26.5	27.5	28.0	26.5	27.2
28		13.13	25.1	25.0	24.5	25.0	25.5	24.5	24.9
29		12.44	23.0	23.5	23.0	23.0	23.5	23.0	23.2
30	1/4	11.76	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
31		11.09	19.2	19.5	19.0	19.5	19.5	18.0	19.1
32		10.45	17.5	17.5	16.5	17.0	18.0	16.0	17.0
33		9.90	16.1	15.5	15.0	15.0	16.0	14.5	15.2
34		9.43	14.8	15.0	13.0	14.0	15.0	13.0	14.0
35		8.96	13.6	14.0	11.5	12.0	12.5	12.0	12.4
36		8.50	12.3	12.5	10.5	11.0	11.5	11.0	11.3
37		8.04	11.1	11.0	9.0	10.0	10.0	9.5	9.9
38		7.60	9.8	10.0	8.0	9.0	9.0	8.0	8.8
39		7.16	8.6	9.0	7.0	8.0	8.0	7.0	7.8
40		6.73	7.3	7.5	5.5	6.5	7.0	6.0	6.5
41		6.30	6.0	6.0	4.0	5.0	6.0	5.0	5.2
42		5.90	4.8	5.0	3.0	4.0	5.0	4.0	4.2
43		5.51	3.5	4.0	2.5	3.0	4.0	3.0	3.3
44	LFW(on)	5.08	2.3	3.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.3
45	LFW(off)	4.65	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.2
46	EMPTY	4.24	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
47		3.85	0.0	1.0	-0.5	0.0	0.5	0.0	0.2
48		3.47	-0.5	0.0	-1.0	-1.0	-0.5	-1.0	-0.7
49		3.11	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.5	-2.0	-1.7
50		1.94	-2.0	-2.5	-3.0	-3.0	-2.5	-3.0	-2.8

이러한 장점들은 차량의 최초 설계 시 가장 문제가 되는 연료 시스템 설계의 정밀도를 높일 수 있다. 35 ℓ 연료 시스템에 제안한 설계 방법을 적용하여 연료 지침계 각도 동작율을 제어하고, 실제 측정 결과는 Table 3 에 나타낸 것과 같고 전체 구간에서 설계 결과와 실측치와의 최대 오차율은 3% 이하, 각도 환산치 0.5° 이하로 운전자가 인지할 수 없을 정도로 정확함을 알 수 있었다. 또한, 중대형 자동차의 연료 탱크 용량인 50 ℓ와 65 ℓ 연료 시스템의 경우도 같은 결과를 얻을 수 있었다.

따라서, 연료 시스템에서 어느 설계 인자가 바뀌더라도 관련된 부품에서 공용화 부품을 선정하게 되면, 선정된 부품을 기준으로 시스템 공용화 설계가 가능해져 양산 공정 손실과 시스템 개발의 손실, 재고 관리 및 혼입 등의 문제점을 해결할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 연료 시스템에 연관된 각 부품의 설계 인자들을 입력과 출력의 시스템으로 정의하여 시스템을 도식화하여 설계하고 이론 설계 값을 산출한 후, 실제 35 ℓ 연료 시스템을 대상으로 실험 검증하였고, 50 ℓ와 65 ℓ 연료 시스템을 대상으로 연구 결과의 경향성을 파악하였다. 본 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다

(1) 연료시스템에 연관된 부품의 설계 인자를 4 사분면 기법을 이용하여 도식화하는 기법을 개발하였다.

(2) 4 사분면 도식화 기법을 이용하여 연료시스템의 설계 자유도를 높일 수 있도록 연료 지침계의 동작 각도율을 선형적 제어, s-curve 제어, 일부 구간 제어로 나누어 확인 하였다.

(3) 연구된 제안 기법을 35 ℓ 연료시스템을 대상으로 적용하고 실측하여 전체 구간에서 설계 결과가 실측치와의 최대 오차율이 3% 이하, 각도 환산치 0.5° 이하로 정확함을 검증하였고, 50 ℓ와 65 ℓ 연료 시스템을 대상으로 연구 결과가 동일하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

(4) 연료시스템이 변경될 경우 관련된 부품의 시스템 설계 방법만을 변경하여 공용화 할 수 있도록 교차 코일 무브먼트를 대상으로 검증하였다.

본 연구에서 제시한 특성 선도를 이용한 연료시스템의 설계 방법은 신규 차량의 개발, 연료 시스템 변경 등으로 연료 시스템을 새로 개발해야 하는 경우에도 특성 선도를 이용하여 연료시스템 부품들의 설계 인자를 제어함으로써 부품의 공용화가 가능해지고 설계 자유도를 높여서 개발 손실, 재고 관리 및 혼입 등을 해결할 수 있다.

본 연구는 산업자원부. 한국산업기술평가원 지정 계명대학교 전자화자동차부품지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

(1) Kim, D. H., Lee, S. B. and Kim, B.M, 2005, “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.

(2) Ribbens, W. B., 2006, “Understanding Automotive Electronics,” *SAE*, ISBN 0-7680-1221-X, pp. 327~337.

(3) Nasser, S. H., Weissermel, V. and Wiek, J., 1998, “Computer Simulation of Vehicle’s Performance and Fuel Consumption under Steady and Dynamic Driving Conditions,” *SAE* Paper no. 981089.

(4) Tezuka, S. and Takahashi, K., 2005, “Development of a Personal Fuel Economy Meter Using OBD II,” *IPC-13*, pp.343~348.

(5) Barrueto, R. and Holmes, C., “Elementary Split-Ring Armature DC Motor,” *Electricity and Magnetism*, U.C. Berkeley Physics Lecture Demonstrations, 2006.

(6) Jung, W., Lee, D. S. and Kang, S. C., 2001, “Noise Reduction of Diesel Engine Using Helmholtz Resonator Theory,” *KSAE 2001*, Vol. 1, pp. 348~352.

(7) LM 1819 Air Core Meter Driver Handbook, National Semiconductor Corporation, 2004.

(8) Bodley-Scott, J., “Automotive Information System and Electronic Display,” *Instrumentation into the 1990*, Lucas Body System-Electronics, 1990.

(9) 2005 Matiz Repair Manual : Chassis/Body, GM Daewoo Auto. & Tech., 2005.

(10) Lee, S. B., 2007, “A Study of Fuel System Matching Method Using Characteristic Chart in Vehicle,” *Bulletin of the Institute for Industrial Science*, Keimyung Univ., To be published., ISSN 1225-4649, Vol. 30-1.