



디젤자동차 용 소형 브라운가스 발생장치의 개발을 위한 가스 생성 특성에 관한 연구

김주희 · †안형환*

한국교통대학교 안전공학과

(2016년 8월 31일 접수, 2016년 9월 29일 수정, 2016년 9월 30일 채택)

A Study on the Gas Generative Properties for the Developments of Small Brown Gas Generation Equipments Usable in Diesel Cars

Joohwi Kim · †Hyunghwan An*

101 Smart Power Co., Start-up Incubating Center, Korea National University of
Transportation, Chungju Chungbuk, Korea

* Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju
Chungbuk, Korea

(Received August 31, 2016; Revised September 29, 2016; Accepted September 30, 2016)

요약

디젤자동차용 소형브라운가스 생성 장치의 개발을 위하여 전극 셀의 재료로서 SuS와 Ni 및 Ag기반 셀을 제조하고 셀의 면적과 전해질의 농도 및 전류의 세기를 변화시켜 브라운가스 생성특성을 실험적으로 분석하였다. 전기분해 반응기는 셀의 표면적 및 전극 - 극과 +극 배치를 다르게 하여 SMT30, SMT50, SMT50-1, SMT70, SMT90로 제조하였다. 이 때 각 반응기의 다른 브라운가스 생성특성은 셀의 접촉 면적이 클수록 생성특성이 증가하는 경향을 보였으며 전극배치의 경우는 같은 전극면적에서도 극의 배치 따라 차이가 있는 것을 보였다. 또한 전해질의 농도에 대한 영향은 NaOH를 1~3%로 변화시켰을 때 농도가 적을수록 생성특성이 증가하였고, 전류의 세기의 다른 생성특성은 SMT30, SMT50, SMT50-1, SMT70, SMT90에서 각각 0.74 ℓ/10min, 1.0 ℓ/10min, 1.10, ℓ/10min, 0.97 ℓ/10min, 1.13 ℓ/10min가 얻어졌다.

Abstract - This study is experimentally investigated brown gas generative properties with the changes of cell areas, a electrolyte concentration and ampere current for the developments of small brown gas generation equipments usable in diesel cars. Electrolysis reactors have been manufactured as SMT30, SMT50, SMT50-1, SMT70, SMT90, respectively on various surface areas and different positions anode and cathode. Thus, the brown gas generative properties on reactors tended to increase as surface area increase, and show differences in different electrode positions. However, the effect on electrolyte concentration had increased with a decreasing electrolyte concentration of NaOH 3~1%, and the brown gas generative properties on ampere of SMT30, SMT50, SMT50-1, SMT70, SMT90 have shown to be 0.74 ℓ/10min, 1.0 ℓ/10min, 1.10, ℓ/10min, 0.97 ℓ/10min, 1.13 ℓ/10min.

Key words : Electrolysis, brown gas, eco-friendly car

†Corresponding author:hhahn@ut.ac.kr

Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

최근 친환경 자동차에 대한 연구 및 판매가 급격하게 변화되고 있다. 2015년을 기준으로 세계 자동차 생산대수는 9,690만대로 추정되고 있으며 2020년에는 12,332만대로 전망하고 있어 기존의 자동차시장 일대 개혁수준의 변화가 예측된다. My-Micellaneous에 의하면 2015년 기준 세계 자동차 생산대수 9,690만대 중 4%만이 친환경자동차가 차지하고 있다고 보고하고 있으며 2020년까지 친환경자동차 성장률이 연평균 20%이상의 고속 성장할 것으로 내다보았다[1]. 다만, 이러한 고속성장은 친환경자동차의 높은 기술수준이 바탕이 된다는 전제 조건이 따를 것이다.

현재 친환경자동차는 크게 HEV(PHEV), BEV, CDV, FCEV 등으로 대별할 수 있는데 이중 전기자동차는 이산화탄소 배출이 없는 자동차로서 각광을 받고 있지만 아직까지 배터리기술, 관련소재기술 및 가격 등으로 인하여 경쟁력 측면에서 하이브리드자동차(HEV)에 비해 다소 밀리고 있는 형편이다. 또한 프러그인하이브리드자동차(PHEV)는 기존의 내연기관에 전기충전 장치를 가미해 동시에 사용할 수 있는 시스템으로 편리한 장점이 있으며 연비효과 좋다. 그러나 전기자동차와 같이 이산화탄소를 획기적으로 줄이지 못하는 단점이 있다[2]. 또한 이러한 형태는 주로 가솔린을 연료기반으로 하고 있어 디젤기반의 자동차에 대한 이산화탄소를 획기적으로 줄이고 디젤엔진 특유의 소음과 진동을 현격하게 개선시킬 수 있는 클린디젤자동차의 연구가 시급한 실정이다. 특히 우리나라의 경우는 디젤자동차에 대하여 인식은 좋지 않으나 연비문제로 사용대수가 증가하고 있어 대기 환경오염 저감에 대한 연구 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

클린디젤 자동차에 대한 연구로 J.H.Zhou 등은 Japanese 13-mode testing cycle를 이용해 디젤엔진에 직접 수소를 첨가하는 방식으로 전체 연료량 대비 20~30%의 수소를 첨가해서 acetaldehyde(CH_3CHO), alkenes(C_2H_4 , C_3H_6 and C_4H_6), arenes(C_6H_6 , C_7H_8 and C_8H_{10})과 부유물질을 획기적으로 줄일 수 있었고 카본농도와 formaldehyde의 양을 각각 27%와 8%가 감소되었다고 보고하였다[3]. 또한 Tuan Anh Hguyen과 Masato Mikami는 디젤엔진내 흡기구에 수소를 10vol.%첨가하여 노이즈 특성을 살펴본 연구 통해 노이즈가 줄고 그에 대한 노이즈생성 모델에 대하여 보고하였다[4]. Stanislaw Szwaja와 Karol Grab-Rogalinski는 디젤엔진을 이용하여 HCCI(homogeneous charge compression ignition)상태에서 순수수소 연소와 수소와 디젤 혼합연소 실험을 통한 비교 분석하여

수소를 소량(vol.5%)을 첨가하여도 Ignition Lag가 짧아지고 압력증가 속도가 늦어진다고 보고하였다[5]. 이밖에 많은 연구자들이 디젤자동차에 연소시스템 및 혼합연소를 통하여 이산화탄소배출을 최소화하면서, 소음이나 각종 오염물질을 줄이기 위하여 수소를 활용하고 있다[6-10]. 그러나 대부분 연구자들이 수소를 직접 흡기와 함께 인가하는 방식을 선택하고 있어 별도의 수소저장탱크를 부착하여야하기 때문에 안전상 폭발 문제가 대두될 가능성이 높다.

따라서 본 연구는 자동차내의 위험성이 큰 수소탱크를 설치하지 않고 직접자동차 내에 간편하게 소형으로 설치하여 직접생산 공급할 수 있는 브라운가스 생성 장치를 개발하고자 하였다.

II. 실험방법 및 장치

2.1 실험재료 및 장치

본 연구는 물의 전기분해를 이용한 브라운가스 생산을 위한 실험재료로서 특급 시약용 NaOH를 사용하였으며 증류수는 초 증류수를 이용하였다. 그리고 Cell재료로서는 SuS, Ni, Ag등의 합금형태를 제련소에 주문 생산한 0.9mm (thickness)판재의 재질을 사용하였으며 실험 장치로는 전류공급을 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Digital Flow Meter(Evergreen Top Co.)와 DC Converter(Hanil Electro Co.)를 활용하였다.

브라운가스 생산 실험은 Photo. 2에서 보는 바와

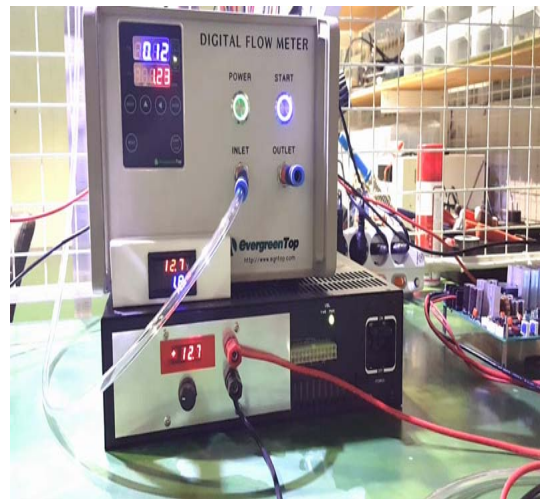


Photo. 1. Digital flowmeter and DC converter for electrolysis.



Photo. 2. DC type cell for brown gas generation.

같이 아크릴 재질(두께 20 mm, 높이 25 cm, 폭 12cm)의 박스 안에 Ni복합 합금을 이용하여 전극을 직접 제작 후 전극의 개수와 전류인가 위치를 달리하고 NaOH의 수용액을 넣어 반응기를 구성하였다.

2.2 브라운가스분석 장치 방법

브라운가스 생산의 성능을 분석하기 위하여 사용한 장치는 앞에서 언급한바와 같이 Digital Flow Meter를 이용하여 생성되는 유량을 측정하였다. 이때의 유량은 10분 단위로 측정할 수 있도록 측정 장치를 조절하였다.

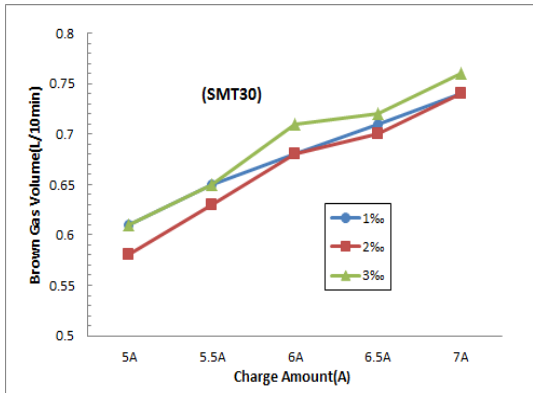
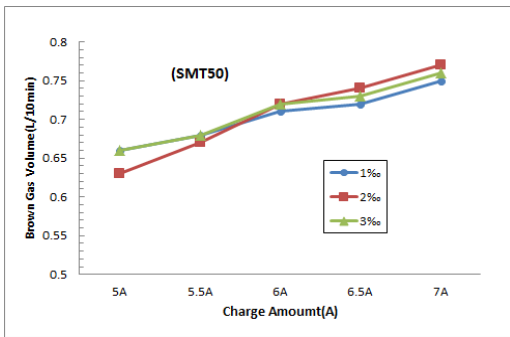


Fig. 1. Brown gas generation properties on various charge amounts by cell type(SMT30) and NaOH concentration(1~3 %).

은 전류의 증가에 따라 생산 증가속도가 거의 일정하게 0.037 l/A로 커지는 것으로 나타났다. 그러나 1%의 경우 5.5A이전의 경우 3%과 같은 0.61 l/10min의 생산속도를 보였으나 이후부터는 다소 줄어들어 7A에서는 2%로 생산속도가 같았으며, 생산속도는 0.032 l/A로 다소 완화된 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 1%의 경우 반응기 내의 온도의 변화가 2, 3%에 비해 약 3~4 °C 높고 일부의 거품생성에 따른 전기분해를 위한 cell표면 접촉 방해의 영향일 것으로 판단된다.

Fig. 2는 전류의 세기 및 전해질 농도를 Fig. 1과 동일한 조건에서 Cell의 형태만 SMT50으로 변경하였을 때의 브라운가스 생성특성에 관한 그림으로서 브라운가스 생성속도는 전해질 농도에 따라 거의 유사한 것으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 그러나 SMT30과 비교할 때 전반적으로 생산량이 증가하는 현상을 보였으며, 1%를 기준으로 0.58 l/10min에서 0.63 l/10min으로 다소 증가하는 경향을 보였다. 따라서 SMT30보다는 SMT50이 생성효과가 큰 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 Cell형태를 SMT50-1변경하고 브라운가스 생성속도 및 생성량에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 반응기 내의 cell의 구조를 변경하여 실험을 실시한 결과의 그림으로써 SMT30과 SMT50의 경우 NaOH 1%과 5A에서 0.61 l/10min과 0.66 l/10min을 보였으나 SMT50-1의 경우는 0.79 l/10min를 보여 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 전해질의 농도에 대한 영향은 농도가 적은 것이 오히려 생성량이 큰 것으로 나타났고 전류세기의 증가에 따른 생성속도는 거의 유사한 결과를 보였다.

III. 연구결과 및 고찰

3.1 Charge amount에 따른 브라운가스 생성 특성

Fig. 1은 Cell Type SM30(반응기 내부의 cell 수 3개, 표면적 0.208 m²/개, 내부부피 1079.5 ml, 용액 부피 892.3ml)의 전기분해 반응기에 전류공급기를 이용하여 5~7 A까지 다양하게 변화시키고 전해질의 NaOH 농도를 1~3% 바꾸어 브라운가스의 생성 특성을 알아본 실험으로서 전류의 세기에 비례하여 전해질 농도에 관계없이 브라운가스 생성량이 증가하는 현상을 보이고 있으며 특히 전해질농도가 2, 3%

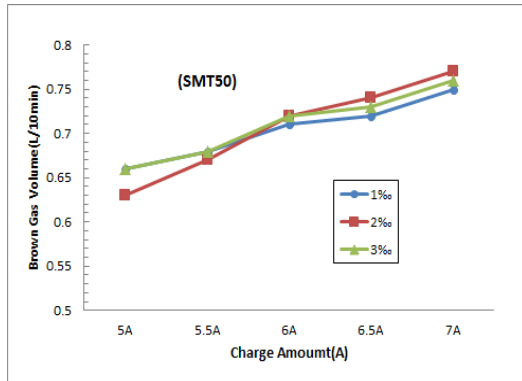


Fig. 2. Brown gas generation properties on various charge amounts by cell type(SMT50) and NaOH concentration(1~3 %).

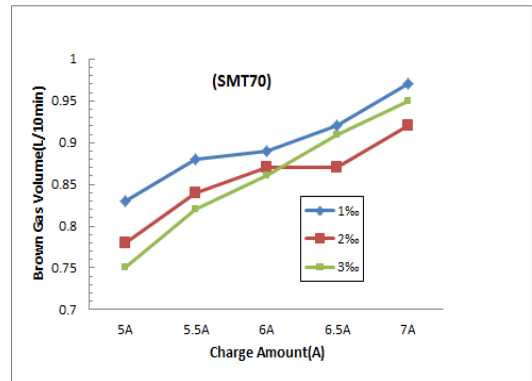


Fig. 4. Brown gas generation properties on various charge amounts by cell type(SMT70) and NaOH concentration(1~3 %).

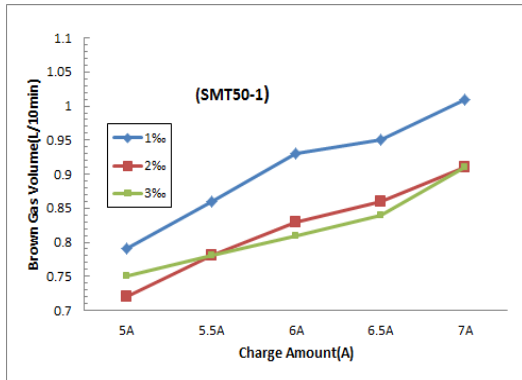


Fig. 3. Brown gas generation properties on various charge amounts by cell type(SMT50-1) and NaOH concentration(1~3 %).

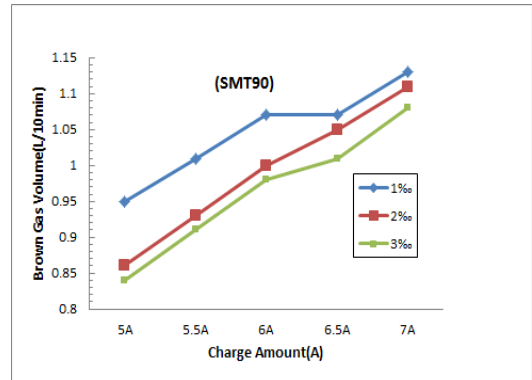


Fig. 5. Brown gas generation properties on various charge amounts by cell type(SMT90) and NaOH concentration(1~3 %).

Fig. 4, 5는 반응기내의 셀의 숫자를 바꾸어 만든 SMT70와 SMT90형태를 전류와 전해질 농도를 동일한 조건에서 실험하여 브라운가스 생성특성을 살펴본 결과 Cell의 숫자 즉 표면적의 크기에 따라 달라지는 결과를 얻을 수 있었으며 셀 표면적이 적을 경우 즉, SMT30에서부터 SMT50까지는 전해질 농도가 3%일 경우에서 생성량이 전반적으로 크게 나타났으나 SMT50이후에서는 전해질 농도가 낮은 1%에서 생성량이 큰 결과를 보였다. 따라서 cell 표면적이 클 경우는 낮은 전해질 농도에서 전기분해 반응이 잘 일어나는 조건이 형성되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 cell의 표면적이 큰 경우 전해질에 의해 전기전달 조건만 형성되면 그이상의 이온이 존재

하는 것은 오히려 방해요인으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

3.1 반응기 type에 따른 브라운가스 생성 특성

Fig. 6, 7, 8은 SMT30에서 SMT90을 기준으로 전극의 접촉면적과 전해질 농도를 1~3%로 변화시켜 전류와 cell 형태에 대한 종합적인 브라운가스 생성 특성을 알아보기 위한 그림으로서 전류세기에 대한 영향은 전해질의 농도와 관계없이 1~3% 모두 전류세기가 크면 클수록 생성량이 큰 것을 알 수 있었으며 7A에서의 최고의 생성속도는 SMT90을 기준으로 전해질 농도에 따라 각각 1.13 l/10min, 1.11 l/10min, 1.08 l/10min을 보였다. 특히 전해질 농도

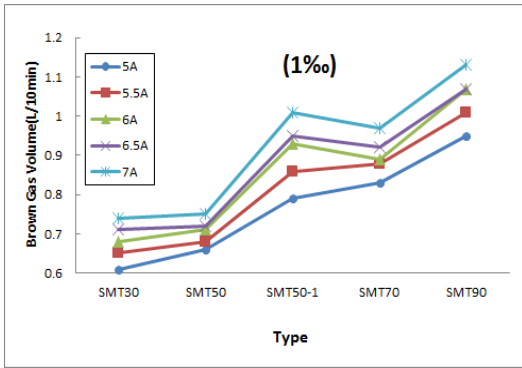


Fig. 6. Brown gas generation properties on various cell type(SMT30) and a charge amounts in NaOH concentration(1 %).

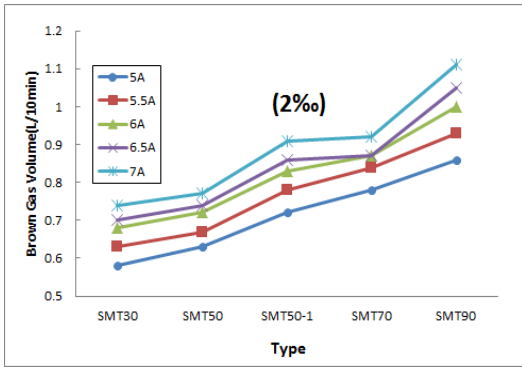


Fig. 7. Brown gas generation properties on various cell type(SMT30) and charge amounts in NaOH concentration(2 %).

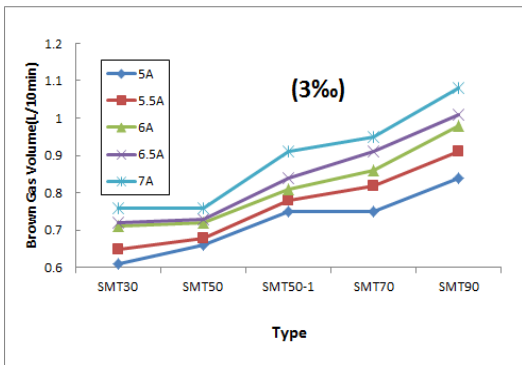


Fig. 8. Brown gas generation properties on various cell type(SMT30) and charge amount in NaOH concentration(3 %).

가 1 %에서 SMT50과 SMT50-1를 비교해보면 그림에서 보는 바와 같이 전류의 변화에 관계없이 브라운가스의 생성량이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 그러나 그림 7의 경우는 전해질 농도를 2 %로 실험한 결과로 낮은 전류에서는 반응기의 전극의 면적의 증가에 따라 유사하게 가스 생성속도가 증가하는 경향을 보이고 있으나 SMT50-1과 SMT90에서 높은 생성속도를 보이고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 이러한 현상은 Fig. 8에서도 같은 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 현상은 전극의 연결에 따라 일부 전자의 충돌로 인한 방해 전극 접촉의 방해요인으로 분극이 발생하는 것으로 판단되며 전극에서의 전자의 접촉면적인 중요 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

IV. 결론

디젤자동차용 소형 브라운가스 생성장치를 개발하기 위하여 표면적과 전극의 연결위치를 달리하여 제조한 전기분해 반응기에 대한 브라운가스 생성특성을 살펴본 결과 다음과 같았다.

1. 전기분해 반응기의 대한 표면적의 증가는 전해질의 농도와 관계없이 증가하는 현상을 보이는 것으로 나타났고 전극의 연결은 위치에 따라 다소 생성속도에 차이가 있는 것을 알 수 있었다.
2. 전해질을 NaOH로 1~3%로 증가시켜가며 전해질의 농도에 대한 영향을 살펴본 결과 대체적으로 큰 변동은 없었으나 낮은 농도(1%)에서 생성특성이 증가하는 것으로 나타났다.

3. 또한 전류의 세기에 따른 특성의 변화를 알아보기 위한 실험에서는 전류의 세기를 5A에서 7A로 증가했을 때 브라운가스 생성 특성이 우수한 것을 알 수 있었다.

따라서 전류세기에 따른 생성특성은 반응기의 종류 SMT30, SMT50, SMT50-1, SMT70, SMT90에서 전해질 농도 1일 때 각각 0.74 ℓ/10min, 1.0 ℓ/10min, 1.10, ℓ/10min, 0.97 ℓ/10min, 1.13 ℓ/10min를 얻었다.

REFERENCES

- [1] My-micellaneous, "The trend of eco-friendly car market", (2015) : <http://my-miscellaneous.com>
- [2] Shin, Wang Lai Yoon, Choi, "Chemical recycling of plastic waste and pyrolysis technologies for

- oil production", *Polymer Science and Technology* **13**, No. 3, 322-331, June, (2002).
- [3] Zhou, J. H., Cheung, C. S., Zhao, W. Z., Leung, C. W., "Diselehydrogen dual-fuel combustion and its impact on unregulated gaseous emissions and particulate emissions under different engine loads and engine speeds", *Energy* **94**, 110-123, (2016).
- [4] Tuan Anh Nguyen, Masato Mikami, "Effect of hydrogen addition to intake air on combustion noise from a diesel engine", *International Journal of Hydrogen Energy* **38**, Issue 10, 4153-4162.1 April, (2013).
- [5] Stanislaw Szwaja, Karol Grab-Rogalinski, "Hydrogen combustion in a compression ignition diesel engine", *International Journal of Hydrogen Energy* **34**, 4413-4421, (2009).
- [6] Osama H. Ghazal, "Performance and combustion characteristic of CI engine fueled with hydrogen enriched diesel", *International Journal of Hydrogen Energy* **38**, 15469e15476, (2013).
- [7] Guo, H., Stuart Neill, W., "The effect of hydrogen addition on combustion and emission characteristics of an n-heptane fuelled HCCI engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, **38**, Issue 26, 11429 - 11437, 30 August, (2013).
- [8] Wu, H. Wen., Wu, Z. Y., "Investigation on combustion characteristics and emissions of diesel/hydrogen mixtures by using energy-share method in a diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, **42**, 154-162, (2012).
- [9] Timothy Gatts, Shiyu Liu, Chetmun Liew, Bradley Ralston, Clay Bell, Hailin Li, "An experimental investigation of incomplete combustion of gaseous fuels of a heavy-duty diesel engine supplemented with hydrogen and natural gas", *International Journal of Hydrogen Energy*, **37**, 7848-7859, (2012).
- [10] Kim, Y. R., Jang, H. J Lee, J. H., Kim, C. K "Effects of CNG heating value on combustion characteristics of a diesel-CNG dual-fuel engine", *KIGAS* Vol. 19, No. 6, 28-33, (2015).