

# 플라즈마를 이용한 청정연소 기술개발

송영훈, 김관태, 차민석, 이대훈, 이재옥 | 한국기계연구원

## 1. 서 론

기계연구원 “대기압 플라즈마 응용연구팀”에서는 5 ~ 6년 전부터 플라즈마와 화염간의 상호작용 (plasma-flame interaction) 현상에 대해 연구를 수행하여 왔으며, 최근에는 이와 같은 기초연구결과를 바탕으로 “매연 여과장치용 플라즈마 연소기” 및 “디젤 연료개질 장치”와 같은 실용적인 연구 결과물을 얻게 되었다. 특히 “매연 여과장치용 플라즈마 연소기”는 '08년도 상반기에 상용화를 목표로 기술개발이 빠르게 추진되고 있는 기술로, 본 기술은 수도권 대기질을 개선해야하는 환경당국은 물론 자동차 부품기술의 국제적인 경쟁력을 제고해야하는 자동차 관련 업계에서도 높은 관심을 갖고 있는 기술이다. 한편, 이와 같이 플라즈마를 이용한 연소기술은 관련자들에게 많은 주목을 받고 있으나, 본 기술은 최근에 들어서야 본격적인 연구가 시작된 기술이어서 관련 분야의 전문가들조차 다소 낯선 기술로 여기는 상황에 있다. 이에 따라 본 논문에서는 본 기술의 기술개발 배경, 적용사례 및 향후 전망에 대해 개괄적인 소개를 하여, 본 기술에 대한 이해를 넓히고자 하였다.

플라즈마 기술과 연소기술은 기술개발의 배경 및 역사가 서로 다른 분야의 기술이다. 플라즈마란 전기적으로 중성인 기체분자에 강한 전기, 열 또는 빛 에너지가 가해져 기체분자가 전기적인 극성을 갖는 전자 및 이온으로 변환 상태를 말하는데, 플라즈마가 산업기술에 활용되기 시작한 시기는 지금부터 약 150년 전이라고 알려져 있다<sup>[1]</sup>. 즉, 오늘날 환경산업에서 이용되고 있는 전기 집진기 및 오존 발생기는 19세기 후반에 개발되었는데, 당시는 “플라즈마”라는 용어조차도 나타나지 않았던 시기였다(플라즈마라는 용어는 1920년대 중반 미국의 Langmur가 최초로 사용함). 이후 플라즈마 기술은 핵융합 발전, 반도체 공정, 광학, 용접 및 코팅 분야의 핵심기술로 발전해왔으며, 최근에는 나노재료, 바이오, 환경, 에너지 등의 분야에 걸쳐 플라즈마를 이용한 새로운 응용연구가 활발히 모색되고 있다. 한편, 연소기술은 약 50만년 전부터 인류가 난방, 취사 및 광원으로써 활용해온 기술이며, 산업화 시대 이후부터는 수송기계의 엔진, 발전소 보일러, 제철공정 등 전 산업의 기반이 되는 기술로 발전해온 기술이라고 할 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 플라즈마 기술과 연소기술은 각기 다른 기술개발 과정을 거쳐 발전해온 분야이며, 이에 따라 오늘날 대학에서 플라즈마를 주로 다루고 있는 학과는 전기공학과 및 물리학과인 반면 연소기술을 다루는 학과는 기계공학과로 구분되어 있다. 이와 같이 플라즈마와 연소기술은 기술개발의 배경이 서로 다름에도 불구하고 물리적인 현상 측면에서는 공통적인 부분이 많은 기술이라고 볼 수 있다. 즉, 플라즈마를 통해 발생된 전자,

이온, 라디칼 등은 화학적으로 불안정하기 때문에 화학반응을 빠르게 하는 입자들인데, 이들은 모두 연료와 산화제가 만나 일으키는 연소반응을 빠르게 하도록 돕는 특징을 갖고 있다. 또한 연소반응은 고온의 열을 일으키기 때문에 고온의 반응공간에서는 기체분자가 이온화될 수 있으며, 넓게 해석하기에 따라서는 이를 플라즈마 상태라고 부를 수도 있다. 따라서 플라즈마 기술과 연소기술은 각각의 기술이 갖는 기술적 배경은 다르나 “반응이 있는 유동 (reacting flow)”이라는 측면에서 살펴보면 두 가지 기술이 융합되어 새로운 기술을 찾을 수 있는 연계고리가 있는 기술이라고 할 수 있다.

한편, 오랜 기술개발의 역사를 갖고 있는 연소기술은 최근 과거와는 다른 새로운 기술이 개발되어야 함을 사회로부터 요구받고 있다. 이와 같은 새로운 기술개발의 필요성이 제기된 배경으로는 1) 화석연료의 고갈, 2) 지구온난화 문제, 3) 대기오염 문제를 들 수 있으며, 이들 문제는 인류문명이 지속되기 위한 전제조건이라고 할 만큼 매우 중요한 문제로서 부각되고 있다. 특히, 이들 문제는 단순히 연소 분야의 기술향상만으로는 극복이 어려울 정도로 기술적 난이도가 높기 때문에 인류가 그동안 발전시켜온 모든 지식과 지혜를 동원해야 해결될 수 있다는 점에 많은 관련 전문가가 동의하고 있는 상황이 있다. 이에 따라 연소기술에 대해 이종의 학문이 접목되어 새로운 기술개발을 시도하는 것은 현재의 시대적 상황에 비추어 볼 때 매우 당연한 일이라고 할 수 있다.

한국기계연구원 “대기압 플라즈마 응용연구팀”에서는 지속가능하고 친환경적인 연소기술을 개발하기 위해 지금까지는 서로 다른 기술분야로 분류되어왔던 플라즈마 기술을 연소기술에 접목시키는 새로운 시도를 하고 있다. 이와 같은 시도는 비단 기계연구원에서만 수행되는 것은 아니며, Los Alamos Nat'l lab, Argonne Nat'l Lab과 같은 미국의 국립연구소 및 대학의 실험실들, 일본의 통상성 산하의 연구소인 AIST, 독일의 Siemens 연구소 등에서도 플라즈마를 이용한 청정연소에 관한 연구개발이 최근 시작되었을 정도로 관련 연구자들에게 높은 관심을 받고 있는 기술로 대두되었다. 본 논문에서는 이상과 같은 기술개발의 배경을 갖고 있는 “플라즈마-연소 기술”에 대해 실제 개발 사례를 중심으로 살펴보았다.

## 2. 연료개질 (Fuel Reforming) 및 이를 이용한 청정연소기술

화석연료는 탄소원자(C)와 수소원자(H)로 구성된 탄화수소(Hydrocarbons)인데, 화석연료에 충분한 산소가 공급되면 연소반응이 되는 반면, 산소가 부족하게 공급되면 수소( $H_2$ )와 CO로 구성된 합성가스(Synthetic Gas, Syngas)가 얻어지는 개질반응이 일어나게 된다. 여기서 추가의 반응에 의해 Syngas는 수소농도가 99% 이상인 수소가스로 전환될 수 있다. 일반적으로 수소는 탄화수소에 비해 연소속도가 10배 빠르기 때문에 탄화수소 연료에 수소를 첨가해 줄 경우 연소반응 속도를 빠르게 증가시켜주는 효과가 있다. 이에 따라 연소조건이 연소반응을 일으키기에 불리한 조건이어서 화염이 불안정하거나 또는 공해물질의 배출이 심한 경우 수소를 연료에 첨가시켜 주면 안정되고 청정한 화염을 발생시킬 수 있다. 그림 1은 연료에 수소를 첨가하여 불안정한 화염이 안정화된 예를 보여주고 있다.

앞서 소개된 연료개질 및 수소를 활용한 청정연소기술은 관련 분야의 연구자들에게는 잘 알려진 기술이라고 할 수 있다. 특히 화학공정 분야에서는 암모니아 또는 액상의 합성연료 제조공정에 화석연료로부터 Syngas를 얻는 기술이 활용되고 있기 때문에 개질공정에 대한 기술개발은 특별한 경우가 아니면 의미가 크지 않다고 할 수 있다. 이와 같이 기술이 잘 정립된 연료개질 기술에 대해 기계연구원에서 새삼스럽게 플라즈마를 이용한 연료개질에 관

한 기술개발을 하게 된 이유는 현재 상용화된 개질기는 천연가스를 대용량으로 개질하는 공정임에 반해 중소형의 연소기에 장착되어 고체, 액체 및 기체상의 다양한 연료를 이용하여 연료를 개질할 수 있는 소형 개질기 기술은 아직까지 실용화되지 않았기 때문이다. 즉, 현재까지 상용화된 개질기 기술은 대규모 화학공정에는 적합하나, 이들 기술은 중소형 연소기에 장착되어 연소기와 연계운전이 되기에는 몇 가지 문제점을 갖고 있다.

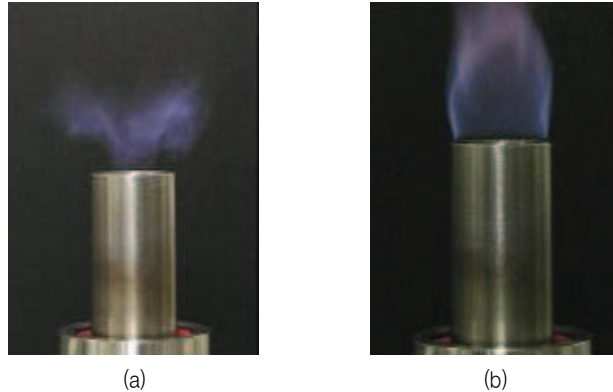


그림 1. Flame stabilization test, (a) methane flame, (b) methane + hydrogen flame

플라즈마를 통해 발생하는 수 천 K의 높은 열 (heat), 전자, 이온 및 라디칼 등은 모두 탄화수소의 개질반응 속도를 증가시켜주는 역할을 하고 있다<sup>[2]</sup>. 이에 따라 플라즈마 반응기에서 개질반응을 일으키면 1) 반응기를 소형화할 수 있고, 2) Start-up time이 짧으며, 3) 촉매 개질반응기의 경우에 발생하는 황 또는 탄소에 의한 오염문제가 해결된다는 장점이 있다. 물론 플라즈마 반응기는 에너지원으로서 가장 값비싼 전기 에너지를 쓰기 때문에 이를 대형화할 때 운전비용의 문제가 발생하지만 그림 2와 같이 플라즈마 반응기와 촉매 반응기를 함께 사용할 경우 운전비용을 상당히 절약할 수 있다. 그림 3은 메탄을 개질할 경우 개질기에서 계측된 반응기 내부온도로 작동 후 수 초 이내에 개질반응이 시작되는 온도 이상으로 반응기 온도가 상승되는 것을 보여주고 있다. 부하변동이 심한 연소기에 적용하는 개질기는 이와 같은 빠른 start-up 시간이 매우 중요한 성능 중의 하나가 된다.

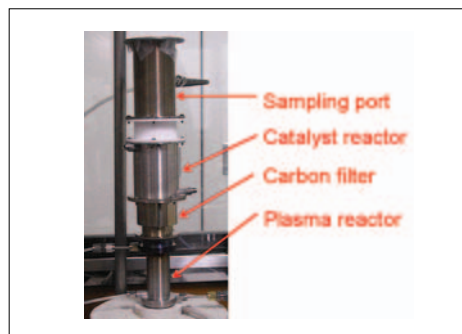


그림 2. Plasma + Catalyst reactor

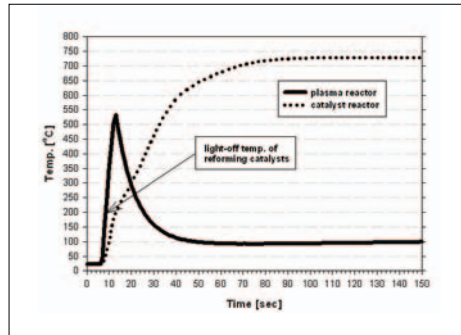


그림 3. Temperature variations of reactor along with time

본 기술개발에서 사용되는 플라즈마는 그림 4에서 보는 바와 같이 대기압 조건에서 발생하는 회전 아크이다. 기계연구원 연구팀에서는 최종적으로 회전 아크를 개질기에 적용하기까지 다양한 종류의 대기압 플라즈마 발생 기술을 이용하여 개질반응에 적합한 플라즈마 발생기술을 찾는데 많은 노력을 기울였는데, 이는 플라즈마의 종류에 따라 연료가 개질되는 성능에서 많은 차이를 보였기 때문이다. 대기압 조건에서 발생하는 플라즈마의 종류는 공급되는 전력의 형태 및 반응기의 구조에 따라 DBD (Dielectric Barrier Discharge, 유전체 장벽 방전), 펄스 코로나, 펄스 스파크, 마이크로웨이브 토치 방전, 회전 아크로 구분될 수 있다. 여기서 DBD 및 펄스 코로나는 전자온도는 높지만 이온 및 기체온도는 비교적 낮은 저온 플라즈마로 구분하고 있으며<sup>[3, 4]</sup>, 마이크로웨이브 토치 및 회전 아크는 전자온도는 낮으나 이온 및 기체온도는 상대적으로 높은 특성을 갖는 플라즈마로 구분되고 있다(그림 5 참조).



그림 4. Rotating Arc

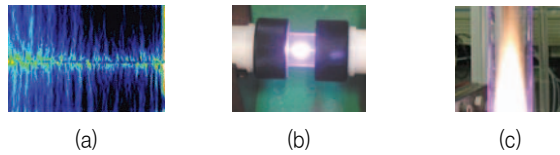


그림 5. Various types of atmospheric pressure plasma generation techniques  
(a) pulsed corona, (b) pulsed spark, (c) microwave torch

그림 6은 메탄(CH<sub>4</sub>)을 다양한 종류의 플라즈마 반응기에 공급하여 직접 분해한 실험결과를 제시한 자료이다. 본 실험에서는 산화제는 전혀 공급하지 않고 분해실험이 수행되었으며, 일부 실험에서는 탄소에 의한 반응기의 오염문제를 피하기 위해 질소(95%)에 메탄(5%)을 희석시켜 실험이 수행되었다. 그림에서 볼 수 있듯이 메탄의 분해율은 마이크로웨이브 토치의 경우가 가장 높게 나타났으며, 그 밖의 플라즈마 발생기술의 분해율은 상당히 낮았다. 본 실험결과에서 분해율 이상으로 주의를 기울여야하는 사항은 단위 유량당 투입된 에너지인 Specific Energy Density (SED, J/L)로 그림에서 볼 수 있듯이 마이크로 웨이브 토치 및 회전 아크는 매우 낮은 투입전력으로 메탄을 분해할 수 있음을 알 수 있다. 한편, 표1은 각 각의 플라즈마 발생기술을 통해 메탄을 분해했을 때 발생하는 by-products를 제시한 것으로 저온 플라즈마의 경우 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 및 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>과 같이 메탄이 수소로 분해되는 중간 단계에서 발생하는 화학물이 많이 발생되었다. 또한 본 실험에서는 메탄의 분해능이 뛰어난 플라즈마 발생기에서 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>가 많이 발생되었는데, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>는 메탄이 전자에 의해 직접 분해되거나 아니면 열에 의해 분해되는 과정 중에 발생하는 물질이라고 해석되고 있다<sup>[2]</sup>. 이상의 실험결과 마이크로웨이브 토치가 메탄 분해에 가장 뛰어난 플라즈마 발생기술임을 알 수 있었으나, 마이크로웨이브 토치 기술은 Scale-up이 어려운 기술로 판단되어 회전 아크를 선정하여 실용화 기술개발을 진행하였다.

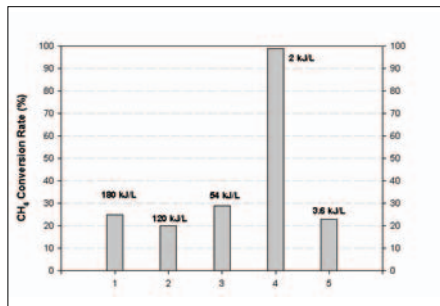


그림 6. CH<sub>4</sub> conversion rate and specific input power along with different types of plasma, (1) : DBD, inlet CH<sub>4</sub> conc. : 100%, (2) pulsed corona, inlet CH<sub>4</sub> conc. : 100%, (3) pulsed spark, inlet CH<sub>4</sub> conc. : 100%, (4) microwave torch, inlet CH<sub>4</sub> conc. : 5%, (5) rotary arc, inlet CH<sub>4</sub> conc. : 20%

표 1. Hydrocarbon selctivity along with the types of plasma sources

	DBD	pulsed corona	pulsed spark	Microwave torch	rotary arc
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0	1.6	35.4	25	43.5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	36	16.7	1.5	—	—
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.9	1.6	3.4	—	—
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	17.2	6.9	—	—	—

그림 7은 앞서 개발된 연료 개질기를 200,000 Kcal/hr급 보일러 연소기에 장착한 모습을 보여주고 있다. 본 pilot test에서는 배기가스 재순환기술을 활용하여 NOx를 줄여주고 있는데, 잘 알려져 있듯이 배기가스를 재순환 시켜 NOx를 감소시킬 경우 CO 및 미연탄화수소(Unburned Hydrocarbons)의 배출이 증가되는 문제를 갖고 있다. 본 pilot test에서는 연료 개질기에서 발생된 수소를 연료에 혼합시켜 CO 배출이 억제됨을 실증하였다. 그림 8은 연료에 수소를 첨가시키는 양이 증가됨에 따라 CO의 배출이 억제됨을 보여주고 있다. 본 그림에서 볼 수 있듯이 배기가스 재순환 기술을 통해 70-80%에 이르는 탈질율을 얻을 수 있으며, 이 때 문제점이 되고 있는 CO의 배출은 수소의 첨가에 의해 억제될 수 있음을 알 수 있었다. 본 pilot test 결과 현재 산업에서 일반적으로 탈질기술로서 채택되고 있는 암모니아 SCR 기술은 소형설비일 수록 비용이 높아지는 단점이 있는데, 본 기술은 중소형 연소기의 경우에 기존의 SCR 기술을 대체할 수 있을 정도의 높은 경제성을 갖고 있음을 알 수 있었다.



그림 7. 200,000kcal/hr combustor and reformer, ① ~ ③ : flow & temp. controller, ④ : reformer, ⑤ ~ ⑦ : water supplier, ⑧ : gas analyzer, ⑨ : power supply

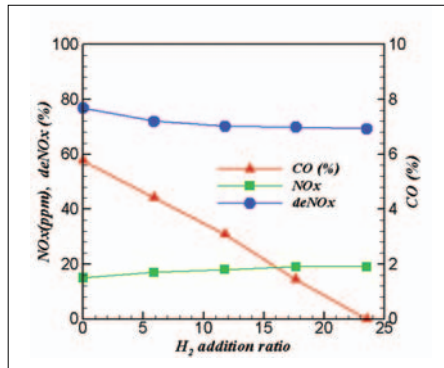


그림 8. De-NOx efficiency and CO emission along with H<sub>2</sub> addition

전 세계 모든 자동차 회사가 개발하고 있는 디젤 자동차의 탈질공정인 Lean NOx Trap (LNT) 기술은 현재는 디젤연료를 환원제로 사용하고 있으나, 1) 반응온도의 구역이 좁고, 2) 황에 의해 오염된 촉매를 재생시키는 온도가 높다는 단점을 갖고 있다. 한편, 디젤연료에 대신하여 수소를 환원제로 사용할 경우 이상의 문제점이 극복되기 때문에 디젤 자동차용 소형 디젤연료 개질기에 대한 관심이 점차 증대되고 있다. 기계연구원에서는 디젤 연료개질기를 개발하였으며, 현재는 이를 디젤엔진에 장착하여 성능을 평가하는 단계에 있다. 일부 초기 실험결과 당초 기

대한 바와 같이 높은 탈질성과 비교적 낮은 촉매의 재생온도를 얻을 수 있었으나, 엔진운전과 반응기의 연계운전 등 시스템에서 요구되는 기능을 갖추기 위해 보완작업이 현재 진행 중에 있다.

### 3. 디젤 매연여과장치를 위한 플라즈마 연소기 기술

플라즈마가 화학반응의 속도를 증가시키는 현상은 비단 연료를 개질하는 반응뿐만이 아니라 연소 반응에서도 나타나며, 특히 연소배기가스와 같이 산소농도가 낮고 배기관에서의 유속이 높아 연소반응이 유지되기가 어려운 조건일수록 플라즈마의 역할은 더욱 두드러지게 나타나게 된다. 본 절에서는 '07년도 상반기에 기계연구원으로부터 두 개의 기업에게 기술이 이전되어 현재 상용화 개발이 활발히 진행되고 있는 “디젤 매연여과장치용 플라즈마 연소기”에 대한 소개를 하였다.

매연여과장치는 1) 세라믹 필터에 디젤엔진으로부터 배출되는 매연을 포집하는 기능 및 2) 포집된 매연을 태우는 두 가지 기능을 갖고 있다. 매연을 포집하는 기능은 지난 십여 년간 큰 변화가 없었으나, 포집된 매연을 태우는 기능은 1) 연소기를 이용한 강제 재생방식, 2) 여과 필터에 코팅된 촉매를 이용하여 매연을 태우는 자연재생방식, 그리고 3) 최근에는 자연재생방식과 강제 재생방식이 복합된 방식으로 발전해왔다. 최근 자연재생방식에서 다시 강제재생방식이 보조적으로 필요로 하게 된 이유는 도심에서 차량의 정체구간이 증가되었고 엔진 효율이 향상됨에 따라 배기가스 온도가 저하되어 촉매가 작동되기에는 배기가스온도가 지나치게 낮아졌기 때문이다. 따라서 여과장치 전단에 배기가스온도를 올려주는 전기히터 또는 버너장치가 필요하게 되었다. 여기서 전기히터 및 연소기는 어떠한 엔진 운전조건에서도 배기가스의 온도를 올려주는 성능은 물론이고 장치의 소형화 및 저렴한 가격, 그리고 뛰어난 내구성 등 자동차 부품으로서 갖추어야 하는 조건을 충족시켜야하기 때문에 기술적인 난이도는 매우 높은 것으로 알려져 있다.

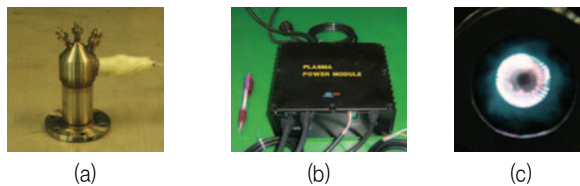


그림 9. Parts for Plasma Burner System, (a) burner, (b) power supply, (c) plasma-flame generated in diesel exhaust line

그림 9는 디젤 배기관 내에 장착된 플라즈마 연소기, 플라즈마 연소기의 작동, 그리고 전원장치를 보여주는 사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 장치는 소형화되어 있으며, 연소기는 디젤 배기관에 장착되어 모든 엔진 운전 조건에서도 화염이 꺼지지 않는 특징을 갖고 있다. 그림 10은 엔진 운전조건을 변화시켜가면서 플라즈마 연소기에 의해 배기가스의 온도가 얼마나 상승되는지를 보여주는 자료로, 그림에서 보듯이 200 - 400℃의 배기가스 온도를 600℃까지 올려주고 있음을 보여주고 있다<sup>[5]</sup>. 본 기술개발에서 사용된 전원장치는 자동차 완성체 업체인 H사가 2005년도에 40,000km 내구시험을 거쳤을 정도로 내구성이 검증된 바 있다. 3,000cc급 엔진실험을 통해 얻은 실험결과에 의하면 플라즈마 연소기에 공급되는 공기는 40lpm 조건에서 매연여과장치의 온도를 650℃까지 상승시킬 수 있었으며, 11Liter 엔진의 경우에도 플라즈마 연소기에 50 - 60lpm의 적은 공기량을 공급했음에도

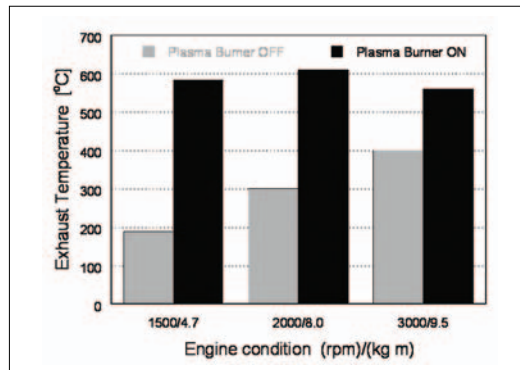


그림 10. Performance of plasma burner

불구하고 매연여과장치가 작동되는데 필요한 온도까지 승온이 가능하였다. 이상에서 살펴본 바와 같이 플라즈마 연소기가 갖는 기술적인 장점은 1) 연소기가 소형이고, 2) 연소에 필요한 공기량이 적어 공기 압축기의 용량을 최소화할 수 있으며, 3) 산소 농도가 부족하고 유속이 빠른 배기관에서 화염이 유지되며, 4) on - off 또는 부하변동의 응답속도가 빠르다는 점을 들 수 있다.

#### 4. 결 론

이상으로 현재 기계연구원에서 수행되고 있는 플라즈마 기술을 활용하여 청정한 연소기술을 개발하려는 연구 내용을 살펴보았다. 현재 기계연구원에서 진행되고 있는 관련 기술은 크기, 가격 및 내구성 측면에서 중대형 자동차 부품으로서 적합한 수준까지 개발되었으며, 본 기술은 향후 더욱 발전하여 최종적으로는 중소형 승용차에 적합한 수준까지 개발될 것으로 기대되고 있다. 물론 본 기술이 중소형 승용차까지 적용되기 위해서는 단순히 부품기술의 개선이 아니라 새로운 플라즈마 발생기술 또는 반응공정의 발견과 같이 보다 획기적인 연구결과가 출현되어야 할 것으로 전망되고 있다. 현재 기계연구원이 보유하고 있는 기술은 1) 매연여과 장치용 플라즈마 연소기와 2) 연소설비에 수소를 공급하는 기술은 실용화에 근접한 기술로서 평가되고 있으며, 자동차용 탈질장치 기술의 실용화 여부에 대한 평가는 1 ~ 2년의 기술개발 기간이 지난 후 가능할 것으로 보고 있다.

2절에서 잠시 소개되었듯이 기계연구원에서 연소기술과 관련하여 사용된 플라즈마 발생기술로는 현재 이십여건의 국내의 특허기술로 등록 및 출원되어 있는 회전아크 기술을 선정하였는데, 플라즈마 발생기술의 선정을 위해서는 본 논문에서 소개된 여러 발생기술의 성능비교 연구뿐만이 아니라 각 플라즈마 발생기술의 특성을 이해하기 위한 이론 및 기초실험 연구가 다년간 진행되었다<sup>6-10)</sup>. 이들 기초연구 결과는 대기압 조건에서 발생하는 플라즈마 기술이 매우 다양한 응용이 가능함을 보여주고 있다. 예를 들어 DBD 및 펄스코로나와 같은 저온 플라즈마는 1) 미량의 유해가스 즉, 악취 또는 휘발성 유기화합물의 처리, 2) 표면의 가공 및 세정 또는 표면에 새로운 기능을 부여하는 표면처리 기술에 활용될 수 있음을 보여주고 있다. 한편, 회전아크와 같이 고온의 플라즈마기술은 지구온난화 가스이자 난분해성 가스인 PFCs 및 CFCs를 처리하는데 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 대기압 플라즈마를 이용한 산업기술은 향후에도 지속적으로 발전해나갈 것으로 기대되고 있다.



## ❁ 참고 문헌

- [1] Y.H. Song, "Non-thermal Plasma for Air Pollution Control Technology", J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 17, No.1, Feb. 1-11, (2006)
- [2] D. H. Lee, K.-T. Kim, M. S. Cha, Y.-H. Song, Proc. Combust. Inst, 31 (2007) pp.3343-3351
- [3] Y.H. Kim, W.S. Kang, J.M. Park, S.H. Hong, Y.H. Song, S.J. Kim, IEEE Trans. Plasma Sci. 32, 18, (2004)
- [4] Y.H. Kim, S.H. Hong, M.S. Cha, Y.-H. Song, S.J. Kim, J. Adv. Oxid. Technol. 6, 17, (2003)
- [5] 차민석, 이대훈, 김관태, 이재옥, 송영훈, 김석준, "플라즈마를 이용한 매연여과장치 재생용 버너 개발", 한국 연소학회 춘계학술발표, (2007)
- [6] Y. Kim, K.T. Kim, M.S. Cha, Y.H. Song, S.J. Kim, IEEE Trans. on Plasma Science, 33, 1041 (2005)
- [7] Y. H. Song, M. S. Cha, Y. Kim, K. T. Kim, S. J. Kim, S. O. Han, and K. I. Choi, J. Adv. Oxid. Technol, 6, 11, (2003)
- [8] Y.H. Song, S.K. Kim, K.I. Choi, T. Yamamoto, J. Electrostatics, 55, 189, (2002)
- [9] W.S. Kang, Y.H. Kim, S.H. Hong, Y.H. Song, proc. HAKONE VIII, 109, Puhajarve, Estonia (2002)
- [10] Y.H. Song, M.S. Cha, J.O. Lee, K.T. Kim, Y.H. Kim, proc. 4th Int'l Symposium on Non-thermal Plasma Technology for Pollution Control and Sustainable Energy Development, 237, Panama City Florida USA (2004)



송 영 훈

- 한국기계연구원 환경기계연구본부 대기압플라즈마 응용연구팀 책임연구원
- 관심분야 : 플라즈마 발생, 환경오염방지
- E-mail : yhsong@kimm.re.kr



김 관 태

- 한국기계연구원 환경기계연구본부 대기압플라즈마 응용연구팀 책임연구원
- 관심분야 : 플라즈마 환경설비, 오염물질 계측
- E-mail : ktkim@kimm.re.kr



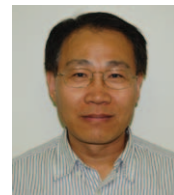
차 민 석

- 한국기계연구원 환경기계연구본부 대기압플라즈마 응용연구팀 팀장 선임연구원
- 관심분야 : 대기압 플라즈마 소스 및 플라즈마 연소 융합기술
- E-mail : mscha@kimm.re.kr



이 대 훈

- 한국기계연구원 환경기계연구본부 대기압플라즈마 응용연구팀 선임연구원
- 관심분야 : 플라즈마 가스처리, 초소형 플라즈마 발생기
- E-mail : dhlee@kimm.re.kr



이 재 옥

- 한국기계연구원 환경기계연구본부 대기압플라즈마 응용연구팀 선임기술원
- 관심분야 : 대기오염제어
- E-mail : jolee@kimm.re.kr