

평면예혼합화염중의 N₂O 농도변화에 관한 실험연구

안 숙 현†

(원고접수일 : 2009년 2월 26일, 원고수정일 : 2009년 3월 3일, 심사완료일 : 2009년 3월 11일)

An Experimental Study of N₂O Concentration Profiles in Planner Premixed Flame

Sukheon An†

Abstract : The Marine Environment Protection Committee (MEPC) which is the IMO's specialized committee on marine pollution related matters deals with GHG related issues to discuss and compile possible approaches on technical, operational and market based measures to address GHG emissions from ships. The nitrous oxide (N₂O) which remains generally in the atmosphere for around 114 years is one of the green house gases. The global warming potential of N₂O is 310 times than CO₂ in the given period 100 years. It seems that the N₂O formation is influenced by the nitrogen compound contained in the fuel which is named as "Fuel N" during the combustion process or the NO_x, SO_x and H₂O through the emission gases before exhausted into the atmosphere. This paper has carried out an experimental study of the N₂O concentration profiles by the change of NH₃ flows in the planner premixed combustion with using C₃H₈ and air.

Key words : Fuel N(연료중의 질소성분), GHG(온실가스), IMO(국제해사기구), N₂O(아산화질소), Planner Premixed Flame(평면예혼합화염)

1. 서 론

전 세계적으로 기후변화에 대한 관심이 고조됨에 따라 국제해사기구(IMO)에서는 해양환경보호위원회(MEPC)를 중심으로 해운분야의 온실가스 저감대책의 일환으로 새로운 국제협약의 제정이나 현행 해양오염방지협약(MARPOL)에 부속서를 추가하는 방안 등이 논의되고 있다^[1]. 이와 관련 해당 업무를 관장하고 있는 국토해양부(해사기술과)는 작년부턴 학계 및 관련 단체의 전문가들로 구성

된 국제해운분야 기후변화 대응팀을 발족시켜 국가 차원의 대응방안을 강구하기 위해 노력하고 있다.

석탄 및 석유 등 화석연료의 연소과정에서 생성되는 각종 배기가스 성분들이 지구온난화의 주요 원인이 되고 있다는 사실은 이미 잘 알려져 있으며, 각 기체의 기여도는 이산화탄소(CO₂) 50%, 프레온(CFCs) 20%, 메탄(CH₄) 16%, 및 아산화질소(N₂O) 6% 등으로 나타나고 있다^{[2][3][4]}. 한편, 불소가스계열의 CFC-11 및 CFC-12는 몬트리올 협약을 기점으로 서서히 감소하고 있는 반면

† 교신저자(국토해양부 해사안전정책관실 해사기술과, E-mail:shan6804@hanmail.net Tel: 02) 2110-8590)

CO₂, CH₄ 및 N₂O는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이와 관련 IMO의 기후변화 대응방안이 CO₂를 중심으로 논의가 이루어지고 있으나 N₂O에 대하여도 다방면의 연구 및 조사가 더욱 활발히 이루어져야 할 것이다.

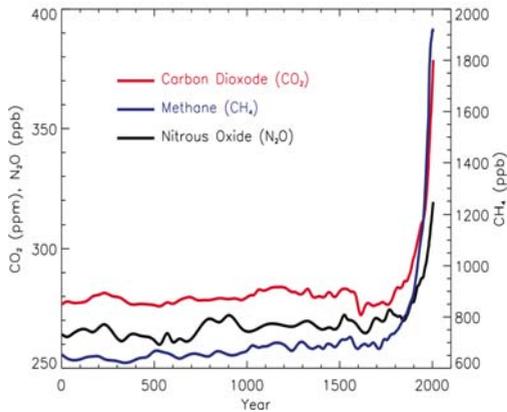


Fig. 1 Concentration of greenhouse gases

Fig. 1과 Fig. 2는 2007년 프랑스 파리에서 개최된 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) 제10차 작업반(WG: Working Group) 회의에서 승인 및 채택된 보고서에서 발췌한 자료로서 각각 지난 2000년간 지구전체의 주요 온실가스의 발생량과 최근 N₂O의 발생원 및 제거원을 보여주고 있다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 18세기 산업혁명 이후, CO₂, CH₄ 및 N₂O 등의 주요 온실가스가 급격히 증가하였으며, 이 가운데 대기 중의 N₂O 농도는 평균 약 318 ppb로서 CO₂ 농도의 1/1000 정도로 비교적 소량이나 평균 수명이 114년이고 체류기간 100년 기준 CO₂의 지구온난화지수(GWP : Global Warming Potential)를 1이라 할 때 N₂O가 310이라는 점을 감안하면 온실가스 일종으로서 N₂O에 대한 중요성이 점차 확대될 것이다. 또한, N₂O는 크게 자연적 및 인위적 발생원으로 나누어 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 양자의 발생량은 거의 비슷한 수준으로 해양방출, 토양중의 미생물 활동, 대기 중의 암모니아 산화반응 등과 질소비료, 농경, 목축, 바이오매스

연소 및 화석연료 연소 등이 주요 원인으로 보고되고 있다.^{[5][6]}.

본 논문은 연료중의 질소성분이 연소과정에 있어서 N₂O의 생성 및 분해에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실시한 실험결과를 보고하고자 한다.

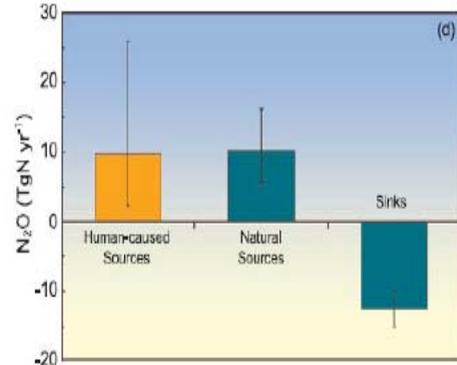


Fig. 2 Breakdown of contributions to the change in atmospheric N₂O concentration

2. 실험 장치 및 방법

일반적으로 예혼합연소는 연소전파속도 및 화염 전파속도가 빠르고 온도가 높으며, 연소가스의 확산에 의해 주위에 존재하는 공기와의 혼합을 통하여 연소가 전파되는 확산연소에 비해 안정된 화염 구조를 형성할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실험적 관찰이 용이하고 안정성 있는 데이터를 구할 수 있는 평면예혼합화염 구조의 기초적인 실험연구를 실시하였다.

Fig. 3은 평면예혼합화염을 형성하기 위한 실험용 버너의 단면도를 보여주고 있다. 직경 40mm의 버너 내에서 연료와 공기 혼합기의 순환을 방지하기 위해 직경 6mm 크기의 금속 볼(Steel Ball)을 뺄뺄하게 채워 넣고, 그 위에 일정한 연소속도 분포를 유지하도록 Wire Mesh를 설치하였으며, 직경 20 μ m 다공판(Porous Plate)을 통하여 안정된 화염구조를 얻을 수 있도록 하였다. 또한 버너 바깥쪽에 냉각수를 흐르게 하여 동일한 주위 온도 조건하에 실험이 이루어지도록 하였다.

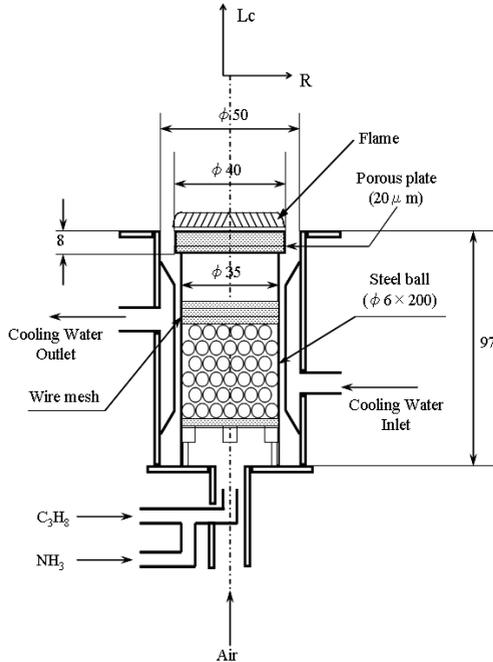


Fig. 3 Planer premixed combustion burner

평면에혼합화염 구조에 있어서 연료 중에 포함된 질소성분이 N₂O 생성에 미치는 영향을 파악하기 위해 "Fuel N"으로서 NH₃을 첨가하였다. 이는 시중에서 저렴한 가격으로 쉽게 구할 수 있고, 이온화 경향 및 다른 화학 물질들과의 반응성이 매우 우수하여 일반적인 화학 반응 실험에서 널리 사용되고 있다는 장점으로 인하여 금번 실험에 있어서 NH₃를 첨가제로 사용하였다.

프로판(C₃H₈) 과 공기의 유량은 각각 C₃H₈ 0.15 l/min, 공기 4.0 l/min으로 일정하게 하고, NH₃ 유량을 0.0, 0.01, 0.02 l/min로 변화시켜 3가지 서로 다른 조건하에서 N₂O와 온도 등을 측정하였다. 이때 NH₃ 유량과 압력을 일정하게 유지하기 위해 자동 유량제어 장치를 사용하였다. 또한 NH₃ 유량의 변화에 따라 N₂O, NO, NO₂ 및 NO_x 등의 질산화물(Nitrogen oxides)을 동시에 측정하여 비교· 분석할 수 있도록 하였다. 이러한 성분들의 측정은 각각의 가스상 물질들이 특정한 파장의 적외선을 흡수하여 그 흡수도가 농도에 비례하는 특성을 이용한 비분산적외선(NDIR : Non-dispersive Infrared) 분석법에

의한 계측기(HORIBA VIA-510)를 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

NH₃ 유량을 각각 0.0, 0.01, 0.02 l/min로 변화시켜 3가지 조건하의 화염중심축 방향(Lc)의 N₂O 및 온도분포를 Fig.4와 5에 보여주고 있다. NH₃ 유량이 증가함에 따라 N₂O 생성량이 높아지고, 화염온도는 큰 차이를 보이지 않았다. 화염의 길이 방향에 있어서 N₂O 생성량은 Lc=1~3mm에서 활발하나 화염의 후류로 갈수록 점차 감소하여 N₂O의 분해율이 높음을 알 수 있었다.

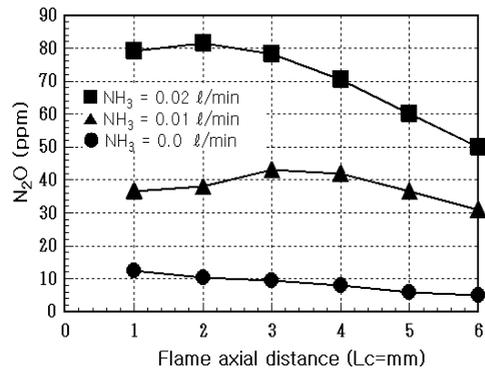


Fig. 4 N₂O concentration by the change of NH₃ flows in each flame axial distance (Radial distance R=0mm)

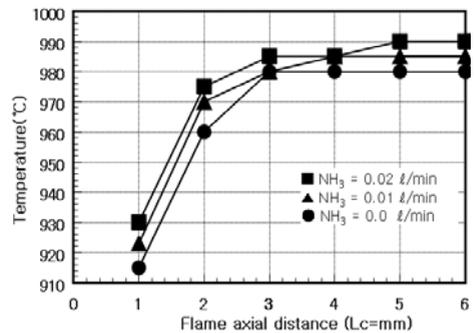


Fig. 5 Flame temperature by the change of NH₃ flows in each flame axial distance (Radial distance R=0mm)

Fig. 6은 N₂O 생성이 활발한 위치로서 화염의

길이방향 $L_c=1\text{mm}$, 반경 방향 $R=0\text{mm}$ 에서 측정된 N_2O , NO , NO_2 및 NO_x 농도를 보여주고 있다. NH_3 유량의 증가에 따라 NO_2 나 N_2O 에 비해 NO 농도가 현저하게 증가하고 있다. 연료중의 질소성분으로 "Fuel N"으로서 NH_3 를 첨가하여 N_2O 생성량을 검토한 결과로서 NH_3 에 의한 N_2O 생성만을 가정하면 다음과 같은 메카니즘을 생각할 수 있으며, 아래와 같은 3단계에 걸쳐 연소과정에서 생성되는 N_2O 는 그림에서 보는 바와 같이 NO 생성량의 약 1/8정도 이다.

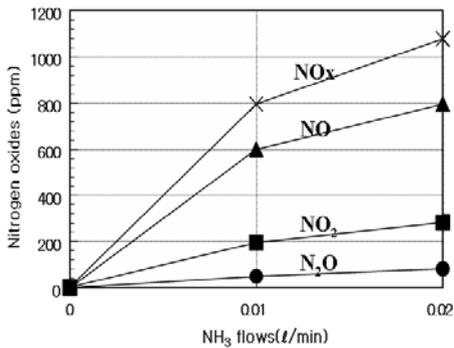


Fig. 6 Nitrogen oxides by the change of NH_3 flows in C_3H_8 0.15 l/min , Air 4.0 l/min ($L_c=1\text{mm}$, $R=0\text{mm}$)

Fig. 7~9는 C_3H_8 0.15 l/min , Air 4.0 l/min 으로 일정하게 유지하고 NH_3 를 0.0 , 0.01 , 0.02 l/min 로 변화시켰을 때 화염의 길이방향 $L_c=1, 2, 3 \text{ mm}$ 에 있어서 화염의 중심으로부터 반경 방향 각 위치에서 N_2O , 온도 및 OH 강도 분포를 보여주고 있다. 3개의 그림을 비교할 때 NH_3 유량의 증가에 따라 전체적으로 N_2O 생성량은 증가하고 화염의 중심 $R=0 \sim 10 \text{ mm}$ 부근에서 생성이 활발하나 화염 가장자리 쪽으로 갈수록 분해율이 높아짐을 알 수 있다. 온도와 OH 강도는 NH_3 유량에 따라 서로 유사한 경향을 보여주고 있으며, 특히 OH 강도는 화염 가장자리 바로 안에서 최고치를 나타내고 있다. 이는 고온 연소가스의 확산에 의해 주위 공기가 화염내로 급격히 유입되어 국

부적인 확산연소가 발생하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 N_2O 와 온도 분포를 비교할 때 양자 사이의 뚜렷한 상관관계 도출은 어려웠다.

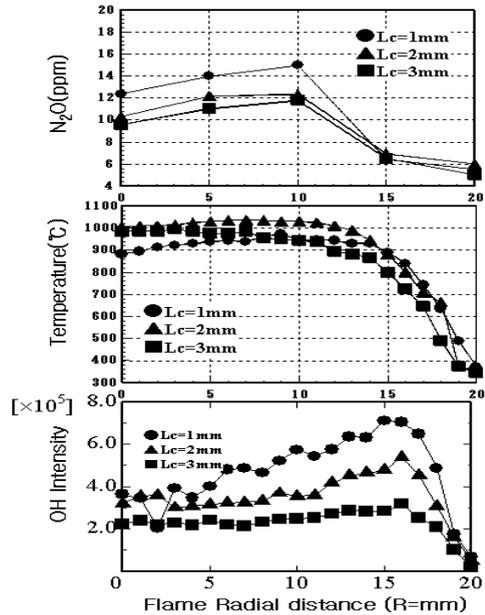


Fig. 7 N_2O , Temperature and OH intensity in each radial distance (NH_3 0.00 l/min)

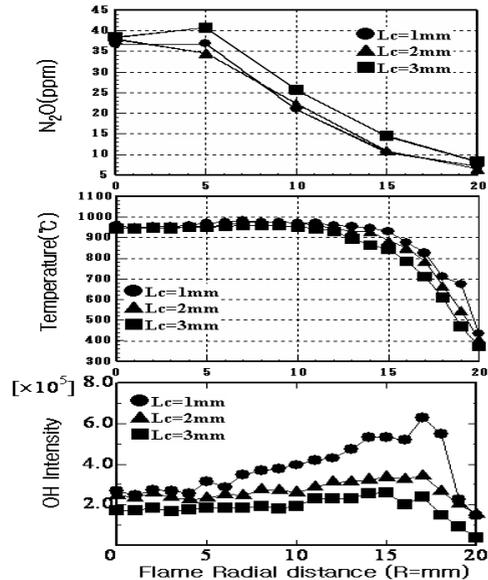


Fig. 8 N_2O , Temperature and OH intensity in each radial distance (NH_3 0.01 l/min)

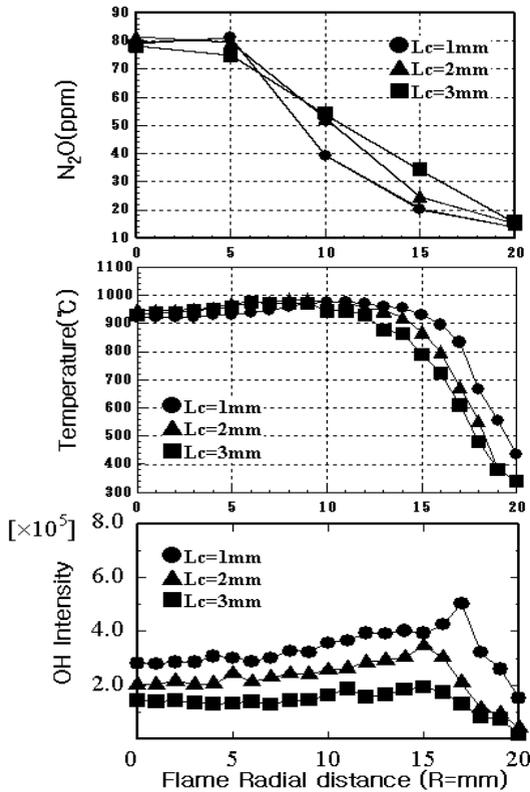


Fig. 9 N₂O, Temperature and OH intensity in each radial distance (NH₃ 0.02 l/min)

4. 결 론

연료 중 질소성분 즉 "Fuel N"으로서 NH₃ 유량의 증가에 따라 평면에혼합화염의 N₂O 생성 및 분해에 대한 실험 결과 연소초기 단계에 있어서 N₂O 생성이 활발하고 화염의 후류로 갈수록 점차 감소하여 N₂O의 분해율이 높아지고, NO₂나 N₂O에 비해 NO 생성량이 현저하게 증가하며 N₂O는 NO 생성량의 약 1/8 정도였다. 이는 NO에 비해 N₂O의 생성 및 분해 과정이 복잡하기 때문인 것으로 추측할 수 있다. 또한 N₂O는 화염의 중심부근에서 생성이 활발하고 가장자리 쪽으로 갈수록 분해율이 높으며 N₂O 생성과 연소 온도의 상관관계는 명확하지 않았다. 온도와 OH 강도는 NH₃ 유량에 따라 서로 유사한 경향을 보여주고 있으며, 특히 OH 강도는 화염 가장자리 바로 안쪽에서 최고치를 나

타냈다. 이는 고온 연소가스의 확산에 의해 주위 공기가 화염내로 급격히 유입되어 국부적인 확산연소가 발생하기 때문인 것으로 생각된다. N₂O는 매우 안정된 상태로 장기간 대기 중에 존재하고, 대류권에서는 분해되지 않고 성층권에서 광화학 반응에 의해 분해되어 오존층 파괴의 원인이 되고 있으므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 국제해사기구(IMO), "제58차 MEPC 의제", IMO 사무국, 2008.
- [2] Bowman C.T., "Control of combustion generation nitrogen oxide emission : Technology driven by regulation", Proceedings of the 24th Symposium on Combustion, pp.859-878, 1992.
- [3] Muzio L.J. etc., "An artifact in the measure of N₂O from combustion source", Gephys Res. Lett., Vol. 15, pp. 1369-1372, 1988.
- [4] 西田修身ら, "燃料中の硫黄分がN₂O生成に及ぼす影響", 日本エアロゾル學會第17回エアロゾル科學技術研究討論會, pp. 7-9, 2000.
- [5] 기상청, "IPCC 제10차 WG I 회의 보고서", 기상청 기후정책과 번역자료, 2008.
- [6] 玉置元則, "地球温暖化ガス: 亞酸化窒素の人為的排出(3)", 環境技術, 第23卷, 第11号, pp. 15-16, 1994.

저 자 소 개



안숙헌(安淑憲)

'92년 2월 한국해양대학교 기관학과 졸업, '98년 8월 동 대학교 대학원 기관공학과 석사학위 취득, '02년 9월 일본고베대학(舊 고베상선대학) 해양기계에너지공학 박사학위 취득, '02년 10월~'06년 11월 미국선급협회(ABS) 및 독일선급협회(GL) 일본현지법인 근무, '06년 11월~현재 국토해양부 해사안전정책국.