

# 스파크 점화기관 냉간 시동시 플라즈마 광촉매 복합장치에 의한 탄화수소 화합물 저감에 관한 실험적 연구

이택현\* · 전광민\*\* · 전배혁\*\* · 신영기\*\*\*

## The Study of the Effects of Nonthermal Plasma-Photocatalyst combined Reactor on Hydrocarbon Decomposition and Reduction during Cold Start and Warm-up in a SI Engine

Taek Heon Lee, Kwang-Min Chun, Bae-Hyeock Chun, Younggy Shin

**Key Words:** SI Engine, Hydrocarbon, cold Start, Non-thermal plasma, photocatalyst, Speciation, FGSS(Fast gas sampling system), Secondary air injection, Gas chromatography

### Abstract

Among the recent research ideas to reduce hydrocarbon emissions emitted from SI engines till light-off of catalyst since cold start are those exploiting non-thermal plasma technique and photo-catalyst that draws recent attention by virtue of its successful application to practical use to clean up the atmosphere using the feature of its relative independence on temperature. Based on the previous research results<sup>(1)</sup> obtained with model exhaust gases using an experimental emissions reduction system that utilizes the non-thermal plasma and photo-catalyst technique, further investigation was conducted on a production N/A 1.5 liter DOHC engine during cold start to warm-up. For the effects of non-thermal plasma-photocatalyst combined reactor, 10% concentration reduction was achieved with the fuel component paraffins, and the large increase in non-fuel paraffinic components and acetylene concentrations were similar to those of base condition. However the absolute value was locally a bit higher than those of base condition since the products was made from the dissociation and decomposition of highly branched paraffins by plasma-photocatalyst reactor. Olefinic components were highly decomposed by about 75%, due to these excellent decompositions of olefins which have relatively high MIR values, and the SR value was 1.87 that is 30% reduction from that of base condition, then, the photochemical reactivity was lowered.

### 기호설명

SR : Specific Reactivity  
MIR : Maximum Incremental Reactivity  
HC : Hydrocarbon

---

\* 대우자동차 기술개발본부  
\*\* 연세대학교 기계공학과  
\*\*\* 세종대학교 기계항공공학부

## 1장 서론

가솔린을 연료로 하는 자동차의 경우 HC 배출 성분은 시동 후 기관이 워업 되는 초기 100초 동안 FTP-75 주행모드 중 배출되는 총합 배출량의 70 ~ 80% 가량에 이른다.<sup>(1)</sup> 이는 시동시 예측이 어려운 과도응답 특성과 가연 혼합기 형성을 위해 농후한 연료를 분사하는 것이 그 하나이고, 삼원 촉매의 활성화를 위한 온도인 250 ~ 300℃가 되기까지 어느 정도 시간이 필요한 것이 또 다른 이유이다. 이와 같이 냉시동 초기부터 Light-off까지 다량 배출되는 탄화수소 화합물의 저감을 위해 비열 플라즈마의 도입과 아울러 주로 대기 환경 정화에 실용화되어 주목받고 있는 광촉매의 온도 비의존성을 이용한 유해 배출물 정화를 여러 연구자들이 시도하고 있다.<sup>(2)~(6)</sup> 모델가스 선행 연구 결과<sup>(7)</sup>를 토대로 비열 플라즈마 광촉매 복합 장치를 실엔진에 적용하여 엔진의 냉시동 초기 및 워업 구간에서 배출되는 C1 ~ C10 사이의 약 50여가지 탄화수소 화합물에 대해 기본적인 배출 성향을 확인하고 비열 플라즈마의 충돌 전리 작용과 모델가스 실험에서 선정된  $\gamma$ -Alumina 담체-TiO<sub>2</sub> 광촉매의 상온 광분해 작용이 배출가스에 미치는 영향을 검토하였다.

이를 위해 사이클별 고속으로 시료를 채취하는 고속시료 채취장치(FGSS)를 제작하였으며 시동 초기부터 적당한 간격으로 시료를 채취하여 가스 크로마토그래피로 분석하였다.<sup>(8)</sup>

실험 연료는 현재 시중에서 유통되는 상용 연료를 사용하였으며 배출 가스 분석 전에 실험 연료의 성분을 분석하여 연소에 참여하거나 연소 후 생성된 성분

의 여부를 검증하였다.

시료의 채취는 시동 후 기초 실험은 3200 사이클까지 플라즈마 광촉매 후처리 실험은 1000 사이클까지 수행하여 탄화수소 화합물 각 화학종에 따라 비교 결과를 도출하였다.

## 2장 실험

### 2.1절 실험장치

본 연구를 위한 실험 장치는 Fig. 2-1과 같으며 선행 연구에서 사용한 기본적인 실험 시스템 외에 실험 엔진, 연소 사이클별 정밀 분석을 위한 고속 가스 채취 장치, 엔진 컨트롤러, 가스 채취 장치 컨트롤러, 가스 크로마토그래피 배출 가스 분석장치 등으로 이루어져 있다. 탄화수소 화합물 저감 장치로서는 플라즈마 광촉매 어셈블리 등을 실험 목적에 따라 엔진에 부착한다.

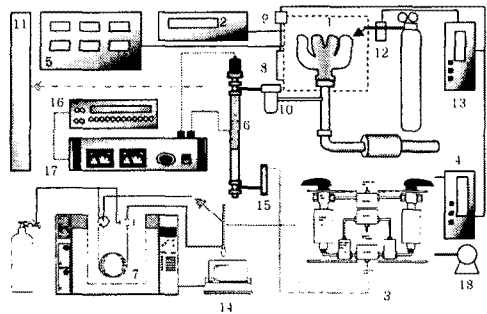


Fig. 2-1 Schematic diagram of the experimental set-up

1. Engine, 2. Engine start controller, 3. Fast gas sampling system (FGSS), 4. FGSS control unit, 5. Temperature measuring system & coolant temperature controller, 6. Plasma-photocatalyst combined unit, 7. Gas chromatography, 8. Encoder, 9. Cam location sensor, 10. Gas filter, 11. Exhaust gas analyzer, 12. Solenoid valve for SSAI, (Not used) 13. SSAI control unit, (Not used) 14. Multi-chro2000 data acquisition system, 15. Flow meter, 16. Function generator, 17. High voltage power supplier, 18. vacuum pump.

## 2.2절 실험내용

실험엔진은 상용화된 1,498 cc DOHC (Double Overhead Cam Shaft) MPI (Multi Point Fuel Injection) 엔진을 사용하였다.

실험에 사용된 연료는 현재 시판 중인 모 정유사의 상업 연료를 사용하였으며 시험 연료 중 약 0.5ml를 100ml 대형 시린지(syringe)에 채취하여 밀봉한 후 증발시키고 이를 가스 크로마토그래피로 분석하였다. Iso-pentane이 측정 성분 중 5.05%, n-Pentane 3.84%, 3-methylpentane 13.36%, n-hexane 6.55%, n-heptane 11.01%, isooctane 2.63%, n-octane 2.88%, benzene 5.73%, n-nonane 17.67% 등 benzene을 제외하고 주로 파라핀계 연료가 주성분이었다.

엔진 배출 가스로부터의 시료는 Fig. 2-1에서 보는 바와 같이 엔진의 배기 매니폴드 하단 100mm 부분에서 채취되었다. 시료 채취구로부터 FGSS 시료병까지의 데드 볼륨은 71.8cc이고 본 연구에서는 배기 매니폴드로부터 유량을 3 l/min으로 일정하게 유지 시킨 후 시료가스를 바이패스하여 채취하였다.

시료채취 지연시간은 엔진 배기 채취구로부터 시료병까지의 데드 볼륨을 유량으로 나누어 약 0.5초 즉 2 ~ 3 사이클이었다.

시료를 채취하기 전 엔진은 8시간 이상 약 20°C 전후로 상온 분위기에 소오킹(Soaking)한 후 한 번의 실험에서 시료를 7회 채취하였고 병의 부피가 72.5 ml 이므로 7회 중 첫번째 시료가 약 20 ml 가량으로 가장 많은 양일 것이므로 최저 5 사이클 간격으로 시료를 병에 담았다. 매 시동 전 엔진은 연소실 및 배기관에 연료 성분이 남아 있지 않도록 연료를 차단한 상태에서 쓰로틀 밸브(Throttle

valve)를 전개(全開) 시키고 질소 분위기에서 2초간 크랭킹하였다. 시료를 채취한 후마다 고속 시료 채취 장치 및 배관 계통을 모두 N<sub>2</sub> 가스로 퍼지(Purge) 하였다. 엔진 시동 Strategy는 Fig. 2-2와 같이 크랭킹 과정 후 순간적으로 약 1600 rpm 까지 올라가다가 냉각수 온도의 영향으로 Desired Fast Idle Logic인 1000 사이클까지 약 1000rpm으로 유지된다. 이 후 완전히 워업 되면 약 800rpm을 유지하였다.

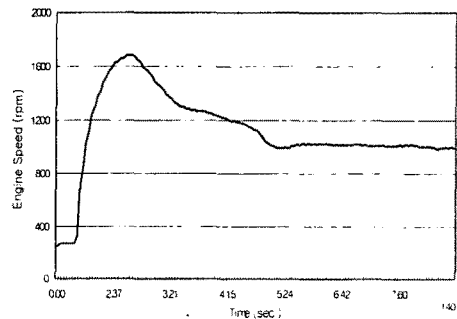


Fig. 2-2 Engine start strategy at coolant temperature 15°C

## 2.3절 실험 결과

### 2.3.1항 엔진 기초 HC 분석 결과

엔진의 냉시동 초기 및 워업 구간에서 별도의 후처리 장치 없이 배출되는 탄화수소 화합물의 사이클 별 화학종 분석 결과를 Fig. 2-3 ~ Fig. 2-4에 나타내었다.

초기 50사이클까지는 채집된 탄화수소 몰수가 점진적으로 증가하다 이후 methane, ethylene, propylene, 그리고 acetylene 등의 연소 성분(비연료 성분)과 3-methylepentane 등의 일부 연료 성분의 배출 농도가 가파르게 상승하였고

시동 후 약 300 ~ 400 사이클 부근에서 안정되었다.

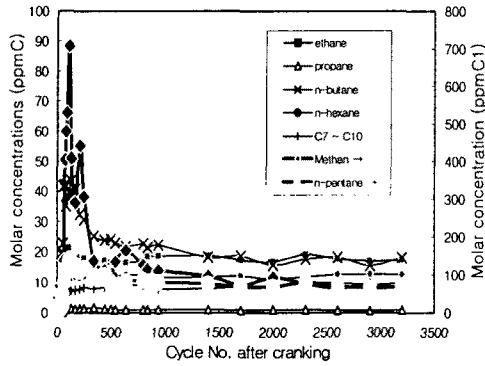


Fig. 2-3 N-Paraffin species emission during starting and warm-up process for base condition (W/O plasma-photocatalyst)

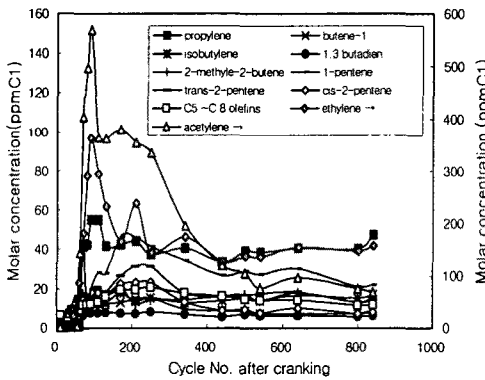


Fig. 2-4 Olefins species & Acetylene emission during starting and warm-up process for base condition (W/O plasma-photocatalyst)

Fig. 2-3, Fig. 2-4에서와 같이 주요 n-paraffins의 배출에서 methane의 배출 경향이 가장 특징적이었는데 최대 700ppmC이었고, acetylene의 경우 최대 약 600 ppmC, 그리고 ethylene이 최대 약 400 ppmC의 값을 보이다가 methane, acetylene, ethylene 각각

100ppmC, 100 ppmC, 150ppmC으로 안정되었다. 그러나 본 연구에서 aldehydes와 ketones의 측정이 따로 수행되지 않았으나 별도 시약에 의하여 acetylene의 용리 위치에 acetaldehyde의 동시 용리(co-elution) 현상을 관찰함으로써 acetylene의 배출 농도에는 일부 acetaldehyde가 섞여 있을 것으로 판단된다.

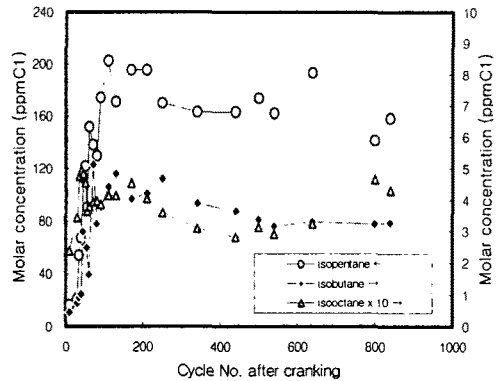


Fig. 2-5 Isoparaffin species emission during starting and warm-up process for base condition (W/O plasma-photocatalyst)

1-pentene, trans-pentene-2, cis-pentene-2, isobutylene 등 올레핀류는 Fig. 2.4와 같이 대개 200 사이클을 전후하여 완만한 상승을 보이다 20 ~ 30 ppmC미만으로 안정되면서 큰 경향 변화는 보이지 않았다. Diolefin인 1,3-butadiene 역시 100 사이클부근에서 이미 안정되어 8 ~ 10 ppmC가량을 나타내었다.

Iso-pentane의 경우 Fig. 2.5에서 보는 바와 같이 절대 농도의 급격한 상승없이 100 사이클이 지나면서 약 210ppmC가량이 배출되었고 그 이후도 160 ppmC 부근에서 안정되었다. 여타 paraffin isomer들과 cyclopentane, cyclohexane 등 cycloparaffins도 배출 농도는 다르지

만 비슷한 양상을 보였다.

3-methylpentane은 Fig. 2.7과 같이 100 사이클을 전후하여 최대 약 60 ppmC1을 나타내다 200 사이클까지 30 ppmC1으로 가파르게 하락하고 이후 워업되면서 20 ppmC1으로 완만하게 감소

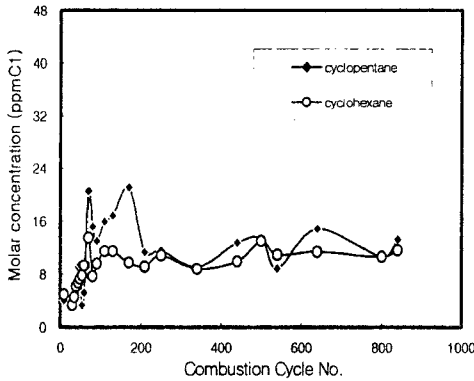


Fig. 2-6 Cycloparaffins species emission during starting and warm-up process for base condition (W/O plasma-photocatalyst)

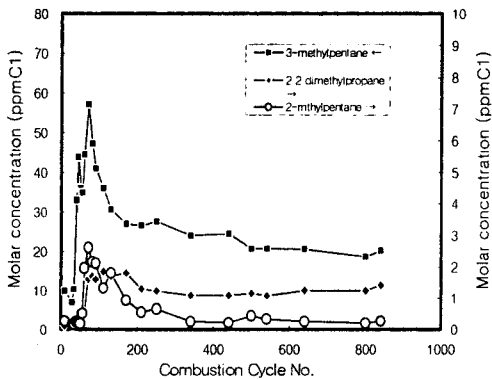


Fig. 2.7 Other alkylparaffins species emission during starting and warm-up process for base condition (W/O plasma-photocatalyst)

한다.

THC에 대한 비율로 보면 절대 배출 농도와는 다른 양상을 나타낸다.

시동(Craking) 직후 0 ~ 50 사이클 미만에서는 가벼운 알칸(Alkane)인 n-butane과 주로 연료 성분인 3-methyl

-pentane, iso-pentane, n-pentane 등 크랭킹 시 알칸(Alkane) 계열의 미연 연료 성분의 비율이 높았고 이 밖에 n-hexane, 연료 olefin 등도 시동 직후 같은 기간 동안은 완폭(完爆)이 일어나기 전까지 연소에 참여하지 않은 일부가 미연 연료 성분으로 배출되다가 이후 연소가 본격적으로 진행되면서 급격히 줄어든다. Iso-pentane의 경우 실험 연료 중 약 5%를 차지하고 있는 연료 주성분 중의 하나로 50 사이클 미만에서 최대 25.5% / THC 가 배출 되었으며 연료 성분 중 약 13%인 3-methylpentan의 경우 같은기간에서 26.3% / THC 가량으로 나타났고 n-pentane 11.3% / THC, n-hexane 6.5% / THC 순이었다. 한편 연료 성분 중 iso-pentane보다 함량이 다소 높은 방향족 성분 benzene의 경우 시동 초기에는 검출되지 않고 연소 사이클이 진행되면서 서서히 증가하다 안정된다.

이는 일반적으로 benzene, toluene 등 방향족 화합물과 같은 분자량이 크고 증기압이 낮은 성분은 냉시동 직후 흡기관 벽면에 기화되지 않은 상태로 응축되어 있는 반면 분자량이 작고 증발성이 비교적 큰 iso-pentane, n-pentane 등의 성분이 냉시동 직후 빠르게 증발하면서 배출된다.<sup>(9),(10),(11)</sup> 본 실험에서도 유사한 결과를 얻었고 n-butane의 경우 연료 중 0.14%를 포함하고도 5% / THC의 배출 비율을 나타내었으며 C7 이상의 무거운 파라핀 연료 성분도 일부 배출 되었으나 연료 중 heptane 11%, n-nonane 17.7%로 높은 값을 감안하면 실험 결과가 대체로 연료 증발성에 따른 배출 경향을 따르고 있음을 알 수 있다.

이 후 100 사이클을 전후하여 완폭 이후 연소가 진행되면서 연료 성분에 없었

던 methane과 ethylene, propylene 등 가벼운 올레핀과 acetylene 등 연소 성분군(Non-fuel components)이 급격히 증가하는데 methane의 경우 110 cycle에서 31% / THC의 배출 비율을 보였고 ethylene, propylene, acetylene은 90 사이클에서 각각 16.3% / THC, 2.5% / THC, 25.5% / THC를 나타내었다.

이들은 연소가 시작되면서 생성되는 성분들이고 엔진 배기 계통의 온도가 연소 사이클이 진행되면서 서서히 올라가고 이들이 연소에 참여함에 따라 300 사이클 부근에서부터 급격히 감소함을 보였다. 또 이 성분들은 냉시동 모드 즉 점화시거나 특히 공연비 그리고 엔진 속도에 따른 배출가스 온도에 크게 영향을 받는다. 당량비( $\phi$ )가 커지면 즉 연공비(Fuel/Air ratio)가 농후해지는 영역에서는 methane, ethane, acetylene의 농도가 급격히 증가한다.) 이들은 주로 화염 전파가 끝난 직후 벽면으로부터 멀리 떨어진 산소 결핍 상태의 코어 가스에서 나타난다. 따라서 냉시동 직후의 농후한 연공비의 영향으로 급격히 증가하다 이론 공연비(Air/Fuel ratio 14.6) 근처로 접근하면서 다시 가파른 하강을 하는 것은 당연한 결과로 여겨진다.

Methane과 ethane은 methyl radical이 많이 떨어져 나올 수 있는 다지(Highly branched) paraffins으로부터 하나의 methyl radical과 H 원자가 반응하거나 (methane), 두 개의 methyl radical과 반응하여(ethane) 생성된다. Ethylene의 경우는 직렬 사슬(straight chain) paraffins의 분할 반응에서 생성되는 것이 거의 명확하다.<sup>(12)</sup>

### 2.3.2항 Plasma-photocatalyst 적용 실험 결과

Plasma-photocatalyst는 모델가스 실험 결과 가장 효과가 좋게 나타난 졸-겔법 제조 TiO<sub>2</sub>를 포어(Pore)가 있는  $\gamma$ -Alumina에 담지한 반도체 광촉매를 채용하였다. 이를 펙드베드 형식의 플라즈마 반응기에 주지한 바와 같이 주입하고 200 J/L의 에너지 밀도가 인가된 플라즈마 현상과 380 nm이하의 자외선에 의한 광분해 반응과정이 냉시동시의 배출가스 정화에 미치는 영향을 알아보았다. Fig. 2-8 ~ Fig. 2-11의 비교는 비열 플라즈마 광촉매 후처리 장치 전후의 몇 가지 대표적인 비교 그래프이다. Fig. 2-8 ~ Fig. 2-11까지는 기초 상태와 플라즈마 광촉매 복합 장치 연결 상태를 탄화수소 각 화학종에 대하여 절대 농도와 THC에 대한 백분율로 비교하였고 이 결과들의 전형적인 가스 크로마토그래피 출력 결과는 Fig. 2-12 ~ Fig. 2-13과 같다.

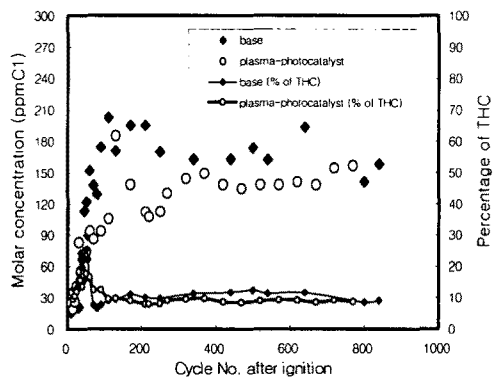


Fig. 2-8 Iso-pentane emissions and percent portion to THC during starting and warm-up process for plasma-photocatalyst combined system (applied energy 200 J/L) compared with base condition

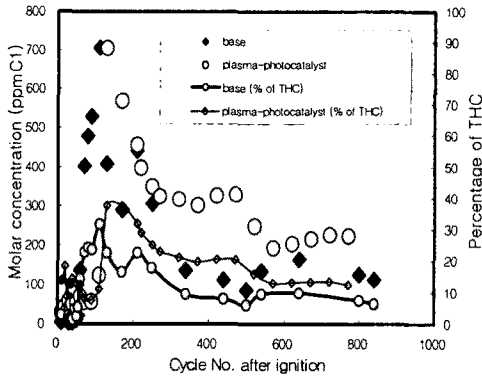


Fig. 2-9 Methane emissions and percent portion to THC during starting and warm-up process for plasma-photocatalyst combined system (applied energy 200 J/L) compared with base condition

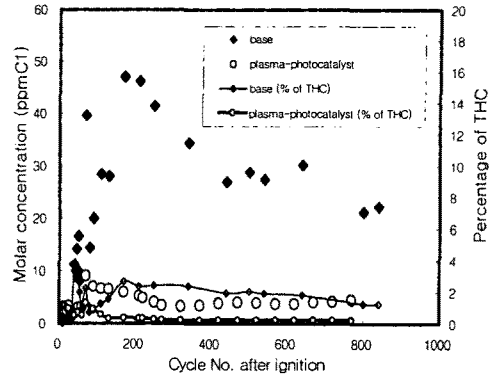


Fig. 2-11 1-pentene emissions and percent portion to THC during starting and warm-up process for plasma-photocatalyst combined system (applied energy 200 J/L) compared with base condition

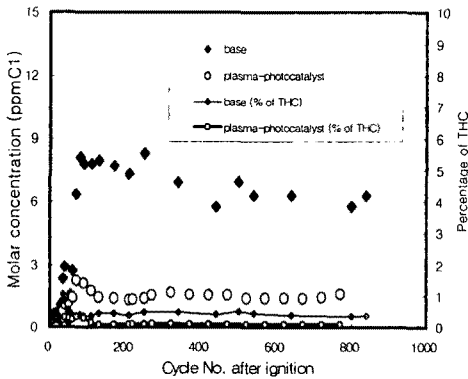


Fig. 2-10 1,3 butadiene emissions and percent portion to THC during starting and warm-up process for plasma-photocatalyst combined system (applied energy 200 J/L) compared with base condition

플라즈마 광촉매 복합장치를 적용하였을 경우 냉시동 초기 기초 실험과 비교하여 약 20 사이클 가량의 시간 지연이 발생하였는데 이는 플라즈마 광촉매 복합 장치에 흐르는 가스의 부피만큼 고속 채취장치의 가스 배분 매니폴드에 시료 가스가 이르는데 걸리는 시간이다.

기초 실험 결과와 비교하여 연료 성분 paraffins는 약 10% 이상의 분해 성능이 관찰 되었고 연소 성분 paraffins인

methane, ethane, 연소 성분 olefins인 ethylene, propylene, 그리고 acetylene의 경우 플라즈마 광촉매에 의해 오히려 농도가 증가하는 부분도 있어 위의 두 성분군에서는 획기적인 저감 효과는 얻어지지 않았으나 butene-1, 1,3 butadiene, 2-methyl-2-butene, 1-pentene, trans-2-pentene, cis-2-pentene 등 연료 성분 olefins는 탁월한 저감 효과를 나타내었다. 이는 모델가스 실험에서 paraffin인 n-butane과 삼중 결합인 acetylene보다 olefin으로서 propylene의 정화효과가 뛰어난 현상과 일치하는 결과이다.

Methane의 경우 Fig. 2-9과 같이 기초 실험 결과와 경향은 유사하였으나 플라즈마 반응기를 거치는 과정에서 주로 다지(Highly branched) paraffins의 충돌 전리 작용에 의한 methyl radical의 증가로 인해 농도가 오히려 증가하여 최고점의 농도는 약 700 ppmC1으로 비슷하였으나 엔진 워업이 진행되는 400 사이클 부근에서 약 300 ppmC1의 안정된 값으로 배출되는데 이는 기초 실험치보다 100 ppmC1 가량 높은 값이다.

배출 양상은 130 사이클을 전후하여

배출농도가 가파르게 상승하다 하락하고 이후 350 사이클에서 안정되기 시작한다. 농도 최고점에서 THC에 대한 배출 백분율은 기초 실험치보다 높은 37.6% / THC를 기록하였다. Ethane, Ethylene과 propylene도 각각 5 ppmC1, 50 ppmC1, 그리고 10 ppmC1 가량 더 높게 배출되면서 안정되었고, propane의 경우는 기초 실험에서는 1 ppmC1 이하로 거의 나타나지 않다가 플라즈마 광촉매 반응 이후 최대 7.5 ppmC1이 배출되었고(Fig. 3-25), propadiene은 실험 연료 분석과 기초 실험에서 전혀 측정되지 않은 성분으로 플라즈마 반응기 이후 2 ppmC1 가량이 배출되었다.

또, cyclopentane, iso-pentane(Fig. 2-8), n-pentane, cyclohexane, 2-methyl-pentane, 3-methylpentane, n-hexane 등 연료 성분 paraffins은 2-di-methylpentane을 제외하고 구간에 따라 정도의 차이는 보이지만 모두 10% 이상의 저감 양상을 보였고 Fig. 3-35의 cyclopentane의 경우 50% 가까운 정화 성능을 나타내었다.

이와는 다르게 냉시동 후 엔진 배출 가스가 플라즈마 광촉매 복합 반응기를 지나면서 연소 성분 butene-1을 포함한 연료 성분 olefin의 정화에 큰 효과를 보였는데 Fig. 3-32에서와 같이 butene-1의 경우 피이크(peak) 발현없이 최대 농도가 나타나는 200 사이클을 전후하여 약 80%가 정화되었고 안정되면서도 60%의 이상의 정화성능을 나타내었다. 연료 olefin인 1,3 butadiene 역시 반응기를 지난 농도가 최대 80%를 상회하였고 안정된 후에도 Fig. 2-10에서 보듯이 75% 가량의 높은 정화율을 나타내었다. 특히 1,3 butadiene은 광화학스모그 유발 가능성이 가장 높은 olefin으로서

MIR(Maximum incremental reactivity)이 10.890에 이른다.

이 밖에 연료 olefin인 1-pentene, trans-pentene-2, cis-pentene-2 등 pentene 이성체와 C5 ~ C8 olefin의 경우에 있어서도 75 ~ 90%의 정화 성능을 보였다.

Fig. 2-12에서 보듯이 가스 크로마토그래피 결과 그래프의 20분에서 23분 사이의 olefins이 Fig. 2-13의 같은 기간 원내와 같이 큰 폭으로 줄고 있다.

olefins의 경우 전반적으로 MIR값이 크고 따라서 광화학 스모그의 유발도가 다른 종류의 탄화수소보다 높다. 플라즈마 광촉매 복합 장치를 통과한 시료의 SR(Specific reactivity)는 1.87로 기초 실험으로부터 계산된 2.66보다 약 30% 가량 낮은 값을 보여 본 연구에서 사용된 플라즈마 광촉매 복합 장치의 차량 적용 가능성을 뒷받침 하였다. SR을 얻는 관계식은 다음과 같다.

$$SR = \frac{\sum(NMOG_i \times MIR_i)}{\sum(NMOG_i)} \quad (2-1)$$

또는 가스 크로마토그래피의 데이터를 이용하는 경우,

$$SR = \frac{\sum[(\% \text{ of total peak area})_i \times (12 + H/C)_i \times MIR_i]}{\sum[(\% \text{ of total peak area})_i \times (12 + H/C)_i]} \quad (2-2)$$

i : individual species

NMOG = VOCs - methane, (VOCs = THC + carbonyl species + alcohols)

MIR은 : 각 화학종의 광화학적 반응성 계수로서 Lab.에서의 반응성 데이터로부터 결정된다. 단위는 g O<sub>3</sub>/g VOCs 이다.



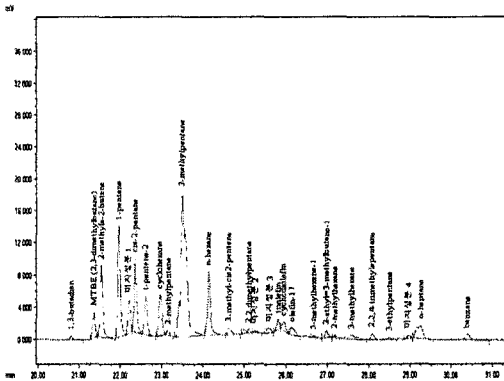


Fig. 2-12 Example of the gas chromatography result for one of the base conditions

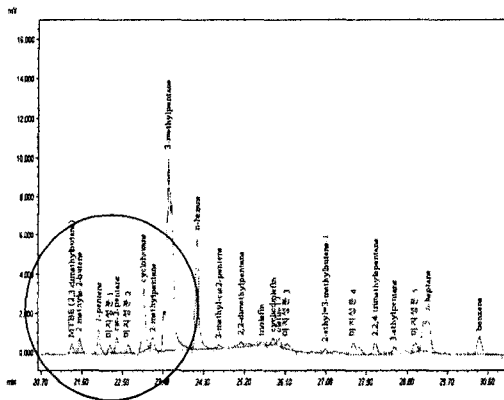


Fig. 2-13 Example of the gas chromatography result for one of the plasma photocatalyst applications, (Above circle shows a outstanding reduction of olefins)

### 3장 결론

1. 냉시동 및 워업 기간 기초 실험 결과 시동 직후는 n-butane, iso-pentane 등 비교적 가볍고 증발성이 높은 연료 성분과 비등점(Boiling point)이 63.27℃로 낮지 않지만 연료 중 두 번째로 높은 함량인 3-methylpentane의 배출 농도가 높았다.

2. 기초 실험의 워업 초기 100 사이클을 전후하여 methane, ethylene, acetylene, 등 연소 성분의 급격한 상승이 있는 후 다시 가파르게 하락하였다. 이들은 주로 연소 초기 낮은 반응 온도 조건과 관련하여 다량 배출되다 이후 300 사이클을 전후하여 안정되기 시작한다.

3. Benzene 등 aromatic 성분은 시동 직후에는 극히 낮은 배출 농도를 보였고 연소 사이클이 진행될수록 점차 증가하다 안정한다.

4. Olefins은 대개 초기 배출 비율보다 사이클이 진행되면서 점차 낮아 지다 안정되고 배출 절대량은 대개 200 사이클 내외에서 낮은 피크를 보이지만 바로 안정되는 양상을 나타낸다.

5. 플라즈마 광촉매 복합 장치 적용 실험에서 연료 성분 paraffins은 평균 약 10%의 농도 저감 성능을 보였다.

6. 비연료 성분군인 methane, ethylene, propylene, 그리고 acetylene 등은 기초 실험의 경우와 유사하게 시동 초기에 증가하다 감소하였으며 플라즈마 광촉매의 충돌 전리 작용 및 광분해 효과의 작용을 받아 이들 보다 무거운 시료가 일부 경질화(Cracking)되거나 분해(Decomposition)되어 상기 비연료 성분이 중간 물질로 추가 생성됨으로써 기초 실험 결과치보다 상향 배출되었다.

7. 엔진 배출 가스 시료가 플라즈마 광촉매 복합 반응기를 지나면서 butene-1, 1,3-butadiene, 1pentene 등 olefins 성분군의 농도 저감이 75% 이상 탁월하게 나타났다.

8. MIR값이 비교적 큰 olefins 성분군의 탁월한 배출 농도 저감에 영향을 받아 SR(Specific reactivity)값이 기초 실험 2.66에서 1.87로 떨어져 약 30%의 광화학 스모그 반응성을 개선하였다.

### 참고문헌

- (1) 홍용철, 이택헌, 전광민, "스파크 점화기관에서 CNG연료가 시동초기 HC 배출량에 미치는 영향에 관한 연구". 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집 Vol.1, pp.128-133, 1999
- (2) 손건석, 고성혁, 김대중, 이귀영, "광촉매를 이용한 탄화수소 저감에 관한 연구", 1999년 한국 자동차 공학회 추계학술대회 논문집 99380154, pp 155 ~ 160, 1999.
- (3) Penetrante, Brusasco, Pitz, Vogtlin, Kung, Wan, and Voss "Plasma-Assisted Catalytic Reduction of NOx", SAE Paper 982508, October 1998
- (4) 최영석, 서동범, 이원남, 송영훈, "저온 플라즈마 반응기의 톨루엔 프로판 및 에틸렌 제거 특성 및 반응 메커니즘", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp145 ~ 150, 1999.
- (5) Hoard, J.W., Balmer, M.L., "Analysis of Plasma-Catalysis for Diesel NOx Remediation" SAE Paper 982429, October 1998
- (6) 오정무, 이경원, "'98 에너지 기술개발 동향 -광화학 에너지 변환 및 활용 기술", 한국 과학 기술 평가원 (KISTEP), 1999.
- (7) T. H. Lee, J. W. Song, K. M. Chun, B. H. Chun, Y. G. Shin, "Experimental Study on the Oxidation of Model Gases -Propylene, n-Butane, Acetylene at Ambient Temperature by non-Thermal Plasma and Photo-catalyst", SAE Paper 2001-01 -3514, 2001.
- (8) K. C. Chen, W. C. Cheng, J. M. Van Doren, J. P. Murphy III, M. D. Hurgus, S. A. McSweeney, " Time Resolved, Speciated Emission from an SI Engine During Starting and Warm-Up", SAE Paper, 961955, 1996.
- (9) E. W. Kaiser, W. O. Siegle, D. F. Cotton, and R. W. Anderson, "Effect of Fuel Structure on Emission from a Spark Ignition Engine Determined by High Resolution Chromatography", J. of High Resolution Chromatography 17, 264, 1994
- (10) E. W. Kaiser, W. O. Siegle, L. M. Baidas, "Time-Resolved Measurement of Speciated Hydrocarbon Emissions During Cold Start of a Spark-Ignited Engine" SAE Paper 940963, 1994
- (11) Shuichi Kubo, Masami Yamamoto, "Speciated Hydrocarbon Emission of Spark Ignition during Cold Start and Warm-up" SAE Paper 932706, 1993
- (12) E. W. Kaiser, A. A. Adamczyk, G. A. Lavoie, "The Effect of Oil Layers on the Hydrocarbon Emissions Generated during Cold Vessel Combustion", 18th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp.1881 - 1890, 1981