

균질기에 의해 혼합된 물-병커유의 배기가스 배출 특성에 관한 연구

최정식* · 한상구** · 최재혁***† · 박상균**** · 박노성***** · 김대헌*****

* 한국해양대학교 대학원, ** 해양환경관리공단, *** 한국해양대학교 기관시스템공학부,

**** 국립군산대학교 동력기계시스템공학과, ***** 이신기계, ***** 태영엔텍

A Study on Characteristics of Exhaust Gas Emissions of Water-Bunker Oil Mixed by Homogenizer

Jung-Sik Choi* · Sang-Goo Han** · Jae-Hyuk Choi***† · Sang-Kyun Park**** · Ro-Seong Park***** · Dae-Hun Kim*****

* Graduate School of Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

** Korea Marine Environment Management Corporation

*** Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

**** Department of Power System Equipment, Kunsan National University, Jeonbuk, 573-701, Korea

***** ESYNDMT, Busan, Korea

***** Tae-Young Entec, Busan, Korea

요 약 : 본 연구에서는 균질기에 의해 혼합된 물과 병커-A를 보일러로 연소하였을 때의 배기 배출물 특성에 대해 연구를 수행하였다. 그 결과로 균질기로 균질화 된 병커-A의 경우, 순수 병커-A에 비해 NOx 농도는 19%, CO 농도는 54% 감소를 나타냈다. 물-병커A의 경우 물 혼합 비율이 증가할수록 NOx 농도분포가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 20%물-80%병커-A의 경우 순수한 병커-A 보다 배기가스 내 NOx 농도가 45%까지 감소하였다. 그러나 20%물-80%병커-A의 경우, CO농도 분포는 불규칙한 변화를 나타냈다. 이것은 일정량 이상의 물 혼합은 보일러의 연소 성능 저하 원인이 될 수 있다는 것을 의미한다. 이 결과로부터 본 연구에서 보일러의 정상 연소를 위한병커A유 내 물의 한계 혼합율은 15% 인 것을 알 수 있었다. 연돌 부근에서 채취한 매연 부착량은 물의 혼합율이 증가할수록 감소하였다.

핵심용어 : 배기가스, 배출물, 질소산화물, 매연, 한계 혼합율

Abstract : In this study, we conducted a study on characteristics of exhaust gas emissions from boiler when water-bunker oil mixed by homogenizer was burned in boiler. The results showed that NOx concentration and CO concentration of the homogenized bunker oil was decreased by 19% and 54% compared to pure bunker oil pretreatment was not being performed. And, in the case of water-bunker A oil, the NOx concentration was decreased with increasing water mixing ratio in bunker A oil. In particular, the NOx concentration in exhaust gas of 20%water-80%bunker A oil decrease by 45% compared with pure bunker-A. However, the CO concentration in exhaust gas of 20%water-80%bunker A oil shows irregular changes. This means that the mixing of water more than a certain amount can cause a decrease in combustion performance. From this result, it can be found that critical mixing ratio of water in bunker A oil for normal combustion is 15% in this study. Deposition amount of soot that is collected in the vicinity of the chimney was decreased with increasing water mixing ratio.

Key Words : Exhaust gas, Emission, Nitrogen Oxide, Soot, Critical mixing rate

* First Author : sksik1021@hhu.ac.kr, 051-404-4258

† Corresponding Author : choi_jh@hhu.ac.kr, 051-410-4257

1. 서론

국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에 의하면 선박으로부터 배출되는 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x) 및 이산화탄소(CO₂)의 배출량이 전체 운송수단 배출량 대비 각각 14%, 5% 및 2% 정도를 차지하는 것으로 보고되었다(IMO, 2005). 특히, 최근에는 온실가스의 영향뿐만 아니라, 선박기인 배기배출물질에 포함된 입자상 물질(Particulate Matters, PM) 및 블랙 카본(Black Carbon, BC)의 영향에 대해서도 이슈가 되고 있다(Ramanathan and Carmichael, 2008; Bond et al., 2004).

이에, IMO에서는 선박배출 대기오염물질에 대한 심각성을 인지하고, 선박으로부터 배출되는 대기오염물질을 규제하기 위하여 황-함량(Sulphur Content)이 낮은 선박용 연료유 사용 및 IMO에서 규정하는 NO_x 배출 허용치를 만족하는 엔진 장치를 의무화하고 있는 실정이다.

대기오염물질들의 생성·배출은 선박의 주기관 및 보조기관, 보일러 등에서 사용되는 연료유에서 비롯된다. 따라서 선박배출 배기가스 내 오염물질들의 감소를 위해서는 연료유 사용량을 줄이는 것이 최선의 방법이다. 그러나 신속하게 많은 물량을 운송하기 위해서는 불가피하게 선박의 적정 속도 또는 그 이상을 유지해야 하며, 이에 따른 연료유의 사용은 증가하게 된다.

따라서 국내·외 산·학·연 기관에서는 이러한 선박 연료비의 절감 및 배기가스의 대기 배출량을 저감하기 위한 전/후처리 기술에 대하여 다양한 연구·개발이 이루어지고 있다(Corp., 2004; Juergen and Eng., 2006; Lim et al., 2005; Yoo et al., 2010; Pack et al., 2012).

다양한 형태의 저감기술이 연구·개발 되는 가운데 유화제를 사용하는 에멀전유 및 물-연료유 혼합유의 사용에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Pack et al.(2012)는 원통형 실험용 보일러에 버너를 부착하여 연료와 물의 유량을 조절하여 실험한 결과 연료소모율이 12%, 질소산화물이 45.5% 감소하는 결과를 제시하였다. Yoo et al.(2010)은 고온·고압의 정적연소에서 에멀전 C중유를 분사·연소시켜 착화지연기간의 경우 고압·고온에서는 함수율의 변화에 거의 영향을 받지 않는다는 결과를 나타냈다. 그러나 유화제 사용 없이 벵커유에 순수한 물만을 혼합한 혼합유에 대하여, 혼합유의 균질화 여부에 따른 배기가스 배출특성을 연구한 경우는 매우 제한적이다. 이와 더불어 에멀전유 및 물-연료유의 원활한 혼합과 균질화를 위해서는, 균질기와 같은 교반 장치들이 필요하게 된다. 역시, 선박 연료유 적용을 위한 균질기의 개발과 균질화된 연료유의 특성에 관한 연구는 제한적이다(Lee et al., 1999; Han et al., 2003; Han et al., 2007, Han et al., 2012).

Lee et al.(1999)와 Han et al.(2003)은 초음파를 이용한 연료유 입자의 균질화가 가능한 균질기 등의 연구를 수행하여 그 가능성을 제시하였으며, Corp.(2004)에서는 전단력을 연료유에 직접 가하는 방식의 균질기를 소개하여 선박에서 실제 사용되고 있다. 또한, 본 저자들에 의해서도 고전단력 균질기의 개발연구가 수행되었고, 그 결과가 소개된바 있다(Han et al., 2012). 특히, 본 저자들에 의해 수행된 연구에서는 본 저자들에 의해 개발된 균질기를 직접 이용하여, 순수한 벵커유에 대하여 균질기의 간극 변화에 따른 연료유 입도의 균질화 및 미립화 정도에 관한 내용과 균질화된 연료유를 보일러에서 연소시켰을 때의 배출 특성에 대해 살펴보았다. 이 결과로 균질화와 미립화가 잘 이루어진 연료일수록 슬러지 배출량이 감소하고 이로 인해 연소할 때 공기와의 혼합 특성이 향상되어, CO의 배출이 감소한다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 이전 연구에서 다루지 못한, 순수한 벵커-A와 균질기에 의해 균질화된 물과 벵커-A의 혼합유에 대한 배기가스 배출 특성에 관한 연구를 수행하였다. 특히, 본 실험에서는 유화제 없이 순수한 물과 벵커-A의 혼합을 통한 혼합유의 특성을 알아보는 것이 주목적이다. 따라서 먼저, 순수 벵커-A와의 비교를 위해 균질기로 미립화한 벵커-A의 배기가스 특성을 살펴보았고, 다음으로 벵커-A에 유화제 없이 순수 물만을 5%, 10%, 15%, 20% 혼합하여 혼합유를 균질기로 균질화한 후 보일러를 이용하여 연소시켜 배출되는 배기가스 내 NO_x 및 CO 등의 농도를 측정하여 특성을 살펴보았다. 또한, 보일러 연돌 배출구에서의 매연 부착량에 대해서도 간단히 알아보았다.

2. 실험 장치

Fig. 1은 균질기와 청정기에 의해 전 처리된 연료유의 배기가스 성분을 파악하기 위한 실험장치의 개략도 및 실제 구축사진을 나타낸다.

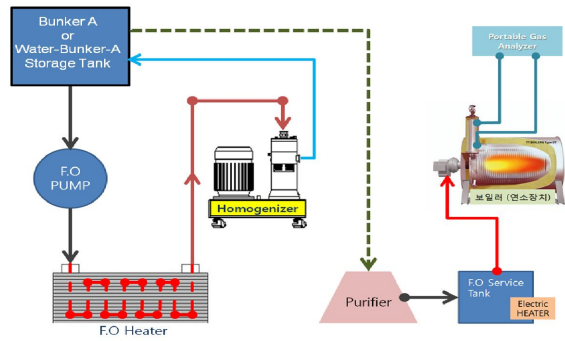
실험 장치는 순수 벵커-A(연료유) 또는 물-벵커-A 혼합유를 저장하는 저장 탱크(Storage tank)에서 연료 펌프(F.O. pump)를 이용해 연료유 가열기(F.O Heater)에서 가열하고, 가열된 연료유는 미립화 및 균질화에 가장 효과적인 상태로 설정된 균질기에 공급되며, 전처리된 연료유는 저장 탱크로 이송, 순환되도록 구성하였다.

Fig. 2는 본 연구에 의해 개발된 선박용 연료유 균질기의 시제품을 나타낸 것이다. 최대 회전수 5,500 rpm, 처리용량 2,000 Liter/h로, 회전자와 고정자의 간극은 0.1 mm 로 되어 있다. 회전자와 고정자는 다단으로 배열되어, 연료유의 균질화 및 미립화 성능을 높일 수 있다.

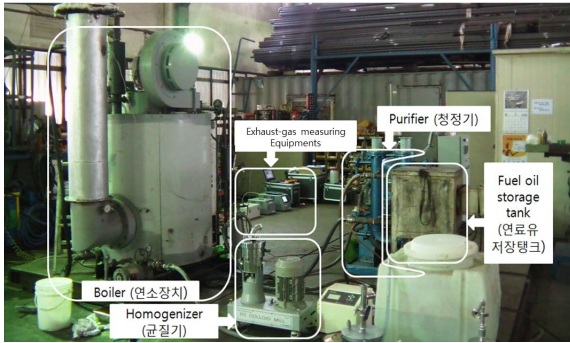
3. 실험 결과

3.1 물을 혼합하지 않은 병커유에 대한 배기가스 측정 결과

Fig. 3 ~ Fig. 5는 전처리 하지 않은 순수한 병커-A와 균질기 및 청정기로 전처리 한 병커-A를 대상으로 보일러를 사용하여 수행한 실험 결과를 나타낸 것이다. 아무런 전처리를 하지 않은 상태의 병커-A를 B_{oil} 로, 청정기만을 이용해 슬러지를 제거한 상태의 병커-A를 B_{puri} 로, 그리고 균질기만을 이용해 전처리한 상태의 병커-A를 B_{hom} 으로 나타내었다. 각각에 대해 동일한 보일러 운전조건 상태를 설정해 연소실험을 진행하면서, 이때 발생한 배기가스를 보일러 연돌 중간 부분에 설치된 프로브(Probe)를 통해 분석 장비로 유입시켜 배기가스 내 성분별(NO_x , CO , CO_2 , O_2) 농도를 앞서 설명한 국제 공인 휴대용 배기가스 측정 장비로 측정하였다.



(a) Diagram of exhaust gas measurement experiments



(b) Photo of bunker-A combustion test bed

Fig. 1. Schematic of experiment setup for exhaust gas measurement and soot deposition.



Fig. 2 Photo of homogenizer.

또한, 본 실험에서는 보일러에서 배출되는 배기가스를 실시간으로 측정하기 위해서 PG-250A(HORIBA, Japan)로 구성된 측정시스템을 사용하였다. PG-250A는 동시에 5가지 가스 분석이 가능하다. 주요 특징으로는 배기가스 내 NO_x 의 측정 범위는 2,500 ppm 이하, CO 의 경우는 5,000 ppm 까지 측정이 가능하다. 그러나 SO_2 및 SO_x 의 경우, 별도장비를 추가로 구성해야 측정이 가능하므로 본 연구에서는 SO_2 및 SO_x 측정은 제외하였다.

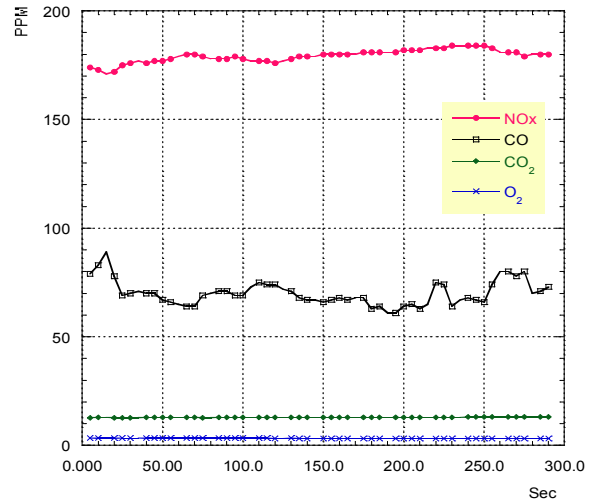


Fig. 3. Concentrations of exhaust gases from B_{oil} sample.

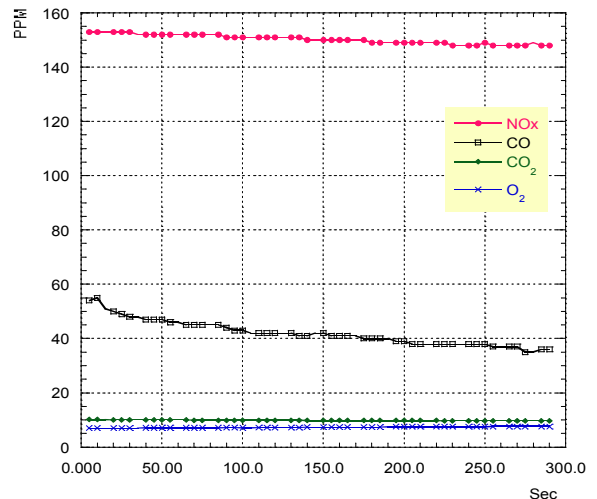


Fig. 4. Concentrations of exhaust gases from B_{puri} sample.

Fig. 3은 전처리를 하지 않은 경우의 벙커-A(B_{oil})에 대하여 측정한 배기가스 성분 농도 그래프를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 CO_2 와 O_2 농도는 일정한 비율을 유지하고 있으며, NO_x 농도는 조금씩 변동이 있으나 평균 179 ppm을 나타내고 있다. CO 농도는 평균 70 ppm이다. 여기서 나타낸 값들은 뒤에서 서술될 조건들과의 비교를 위한 값이 될 것이다.

Fig. 4는 균질기를 이용한 전처리 없이, 청정기만을 통과시켜 슬러지를 제거한 벙커-A(B_{puri})를 연소시킨 경우의 배기가스 성분별 농도 그래프를 나타낸다. 일반적으로 선박에서는 청정기만을 사용하고 있으므로, 균질기만을 사용한 경우와 비교하기 위해서 꼭 필요한 데이터이다. B_{puri} 의 측정한 CO_2 와 O_2 농도는 B_{oil} 과 거의 동일한 농도 값을 나타낸다. 그에 반해 NO_x 농도는 평균 148 ppm을 나타내고 있으며, CO 농도는 평균 40 ppm을 나타낸다. 즉, 청정기를 통과시킨 B_{puri} 경우가 B_{oil} 보다 NO_x 는 약 18%, CO 는 약 40% 정도 농도가 감소하였다. 이것은 청정기에 의한 효과로 유수 분리 및 슬러지 배출과 같은 과정을 거침으로써 연료유가 연소를 위한 좋은 조건의 연료유가 된다는 것을 단편적으로 나타내는 결과라 할 수 있다.

Fig. 5는 균질기만을 이용해 전처리한 벙커-A의 배기가스 성분별 농도를 나타낸 것이다. 작은 차이지만 B_{puri} 에 비해 NO_x 및 CO 농도가 낮게 관찰되고 있는데, 균질기에 비해 상대적으로 규모가 큰 청정기를 대신해, 균질기만으로 연료유 전처리가 가능할 수도 있을 것으로 판단되는 중요한 결과이다.

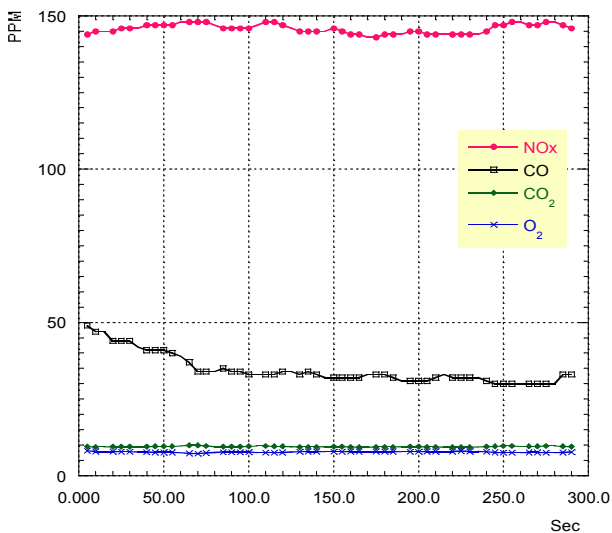


Fig. 5 Concentrations of exhaust gases from B_{hom} sample.

3.2 물을 혼합한 물-벙커유에 대한 배기 가스 측정 결과

벙커-A에 순수한 물을 5%, 10%, 15%, 20% 혼합한 혼합유를 균질기로 30분 정도 균질화한 후, 청정기를 거치지 않고 균질화된 혼합유를 그대로 보일러로 보내 연소시켜 배출되는 배기가스를 측정하였다. 그 결과들을 Fig. 6 ~ Fig. 9에 나타내었다. 결과에서 5% 혼합한 상태의 혼합유를 $Mix_{B_{eml-5\%}}$, 10% 혼합한 상태를 $Mix_{B_{eml-10\%}}$, 15% 혼합한 상태를 $Mix_{B_{eml-15\%}}$, 20% 혼합한 상태를 $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 로 나타내었다.

Fig. 6은 물을 5% 혼합한 $Mix_{B_{eml-5\%}}$ 를 보일러 내에서 연소시킨 경우의 배기가스 성분 농도 그래프를 나타낸다. Fig. 3 ~ Fig. 5의 결과와 마찬가지로 CO_2 와 O_2 농도는 일정한 값을 나타내고 있다. NO_x 의 농도는 약 158 ppm을 나타내고 있으며, CO 농도는 29 ppm을 나타낸다. B_{oil} 의 농도와 비교해 NO_x 는 12%, CO 는 59% 감소하였다. 여기서 흥미로운 점은 NO_x 와 CO 의 경우 B_{oil} 보다는 확실히 감소하였지만, B_{hom} 보다는 NO_x 는 12 ppm 정도 증가하고, CO 는 3 ppm 감소하였다는 것이다. 즉, 벙커-A에 물 5% 정도를 혼합하는 것은 균질기를 이용해 균질화 시키는 경우 연소에 미치는 영향은 거의 없으며, 5% 가량의 연료유 절감 효과가 있음을 나타낸다.

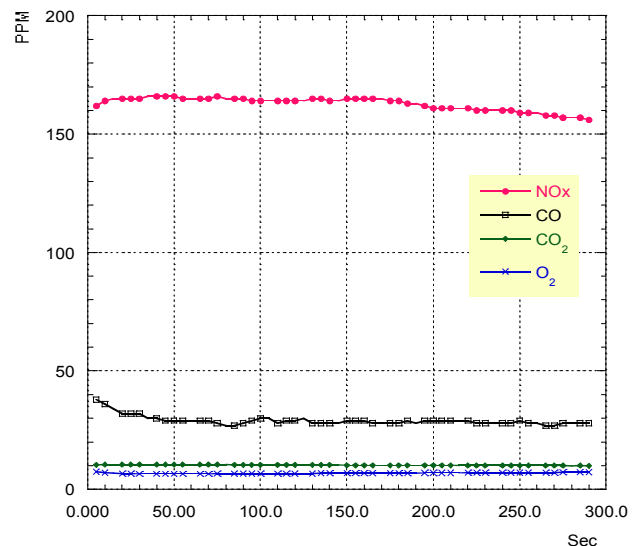


Fig. 6. Concentrations of exhaust gases from $Mix_{B_{eml-5\%}}$ sample.

Fig. 7은 물을 10% 혼합한 $Mix_{B_{eml-10\%}}$ 를 보일러 내에서 연소시킨 경우의 배기가스 성분 농도 그래프를 나타낸다. 그림에서 $Mix_{B_{eml-10\%}}$ 의 연소에 의해 배출된 NO_x 의 농도는 약 149 ppm을 나타내고 있으며, CO 농도는 37 ppm을 나타낸다. B_{oil} 보다는 NO_x 의 경우 17% 감소하였다.

이에 반해, B_{puri} 와 B_{hom} 의 농도와는 비슷한 값을 나타내는데, 이것은 본 연구에 있어 병커-A에 물을 10%까지 포함해도 보일러 내의 연소에 있어 크게 무리가 없다는 것을 의미한다.

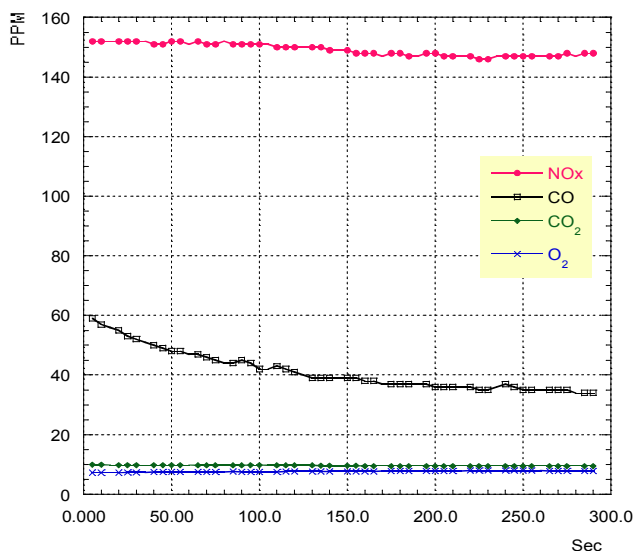


Fig. 7 Concentrations of exhaust gases from $Mix_{B_{eml-10\%}}$ sample.

Fig. 8은 물을 15% 혼합한 $Mix_{B_{eml-15\%}}$ 를 보일러 내에서 연소시킨 경우의 배기가스 내 성분별 농도 그래프를 나타낸다. 그림에서 $Mix_{B_{eml-15\%}}$ 의 연소에 의해 배출된 NO_x 의 농도는 약 147 ppm을 나타내고 있으며, CO농도는 28 ppm을 나타낸다.

$Mix_{B_{eml-10\%}}$ 와 비교해 농도의 감소는 뚜렷하지 않았으며, 역시 B_{puri} 와 B_{hom} 의 농도와 비슷한 값을 나타낸다.

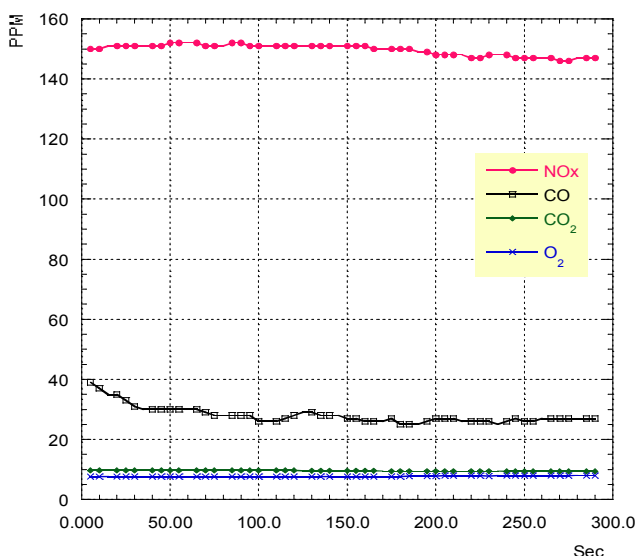


Fig. 8. Concentrations of exhaust gases from $Mix_{B_{eml-15\%}}$ sample.

Fig. 9는 물을 20% 혼합한 $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 를 보일러 내에서 연소시킨 경우의 농도 그래프를 나타낸다. 그림에서 $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 의 연소에 의해 배출된 NO_x 의 농도는 약 100 ppm을 나타내고 있다. 이 결과는 B_{oil} 보다는 44%, B_{hom} 보다는 32% 더 감소하였다. 이는 많은 양의 물이 혼합되어 전반적으로 연소온도가 낮아져 NO_x 의 농도가 감소되었다고 생각한다. 그러나 아쉽게도, CO농도는 아주 불규칙하게 나타나고 있다. 이러한 현상의 원인으로 여러 가지 가능성을 생각할 수 있었지만, 본 연구에서 동일한 시간을 균질화하기 위해 균질기를 이용해 30분만 전처리 하였는데, $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 의 경우에는 균질화 시간이 짧았다고 판단된다. 이 때문에 균질화 및 미립화가 제대로 이루어지지 않아 연료유내의 물 입자 덩어리가 다수 존재하여 보일러의 노즐을 통과하면서, 균질하게 혼합된 혼합유가 분무된 것이 아니라 물 입자 덩어리들이 별도 또는 섞여있는 상태의 혼합유가 분사되어 보일러 내에서 제대로 연소가 일어나지 않은 것으로 판단된다. 더불어, 많은 양의 수분으로 인한 잠열과 병커-A의 비율이 낮아져 열 발생량이 감소하였기 때문으로 생각된다. 보다 많은 연구가 필요하겠지만 Fig. 9의 결과만으로 판단한다면, 본 연구에서 사용된 보일러의 경우 순수 물만을 혼합할 경우 병커-A에 20%의 물 혼합이 제대로 연소가 이루어지기 위한 한계 함수율이라 생각된다. 다시 말해, 효율적인 연소가 일어나기 위한 적정 한계 혼합율은 순수 물 15%라고 할 수 있다.

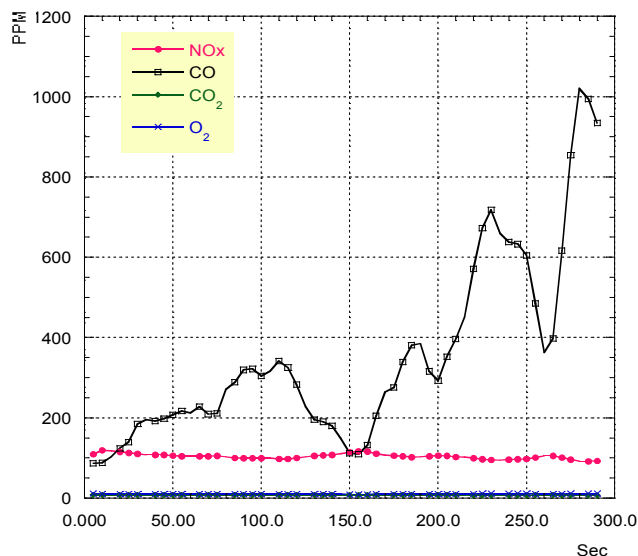


Fig. 9. Concentrations of exhaust gases from $Mix_{B_{eml-20\%}}$ sample.

3.3 매연 부착 특성

본 연구에서는 물-병커유 혼합유에 있어 매연의 부착 정도를 파악하기 위하여 연돌의 마지막 부근에 세라믹 재질의

매연 채취관을 부착하여 매연이 부착한 정도를 살펴보았다. 계측기를 사용한 정확한 매연의 생성을 나타내지는 못했지만 정성적인 매연의 생성 특성을 살펴보기에는 충분하다고 판단된다.

Fig. 10은 세라믹 재질의 채취관에 매연이 부착된 정도를 나타낸 사진들이다. 사진에서 알 수 있듯이 물의 혼합율 5%와 10%는 비슷하나, 15%가 되면서 눈에 띄게 매연 부착량이 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 대체적으로 물의 혼합량이 증가할수록 매연 부착량은 감소한다고 할 수 있겠다. 이는, 물을 혼합한 비율만큼 연료유의 연소량이 감소해 매연이 생성될 비율이 작아지고, 또한 일정 비율의 혼합을 가지는 연소가 잘 이루어져 매연 생성 자체가 적어지기 때문이라 생각된다.

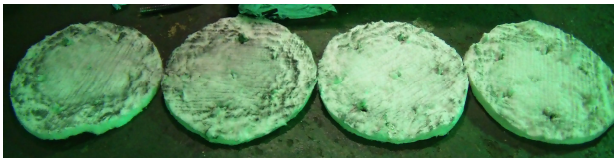


Fig. 10. Photo of soot deposition for mixing rate of water (from left 5%, 10%, 15%, 20%).

4. 결론

본 연구에서는 순수한 벙커-A를 기준으로 균질화 된 벙커-A와의 배기가스 배출 특성 및 물과 벙커-A를 일정 비율로 혼합한 혼합유에 대하여 균질기로 균질화한 후 보일러를 이용하여 연소시켜, 이들의 배출가스 배출량 특성에 대하여 살펴보았다.

또한, 보일러 연돌 배출구에서의 매연 부착량에 대해서도 살펴 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 균질기 및 청정기로 전처리 하지 않은 B_{oil} 과 청정기로 슬러지를 제거한 B_{puri} 및 균질기로 전처리한 B_{hom} 의 NO_x 와 CO 농도를 비교한 결과, B_{puri} 와 B_{hom} 의 농도가 훨씬 낮았다. 특히, B_{hom} 경우가 B_{oil} 보다 NO_x 농도가 19% 감소하였다. 이는 청정기 또는 균질기로 전처리한 벙커-A(연료유)가 보다 좋은 연소상태에서 안정적으로 배기가스가 생성/배출된다는 것을 의미한다. B_{puri} 와 B_{hom} 의 NO_x 와 CO 농도는 매우 적은 차이지만 B_{hom} 가 낮았다. 이것은 단편적이지만 균질기가 청정기를 대신할 수 있는 기자재로서의 가능성이 있다는 것을 의미한다.
2. 물과 벙커-A의 혼합유의 경우, 5%에서 15%까지 물 함량

이 증가할수록 NO_x 와 CO 농도분포가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이때, NO_x 의 경우 5% 혼합유인 $Mix_{B_{eml-5\%}}$ 에서 12%, $Mix_{B_{eml-10\%}}$ 와 $Mix_{B_{eml-15\%}}$ 의 경우 약 18%, $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 경우 45% 이상 NO_x 농도가 감소하였다. 그러나 $Mix_{B_{eml-20\%}}$ 의 경우, CO 농도가 급격히 증가/감소하는 현상이 관찰되었는데, 이것은 균질화 및 미립화가 제대로 이루어지지 않은 혼합유가 보일러의 노즐을 통과하면서 균질하게 혼합된 혼합유가 분무된 것이 아니라, 물 입자 덩어리들이 별도로 또는 섞인 혼합유가 분사되어, 보일러 내에서 제대로 연소가 일어나지 않은 것으로 판단된다. 더불어 많은 양의 수분으로 인한 잠열과 벙커-A의 비율이 낮아져 열발생량이 감소하여, 제대로 연소가 이루어지지 않았기 때문이라 생각된다. 이러한 결과들은 NO_x 및 CO 배출량을 줄일 수 있는 물-벙커 혼합유 및 유화제를 이용한 에멀전 연소방법을 도입 할 때, 연료별 최적의 수분 함량을 미리 확인해 적정 수준의 수분량을 유지하는 것이 매우 중요하다는 것을 의미한다.

3. 보일러 연돌 부근에서의 매연 부착량은 물을 혼합한 비율만큼 연료유의 연소량이 감소해, 매연이 생성될 비율이 적어짐으로 물 혼합율이 한계 혼합율 이내에서 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청 "산·학·연 협력 기업부설 연구소 지원 사업(신규설치과제)" 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Bond, T. C., D. G. Streets, K. F. Yarber, S. M. Nelson, J. H. Woo, and Z. Klimont(2004), A technology-based globalb inventory of black and organic carbon emissions from combustion, J. Geophys. Res., 109, D14203, pp. 1-43.
- [2] Corp., S. I. T.(2004), Document Reporting the Overall Efficiency of all CD92TM Eystem by Example of Power Station on the Island Maderia, pp. 1-4.
- [3] Han, W. H., J. G. Nam and D. C. Lee(2007), A Study on the Variation of Physical &Chemical Properties with Refining Treatment and Additive Mixture for Marine Fuel Oil, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 13, No. 1, pp. 39-45.
- [4] Han, W. H., M. S. Ha and J. Y. Lee(2003), A Study on

- the Refining Performance Improvement of Marine Sludge Fuel Oil, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 9, No. 1, pp. 93-98.
- [5] Han, S. G., J. S. Choi, R. S. Park, D. H. Kim, K. B. Ryu, K. W. Chun, S. H. Yoon, J. H. Choi(2012), A Study on the Development of Marine Fuel Oil Homogenizer for Fuel Costs Saving, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 6, pp. 584-590.
- [6] IMO(2005), Prevention of Air Pollution from Ships: Reducing Shipping Emissions of Air Pollution-Feasible and Cost-effective Options, MEPC 53/4/1, pp. 3-4.
- [7] Juergen, R. and B. Eng.(2006), The Role of the Homogenizer in Modern Shipping, Lloyd's Register Technical Association:Paper No. VII, Session 2005-2006, pp. 6-32.
- [8] Lee, J. Y., M. S. Ha and W. H. Han(1999), An Ultrasonic Breaking Ation on the Homogeneous Effect of Marine Oil Particles, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 5, No. 2, pp. 67-78.
- [9] Lim, J. K, S. G, Cho, S. K. Hwang, D. H. Yoo, and J. W. Seo(2005), Effects on the Characteristics of Exhaust Emissions by using Emulsion Fuel in Diesel Engine, Proceeding of the Korean society of Marine Engineering, pp. 10-11.
- [10] Pack, K. H., D. K. Kim, C. J. Kim and J. H. Ko(2012), Burner Combustion Characteristics of Hybrid Type Water Mixing Emulsion Fuel, Proceeding of the Korean society of Marine Engineering, p. 146.
- [11] Ramanathan, V. and G. Carmichael(2008), Global and Regional Climate Changes due to Black Carbon, www.nature.com/naturegeoscience.
- [12] Yoo, D. H., O. Nishida, H. Fujita and J. K. Lim(2010), Combustion Characteristics of Emulsified C-heavy Oil Constant Volume Combustion with High Temperature and Pressure, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 34, No. 2, pp. 243-249.

원고접수일 : 2013년 08월 19일

원고수정일 : 2013년 09월 06일

게재확정일 : 2013년 10월 25일