Collection @ chosun

creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000238416

Collection @ chosun

2009年 8月
博士學位論文

엔진 냉각수에 부동액 혼합이 배출가스에 미치는 영향

조선대학교 대학원

기계공학과

홍 성 인

Collection @ chosun

엔진 냉각수에 부동액 혼합이 배출가스에 미치는 영향

Effect of antifreeze concentration to exhaust gas in engine coolant

2009년 8월

조선대학교 대학원

기계공학과

홍 성 인

Collection @ chosun

엔진 냉각수에 부동액 혼합이 배출가스에 미치는 영향

지도교수 홍 명 석

이 논문을 기계공학 박사학위신청 논문으로 제출함

2009년 8월

조선대학교 대학원

기계공학과

홍 성 인

Collection @ chosun

홍성인의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 진 홍 인

위 원 조선대학교 교수 정 낙 규 인

위 원 조선대학교 교수 오 율 권 인

위 원 조선대학교 교수 조 홍 현 인

위 원 조선대학교 교수 홍 명 석 인

2009년 6월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

목차

LIST OF TABLES
LIST OF FIGURES
ABSTRACTS
제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구배경 및 목적 ····· 1
1.1.1. 부동액(Antifreeze) ····· 1
1.1.2. 자동차 배출가스의 규제 ····· 3

제 2 장 이론적고찰 ····· 5
2.1. 배기가스분석 ····· 5
2.1.1. CO(carbon monoxide) ····· 5
2.1.2. HC(unburned hydro carbon) ····· 5
2.1.3. NOx(질소산화물) ····· 6
2.2. 엔진배출물 생성원인 ····· 7
2.2.1. 자동차엔진 연소 ····· 7
2.2.2. 일산화탄소(CO)의 발생 ····· 10
2.2.3. 탄화수소(HC)의 발생 ····· 12
2.2.4. 질소산화물(NOx)의 발생 ····· 13
2.3. 부동액 비율이 냉각성능에 미치는 영향 ····· 19
2.3.1. 엔진헤드 금속면의 온도 변화 ····· 19
2.3.2. 부동액 농도와 어는점 ····· 21

제 3 장 실험방법 및 장치 ····· 23
3.1. 실험장치 구성 및 실험규격 ····· 23
3.1.1. 배기가스 정밀측정장치 구성 ····· 23
3.1.2. 측정방법 ····· 24
3.2. 실험장치 ····· 27
3.2.1. 휴대용 굴절계 ····· 27
3.2.2. 자동차 배출가스 측정기 ····· 28
3.2.3. 파형측정기 ····· 30
3.2.4. 차대동력계 ····· 32

Collection @ chosun

3.3. 실험방법 ····· 35

제 4 장 실험결과 및 고찰 ····· 38
4.1. 부동액 농도에 따른 CO 측정 결과 및 고찰 ····· 38
4.1.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop) ····· 38
4.1.2. 부동액 농도 0%(Open Loop) ····· 39
4.1.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 40
4.1.4. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 41
4.1.5. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 42
4.1.6. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 43
4.1.7. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 45
4.1.8. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 46
4.1.9. 부동액 농도 변화에 대한 CO배출 결과 고찰 ····· 47
4.2. 부동액 농도에 따른 HC 측정 결과 및 고찰 ····· 53
4.2.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop) ····· 53
4.2.2. 부동액 농도 0%(Open Loop) ····· 54
4.2.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 55
4.2.4. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 56
4.2.5. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 57
4.2.6. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 58
4.2.7. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 60
4.2.8. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 61
4.2.9. 부동액 농도 변화에 대한 HC배출 결과 고찰 ····· 62
4.3. 부동액 농도에 따른 NOx 측정 결과 및 고찰 ····· 68
4.3.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop) ····· 68
4.3.2. 부동액 농도 0%(Open Loop) ····· 69
4.3.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 70
4.3.4. 부동액 농도 40%(Closed Loop) ····· 71
4.3.5. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 72
4.3.6. 부동액 농도 60%(Closed Loop) ····· 74
4.3.7. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 75
4.3.8. 부동액 농도 100%(Closed Loop) ····· 77
4.3.9. 부동액 농도 변화에 대한 NOx배출 결과 고찰 ····· 78
4.4. 부동액 농도에 따른 CO. HC. NOx의 배출결과 고찰 ····· 84

Collection @ chosun

4.5. 부동액 농도에 따른 기타 배출가스에 대한 고찰 ····· 87

제 5 장 결 론 ····· 98
참 고 문 헌

Collection @ chosun

List of Figures

Fig.1 The Concentration of Exhaust Gas with λ(Gasoline Engine) ····· 9
Fig.2 Mole Fraction with λ ····· 10
Fig.3 The Concentration of Exhaust Gas with λ(Gasoline Engine) ····· 11
Fig.4 Reduction of Mass NO ····· 16
Fig.5 Change of NO at Spark Timing ····· 17
Fig.6 NO Concentration with Crank Angle ····· 17
Fig.7 Effect of NOx with Oxygen Concentration ····· 18
Fig.8 Variation of Metal Temperature with Antifreeze Concentration ····· 19
Fig.9 Variation of DBL with Antifreeze Concentration ····· 20
Fig.10 The Freezing Point with Antifreeze Concentration ····· 22
Fig.11 Component Part of Portable Refractometer ····· 27
Fig.12 Portable Refractometer ····· 28
Fig.13 Display of Portable Refractometer ····· 28
Fig.14 Clean Air I/M 8000 ····· 28
Fig.15 Display of Hi-Ds at Closed Loop ····· 31
Fig.16 Display of Hi-Ds at Open Loop ····· 31
Fig.17 Power Absorption Unit ····· 33
Fig.18 Cooling Water for Experiment ····· 35
Fig.19 Experiment Picture ····· 37
Fig.20 CO Emission Graph of Exhaust Gas ····· 50
Fig.21 CO Emission Graph of Exhaust Gas(Closed Loop) ····· 51
Fig.22 CO Emission with Antifreeze Concentraion at C.L and O.L ····· 52
Fig.23 HC Emission Graph of Exhaust Gas ····· 65
Fig.24 HC Emission Graph of Exhaust Gas(Closed Loop) ····· 66
Fig.25 HC Emission with Antifreeze Concentraion at C.L and O.L ····· 67
Fig.26 NOx Emission Graph of Exhaust Gas ····· 81
Fig.27 NOx Emission Graph of Exhaust Gas(Closed Loop) ····· 82
Fig.28 NOx Emission with Antifreeze Concentraion at C.L and O.L ····· 83
Fig.29 CO, HC, NOx Emission with Antifreeze Concentration at C.L ····· 85
Fig.30 CO, HC, NOx Emission with Antifreeze Concentration at O.L ····· 86
Fig.31 CO_2 Emission at C.L and O.L ····· 96
Fig.32 0 O_2 Emission at C.L and O.L ····· 96

Collection @ chosun

Fig.33 λ Emission at C.L and O.L ····· 97

Collection @ chosun

List of Tables

Table 1 The Properties of Antifreeze ····· 3
Table 2 Euro 1~ 4 ····· 4
Table 3 Air fuel ratio ····· 7
Table 4 KC distribution ratio in the THC ····· 12
Table 5 Load Horse Power ····· 25
Table 6 Portable Refractometer Specification ····· 27
Table 7 Clean Air I/M 8000 Specification ····· 29
Table 8 Dynamo Specification ····· 32
Table 9 Car Specification for Experiment ····· 35
Table 10 Antifreeze Concentration 0%(Closed loop) ····· 39
Table 11 Antifreeze Concentration 0%(Open loop) ····· 40
Table 12 Antifreeze Concentration 40%(Closed loop) ····· 41
Table 13 Antifreeze Concentration 40%(Open loop) ····· 42
Table 14 Antifreeze Concentration 60%(Closed loop) ····· 43
Table 15 Antifreeze Concentration 60%(Open loop) ····· 44
Table 16 Antifreeze Concentration 100%(Closed loop) ····· 46
Table 17 Antifreeze Concentration 100%(Open loop) ····· 47
Table 18 CO Concentration of Exhaust Gas ····· 49
Table 19 Antifreeze Concentration 0%(Closed loop) ····· 53
Table 20 Antifreeze Concentration 0%(Open loop) ····· 55
Table 21 Antifreeze Concentration 40%(Closed loop) ····· 56
Table 22 Antifreeze Concentration 40%(Open loop) ····· 57
Table 23 Antifreeze Concentration 60%(Closed loop) ····· 58
Table 24 Antifreeze Concentration 60%(Open loop) ····· 59
Table 25 Antifreeze Concentration 100%(Closed loop) ····· 61
Table 26 Antifreeze Concentration 100%(Open loop) ····· 62
Table 27 HC Concentration of Exhaust Gas ····· 64
Table 28 Antifreeze Concentration 0%(Closed loop) ····· 68
Table 29 Antifreeze Concentration 0%(Open loop) ····· 70
Table 30 Antifreeze Concentration 40%(Closed loop) ····· 71
Table 31 Antifreeze Concentration 40%(Open loop) ····· 72
Table 32 Antifreeze Concentration 60%(Closed loop) ····· 74

Collection @ chosun

Table 33 Antifreeze Concentration 60%(Open loop) ····· 75
Table 34 Antifreeze Concentration 100%(Closed loop) ····· 77
Table 35 Antifreeze Concentration 100%(Open loop) ····· 78
Table 36 NOx Concentration of Exhaust Gas ····· 80
Table 37 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 0% (C.L ····· 88
Table 38 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 0%(O.L) ····· 89
Table 39 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 40%(C.L) ····· 90
Table 40 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 40%(O.L) ····· 91
Table 41 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 60%(C.L) ····· 92
Table 42 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 60%(O.L) ····· 93
Table 43 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 100%(C.L) ····· 94
Table 44 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 100%(O.L) ····· 95
Table 45 CO_2, O_2, λ Emission at C.L and O.L ····· 95

Collection @ chosun

ABSTRACT

Effect of antifreeze concentration to exhaust gas in engine coolant

Sung In Hong
Advisor :. Hong Myoung-Seok
Department of Mechanical
Graduate School of Chosun University

Recently, the radiator size and front area of vehicle become smaller in order to decrease the fuel consumption. Also, the performance of cooling system is required the high COP and the operating conditions gets worse. Since the supply of the automobile is magnified whole world-wide, the vehicle operates under temperature from -30℃ to 50℃ and the environmental condition is severe. Beside, the operating conditions of vehicle are so different and the driving time get longer in dependence with the location. Hence, the engine cooling water has to be operated effectly to prevent the overheating and winter-sowing simultaneously.

Generally, the anti-freezer solution addition is used essentially to the cooling system. The ethylene glycol is normally added in the anti-freezer solution. The ethylene glycol as the liquid of colorless and odorless have a nervous paralysis. The previous researches showed the optimal concentration in cooling water is the one of important factor to effect the engine performance because the cooling water temperature vary the engine metal surface.

In this study, the exhaust gas were measured and analyzed with a variation of anti-freezer concentration(0%, 40%, 60%, 100%) in the cooling water. Especially, CO, HC, NOx composition analysis were carried out to study the effect of anti-freezer concentration. The experimental test was performed under ASM2525(speed=25 mile/hr, load=25% of road load) which are most popular test method in Korea.

As a result, the optimal and resonable concentration of anti-freezer was 40% in consideration of the exhaust gas and the cooling system performance. However, the optimal concentration of anti-freezer should be varied with operating condition, especially the environmental temperature. In addition, the regular checking and changing of oxygen gas sensor is needed to improve the vehicle durability because the oxygen gas sensor affect to exhaust gas composition significantly. By this study, the vehicle reliability and durability can be improved by optimizing the cooling system.

Collection @ chosun

제1장 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 승용차는 엔진의 출력이 향상되고, 승차 공간의 확대를 위하여 엔진 룸이 점점 작아지고 있다. 더불어 연비 저감을 목적으로 차량 전면의 공간이 적어지고 라디에이터 그릴이 점점 축소됨으로써, 엔진 냉각계에는 점점 더 가혹한 조건이 조성되고 있다. 또한 전 세계적으로 자동차의 보급이 확대되면서 50℃이상의 혹서 지역부터 -30℃ 혹한 지역까지 그 주행 환경도 점점 가혹해 지고 있는 실정이다. 현대는 도로망의 발달로 인해 기후 여건이 전혀 다른 지역으로의 운행이 잦아지고 지역에 따라서는 계절별로 기온 차가 60℃를 넘는 곳도 있어서, 엔진 냉각수는 과열과 동파방지라는 두 가지 목적을 수행해야 하는 어려움이 있다. 이를 위하여 국내에서 엔진의 동파방지제의 역할을 강조하여 부동액이라고 칭하고 있다.

현재, 부동액으로는 에틸렌글리콜[$C_2H_2(OH)_2$]이 첨가되고 있으며 무색, 무취의 액체로 신경마비를 일으키는 물질이다. 또한, 에틸렌글리콜은 배출가스에 많은 영향을 미치고 있어 최적 부동액 혼합량을 결정하는 것이 배출가스 저감에도 큰 도움이 된다. 따라서 부동액 혼합이 배출가스에 미치는 영향에 대한 검토가 중요한 연구대상이 되고 있다. 현재 국외에서는 부동액 혼합에 따른 열전달 변화경향에 대해서 연구를 수행한 바 있고, 국내에서는 부동액 혼합이 엔진 및 차량 냉각성능에 미치는 영향에 대해서 류택용[1] 등에 의해서 연구된 바 있으나, 차량 배출가스에 미치는 영향에 대해서는 연구가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 냉각수의 부동액 비율에 따른 배출가스 성분변화에 중점을 두고 부동액의 혼합 비율에 따라, CO, HC, NOx 배출량에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

1.1.1. 부동액(antifreeze)

일반적으로 부동액의 주원료는 에틸렌글리콜이다. 동결방지작용을 하는 에틸렌글리콜은 부동액 전체비율에 90~95%로서 세계적으로 동일하다. 동결방지를 위해서는 지역의 특성에 맞게 적정농도(20%이상에서 60%이하)로 물과 희석하

Collection @ chosun

여 사용한다. 부동액의 농도와 어는점을 측정하는 방법으로 비중계를 주로 사용하는데 이는 농도가 높을수록 비중이 높아지기 때문이며 유동성이 떨어져 냉각성능이 현저히 감소하고 오버히트, 연비 손실 등으로 나타난다. 자동차의 엔진을 작동하기 위하여 연료를 연소시킬 때 발생하는 에너지의 1/3정도만 기계적인 에너지로 전환되어 자동차가 주행되며 나머지 2/3의 열이 효과적으로 엔진 밖으로 제거되지 않으면 엔진은 과열되어 작동할 수 없게 된다. 물을 냉매로 사용할 경우 물의 열용량이 커서 효과적으로 열을 제거 할 수 있는 장점이 있는 반면에 동결할 때는 약 9%의 부피팽창을 일으켜 엔진 블록을 파괴시킨다. 또한 물을 사용하게 되면 엔진 블록과 물 펌프의 캐비테이션이나 라디에이터 코어 막힘 현상을 일으켜 라디에이터 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 부식 생성물에 의해 냉각효과가 낮아져 엔진의 과열을 초래하게 된다.

모든 부동액은 에틸렌글리콜이 주성분이며 내용물에 첨가되는 첨가제로는 부식방지제, 산화방지제, 도포제 등이 첨가된다. 첨가제에 의하여 배관, 펌프, 탱크, 열교환기 등 각종장치의 부식을 방지하며, 스케일 발생을 억제하므로 열전달 효율이 향상된다. 첨가제는 인산염과 규산염으로 구분되며, 인산염 부식 방지제는 좋은 성분에도 불구하고 경수에 함유되어 있는 칼슘이나 마그네슘과의 반응으로 침전물이 형성되기 쉬우므로 유럽등지에서는 사용이 금지되고 있다. 즉 경수에서 사용할 수 있는 부동액은 인산염이 들어있지 않고 규산염이 들어 있는 제품이 주로 사용되고 그렇지 않은 일반 연수에서는 일반적으로 인산염이 들어있는 부동액을 사용하게 된다. 규산염은 알루미늄 블록에서 좋은 성능을 가지고 있지만 겔화가 되는 등의 단점을 가지고 있다. 규산염 부동액은 온도차가 크면 겔화되어 라디에이터 냉각통로를 막는다. 냉각팬이 있는 자리에서 이러한 현상이 잘 일어난다. 이는 경수가 아닌 지역은 규산염을 쓰지 않고 인산염을 주로 사용하기 때문이다. 여기서 경수는 칼슘이온이나 마그네슘이온을 비교적 많이 함유하고 있는 물이 경수에 속하며, 연수는 경도(硬度) 10이하의 물을 말하며, 증류수는 경도 0인 연수를 의미하며 빗물이나 수돗물이 연수에 속한다.

부동액은 농도 조절이 가능하다. 측정한 농도가 희망하는 농도보다 낮을 때는 다음 공식에 따라 계산한다.

$$X = A(C-B)/100-B \qquad (1-1)$$

X : 원부동액의 보충량(ℓ)

A : 냉각수 총 용량(ℓ)

Collection @ chosun

B : 현재 사용 중인 액의 농도(용량%)

C : 목적하는 액의 농도(용량%)

부동액의 부식 요인에는 다양한 인자가 있다. 부동액의 품질은 냉각장치를 구성하는 각종 재질을 얼마나 보호해 주느냐에 따라 차이가 난다. 냉각수와 접촉하는 부위로는 라디에이터, 엔진헤드, 블록, 히터, 물 펌프, 고무호스 등으로서 알루미늄, 주철, 강, 황동, 동, 땜납 등의 재질로 되어있다. 부동액은 이러한 재질로 보호하기 위하여 금속부식방지제, 산화방지제, 소포제등으로 특수한 첨가제를 사용한다. 특히 물을 사용하는 경우에는 각종 냉각회로에 물과 부동액이 반응하여 침전물이 생기고 금속을 부식시키게 된다.

Table 1 The Properties of Antifreeze

Clause	Water	Antifreeze(ethylene glycol)
State	liquid	Colorlessness, Odorless
The boiling point(760mmHg)	100℃	197℃
The freezing point	0℃	-13℃
Specific Gravity(20℃)	0.999	1.113
Surface Tension	72.5	46.5
Specific Heat	1	0.561
Thermal Expansion Ratio	3%	4.2%
A Refractive Index	1.333	1.4318

1.1.2. 자동차 배출가스의 규제

화석연료를 사용하는 자동차로부터 배출되는 유해가스를 줄이기 위해 세계 각국은 다양한 방법으로 규제를 시행하고 있다. 자동차에서 배출되는 유해가스 배출을 최소화하기 위해 정부차원에서 규제만 시행할 경우 기술자립도가 떨어지는 기업은 생존하기 어렵다. 규제강화 결과 기업과 정부 간의 대립관계를 형성할 수도 있으며 국가의 전반적인 경제에도 큰 악영향을 미칠 수 있다.

이와 같은 문제점을 최소화하기 위해 단계적으로 규제를 강화하고 있다. 특히

Collection @ chosun

지역적 영향으로 심각한 대기오염을 나타내는 미국 캘리포니아는 세계적으로 가장 엄격한 배출가스 규제치를 정해 실시하고 있다. 세계적인 자동차 배출가스 규제 동향과 저감 방법을 파악하기 위해서는 CARB(California Air Resource Board)와 ECE(Economic Commission for Europe)의 실행 규제에 대하여 알아야 한다. 캘리포니아의 자동차 배출가스 규제는 차량용량 및 용도에 따른 배출등급에 의해 TLEV(Transitional Low Emission Vehicles), LEV(Low Emission Vehicles), ULEV(UItra Low Emission Vehicles), SULEV(Super Ultra Low Emission Vehicles), ZLEV(Zero Low Emission Vehicles)로 분류하고 2010년까지 시행될 LEV U 규제안을 2004년부터 적용하고 있다. 유럽은 1992년부터 Euro I을 적용하기 시작하여 1995년에 Euro IV를 이미 적용하고 있으며 다시 Euro V 등으로 그 규제정도가 점차 강화되고 있다.

최근 대체에너지 사용의 활성화 측면에서 우리나라는 천연가스 차량을 사용하는 사업자나 개인에게 세제 혜택을 부여하고 있으며, 천연가스 버스 등 대형 천연가스자동차에 적용되는 배출가스 허용기준도 2004년부터 점차 강화하여 배출가스 저감장치를 의무적으로 부착하게 하는 등 현 기준 대비 CO는 90%, HC는 80% 강화할 계획을 가지고 있다 [2].

따라서 본 논문에서는 부동액 농도에 따른 배출가스의 유해성분인 CO, HC, NO_X의 발생량의 변화를 실차를 이용한 실험을 통하여 배기가스오염은 최소화할 수 있는 최적의 부동액 비율을 찾고자 한다.

Table 2 Euro 1~ 4

	Category (Year)	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	Remark
Europe	Euro-1 (1992)	2.72/2.72	-	0.97/0.97	-	0.14/-	Diesel/ Gasoline ECE, EUDC test cycle
	Euro-2 (1996)	1.0/2.2	-	0.7/0.5	-	0.08/-	
	Euro-3 (2000)	0.64/2.30	-/0.20	0.56/-	0.50/0.15	0.05/-	
	Euro-4 (2005)	0.64/1.0	-/0.10	0.30/-	0.25/0.08	0.025/-	

Collection @ chosun

제2장 이론적 고찰

2.1 배기가스분석

2.1.1 CO(carbon monoxide)

일산화탄소는 색깔과 냄새가 없으며 독성이 강한 유독가스이다. 그러므로 밀폐된 공간에서 일정량을 마시게 되면 치명적으로 생명을 위협할 수 있다. 자동차 배출가스 중의 일산화탄소는 농후한 혼합가스가 실린더 안에서 점화원에 의하여 착화되어 연소하는데, 연소에 필요한 공기가 모자랐을 때 주로 생성되는 가스이다. 이때에 산소가 충분하다면 일반적으로 CO_2로 반응하게 된다. 그러나 CO에서 반응이 멈춘다면 결국 연료에 비하여 상대적으로 공기가 모자라는 것을 의미하고 여기서 반응은 끝나게 된다.

CO의 생성은 혼합기 중의 탄화수소와 산소가 적정하여야 연소가 유지되면서 무극성 공유결합의 결과인 CO_2로 진전되는 것인데 CO에서 반응이 멈췄다는 것은 극성인 있는 아주 불균일한 결합을 의미한다. 일산화탄소의 특성은 공기가 모자라서 더 이상 산화가 되지 않기 때문에 생기는 물질로 일산화탄소는 충분한 공기가 존재할 때에는 생성되지 않는다[3][4].

2.1.2 HC(unburned hydro carbon)

탄화수소는 수소계통의 모든 가스를 포집하여 측정한 값이다. 다른 배기가스는 100%가 배기관을 통하여 배출되지만 탄화수소는 배기관을 통하여 나오는 배기가스의 비율은 60% 정도이다. 탄화수소의 생성원리를 보면 자동차 엔진은 거의 대부분 수랭식이고 연소실 벽면은 냉각수의 흐름으로 냉각층이 형성되어 있다. 연소실 내에서 혼합기가 점화원에 의하여 착화되어 연소를 시작하여 전파될 때에 온도가 높을수록 전파가 용이하다. 엔진 실린더 내부를 냉각수가 흐르고 있는 벽면과 가운데 부분은 많은 온도차가 난다. 벽면에 가까운 낮은 온도 영역으로 들어오게 되면 온도차에 의하여 불완전연소가 되고 소염층에서는 탄화수소가 그대로 존재하게 된다[5].

이렇게 존재한 탄화수소는 배기행정 때 그대로 배출된다. 혼합기 중에 전파하기 시작한 화염은 1차적으로 온도차로 인한 소염층에 의하여 급냉되고 혼합

Collection @ chosun

기층이 유동하면서 벽면이나 피스톤 헤드, 연소실에 부딪히게 된다. 이때 유동 속도가 급격히 떨어져 벽면 정지 현상이 일어나고 소염되어 탄화수소를 생성된다. 연소실의 모양이나 피스톤 헤드의 모양, 실린더의 모양 등 모든 것이 원형을 사용하는데 바로 그 이유가 벽면 정지 기능을 최소화하기 위한 목적이다. 실제 연소실에서 배출된 탄화수소 값은 촉매 전에는 측정하게 되면 약100 ppm정도의 값이 나온다. 탄화수소의 특성 값을 보면 이론공연비 부근에서 가장 적은 값이 배출되는 것으로 알려져 있다. 이론공연비를 기준으로 했을 때 탄화수소는 농후해도 나오며 희박해도 나온다. 농후한 연료일 때 탄화수소 값도 높게 나오지만 일산화탄소 값도 높다. 그러나 이 수치를 상대 비교하여 보면 농후한 연료일 때는 일산화탄소 값이 더 높다. 혼합기가 희박하게 되면 점화 불꽃에 의한 혼합기 착화가 불안정해 지고 화염 전파 도중 불꽃이 소염되거나 화염 전파 속도가 현저히 감소하여 연소되지 않은 배기가스가 배기행정에서 그대로 배출되는 것이다[6][7].

2.1.3. NOx(Nitrogen Oxide)

질소와 산소는 일상 온도에서 결합하지 않다가 착화되어 연소하게 되면 높은 온도에서 화학적 결합을 하게 된다. 산소의 분자 구조는 불안정하기 때문에 작은 에너지로도 화학적 결합을 진행하지만 질소의 화학 구조는 안정적이기 때문에 큰 에너지가 가해지지 않으면 화학적 결합이 잘 이루어 지지 않는다. 결국 질소산화물의 생성은 연소실 내부의 연소 온도가 높을 때 생성된다. 현재 질소산화물의 저감 기술로는 배기가스 재순환을 통한 연소실 내부의 온도를 낮추어 질소산화물을 저감시키고 있다. 질소산화물의 화학적 특성을 보면 이론 공연비 부근에서 최고의 수치를 나타내고 있으며 너무 희박하거나 너무 농후하면 그 배출량이 현저히 떨어진다[8].

Collection @ chosun

2.2 엔진 배출물 생성원인

2.2.1. 자동차엔진 연소

가. 연료

자동차 엔진에 사용되는 연료는 주로 탄소(C), 수소(H)의 화합물로 구성되어 있으며 소량의 유황(S)과 산소가 함유되어 있다. 가솔린 연료의 평균조성은 c=0.865, h=0.144로 C_8H_{18}(iso-octane), 디젤은 c=0.875, h=0.125로서 $C_{16}H_{30}$에 근사한 성분을 가진다. 공기의 조성성분은 몰분율(체적비율)로 질소(N_2) 78.1%, 산소(O_2) 20.9%, 아르곤(Ar) 0.9%와 기타성분으로 이루어져 있으나, 보통 N_2=79%, O_2=21%로 계산하며, 질량비율로는 N_2=76.8%, O_2=23.2%로 취급하고 공기 상당 분자량은 28.97 kg/kmol로 계산한다.

Table 3 Air fuel ratio

Fuel Rate	Weight Ratio C	Weight Ratio H	A/F	Remark	
Deluxe Gasoline	0.865	0.135	14.6		
Regular Gasoline	0.855	0.145	14.8		
Isooctane(C_8H_{18})	0.842	0.158	15.1	ON = 100	
Heptane(C_7H_{16})	0.840	0.16	15.2	ON = 0	
Whale Oil	0.863	0.137	14.6		
Cetane($C_{16}H_{34}$)	0.850	0.150	14.9		
Metane(CH_4)	0.750	0.250	17.2		
Propane(C_3H_8)	0.818	0.182	15.7		
Benzene(C_6H_6)	0.923	0.077	13.3		

나. 화학평형(Chemical equilibrium) 연소

실제의 엔진연소에서는 공급공기량이 충분할 경우라도 완전연소는 어려우며 실제로는 공기가 부족한 경우와 열해리 등에 의해 다양한 연소가스 성분이 발생한다.

Collection @ chosun

연료 공기 혼합기가 화학반응으로 13종의 연소가스가 발생한다면,

$$C_nH_m+(n+m/4)\ (O_2+3.714N_2+0.048Ar)+Egr \quad (a_i\ S_i) \Rightarrow \quad (b_i\ S_i) \qquad (2\text{-}1)$$

여기서,

S_i : CO_2, CO, O_2, H_2O, H_2, OH, H, O, N_2, NO, NO_2, N, Ar

a_i : EGR(Egr율) 되는 배기가스의 몰값

b_i : 연소된 배기가스의 몰값

λ : 공기과잉율

위의 연소반응이 충분한 평형상태에 도달하였다고 볼 때 다음과 같은 평형반응식을 예상할 수 있다.

$$\begin{aligned}
CO_2 &\rightleftharpoons CO + 1/2\ O_2 \\
H_2O &\rightleftharpoons H_2 + 1/2\ O_2 \\
H_2O &\rightleftharpoons 1/2\ H_2 + OH \\
1/2\ H_2 &\rightleftharpoons H \\
1/2\ O_2 &\rightleftharpoons O \\
NO &\rightleftharpoons 1/2\ O_2 + 1/2\ N_2 \\
1/2\ N_2 &\rightleftharpoons N \\
NO_2 &\rightleftharpoons NO + 1/2\ O_2
\end{aligned} \qquad (2\text{-}2)$$

각 반응의 평형상수와 질량보존법칙을 적용하여 컴퓨터로 계산할 수 있으며 가솔린엔진의 경우에 대한 계산 결과를 살펴보면 Fig. 1과 같다(Egr=0). Fig.1에서 볼 수 있듯이 CO, H_2는 희박영역(>1.0)에서는 아주 적지만 <1.0에서 거의 직선적으로 증가한다. 반면 O_2는 CO와 반대로 희박영역(>1.0)에서 거의 직선적으로 증가한다. 또한, H_2O, CO_2는 =1.0에서 최대치를 보이고 N_2는 희박해질수록 증가하지만 >1.0 에서는 증가율이 약간 둔화된다. NO는 약간 희박한 지점(≈1.07)에서 최대 값을 보이고 있다[9][10][11].

Collection @ chosun

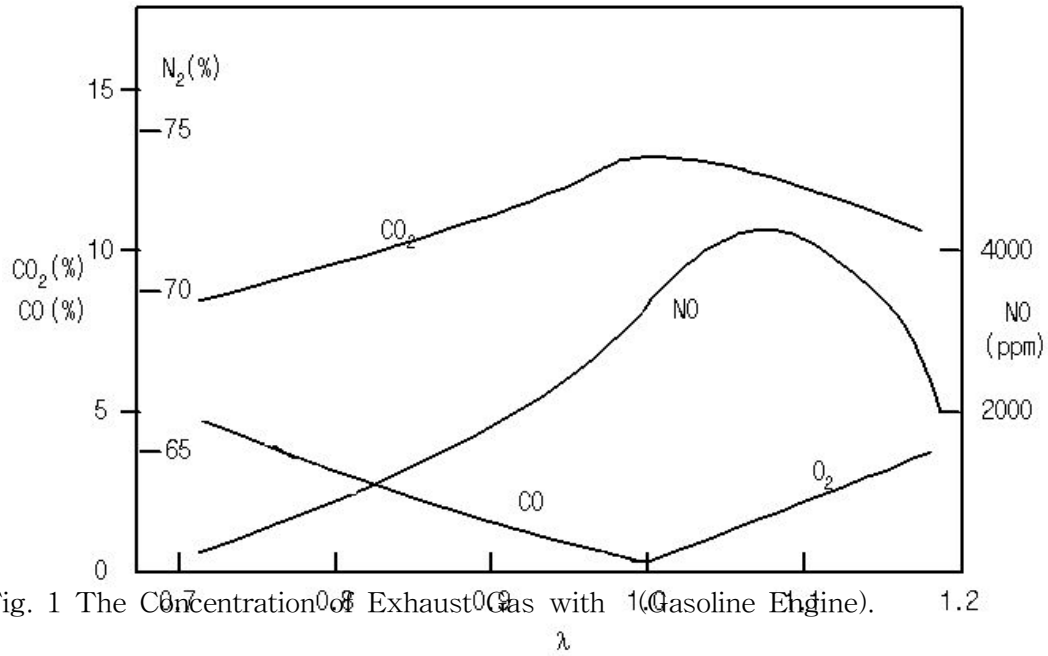


Fig. 1 The Concentration of Exhaust Gas with λ (Gasoline Engine).

λ

다. 비평형(Chemical kinetics) 연소

화학평형 연소에서는 연료가 연소하면 즉시 평형상태에 도달한다고 가정하고 생성물 농도를 계산하는 개념이나, 실제는 평형상태에 도달하는데는 반응시간이 필요하다. 특히, NO는 반응속도가 느려서 평형연소 모델로 예측한 결과는 실제와 상당히 큰 차이가 있다[12][13].

일반적으로 NO 계산은 Zeldovich Mechanism을 기본으로 하지만 보다 정확한 계산을 위하여 다음의 Extended Zeldovich Mechanism을 사용하기도 한다.

$$
\begin{aligned}
&NO + N \rightleftharpoons N_2 + O \\
&O_2 + N \rightleftharpoons NO + O \\
&OH + N \rightleftharpoons NO + H \\
&H + N_2O \rightleftharpoons N_2 + OH \qquad (2\text{-}3) \\
&O + N_2O \rightleftharpoons N_2 + O_2 \\
&O + N_2O \rightleftharpoons NO + NO \\
&N_2O + M \rightleftharpoons N_2 + O + M
\end{aligned}
$$

Collection @ chosun

실제 엔진에서 배출되는 NO 농도는 비평형으로 계산한 결과와 농도의 비가 유사하다. 비평형으로 계산한 NO는 화학평형 계산 값에 비해 희박영역에서는 50-100배, 농후영역에서는 10^7 정도로 높다(Fig. 2). N_2, H_2O, CO_2, Ar은 변화의 영향이 적으며 %단위의 농도수준이다. CO, H_2는 <1.0(공연비농후)에서, O_2는 >1.0(공연비희박)에서 농도가 증가하며 %단위의 농도이다 그러나 값이 반대의 경우는 ppm 수준으로 급격하게 낮아진다. 그외에 H, OH, O, NO 값들도 =1.0을 기점으로 변화가 급격하나 농도는 ppm 단위 이하로 매우 낮다.

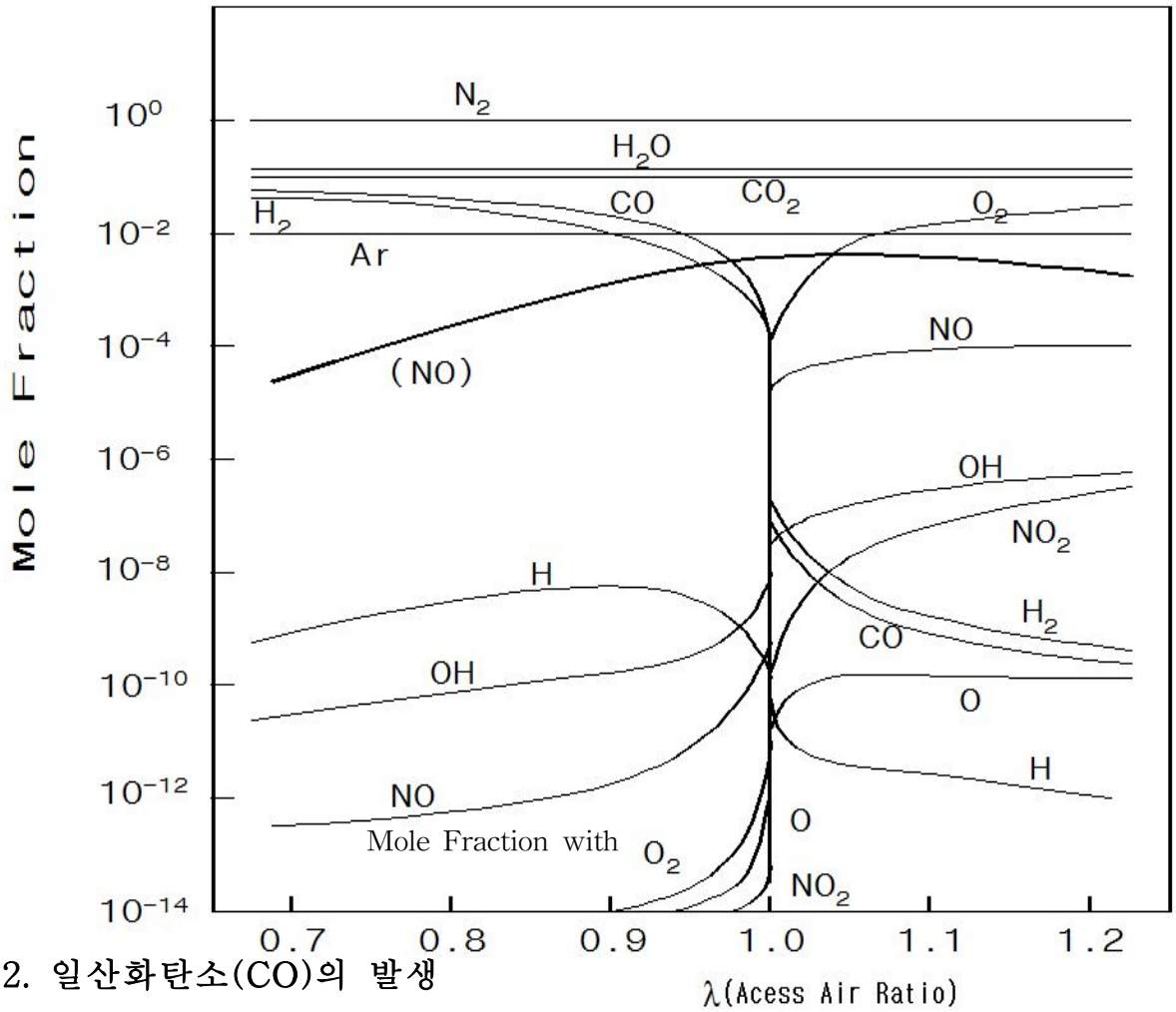


Fig. 2

2.2.2. 일산화탄소(CO)의 발생

CO 발생량(농도)은 공기연료 혼합비에 가장 크게 좌우된다. 디젤엔진은 대부

Collection @ chosun

분 희박한 공연비영역에서 작동하기 때문에 CO는 크게 문제되지 않는다. 그러나 가솔린엔진은 공연비가 농후한 영역에서도 작동하기 때문에 CO가 중요한 공해물질이다. Fig. 3에서 보듯이 <1.0 영역에서의 CO 배출농도는 몇% (수만 ppm)수준으로 상당히 높으며 희박영역으로 가면서 농도가 급격히 줄어들며 >1.0 에서는 몇 십 ppm 수준으로 낮아진다.

λ

λ

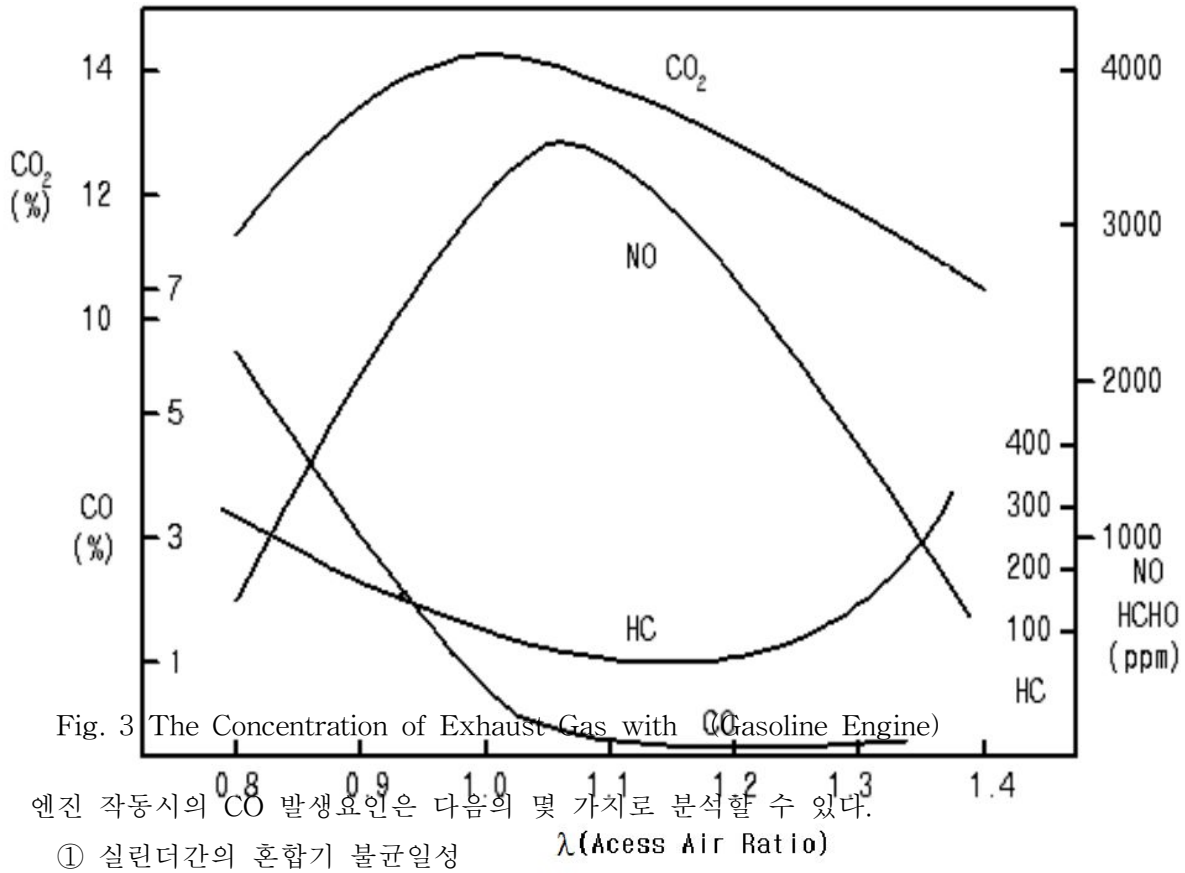


Fig. 3 The Concentration of Exhaust Gas with λ(Gasoline Engine)

엔진 작동시의 CO 발생요인은 다음의 몇 가지로 분석할 수 있다.

① 실린더간의 혼합기 불균일성

② 저온시동시 농후한 연료공급

③ 과도운전시의 농후한 연료공급 : 가감속시

산소가 부족한 영역에서의 CO농도는 “water gas equation”에 지배되며, 공기가 충분한 영역에서는 산소와의 주 반응식에 의해 CO_2로 바뀐다.

공기 중에서의 주 반응식 : $CO+1/2\ O_2 \Leftrightarrow CO_2$

Collection @ chosun

Water gas equation : $CO+H_2O \Leftrightarrow CO_2+H_2$ (1600-1700K 온도에서)

배기관의 배출농도는 연소실내에서 측정된 값보다는 낮으나 화학평형 값보다는 훨씬 높으며, 이것은 실제 엔진에서의 CO 배출은 비평형(chemical kinetics)에 지배됨을 의미한다.

2.2.3. 탄화수소(HC)의 발생

가. HC의 발생

Hydrocarbons은 일반적으로 FID법으로 측정되는 THC(total hydrocarbon) 농도로 표시한다. FID 법은 탄소원자(C1) 개수를 측정하는 분석방법이다. 가솔린 엔진에서 배출되는 THC 중 HC 성분의 전형적인 분포비율은 다음과 같다.

Table 4 KC distribution ratio in the THC

	Paraffins	Olefins	Acetylene	Aromatics
Catalyst Before	33	27	8	32
Catalyst After	57	15	2	26

HC 성분 중 인체에 거의 영향을 미치지 않으며 광화학스모그 반응에도 간여하지 않는 성분(메탄 등)이 있으나, 일부는 광화학반응에 매우 민감하며, 발암물질도 포함되어 있다. 특히 광화학스모그 반응으로 oxidant formation(오존 등)을 생성하는 척도로 CARB에서는 RAF(reactivity adjustment factor)를 사용한다. 또한, 배출가스의 HC 성분과 농도에 미치는 중요한 요인 중의 하나는 연료성분이며 aromatics나 olefins 성분이 높은 연료는 RAF가 높은 HC 성분을 생성한다.

나. 가솔린엔진의 HC

가솔린엔진에서의 HC 발생을 보면 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 이론공연비에서 농후한 영역으로 갈수록 HC농도가 급속하게 증가하며, 공연비가 아주 희박한 영역(>1.85; A/F>27)에서도 불완전연소나 실화(misfire)로 인하여 급격하게 증

λ

Collection @ chosun

가한다.

연소시의 HC 발생원인은 다음과 같이 알려져 있다.

① 연소실 벽면에서의 화염 소실(quenching)

② 피스톤 톱랜드와 같은 틈새체적(clearance volume)에 남겨진 미연소 혼합기

③ 흡입 및 압축행정시 연소실 벽면의 윤활막(oil layer)에 흡착된 연료성분이 팽창 및 배기 행정시에 탈착

④ 과도기 운전시의 공연비, EGR, 점화시기 등이 제대로 제어되지 못하였을 경우 발생할 수 있는 부분연소나 실화 등과 같은 불완전 연소

⑤ 연소실내에 부착되어 있는 퇴적물(deposits) 영향

엔진 연소실에서 배출된 HC는 배기관 내에서 일부 산화하며, 산화조건은 600°C 온도에서 50ms 이상 체류할 수 있어야 한다. 이와 같은 초희박(overlean) 영역에서는 산화반응이 느리기 때문에 반응이 제대로 끝나지 못하여 미연소연료, 연료분해생성물(fuel decomposition products), 부분산화물(알데히드, 옥시탄트) 등이 생성된다. 초희박영역에서의 HC 발생농도는 점화지연기간동안 분사되는 연료량과 분사된 연료가 공기와의 혼합되는 비율에 크게 지배된다. 즉, 점화지연기간에 분사되는 연료가 많거나 또는 점화지연기간이 길면은 HC 발생량이 증가한다. 반면 분사된 연료가 과농하게 되는 경우는 노즐의 sac volume에 남아 있던 연료가 연소과정 후기에 느린 속도로 분사되는 경우와, 연료가 처음부터 연소실에 과도하게 공급되는 경우로 볼 수 있다. 특히, sac volume의 체적과 HC 발생량은 거의 비례하는 경향을 가지고 있다.

2.2.4. 질소산화물(NOx)의 발생

NO_X는 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO_2)를 말하며 NO가 대부분을 차지하고 있다. NO_X발생의 주요한 원인은 공기 중의 질소 분자에 의한 것이며 연료에는 거의 질소성분이 없다.

가. NO 발생

공기질소에 의한 NO발생은 Zeldovich mechanism에 의한 것으로 다음의 반응

dCollection @ chosun

기구를 갖는다.

$N_2 + O \Leftrightarrow NO + N$

$O_2 + N \Leftrightarrow NO + O$

$OH + N \Leftrightarrow NO + H$

연소시 NO는 화염전면(flame front)과 화염후면 가스(postflame gases)에서 발생한다. 엔진 연소실 내에서의 연소는 고압에서 진행되기 때문에 화염 반응면이 매우 얇고(약 0.1mm) 아주 짧은 시간 동안만 남아 있다. 또한 연소과정에서는 압력이 계속 상승하기 때문에 이미 연소된 화염후면 가스 온도가 이제 막 타기 시작한 화염전면 가스에 비해 훨씬 높다. 이런 이유 때문에 엔진 연소시 NO는 대부분 화염후면 가스에서 발생하며 화염전면에서 발생하는 NO량은 무시할 정도로 적다. NO 발생농도는 온도에 크게 지배되며, 반응시간과 산소농도도 중요한 인자이다[14][15].

나. NO_2 발생

화학평행 계산에 의한 NO_2 발생량은 NO에 비해 무시해도 좋을 정도로 작다. 실제 가솔린 엔진에서의 NO_2/NO 비는 2% 수준으로 NO_2 발생량이 매우 낮으나 디젤엔진의 경우는 10~30% 정도로 높다.

화염영역에서 생성된 NO는 아래의 반응으로 급속하게 NO_2로 변환한다.

$NO + HO_2 \Leftrightarrow NO_2 + OH$

이렇게 생성된 NO_2는 차가운 유체에 급속하게 혼합되지 않으면 아래의 반응에 의해 다시 NO로 변환된다.

$NO_2 + O \Leftrightarrow NO + O_2$

따라서 연소실내에 차가운 영역이 많이 존재하게 되는 운전조건, 즉 아이들링 상태나 전부하 운전상태에서 NO_2/NO 비율이 높다.

다. 가솔린엔진의 NOx 발생

가솔린엔진의 연료공급은 흡기관에서 미리 분사되어 공기와 혼합되어 연소실

Collection @ chosun

내로 공급됨으로 연료공기와 희석가스(잔류가스와 배기재순환가스)는 충분히 균일하게(homogeneous) 혼합되어 연소된다고 볼 수 있다[16]. 이와 같은 가정에서 가솔린엔진 연소시 NO발생은 연소가스온도와 연소행정 및 팽창행정 과정의 연소실 압력과의 상관관계를 고려한 Zeldovich mechanism으로 설명할 수 있다. NO 발생에 영향을 미치는 중요한 엔진작동 요소는 공기연료비, 희석가스비, 점화시기이다[17].

(1) 공기연료비 영향

연소가스 온도는 공연비가 약간 농후한 영역인 =0.9 근처에서 가장 높으나 산소농도가 낮기 때문에 NO 발생이 억제되며, 도리어 =1.1의 희박한 영역에서 풍부한 산소가 연소온도가 낮아지는 것을 억제하여 NO가 λ최대로 발생한다. (Fig. 4 참조) =1.1을 기점으로 희박한 영역에서는 NO가 팽창행정에서 증가속도가 일찍 동결(freeze)되어 발생량이 적으며, 농후영역에서는 NO 환원반응이 발생하여 농도가 낮다. λ

(2) 희석가스비의 영향

연소실내의 미연소된 가스는 연료가스와 공기 및 일부 연소가스 성분으로 이루어져 있으며, 연소가스는 앞 사이클의 잔류가스와 NO_X 발생량을 제어하기 위하여 재순환시킨 배기가스(EGR)로 구분되며 N_2, He, Ar과 같은 불활성가스 역할을 한다.

앞 사이클 잔류가스는 주로 엔진작동 부하(load), 밸브 타이밍에 크게 영향을 받으며 작게는 엔진속도, 공연비, 압축비 등에도 영향을 받는다. EGR은 NO_X 저감에 값싸고 매우 효율적인 방법으로서 최대 EGR율 25% 정도에 NO_X를 60% 이상 줄일 수 있다. 그러나 과도한 EGR은 엔진작동의 부조를 초래한다. 배기가스의 열용량(heat capacity)이 공기보다 높아 연소시 열발생량(heat release)이 일정하다고 가정하면 연소온도가 낮아지며 따라서 NO_X 발생량이 적어진다. 또한, 배기가스 중의 산소농도가 낮기 때문에 연소실 공급산소량이 적어지며, 연소속도도 느려져 연소온도가 낮아진다.

Collection @ chosun

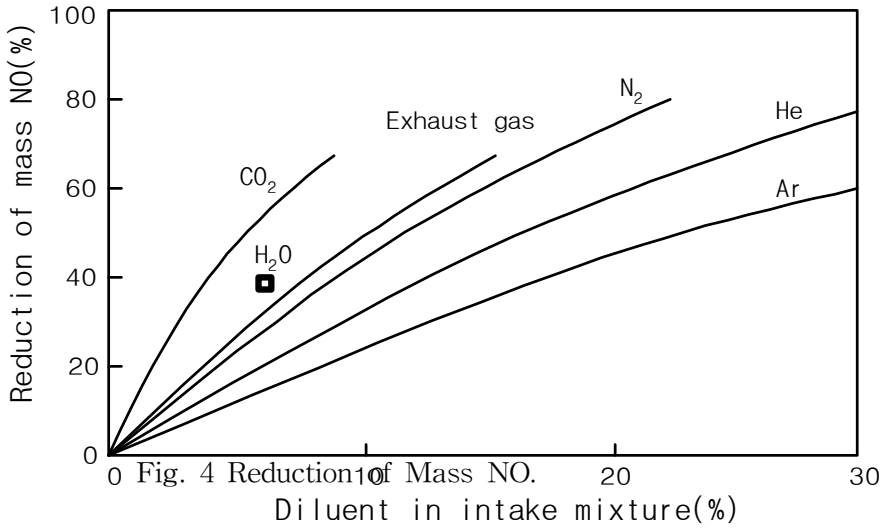


Fig. 4 Reduction of Mass NO.

(3) 점화시기 영향

점화시기도 NO 발생에 매우 큰 영향을 미친다. 점화시기가 앞당겨지면 TDC 이전에 다량의 연료가 연소하기 때문에 연소 최고압력이 높아지며, 반대로 점화시기가 후퇴되면(retard) 많은 연료가 TDC 이후에 타기 때문에 연소 최고압력은 낮아져 NO가 저감된다. 그러나 점화시기를 너무 후퇴시키면 출력감소와 연비 악화가 발생하기 때문에 NO와 연비, 출력을 고려한 최적 점화시기 선정이 매우 중요하다. 출력만을 고려한 경우도 최고출력 점화시기점인 MBT (maximum brake torque; minimum spark advance for best torque) timing을 찾는 것이 쉽지 않으며, 일반적으로 사용되는 점화시기는 최대토크 값이 1-2% 감소하는 점으로 후퇴시켜 사용한다.

Collection @ chosun

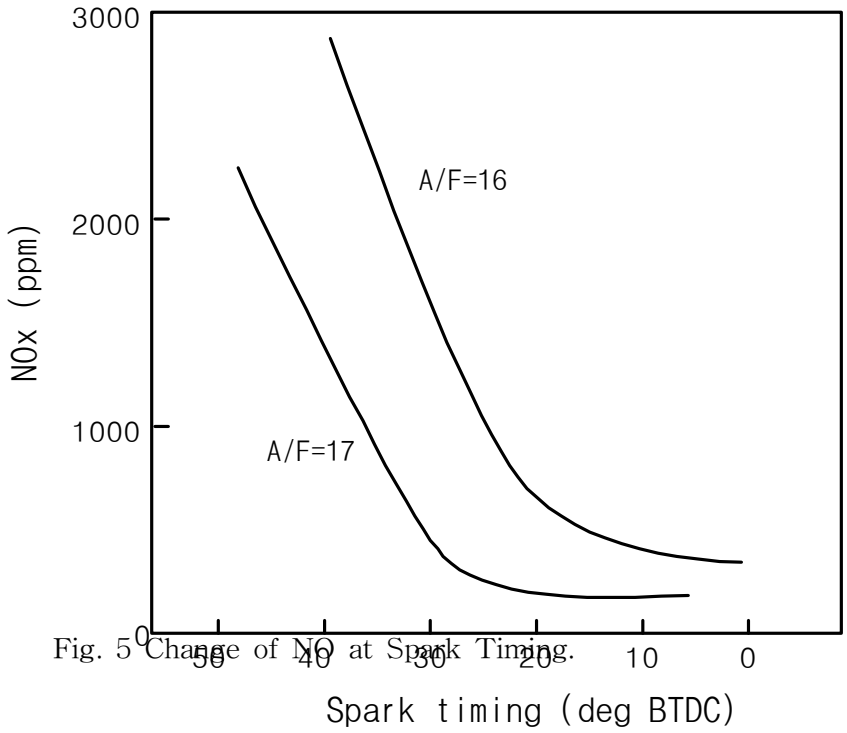


Fig. 5 Change of NO at Spark Timing.

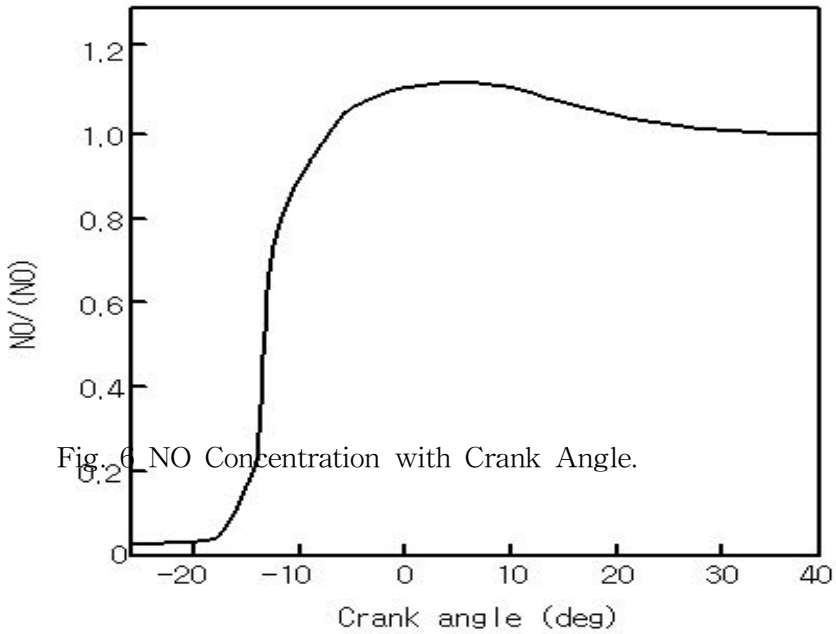


Fig. 6 NO Concentration with Crank Angle.

Collection @ chosun

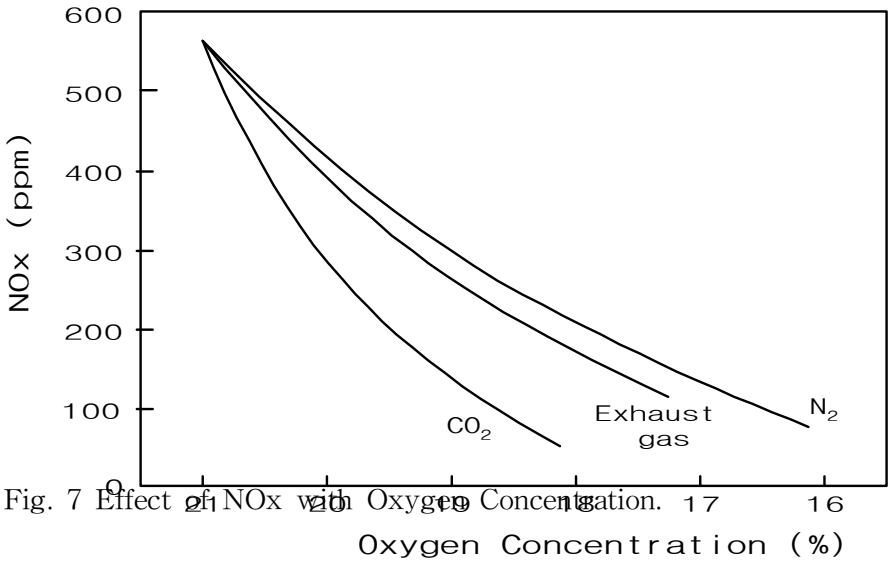


Fig. 7 Effect of NOx with Oxygen Concentration.

Collection @ chosun

2.3 부동액 비율이 냉각성능에 미치는 영향

2.3.1. 엔진헤드 금속면의 온도 변화

부동액 혼합에 따른 및 엔진헤드 금속면 온도 변화가 Fig. 8에 나타나있다 [18][19]. 측정한 네 지점은 점화 플러그와 배기 밸브시트 사이의 연소실에서 1 mm 떨어진 금속면으로서 열적부하를 가장 많이 받는 곳으로 열려진 지점이다.

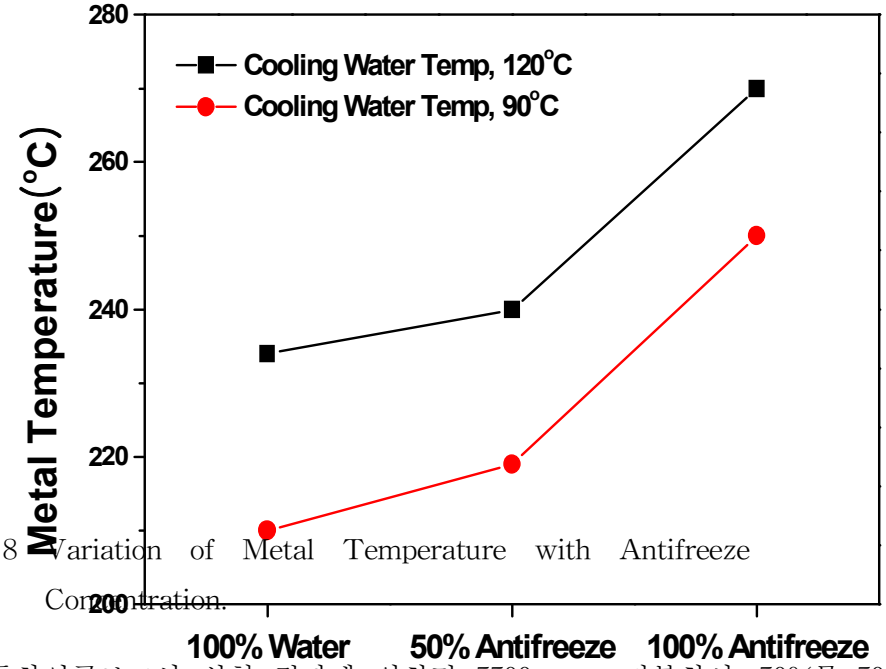


Fig. 8 Variation of Metal Temperature with Antifreeze Concentration.

현대자동차연구보고서 실험 결과에 의하면 5500 rpm, 전부하시, 50%물+50% 부동액의 냉각수는 100% 물 성분의 냉각수에 비해 열유속이 평균 2.8% 감소하였고 이에 따라 금속면 온도는 평균 7℃ 상승하여 알루미늄 실린더 헤드의 열적 한계 온도(240 C)를 초과하지 않았으나, 부동액 100% 성분의 냉각수 사용시는 열유속이 최대 18% 감소하여 금속면 온도가 최대 64℃ 상승하는 결과를 나타내면서 실린더 헤드의 열적한계 온도를 훨씬 초과함으로써 엔진 내구성에 문제를 유발시킬 수 있다. 이처럼 100% 부동액 혼합시, 3000 rpm에서 보다 5500 rpm 조건에서 열유속이 크게 감소하고 금속면 온도가 급상승 하는 이유는, 5500 rpm 조건하에서 과열도가 커짐으로써 증기막을 형성하는 막비등이 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 막비등 상태에서는 형성된 증기막이 열저항으로 작

Collection @ chosun

용하기 때문에 열유속이 감소하고 금속면 온도는 증가한다. 한편, 연비 측면에서는 부동액 혼합량을 증대시키면 금속면 온도 상승에 의한 마찰 손실 저감 효과 때문에 노크강도(Knock Intensity)가 변하지 않는 한 연비가 개선되는 효과도 있다. 기존의 연구결과에 따르면 부동액 혼합량을 증대시킬수록 열유속이 감소하여 금속면 온도가 상승하는 원인이 된다. 상승의 원인은 부동액 주성분인 에틸렌 글리콜의 Re수와 Pr수, 그리고 열전도율 차이에 의해 대류열전달 계수가 물에 비해 작기 때문이다. 또한, 부동액 농도가 증가할수록 금속면 온도가 상승함을 알 수 있다. 이유는 부동액 농도가 증가 할수록 냉각수 자체의 열전도계수, Pr수, Re수 차이에 의해 대류 열전달 계수가 작아지기 때문이다.[20]

엔진헤드 금속면 최고 온도가 어느 한계치 이상으로 높아지면, 밸브 시트 마모, 밸브 절손, 헤드 Crack, 피스톤 Top Land와 라이너 Scuffing 등이 발생하며 심할 경우 엔진이 Total Fail에 이른다. 따라서 엔진의 열적 내구성을 고려한 부동액 농도 상한성은 일반적으로 60% 이하가 되어야 한다.

Fig. 9에 냉각수의 성분을 100% 물, 50% 물+50%부동액, 100% 부동액으로 했을 때 의 DBL(De-tonation Border Line) 변화율을 보여주고 있다.

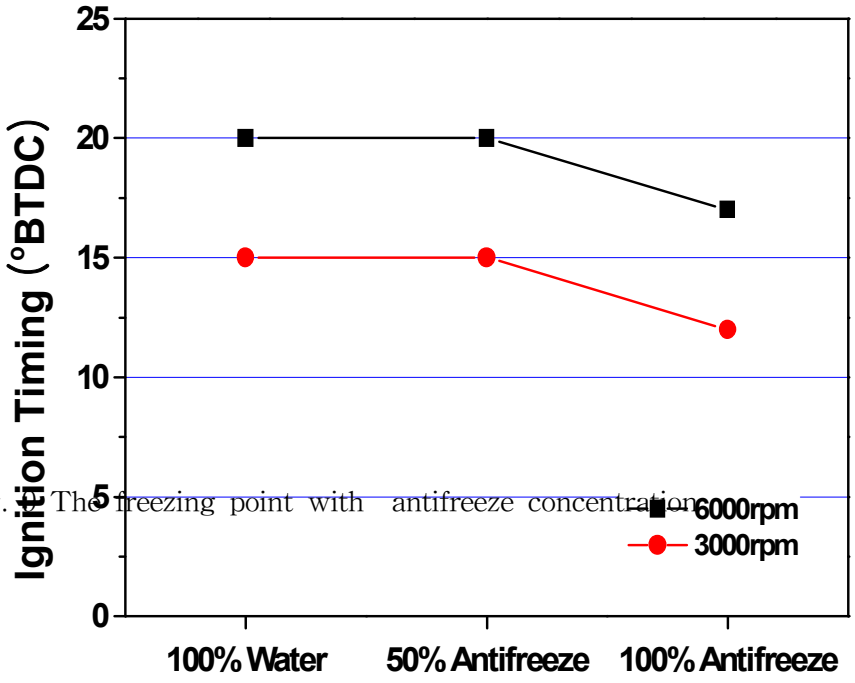


Fig. 9 The freezing point with antifreeze concentration

Collection @ chosun

이와 같은 실험 결과 5500 rpm, 전부하시, 50% 물+50% 부동액의 경우에 점화각의 변화가 없지만 100% 부동액 사용할 때에 점화각이 3 지연되었다. 위에서 언급한 바와 같이 100% 부동액 사용 시 엔진헤드 금속면 온도가 급격히 증가함으로서 혼합기의 미연가스부에서 자기 착화하는 시간이 빨라지기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 즉, 엔진 운전상태(엔진 내구성, 연비, Knock Intensity)는 100%물, 100% 부동액 사용 조건이 아닌 적절한 부동액 혼합 비율에서 최적이 된다는 것이다. 부동액 농도 70%까지는 부동액을 많이 혼합할수록 빙점이 낮아져 동파 방지 효과가 있다.

일반적으로 인간이 항시 거주하는 지역의 최저 온도는 영하 -35℃를 넘지 않고 있어서 전 세계 적으로 부동액을 50% 혼합하는 것이 통례인데, 이 혼합 비율에서는 엔진 내구성과 Knock Intensity 측면의 영향은 작은 것으로 나타났다.

2.3.2. 부동액 농도와 어는점

부동액 농도와 어는점의 관계를 살펴보면, 부동액 농도 40% 정도에서의 어는점은 -25℃ 수준이고 부동액 농도 60% 수준에서의 어는점은 -51℃이다. 그리고 70% 이상까지는 어는점이 증가한다. 그러나 70% 이상부터 100%까지는 어는점이 낮아져서 100%에서는 -25℃가 된다. 우리나라에서 겨울철 혹한기의 기온이 약 -25℃ 수준이므로 동파방지를 고려한 부동액 농도는 최소한 40% 이상 이어야 함을 알 수 있다. 즉, 우리나라와 같은 기후조건에서는 엔진의 열적 내구성과 부식 방지 기능 그리고 동파 방지 기능을 고려한 최적 부동액 비율은 약 40~60% 임을 알 수 있다.

Collection @ chosun

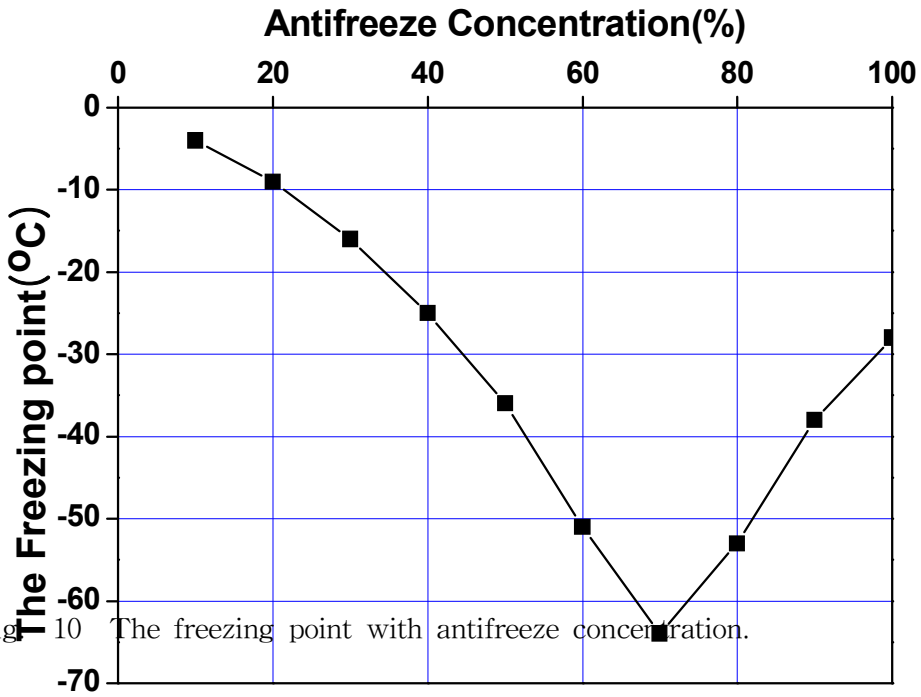


Fig. 10 The freezing point with antifreeze concentration.

Collection @ chosun

제3장 실험방법 및 장치

3.1 실험장치 구성 및 실험규격

3.1.1. 배기가스 정밀측정장치 구성

운행차 배기가스 측정은 가솔린 자동차의 경우 차대동력계상에서 주행하는 자동차에 정해진 부하마력을 가한 후 배출되는 CO, HC, NO_X의 배출량을 측정한다. 디젤 자동차의 경우도 차대동력계상에서 주행하는 측정 대상자동차를 엔진정격회전수에서 1모드, 엔진정격회전수의 90%에서 2모드, 엔진정격회전수의 80%에서 3모드로 구성하여 1모드에서는 엔진정격출력과 엔진정격 회전수 및 매연농도를, 2모드와 3모드에서는 각각 엔진정격회전수와 매연농도를 측정하며, 매연농도는 부분유량채취방식의 광 투과식 분석방법을 이용한 측정기를 사용하여 분석한다.

위의 내용과 같은 운행차 배기가스 측정을 시행하기 위해서는 아래의 12가지 검사장치가 필요하다.

① 관능검사장치(LAN Control Unit)는 자동차의 배기가스 저감장치의 개조나 변경 유무를 검사하기위한 장치이다.

② 가스분석기 (Exhaust gas a Measuring Instrument)는 가솔린 자동차의 부하검사시 배출되는 CO, HC, NO_X의 배출량과 를 측정하는 장치이다.

③ 분전반 (Electrical Division Equipment)은 각각의 장치에 필요한 전원 을 공급하는 장치이다.

④ 부하조절장치(PAU Control Unit)는 차대동력계에서 주행하는 자동차의 바퀴에 가해지는 부하(저항)를 조절하는 장치이며, 주 제어실에서 자동차마다 정해진 부하가 가해지도록 조절한다.

⑤ 엔진 쿨링팬(Engine Cooling Blow Fan)은 자동차를 차대동력계에서 검사하는 동안 엔진의 과열에 의한 파손을 방지하기 위하여 자동차의 주행속도와 부하에 따라 적당한 바람을 공급하는 장치로 운행차 배기가스 정밀검사에서 반드시 필요한 장치이다.

⑥ 주 제어실(Main Control Room)은 교통안전공단의 서버와 연결하여 검사대상 자동차의 검사자료를 실시간으로 전송하고 검사조건에 따라 자동차의 구동바

Collection @ chosun

퀴에 가해지는 부하를 조절하는 장소이다.

⑦ 보조 모니터(An Extra Monitor)는 자동차를 운전하는 검사원이 주 제어실에서 요구하는 절차나 방법에 따라 자동차를 조작하여 정확한 검사가 이루어질 수 있도록 하기 위한 외부 모니터이다.

⑧ 엔진 회전수 검출기(rpm meter)는 디젤 자동차의 부하검사시 정해진 정격출력에서 엔진의 회전수를 측정하기 위한 장치이다.

⑨ 차대동력계(Chassis Dynamometer)는 자동차에 가해지는 주행저항을 실제 도로조건과 동일하게 구동바퀴에 가하여 구동바퀴에서 발생하는 구동력을 측정하는 장치이다

차량 안전용 벨트(Safety Loops)는 부하검사시 검사원 및 자동차의 안전을 위하여 자동차를 앞, 뒤에서 고정하기 위한 장치이다.

⑩ 관능검사용 피트(Sensory Test Room)는 자동차의 하부 새시와 배기장치의 이상 유무 등을 시각적으로 확인하기 위한 장소이다.

⑪ 사진기록기(Photograph a Recording Equipment)는 관능검사시 정상인 자동차에 대해 운행차 배기가스 정밀검사를 실시하기 전 검사 자동차의 사진을 찍어 교통안전공단으로 전송하여, 자동차의 동일성을 확인 받아야하는데, 동

⑫ 일성 확인을 위하여 자동차의 사진을 찍기 위한 장치이다 [21].

3.1.2. 측정방법

무부하검사는 휘발유 및 가스사용 자동차에 대해 자동차가 정지한 상태에서 엔진을 공회전으로 가동하여 배기가스(CO, HC)배출량과 공기과잉률( )을 측정한다. 경유사용 자동차는 자동차가 정지한 상태에서 엔진을 최대회전수까지 급가속시킬 때 배출되는 매연발생량을 부분유량채취방식의 광 투과식 매연측정기로 측정한다.

부하검사는 가솔린 자동차와 디젤자동차를 구분하여 시행한다. 먼저, 가솔린 자동차의 대표적인 측정모드로 ASM5010모드, ASM2525모드, IM240모드가 있는데 이들 중 ASM2525모드를 국내에 도입하여 검사 대상 자동차중 차량 총중량 5.5톤 이하의 자동차에 실시한다. ASM모드는 일정한 도로부하와 속도로 주행하는 자동차의 배기가스 배출량을 농도단위(%, ppm)로 측정하는 검사모드로서, ASM2525모드와 ASM50157가 있다. 국내 자동차의 경우 ASM5010모드 보

λ

Collection @ chosun

다는 ASM2525모드가 더욱 적합하여, ASM2525모드를 가솔린 자동차의 측정방법으로 채택하였다. 그리고 IM240모드는 240초 동안 자동차 속도를 구간별로 가감속하면서 배기가스 배출량을 측정하는 변이모드로서 배기가스 배출량을 중량단위(g/km)로 측정하는 검사모드이다.

차대동력계상에서 측정대상자동차의 차량중량에 따라 설정된 도로부하마력과 40 Km/h의 정속 주행상태에서 배출되는 일산화탄소, 탄화수소, 및 이산화탄소의 농도는 비분산적외선(NDIR)방법, 질소산화물의 농도는 전기화학식 또는 비분산적외선(NDIR)방법을 채택한 분석기를 사용하여 측정한다.

Table 5 Load Horse Power

Car Type \ Cylinder No.	3	4	6	8	8
Passenger Car	6.7	9.5	11.5	13.7	13.3
Passenger Vehicles (1~8 Person)	8.8	11.7	13.2	14.9	15.3
Truck	8.0	10.9	13.6	16.0	17.8
Multipurpose Type Vehicle	8.8	11.2	12.9	16.1	17.8
Van Type Truck	9.0	11.6	14.7	16.3	17.2

차대동력계 부하마력은 측정대상자동차의 차량중량에 의하여 설정되어야 하며, 부하 마력의 계산식은 다음과 같다.

부하마력(PS)=관성중량(lkg)/136, 관성중량=차량중량(kg)+136 (3-1)

자동차 변속기어는 40 Km/h 주행속도를 유지하는데 적합한 변속기어를 선택한다. 즉, 수동변속기는 3단, 자동변속기는 드라이브(D) 위치를 선택하여 자동차는 차대동력계상에서 주행하면서 충분히 예열시킨다. 검사모드를 형성하기 위해서 측정대상자동차의 차량중량에 따라 설정된 부하 마력과 40 Km/h의 주행속도를 모드 구성요건에 맞게 유지하여야 하고 자동차의 주행속도가 40±2.0 Km/h 이내를 10초 동안 유지하면 검사모드가 시작된다. 검사모드 시작이후 모의 관성

Collection @ chosun

오차가 측정 대상자동차의 관성중량의 3%를 연속하여 3초 이상 초과하면 검사 모드는 다시 시작되어야 하고, 이러한 사항이 2회 이상 발생하면 검사는 중지되어야 한다. 관성모드의 오차의 계산식은 다음과 같다 [22].

$$ISE = (IW_s - I_s)/(IW_s) \times 100 \tag{3-2}$$

이 때, $I_t = I_m + (1/V)\int_0^t (F_m - F_{rl})dt$

ISE = 모의관성 오차(%),

IWs = 설정된 관성중량(kg)

It = 전체 관성중량(kg)

Im = 차대동력계의 기본 관성중량(kg)

V = 롤러의 속도(측정치, m/s)

Fm = 로드셀에 의하여 측정된 힘(N)

Frl = 롤러의 속도에서 IPS(지시마력)에 해당하는 도로부하력(N)

t = 시간(sec)

Collection @ chosun

3.2 실험장치

3.2.1. 휴대용 굴절계

냉각수에 첨가되는 부동액비율을 맞추기 위해서 휴대용 굴절계를 사용하였다. 본 연구에 사용된 휴대용 굴절계의 제원과 구성요소는 아래 Table 6과 같으며 이는 Fig. 11～14에 나타내었다.

Table 6 Portable refractometer specification

Rate	Model (ATC)	Measurement range	Resolution	Dimension(∅×L)	Weight	
Battery/ Refrigerant/ Cleaner	FG401/411	1.15～1.30 sg 32°F～-60°F	0.01 sg 10°F	∅29×148 mm	175 g	
	FG402/412	1.15～1.30 sg 0℃～-50℃	0.01 sg 5℃	∅29×148 mm	175 g	
	FG403/413	1.15～1.30 sg 0℃～-50℃ 0℃～-40℃	0.01 sg 5℃ 5℃	∅29×148 mm	175 g	
	FG404/414	1.10～1.40 kg/l 0℃～-50℃ 0℃～-40℃	0.01 kg/l 5℃ 10℃	∅29×148 mm	175 g	
1.프리즘 2.덮개 3.교정나사 4.반사(경)관 5.접안렌즈(디옵터 조절링)						

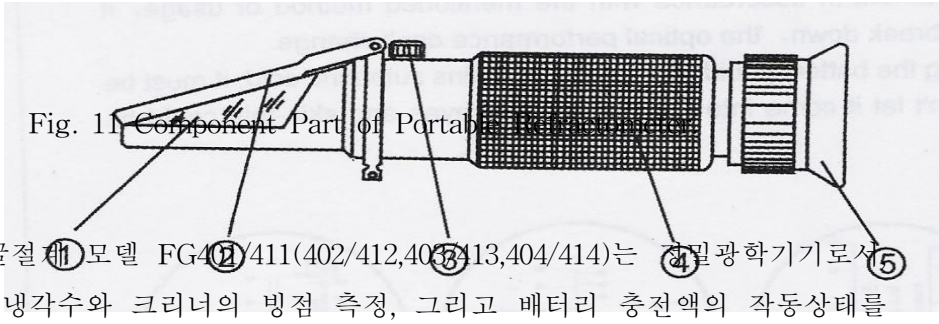


Fig. 11 Component Part of Portable Refractometer

휴대용 굴절계 모델 FG401/411(402/412,403/413,404/414)는 정밀광학기기로서 특히 엔진 냉각수와 크리너의 빙점 측정, 그리고 배터리 충전액의 작동상태를

Collection @ chosun

측정할 수 있다. 충전액으로 황산을, 냉각제로 에틸렌글리콜을 사용하기 때문에 트랙터나 탱크, 배등의 운송차량에 적합하다. 본 실험에 사용되는 휴대용 굴절계는 작고, 가볍고, 사용이 편리하기 때문에 모든 측면에서 사용 할 수 있다는 특징이 있다 [23].

Fig. 12. Portable Refractometer.

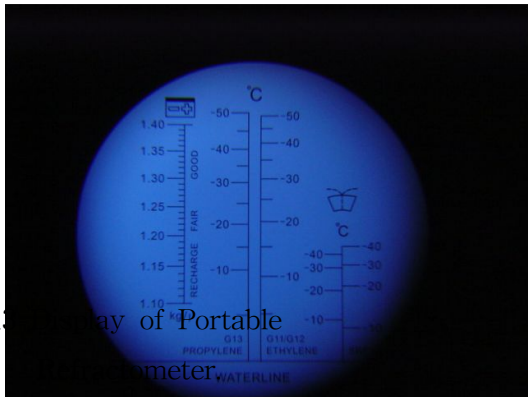


Fig. 13. Display of Portable Refractometer.

Fig. 14. Clean Air I/M 8000.

3.2.2. 자동차 배출가스 측정기

배출가스 측정을 위해 신성 환경기술사의 Clean Air I/M 8000 측정기를 사용하였다. 이 장비는 운행차 배출가스 정밀검사에 사용되고 있는 기기로서 측정범위는 탄화수소(HC) 10~10,000 ppm, 일산화탄소(CO) 0~10%, 산소(O_2) 0~25%, 이산화탄소(CO_2) 0~20%, 공기과잉률 0~2, 질소산화물(NOx) 0~5,000

Collection @ chosun

ppm이다. Table 7에 Clear Air I/M 8000의 제원을 나타내고 있다.

Table 7 Clean Air I/M 8000 specification

Specification	Type
Model	Clean Air I/M 8000
Keyboard	16key(4×4), Membrane
Display	FND, LED
Printer	Inkjet Printer
Instrument	Vehicle Exhaust Gas($CO/HC/CO_2/O_2/NOx$) Spectrometer, Excess Air Ratio Measuring Instrument
Measurement Object	CO, HC, CO_2, O_2 Air Fuel Ratio, Excess Air Ratio, NOx
Car Type for Measurement	Vehicle Consume Gasoline, LPG, Metanol, Etanol, Hydrogen ETC...
Monitor	Digital Type
Measurement Range	HC : 10~10,000 ppm, CO : 0~10%, O_2 : 0~25%, CO_2 : 0~20%, Excess Air Ratio 0~2, NOx : 0~5,000 ppm
Response Speed	90% within a Ten Second, 20% within a Twenty Second
Calibrator	Auto Calibrator
Use Range	-10℃ ~ 40℃
Drainage Type	Auto Separation
Power	AC 220 V±3%, 60 Hz
Power Line	Single-Phase Socket, Insecticide/Waterproof Agent
Gas Extraction Part	Length 7.75 cm, Horse 7.15 m, Probe 60 cm
Dimension	Height 190 mm× Width 290 mm× Length 560 mm
Weight	13 kg
비분산 적외선 분석법을 채택한 것으로, 유입된 자동차 배출가스를 분석기의	

Collection @ chosun

시료실에서 투사된 광원에 의하여 다양한 분자의 특성에 따른 파장의 적외선 에너지를 흡수하고 입력된 일정한 가스체에서는 그 농도에 대응한 흡수를 나타내는 현상을 이용한 것이다. 특정한 가스를 통과할 때 광선의 일부는 흡수되며 어떤 특정 가스에 흡수되는 광선의 정도는 정해진 일정한 광선의 파장에서 그 가스의 농도에 비례한다. 적외선 광선은 채취시료 가스가 들어있는 시료실을 통과한다. 시료실의 다른 끝에는 얇은 여광기가 부착된 세 개의 적외선 감지기가 있다. 적외선 에너지가 시료가스를 통과하여 감지대상의 파장이 감지기에 닿으면 감지기는 아날로그 시그널을 발생하며 적외선 광원은 전기적으로 가열하면 적외선 에너지를 발산하는 저항체로 구성된 세라믹 조각을 사용한다. 일정한 적외선 에너지가 확실하게 발산되도록 하기 위해서는 적외선을 항상 균일한 온도로 유지해 주는 것이 중요하다. 마이크로프로세서는 적외선 광원에 공급되는 전원을 펄스 폭 변조의 조절로 적외선 광원의 일정한 온도를 정밀하게 유지시킨다. 적외선 광원의 가열재의 저항은 자동제어 루프에 의해 일정하게 유지된다. 적외선 광선을 주기적으로 차단하여 시그널 처리상 필요한 적외선 시그널 펄스를 마련해 주는 단속 날개의 작동에는 스테퍼모터(stepper motor)를 사용되었다 [24].

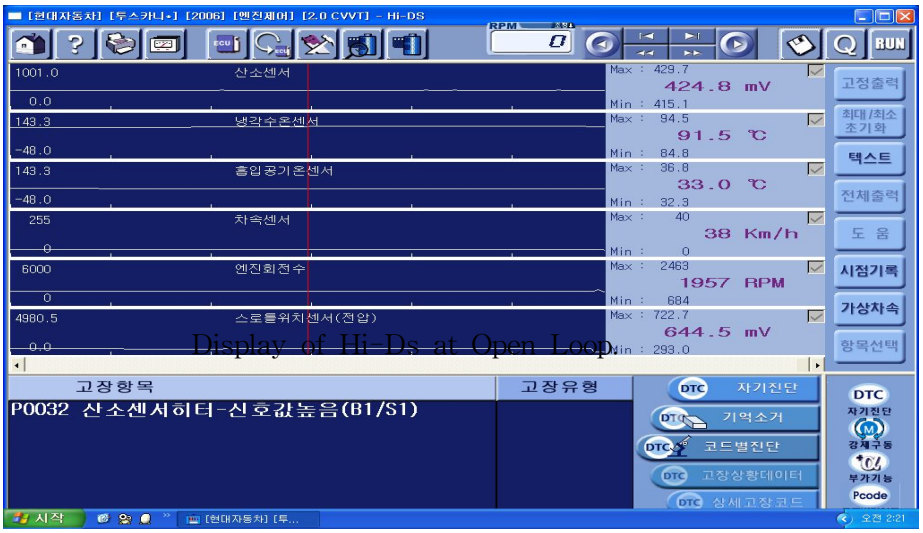
3.2.3. 파형측정기

자동차 전자장치의 고장원인을 진단하는데 필요한 모든 기능을 제공하는 장비로서 튠업, 오실로스코프, 멀티미터, 스켄툴이 하나로 되어있으며, 데이터 샘플링 속도 최고 3 Mbps, 미터기능 정밀도가 높고, 대전류/입력채널의 트리거 기능 및 작동전원 8~35 V 등 작동전원 범위가 넓다. 차량 주행 중 ECU와 TCU에 입출력되는 모든 데이터를 실시간으로 화면에 표시되는 장치이다.

Collection @ chosun

Fig. 15 Display of Hi-Ds at Closed Loop.

Fig. 15는 Closed Loop상태의 산소센서, 냉각수온센서, 오일온도, 흡기온도, 스로틀위치센서, 차속센서, 엔진회전수를 측정한 데이터 화면이다. 또한, Fig. 16은 OPEN Loop상태의 산소센서, 냉각수온센서, 흡기온도, 스로틀위치센서, 차속센서, 엔진회전수를 측정한 데이터 화면이다.



Display of Hi-Ds at Open Loop.

Fig. 16

Collection @ chosun

3.2.4. 차대동력계

이 장치는 차량이 실제 도로상을 주행할 때의 주행저항과 관성 등을 모의하여, 실제 도로가 아닌 한정된 공간에서 차대동력계의 롤러위에서 시험차량이 도로상을 실제 주행할 때와 비슷한 조건으로 운전되도록 재현하는 장치이다. 실험에 사용된 차대동력계의 제원은 Table 8과 같다.

Table 8 Dynamo specification

Classification	Specification
Corporation	Mustang Dynamometer (USA, m BAR 97 Certification Cor.)
Model	DASAn-MD-ASM-97-KR-HD Axle Capacity : 5,433 kg(12,000 lb)
Frame	Diameter : 218 mm Roller Center Length : 438 mm Roller Material ; Steel(ASTM-A513) Bearing Rate : Ball bearing
PAU	Max. Road Load Power : 400 HP at 160 Km/h PAU Type ; Eddy Current Air-Cooling, 16 coils PID Control Type Inertia Weight : 907 kg(2000 lb)
Remarkable	Electric Inertia : 907~5,433 kg, +0.45 kg Load Mea. : Stranegage Type Load Cell Power Absorption Measurement Tolerance : ±0.25% Car Velocity Measurement Tolerance : ±0.001% Max. Velocity : 160 Km/h Lift : Max. Load 5,443 kg(12,000lbs)

가. 작동방법

차대동력계는 공회전률, 구동롤 set와 동력흡수장치(PAU)등으로 구성되어 있다. 자동차와 주행바퀴는 동력계상의 두 개의 롤 set 사이에 위치하고 자동차의 회전력은 동력흡수장치(PAU) Eddy current에 직접 연결되어 있는 구동롤과 함께 전달되며 'Load'는 정확한 load sell과 전자신호를 거쳐 제어시스템에 전달되고 PAU는 직류 전원과 함께 정지상태의 코일에너지 부하를 흡수하게 된다. 코일은 자장이 설치되어 있는 회전자 안에서 Eddy current를 발생시키며 힘의 세

Collection @ chosun

기를 지시해 주면서 회전동작을 관리한다. 동력의 흡수는 rpm과 필드(field)코일에 응용된 직류전원의 합에 의존하고 있다. 또한, 회전자의 속도는 속도센서를 통해 제어 시스템에 전달을 정확히 하고 회전력과 속도를 알고 있을 때 마력은 측정하게 된다.

나. 차대동력계의 구성

차대동력계는 PAU, 관성중량부여장치, 구동장치, 롤로장치, 차량속도 측정장치, 엔진회전속도 측정장치, 자동차 구동출력 측정장치, 운전모드 보조장치, 송풍장치, 안전장치 등으로 구성되어진다.

Fig. 17 Power Absorption Unit.

(1) 동력흡수장치(PAU : Power Absorption Unit)

자동차의 구동력을 흡수하는 장치로서 실제도로상의 상태를 구현하게 하는 중요한 장치이다. 스테이터 어셈블리는 로터와 샤프트(롤러)사이에 위치하고 프레임의 축과 연결되어 있으며 스테이터 코일은 좌·우 8개의 pole로 구성되어지며 전기적으로 직렬로 연결되어진다. 전류가 직렬을 통해 흐를 때, 자기장이 스테이터와 로터 사이에 형성되어 로터가 회전함에 따라 자기장이 이동하며 와전류가 발생 와전류들이 로터의 회전을 방해하며 생기는 회전 반력을 스테이터를 통하여 로드셀에 전달 로드셀에 전달된 힘을 전합으로 변환하여 주제어장치로 보내고 주제어장치는 이 전압으로 코일의 전류량을 제어한다.

Collection @ chosun

(2) 관성중량부여장치

가속 시 자동차에 관성중량을 부여하기 위한 장치로 기본관성중량은 일반적으로 플라이휠을 이용하고 부가관성중량은 PAU 또는 다수의 플라이휠을 사용하게 되며 이 장치는 PAU를 이용하여 관성량을 0.45 kg씩 증가시킬 수 있으며 PAU는 롤러 한쪽에만 연결되어 있고, 3.3 mph/sec(5.3 Km/h/sec)로 가속되는 4,944 kg의 차량에 부합하는 주행관성시뮬레이션이 가능하도록 구성하며 PAU에 연결된 롤러를 '드라이브'롤러라 하며 전체 회전체의 기본관성이 907 kg가 되도록 PAU와 함께 설계되었다.

(3) 구동장치

동력계 자체 예열 시나 코스트다운 점검 시 롤러를 강제구동하기 위한 장치로 동력계의 축과 연결되어 있으며 일정속도이상 가속 후 전동기의 전원을 차단하는 방식과 축이음을 끊는 방식이 있다.

(4) 롤러장치

롤러장치는 롤러와 베어링으로 구성되어지며 롤러는 자동차의 동력을 받아 PAU에 전달하는 매개체로서 직경이 클수록 PAU가 받는 부담은 크지만 마찰손실이 감소하고 기계적 부담은 적게 된다. 또한 롤러의 표면은 미끄럼 방도지 처리하여 타이어와 롤러의 마찰계수를 증대시켜야 할 필요가 있는 장치이다. 또한, 베어링은 비틀림 및 수직하중을 받으면서 고속으로 회전하기 때문에 허용하중과 위험회전수를 고려하여야 한다.

(5) 차량속도 측정장치

롤러의 회전수를 엔코더로 감지하여 롤로속도로 환산한 값으로 나타나게 되는데 이는 롤러의 회전수를 측정 차속으로 환산하는 과정을 갖게 되고 이 장치는 정밀 축 또는 축의 끝 부분에 설치 가능한 구조이여야 하며 1회전 당 60펄스로 측정 되며 홀센서 방식으로 반영구적인 내구성을 지닌다. 측정된 차속과 시간을 이용하여 주행거리를 연산하며 엔코더는 차대동력계의 드라이버 롤러에 직접 부착되며, 디지털과 아날로그 회로를 통하여 속도와 가속도정보를 보여준다.

Collection @ chosun

3.3. 실험방법

부동액의 농도변화를 위하여 수돗물에 부동액 첨가를 하지 않은 경우와 부동액을 첨가하여 부동액 비율을 0%, 40%, 60%, 100%로 설정하여 산소센서를 연결한 상태(이하 Closed Loop)와 산소센서를 연결하지 않은 상태(이하 Open Loop)로 나누어 실험을 실시하였다. 본 연구에서 제작된 부동액 첨가 시료는 Fig. 18에 나타내었다.

Fig. 18 Cooling Water for Experiment.

Table 9 Specification of test car

Model	Hyundai >Tuscani >2.0 GL M/T					
Car Rate	Sports Car	Engine Displacement	1975 cc	registration Date	2003. 06.	
Price	Won	The Year of Production			2003	
Engine Type	-2.0 VVT	Fuel Type	Gasoline	Distance Covered	28,554 Km/h	
Fuel Efficient	11.6 km/l	Fuel Efficient Grade			3	
Drive Type	FF	Gear	Manual Type(Five-Speed)			
Max. Power	143 hp	Max. Torque		19.0 kg.m		
Weight	1331 kg	Total Length	4395 mm	Total width	1760 mm	
Total Height	1330 mm	Wheelbase	2530 mm	Tread Front/Rear	1490 / 1490 mm	

Collection @ chosun

차량의 배기가스 분석을 위하여 본 연구에서 사용된 차량은 H사의 T모델이며 주행거리는 28,554 km/h 주행한 2003년식으로 차량의 제원은 Table 9에 나타내었다.

본 연구에서 Open Loop와 Closed Loop로 나누어 실험한 이유는 산소센서가 배출가스에 미치는 영향이 크기 때문이다. 산소센서는 주위에 있는 산소의 양(농도)에 따라 단순히 전압을 나타내는 것으로, 연료가 많고 적음에 따라 반응하는 것은 아니다. 물론 연료의 많고 적음에 따라 배기가스 속에 산소의 농도가 변화하기 때문에 결과적으로는 그와 비슷한 원리라고 할 수 있지만, 배출가스 저감 및 OBD(On-board Diagonsis)와 관련되는 정비를 할 때, 즉 산소센서 시그널을 통해 엔진 및 배출가스 상태를 점검하고자 할 때는 반드시 배기가스중의 산소의 양을 고려하여 접근하고 이를 분석하여야 한다. 그 이유는 배기가스 속에 산소의 농도는 연료의 많고 적음에 따라 좌우되기도 하지만, ECU가 알고 있는 공기량(즉 흡입공기량 시그널을 통해 인식한 양)과 실제 엔진에 흡입되는 공기량의 차이에 의해서 더 많이 영향을 받기 때문이다. 또한 내구 노후화에 따라 발생하는 혼합기의 변화는 연료량의 변화보다 공기량의 변화에 미치는 영향이 크기 때문이다. 배출가스의 과다 발생은 연료량의 변화보다는 공기량의 변화에 의해 발생하는 것이 거의 대부분이라고 할 수 있다. 본 연구에서 일정한 차량 외부조건을 맞춰주기 위하여 실내온도는 17~18℃로, 엔진오일의 온도는 자동차 검사 규격에 맞도록 90~93℃에 맞추었으며, 일반적으로 수동기어를 사용하는 소형승용차의 검사 규격 속도인 40±2 Km/h에 맞게 실험을 실시하였다. 이와 관련된 실험장면은 Fig. 19에 나타내었다.

Collection @ chosun

Fig. 19 Experiment Picture.

Collection @ chosun

제4장 실험결과 및 고찰

4.1 부동액 농도에 따른 CO 측정 결과 및 고찰

4.1.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop)

순수한물에 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 측정한 실험결과는 Table 10에 나타내었다. Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온센서(WTS: Water Temperature Sensor)로 냉각수온도를 측정하였고, 흡기온도센서(ATS: Air Temperature Sensor)로 흡기온도를 측정하였다. 또한, 자동차속도센서(VSS: Vehicle Speed Sensor)로 차속을 측정하였으며, 엔진오일 온도와 RPM도 각각의 센서에 의해 측정하였다. 실험결과 CO는 0.5%로 거의 일정한 값을 가지는 것으로 나타내었다. 그러나 실험 9회째의 경우 CO가 0.6%를 나타내었는데 이는 실험시 측정 오류로 판단된다.

Collection @ chosun

Table 10 Antifreeze Concentration 0% (Closed loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.6	0.50	93.0	91.0	37.5	2002	40
2	17.7	0.50	90.0	92.0	40.5	1968	40
3	17.7	0.50	92.3	93.0	41.3	2022	40
4	18.0	0.50	91.5	93.0	42.0	1983	40
5	18.1	0.50	87.8	94.0	45.8	1984	40
6	16.1	0.50	79.55	55.0	15.0	1938	38.0
7	16.4	0.50	93.0	81.0	19.5	1962	39.0
8	16.5	0.50	92.3	86	27	1926	38.0
9	17.3	0.60	93.8	89	30	1943	39.0
10	17.4	0.50	91.5	90.0	33.0	1923	37
11	17.2	0.50	90.8	92.0	38.3	1981	40.0
12	17.7	0.50	89.3	92.0	39.8	1977	40.0
13	17.8	0.50	92.3	92.0	39.0	1935	39.0
14	17.0	0.50	87.8	92.0	41.3	1973	40.0
15	17.6	0.50	93.0	93.0	39.8	1946	39.0
AVG.	17.34	0.51	90.53	88.33	35.32	1,964	39.27

4.1.2. 부동액 농도 0%(Open Loop)

부동액 농도 0%에서의 실험결과는 Table 11에 나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴보았다. 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃일 때 CO는 1.20%였으며, CO가 가장 낮은 0.90%의 경우4 냉각수온도는 89.3℃이다. 그러나, 냉각수온도가 87.8℃인 경우 도리어 CO는 1.30%로 더 높게 나타났다. 엔진오일온도의 경우, CO가 1.00%인 경우 엔진오일 온도는 90.0℃, 91.0℃, 92.0℃로 다양하게 나타났으며, 엔진오일온도가 92.0℃로 일정한 경우의 CO는 1.10%, 0.90%, 1.00%, 1.20%로 나타났다. 또한, CO가 1.00%의 일 때, 흡기온도는 39.8℃, 40.5℃, 44.3℃, 43.5℃로 다양하게 나타났으며, 0.9% 일 때 44.3℃을 나타냈다. 본 연구 결과에

Collection @ chosun

의하면, Open Loop의 경우에도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 11 Antifreeze Concentration 0% (Open loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.8	1.00	91.5	90.0	39.8	1985	40.0
2	17.4	1.00	92.3	91.0	40.5	2001	40.0
3	17.7	1.10	92.3	92.0	42.8	2000	40.0
4	17.6	0.90	89.3	92.0	44.3	1995	40.0
5	17.7	1.00	91.5	92.0	44.3	1982	40.0
6	17.9	1.20	93.0	92.0	43.5	1976	40
7	17.5	1.10	90.8	92.0	44.3	2022	40
8	17.6	1.10	89.3	92.0	45.0	1996	40
9	17.3	1.40	93.0	92.0	43.5	2016	40
10	17.3	1.10	87.0	93.0	46.5	1995	40
11	17.6	1.20	94.5	93.0	43.5	1991	40
12	17.4	1.40	90.0	93.0	46.5	2006	40
13	17.6	1.10	90.8	92.0	45.8	2010	40
14	17.8	1.30	87.8	92.0	46.5	1939	39
15	17.7	1.00	93.0	92.0	43.5	2005	40
AVG.	17.59	1.13	91.07	92.00	44.02	1,994	39.93

4.1.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop)

순수한 물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도 40%에 맞춰서 실험한 결과를 Table 12에 나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량을 살펴보면. 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃일 때 CO는 0.56%였으며, CO가 가장 낮은 0.50%의 경우 냉각수온도는 93.8℃도로 나타났다. 그러나, 냉각수온도가 93.8℃인 경우 CO가 0.55%로 더 높게 나타났다.

엔진오일의 경우는 엔진오일 온도가 93.0℃로 일정한 경우의 CO는 0.57%,

Collection @ chosun

0.56%, 0.53%로 나타났다. CO 배출량이 가장 높은 0.58%에서의 흡기온도는 43.5℃, 45.8℃, CO 배출량이 가장 낮은 0.50%에서의 흡기온도는 34.5℃, CO 배출량 0.56%의 경우 흡기온도가 39.8℃, 44.3℃, 45.8℃, 36.0℃, 33.0℃로 다양하게 나타났다. 따라서 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향이 없음을 확인할 수 있다.

Table 12 Antifreeze Concentration 40%(Closed loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	18.9	0.54	90	92	36.8	1979	40
2	16.8	0.55	92.3	89	31.5	1972	39
3	16.6	0.50	93.8	91	34.5	1967	39
4	16.3	0.57	92.3	93	38.3	1987	39
5	16.0	0.56	92.3	93	39.8	1953	39
6	16.2	0.56	87.8	94	44.3	1983	40
7	16.0	0.58	90.8	94	43.5	1977	40
8	16.0	0.56	88.5	94	45.8	1981	40
9	16.0	0.58	89.3	95	45.8	1950	39
10	17.7	0.56	94.5	93	36	1990	40
11	17.4	0.53	87.8	93	33.8	1967	39
12	16.4	0.57	88.5	93	39	1973	39
13	16.9	0.56	93	93	33	1979	40
14	17.2	0.55	90	92	31.5	1986	40
15	17.2	0.55	93.8	92	30	1962	40
AVG.	16.77	0.55	90.98	92.73	37.57	1,973	39.53

4.1.4. 부동액 농도 40%(Open Loop)

부동액 농도 40%일 때 실험결과는 Table 13에 나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴본결과 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃일 때 CO는 0.67% 였으며, CO가 가장 낮은 0.59%의 경우 냉각수온도는 87.8℃로 나타났다. 하지만, 냉각수온도가 87.8℃인 경우 CO는 0.60%, 0.75%로 더 높게 나타났다. 또한, 엔진오일온도가 92.0℃ 경우의 CO는 0.70%, 0.67%, 0.90%, 93.0℃의 경우 CO는 0.75%,

Collection @ chosun

0.88%, 0.72%로 나타났다.

CO 배출량이 가장 높은 0.90%에서의 흡기온도는 38.3℃, CO 배출량이 가장 낮은 0.59%에서의 흡기온도는 25.5℃을 보였으며, 이러한 측정결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향이 있음을 확인 할 수 있다.

Table 13 Antifreeze Concentration 40% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.9	0.60	90.8	81	17.3	1960	38
2	13.1	0.59	87.8	87	25.5	1971	39
3	13.8	0.63	89.3	90	30	1993	40
4	14.3	0.70	92.3	92	32.3	1998	40
5	14.6	0.7	92.3	92	34.5	2007	40
6	14.9	0.6	87.8	86	27.8	1979	39
7	15.2	0.76	93.8	89	29.3	1978	39
8	15.4	0.67	91.5	92	36	1993	40
9	15.5	0.75	87.8	93	40.5	1981	40
10	15.5	0.63	91.5	94	39.8	1975	40
11	15.6	0.9	90	92	38.3	2020	40
12	15.9	0.88	90.8	93	39.8	1961	40
13	16.1	0.72	87	93	43.5	2014	40
14	16.3	0.5	89.3	94	44.3	2002	40
15	16.0	0.67	94.5	92	39.8	2002	40
AVG.	15.01	0.69	90.43	90.67	34.58	1,988	39.67

4.1.5. 부동액 농도 60%(Close Loop)

부동액 농도를 60%에 맞춰서 실험을 진행하고 이를 분석한 결과는 Table 14에 나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴보았다. 냉각수온도가 가장 높은 95.3℃일 때 CO는 0.57%, 0.58%로 나타났으며, CO가 가장 낮은 0.50%의 경우 냉각수

Collection @ chosun

온도는 92.3℃로 나타났다. 하지만, 냉각수온도가 92.3℃인 경우 CO는 0.56%로 더 높게 나타났다. 또한, 엔진오일온도가 98.0℃로 일정한 경우의 CO는 0.58%, 0.57%, 0.58%, 0.55%, 0.58%, 0.56%, 0.57%로 나타났다.

흡기온도에 따른. CO 배출량을 보면 가장 높은 0.59%에서의 흡기온도는 32.3℃, 34.5℃, 33.8℃일 때이고 CO 배출량이 가장 적은 0.50%는 흡기온도가 19.5℃, 흡기온도가 가장 높은 41.3%에서의 CO 배출량은 0.57%, 0.58%이다. 이러한 상호결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 14 Antifreeze Concentration 60% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.7	0.50	92.3	88.0	19.5	1988	40
2	11.5	0.51	90.8	92.0	25.5	1980	40
3	11.6	0.54	90.8	94.0	30.0	1917	39
4	12.0	0.56	90.8	94.0	30.8	1976	40
5	12.1	0.57	95.3	94.0	30.0	1967	40.0
6	12.4	0.59	93.0	95.0	32.3	2002	40
7	13.1	0.59	90.8	95.0	34.5	1990	39
8	13.2	0.59	93.8	95.0	33.8	1972	40
9	13.6	0.56	93.8	95.0	34.5	1954	39
10	13.6	0.56	92.3	96.0	36.0	1963	39
11	13.9	0.57	88.5	96.0	39.0	1963	39
12	14.3	0.56	93.8	97.0	37.5	1922	37
13	14.5	0.58	89.3	98.0	41.3	1959	39
14	15.0	0.57	88.5	98.0	41.3	1983	40
15	14.9	0.57	89.3	97.0	41.3	1955	39
AVG.	13.23	0.56	91.54	94.93	33.82	1,966	39.33

4.1.6. 부동액 농도 60%(Open Loop)

물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도가 60%일 때의 실험결과는 Table 15에

Collection @ chosun

나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴보았다. 실험결과 19회, 20회째 측정은 이상 징후로 판단하여 분석에서 제외시키기로 한다. 냉각수온도가 가장 높은 95.3℃일 때 CO는 1.05%, 1.11%, 1.05%로 나타났으며, CO가 가장 낮은 0.88%의 경우 냉각수온도는 90.0℃ 이다. 하지만, 냉각수온도가 90.0℃인 경우 도리어 CO는 1.27%, 1.01%로 약간 높게 나타났다. 엔진오일 온도가 92.0℃ 일 때 CO는 1.11%, 1.13%, 1.05%, 94.0℃의 경우 CO는 1.14%, 1.05%, 1.08%로 확인되었다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 CO 배출량이 가장 높은 1.27%에서의 흡기온도는 41.3℃, CO 배출량이 가장 낮은 0.88%에서의 흡기온도는 28.5℃, 흡기온도가 가장 높은 42.0℃에서의 CO 배출량은 1.16%이다. 본 결과로 추측하여 보면 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 15 Antifreeze Concentration 60% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	11.6	0.88	90.0	87.0	28.5	2000	39
2	13.2	1.08	92.8	91.0	31.5	1971	39
3	13.4	1.14	91.5	94.0	35.3	1974	39
4	15.2	1.05	95.3	94.0	35.3	1944	38
5	15.5	1.08	93.0	95.0	36.8	1968	39
6	15.4	1.27	90.0	97.0	41.3	1959	39
7	15.5	1.11	95.3	92.0	30.0	1939	38
8	15.4	1.14	93.8	90.0	39.8	1951	39
9	15.6	1.16	91.5	93.0	42.0	1932	38
10	16.7	1.13	93.8	92.0	39.8	1962	38
11	18.2	1.07	90.8	90.0	36.0	1930	38
12	18.1	1.08	87.8	94.0	36	1963	39
13	18.0	1.02	91.5	96.0	33	1957	38
14	16.7	1.15	93.8	91.0	33.8	1950	38
15	16.1	1.01	90.0	89.0	37.5	1992	39
AVG.	15.64	1.09	92.06	92.33	35.77	1,959	38.53

Collection @ chosun

4.1.7. 부동액 농도 100%(Closed Loop)

물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도 100%에 맞춰서 실험한 실험결과는 Table 16에 나타내었다. 본 연구에서는 일정한 부동액의 조건에서 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴보았다. 냉각수온도가 가장 높은 96℃일 때 CO는 0.50% 이였으며, CO가 가장 낮은 0.50%의 경우 냉각수온도는 89℃, 88.5℃, 87.8℃, 96℃이다. CO가 가장 높은 0.61%에서는 87.8℃였다. 또한, 엔진오일온도가 95.0℃로 일정한 경우의 CO는 0.50%, 0.58%, 0.59%로 나타났다.

흡기온도의 경우는 CO 배출량이 높은 수준인 0.59%에서의 흡기온도는 40.5℃, 43.5℃, 45.8℃, CO 배출량이 가장 낮은 0.50%에서의 흡기온도는 39.0℃, 39.8℃, 43.5℃, 44.3℃, 46.5℃로 다양하게 나타났다. 이러한 관계로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO의 배출에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

Table 16 Antifreeze Concentration 100% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)	
1	18.4	0.56	87.8	96	49.5	1986	40	
2	16.9	0.50	89	93	48	1998	40	
3	16.9	0.5	88.5	94	43.5	2002	40	
4	16.6	0.59	87.8	92	40.5	1995	40	
5	17.8	0.58	89.3	95	44.3	1966	40	
6	18	0.5	88.5	96	46.5	1946	39	
7	17.6	0.59	89.3	96	45.8	1969	40	
8	17.3	0.5	87.8	95	44.3	1987	40	
9	17.2	0.59	89.3	95	43.5	1951	39	
10	17.1	0.5	96	94	39	1979	39	
11	17.3	0.5	87.8	93	39.8	1969	39	
12	16.3	0.55	91.5	94	39.8	1983	39	
13	16	0.61	87.8	92	38.3	1972	39	
14	15.3	0.58	89.3	90	33	1958	40	
15	14.5	0.56	88.5	85	26.3	2000	40	
AVG.	16.88	0.55	89.21	93.33	41.47	1,977	39.60	

4.1.8. 부동액 농도 100%(Open Loop)

냉각수 전체를 부동액으로만 사용한 부동액 농도 100%의 실험결과는 Table 17에 나타내었다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 CO의 변화량에 대해서 살펴보면. 냉각수온도가 가장 높은 90.8℃일 때 CO는 0.20% 2회, 0.24% 였으며, CO가 가장 낮은 0.20%의 경우 냉각수온도는 88.5, 89.3℃ 각 1회, 90.8℃ 일때로 다양하게 나타났다. 엔진오일온도의 경우는 엔진오일 온도가 97.0℃ 경우의 CO는 0.24%, 0.25%, 0.28%, 0.34%이며, 94.0℃의 경우 CO는 0.20%, 0.22%, 0.23%, 0.33%로 나타났다.

흡기온도의 경우에 CO 배출량이 가장 높은 0.34%에서의 흡기온도는 48.0℃이고, CO 배출량이 가장 낮은 0.20%에서의 흡기온도는 41.3℃, 45.8℃, 48.8℃, 49.5℃이다. 흡기온도가 높은 수준인 49.5℃에서의 CO 배출량은 0.20%, 0.22%,

Collection @ chosun

0.23%(2회)이다. 이러한 측정 결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 CO에 직접적인 영향이 미미한 것으로 확인되었다.

Table 17 Antifreeze Concentration 40%(Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17	0.3	87.8	93	43.5	1998	40
2	17.2	0.2	90.8	93	41.3	1981	40
3	17.2	0.27	88.5	95	44.3	1983	40
4	17.4	0.2	89.3	96	45.8	1976	40
5	17.5	0.34	89.3	97	48	2010	40
6	17.3	0.25	90	97	48	1979	40
7	18.1	0.28	89.3	97	48.8	1983	40
8	17.8	0.33	89.3	96	48.8	1995	40
9	17.7	0.24	90.8	97	48.8	1979	40
10	17.9	0.2	90.8	98	49.5	1986	40
11	17.5	0.20	88.5	95	48.8	1971	40
12	18.5	0.22	87.8	96	49.5	1981	40
13	18.4	0.23	87.8	96	49.5	1990	40
14	18.2	0.23	88.5	96	49.5	1987	40
15	18.5	0.25	89.3	97	50.3	1989	40
AVG.	17.75	0.25	89.19	95.93	47.63	1,985	40.0

4.1.9. 부동액 농도 변화에 대한 CO배출 결과 고찰

순수한물에 부동액을 첨가하지 않았을 때, 부동액 농도 40%, 60%, 100%로 했을 때의 경우를 서로 비교해 보았다. 결과값은 아래 Table 18과 Fig. 20~22에 나타내었다. 전반적으로 산소센서를 제거한 경우보다 제거하지 않은 경우에 CO가 더 낮게 나오는데 이는 산소센서로부터 신호를 ECM이 받아 연료량을 계산하여 분사하므로 최적의 연소를 진행하는 것으로 확인 되었으며, 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 산소센서를 제거한 경우 CO배출량이 가장 높은 것으로 나타났다. 반면에, 부동액 농도 100%의 산소 센서를 제거한 경우에 CO가 가장 낮게 배출되었다. CO 배출에 큰 영향을 미치는 산소센서가 부착되어 있는 경우

Collection @ chosun

부동액이 CO 배출에 미치는 영향을 살펴보면 서로 큰 차이를 나타내지는 않지만 산소센서를 제거한 경우에는 서로간의 격차가 확연히 나타남을 볼 수 있다.

결과에서 볼 수 있듯이, 산소센서는 CO 배출에 큰 영향을 미치고 있다. 그 이유는 산소센서가 고장 나면 피드백 제어를 할 수 없어 CO가 많이 배출되고 연료소모가 많아지기 때문이다. 하지만, 부동액 농도 40%의 경우 산소센서를 제거한 상태와, 제거하지 않은 상태의 결과 값이 큰 차이를 보이지 않고 있음으로 보아 부동액 농도가 40%에서 좀 더 엄밀한 실험을 실행한다면 최적의 CO배출 조건을 찾을 수 있을 것으로 예측된다. 즉, 최적의 부동액 첨가로 산소센서 미작동시 CO배출을 줄일 수 있는 여건을 조성할 수 있는 것으로 판단되어진다.

배출가스의 CO 함유량은 부동액의 비율에 큰 영향을 받고 있지 않음을 알 수 있다. 지금까지 실험한 결과의 냉각수온도는 약 90℃ 범위내이다. 냉각수 온도 90℃ 범위에서의 금속면 온도는 210℃~ 250℃ 이다. 산소센서를 부착한 상태에서의 배출가스 CO 함유량은 모든 실험조건에서 0.4% ~0.6% 범위내의 값을 나타내고 있다. 즉, 엔진 내부 온도의 고저에 따라 연료연소 조건이 달라지지만 실험조건에서의 CO 함유량은 연료 연소조건에 영향을 미치는 엔진 금속면 온도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

Table 18 CO Concentration of Exhaust Gas

	0%	0%	40%	40%	60%	60%	100%	100%	
	C.L	O.L	C.L	O.L	C.L	O.L	C.L	O.L	
1	0.5	1	0.54	0.6	0.5	0.88	0.56	0.3	
2	0.5	1	0.55	0.59	0.51	1.08	0.5	0.2	
3	0.5	1.1	0.5	0.63	0.54	1.14	0.5	0.27	
4	0.5	0.9	0.57	0.7	0.56	1.05	0.59	0.2	
5	0.5	1	0.56	0.7	0.57	1.08	0.58	0.34	
6	0.5	1.2	0.56	0.6	0.59	1.27	0.5	0.25	
7	0.5	1.1	0.58	0.76	0.59	1.11	0.59	0.28	
8	0.5	1.1	0.56	0.67	0.59	1.14	0.5	0.33	
9	0.6	1.4	0.58	0.75	0.56	1.16	0.59	0.24	
10	0.5	1.1	0.56	0.63	0.56	1.13	0.5	0.2	
11	0.5	1.2	0.53	0.9	0.57	1.07	0.5	0.2	
12	0.5	1.4	0.57	0.88	0.56	1.08	0.55	0.22	
13	0.5	1.1	0.56	0.72	0.58	1.02	0.61	0.23	
14	0.5	1.3	0.55	0.5	0.57	1.15	0.58	0.23	
15	0.5	1	0.55	0.67	0.57	1.01	0.56	0.25	
AVG.	0.51	1.13	0.55	0.69	0.56	1.09	0.55	0.25	

Collection @ chosun

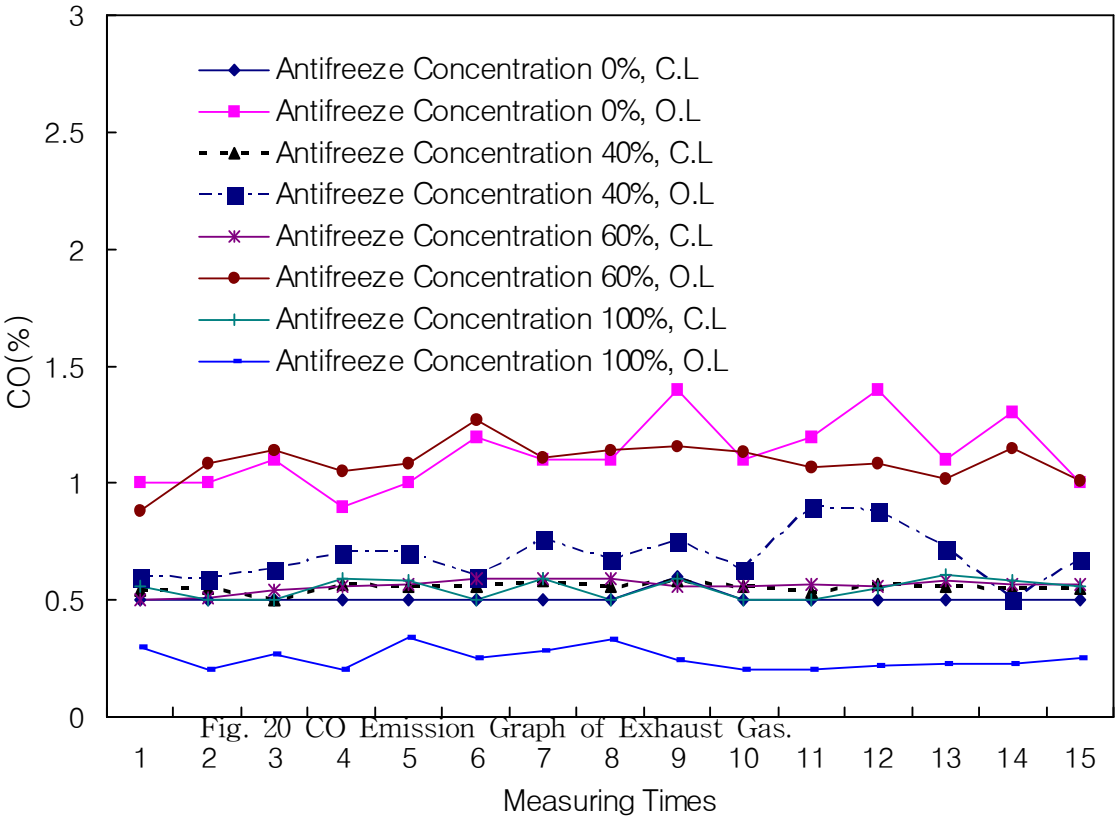


Fig. 20 CO Emission Graph of Exhaust Gas.

Collection @ chosun

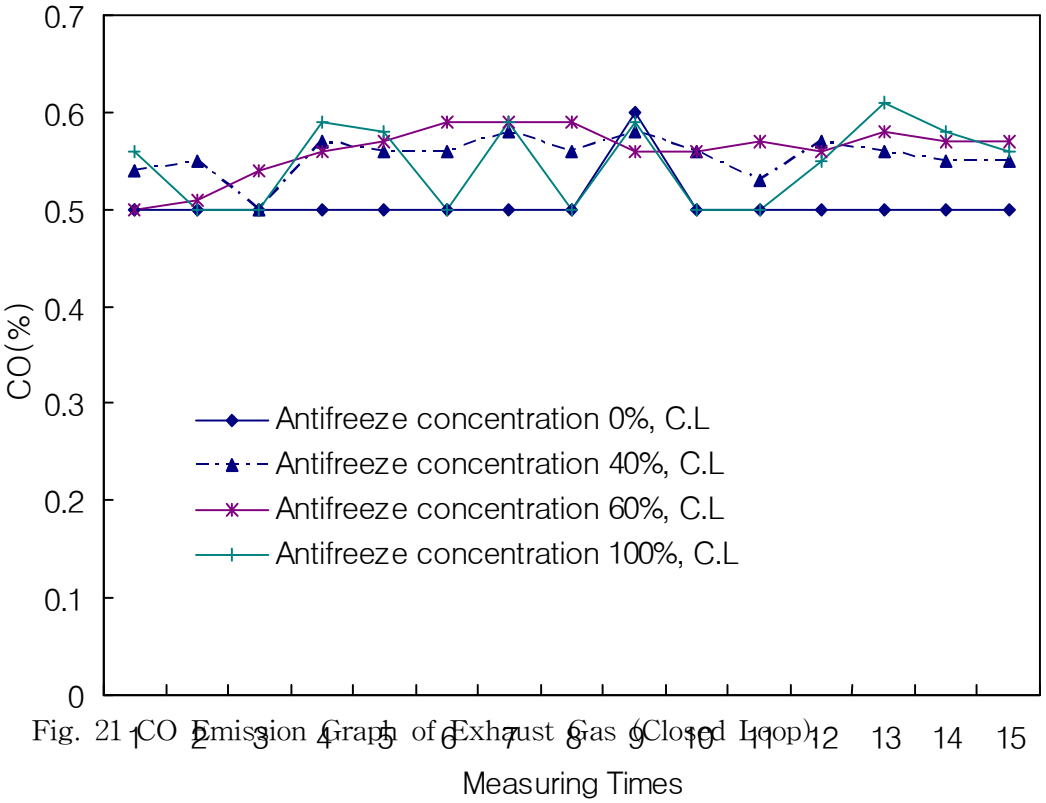


Fig. 21 CO Emission Graph of Exhaust Gas (Closed Loop)

Collection @ chosun

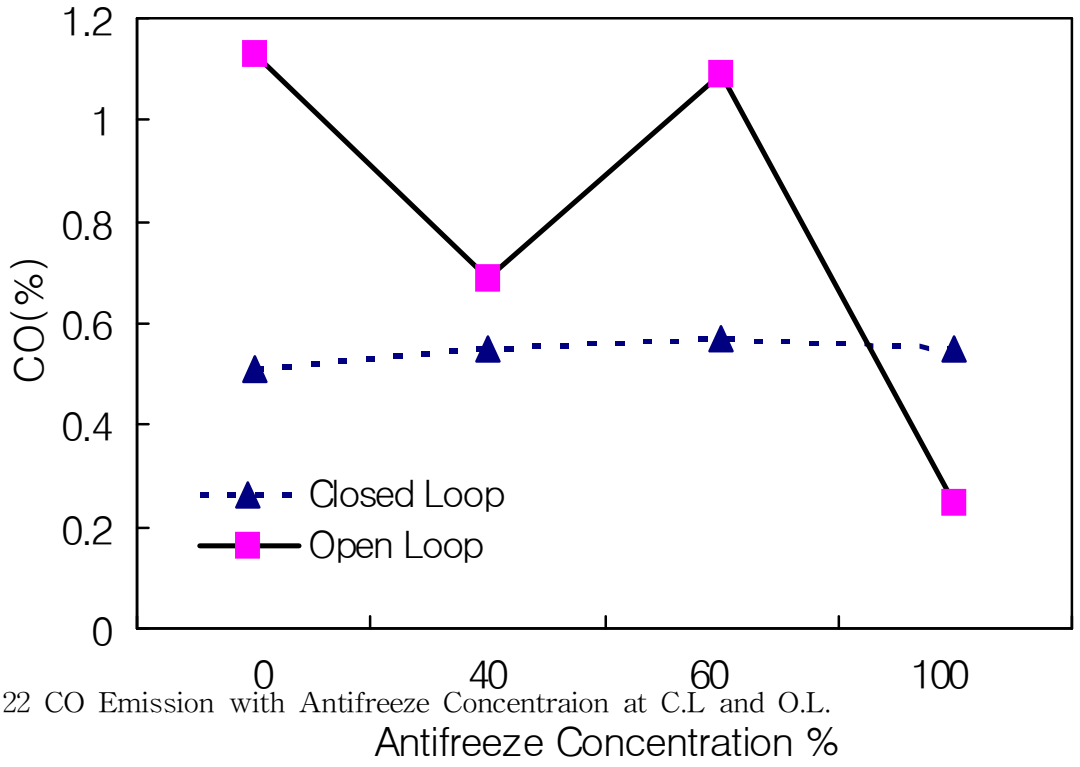


Fig. 22 CO Emission with Antifreeze Concentraion at C.L and O.L.

Collection @ chosun

4.2. 부동액 농도에 따른 HC배출 결과분석

4.2.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop)

순수한 물에 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 HC 배출량을 측정한 실험결과는 Table 19에 나타내었다. HC가 190 ppm으로 나타난 측정 1회째와 9회째의 경우 다른 결과 값과 과도한 차이를 보이지만 모두 측정 규격 범위내에서 측정된 것이므로 다른 이상 원인에 의한 것으로 예측되므로 결과분석에서 제외키로 한다. 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 HC의 변화량에 대해서 살펴보았다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 HC는 147 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 93℃의 경우 HC는 148 ppm이 배출되었다. 한편, HC 배출이 135 ppm으로 가장 낮은 결과값을 나타낸 냉각수온도는 91.5℃이다. 엔진오일온도의 경우는 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 HC 배출은 138 ppm, 140 ppm, 142 ppm, 143 ppm, 146 ppm이고, 온도가 93.0℃일 때 HC 배출은 141 ppm, 142 ppm, 148 ppm으로 다양하게 나타났다.

Table 19 Antifreeze Concentration 0% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.6	190	93.0	91.0	37.5	2002	40
2	17.7	138	90.0	92.0	40.5	1968	40
3	17.7	141	92.3	93.0	41.3	2022	40
4	18.0	142	91.5	93.0	42.0	1983	40
5	18.1	147	87.8	94.0	45.8	1984	40
6	16.1	144	79.55	55.0	15.0	1938	38.0
7	16.4	148	93.0	81.0	19.5	1962	39.0
8	16.5	152	92.3	86	27	1926	38.0
9	17.3	190	93.8	89	30	1943	39.0
10	17.4	135	91.5	90.0	33.0	1923	37
11	17.2	140	90.8	92.0	38.3	1981	40.0
12	17.7	142	89.3	92.0	39.8	1977	40.0
13	17.8	143	92.3	92.0	39.0	1935	39.0
14	17.0	146	87.8	92.0	41.3	1973	40.0
15	17.6	148	93.0	93.0	39.8	1946	39.0
AVG.	17.34	149.73	90.53	88.33	35.32	1,964	39.27

Collection @ chosun

HC 배출량이 가장 높은 152 ppm에서의 흡기온도는 27℃, HC 배출량이 가장 낮은 135 ppm에서의 흡기온도는 33.0℃, 흡기온도가 가장 낮은 15.0에서의 HC 배출량은 144 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 45.8℃에서의 HC 배출량은 147 ppm이다. 본 실험 결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

4.2.2. 부동액 농도 0%(Open Loop)

순수한물에 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 측정한 실험결과는 Table 20에 나타내었다. 본 연구의 결과, 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.0℃의 경우 HC는 164 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 93℃의 경우 HC는 169 ppm이 배출되었다. 한편, HC 배출이 149 ppm으로 가장 낮은 결과값을 나타낸 냉각수온도는 91.5℃이다. 냉각수온도가 91.5℃로 나타난 다른 측정결과에서는 HC 배출량 161 ppm으로 나타났다. 엔진오일온의 경우는 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 HC 배출은 159 ppm, 160 ppm, 161 ppm, 169 ppm, 167 ppm, 156 ppm, 163 ppm, 161 ppm, 167 ppm이고, 온도가 93.0℃일 때 HC 배출은 164 ppm, 161 ppm, 170 ppm으로 다양하게 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 HC 배출량이 가장 높은 170 ppm에서의 흡기온도는 46.5℃, HC 배출량이 가장 낮은 149 ppm에서의 흡기온도는 39.8℃, 흡기온도가 가장 낮은 39.8℃에서의 HC 배출량은 149 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 46.5℃에서의 HC 배출량은 164 ppm, 167 ppm, 170 ppm이다. 이러한 측정 결과로 보아 Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC에 직접적인 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

Collection @ chosun

Table 20 Antifreeze Concentration 0% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.8	149	91.5	90.0	39.8	1985	40.0
2	17.4	155	92.3	91.0	40.5	2001	40.0
3	17.7	159	92.3	92.0	42.8	2000	40.0
4	17.6	160	89.3	92.0	44.3	1995	40.0
5	17.7	161	91.5	92.0	44.3	1982	40.0
6	17.9	169	93.0	92.0	43.5	1976	40
7	17.5	167	90.8	92.0	44.3	2022	40
8	17.6	156	89.3	92.0	45.0	1996	40
9	17.3	163	93.0	92.0	43.5	2016	40
10	17.3	164	87.0	93.0	46.5	1995	40
11	17.6	161	94.5	93.0	43.5	1991	40
12	17.4	170	90.0	93.0	46.5	2006	40
13	17.6	161	90.8	92.0	45.8	2010	40
14	17.8	167	87.8	92.0	46.5	1939	39
15	17.7	154	93.0	92.0	43.5	2005	40
AVG.	17.59	161.07	91.07	92.00	44.02	1,994	39.93

4.2.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop)

순수한 물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도 40%에 맞춰서 실험한 실험결과는 Table 21에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 HC는 147 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 93℃의 경우 HC는 148 ppm이 배출되었다. 한편, HC 배출이 135 ppm으로 가장 낮은 결과값을 나타낼 때의 냉각수온도는 91.5℃이다. 또한, 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 HC 배출은 138 ppm, 140 ppm, 142 ppm, 143 ppm, 146 ppm이고, 온도가 93.0℃일 때 HC 배출은 141 ppm, 142 ppm, 148 ppm으로 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 HC 배출량이 가장 높은 152 ppm에서의 흡기온도는 27℃, HC 배출량이 가장 낮은 135 ppm에서의 흡기온도는 33.0℃, 흡기온도가 가장 낮은 15.0℃에서의 HC 배출량은 144 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 45.8℃에서의 HC 배출량은 147 ppm이다. 이러한 측정 결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량

Collection @ chosun

속도의 각각의 변화는 HC와 관련이 미미함을 확인 할 수 있다.

Table 21 Antifreeze Concentration 40%(Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp .(℃)	RPM	VSS (km/h)
1	18.9	127	90	92	36.8	1979	40
2	16.8	133	92.3	89	31.5	1972	39
3	16.6	125	93.8	91	34.5	1967	39
4	16.3	126	92.3	93	38.3	1987	39
5	16.0	131	92.3	93	39.8	1953	39
6	16.2	133	87.8	94	44.3	1983	40
7	16.0	132	90.8	94	43.5	1977	40
8	16.0	133	88.5	94	45.8	1981	40
9	16.0	133	89.3	95	45.8	1950	39
10	17.7	138	94.5	93	36	1990	40
11	17.4	125	87.8	93	33.8	1967	39
12	16.4	126	88.5	93	39	1973	39
13	16.9	128	93	93	33	1979	40
14	17.2	131	90	92	31.5	1986	40
15	17.2	132	93.8	92	30	1962	40
AVG.	16.77	130.20	90.98	92.73	37.57	1,973	39.53

4.2.4. 부동액 농도 40%(Open Loop)

부동액 40%에서의 실험결과는 Table 22에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.0℃의 경우 HC는 128 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃의 경우 HC는 131 ppm이 배출되었다. 한편, 냉각수온도는 87.8℃에서 HC 배출이 110 ppm으로 가장 낮은 결과값을 나타냈다. 냉각수온도가 87.8℃에서 HC 배출량 121 ppm, 124 ppm으로 나타났다. 엔진오일온도의 경우는 가장 많은 작동인 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 HC 배출은 125 ppm, 113 ppm, 118 ppm, 129 ppm, 131 ppm이고, 엔진오일 온도가 가장 낮은 81.0℃의 경우 HC는 134 ppm이 배출되었고, 엔진오일온도가 가장 높은 94.0℃의 경우 HC는 117 ppm, 125 ppm이 배출되었다.

흡기온도를 보면 흡기온도가 가장 낮은 17.3℃에서의 HC 배출량은 134 ppm

Collection @ chosun

이고, 흡기온도가 가장 높은 44.3℃에서의 HC 배출량은 125 ppm이다. 실험결과를 통하여 유추해보면, Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC 배출량의 변화에 큰 차이를 보이지 않고 있다.

Table 22 Antifreeze Concentration 40% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.9	134	90.8	81	17.3	1960	38
2	13.1	110	87.8	87	25.5	1971	39
3	13.8	121	89.3	90	30	1993	40
4	14.3	125	92.3	92	32.3	1998	40
5	14.6	113	92.3	92	34.5	2007	40
6	14.9	121	87.8	86	27.8	1979	39
7	15.2	116	93.8	89	29.3	1978	39
8	15.4	118	91.5	92	36	1993	40
9	15.5	124	87.8	93	40.5	1981	40
10	15.5	117	91.5	94	39.8	1975	40
11	15.6	129	90	92	38.3	2020	40
12	15.9	128	90.8	93	39.8	1961	40
13	16.1	131	87	93	43.5	2014	40
14	16.3	125	89.3	94	44.3	2002	40
15	16.0	131	94.5	92	39.8	2002	40
AVG.	15.01	122.87	90.43	90.67	34.58	1,988	39.67

4.2.5. 부동액 농도 60%(Closed loop)

순수한물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도 60%에 맞춰서 실험한 실험결과를 Table 23에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 88.5℃의 경우 HC는 117 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 95.3℃의 경우 HC는 124 ppm, 119 ppm이 배출되었다. 한편, 냉각수온도는 92.3℃에서 HC 배출이 114 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타냈다. 또한, 엔진오일온도의 경우는 보편적으로 가장 많은 작동온도인 엔진오일 온도가 98.0℃일 때 HC 배출은 117, 120, 119, 116, 118, 115 ppm이고, 엔진오일 온도가 95.0℃일 때 HC 배출은 127,

Collection @ chosun

132, 115 ppm으로 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 HC 배출량이 가장 높은 132 ppm에서의 흡기온도는 33.8℃, HC 배출량이 가장 낮은 114 ppm에서의 흡기온도는 36.0℃, 흡기온도가 가장 낮은 19.5℃에서의 HC 배출량은 126 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 41.3℃에서의 HC 배출량은 117 ppm, 120 ppm, 121 ppm, 116 ppm, 115 ppm이다. 이러한 실험결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC 배출량 변화에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 23 Antifreeze Concentration 60% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.7	126	92.3	88.0	19.5	1988	40
2	11.5	126	90.8	92.0	25.5	1980	40
3	11.6	119	90.8	94.0	30.0	1917	39
4	12.0	122	90.8	94.0	30.8	1976	40
5	12.1	124	95.3	94.0	30.0	1967	40.0
6	12.4	127	93.0	95.0	32.3	2002	40
7	13.1	127	90.8	95.0	34.5	1990	39
8	13.2	132	93.8	95.0	33.8	1972	40
9	13.6	115	93.8	95.0	34.5	1954	39
10	13.6	114	92.3	96.0	36.0	1963	39
11	13.9	117	88.5	96.0	39.0	1963	39
12	14.3	119	93.8	97.0	37.5	1922	37
13	14.5	117	89.3	98.0	41.3	1959	39
14	15.0	120	88.5	98.0	41.3	1983	40
15	14.9	121	89.3	97.0	41.3	1955	39
AVG.	13.23	121.73	91.54	94.93	33.82	1,966	39.33

4.2.6. 부동액 농도 60%(Open Loop)

부동액 농도 60%에서 Open Loop일 때의 실험결과를 Table 24에 나타내었다.

냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃에서 HC는 151 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 95.3℃에서 HC 배출량은 165, 146 ppm이 배

Collection @ chosun

출되었다. 한편, HC 배출이 142 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 90.0℃이다. 냉각수온도가 90.0℃에서 나타난 다른 측정결과에서는 HC 배출량 165 ppm, 146 ppm으로 나타났다. 엔진오일온도의 경우는 91.0℃에서 HC 배출량은 147, 152, 143 ppm으로 나타났고, 92.0℃의 경우 HC 배출량은 165, 149, 146 ppm으로 확인 되었으며, 94.0℃의 경우 HC 배출량은 155, 159, 151 ppm으로 나타났다.

흡기온도의 영향을 보면 HC 배출량이 가장 높은 165 ppm에서의 흡기온도는 각각 41.3℃, 30.0℃이고, HC 배출량이 가장 낮은 142 ppm에서의 흡기온도는 28.5℃, 흡기온도가 가장 낮은 28.5℃에서의 HC 배출량은 142 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 42.0℃에서의 HC 배출량은 146 ppm이다. 이러한 실험결과로 보아 Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화가 HC 배출량에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 24 Antifreeze Concentration 60% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	11.6	142	90.0	87.0	28.5	2000	39
2	13.2	147	92.8	91.0	31.5	1971	39
3	13.4	155	91.5	94.0	35.3	1974	39
4	15.2	159	95.3	94.0	35.3	1944	38
5	15.5	159	93.0	95.0	36.8	1968	39
6	15.4	165	90.0	97.0	41.3	1959	39
7	15.5	165	95.3	92.0	30.0	1939	38
8	15.4	145	93.8	90.0	39.8	1951	39
9	15.6	146	91.5	93.0	42.0	1932	38
10	16.7	149	93.8	92.0	39.8	1962	38
11	18.2	148	90.8	90.0	36.0	1930	38
12	18.1	151	87.8	94.0	36	1963	39
13	18.0	147	91.5	96.0	33	1957	38
14	16.7	152	93.8	91.0	33.8	1950	38
15	16.1	146	90.0	89.0	37.5	1992	39
AVG.	15.64	151.73	92.06	92.33	35.77	1,959	38.53

Collection @ chosun

4.2.7. 부동액 농도 100%(Closed loop)

부동액 농도 100%에서 Closed Loop 상태로 실험한 실험결과를 Table 25에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 HC는 119 ppm, 126 ppm, 130 ppm, 131 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 96.0℃의 경우 HC는 125 ppm이 배출되었다. 한편, HC 배출이 110 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 91.5℃이다. 엔진오일의 온도는 엔진오일 온도가 89.3℃일 때 HC 배출은 119 ppm, 124 ppm, 128 ppm, 132 ppm이고, 온도가 88.5℃일 때 HC 배출은 117 ppm, 119 ppm, 120 ppm으로 나타났다.

흡기온도를 보면 HC 배출량이 가장 높은 132 ppm에서의 흡기온도는 45.8℃, HC 배출량이 가장 낮은 110 ppm에서의 흡기온도는 39.8℃, 흡기온도가 가장 낮은 26.3℃에서의 HC 배출량은 119 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 49.5℃에서의 HC 배출량은 126 ppm이다. 따라서 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 부동액 농도가 100%일 때 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC 배출량에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

Table 25 Antifreeze Concentration 100% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	18.4	126	87.8	96	49.5	1986	40
2	16.9	120	89	93	48	1998	40
3	16.9	120	88.5	94	43.5	2002	40
4	16.6	130	87.8	92	40.5	1995	40
5	17.8	119	89.3	95	44.3	1966	40
6	18	117	88.5	96	46.5	1946	39
7	17.6	132	89.3	96	45.8	1969	40
8	17.3	130	87.8	95	44.3	1987	40
9	17.2	128	89.3	95	43.5	1951	39
10	17.1	125	96	94	39	1979	39
11	17.3	119	87.8	93	39.8	1969	39
12	16.3	110	91.5	94	39.8	1983	39
13	16	131	87.8	92	38.3	1972	39
14	15.3	124	89.3	90	33	1958	40
15	14.5	119	88.5	85	26.3	2000	40
AVG.	16.88	123.33	89.21	93.33	41.47	1,977	39.60

4.2.8. 부동액 농도 100%(Open Loop)

부동액 농도 100%에서 Open Loop 상태로 실험한 실험결과를 Table 26에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 HC는 109 ppm, 112 ppm, 114 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 90.83℃의 경우 HC 배출량은 105 ppm, 107 ppm, 109 ppm이 배출되었다. 엔진오일온도의 경우는 작동온도인 96.0℃, 97.0℃대역을 분석하였다. 96.0℃의 경우 HC 배출량은 107 ppm, 109 ppm, 110 ppm, 112 ppm, 114 ppm으로 나타났고, 97.0℃의 경우 HC 배출량은 105 ppm, 107 ppm, 112 ppm, 113 ppm으로 96.0℃, 97.0℃에서 가장 낮은 배출량과 가장 높은 배출량을 보였다.

흡기온도의 경우에 HC 배출량이 가장 높은 114 ppm에서의 흡기온도는 각각 43.5℃, 48.8℃이고, HC 배출량이 가장 낮은 105 ppm에서의 흡기온도는 48.8℃이다. 흡기온도 48.8℃의 경우 105 ppm, 112 ppm, 114 ppm으로 가장 낮은 배출

Collection @ chosun

값과 가장 높은 배출 값을 모두 나타내고 있다. 이러한 측정 결과로 보아 부동액 100%에서 Open Loop 상태로 실험한 경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수 온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 HC에 직접적인 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 26 Antifreeze Concentration 100% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17	114	87.8	93	43.5	1998	40
2	17.2	109	90.8	93	41.3	1981	40
3	17.2	110	88.5	95	44.3	1983	40
4	17.4	107	89.3	96	45.8	1976	40
5	17.5	113	89.3	97	48	2010	40
6	17.3	107	90	97	48	1979	40
7	18.1	112	89.3	97	48.8	1983	40
8	17.8	114	89.3	96	48.8	1995	40
9	17.7	105	90.8	97	48.8	1979	40
10	17.9	107	90.8	98	49.5	1986	40
11	17.5	106	88.5	95	48.8	1971	40
12	18.5	109	87.8	96	49.5	1981	40
13	18.4	112	87.8	96	49.5	1990	40
14	18.2	110	88.5	96	49.5	1987	40
15	18.5	112	89.3	97	50.3	1989	40
AVG.	17.75	109.80	89.19	95.93	47.63	1,985	40.00

4.2.9. 부동액 농도 변화에 대한 HC 배출 결과 고찰

순수한물에 부동액을 첨가하지 않았을 때, 부동액 농도 40%, 60%, 100%로 맞췄을 때의 경우를 서로 비교해 보았으며 측정 결과 값은 Table 27과 Fig. 23, 24, 25에 나타내었다. HC가 190 ppm으로 나타난 0% Open Loop의 측정 1회째와 9회째의 경우 다른 결과 값과 과도한 차이를 보이고 있다. 하지만, 모두 측정 규격 범위내에서 측정된 것이므로 다른 이상 징후에 의한 것으로 예측되므로 결과분석에서 제외키로 한다. HC의 경우는 산소센서의 탈부착이 배출량에

Collection @ chosun

큰 영향을 미치지 않는다고 할 수 있지만 부동액 60%의 경우 산소센서 부착한 상태가 부착하지 않은 상태보다 무려 평균 30 ppm정도 낮게 배출되었다. 또한, 이 상태에서 가장 낮은 HC 배출량을 보임으로써 산소센서는 HC 배출에 있어서 아주 중요하다는 것을 알 수 있다. 이는 산소센서를 부착하여 피드백 제어를 함으로써 보다 정확한 연료량을 분사하게 됨으로써 이론공연비로 혼합된 혼합기가 연소하므로 불완전 연소를 최소화 하여 배출가스 성분인 HC의 배출량이 감소하는 것으로 사료된다.

산소센서를 부착한 상태에서 부동액을 첨가하지 않은 경우 HC 배출량이 가장 높고, 각 비율에 따라 부동액 첨가한 경우 HC배출량에 있어서는 큰 차이를 보이지 않고 있지만, 부동액을 첨가하지 않은 경우보다는 HC배출량이 적게 배출됨을 알 수 있다. 실험결과에 비추어 볼 때, 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도 등은 HC 배출량에 직접적인 영향을 미치고 있지 않음을 알 수 있었다. 하지만, 부동액 첨가 비율에 따른 냉각수는 엔진 금속면 온도에 직접적인 영향을 끼치게 되고, 그에 따른 엔진 금속면 온도 변화에 연료연소에 직접적인 영향을 주게 된다. 즉, 엔진 금속면의 온도가 올라감으로써 연소실내의 연소효율이 높아지게 되고, 연소효율이 높아짐에 따라 배출가스의 HC 배출량이 줄어들게 되는 결과를 나타내는 것이다. Table 24에서 보여주듯이 일반적으로 자동차에 산소센서 부착이 되어 있는 Closed Loop 상태를 비교해보면 부동액 첨가에 따른 금속면 온도상승에 따라 HC 배출량이 부동액 미 첨가 보다 첨가한 경우 20~30 ppm 가량 줄어든 것을 알 수 있다. 또한, 부동액 농도 40%보다 60%이상의 경우 배출량이 약 7~9 ppm 적게 배출되었다. 이는 부동액 혼합이 HC 배출에 긍정적 영향을 미치고 있음을 예측할 수 있다. 하지만, 부동액 농도 60%와 100%의 경우 배출량에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 엔진 금속면 최고온도가 어느 한계치 이상으로 높아지면 엔진 Total Fail까지 이르게 되는 경우가 발생하게 되며 부동액 비율 100%의 경우 엔진 금속면 온도가 270℃ 이상 까지 온도가 올라가게 되어 엔진에 무리를 주게 될 것으로 예측된다. 따라서, HC 배출의 경우 엔진에 무리를 주지 않는 범위에서의 부동액 첨가 범위는 부동액 농도 60%범위가 가장 적절한 비율임을 알 수 있다.

dCollection @ chosun

Table 27 HC Concentration of Exhaust Gas

	0% C.L	0% O.L	40% C.L	40% O.L	60% C.L	60% O.L	100% C.L	100% O.L	
1	-	149	127	134	126	142	126	114	
2	138	155	133	110	126	147	120	109	
3	141	159	125	121	119	155	120	110	
4	142	160	126	125	122	159	130	107	
5	147	161	131	113	124	159	119	113	
6	144	169	133	121	127	165	117	107	
7	148	167	132	116	127	165	132	112	
8	152	156	133	118	132	145	130	114	
9	-	163	133	124	115	146	128	105	
10	135	164	138	117	114	149	125	107	
11	140	161	125	129	117	148	119	106	
12	142	170	126	128	119	151	110	109	
13	143	161	128	131	117	147	131	112	
14	146	167	131	125	120	152	124	110	
15	148	154	132	131	121	146	119	112	
AVG.	124.40	161.07	130.20	122.87	121.73	151.73	123.33	109.80	

Collection @ chosun

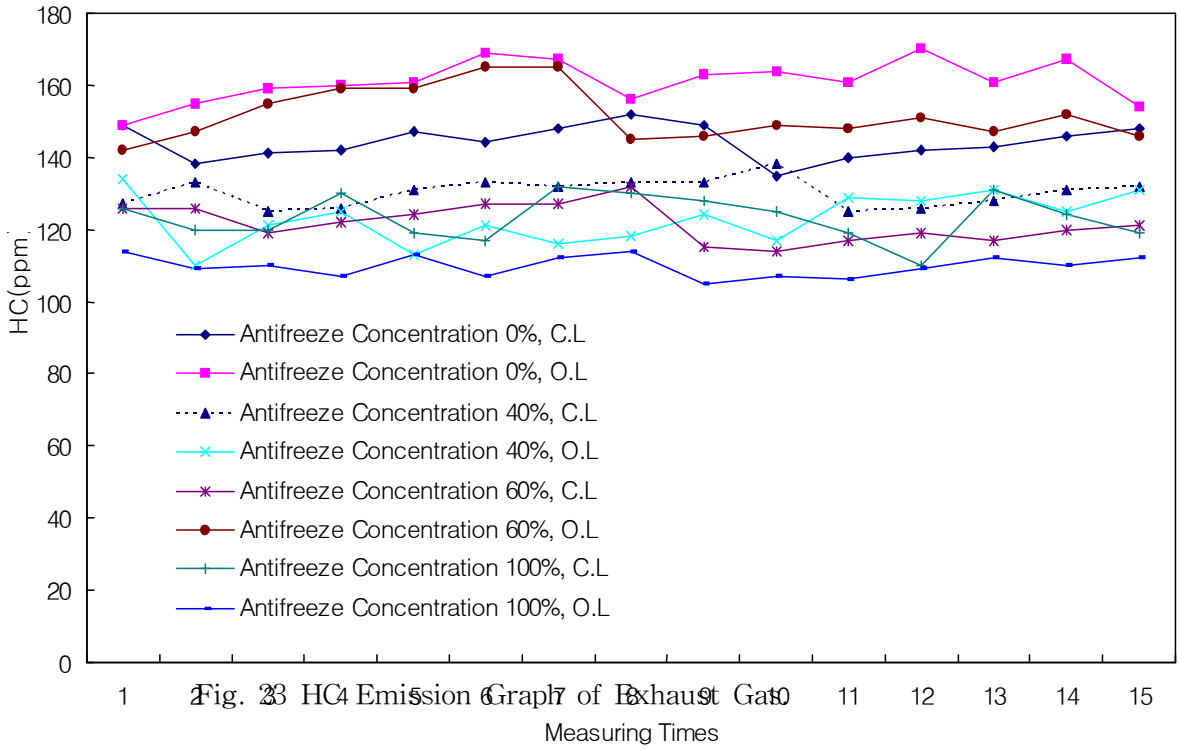
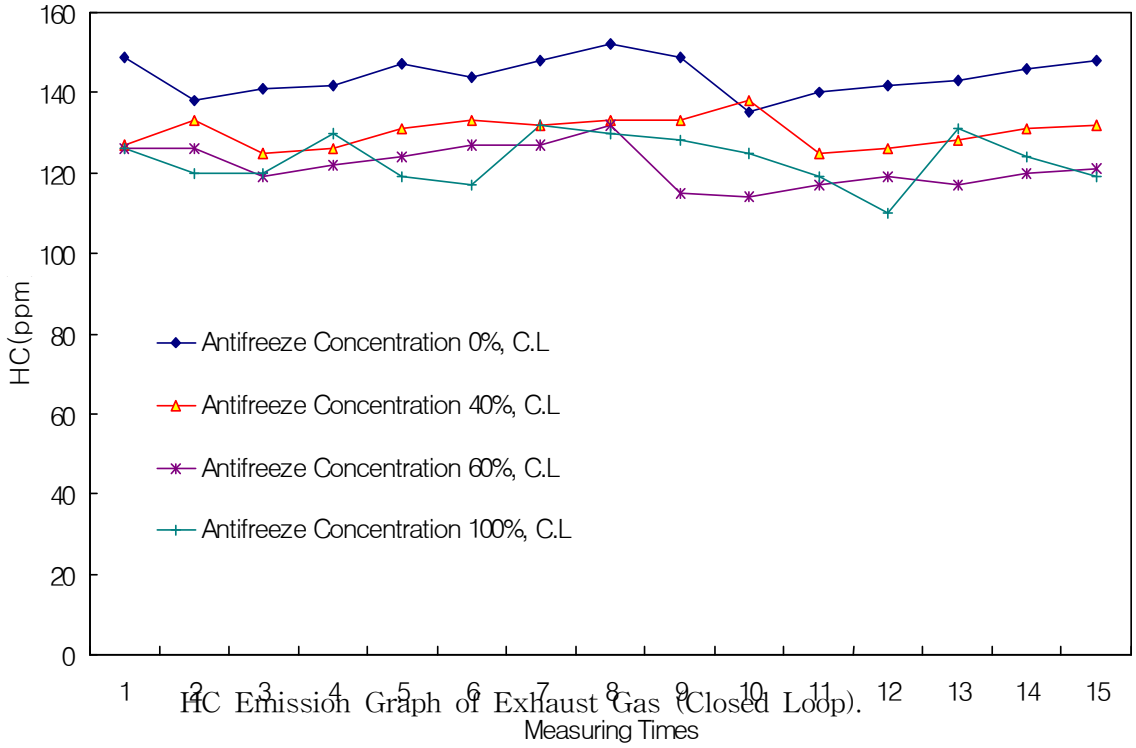


Fig. 23 HC Emission Graph of Exhaust Gas

Collection @ chosun



HC Emission Graph of Exhaust Gas (Closed Loop).

Fig. 24

Collection @ chosun

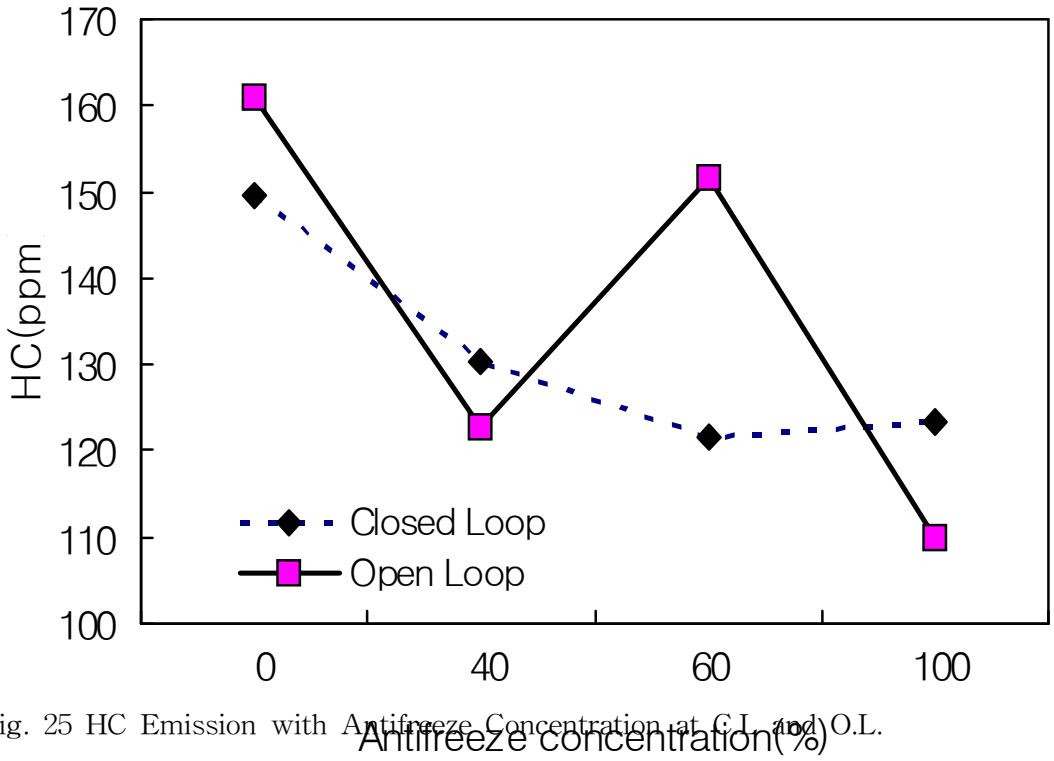


Fig. 25 HC Emission with Antifreeze Concentration at C.L. and O.L.

Collection @ chosun

4.3 부동액 농도에 따른 NOx 결과 및 고찰

4.3.1. 부동액 농도 0%(Closed Loop)

순수한물에 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 측정한 실험결과는 Table 28에 나타내었다. NO_X가 2,692 ppm으로 나타난 측정 6회째의 경우 다른 결과 값과 과도한 차이를 보이고 있다. 그러므로 측정 범위외에서 측정된 것이지만 결과분석에서 제외키로 한다. 본 실험은 이전과 마찬가지로 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화에 따른 NO_X의 변화량에 대해서 살펴보았다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 NO_X는 2,963, 2,968 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 93.8℃의 경우 NO_X는 2927 ppm이 배출되었다. 한편, NO_X 배출이 2,858 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 93.0℃이다. 엔진오일 온도의 경우는 보편적으로 가장 많은 작동온도를 나타내는 엔진오일 온도인 92.0℃일 때 NO_X 배출은 2912, 2951, 2996, 2928, 2968 ppm이고, 엔진오일 온도가 93.0℃일 때 NO_X 배출은 2860, 2959, 2956 ppm으로 나타났다.

Table 28 Antifreeze Concentration 0% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.6	2971	93.0	91.0	37.5	2002	40
2	17.7	2912	90.0	92.0	40.5	1968	40
3	17.7	2860	92.3	93.0	41.3	2022	40
4	18.0	2959	91.5	93.0	42.0	1983	40
5	18.1	2963	87.8	94.0	45.8	1984	40
6	16.1	2692	79.55	55.0	15.0	1938	38.0
7	16.4	2858	93.0	81.0	19.5	1962	39.0
8	16.5	2926	92.3	86	27	1926	38.0
9	17.3	2927	93.8	89	30	1943	39.0
10	17.4	2950	91.5	90.0	33.0	1923	37
11	17.2	2951	90.8	92.0	38.3	1981	40.0
12	17.7	2996	89.3	92.0	39.8	1977	40.0
13	17.8	2928	92.3	92.0	39.0	1935	39.0
14	17.0	2968	87.8	92.0	41.3	1973	40.0
15	17.6	2956	93.0	93.0	39.8	1946	39.0
AVG.	17.34	2,921.13	90.53	88.33	35.32	1,964	39.27

Collection @ chosun

흡기온도에 대한 영향을 보면 NO_X 배출량이 가장 높은 2,996 ppm에서의 흡기온도는 39.8℃, NO_X 배출량이 가장 낮은 2,858 ppm에서의 흡기온도는 19.5℃, 흡기온도가 가장 낮은 19.5℃에서의 NO_X 배출량은 2,858 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 45.8℃에서의 NO_X 배출량은 2,963 ppm을 보였다. 따라서, Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 NO_X 배출량 변화에 미미한 관계가 있음을 확인 할 수 있었다.

4.3.2. 부동액 농도 0%(Open Loop)

순수한물에 부동액을 첨가하지 않은 상태에서 측정한 실험결과는 Table 29에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.0℃의 경우 NO_X는 2,695 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃의 경우 NOx는 2,651 ppm이 배출되었다. 한편, NOx 배출이 2,492 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낼 때의 냉각수온도는 93.0℃으로 확인되었다. 또한, 냉각수온도가 93.0℃로 나타난 다른 측정결과에서는 NO_X 배출량 2,587, 2,577 ppm으로 나타났다. 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 NO_X 배출은 2,666, 2,703, 3,737, 2,587, 2,707, 2,555, 2,492, 2,690, 2,507, 2,577 ppm이고, 온도가 93.0℃일 때 NO_X 배출은 2,695, 2,651, 2,502 ppm으로 다양하게 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 NO_X 배출량이 가장 높은 2,758 ppm에서의 흡기온도는 39.8℃, NO_X 배출량이 가장 낮은 2,492 ppm에서의 흡기온도는 43.5℃, 흡기온도가 가장 낮은 39.8℃에서의 NOx 배출량은 2,758 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 46.5℃에서의 NO_X 배출량은 2,695, 2,502, 2,507 ppm으로 본 결과를 예측하여 보면 Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 NOx에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

Table 29 Antifreeze Concentration 0% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17.8	2758	91.5	90.0	39.8	1985	40.0
2	17.4	2722	92.3	91.0	40.5	2001	40.0
3	17.7	2666	92.3	92.0	42.8	2000	40.0
4	17.6	2703	89.3	92.0	44.3	1995	40.0
5	17.7	2737	91.5	92.0	44.3	1982	40.0
6	17.9	2587	93.0	92.0	43.5	1976	40
7	17.5	2707	90.8	92.0	44.3	2022	40
8	17.6	2555	89.3	92.0	45.0	1996	40
9	17.3	2492	93.0	92.0	43.5	2016	40
10	17.3	2695	87.0	93.0	46.5	1995	40
11	17.6	2651	94.5	93.0	43.5	1991	40
12	17.4	2502	90.0	93.0	46.5	2006	40
13	17.6	2690	90.8	92.0	45.8	2010	40
14	17.8	2507	87.8	92.0	46.5	1939	39
15	17.7	2577	93.0	92.0	43.5	2005	40
AVG.	17.59	2,636.60	91.07	92.00	44.02	1,994	39.93

4.3.3. 부동액 농도 40%(Closed Loop)

부동액을 첨가하여 부동액 농도 40%에 맞춰서 실험을 수행한 결과를 Table 30에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 NOx는 2,698 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃의 경우 NOx는 2638 ppm이 배출되었다. 한편, NOx 배출이 2,542 ppm으로 가장 낮은 결과값을 나타낸 냉각수온도는 90℃이다. 엔진오일온의 경우는 보편적으로 가장 많은 작동온도를 나타내는 엔진오일 온도가 93.0℃일 때 NOx 배출은 2,609, 2,578, 2,638, 2,614, 2,557, 2,664 ppm이고, 온도가 92.0℃일 때 NOx 배출은 2,720, 2,542, 2,597 ppm으로 다양하게 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 NOx 배출량이 가장 높은 2,720 ppm에서의 흡기온도는 36.8℃, NOx 배출량이 가장 낮은 2,542 ppm에서의 흡기온도는 31.5℃,

Collection @ chosun

흡기온도가 가장 낮은 30℃에서의 NOx 배출량은 2,597 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 45.8℃에서의 NOx 배출량은 2,642, 2,616 ppm이다.

Table 30 Antifreeze Concentration 40% (Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	18.9	2720	90	92	36.8	1979	40
2	16.8	2693	92.3	89	31.5	1972	39
3	16.6	2586	93.8	91	34.5	1967	39
4	16.3	2609	92.3	93	38.3	1987	39
5	16.0	2578	92.3	93	39.8	1953	39
6	16.2	2698	87.8	94	44.3	1983	40
7	16.0	2627	90.8	94	43.5	1977	40
8	16.0	2642	88.5	94	45.8	1981	40
9	16.0	2616	89.3	95	45.8	1950	39
10	17.7	2638	94.5	93	36	1990	40
11	17.4	2614	87.8	93	33.8	1967	39
12	16.4	2557	88.5	93	39	1973	39
13	16.9	2664	93	93	33	1979	40
14	17.2	2542	90	92	31.5	1986	40
15	17.2	2597	93.8	92	30	1962	40
AVG.	16.77	2,625.40	90.98	92.73	37.57	1,973.73	39.53

4.3.4. 부동액 농도 40%(Open Loop)

실험결과는 Table 31에 나타내었다. 부동액 40%에서 수행한 결과, 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.0℃의 경우 NOx는 2,286 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 94.5℃의 경우 NOx는 2,299 ppm이었다. 한편, NOx 배출이 2,270 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 90.0℃이며, NOx 배출이 2,410 ppm으로 가장 높은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 91.5℃로 나타냈다. 엔진오일 온도가 92.0℃일 때 NOx 배출은 2,299ppm, 2,294ppm, 2,383ppm, 2,270ppm, 2,299 ppm이고, 엔진오일 온도가 가장 낮은 81.0℃의 경우

Collection @ chosun

NOx는 2,275 ppm이 배출되었고, 엔진오일온도가 가장 높은 94.0℃의 경우 NOx는 2,410, 2,392 ppm이 배출되었다.

NOx 배출량이 가장 높은 2,410 ppm에서의 흡기온도는 39.8℃, NOx 배출량이 가장 낮은 2,266 ppm에서의 흡기온도는 30.0℃, 흡기온도가 가장 낮은 17.3℃에서의 NOx 배출량은 2275 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 44.3℃에서의 NOx 배출량은 2392 ppm이다. 이러한 측정 결과로 보아 Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 여러 변수에 따른 NO_X의 변화는 미미한 것으로 확인 되었다.

Table 31 Antifreeze Concentration 40% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.9	2275	90.8	81	17.3	1960	38
2	13.1	2334	87.8	87	25.5	1971	39
3	13.8	2266	89.3	90	30	1993	40
4	14.3	2299	92.3	92	32.3	1998	40
5	14.6	2294	92.3	92	34.5	2007	40
6	14.9	2376	87.8	86	27.8	1979	39
7	15.2	2341	93.8	89	29.3	1978	39
8	15.4	2383	91.5	92	36	1993	40
9	15.5	2292	87.8	93	40.5	1981	40
10	15.5	2410	91.5	94	39.8	1975	40
11	15.6	2270	90	92	38.3	2020	40
12	15.9	2327	90.8	93	39.8	1961	40
13	16.1	2286	87	93	43.5	2014	40
14	16.3	2392	89.3	94	44.3	2002	40
15	16.0	2299	94.5	92	39.8	2002	40
AVG.	15.01	2,322.93	90.43	90.67	34.58	1,988	39.67

4.3.5. 부동액 농도 60%(Closed loop)

부동액 농도 60%의 실험결과를 Table 32에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 88.5℃의 경우 NOx는 2,681, 2,645 ppm이 배출되었고,

Collection @ chosun

냉각수온도가 가장 높은 95.3℃의 경우 NOx는 2,718, 2,576 ppm이 배출되었다. 한편, NOx 배출이 2576 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 95.3℃이며, NOx 배출이 2749 ppm으로 가장 높은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 90.8℃이다. 일반적인 엔진오일 온도가 98.0℃일 때 NOx 배출은 2,662, 2,645, 2,576, 2,615, 2,628, 2,630, 2,626 ppm이고, 온도가 95.0℃일 때 NOx 배출은 2,690, 2,723, 2,668, 2,719 ppm으로 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 NOx 배출량이 가장 높은 2,749 ppm에서의 흡기온도는 30.0℃, NOx 배출량이 가장 낮은 2,576 ppm에서의 흡기온도는 39.0℃, 흡기온도가 가장 낮은 19.5℃에서의 NOx 배출량은 2,711 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 41.3℃에서의 NOx 배출량은 2,662, 2,645, 2,583, 2,628, 2,626 ppm이다. 따라서 Closed Loop 경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 NOx에 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

Collection @ chosun

Table 32 Antifreeze Concentration 60%(Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	12.7	2711	92.3	88.0	19.5	1988	40
2	11.5	2731	90.8	92.0	25.5	1980	40
3	11.6	2749	90.8	94.0	30.0	1917	39
4	12.0	2725	90.8	94.0	30.8	1976	40
5	12.1	2718	95.3	94.0	30.0	1967	40
6	12.4	2690	93.0	95.0	32.3	2002	40
7	13.1	2723	90.8	95.0	34.5	1990	39
8	13.2	2668	93.8	95.0	33.8	1972	40
9	13.6	2719	93.8	95.0	34.5	1954	39
10	13.6	2689	92.3	96.0	36.0	1963	39
11	13.9	2681	88.5	96.0	39.0	1963	39
12	14.3	2653	93.8	97.0	37.5	1922	37
13	14.5	2662	89.3	98.0	41.3	1959	39
14	15.0	2645	88.5	98.0	41.3	1983	40
15	14.9	2583	89.3	97.0	41.3	1955	39
AVG.	13.23	2,689.80	91.54	94.93	33.82	1,966	39.33

4.3.6. 부동액 농도 60%(Open Loop)

실험결과는 Table 33에 나타내었다. 부동액 농도가 60% 일 때의 NOx 배출량이 상대적으로 과도하게 높게 측정된 19, 20회째 측정은 이상 징후에 의한 결과로 판단하여 결과분석에서는 제외시키기로 한다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 NOx는 2,385 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 95.3℃의 경우 NOx 배출량은 2,456, 2,460, 2,428 ppm이 배출되었다. 한편, NOx 배출이 2,326 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 93.8℃이다. 냉각수온도가 93.8℃에서 나타난 다른 측정결과에서는 NOx 배출량 2,341, 2340 ppm으로 나타났다. 엔진오일온의 경우는 보편적으로 가장 많은 온도대역이 없는 관계로 90.0℃, 91.0℃, 94.0℃대역을 분석하였다. 90.0℃의 경우 NOx 배출량은 2,341, 2,388, 2,437 ppm으로 나타났고, 91.0℃의 경우 NOx 배출

Collection @ chosun

량은 2,442, 2,326, 2,550 ppm으로 나타났으며, 94.0℃의 경우 NOx 배출량은 2,408, 2,456, 2,385 ppm으로 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 NOx 배출량이 가장 높은 2,550 ppm에서의 흡기온도는 각각 41.3℃이고, NOx 배출량이 가장 낮은 2,326 ppm에서의 흡기온도는 33.8℃, 흡기온도가 가장 낮은 28.5℃에서의 NOx 배출량은 2,435 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 42.0℃에서의 NOx 배출량은 2,368 ppm이다. 이러한 측정 결과로 보아 Open Loop경우에서도 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 NOx에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Table 33 Antifreeze Concentration 60% (Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	11.6	2435	90.0	87.0	28.5	2000	39
2	13.2	2442	92.8	91.0	31.5	1971	39
3	13.4	2408	91.5	94.0	35.3	1974	39
4	15.2	2456	95.3	94.0	35.3	1944	38
5	15.5	2508	93.0	95.0	36.8	1968	39
6	15.4	2397	90.0	97.0	41.3	1959	39
7	15.5	2460	95.3	92.0	30.0	1939	38
8	15.4	2341	93.8	90.0	39.8	1951	39
9	15.6	2368	91.5	93.0	42.0	1932	38
10	16.7	2340	93.8	92.0	39.8	1962	38
11	18.2	2388	90.8	90.0	36.0	1930	38
12	18.1	2385	87.8	94.0	36	1963	39
13	18.0	2408	91.5	96.0	33	1957	38
14	16.7	2326	93.8	91.0	33.8	1950	38
15	16.1	2504	90.0	89.0	37.5	1992	39
AVG.	15.64	2,411.07	92.06	92.33	35.77	1,959	38.53

4.3.7. 부동액 농도 100%(Closed loop)

순수한물에 부동액을 첨가하여 부동액 농도 60%에 맞춰서 실험한 실험결과는

Collection @ chosun

Table 34에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 NOx는 2,149, 2,203, 2,214, 2,219, 2,250 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 96.0℃의 경우 NOx는 2191 ppm이 배출되었다. 한편, NOx 배출량이 2133 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 88.5℃이며, NOx 배출량이 2329 ppm으로 가장 높은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 89.3℃이다. 89.3℃에서의 NOx 배출량은 2,141, 2,184, 2,212, 2,329 ppm으로 다양하다. 엔진오일 온도가 94.0℃일 때 NOx 배출량은 2,181, 2,191, 2,262 ppm이고, 온도가 95.0℃일 때 NOx 배출량은 2,184, 2,212, 2,250 ppm이며, 96.0℃일 때 NOx 배출량은 2,133, 2,203, 2,329 ppm으로 나타났다.

흡기온도에 대한 영향을 보면 NOx 배출량이 가장 높은 2,329 ppm에서의 흡기온도는 45.8℃, NOx 배출량이 가장 낮은 2,133 ppm에서의 흡기온도는 46.5℃, 흡기온도가 가장 낮은 26.3℃에서의 NOx 배출량은 2,169 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 49.5℃에서의 NOx 배출량은 2,203 ppm이다. 이러한 측정 결과로 보아 Closed Loop경우 측정 범위 내에서의 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도, RPM, 차량속도의 각각의 변화는 NOx에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Collection @ chosun

Table 34 Antifreeze Concentration 100%(Closed Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	18.4	2203	87.8	96	49.5	1986	40
2	16.9	2236	89	93	48	1998	40
3	16.9	2181	88.5	94	43.5	2002	40
4	16.6	2219	87.8	92	40.5	1995	40
5	17.8	2212	89.3	95	44.3	1966	40
6	18	2133	88.5	96	46.5	1946	39
7	17.6	2329	89.3	96	45.8	1969	40
8	17.3	2250	87.8	95	44.3	1987	40
9	17.2	2184	89.3	95	43.5	1951	39
10	17.1	2191	96	94	39	1979	39
11	17.3	2214	87.8	93	39.8	1969	39
12	16.3	2262	91.5	94	39.8	1983	39
13	16	2149	87.8	92	38.3	1972	39
14	15.3	2141	89.3	90	33	1958	40
15	14.5	2169	88.5	85	26.3	2000	40
AVG.	16.88	2,204.87	89.21	93.33	41.47	1,977	39.60

4.3.8. 부동액 농도 100%(Open Loop)

부동액 농도가 100%일때의 실험결과를 Table 35에 나타내었다. 냉각수온도의 경우 냉각수온도가 가장 낮은 87.8℃의 경우 NOx는 2,277, 2,341, 2,342 ppm이 배출되었고, 냉각수온도가 가장 높은 90.8℃의 경우 NOx 배출량은 2,316, 2,346, 2,351 ppm의 NO_x가 배출되었다. 한편, NOx 배출이 2,265 ppm으로 가장 낮은 결과 값을 나타낸 냉각수온도는 89.3℃이다. 냉각수온도가 89.3℃에서 나타난 다른 측정결과에서는 NOx 배출량 2,265 ppm, 2,287 ppm, 2,288 ppm, 2,302 ppm, 2,340 ppm으로 나타났다. 보편적으로 가장 많은 온도대역인 96.0℃, 97.0℃대역을 분석하였다. 96.0℃의 경우 NOx 배출량은 2,288 ppm, 2,340 ppm, 2,341 ppm, 2,342 ppm, 2,343 ppm으로 나타났고, 97.0℃의 경우 NOx 배출량은 2,265 ppm, 2,287 ppm, 2,302 ppm, 2,346 ppm, 2,348 ppm으로 나타났다.

Collection @ chosun

흡기온도에 대한 영향을 보면 NOx 배출량이 가장 높은 2,360 ppm에서의 흡기온도는 48.8℃이고, NOx 배출량이 가장 낮은 2,265 ppm에서의 흡기온도는 48.0℃이다. 여기서 가장 높은 NOx 배출량을 보인 48.8℃의 경우 NOx 배출량 값이 2,287 ppm, 2,288 ppm, 2,346 ppm, 2,360 ppm으로 나타났다. 흡기온도가 가장 낮은 41.3℃에서의 NOx 배출량은 2,351 ppm이고, 흡기온도가 가장 높은 50.3℃에서의 NOx 배출량은 2,302 ppm이다.

Table 35 Antifreeze Concentration 100%(Open Loop)

	Ambient Temp.(℃)	CO (%)	WTS Temp. (℃)	Oil Temp. (℃)	ATS Temp. (℃)	RPM	VSS (km/h)
1	17	2277	87.8	93	43.5	1998	40
2	17.2	2351	90.8	93	41.3	1981	40
3	17.2	2301	88.5	95	44.3	1983	40
4	17.4	2340	89.3	96	45.8	1976	40
5	17.5	2265	89.3	97	48	2010	40
6	17.3	2348	90	97	48	1979	40
7	18.1	2287	89.3	97	48.8	1983	40
8	17.8	2288	89.3	96	48.8	1995	40
9	17.7	2346	90.8	97	48.8	1979	40
10	17.9	2316	90.8	98	49.5	1986	40
11	17.5	2360	88.5	95	48.8	1971	40
12	18.5	2342	87.8	96	49.5	1981	40
13	18.4	2343	87.8	96	49.5	1990	40
14	18.2	2341	88.5	96	49.5	1987	40
15	18.5	2302	89.3	97	50.3	1989	40
AVG.	17.75	2,320.47	89.19	95.93	47.63	1,985	40.00

4.3.9. 부동액 농도 변화에 따른 NOx 배출 결과 고찰

순수한물에 부동액을 첨가하지 않았을 때, 부동액 농도 40%, 60%, 100%로 맞췄을 때의 경우를 서로 비교해 보았다. 측정 결과값은 아래 Table 36과 Fig. 26~28에 나타내었다. 부동액 농도 100%를 제외한 각각의 경우 NOx 배출량은 산소센서를 제거한 경우가 제거하지 않은 경우보다 평균 200 ppm 가량 더 낮게

Collection @ chosun

나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 산소센서가 NOx 배출량 변화에는 큰 영향을 미치지 않음을 예측할 수 있다. 또한, 산소센서를 제거한 상태(Open Loop)에서 부동액 농도 40%경우와 60%경우는 서로 비슷한 배출량을 보이고 있으며, 상대적으로 부동액을 첨가하지 않은 상태보다 더 낮은 NOx 배출량을 나타내고 있으므로 냉각수에 부동액을 첨가할 경우 NOx 배출량 저감에 좀더 효과적임을 예측할 수 있다.

산소센서를 제거하지 않은 상태(Closed Loop) 또한 산소센서를 제거한 상태와 비슷한 양상을 보이고 있다.

부동액 농도 40%와 60%경우를 서로 비교 분석해보면 산소센서를 제거한 경우 대략 평균 100 ppm 정도 낮은 NOx 배출량을 보이고 있으며, 산소센서를 제거하지 않은 경우 또한 20 ppm 정도 낮은 배출량을 보이고 있다. NOx 배출량 또한 CO 배출량과 마찬가지로 부동액 농도 40%에서 최적의 조건을 나타내고 있다. 여기에서 특이한 점은 부동액 농도 100% 경우이다. 부동액 농도 100% 경우만 산소센서를 제거하지 않은 상태에서 NOx 배출 값이 가장 낮게 나타났다는 것이다. 또한, 산소센서 탈부착 모두 전반적으로 배출 값이 다른 경우보다 상대적으로 낮게 나고 있음을 알 수 있다. 이것으로 유추해보면 연소가 이루어지는 엔진 내부온도 변화에 영향을 미침으로써 부동액 첨가가 연료 연소에 상당 부분 관여하고 있음을 알 수 있다.

실험결과에 비추어 볼 때, NOx 배출량 역시 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도 등은 NOx 배출량에 직접적인 영향을 미치고 있지 않음을 알 수 있었다. 부동액 비율이 엔진 금속면 온도변화에 영향을 미치고 있기 때문에 NO_X의 분석이 중요하다.

NOx의 경우는 CO나 HC와는 다르게 연료연소조건에 따라 결과 값이 많은 차이를 보이고 있다. 부동액을 첨가하지 않았을 경우 NOx 배출량이 평균 2,920 ppm으로 가장 높았고, 부동액 농도 40%와 60%의 경우는 평균 2,500 ppm 배출되었다. 부동액 100%의 경우 NOx 배출량이 평균 2,200 ppm으로 가장 낮았다. 부동액을 첨가하지 않은 경우 부동액 100% 보다 NOx 배출량이 평균 700 ppm 더 많이 배출되었고, 부동액 농도 40%와 60%보다 400 ppm 더 많이 배출되었다. 이러한 결과로 NOx 배출량은 부동액 100% 일 때 가장 효과가 높음을 알 수 있었다.

Collection @ chosun

Table 36 NOx Concentration of Exhaust Gas

	0%	0%	40%	40%	60%	60%	100%	100%
	C.L	O.L	C.L	O.L	C.L	O.L	C.L	O.L
1	2971	2758	2720	2275	2711	2435	2203	2277
2	2912	2722	2693	2334	2731	2442	2236	2351
3	2860	2666	2586	2266	2749	2408	2181	2301
4	2959	2703	2609	2299	2725	2456	2219	2340
5	2963	2737	2578	2294	2718	2508	2212	2265
6	2692	2587	2698	2376	2690	2397	2133	2348
7	2858	2707	2627	2341	2723	2460	2329	2287
8	2926	2555	2642	2383	2668	2341	2250	2288
9	2927	2492	2616	2292	2719	2368	2184	2346
10	2950	2695	2638	2410	2689	2340	2191	2316
11	2951	2651	2614	2270	2681	2388	2214	2360
12	2996	2502	2557	2327	2653	2385	2262	2342
13	2928	2690	2664	2286	2662	2408	2149	2343
14	2968	2507	2542	2392	2645	2326	2141	2341
15	2956	2577	2597	2299	2583	2504	2169	2302
AVG.	2,738.56	2,471.81	2,463.81	2,180.25	2,525.44	2,264.13	2,073.31	2,181.69

Collection @ chosun

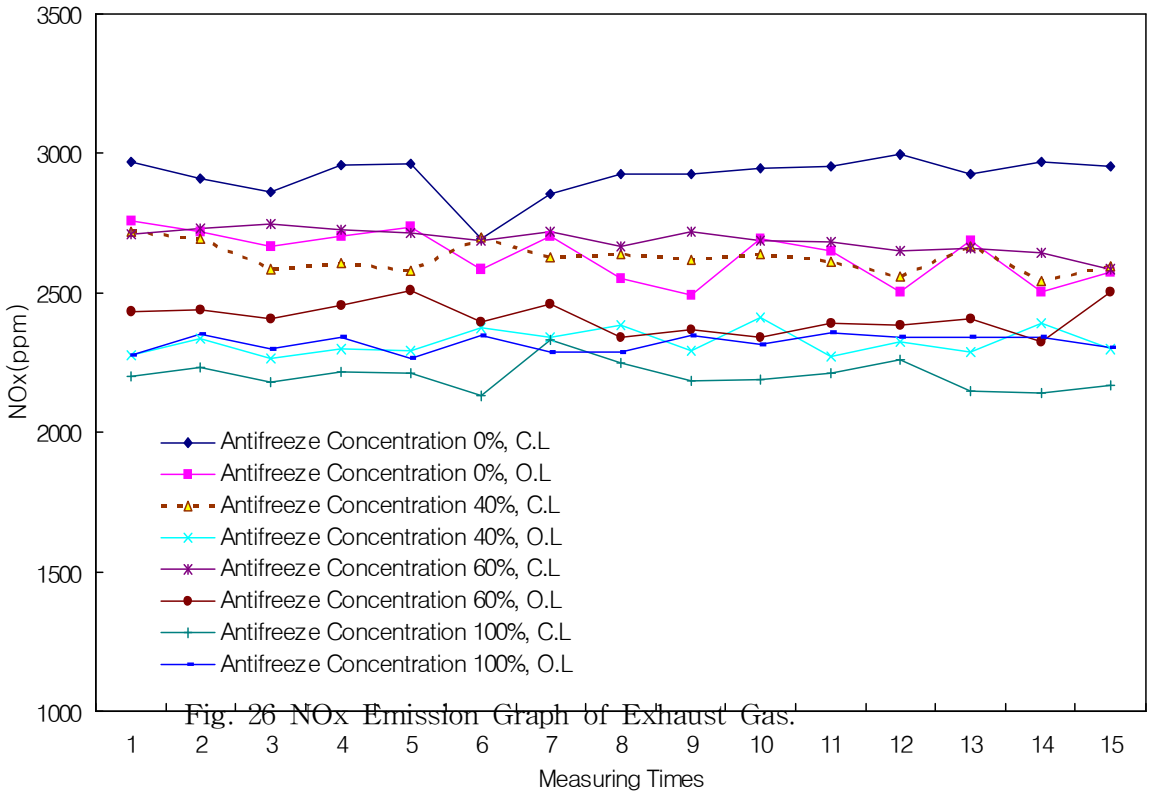


Fig. 26 NOx Emission Graph of Exhaust Gas.

Collection @ chosun

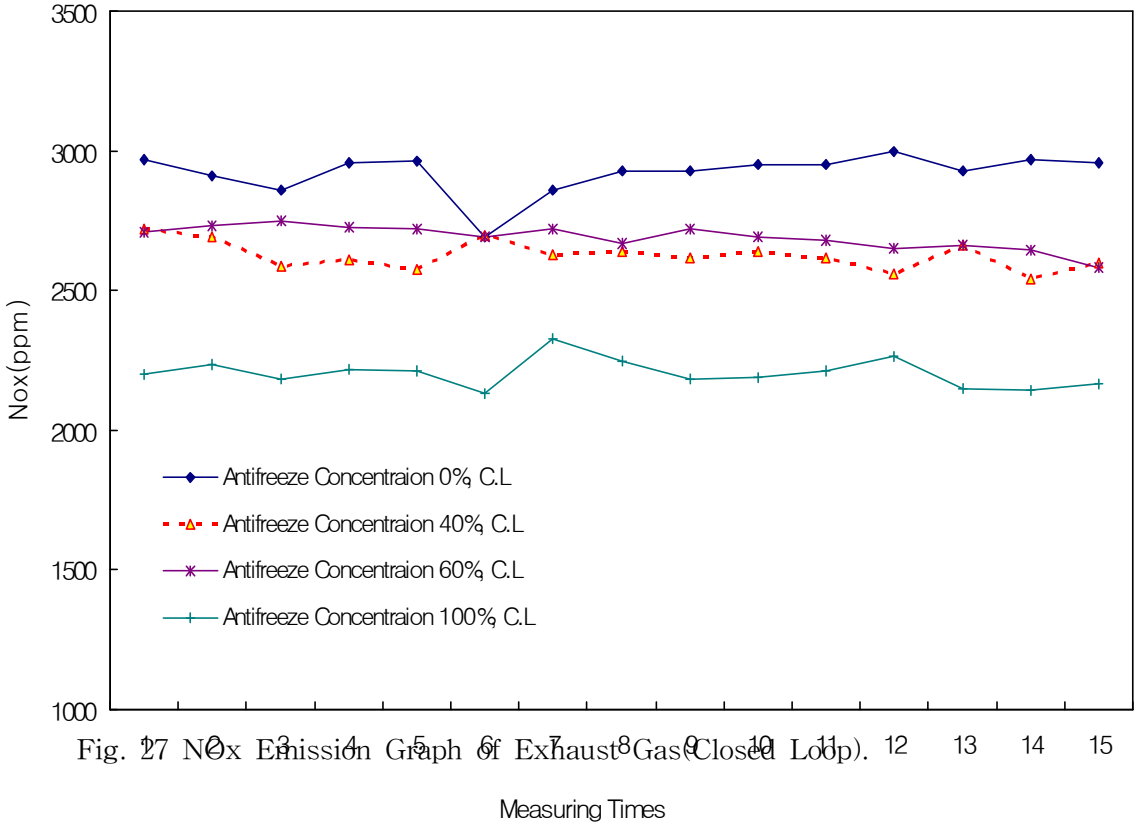


Fig. 27 NOx Emission Graph of Exhaust Gas(Closed Loop).

Collection @ chosun

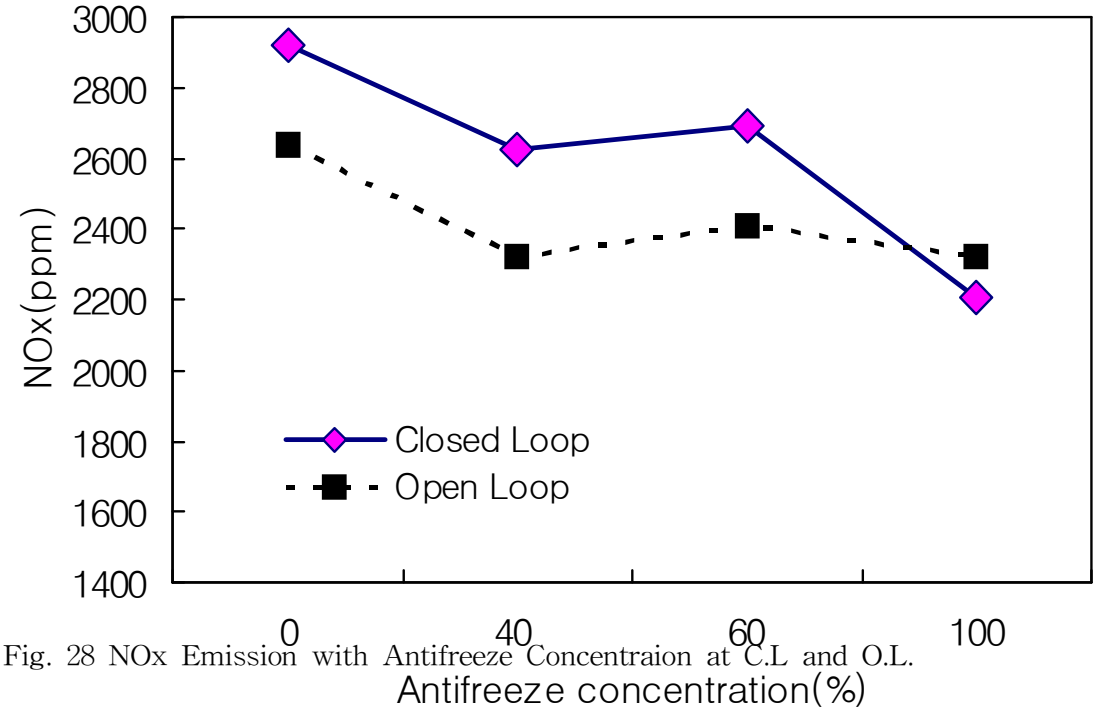


Fig. 28 NOx Emission with Antifreeze Concentraion at C.L and O.L.

Collection @ chosun

4.4 부동액 농도에 따른 CO. HC. NOx의 배출의 결과 고찰

Fig. 30, 31에 Closed Loop 상태와 Open Loop 상태를 부동액 농도에 따라 CO, HC, NOx의 배출량의 평균값을 보여주고 있다. Closed Loop와 Open Loop 모두 금속면의 온도가 높아져서 엔진에 손상을 초래하는 부동액 농도 100%의 경우를 제외한 부동액 농도 0%, 40%, 60%의 경우를 비교해보았다. Closed Loop 상태에서 CO의 경우는 부동액 농도에 따라 배출량이 증가하였으며, HC의 경우는 부동액 농도에 따라 점차 배출량이 감소하였음을 알 수 있다. NOx의 경우 부동액 농도에 따라 배출량이 감소하다가 60%에서 배출량이 증가하는 경향으로 변화하였다.

Open Loop의 경우 CO, HC, NOx 모두 배출량이 부동액 농도 40%에서 가장 적게 배출되었다. 이러한 측정결과에 따라 Closed Loop 상태와 Open Loop 상태 모두 엔진에 영향을 미치는 금속면 온도 및 배출가스 배출량 조건에 따라 부동액 농도 40%가 가장 적합함을 알 수 있다.

Collection @ chosun

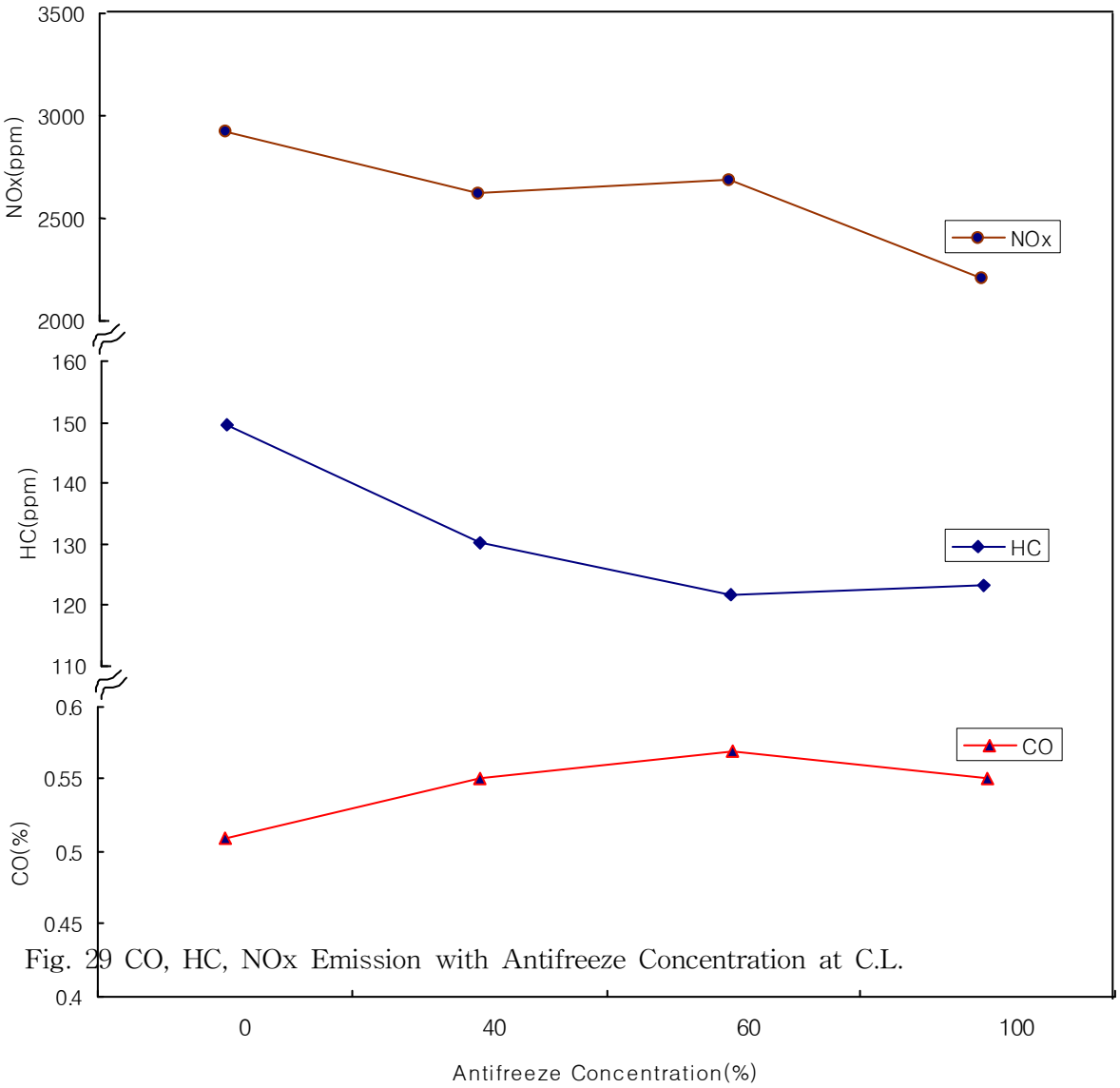


Fig. 29 CO, HC, NOx Emission with Antifreeze Concentration at C.L.

Collection @ chosun

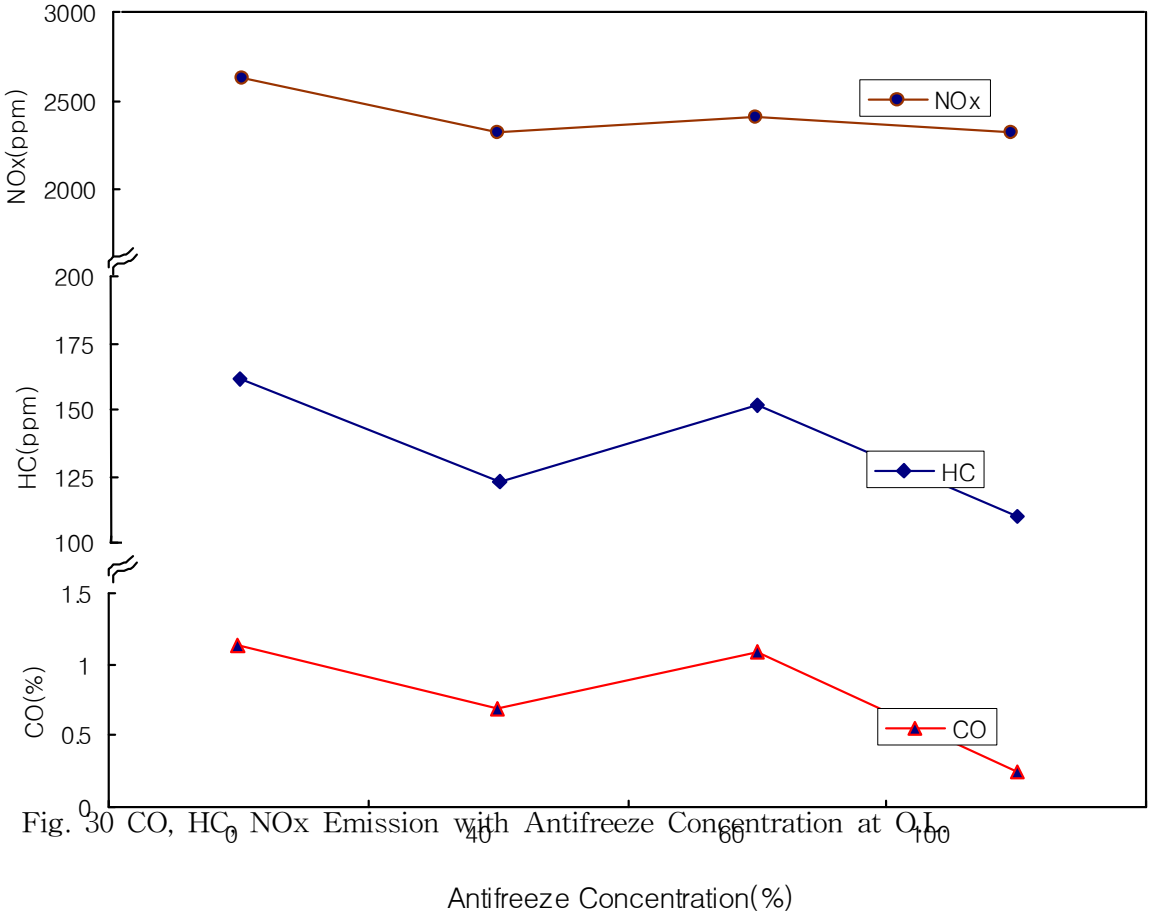


Fig. 30 CO, HC, NOx Emission with Antifreeze Concentration at O.L.

Collection @ chosun

4.5 부동액 농도에 따른 기타 배출가스에 대한 고찰

인체에 무해하므로 규제에서 제외되는 이산화탄소(CO_2), 산소(O_2), 공연비( )등을 측정한 실험결과는 Table 37~45에 나타냈다. Fig. 31~33에 이산화탄소, 산소, 공연비의 평균값을 Closed Loop와 Open Loop 상태를 비교하여 나타냈다. 지구온난화에 영향을 미치는 이산화탄소의 경우 산소센서의 영향을 크게 받지 않음을 알 수 있으며, 부동액 농도에 의한 변화폭도 적게 나타났다. 이러한 측정결과로 보아 이산화탄소 배출량은 부동액 농도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 하지만, 이산화탄소 배출량이 전체 배출량에서 13%~14%를 차지하고 있다는 것은 자동차 배출가스가 지구 온난화의 주범임을 단편적으로 보여주고 있는 것이다.(Fig. 32)

Fig. 33에서 볼 수 있듯이 산소 배출량은 산소센서의 영향으로 큰 차이를 보이고 있다. 산소센서가 배출가스에서 산소를 피드백 시키므로 나타나는 결과이다. 부동액 농도 100%의 경우를 제외하면 부동액 농도에 따른 산소 배출량은 변화폭이 적게 나타났다. 산소 배출량에 대한 부동액 농도의 영향은 미미한 것으로 확인되었다.

λ

Collection @ chosun

Table 37 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 0% (C.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	13.5	0.9	1.02	0.50	190	2971	
2	13.6	0.7	1.01	0.50	138	2912	
3	13.6	0.7	1.01	0.50	141	2860	
4	13.6	0.70	1.01	0.50	142	2959	
5	13.6	0.70	1.01	0.50	147	2963	
6	13.9	1.00	1.02	0.50	144	2692	
7	14.0	0.8	1.01	0.50	148	2858	
8	14.1	0.7	1.01	0.50	152	2926	
9	14.1	0.7	1.00	0.60	190	2927	
10	13.5	0.7	1.01	0.50	135	2950	
11	13.5	0.8	1.01	0.50	140	2951	
12	13.6	0.80	1.01	0.50	142	2996	
13	13.6	0.70	1.01	0.50	143	2928	
14	13.6	0.70	1.01	0.50	146	2968	
15	13.7	0.80	1.01	0.50	148	2956	
AVG.	13.70	0.76	1.01	0.51	149.73	2,921.13	

Collection @ chosun

Table 38 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 0% (O.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)		λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	13.7	0.6	0.99		1.00	149	2758	
2	13.7	0.6	0.99		1.00	155	2722	
3	13.7	0.50	0.98		1.10	159	2666	
4	13.8	0.50	0.99		0.90	160	2703	
5	13.8	0.40	0.98		1.00	161	2737	
6	13.8	0.40	0.97		1.20	169	2587	
7	13.7	0.50	0.98		1.10	167	2707	
8	13.5	0.50	0.98		1.10	156	2555	
9	13.3	0.40	0.97		1.40	163	2492	
10	13.5	0.50	0.98		1.10	164	2695	
11	13.5	0.40	0.97		1.20	161	2651	
12	13.4	0.40	0.97		1.40	170	2502	
13	13.6	0.40	0.98		1.10	161	2690	
14	13.5	0.40	0.97		1.30	167	2507	
15	13.6	0.50	0.98		1.00	154	2577	
AVG.	13.61	0.47	0.98		1.13	161.07	2,636.60	

Collection @ chosun

Table 39 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 40%(C.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	13.7	0.79	1.01	0.54	127	2720	
2	13.7	0.86	1.01	0.55	133	2693	
3	13.4	0.70	1.01	0.50	125	2586	
4	13.5	0.73	1.00	0.57	126	2609	
5	13.5	0.73	1.01	0.56	131	2578	
6	13.5	0.65	1.00	0.56	133	2698	
7	13.5	0.70	1.00	0.58	132	2627	
8	13.6	0.60	1.00	0.56	133	2642	
9	13.6	0.70	1.01	0.58	133	2616	
10	13.5	0.73	1.01	0.56	138	2638	
11	13.6	0.66	1.01	0.53	125	2614	
12	13.7	0.77	1.01	0.57	126	2557	
13	13.7	0.81	1.01	0.56	128	2664	
14	13.7	0.83	1.01	0.55	131	2542	
15	13.7	0.78	1.01	0.55	132	2597	
AVG.	13.59	0.74	1.01	0.55	130.20	2,625.40	

Collection @ chosun

Table 40 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 40%(O.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	14.4	0.70	1.01	0.60	134	2275	
2	14.0	0.70	1.01	0.59	110	2334	
3	14.1	0.84	1.00	0.63	121	2266	
4	14.1	0.65	1	0.70	125	2299	
5	13.9	0.5	0.99	0.7	113	2294	
6	13.9	0.7	1.01	0.6	121	2376	
7	13.7	0.47	0.99	0.76	116	2341	
8	13.7	0.51	1	0.67	118	2383	
9	13.7	0.51	0.99	0.75	124	2292	
10	13.7	0.58	1	0.63	117	2410	
11	13.5	0.50	0.99	0.9	129	2270	
12	13.6	0.46	0.99	0.88	128	2327	
13	13.6	0.46	0.99	0.72	131	2286	
14	13.7	0.43	1	0.5	125	2392	
15	13.6	0.50	1	0.67	131	2299	
AVG.	13.81	0.57	1.00	0.69	122.87	2,322.93	

Collection @ chosun

Table 41 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 60%(C.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	14.2	1.0	1.02	0.50	126	2711	
2	14.3	0.90	1.02	0.51	126	2731	
3	14.0	0.89	1.01	0.54	119	2749	
4	13.97	0.89	1.02	0.56	122	2725	
5	14.00	0.68	1.01	0.57	124	2718	
6	14.05	0.86	1.01	0.59	127	2690	
7	14.07	0.77	1.01	0.59	127	2723	
8	14.06	0.82	1.01	0.59	132	2668	
9	13.75	0.82	1.01	0.56	115	2719	
10	13.77	0.78	1.01	0.56	114	2689	
11	13.76	0.76	1.01	0.57	117	2681	
12	13.76	0.78	1.01	0.56	119	2653	
13	13.83	0.83	1.01	0.58	117	2662	
14	13.77	0.81	1.01	0.57	120	2645	
15	13.80	0.78	1.01	0.57	121	2583	
AVG.	13.94	0.82	1.01	0.56	121.73	2,689.80	

Collection @ chosun

Table 42 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 60%(O.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	13.70	0.68	0.99	0.88	142	2435	
2	13.80	0.48	0.98	1.08	147	2442	
3	13.81	0.50	0.97	1.14	155	2408	
4	13.89	0.46	0.97	1.05	159	2456	
5	13.86	0.50	0.97	1.08	159	2508	
6	13.81	0.43	0.97	1.27	165	2397	
7	13.89	0.48	0.97	1.11	165	2460	
8	13.40	0.42	0.97	1.14	145	2341	
9	13.40	0.49	0.97	1.16	146	2368	
10	13.43	0.46	0.97	1.13	149	2340	
11	13.51	0.49	0.98	1.07	148	2388	
12	13.46	0.49	0.98	1.08	151	2385	
13	13.50	0.44	0.98	1.02	147	2408	
14	13.30	0.51	0.97	1.15	152	2326	
15	13.44	0.42	0.98	1.01	146	2504	
AVG.	13.61	0.48	0.97	1.09	151.73	2,411.07	

Collection @ chosun

Table 43 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 100%(C.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)	
1	13.6	0.60	1.00	0.56	126	2203	
2	13.6	0.60	1.00	0.50	120	2236	
3	13.6	0.7	1.01	0.50	120	2181	
4	13.5	0.72	1.01	0.59	130	2219	
5	13.5	0.68	1.00	0.58	119	2212	
6	13.5	0.60	1.00	0.50	117	2133	
7	13.8	0.60	1.00	0.59	132	2329	
8	13.8	0.60	1.00	0.50	130	2250	
9	13.8	0.60	1.00	0.59	128	2184	
10	13.8	0.60	1.00	0.50	125	2191	
11	13.7	0.60	1.01	0.50	119	2214	
12	13.7	0.67	1.01	0.55	110	2262	
13	14	0.60	1.00	0.61	131	2149	
14	13.9	0.60	1.00	0.58	124	2141	
15	13.9	0.72	1.01	0.56	119	2169	
AVG.	13.71	0.63	1.00	0.55	123.33	2,204.87	

Collection @ chosun

Table 44 Exhaust Gas Emission at Antifreeze Concentration 100%(O.L)

	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	CO (%)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1	13.8	0.7	1.02	0.3	114	2277
2	13.7	0.8	1.02	0.2	109	2351
3	13.5	0.7	1.02	0.27	110	2301
4	13.5	0.7	1.02	0.2	107	2340
5	13.6	0.7	1.01	0.34	113	2265
6	13.6	0.74	1.03	0.25	107	2348
7	13.7	0.7	1.02	0.28	112	2287
8	13.7	0.72	1.01	0.33	114	2288
9	13.6	0.85	1.02	0.24	105	2346
10	13.7	0.6	1.02	0.2	107	2316
11	13.6	0.9	1.03	0.2	106	2360
12	13.7	0.8	1.02	0.22	109	2342
13	13.7	0.8	1.02	0.23	112	2343
14	13.7	0.8	1.02	0.23	110	2341
15	13.7	0.7	1.02	0.25	112	2302
AVG.	13.65	0.75	1.02	0.25	109.80	2,320.47

Table 45 CO_2, O_2, Emission at C.L and O.L

	Closed Loop				Open Loop			
	CO_2 (%)	O_2 (%)	λ		CO_2 (%)	O_2 (%)	λ	
0(%)	13.7	0.76	1.01		13.61	0.47	0.98	
40(%)	13.59	0.74	1.01		13.81	0.57	1	
60(%)	13.94	0.82	1.01		13.61	0.48	0.97	
100(%)	13.71	0.63	1		13.65	0.75	1.02	

Collection @ chosun

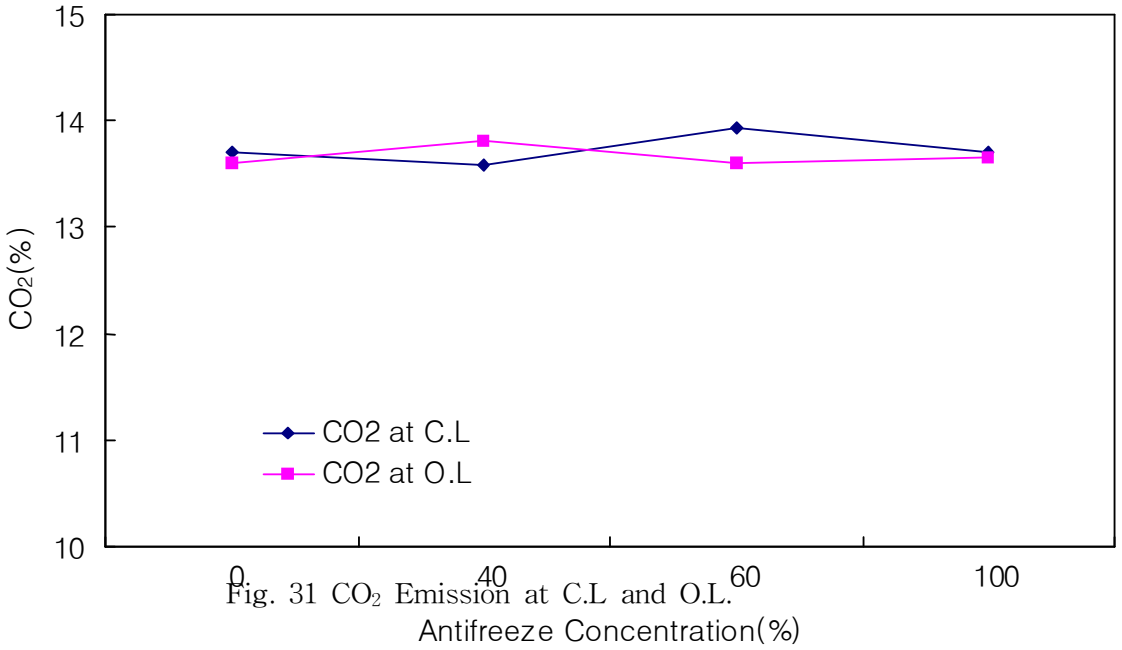
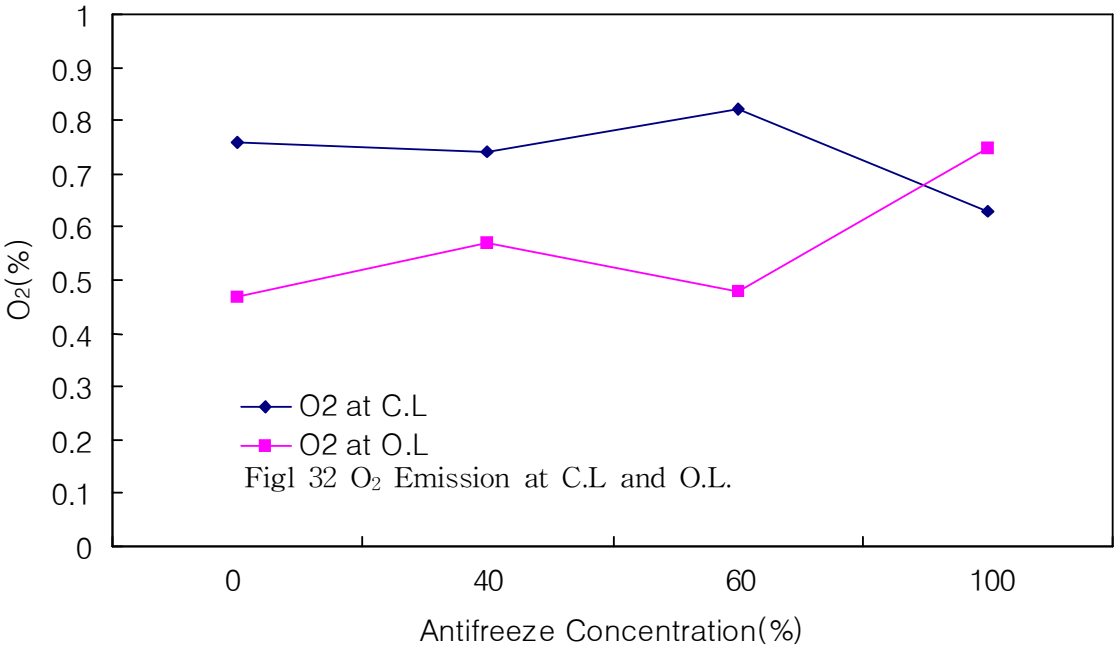


Fig. 31 CO_2 Emission at C.L and O.L.



Figl 32 O_2 Emission at C.L and O.L.

Collection @ chosun

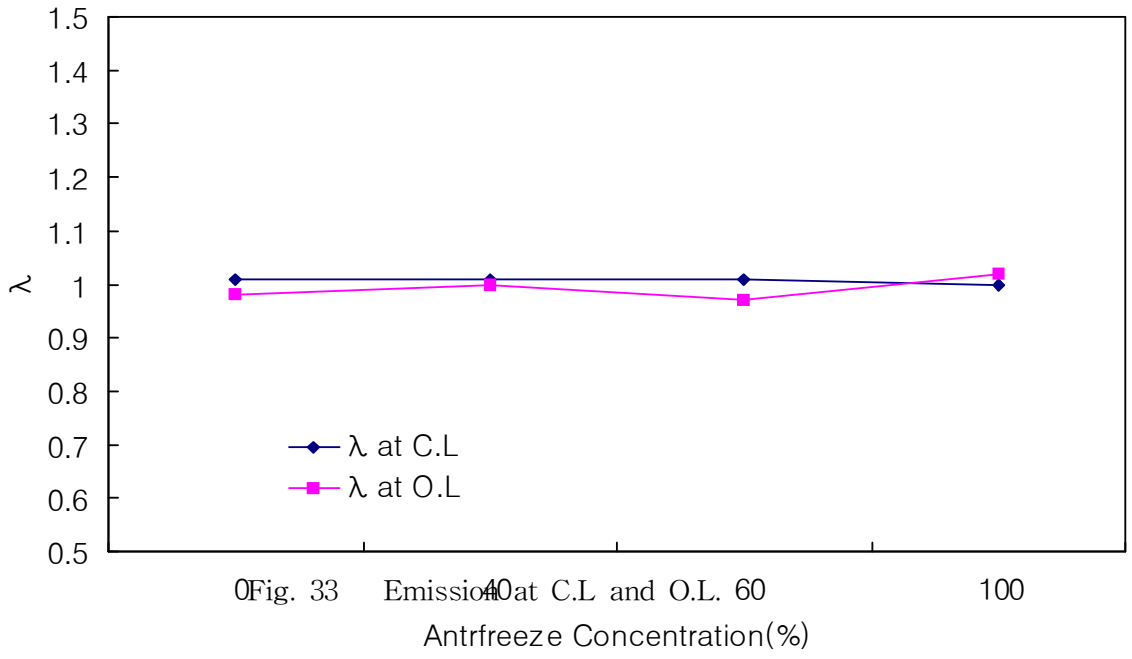


Fig. 33 Emission λ at C.L and O.L.

Collection @ chosun

제5장 결론

본 연구에서는 순수한물에 부동액을 첨가하지 않았을 때나 부동액 농도 40%, 60%, 100%로 맞췄을 때의 경우에서 배출되는 배출가스 중 인체 및 자연환경에 많은 영향을 미치는 CO, HC, NOx 배출량에 대해 연구하였다. 부동액 농도는 휴대용 굴절계를 사용하여 맞췄고, 배출가스 측정 규격인 ASM2525모드를 채택하여 자동차 배출가스분석기와 파형측정기를 이용하여 각각 조건에 따라 15회씩 2번 측정하였다.

일정 주행상태에서 냉각수온도, 엔진오일 온도, 흡기온도 등은 배출가스에 직접적인 영향을 미치고 있지 않음을 확인할 수 있었다. 하지만, 부동액 첨가 비율에 따른 냉각수는 엔진 금속면 온도에 직접적인 영향을 끼치게 되고, 그에 따른 엔진 금속면 온도 변화가 연료연소에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 엔진 금속면에 영향을 주지 않는 범위에서 최소의 배출가스가 배출되는 최적의 부동액의 농도를 제시하였다.

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

배출가스의 CO 함유량은 부동액의 농도가 높을수록 CO 배출량이 증가하고 있으며, Closed Loop 상태에서의 배출가스 CO 함유량은 모든 실험조건에서 0.4%~0.6% 범위내의 값을 나타내고 있다. 또한, HC 배출은 부동액 농도가 높을수록 HC 배출량은 줄어들었다. Closed Loop의 상태에서 부동액 농도 60%와 100%의 경우 배출량에 있어서 큰 차이가 없으며 부동액 첨가 범위는 부동액 농도 40%~60%범위가 적정하다.

반면, NOx 배출은 부동액 농도 100%는 부동액 농도 40%와 60%보다 300 ppm 적게 배출되었으며 부동액 농도100% 일 때 가장 효과가 높게 나타났다. 그러나 부동액 농도 100%의 경우는 엔진에 무리를 주기 때문에 부동액 농도 40%의 경우가 최적조건으로 볼 수 있다.

위에서 언급한 바와 같이 냉각수에 부동액 첨가가 배출가스에 영향을 미치고 있으며, 부동액 농도 40%에서 엔진의 CO, HC, NOx의 배출가스를 동시에 저감시키고 엔진의 작동을 원활하게 할 수 있는 최적의 부동액 농도로 확인되었다.

향후 연구과제로는 부동액 혼합이 자동차 연비에 미치는 영향, 부동액 종류에 따른 배출가스의 영향(에틸렌 계열과 프로필렌 계열), 지구 온난화에 주범인 CO_2의 저감방안에 대하여 연구가 이루어져야 할 것이다.

Collection @ chosun

참고문헌

(1) 송계의, “환경의 환경오염 저감방에 관한 연구”, 한국항만경제학회지, vol. 23, no. 1, pp. 95~113, 2007

(2) 조양현, “EU, 자동차 배출가스 통제강화 계획”, 수은해외경제, vol. 26, n0. 3, pp.87~89, 2007

(3) Botero, C. ; Finkenrath, M. ; Bartlett, M. “Redesign, Optimization, and Economic Evaluation of a Natural Gas Combined Cycle with the Best Integrated Technology CO2 Capture”, Energy procedia ,v.1 no.1 pp.3835-3842, 2009

(4) Moos, R. ; Rettig, F. ; Hurland, A. “Temperature-independent resistive oxygen exhaust gas sensor for lean-burn engines in thick-film technology”, Sensors and actuators. B, Chemical ,v.93 no.1/3 , pp.43-50, 2003

(5) Sahner, K. ; Fleischer, M. ; Magori, E. “HC-sensor for exhaust gases based on semiconducting doped SrTiO3 for On-Board Diagnosis”, Sensors and actuators. B, Chemical ,v.114 no.2 ,pp.861-868, 2006

(6) Xing, Y. ; Liu, Z. ; Couttenye, R.A. “Generation of hydrogen and light hydrocarbons for automotive exhaust gas purification: Conversion of n-hexane in a PACT (plasma and catalysis integrated technologies) reactor” Journal of catalysis ,v.250 no.1 , pp.67-74, 2007

(7) Bose, P.K. ; Maji, D. “An experimental investigation on engine performance and emissions of a single cylinder diesel engine using hydrogen as inducted fuel and diesel as injected fuel with exhaust gas recirculation”, International journal of hydrogen energy ,v.34 no.11, pp.4847-4854, 2009

(8) Saravanan, N. ; Nagarajan, G. ; Kalaiselvan, K.M. “An experimental investigation on hydrogen as a dual fuel for diesel engine system with exhaust gas recirculation technique”, Renewable energy ,v.33 no.3 , pp.422-427, 2008

(9) Maiboom, A. ; Tauzia, X. ; Hetet, J.-F. “Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine”, Energy : technologies, resources, reserves, demands, impact, conservation, management, policy ,v.33 no.1, pp.22-34, 2008

(10) Parlak, A. ; Yasar, H. ; Eldogan, O. “The effect of thermal barrier

Collection @ chosun
coating on a turbo-charged Diesel engine performance and exergy potential of the exhaust gas", Energy conversion and management ,v.46 no.3, pp.489-499, 2005
(11) Evulet, A.T. ; ELKady, A.M. ; Branda, A.R. "On the Performance and Operability of GE's Dry Low NOx Combustors utilizing Exhaust Gas Recirculation for PostCombustion Carbon Capture" Energy procedia ,v.1 no.1 , ,pp.3809-3816, 2009
(12) Mowery, D.L. ; Graboski, M.S. ; Ohno, T.R. "Deactivation of PdO-Al2O3 oxidation catalyst in lean-burn natural gas engine exhaust: aged catalyst characterization and studies of poisoning by H2O and SO2", Applied catalysis B, Environmental ,v.21 no.3, pp.157-169, 1999
(13) Abu-Qudais, M. "Exhaust gas temperature for knock detection and control in spark ignition engine", Energy conversion and management ,v.37 no.9, pp.1383-1392, 1996
(14) Kureti, S. ; Hizbullah, K. ; Weisweiler, W. "Simultaneous Catalytic Removal of Nitrogen Oxides and Soot from Diesel Exhaust Gas over Potassium Modified Iron Oxide", Chemical engineering & technology ,v.26 no.9, pp.1003-1006, 2003
(15) Heffel, J.W. "NOx emission and performance data for a hydrogen fueled internal combustion engine at 1500rpm using exhaust gas recirculation", International journal of hydrogen energy ,v.28 no.8, pp.901-908, 2003
(16) Heffel, J.W. "NOx emission reduction in a hydrogen fueled internal combustion engine at 3000 rpm using exhaust gas recirculation", International journal of hydrogen energy ,v.28 no.11, pp.1285-1292, 2003
(17) Autoenv.org.kr
(18) 류택용, "엔진냉각수에 부동액 혼합이 엔진 및 차량 냉각 성능에 미치는 영향 " 한국자동차공학회지, vol. 16, no. 6, pp.1~8, 1994
(19) 현대자동차연구소, "부동액이 엔진 금속면 온도에 미치는 영향 " 현대자동차 연구보고서, 2004.
(20) 김영찬, " 알루미늄 실린더 헤드의 내식성에 미치는 부동액의 영향", 자동차 공학회지, vol. 7, n0. 5, pp. 85~91, 1999
(21) 강현준, "운행차 배기가스 정밀검사분석 자료를 이용한 정비방법에 대한 연구 " 금오공과대 산업대학원, pp. 18~21, 2006
(22) 김응서, "자동차 배출가스 허용한도 및 검사방법", 자동차기술학회지, , vol.

Collection @ chosun

2, n0. 2, pp. 31~39, 1980.
(23) 휴대용 굴절계 사용안내서
(24) 한영출, “산화촉매에 의한 자동차 배출가스중 HC 및 CO의 정화에 관한 실험적 연구”, 자동차기술학회지, vol. 3, no. 1, pp. 46~53, 1981