

실습선을 이용한 주 추진기관의 배기배출물의 실시간 계측

최정식* · 이상득** · 이경우*** · 천강우*** · 남연우*** · 윤석훈**** · 최재혁****†

* 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양대학교 선박운항학과, *** (사)한국선급, **** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Real Time Measurement of Exhaust Emissions from Main Engine using Training Ship

Jung-Sik Choi* · Sang-Deuk Lee** · Kyoung-Woo Lee*** · Kang-Woo Chun*** · Youn-Woo Nam***
· Seok-Hun Yoon**** · Jae-Hyuk Choi****†

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

** Department of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

*** Korean Register of Shipping, Busan, 618-814, Korea

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

요 약 : 본 연구에서는 한국해양대학교 실습선 한바다를 이용하여 선박의 입·출항 및 약 150 rpm의 정속 운항 할 때 주기관에서 배출되는 배기가스를 실시간 계측하였다. 실측 결과 질소산화물의 농도는 정속 운항시 800 ppm 에서 1,000 ppm 사이인데 반해, 입·출항시에는 210 ppm 에서 1,230 ppm 까지 큰 범위에서 값이 변화하였다. 일산화탄소의 농도 역시 정속운항 상태 보다 입·출항시 측정값의 변화가 크게 나타났다. 이러한 결과는 입·출항시 가능한 한 주기관의 부하변동이 급격히 발생되지 않도록 하는 선박 조종 스킬이 필요하다는 것을 의미한다. 또한, 배기가스 저감 기술의 적용에 있어 입·출항시와 정속 운항할 때 그 차이를 고려할 필요가 있다는 것을 나타낸다.

핵심용어 : 배기 배출물, 이산화탄소, 질소산화물, 주기관, 저감 기술

Abstract : In this study, we conducted real-time measurement at the ship arrivals and departures at the port and at a constant speed of 150 rpm for exhaust emissions from a main engine installed on the training ship, HANBADA, of Korea Maritime University. The result showed that the concentration of nitrogen oxide was measured in the range of 800 ppm to 1,000 ppm at constant speed mode. On the other hand, the concentration of nitrogen oxide during ship arrivals and departures was significantly fluctuated between 210 ppm and 1,230 ppm. And, the concentration of carbon oxide at the arrivals and departures was also larger than that of at constant speed mode. These results show that the ship maneuvering skills to prevent a sudden load change of main engine at the arrivals and departures of ship is needed. Additionally, it means that the difference of exhaust emissions generated between the constant speed mode and the arrival/departure has to be considered when invented many technologies are adopted into the reduction technologies of air pollutants from ships.

Key Words : Exhaust emission, Carbon dioxide, Nitrogen Oxides, Main engine, Reduction technology

1. 서 론

Lloyd 보고서에 의하면 세계 물동량 수송의 90% 이상을 담당하고 있는 선박에서 배출되는 대기오염물질의 양은 연료 1톤당 이산화탄소(CO₂) 3,170 kg, 질소산화물(NO_x)의 경우 최대 87 kg 에 달하며 황산화물(SO_x), 입자상 물질(Particulate

Matters, PM) 및 CO₂ 이외의 온실가스(Green house gases, GHGs) 등의 배출도 증가하고 있음을 나타내고 있다(Lloyd's register, 1995).

또한, 2020년경에는 선박기관의 대기오염물질 배출량이 육상수송부문의 배출량을 능가할 것이라는 보고서도 알려진바 있다(The European environment Bueau et al., 2004).

1999년 수행된 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)의 연구결과에 의하면, 선박에서 배출되는 유해

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

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

물질 가운데 질소산화물, 황산화물 및 이산화탄소의 배출량이 전체 운송수단 배출량 대비 각각 14%, 5% 및 2% 정도를 차지하는 것으로 보고되었다(IMO, 2005). 특히, 최근에는 온실가스의 영향뿐만 아니라, 선박기관의 배기배출물질에 포함된 PM(Particulate Matters) 및 BC(Black Carbon)의 영향에 대해서도 이슈가 되고 있다(Ramanathan and Carmichael, 2008; Bond et al., 2004)

이에, IMO 에서는 선박 배출 대기오염에 대한 심각성을 인지하고 선박으로부터 배출되는 대기오염물질을 규제하기 위하여 1997년 채택한 ‘선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약 73/78’ 부속서 6장(MARPOL 73/78, Annex VI)의 의정서가 2005년 5월 발표됨에 따라 기존의 ‘해양오염 및 해상재해의 방지에 관한 법률’을 일부 개정하여 동 개정법에 의거, 대상선박에 대한 NOx 및 SOx 배출량 감축을 위하여 황함량이 낮은 선박용 연료유 사용 및 NOx 배출 허용치를 만족하는 엔진 장착을 의무화하고 있는 실정이다.

따라서 선박기관의 대기오염물질 규제에 대응하고, 저감 기술 개발 및 실증을 위한 기초연구 수행을 위해, 선박 배출 대기오염물질 규제에 관한 국제사회의 논의현황과 동향을 살펴볼 필요가 있다. 특히, 현존 선(船)을 대상으로 다양한 실제 운항조건에서 발생하여 배출되는 선박 주기관의 배기가스를 실시간 계측하여 대기오염물질의 성분, 농도 및 형상 등을 분석하고, 이에 대한 자료축적 및 축적한 데이터를 활용하기 위한 기반·기초연구는 반드시 필요하다.

본 연구에서는 선박 배출 대기오염물질 실측을 위하여 한국해양대학교 실습선인 한바다를 이용하여, 주기관의 부하 변동이 잦은 입·출항시와 주기관의 부하 변동이 적은 정속 운항의 경우에 주기관에서 발생하여 배출되는 배기가스를 실시간으로 계측하여 실제 운항중인 선박에서 생성, 배출되는 대기오염물질의 특성에 대하여 조사하였다. 더욱이, 선박으로부터의 배기가스에 대하여 주기관의 RPM(Revolution Per Minute)과 각 실린더(Cylinder) 별 최대 압력에 따른 실시간

배기가스 배출량의 실측값을 제공함으로써 운항조건에 따른 배기가스 저감 기술의 선택에 매우 유용한 데이터가 될 것으로 생각된다.

2. 실측 대상 선박 주요사항 및 계측 일정

선박으로부터 배출되는 배기가스의 성분을 운항 조건별로 파악하기 위해 실제 운항중인 한국해양대학교 실습선 한바다호를 대상으로 주기관의 배기가스 내 대기오염물질로 알려진 CO₂, NO_x, CO 등의 농도를 실측하고, 측정된 데이터를 분석하여 운항 조건별 대기오염물질 배출 상황을 조사하였다.

Table 1은 한바다호의 선체 및 주기관의 주요 Specifications을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 1. Major Specifications of Hull and Main engine on T/S HANBADA

Items	Spec.
Length Overall	117.20 m (LOA)
Breath(B)	17.80 m
Mean Draft	5.90 m (Full Loaded Condition)
Max. Speed	19.0 knots
Service Speed	17.5 knots
Main Engine Type	MAN B&W 6L24 MC/ME (Dual Engine)
Bunker Capacity	1,070 m ³
Main Engine MCR (100 %)	8,130 BHP × 176 RPM
Main Engine NCR (85 %)	6,910.5 BHP × 166.7 RPM
Gross Tonnage	6,686.0 ton

Table 2는 배기가스 실측을 위한 운항 일정, 배기가스 Sampling 위치 및 주기관 연료유 스펙을 정리한 것이다.

Table 2 Sailing schedule for Real-time Measurement.

Ship's Name	Main points of Actual Measurement											
T/S HANBADA	<ul style="list-style-type: none"> Sailing Date(port) : 2012.4.23 ~ 4.24 (KMU harbor, Busan → Jeju port, Jeju Island) Exhaust Gas Sampling position : Main engine Turbo Charger Outlet side Fuel(Bunker) Condition : Light Residue Fuel Oil(LRFO), 3.0 % 											
	<Bunker Specification>											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gravity API@60°F</th> <th>S.G.@15/4°C</th> <th>Viscosity Kin. cst</th> <th>Flash Point</th> <th>Sulfur</th> <th>Water @Sediment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.7</td> <td>0.932</td> <td>32.30 @50°C</td> <td>82.7 °C</td> <td>2.57 %</td> <td>0.09 %</td> </tr> </tbody> </table>	Gravity API@60°F	S.G.@15/4°C	Viscosity Kin. cst	Flash Point	Sulfur	Water @Sediment	20.7	0.932	32.30 @50°C	82.7 °C	2.57 %
Gravity API@60°F	S.G.@15/4°C	Viscosity Kin. cst	Flash Point	Sulfur	Water @Sediment							
20.7	0.932	32.30 @50°C	82.7 °C	2.57 %	0.09 %							

실습선을 이용한 주 추진기관의 배기배출물의 실시간 계측

배기가스 계측을 위한 한바다호의 항해(운항) 일정은 부산에 위치한 한국해양대학교 부두를 출항하여 제주도에 위치한 제주항에 입항하는 것으로, 주기관 배기가스 샘플링 위치는 터보 차저 출구 부분이며, 연료유는 선박용 저유황 병커(bunker)인 LRFO 3% 를 사용하였다.

주기관 배기가스를 실시간으로 측정하기 위해 본 연구에서는 PG-250A(HORIBA, Japan)로 구성된 측정시스템을 사용하였다. PG-250A는 동시에 5가지 가스 분석이 가능한데, 질소산화물(NOx)은 화학 발광법으로, 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)는 NDIR방식으로, 산소(O₂)는 갈바닉(Galvanic)센서 방식을 이용해 분석 및 측정한다. 주요 특징으로는 배기가스 내 NOx의 측정범위는 2,500 ppm 이하, CO의 경우는 5,000 ppm 까지 가능하며, CO₂ 는 0~20% Vol., O₂ 는 0~25% Vol. 까지 측정이 가능하다. 그러나 SO₂ 및 SOx의 경우, 별도장비를 추가로 구성해야 측정이 가능하므로 본 연구에서는 SO₂ 및 SOx 측정은 제외하였다.

3. 운항조건별 실측 결과

3.1 입·출항시

선박 주기관에서 배출되는 배기가스 내 대기오염물질 배출 현황을 파악하기 위해 터보차저 출구부분에서 계측 하였다. 부산의 한국해양대학교 부두 출항 시와 제주도 제주항 입항 시 실측한 결과를 주요 Factor별로 Fig. 1~Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 1은 주기관의 RPM 변화에 따른 NOx 농도분포를 나타낸다. 입·출항 시 부두로 접안 하거나 이안하기 위한 잦은 엔진 사용으로 NOx 농도의 변화가 심하게 나타난다. NOx의 농도도 60 RPM 부근에서 최소 210 ppm 정도를 나타내고 있으며, 최대 1,200 ppm 이상의 NOx가 배출되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 항계 진·출입 상태인 140 RPM 전후에서는 920 ppm 에서 1,000 ppm 정도의 다소 일정한 양의 NOx 가 배출되는데, 이는 선박 조종에 따른 부하변동이 부두 접·이안 등과 비교해 크지 않은 상태에서 나타나는 것으로 판단된다.

여기서, 흥미로운 점은 동일 RPM에서 NOx 의 농도분포가 다양하게 나타나고 있다는 것이다. 이것은 본 연구에서, RPM 변화는 실시간으로 모니터링 되어 기록되고 있으나, NOx 농도는 배출된 가스가 배기관을 거쳐 측정 시스템의 Probe 및 Hot hose를 통과한 뒤 측정 장비에서 분석·기록되기 때문에, 이로 인한 시간 지연이 발생하고 이에 따라 동일 RPM 에서도 서로 다른 농도 분포를 보이는 것으로 추정된다. 따라서 선박 주기관의 배기가스 농도 실측결과를 분석

할 때에는 엔진 RPM 변화와 NOx 농도 분포 사이에 측정을 위한 시간 지연이 포함되어 있음을 고려할 필요가 있겠다.

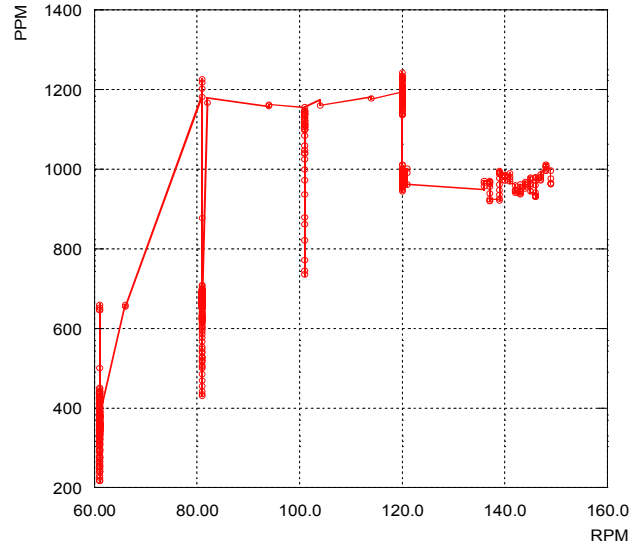


Fig. 1. NO_x concentration for Main engine RPM.

Fig. 2는 주기관의 RPM 변화에 따른 CO 농도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 120~140 RPM 사이에서 최고 농도가 나타나고 있으며, 동일한 RPM 에서도 농도 값의 변화가 크게 나타나고 있다. 이는 선박의 조종을 위해 주기관의 정/역전 및 기동/정지를 반복하는 사이 연료유가 매우 불완전하게 연소되어 배출된 것이 원인으로 판단된다. 따라서 안전한 선박 조종을 위해 불가피한 상황 이외에는 입·출항시 에도 가능한 한 주기관의 부하변동이 급격히 발생되지 않도록 하는 선박 조종 기술이 필요할 것으로 생각된다.

정속 운항에서 항계로 진입하거나, 항계에서 정속 운항으로 변경될 때는 위급한 상황이 발생되지 않는 한 선박 조종을 위한 부하변동이 크지 않은데, 이 영역대인 140 RPM 부근 및 초과 RPM 영역부터는 RPM 이 증가할수록 CO 농도 값은 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 부하변동이 크지 않고, 조금씩 RPM 이 증가하면서 안정된 상태로 연료유가 연소되고 있음을 보여주는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 주기관의 RPM 변화에 따른 CO₂ 농도분포를 나타낸다. 그림에서 나타낸 바와 같이 측정되기 전 RPM 영역에서 급격한 변화는 나타나지 않으며, 최대 농도 값은 5% 정도이다. 또한, RPM 이 증가할수록 CO₂ 농도는 높아지는 경향을 보인다. 이것은 일반적으로 RPM 증가와 함께 더 많은 연료유의 소비가 이루어지기 때문이다.

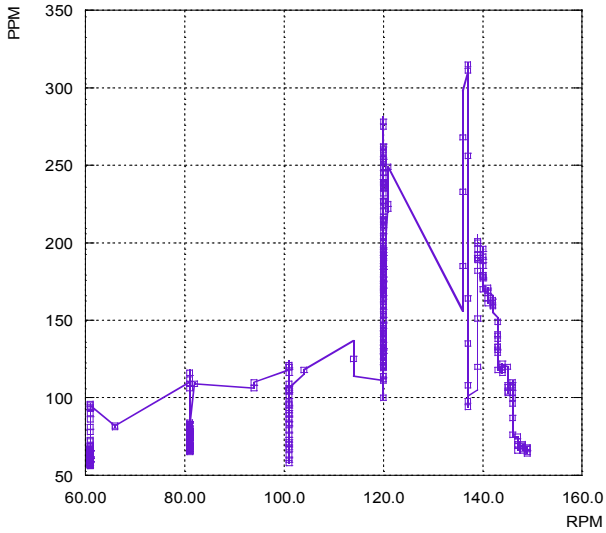


Fig. 2. CO concentration for Main engine RPM.

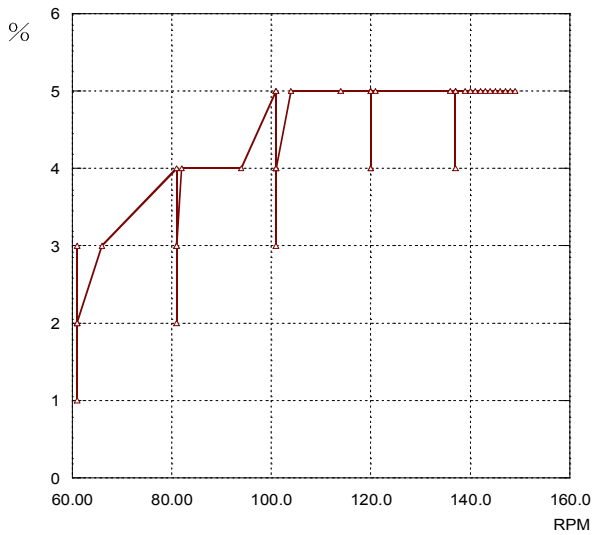


Fig. 3. CO₂ Concentration for Main engine RPM.

Fig. 4(a)~(c)는 주기관을의 각 실린더(cylinder)의 최고 폭발압력(P-max) 변화에 따른 NO_x(a), CO(b) 및 CO₂(c) 농도 변화를 각각 나타낸 것이다. 실린더 내 최고 폭발압력은 40 bar 에서 100 bar 사이를 나타내고 있으며, 각 실린더별 최고 폭발압력은 대체적으로 비슷한 경향을 보인다. 즉, 주기관을의 각 실린더 내 연소상태가 특별히 다른 양상을 보이지 않은 한, 각 실린더에서 배출되는 배기가스 내 오염 물질의 양은 비슷할 것으로 예상되며, NO_x, CO 및 CO₂ 농도 값 역시 큰 차이가 없을 것으로 사료된다. 이는 앞서 살펴본 Fig.1~Fig.3 의 RPM 변화에 따른 농도분포 결과들과 동일한 경향임을 알 수 있다.

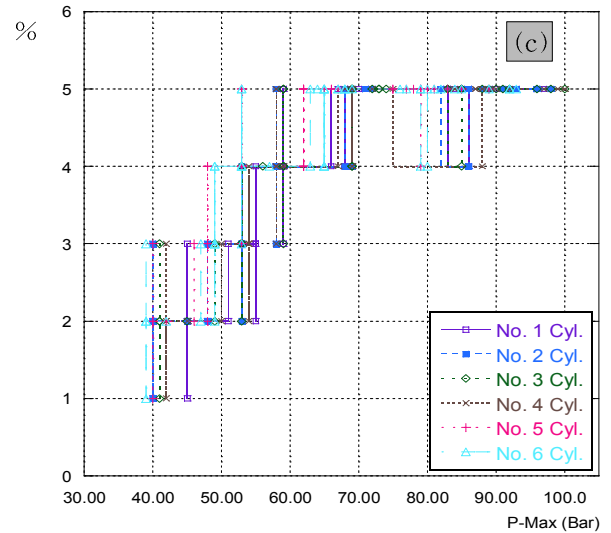
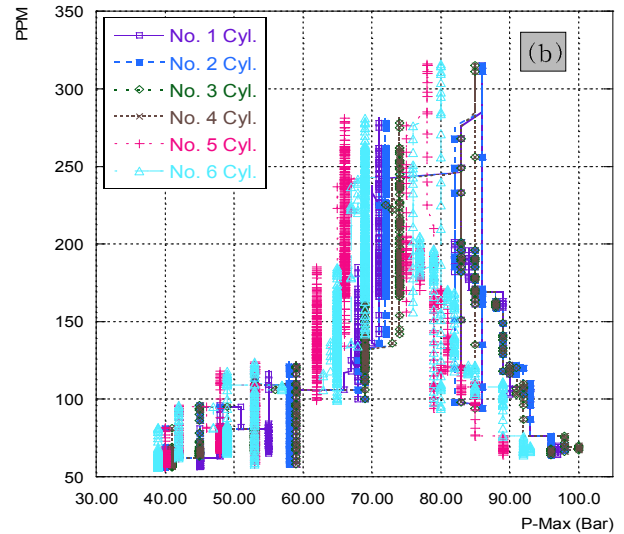
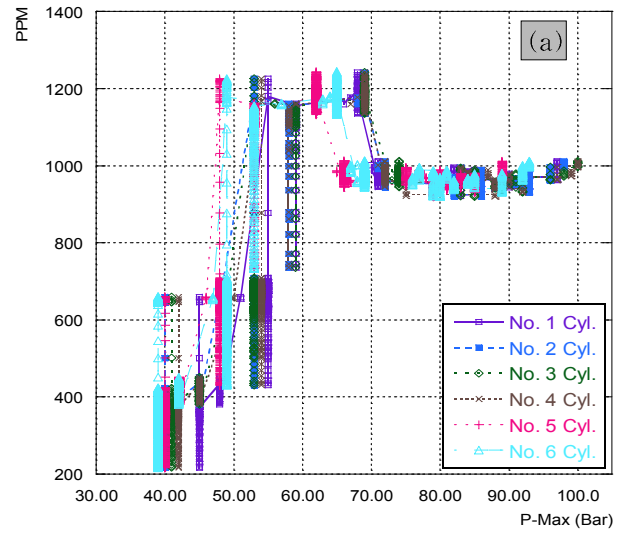


Fig. 4. NO_x, CO, CO₂ concentrations for P-max in each Cylinder.

실습선을 이용한 주 추진기관의 배기배출물의 실시간 계측

이와 같은 실측결과를 토대로 선박 입·출항시 안전한 부두 접/이안을 위해 주기관을 자주 기동/정지하는 경우, 이때 배출되는 배기가스에는 대기오염물질이 다량 포함되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 배출 배기가스에 포함된 오염물질의 농도 측정을 위해 RPM 또는 P-max 등과 같은 인자를 고려할 경우 주기관의 부하변동이 발생하는 시점에서 배출되는 배기가스 내 오염물질 농도와 측정되는 농도에는 측정에 소요되는 시간 지연에 따른 편차가 발생하며, 이를 고려하여 주기관 부하변동과 배기가스 내 오염물질 배출량과의 관계를 분석하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 더불어, 강화된 선박기관의 대기오염물질 배출 규제에 대응하기 위해서는 입·출항시 발생하는 배기가스 내 오염물질의 저감 이후 상당히 중요한 부분이 될 것이며, 실측을 통해 파악된 배출 특성을 토대로 가장 적합한 저감 기술 적용을 검토할 필요가 있다.

3.2 정속 운항시(R/Up or Sailing condition)

선박이 항해를 위해 기항지를 떠나 정속으로 운항하는 경우 주기관 배기가스에 포함된 대기오염물질의 배출현황을 조사하기 위하여 한바다호의 R/Up or Sailing condition 운항 조건에서 부산 → 제주 간 항해시 실측을 실시하고 그 결과를 Fig. 5~Fig. 8 에 나타내었다.

Fig. 5에서 Fig. 7은 정속 운항 구간으로 주기관이 약 150 RPM 전·후 일 때 측정된 NO_x, CO 및 CO₂ 농도 분포를 나타낸 것이다. NO_x의 경우 농도가 800~960 ppm, CO는 55~155 ppm, CO₂는 4.5~4.8%임을 알 수 있다.

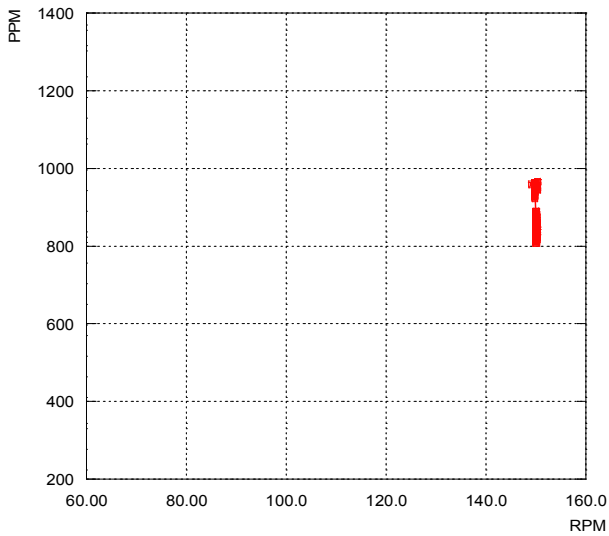


Fig. 5. NO_x concentration for Main engine RPM (sailing condition).

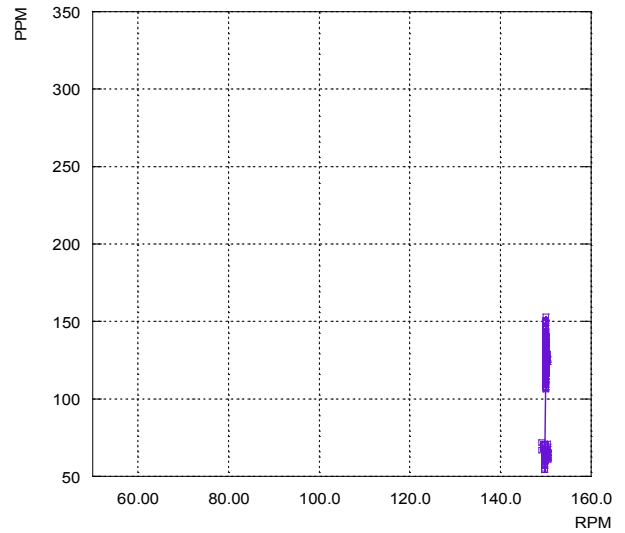


Fig. 6. CO concentration for Main engine RPM (sailing condition).

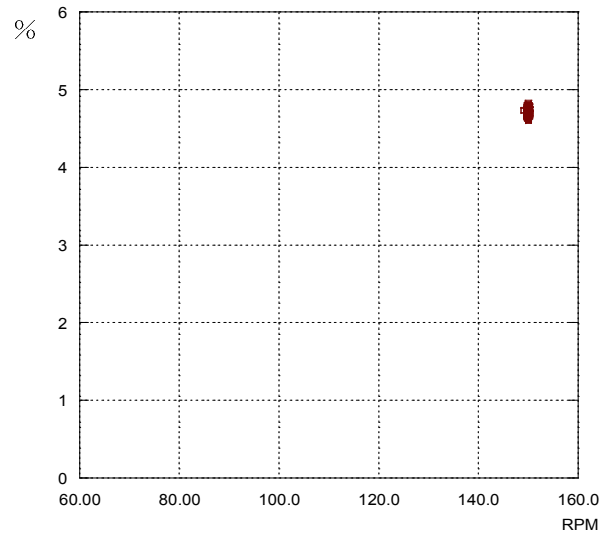


Fig. 7. CO₂ concentration for Main engine RPM (sailing condition).

전체적으로 입·출항 시 보였던 부하변동에 따른 급격한 농도 변화는 찾아볼 수 없고, 해상 기상 여건 및 정속 유지를 위해 주기관의 미세한 부하변동에 따라 약간씩의 농도 분포에 변화가 관찰될 뿐이다. 즉, 그림에서 나타난 바와 같이 정속으로 운전할 경우에는, 입·출항시 보다 높은 RPM 영역임에도 불구하고 배기오염물질의 최대 배출량은 입·출항 시보다 낮은 값을 나타낸다. 이것은 입·출항시와 정속 운항 조건 등에 따라 배기오염물질 저감을 위한 적용 기술의 선택이 달라질 수 있다는 것과, 동일한 기술로 저감하더라도 입·출항 때 기준치 이상의 많은 양의 오염물질이 배

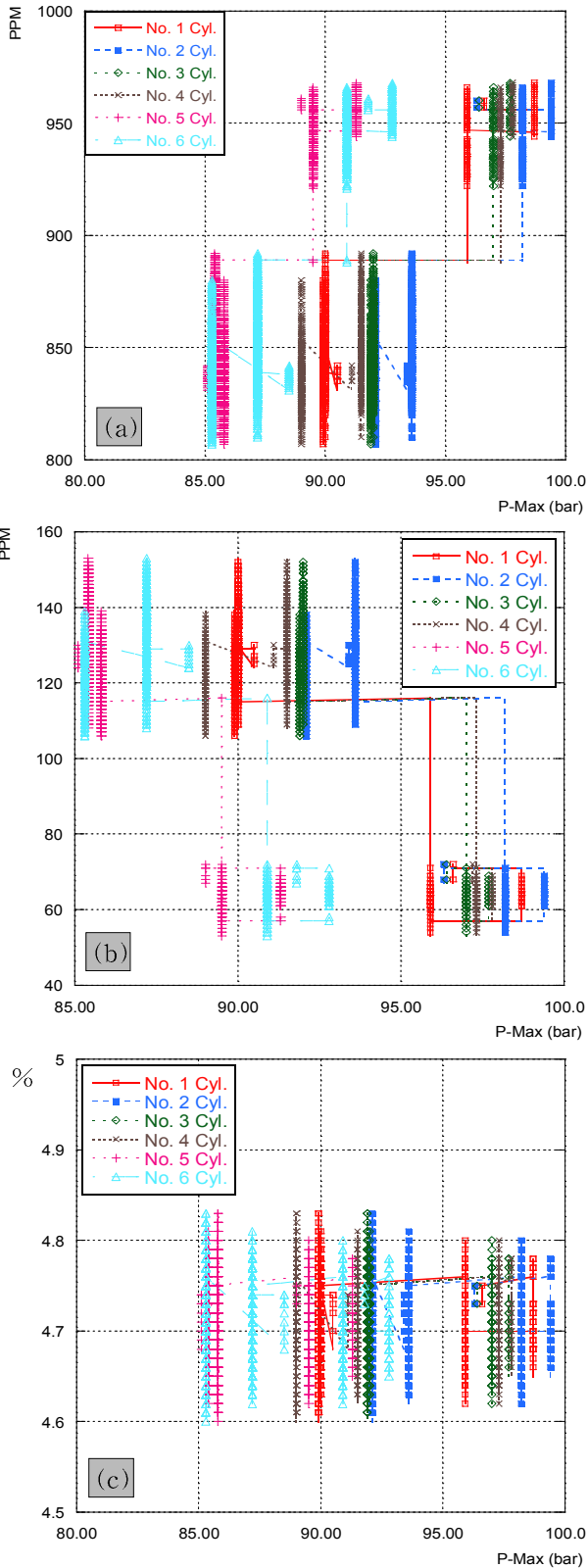


Fig. 8. NO_x, CO, CO₂ concentration for P-max in each Cylinder(sailing condition).

기가스에 포함될 가능성이 있으므로 주의해야 한다는 것을 의미한다.

Fig. 8(a)~8(c)는 주기관 각 실린더별 최고 폭발압력(P-max) 변화에 따른 NO_x, CO 및 CO₂ 농도분포를 나타낸 것으로, 정속 유지를 위해 미세하게 반응하는 주기관 부하변동에 따라 농도분포 변화가 조금씩 나타나는 것이 관찰된다.

Fig. 8(a)에 나타낸 바와 같이 정속구간에서 주기관의 각 실린더 내 최고폭발압력(P-max)은 85~99 bar 의 분포를 보인다.

최고 폭발압력은 각 실린더의 Injector(연료분사) 상태, Scavenging(소기), 피스톤 링 및 실린더 라이너 상태 등에 따라 편차를 보이는 것으로 판단된다. 그러나 비슷한 P-max 영역에서의 NO_x 농도분포는 모든 실린더 에서 비슷하게 나타나는데, 이는 각 기통별로 배기되는 것이 아니라 배기 Manifold 에서 각 기통별로 배출된 배기가스가 혼합되어 터보차저를 지나 측정되었기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 8(b)에 나타난 CO 농도분포는 NO_x 농도분포와 마찬가지로 각각의 P-max 영역에 따라 비슷한 농도분포를 보인다. 특히, P-max가 높은 영역에서의 CO 농도가 낮게 나타나는데,

이는 연소(폭발)상태가 CO 농도와 밀접한 관련이 있음을 의미한다.

Fig. 8(c)는 CO₂ 농도분포를 나타낸 것으로, 각각의 P-max 영역에서 대체적으로 일정한 농도임을 알 수 있다.

위와 같은 실험결과를 바탕으로 정속 운항 시 Main Engine 에서 배출되는 배기가스에 포함된 대기오염물질의 농도는 그 변화 폭이 매우 적으며, 변동 정도도 입·출항시에 비해 매우 작은 것으로 판단된다.

4. 결론 및 제언

주기관에서 발생·배출되는 배기가스의 성분을 운항 조건별로 파악하기 위해 실제 운항중인 한국해양대학교 실습선 한바다를 대상으로 배기가스 내 대기오염물질로 알려진 CO₂, NO_x 및 CO 등의 농도를 실측하고, 측정된 데이터를 분석하여 운항 조건별 대기오염물질 배출 상황을 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 입·출항시

입·출항시 주기관에서 배출하는 배기가스 내 대기오염물질 농도를 실측한 결과 한바다호의 주기관 배출 배기가스 내 대기오염물질 농도분포는 선박이 입·출항을 위해 주기관의 기동/정지를 반복하는 빈도의 증가에 따라 배기가스의 배출량이 증가하였고, 주기관 부하변동 폭의 크기에 따라 배기가스 배출량이 증가하는 것을 확인하였다.

선박이 입·출항을 위해 주기관을 빈번히 기동/정지하는 경우, 배출 배기가스 내 대기오염물질 농도를 제어 또는 감축하기 위해서는 정교한 주기관 Operating Skill이 필요할 것으로 사료되며, 가능한 한 주기관의 급격한 부하변동 유발을 자제하고 보다 질 좋은 연료유를 사용하는 것이 유리함을 파악할 수 있었다. 더불어 강화된 대기오염물질 배출 규제에 대응하기 위해서는 입·출항시 발생하는 배기가스 내 오염물질량의 저감이 향후 상당히 중요한 부분이 될 것이며, 실측을 통해 파악된 배출 특성을 토대로 가장 적합한 저감 기술 적용을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 정속 운항시 (R/Up or Sailing condition)

주기관의 부하 변동이 크지 않고, 정속 RPM 구간을 유지하며 항해하는 경우, NO_x, CO 및 CO₂ 배출 농도는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 황천 및 해상의 기상상태 변화가 주기관의 부하변동에 영향을 주어 대기오염물질 배출 농도 증가 등에 불규칙적으로 작용할 개연성은 상존하는 것으로 사료된다.

따라서 정속 운항 중이라도 변화하는 해상의 기상상태 및 주기관에 사용 중인 연료유종에 따라 배기가스 내 대기오염물질 배출 저감을 위해 유연하게 대응할 수 있는 저감 기술 적용 검토가 필요할 것으로 판단된다.

이에 선박기관의 배기가스 내 오염물질의 저감 기술들의 선박 적용에는 저감 가능한 개별 오염물질에 대한 기술을 일일이 적용하기 보다는 조선기술 발달에 따라 점차 협소해지는 기관실 크기에 맞추어 플라즈마 버너(P/b)-DOC-DPF-SCR-S/S, CCS-EGR, EGR-Emulsion Fuel Combustion 및 DOC-DPF-SCR과 같은 체계적인 복합기술 또는 하나의 시스템으로 여러 대기오염물질을 한 번에 저감 할 수 있도록 하는 방법을 채택해야 할 것으로 생각한다. 또한, 근본적인 선박기관의 대기오염 물질 저감 대책 수립을 위해서는 다양한 용도와 규모의 선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 양과 특성을 정확히, 그리고 지속적으로 파악할 수 있도록 특성화한 집단으로 분류하고, 각 집단 별 배출지수를 결정함은 물론, 지속적으로 보완·관리할 수 있는 방안마련이 시급해 보인다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 해양안전 및 해양교통시설기술개발사업의 "선박배출 대기오염원(PM,BC) 기후변화 영향평가 및 저감기술 개발"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 global inventory of black and organic carbon emissions from combustion, J. Geophys. Res., 109, D14203, pp. 1-43.
- [2] 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.
- [3] Lloyd's Register(1995), Marine Exhaust Emissions Research Programme, Lloyd's Register Engineering Services, London, pp. 1-70.
- [4] Ramanathan, V. and G. Carmichael(2008), Global and regional climate changes due to black carbon, Nature Geoscience 1, pp. 221-227.
- [5] The European Environmental Bureau(EEB), The European Federation for Transport and Environment(T&E), Seas At Risk (SAR) and The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain(2004), Air Pollution from ships, pp. 3-15.

원고접수일 : 2013년 07월 10일

원고수정일 : 2013년 08월 20일

게재확정일 : 2013년 10월 25일