대한기계학회논문집 B권, 제27권 제11호, pp. 1563~1571, 2003

연료 조성에 따른 공연비 산정 (II)

- Eltinge 차트에서 미연 성분의 보상 -

엄 인 용† . 박 찬 준*
(2003년 2월 12일 접수, 2003년 7월 10일 심사완료)

Determination of Air Fuel Ratio According to Fuel Composition (II)

- Compensation of Unburned Gas Concentration in Eltinge Chart -

Inyong Ohm and Chanjun Park

Key Words: Air-fuel Ratio(공연비), Exhaust Gas(배기 가스), HC Compensation(탄화수소 보상), Eltinge Chart(엘틴지 차트), Spindt Equation(스핀트 식).

Abstract

This paper is the second part of several companion papers which compare the method of Air-fuel ratio(AFR) determination. In the previous paper, Eltinge chart was applied to the arbitrary fuel composition and the charts for gasoline, diesel, methanol, M85, liquefied petroleum gas(LPG), natural gas(NG), propane and butane were illustrated. In Eltinge chart, however, unburned hydrocarbon (UHC) is not used for determination of AFR. For improving accuracy, Eltinge suggested UHC compensation after the AFR reading in the chart. This compensation reduced the difference between real and reading value. In the compensation, however, the correction of oxygen and carbon dioxide is uncertain and there might be a mistake in conversion of UHC reading value. Therefore, the error is overestimated comparing with Spindt one which is most widely used. In addition, there is no comparison of the value with other useful methods. In this paper, the compensation of unburned HC was performed in Eltinge chart and the compensated value was compared with Spindts formula over wide range of AFR. The objects of investigating fuel are gasoline, methanol, NG and LPG. The result shows that Eltinge and Spindt method is flawlessly compatible and the difference between the two methods is under 0.3 % in a λ range from 0.9 to 1.7. The method for debugging instrumentation error is also presented.

기호설명

CUT : 건조 공기 1몰 당 총 건조 배기 몰 수
K : 수성 가스 반응 상수
M : 분자량
m : 연료 중 수소와 탄소의 원자 비(HCR)
n : 연료 중 산소와 탄소의 원자 비(OCR)
Y : 임의 화학종의 몰 수

† 책임저자, 회원, 서울산업대학교 기계공학과
E-mail : iyohm@snut.ac.kr
TEL : (02)970-6311 FAX : (02)949-1458
* 서울산업대학교 기계공학과

1. 서 론

내연기관의 실험에서 공연비의 정확한 결정은 데이터의 질을 좌우하는 매우 중요한 인자이다. 통상의 엔진 벤치 실험에서 공연비는 흡입 효율의 결정에 큰 영향을 주고 부분부하 성능 시험을 공연비에 따른 배기 특성으로 희박연소 한계까지 실험하는 경우 이의 중요성은 더욱 커진다.[1] 특히 가솔린 직분식, 희박연소 또는 디젤 엔진의 경우 이론혼합비 보다 훨씬 희박한 공연비에서

운전되는 경우가 많으므로 이의 정확한 결정은 정확한 엔진 성능지표의 확보라는 측면에서도 중요하다.

이전의 연구에서는 다양한 연료 조성에 대하여 Eltinge 차트를 작성하고 그 특징에 대하여 논의하였다.[2] 기본적으로 차트의 작성에는 미연 성분에 관한 고려가 없기 때문에 미연 성분만큼 공연비를 보상해 주어야만 정확한 공연비를 구할 수 있다. Eltinge도 미연 성분의 보상에 대하여 논의하였지만 O_2와 CO_2의 보상에 오류가 있는 것으로 판단되며 이 오류에 의해 Spindt 식과 비교된 경우 오차가 1~2% 경우에 따라 3%가 넘는 경우도 발생하였다.[3] 또한 제시된 미연탄화수소(HC)의 측정치가 통상적인 엔진에서 배출되는 수준과 매우 큰 차이를 보여주고 있고, 분석기 지시치에 대한 오류를 범한 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 여러 연료를 대상으로 Eltinge 차트에서 새로운 미연성분 보상법을 제시하고 이를 이용해 Spindt 식의 결과와 비교하였다. 아울러 차트를 이용한 보상된 공연비 판독법에 대하여 논의해 보도록 하겠다.

2. 공연비 계산식

2.1 Spindt 식

Spindt 식은 CO 발생을 보상하기 위한 열 해리 상수에 대한 가정 외에 다른 가정이 없고 식 자체에도 미연 성분을 포함하고 있으며 식의 유도 과정이 엄밀하여 비교적 넓은 범위의 공연비에서 정확한 값을 보인다. 이러한 이유로 Spindt 식은 현재 공연비 계산의 기준으로 쓰이고 있으며 계산식은 다음과 같다.[4]

$$AF_{Sp} = FB\left[\,11.492\times FC\frac{1+\frac{R}{2}+Q}{1+R} + 120\times FH\frac{1}{3.5+R}\right] \tag{1}$$

$$FB=\frac{CO(\%)+CO_2(\%)}{CO(\%)+CO_2(\%)+\frac{THC(ppmc)}{10000}} \tag{2}$$

$$FC=\frac{12.011}{12.011+1.00797\times m} \tag{3}$$

$$FH=1-FC,\ R=\frac{CO}{CO_2},\ Q=\frac{O_2}{CO_2} \tag{4}$$

여기서 FB는 총 연료에 대한 기연 연료의 몰비이고 FC는 연료 중 탄소의 중량비, FH는 수소의 중량비라는 의미를 가지고 있다. 원래의 Spindt 식에는 연료에 포함된 산소는 고려되지 않았다. 본 논문에서는 산소가 함유된 연료 즉 메탄올이나 M85와 같은 연료의 공연비 계산을 위하여 Spindt 식이 다시 유도되었는데 산소를 고려하여 확장된 공연비 계산식은 다음과 같다.

$$AF_{Sp}= FB[11.492\times FC\frac{1+\frac{R}{2}+Q}{1+R} + 120\times FH\frac{1}{3.5+R} - 11.492\times FC\times\frac{n}{2}] \tag{5}$$

$$FC=\frac{12.011}{12.011+1.00797\times m+15.999\times n} \tag{6}$$

$$FH=\frac{1.00797}{12.011+1.00797\times m+15.999\times n} \tag{7}$$

여기서 m과 n은 각각 연료에서 탄소원자에 대한 수소, 산소의 원자 비를 나타내는 HCR과 OCR이며 OCR이 0이 되면 원래의 식 (1)과 같아짐을 알 수 있다.

2.2 기준 배기 가스의 선정

공연비 계산 결과의 비교를 위해 넓은 공연비의 범위에 걸쳐 다양한 성질의(예를 들면 Eltinge가 지적했듯이 불균일 분포의 정도가 다른) 혼합기를 만들고 또 이를 오차 없이 분석기로 측정한다는 것은 불가능하다. 상기에서 언급한 모든 식들은 Part I에서도 지적한 바와 같이 배기 조성에 대해 아무런 정보를 제공하지 못한다. 심지어 물리적으로 불가능한 조성의 배기 값을 대입하여도 공연비는 계산이 가능하다. 이에 비해 Eltinge의 방법에서는 공연비와 연료의 불균일도가 주어지면 그에 따라 가능한 배기 조성은 단 한가지 조합만 가능하다. 그리고 미연탄화수소의 보상만 적절히 하면 식 자체의 가정의 우수성과 엄밀한 수학적 모델로 인해 Spindt 식보다 정확하다고 볼 수 있다.

이에 따라 본 논문에서는 Eltinge 에 의한 배기 조성을 기준으로 하고, 미연 혼합기가 존재할 때 그 미연 혼합기만큼 O_2와 CO_2의 농도를 보상하여 공연비를 수정하고 최종 산정치를 Spindt 계산 방법과 비교하고자 한다.

2.3 기준 배기 가스의 미연탄화수소의 보상

Eltinge는 가솔린을 C6로 가정하였고 미연탄화수소 보상을 NDIR(non dispersive infrared: 비분산 적외선 검출) 측정치 또는 C3을 기초로 한 FID(flame ionization detecter: 화염 이온화 검출법) 측정치에 기초를 두고 NDIR 측정의 경우 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$\overline{O_2} = O_2 - 19.0 \cdot HC \times 10^{-4} \quad (8)$$

여기서 FID 측정의 경우 상기 식의 절반에 해당하는 값을 보정하였다. 이 보정에 오류가 있는 것으로 판단되며, 이 경우 C1을 기준으로 할 때 화학방정식에 기초하면 O_2의 보정치는 THC(Total HC) 1몰 당 1+m/4몰의 보정이 필요하므로 C6인 경우는 식(9)와 같이 되어야 한다.

$$\overline{O_2} = O_2 - 9.5 \cdot HC \times 10^{-4} \quad (9)$$

본 논문에서는 Eltinge의 보상 방법과 달리 전체 공연비 범위에 걸쳐 C1을 기준으로 하여 새로운 보상 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 우선 Eltinge 방식에 따라 구한 배기 조성에서 미연 성분을 고려하여 배기 조성을 보상하여 수정된 조성을 구하였다. 수정된 배기 조성에는 미연 성분이 포함되므로 이를 Spindt를 포함한 기타의 산정법과 비교가 가능하다. 보상의 방법은 다음과 같다.

Eltinge 방법에서는 미연 성분이 없다고 가정하였으므로 임의의 성분 i의 몰(mol) 수 Y는 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$Yi_t = Yi_u + Yi_b \quad (10)$$

여기서 하첨자 t는 완전 연소 또는 총량을 의미하고 u는 미연 성분 그리고 b는 연소 성분을 뜻한다. 일반적 화학방정식에서 미연 성분의 연소가 완전히 진행된다면

$$CH_mO_n + aO_2 + 3.764aN_2$$

$$\rightarrow CO_2 + \frac{m}{2}H_2O + 3,764aN_2 \quad (11)$$

$$\text{여기서 } a = (1 + \frac{m}{4} - \frac{n}{2})$$

상기 식에서 미연 성분인 탄화수소가 발생한 경우 C1(ppmc)을 기준으로 한 1몰의 미연탄화수소가 반응하면 CO_2 1몰이 증가하고 1+¼m-½n 몰의 O_2가 감소한다. 따라서 완전 연소를 가정한 몰 수에서 측정된 미연탄화수소가 반응하였을 때의 CO_2와 O_2의 양을 보상하면 미연탄화수소 1몰 당 CO_2 1몰의 감소, O_2 1+¼m-½n몰의 증가를 고려하면 된다. 반응에 따라 배기 총 몰 수의 변화도 따르나 통상 미연탄화수소는 수천 ppmc 정도이고 이의 반응에 의해 총 배기 몰 수에 미치는 영향은 가솔린의 경우 C7의 헵탄으로 가정하면 2000 ppmc에 대해 0.06% 정도이므로 무시할 수 있다.

따라서 미연탄화수소가 존재할 때 수정된 CO_2, O_2의 농도는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\overline{O_2} = O_2 + 100 \cdot \frac{a}{CUT} \cdot THC \times 10^{-6} \quad (12)$$

$$\overline{CO_2} = CO_2 - 100 \cdot \frac{1}{CUT} \cdot THC \times 10^{-6} \quad (13)$$

여기서 CUT는 건조공기 1몰 당 건조 배기의 총 몰 수이다. 통상 CUT는 0.95~1.00 사이이므로 이를 무시하여도 무방하다.

동일한 방식으로 배기 가스를 분석기로 측정하고 Eltinge 차트를 사용하는 경우는 아래의 식과 같이 보상할 수 있다.

$$\overline{O_2} = O_2 - 100 \cdot \frac{a}{CUT} \cdot THC \times 10^{-6} \quad (14)$$

$$\overline{CO_2} = CO_2 + 100 \cdot \frac{1}{CUT} \cdot THC \times 10^{-6} \quad (15)$$

실제 공연비 결정에서 이러한 방식으로 미연탄화수소를 보상하면 정확한 공연비를 얻을 수 있으나 비교적 번거로운 작업이다. 따라서 일단 측정된 배기 성분으로 공연비를 결정한 후 미연탄화수소의 발생량만큼 공연비를 근사적으로 다음과 같이 보상할 수 있다. 측정된 배기 성분으로 공연비를 결정하였다면 그 때 읽혀진 공연비는

다음과 같다.

$$AF_{El}=\frac{Y_a \cdot M_a}{Y_{bf} \cdot M_f} \tag{16}$$

미연 성분을 고려하면 수정된 공연비는

$$\overline{AF_{El}}=\frac{Y_a \cdot M_a}{Y_{bf} \cdot M_f + Y_{uf} \cdot M_f} \tag{17}$$

이 식에 상기 식 (16)을 대입하면

$$\begin{aligned}\overline{AF_{El}} &= \frac{AF_{El} \cdot Y_{bf} \cdot M_f}{Y_{bf} \cdot M_f + Y_{uf} \cdot M_f} \\ &= AF_{El}\left(\frac{1}{1+\frac{Y_{uf}}{Y_{bf}}}\right) \\ &\approx AF_{El}\left(1-\frac{Y_{uf}}{Y_{bf}}\right)\end{aligned} \tag{18}$$

여기서 $1/(1+Y_{uf}/Y_{bf})$는 총 연료 중 기연부분의 비이므로 Spindt 식의 FB와 같으며, 식 (18)은 탄소 균형으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\overline{AF_{El}} \approx AF_{El}\left(1-\frac{THC\times 10^{-4}}{CO_2+CO}\right) \tag{19}$$

이 식은 더 근사적으로 표현할 수 있는데 HCR=1.85인 가솔린의 경우라면 이론혼합비에서 완전 연소일 경우 다음과 같은 화학방정식을 따른다.

$$\begin{aligned}&CH_{1.85}+(1+1.85/4)(O_2+3.764N_2) \\ &\rightarrow CO_2+1.85/2H_2O+5.50485N_2\end{aligned} \tag{20}$$

여기서 1몰의 연료가 연소 반응하였다면 건조 배기를 기초로 한 THC의 농도는 아래 식과 같다.

$$\begin{aligned}THC(ppmc) &\approx \frac{Y_{THC}}{6.50} \\ \frac{Y_{uf}}{Y_{bf}} &= 6.50 \cdot THC(ppmc)\,10^{-6}\end{aligned} \tag{21}$$

$$\overline{AF_{El}} \approx AF_{El}\left(1-6.5\times THC\times 10^{-6}\right) \tag{22}$$

와 같이 보상할 수 있다.

미연 성분에 대한 CO의 변화는 미미하므로 무시할 수 있고 NOx는 미연 성분과는 달리 존재 자체가 CO_2 발생에 영향을 미치지 않고 이를 보상하여도 O_2 농도의 변화도 미연탄화수소에 비해 상대적으로 적어 0.1% 미만이므로 역시 무시할 수 있다.

3. 공연비 비교

3.1 차트의 판독과 측정 오차 분석

Fig. 1에 전형적인 차트의 판독 방법과 수정된 차트의 판독 그리고 오차 한계에 대한 그래프를 나타내었다.

공연비의 결정은 분석기 등을 통해 읽은 배기 값 즉 O_2, CO, CO_2를 차트에서 찾아 그리면 삼각형이 나타난다. 이 삼각형의 중심에서 우상향으로 그려진 공연비 값에 해당하는 값을 읽으면 공연비를 알 수 있다. 상기 그림에서는 실제 가솔린 엔진 시험을 통하여 나온 배기 값을 이용하였는데 그 값과 공연비를 계산한 결과는 Table 1에 나타내었다.

먼저 차트에서 미연탄화수소가 보상되지 않은 경우 차트에서 공연비 값에 해당하는 값을 읽으면 이 경우 14.84임을 알 수 있다. 다시 식 (12),

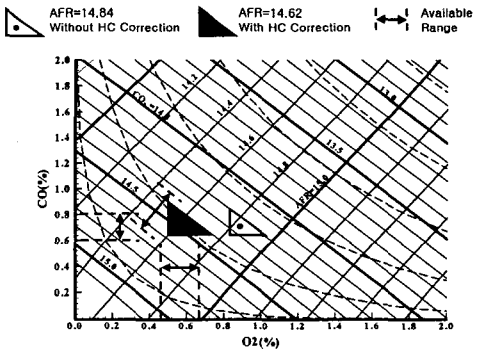

Fig. 1 Reading of AFR in Eltinge Chart and Determination of Instrumentation Error

Table 1 Exhaust Emission and AFR

CO_2 (%)	O_2 (%)	CO (%)	THC (ppmc)	NOx ppm	AF_{Sp}*	AF_{El}**	AF_{El}***
14.20	0.83	0.64	2054	1441	14.64	14.84	14.62

* : AFR by Spindt
** : AFR by Eltinge without HC Correction
*** : AFR by Eltinge with HC Correction

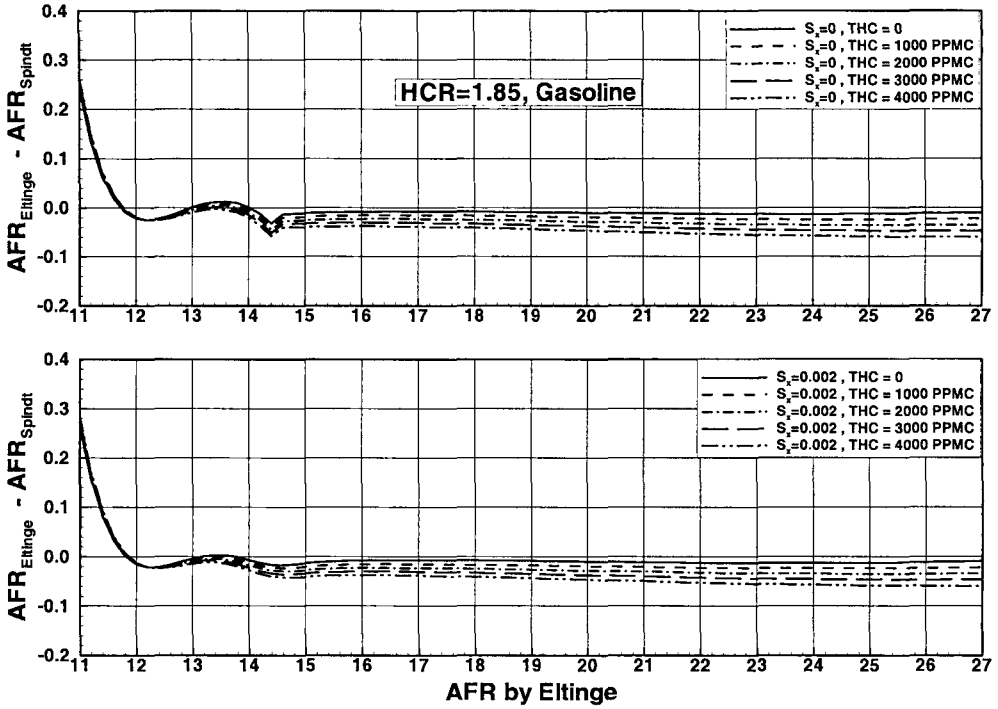

Fig. 2 Comparison of Eltinge and Spindt Equation(Gasoline, S_x=0 and S_x=0.002)

(13)의 방법으로 O_2와 CO_2를 보상하여 공연비를 읽으면 14.62 정도의 값을 얻을 수 있다. Table 1에서 알 수 있듯이 미연탄화수소를 보상한 경우 Spindt와 Eltinge의 공연비 계산은 0.1% 정도의 차이를 나타내는데 이로써 두 식은 그 결과가 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

공연비를 결정하고 난 이후 분석기의 지시치가 오차의 범위 내에서 이상 없이 작동하였는지 또는 채집과정 중에 누출의 문제 등이 발생하였는지를 차트를 통해 점검하는 과정은 다음과 같다.

보상된 공연비 또는 보상되지 않은 공연비에서 오차가 없다고 가정한 배기 성분을 유추한다. 여기서 보상된 공연비를 기준으로 하여 예를 들기로 한다. 판독된 공연비에서 차트를 만족시키는 배기 성분의 조합은 CO_2, O_2, CO 각각 14.49, 0.56 0.70%이다. 통상 분석기는 1% 이내의 오차 또는 지시치의 흔들림(drift)을 허용하고 CO_2의 경우 대략 15% 그리고 O_2, CO의 경우 10% 내외의 범위를 사용하므로 오차를 고려하면 CO_2는 14.35~14.65 O_2는 0.45~0.65 CO는 0.60~0.80 사이의 값이 분석기에서 읽혀야 한다. 이 가용 범위도 Fig. 1에 나타내었다. 이 값의 범위를 벗어난 경우 분석기의 오차 또는 배기계나 채집 과정 중의 누출을 점검해야 한다. 통상 누출이 일어난 경우 O_2의 지시치가 비정상적으로 크게 나타나므로 쉽게 판정할 수 있고 기타의 경우 스판(span) 또는 NDIR에서 직선성의 확인이 필요하다.

Table 2 Triangle Orientation

Exhaust Values	Triangle Orientation	
	◺	◹
O2	lower	higher
CO	lower	higher
CO2	lower	higher

통상적으로 배기 가스 중에는 미연 성분이 존재하고 분석기의 오차가 없다고 가정하여도 미연 성분에 의한 CO_2, O_2의 변화가 있으므로 촉매를 거치지 않은 경우 차트에서 배기 성분이 한 점으로 모일 수는 없다. 분석기를 통해 읽은 배기 값으로 공연비를 결정할 때 삼각형의 형태에 따라 각 배기의 지시치는 실제의 배기와 비교할 때 다음의 표와 같은 상태를 나타낸다.

차트상의 임의의 공연비는 완전 연소를 가정한

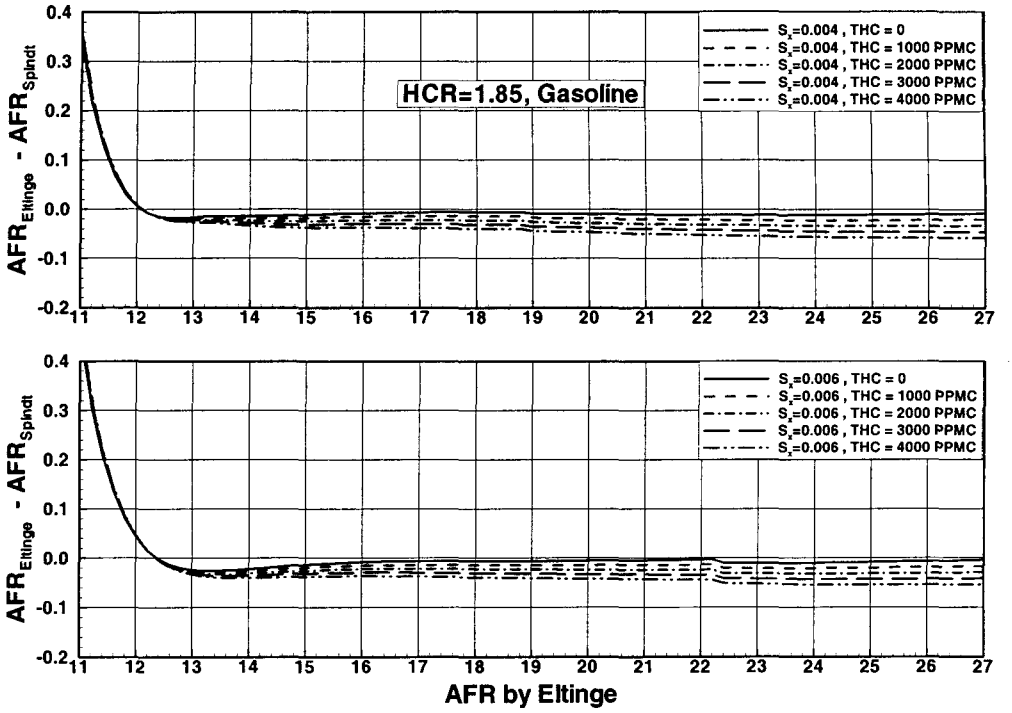

Fig. 3 Comparison of Eltinge and Spindt Equation(Gasoline, S_x=0.004 and S_x=0.006)

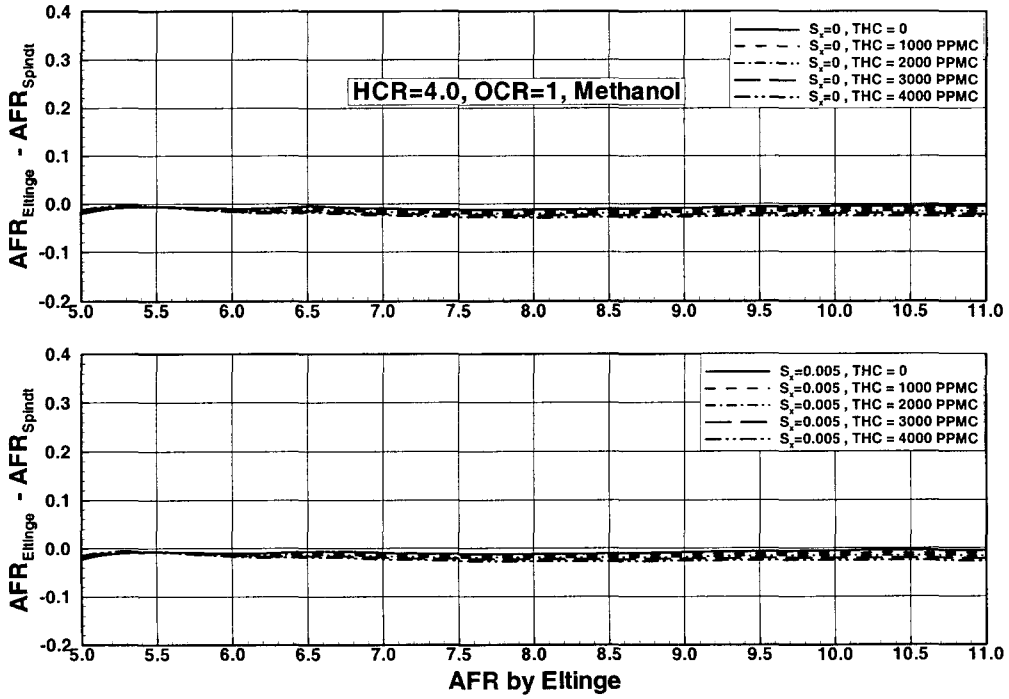

Fig. 4 Comparison of Eltinge and Spindt Equation(Methanol, S_x=0 and S_x=0.005)

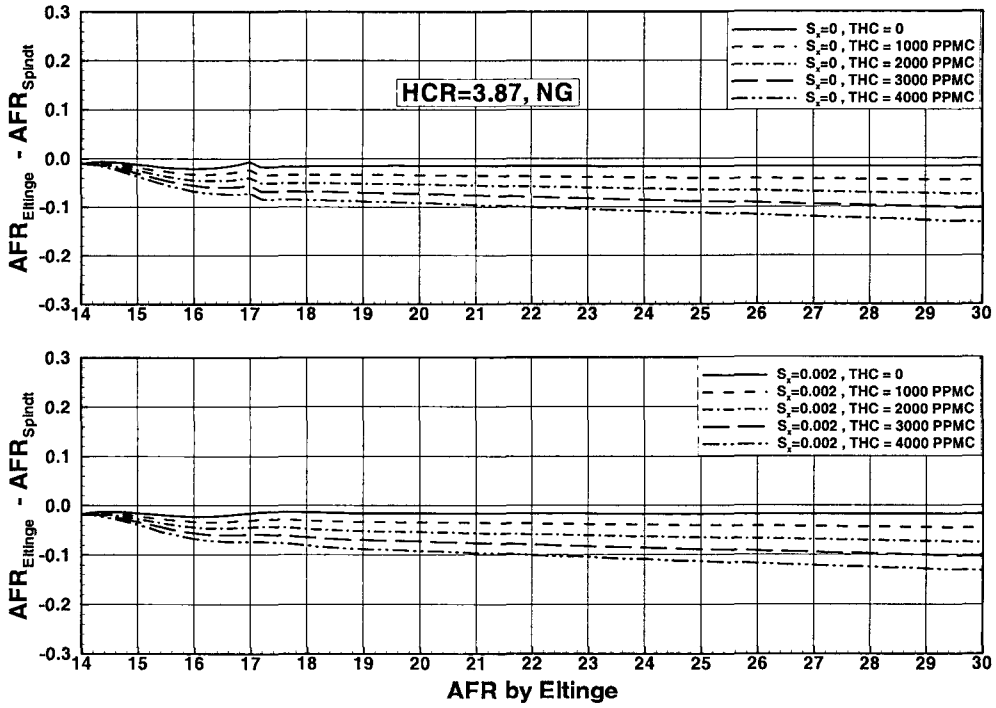

Fig. 5 Comparison of Eltinge and Spindt Equation(NG, S_x=0 and S_x=0.002)

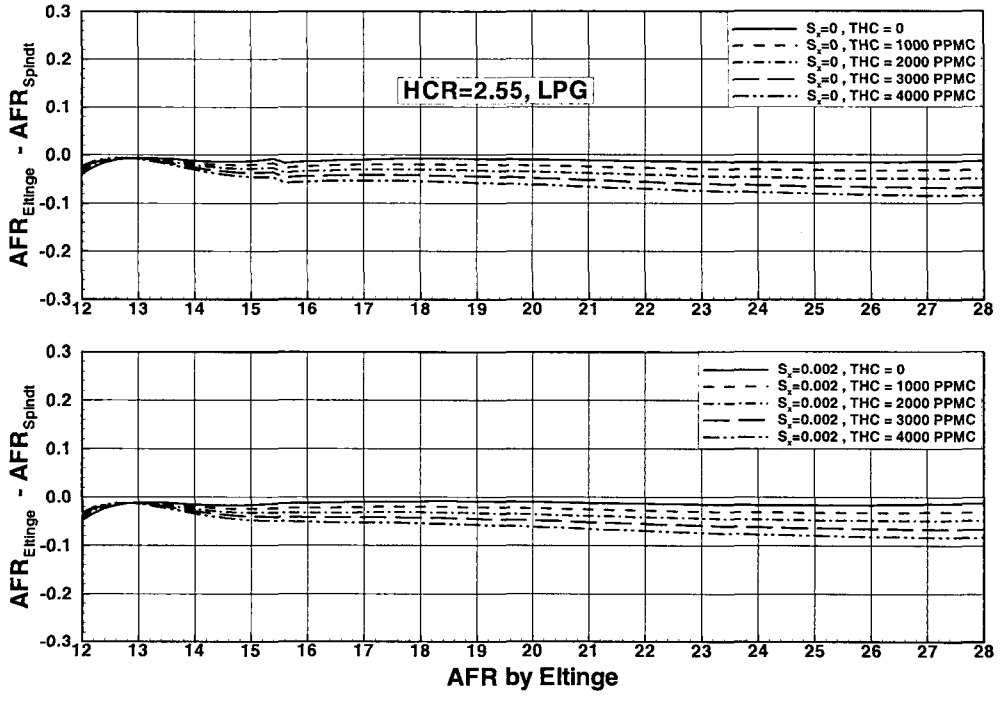

Fig. 6 Comparison of Eltinge and Spindt Equation(LPG, S_x=0 and S_x=0.002)

것이고 여기에 미연 성분이 존재한다면 실제 배기 상태에서는 CO_2는 줄어들고 O_2는 증가하며 나타날 것이다. 이를 차트에 반영하면 차트의 삼각형의 모양은 항상 정의 삼각형(◺)이 나오게 되어 있다.

그 외에 NOx에 의한 효과를 고려하면 정의 삼각형은 O_2가 낮아지는 방향으로 작용하므로 그 크기가 더 커지는 경향이 있다. 역삼각형은 통상 이론 공연비 부근에서 나타나지 않고 주로 희박 영역이나 과농 영역에서 관찰된다. Table 2에 삼각형의 형태와 그때 배기 지시치의 특성을 나타내었다.[3]

3.2 수정된 공연비의 비교

지금까지 Eltinge 차트의 판독과 활용 그리고 오차 등에 대해 논의하였다. 여기서는 여러 다양한 연료에 Eltinge 차트를 적용하였을 때 그 값이 Spindt의 방식과 어느 정도의 차이를 가지고 있는지 살펴보겠다.

Fig. 2~Fig. 6에 현재 자동차용 연료로서 사용되는 대표적 연료인 가솔린($CH_{1.85}$), 메탄올(CH_4O), 천연가스(NG, $CH_{3.87}$), 액화석유가스(LPG, $CH_{2.55}$)의 공연비를 Eltinge와 Spindt 공식으로 계산하여 그 차이를 나타내었다. 도시하지 않은 연료 디젤, M85, 프로판 등은 HCR이 비슷한 가솔린, 메탄올, LPG를 참고하면 된다.

먼저 Fig. 2, 3에 나타난 가솔린의 경우 공연비 12 이하의 농후한 지역에서는 그 차이가 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 차이는 공연비가 농후할수록 심해지는 경향이 있다. 12 이후의 공연비에서는 대체로 그 차이가 0.05 이하의 값에서 비교적 잘 일치하고 있으며 이 차이는 공연비가 희박할수록 그리고 미연탄화수소가 많을수록 커짐을 알 수 있다. 12이하의 공연비를 제외하면 대체로 Spindt에 의한 공연비가 약간 희박하게 계산되는 것을 알 수 있으며 흥미 있는 것은 S_x가 0(즉 완전 균질 혼합기)이거나 S_x가 작을수록 이론 혼합기 부근과 공연비 13~14 부근에서 변동이 심해지는 경향이 있다. 과농 구간에서의 차이와 균질 혼합기에서의 차이가 발생하는 원인은 CO의 발생 모델의 차이에 기인한 것이며 양자를 비교하였을 때 좀더 엄밀한 열 해리 모델을 적용한 Eltinge의 결과가 실제에 더 가까운 값을

Table 3 Comparison of Eltinge and Spindt AFR

S_x	THC	AF_{Sp}	AF_{El}	Dev.(%)
0	0	13.00	13.00	0
		14.61	14.60	0.07
		25.01	25.00	0.04
	4000	13.01	13.00	0.08
		14.64	14.60	0.27
		25.06	25.00	0.24
0.004	0	13.02	13.00	0.15
		14.61	14.60	0.07
		25.01	25.00	0.04
	4000	13.03	13.00	0.23
		14.64	14.60	0.27
		25.06	25.00	0.24

Table 4 Exhaust Emission and AFR

CO_2 (%)	O_2 (%)	CO (%)	THC (ppmc)	AF_{Sp}	AF_{El}	Dev. (%)
10.62	0.09	7.56	2345	11.61	11.75	-1.19
11.05	0.08	6.87	2327	11.84	11.94	-0.83
12.80	0.27	3.71	2580	13.04	13.02	-0.15
12.94	0.23	3.52	3814	13.00	12.98	-0.15
14.28	0.77	0.69	1960	14.58	14.56	0.14
14.61	0.86	0.35	2184	14.76	14.75	0.07
14.64	0.73	0.47	2989	14.55	14.55	0
10.83	6.04	0.12	1962	19.62	19.60	0.10
9.10	8.72	0.11	3686	22.98	22.90	0.35

나타낸다고 사료되며 이는 추후에 자세히 논의하겠다.

두 계산 결과를 최대 발열 공연비 13 부근, 이론 혼합비 그리고 희박 영역에 대해 비교하여 그 차이를 Table 3에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 S_x가 클수록 그리고 미연탄화수소가 많을수록 차이는 커지나 공연비 영역 13~25에서 그 차이는 최대 0.3%를 넘지 않는다. 따라서 두 식은 거의 정확히 일치하고 있음을 알 수 있고 어느 방식으로 계산하여도 실용 범위 내에서 양자간의 호환성은 확보된다.

양자의 호환성이 Eltinge의 계산에 근거한 배기 성분을 기초로 한 공연비가 아닌 실제 측정한 배기 성분에서도 상기와 같이 존재하는 것을 확인하기 위해 몇 가지 실제 측정 예에 대해 비교한

Table 5 Comparison of Eltinge and Spindt AFR (Methanol, THC=2000 ppmc)

Fuel	AF_{Sp}	AF_{El}	Dev.(%)
Methanol (S_x=0.005)	5.81	5.80 (λ =0.9)	0.17
	6.48	6.47 (λ =1.0)	0.15
	11.01	11.00 (λ =1.7)	0.09

Table 6 Comparison of Eltinge and Spindt AFR (NG and LPG, THC=2000 ppmc)

Fuel	AF_{Sp}	AF_{El}	Dev.(%)
NG (S_x=0.002)	15.44	15.40 (λ =0.9)	0.26
	17.12	17.08 (λ =1.0)	0.23
	29.07	29.00 (λ =1.7)	0.24
LPG (S_x=0.002)	14.02	14.00 (λ =0.9)	0.14
	15.55	15.52 (λ =1.0)	0.19
	26.45	26.40 (λ =1.7)	0.19

것을 Table 4에 제시하였다.

Table 4에 제시된 바와 같이 실제 배기 가스를 근거로 공연비를 결정하여도 Spindt와 Eltinge는 거의 같은 값을 나타내며 극히 농후한 공연비 구간을 제외하면 오차도 최대 0.2%를 넘지 않는다. 농후한 구간에서 오차가 커지는 것은 이미 Fig. 2, 3에서 확인한 바 있다. 따라서 미연탄화수소 보상을 새로이 함으로써 처음 Eltinge가 계산하였던 통상적인 오차 1～2%, 최대 3% 이상과는 비교할 수 없을 만큼 정확도가 증가하였음을 알 수 있다. 이를 통해 다시 양 계산 방법간의 호환성을 확인할 수 있다.

기타 메탄올과 NG 그리고 LPG에 대한 공연비 계산의 차이를 보면 대체로 가솔린의 경우에서 발생한 것과 같은 경향을 나타내고 있다.

다만 이들 연료는 이론공연비보다 농후한 공연비에서 CO의 발생이 가솔린 보다 현저히 낮은 특성을 가지고 있다. 따라서 CO 발생 모델이 결과에 큰 영향을 주지 않아 가솔린에서 나타난 과농 공연비에서 계산 결과의 차이가 벌어지는 현상이 거의 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 이들 연료에 대한 공연비 차이를 THC=2000 ppmc에 대해서만 Table 5, 6에 나타내었는데 이들 연료도 역시 0.3% 이내의 차이를 나타내고 있어 역시 실용 범위에서 호환성이 유지되고 있다.

특히 Methanol의 경우 전 공연비 구간에 걸쳐 오차가 0.2% 이하로 이 정도의 차이는 계산에서 유효숫자 처리에 의한 오차 정도이므로 매우 완벽하게 일치하고 있음을 알 수 있다

4. 결 론

Eltinge의 공연비 결정 방법에서 미연 성분을 새로이 보상하였으며 이를 다양한 연료에 대해 Spindt의 계산식과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가솔린의 경우 배기 중 미연 성분을 보상하면 Eltinge의 결과는 공연비 12 이하의 과농 영역을 제외하고 Spindt의 계산과 0.3% 이내의 오차를 갖는다.

(2) 실제 측정된 배기 가스를 기준으로 계산하여도 Eltinge와 Spindt 계산은 공연비 13 - 19에서는 0.2% 이내로 13 - 23 에서는 1% 이내로 거의 완벽하게 호환된다.

(3) 가솔린 이외의 연료도 λ=0.9 - 1.7의 실용 공연비 범위 내에서 Eltinge와 Spindt 계산은 0.3 % 이내로 거의 완벽하게 호환된다.

(4) 미연 성분을 보상한 배기 조성을 이용해 Eltinge 차트에서 배기 성분의 지시치를 구체적인 범위 내에서 검증할 수 있다.

참고문헌

(1) Wongeun Lee, Inyong Ohm, 2001, "Effects of the Method of Changing Compression ratio on Engine Performance in an SI Engine," *Transaction of Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 9, No. 4, pp. 27～33.

(2) Inyong Ohm and Chanjun Park, 2003, "Determination of Air Fuel Ratio according to Fuel Composition : I -Eltinge Chart as a Reference Exhaust Composition," *Transaction of the KSME* submitted.

(3) Lamont Eltinge, 1968 "Fuel-Air Ratio and Distribution from Exhaust Gas Composition," *SAE Paper 680114.*

(4) Spindt, R.S., 1965, "Air-Fuel Ratio From Exhaust Gas Analysis," *SAE paper 650507.*