

---

# 부산항의 선박으로부터 배출되는 질소산화물의 배출량 산정에 관한 연구

송화창\* · 이진욱\*\* · 최재성\*\*\*

A Study on the Estimation of Discharge Amount of NO<sub>x</sub> Emission  
from Ships in Port of Busan

H. C. Song · J. U. Lee · J. S. Choi

## Abstract

Recently controlling of air pollutants emission from onboard ship as well as on land has become more important issue. New Annex VI to MARPOL 73/78 and IMO NO<sub>x</sub> Technical Code were adopted by the IMO. Particularly from the year 2000, according to Regulation 13 Nitrogen Oxides(NO<sub>x</sub>) of the Annex VI, this regulation should apply to new marine diesel engines greater than 130kW installed on vessels constructed on or after January 1, 2000, or which undergo a major conversion after that date and most of engines which are being currently built should be tested and surveyed in accordance with NO<sub>x</sub> Technical Code.

On the other hand, in order to prevent the port city from air pollution, we have to know how many tons of NO<sub>x</sub> emit from ships in all port city and we should make our own implementation schedule depending on our country's status.

In this paper, it was carried out the estimation of discharge amounts of nitrogen oxides(NO<sub>x</sub>) from all ships in the port. But it is difficult to survey for the discharge amounts of NO<sub>x</sub> from all ships in a port city due to time and cost. So this paper proposed the method of calculation without onboard survey. With the comparison and analysis of other countries emission calculation method, author proposed basic data of total discharge NO<sub>x</sub> emission from ships in the port and simple calculation method. Especially, this report focused on port of Busan, because marine traffic of Busan is very intensified.

---

\* 한국해양대학교 대학원 기관공학과

\*\* 한국해양대학교 선박운항원

\*\*\* 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

## 1. 서론

선박의 동력기관으로는 특수한 경우를 제외하고 저속 2행정 디젤기관과 중·고속의 4행정 디젤기관이 이용되고 있다. 2행정 저속 대형 디젤기관은 이미 정미열효율이 50%를 넘고 있으며, 동시에 가격이 싼 중질 연료유를 사용할 수 있기 때문에 연료의 경제성 면에서는 물론 에너지의 유효이용과 지구온난화의 예방에 적합한 특징을 가지고 있다. 그러나 회전속도가 낮기 때문에 연소가스가 고온에서 체류하는 시간이 길어, 질소산화물의 배출율은 고속디젤기관에 비하여 높다. 또한, 사용하는 연료의 성상에 따라 다른 하지만, 유황산화물도 다량으로 배출하기 때문에 지구환경보존의 관점에서 그 대응에 관심이 집중되고 있다.<sup>[1]</sup>

한편, 대기오염문제가 대두되면서 육상에서는 일찍부터 자동차 등의 배기가스 배출물에 대한 각종규제가 실시되어 왔다. 대기오염문제가 지구적 환경보전문제로 부각되면서 국제해사기구(IMO)의 제 26차 해양환경보호위원회(MEPC)에서도 1988년부터 이에 대한 논의가 시작되었고, 1997년에는 “선박으로부터의 대기오염방지를 위한 협약”을 채택하기에 이르렀다.<sup>[2],[3]</sup>

선박으로부터 배출되는 배기가스에는 대기오염물질과 온실효과가스로 나누어 생각할 수 있으나, 선박기관과 관계가 깊은 SOx, NOx의 문제는 본질적으로 연안지역에 한정된 문제이다. 왜냐하면 육지로부터 떨어진 대양에서는 이러한 오염물질은 비나 해수등에 의한 자연현상에 의하여 대부분 정화됨으로 크게 문제가 되지 않기 때문이다. 삼면이 바다로 둘러 쌓인 우리나라는 무역에 대한 의존도가 높을 수밖에 없으며 따라서 우리나라를 출입하는 선박의 척수는 우리나라의 경제발전과 더불어 급격히 증가하고 있는

추세이다. 따라서 우리나라의 대기오염대책에 있어서도 선박으로부터의 영향에 관한 연구와 동시에 이에 대한 대책을 수립하여야 할 것이다. 연안지역의 대기오염문제를 검토하기 위해서는 연안으로부터의 거리를 한정하여 연안을 향해하는 선박으로부터 배출되는 오염물질이 육상으로 확산되는 양이 육상의 고정 및 이동 발생원으로부터 배출되는 오염물질의 총량에 비해 어느 정도의 비율을 차지하고 있는가가 먼저 조사되어야 할 과제이며, 이를 위해서는 먼저 선박의 운항상태를 파악할 필요가 있다.<sup>[4]</sup> 선박으로부터의 배기가스가 연안지역의 대기오염에 미치는 영향을 검토하기 위해서는 박용디젤 기관으로부터 배출되는 NOx, SOx 등의 배출총량을 파악할 필요가 있다. 이러한 목적으로 NOx의 총 배출량을 계산하는 경우에는 NOx 배출량 산정식이 필요하게 된다.<sup>[5],[6],[7]</sup> 따라서 본 연구에서는 부산항에서의 선박으로부터 배출되는 NOx량을 계산적으로 산정 하는 방법을 제시하고 이미 연구 보고 되었던 일본과 미국에서 제시한 산정방법들을 비교 검토하였다. 또한 이러한 계산식의 검증 을 위해 실제 엔진 제조사에서 측정된 자료를 토대로 계산을 수행하였다. 이들 결과의 비교로부터 부산항을 입·출항하는 선박으로부터 배출되는 NOx 배출량을 산정하여 그 결과를 보고하였다.

## 2. 선박으로부터의 NOx 배출량 산정방법

### 2.1 NOx 산정방법 개요

어떤 한 척의 선박이 부산항에 입·출항하는 과정에서 배출하는 NOx량을 산출하기 위해서는 부산항 입구에서 부두에 접안하기 까지 걸리는 시간과 접안 후 정박시간 그리고 입·출항시 및

정박시에 주기디젤(ME),보조디젤(DE), Boiler로부터 배출되는 NO<sub>x</sub> 배출농도 및 배기 가스량 등의 자료가 필요하다. 부산항을 입·출항하는 선박이 부산항에 체류하는 기간동안에 배출하는 NO<sub>x</sub>량을 정확하게 산출하기 위해서는 각 선박으로부터의 실제 배출량을 직접 측정하여야 할 것이다. 그러나 부산항에 입·출항하는 선박은 1개월에 약 3,000척 정도로 선종 및 톤수가 다양하며 정박시간 또한 선박마다 다르기 때문에 직접 측정하는 방법은 현실적으로 불가능하다고 판단된다. 따라서 부산항에 입·출항하는 선박들을 조사 분석하여 통계적인 방법을 활용하는 것이 효율적일 것이다. 또한 부산항을 출입하는 선박은 선종의 다양함으로 이들 선박의 종류에 따라 선박의 총톤수(GT)로부터 기관 출력 및 보조기관 출력을 파악할 수 있도록 상관관계를 조사할 필요가 있다. 본 연구에서는 한국선급(KR)에 등록되어 있는 1,177척의 선박을 대상으로 그 상관관계를 구하였다.<sup>[8]</sup> 다음으로 주기기관으로부터 배출되는 NO<sub>x</sub> 배출량의 산정을 실측자료를 토대로 제시된 NO<sub>x</sub> 배출량과 출력과의 관계식을 이용하기로 한다. 선박의 정박시간은 해양수산부의 관제정보를 통하여 선박별로 산출하였다. 이상의 자료들을 이용하면 부산항에 입·출항하는 선박의 정박시간을 포함하여 부산항에 정박하는 기간동안 배출하는 NO<sub>x</sub> 배출량을 산출할 수 있다. 선박의 운항은 크게 항해와 정박으로 나눌 수 있고, 항해는 또한 입·출항과 대양항해로 나눌 수 있다. 부산항에서의 선박의 NO<sub>x</sub> 배출량 산정은 항해를 입·출항만으로 하여 계산하였으며, 입·출항시 주기 디젤(ME)만을 고려하여 계산하였고, 정박시는 보조 디젤(DE)만을 고려하여 계산하였다. 또한 보일러의 배출량은 ME과 DE에 비해 상대적으로 적으므로 계산에서 제외하였다. 산정시 필요한 자료는

선박의 크기 즉 총톤수가 필요하고 이 자료를 토대로 총톤수와 기관마력의 상관관계식을 얻을 수 있으며 또한 입·출항시의 선박이 100%의 부하로 운전되지 않으므로 모드별 부하율이 필요하고 선박의 입·출항시 걸리는 시간과 항해 거리가 필요하다. 이러한 거리는 입항할 부두에 따라 틀리므로 부두에서 과일릿 스테이션까지의 거리로 구할 수 있다. 이러한 자료를 토대로 연간 NO<sub>x</sub> 배출량을 구할 수 있으며 추가로 연간 입·출항 선박에 대한 척수 및 총톤수의 자료가 필요하다. 또한 정박중의 선박의 보조디젤(DE)이 100% 전부하의 운전이 아니므로 부하율의 선정 자료와 정박시간이 필요하다.

## 2.2 부산항의 선종별 입·출항 통계자료

Table1은 해양수산부에서 2001년 1월 한달 동안 부산항에 들어왔던 선박의 선종 및 척수, 총톤수(GT)를 집계한 자료이다.<sup>[9]</sup> 본 연구에서는

Table 1 Vessels called at Busan port for a month[2001.01]

선박 종류별	척 수	G/T
여객선	153	1,413,695
산물선	250	1,198,375
원목 운반선	5	48,842
시멘트 운반선	19	100,002
자동차 운반선	6	185,204
햇코일 운반선	2	3,940
냉동,냉장선	123	319,262
일반화물선	378	2,458,227
플컨테이너선	829	13,689,905
썬미 컨테이너선	82	869,795
원유 운반선	181	207,266
석유정제품 운반선	413	656,662
케미컬 운반선	91	229,174
LPG,LNG 운반선	7	8,771
어선	125	189,062
기타선	448	397,067
합 계	3,112	21,975,249

자료의 방대함으로 인해 부산항의 2001년 1월의 자료를 사용하여 계산을 해보았다. Table1에는 부산항에 출입하는 선박의 종류별 척수를 나타낸다. 분석의 효율성을 위해 Fig.1의 그래프에서 나타난 점유비율이 낮은 종류의 선박을 무시하였고 차지하는 비율이 큰 여객선, 산물선, 일반화물선, 풀 컨테이너선, 썬미 컨테이너선을 선정하여 계산하였으며, 풀 컨테이너선과 썬미 컨테이너선은 컨테이너선으로 묶어서 계산하였다.

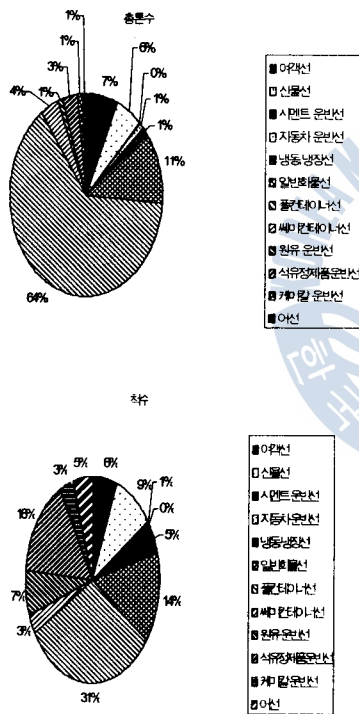


Fig. 1 Chart for vessels called at Busan port for a month[2001.01]

### 3. 총톤수와 기관출력의 관계식

#### 3.1 총톤수와 기관출력의 관계식 I

선박의 추진력은 톤수와 선속에 의하여 결정

되고, 기관의 소요출력은 이를 근거로 정하여진다. 선박으로부터 배출되는 NO<sub>x</sub>량을 산출하기 위해서는 선박에 탑재된 기관의 출력을 파악할 필요가 있다. 따라서 다양하고 많은 선박을 대상으로 함에 있어서 우선적으로 요구되는 것은 선박의 톤수와 탑재된 기관출력의 상관관계를 파악하는 것이다. 이 상관관계를 적용함으로써 NO<sub>x</sub> 배출량의 산정에 있어서 작업량을 대폭적으로 감소시킬 수 있을 것이다. 일본에서 선행 연구되어 발표된 “선박배출 대기오염 물질 저감 방법 검토조사”에 의한 선박의 총톤수와 기관출력의 상관관계를 Fig.2과 같이 파악하였다.<sup>[16]</sup> 이를 정리하면 Table2와 같다.

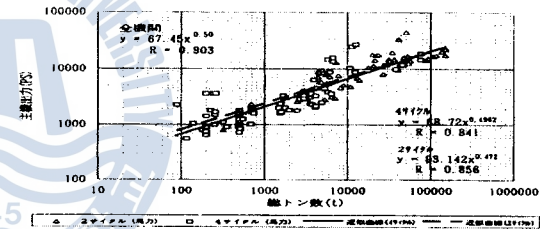


Fig. 2 Correlation between gross tonnage and engine power

Table 2 Correlation I for gross tonnage and engine power (t:Gross tonnage)

배출원	정격 출력(PS)	출 소
주기 디젤	$P = 67.45 * t^{0.50}$	일본박용기관학회지 『선박배출대기오염물질 삭감방법검토조사』 (1995년)
보기 디젤	$P = 7.18 * t^{0.54} * 2기$	

Fig.2의 결과는 4행정 기관과 2행정 기관을 합쳐서 유도하였으며 이 결과식은 2행정과 4행정 기관 모두 적용 가능하다는 것을 의미한다. 이 보고서는 선종에 관계없이 모든 선박을 대상

으로 분석하였고, 보조 디젤의 경우는 정박 중 2기가 항상 운전되는 경우를 나타내고 있는 것이 특징이다.

수와 엔진마력과 상관계수가 상당히 높음을 알 수 있다.

### 3.2 총톤수와 기관출력의 관계식 II

선형회귀분석 방법을 이용하여 한국선급에 등록된 선박의 주기 디젤(ME)마력과 보조 디젤(DE)마력 그리고 총톤수의 자료를 수집하고 이 수집된 자료를 토대로 선종별로 나누어 회귀분석을 하였다. 이러한 분석으로부터 총톤수와 기관출력과의 상관 관계를 도출하였다.<sup>[11],[12]</sup> 한국선급에 등록된 선박은 Table3에 정리하였다. 또한 관계식을 도출함에 있어서 보조 디젤(DE)은 정박 중1기가 운전되는 것으로 가정하였다.

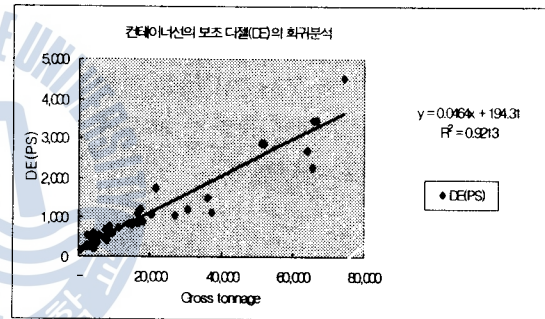
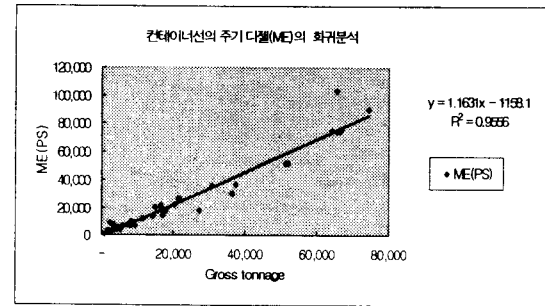


Table 3 Number of ships with KR

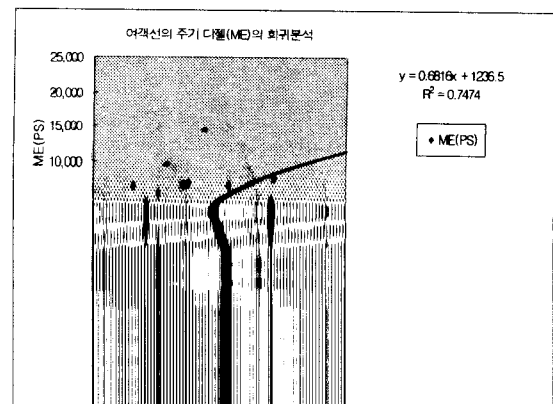
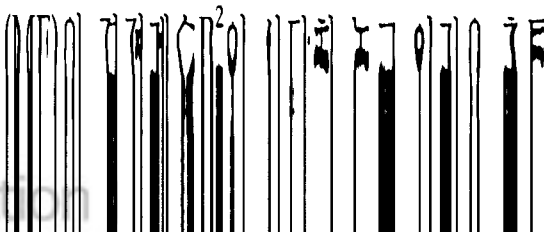
선종	척수
컨테이너	47
Liquified Gas Carrier	34
케미컬	65
여객선	129
Oil Chemical Tanker	61
Car Carrier	26
어선	325
냉동,냉장	16
탱커	115
Cargo ship(일반화물선)	284
Bulk Carrier(산물선)	75
합계	1,177

#### (2) 여객선 선형회귀분석과 결과

여객선의 선형회귀 분석결과는 주기 디젤(ME)의 경우 총톤수와 마력의 상관 관계가 높다고 할수 있으며 보조 디젤(DE)의 경우도 상관관계가 있다고 말할 수 있다. 즉 여객선의 경우 선내의 전력 사용량이 많기 때문에 이러한 상관관계가 높다고 판단된다.

#### (1) 컨테이너선의 선형회귀분석과 결과

아래 그림을 보면 알수 있듯이 주기 디젤





으로 분석하였고, 보조 디젤의 경우는 정박 중 2 수가 항상 운전되는 경우를 나타내고 있는 것이 특징이다.

수와 엔진마력과의 상관관계가 상당히 높음을 알 수 있다.

### 3.2 총톤수와 기관출력의 관계식 II

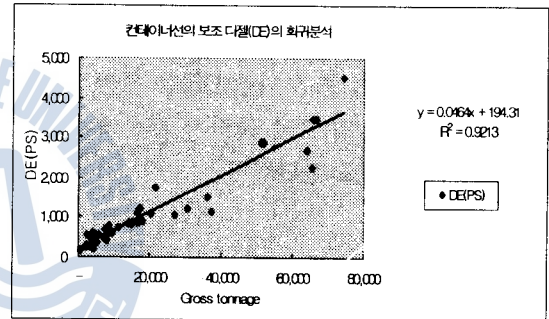
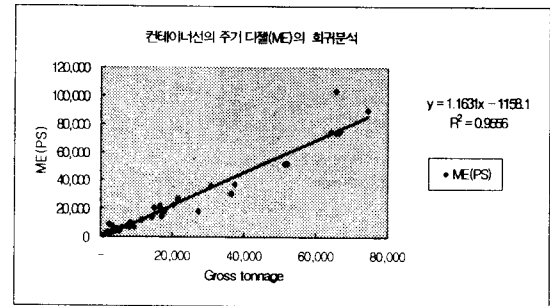
선형회귀분석 방법을 이용하여 한국선급에 등록된 선박의 주기 디젤(ME)마력과 보조 디젤(DE)마력 그리고 총톤수의 자료를 수집하고 이 수집된 자료를 토대로 선종별로 나누어 회귀분석을 하였다. 이러한 분석으로부터 총톤수와 기관출력과의 상관 관계를 도출하였다.<sup>[11],[12]</sup> 한국선급에 등록된 선박은 Table3 에 정리하였다. 또한 관계식을 도출함에 있어서 보조 디젤(DE)은 정박 중1기가 운전되는 것으로 가정하였다.

Table 3 Number of ships with KR

선종	척수
컨테이너	47
Liquified Gas Carrier	34
케미컬	65
여객선	129
Oil Chemical Tanker	61
Car Carrier	26
어선	325
냉동,냉장	16
탱커	115
Cargo ship(일반화물선)	284
Bulk Carrier(산물선)	75
합계	1,177

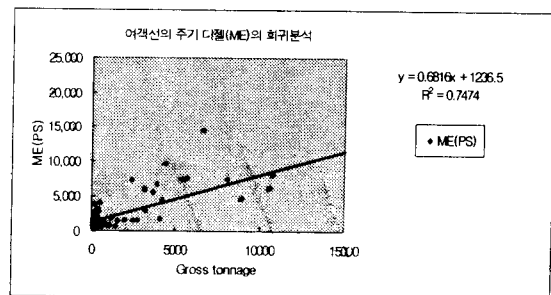
#### (1) 컨테이너선의 선형회귀분석과 결과

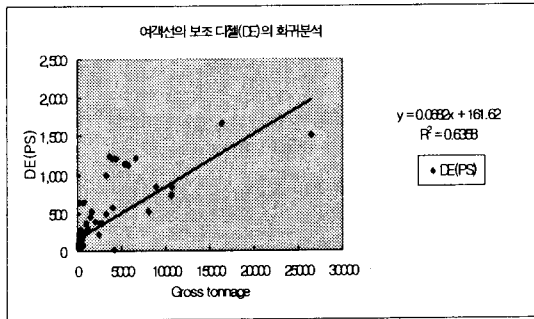
아래 그림을 보면 알수 있듯이 주기 디젤(ME)의 결정계수 $R^2$ 이 상당히 높고 이것은 총톤수와 엔진마력의 상관관계가 높다고 판단할 수 있다. 또한 보조 디젤(DE)의 결과에서도 총톤



#### (2) 여객선 선형회귀분석과 결과

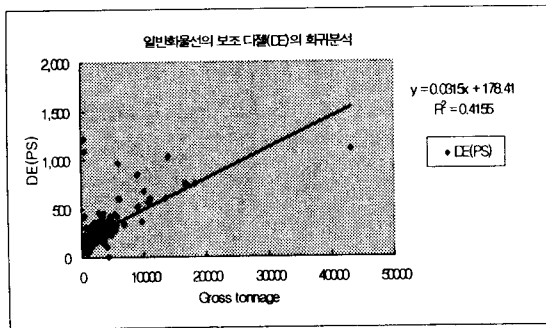
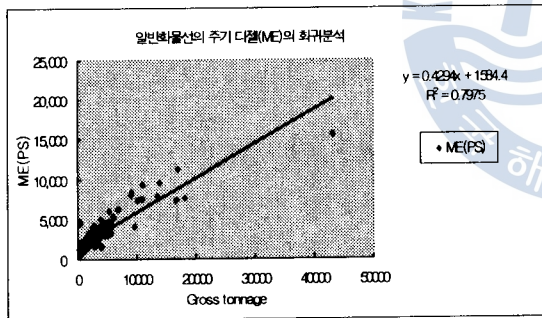
여객선의 선형회귀 분석결과는 주기 디젤(ME)의 경우 총톤수와 마력의 상관 관계가 높다고 할수 있으며 보조 디젤(DE)의 경우도 상관관계가 있다고 말할 수 있다. 즉 여객선의 경우 선내의 전력 사용량이 많기 때문에 이러한 상관관계가 높다고 판단된다.





(3) 일반화물선의 선형회귀분석과 결과

일반화물선의 경우는 주기 디젤(ME)의 상관성은 높으나 보조 디젤(DE)의 상관성이 다소 떨어짐을 알 수 있다. 보조 디젤(DE)은 하역장치의 설치 유무에 따라 출력이 틀리기 때문에 상관관계가 낮은 것으로 판단된다.



(4) 산물선의 선형회귀분석과 결과

산물선의 경우는 직선회귀분석보다는 누승회귀분석에 가까우므로 누승회귀로 분석하였으며 일반화물선처럼 주기 디젤은 총톤수와 엔진 마력과의 상관관계가 높은 편이나 보조 디젤의 경우는 상관성이 낮음을 알 수 있으며 산물선의 운항과 화물의 특성에 기인한 결과라고 판단된다.

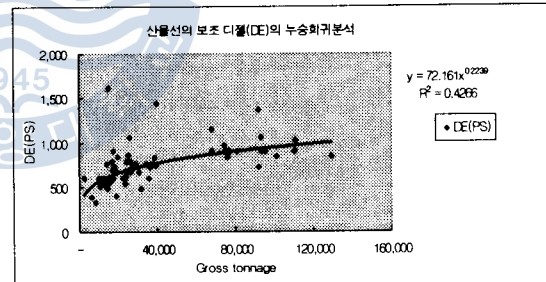
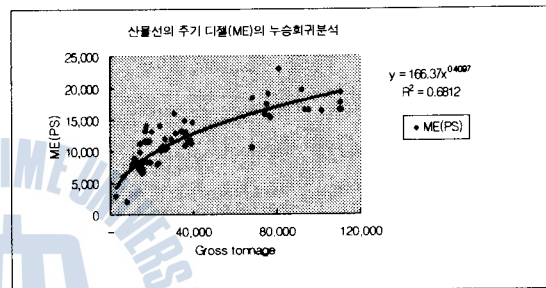


Table4는 선종별 그리고 배출원별 상관관계식을 정리하여 나타낸 것이다. 결과를 보면 컨테이너선은 상관관계가 높게 나오는 반면 산물선의 경우는 상관관계가 낮음을 알 수 있으며 상관관계가 낮은 선종의 경우 더 많은 데이터를 확보하여 상관관계가 높은 관계식을 도출할 필요가 있다. 그러나 본 연구에서는 자료확보의 어려움으로 이 결과식을 사용하기로 하였다.

Table 4 Results of regressions between engine power and gross tonnage(t)

선종	배출원	정격 출력(PS) ,	결정계수(R <sup>2</sup> )
Container	주기 디젤(ME)	$P = 1.1631t - 1158.1$	0.9556
	보기 디젤(DE)	$P = 0.0464t + 194.31$	0.9213
여객선	주기 디젤(ME)	$P = 0.6816t + 1236.5$	0.7474
	보기 디젤(DE)	$P = 0.0682t + 161.62$	0.6358
일반화물선	주기 디젤(ME)	$P = 0.4294t + 1584.7$	0.7975
	보기 디젤(DE)	$P = 0.0315t + 178.41$	0.4155
산물선	주기 디젤(ME)	$P = 166.37 t^{0.4097}$	0.6812
	보기 디젤(DE)	$P = 72.161 t^{0.2239}$	0.4266

3.3 부산항의 부두별 거리와 소요시간 및 정박시간 산정

스테이션에서부터 부두까지의 거리를 측정하면 각각 5, 6, 7miles이다. 각 부두의 거리를 산출하고 입·출항에 소요되는 시간을 파악하면 각 선박의 항로의 평균 항해속도를 산출할 수 있으며

신선대, 감만, 자성대 부두를 입·출항하는 선박의 항로를 개략적으로 표시하였으며 파일럿

Table 5 Example of miles and time from ports

선종	톤수	해역코스	mile
일반화물	2,283	남외항(N-1)-중앙부두	19/2h
	28,805	남외항(N-3)-중앙부두	16/1h
	5,551	남외항집단박지-감천중앙	8/1h
	11,978	남외항(N-3)-중앙부두	16/2h
	35,691	남외항(N-3)-5부두	15/2h40m
	2,401	남외항(N-4)-1부두	14/1h
	15,884	남외항(N-3)-감천중앙	8/2h
풀컨테이너	4,601	남외항(N-3)-4부두	15/1h40m
	6,764	남외항(N-3)-7부두	14/2h
	15,533	남외항(N-3)-4부두	15/1h30m
	37,410	남외항(N-3)-자성대	15/2h
	26,131	남외항(N-3)-자성대	15/2h
	39,892	남외항(N-3)-자성대	15/1h40m
	64,054	남외항(N-4)-감만	11/1h35m

※남외항에서 북항의 부두까지의 거리는 파일럿 스테이션을 거쳐 계산한 값이다.



이로부터 ME의 부하율을 측정할 수 있다. Table5 은 실제선박의 입·출항 자료이며 이 자료를 보면 64,054 톤 풀컨테이너선이 입항시 걸리는 시간이 1시간 35분이며 남외항-파일럿 스테이션 -감만 부두를 경유하는 거리는 11 miles이며 속도를 6.5 knots로 계산하면 1시간 40분 정도가 나온다. 또한 도선사 협회의 자문을 구한 결과 6.5 knots, 모드는 slow 소요시간은 약 1시간이라는 자료를 얻었다. 이러한 자료로 부산항에 입·출항하는 선박에 주기 디젤 부하율은 slow로 정하여 계산을 하였으며 일반 화물선의 경우는 주로 감천항을 이용하므로 거리가 조금 상이하나 일괄적으로 이 부하율을 적용하였다. 본 연구에서 정박시간은 해양수산부의 선박관제정보로부터 직접 구하여 정박시간을 산정 하였다.

#### 4. NO<sub>x</sub> 배출량 산정방법

##### 4.1 부하율을 이용한 방법(산정식1)

일본환경청에서는 “질소산화물 총량 규제 매뉴얼”에서 선박의 주기관으로부터 배출되는 NO<sub>x</sub>를 기관출력으로부터 산출할 수 있는 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식을 제시 하였다. Table6은 이 산정식을 정리하여 나타낸 것이다.<sup>[13]</sup> Table6에서 제시한 NO<sub>x</sub> 산정식은 80년대의 선박의 데이터를 이용하여 도출된 식이며 일본의 NO<sub>x</sub> 배출량에 관한 논문들에서 가장 많이 사용하고 있어 이 결과를 그대로 적용하여 NO<sub>x</sub> 배출량을 산출하기로 하고 “NO<sub>x</sub> 산정식1”이라고 표현하기로 한다. 이 식은 부하율의 언급이 없으나 본 연구에서는 NO<sub>x</sub> 배출량은 이 산정식과 부하율에 비례하는 것으로 하여 계산하였다.

Table 6 Estimated equation 1 for amount of NO<sub>x</sub> emission

배출원	NO <sub>x</sub> 배출량 산정식(Nm <sup>3</sup> /h)	N: NO <sub>x</sub> 배출량(Nm <sup>3</sup> /h) P:정격엔진 출력(PS)
주기 디젤	$N=1.49 P^{1.14} * 10^{-3}$	
보기 디젤	$N=1.49 P^{1.14} * 10^{-3}$	

##### 4.2 부하별 실측자료를 이용한 방법(산정식2)

NO<sub>x</sub> 산정식1은 80년대 초반의 데이터를 이용하여 도출된 식이며 현재의 엔진들의 배출특성이 달라질 가능성 때문에 “질소산화물의 계측법과 배출 실태”라는 논문에서는 2 cycle 109대와 4 cycle 99대를 대상으로 A중유의 연료를 사용하여 육상시운전을 하였으며 도출된 식은 Table7에 정리하였다.<sup>[14]</sup>

Table 7 Estimated equation 2 for amount of NO<sub>x</sub> emission

Load	NO <sub>x</sub> 배출량 산정식(Nm <sup>3</sup> /h)	N:NO <sub>x</sub> 배출량(Nm <sup>3</sup> /h) P:엔진 출력(PS)
100%	$N=1.42 * P^{1.15} * 10^{-3}$	
75%	$N=1.26 * P^{1.18} * 10^{-3}$	
50%	$N=1.98 * P^{1.12} * 10^{-3}$	
25%	$N=3.13 * P^{1.08} * 10^{-3}$	

##### 4.3 NO<sub>x</sub> 배출량 계산방법 I

###### 4.3.1 입·출항시 NO<sub>x</sub> 배출량 계산

총톤수와 기관출력의 관계식 I 을 이용하여 선종별로 총톤수를 이용하여 기관출력을 구하고 주기 디젤의 부하율은 동경도 “대기오염 대책 추진을 위한 기초조사 보고서”의 자료를 인용하였으며 Table8에 정리하였다.

(1) 주기 디젤(ME)의 부하율 산정

입·출항시 엔진이 Full mode로 운항하지 않으므로 부하율이 계산시 필요하며 부하율은 Table8에 인용된 자료를 이용한다.

4.3.2 정박 중 NO<sub>x</sub> 배출량 계산

선박의 정박 중 보조 디젤의 부하율 산정은 일본 박용 기관학회의 자료를 인용하여 계산하였으며 Table9는 인용된 자료를 정리한 것이다. 또한 각 선종별 하역특성이 다르므로 부하율을 비하역중 부하율로 정하여 계산을 하였다.

4.3.3 계산 결과

Table10은 이상의 방법으로 산출된 NO<sub>x</sub> 배출량을 정리한 것이다.

4.4 NO<sub>x</sub> 계산방법 II

NO<sub>x</sub> 계산법 II는 총톤수와 기관출력과의 관계식을 이용하여 마력을 구하고 입·출항 및 정박시의 NO<sub>x</sub> 배출량은 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식1에 대한 보정식인 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식2을 사용하여 계산하였다. 입·출항시의 주기 디젤의 NO<sub>x</sub> 배

Table 8 Suggested load factor for ME

크기 항해모드	I	II	III	IV
	500톤 미만	500톤- 6,000톤 미만	6,000톤- 10,000톤 미만	10,000톤 이상
F	83	61	61	46
SF	68	42	30	19
H	46	32	20	14
S	26	21	11	11
DS	17	15	8	9

Table 9 Suggested load factor for DE (단위:%)

크기 정박형태	I	II	III	IV
	500톤 미만	500톤- 6,000톤 미만	6,000톤 - 10,000톤 미만	10,000톤 이상
비하역중 부하율	42	47	48	52
하역중 부하율	54	62	56	63

Table10 Results of calculation I

선종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO <sub>x</sub> (kg/month)	DE NO <sub>x</sub> (kg/month)
여객선	1,048,419	1,512	128	591,039	91,160	1,554	4,804
산물선	473,906	4,038	129	430,702	63,725	1,460	7,672
일반화물선	2,581,614	15,450	450	1,831,743	276,300	7,630	24,178
컨테이너선	12,538,157	15,905	803	5,947,049	100,826	16,568	77,335
합계						0	0

Table 11 Results of calculation II

선 종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO <sub>x</sub> (kg/month)	DE NO <sub>x</sub> (kg/month)
여객선	1,048,419	1,512	128	591,039	91,160	3,450	5,071
산물선	473,906	4,038	129	430,702	63,725	2,412	8,383
일반화물선	2,581,614	15,450	450	1,831,743	276,300	10,592	37,231
컨테이너선	12,538,157	15,905	803	5,947,049	100,826	35,314	81,059
합 계						51,768	131,744

출량은 NO<sub>x</sub> 계산법 I의 경우 주기 디젤의 부하율이 대략 11~26%이므로 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식2 중 Load 25%를 선택하고 정박시의 보조 디젤의 부하율은 NO<sub>x</sub> 계산법 I의 부하가 비하역중 42~52%이므로 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식2 중 Load 50%를 선택하여 계산하였다. 또한 입·출항시의 주기 디젤의 항해시간은 1시간으로 하였다.

Table 11은 계산 방법II에 의한 계산 결과를 나타낸다.

#### 4.5 NO<sub>x</sub> 계산방법III

앞에서 언급한 바와 같이 선박의 특성은 선종별로 다르기 때문에 총톤수와 기관출력과의 관계는 선종별로 분리하여 취급할 필요가 있다고

#### (1) NO<sub>x</sub> 배출량 산정식1을 이용한 결과

선 종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO <sub>x</sub> (kg/month)	DE NO <sub>x</sub> (kg/month)
여객선	1,048,419	1,512	128	872,874	92,190	2,420	4,640
산물선	473,906	4,038	129	510,517	50,979	1,816	5,490
일반화물선	2,581,614	15,450	450	1,823,109	161,784	8,572	19,404
컨테이너선	12,538,157	15,905	803	13,708,228	740,046	40,930	60,940
합 계						12,808	29,534

#### (2) NO<sub>x</sub> 배출량 산정식 2을 이용한 결과

선 종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO <sub>x</sub> (kg/month)	DE NO <sub>x</sub> (kg/month)
여객선	1,048,419	1,512	128	872,874	92,190	5,296	4,885
산물선	473,906	4,038	129	510,517	50,979	2,878	6,228
일반화물선	2,581,614	15,450	450	1,823,109	161,784	10,484	20,794
컨테이너선	12,538,157	15,905	803	13,708,228	740,046	90,088	63,445
합 계						12,808	29,534

판단된다. 입·출항시의 주기 디젤의 배출량 산정은 총톤수와 기관출력과의 관계식 I 을 이용하는 것보다는 선종별로 특성들이 틀리므로 각 선종별로 분리하여 유도된 관계식 II 을 사용하는 것이 더욱 정확하다고 판단하여 관계식 II 을 이용하여 계산하였다.

입·출항시의 주기 디젤의 배출량 산정은 총톤수와 기관출력과의 관계식 II 을 이용하여 계산하였고 입·출항 및 정박시의 NO<sub>x</sub>의 배출량 산정은 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식1과 2의 두 가지 수식을 적용하여 입·출항시의 주기 디젤의 NO<sub>x</sub> 배출량과 정박시의 보조 디젤 NO<sub>x</sub> 배출량을 계산하였다.

#### 4.6 NO<sub>x</sub> 계산방법의 결과 비교

Table12는 계산 결과를 비교하기 위하여 정리한 것이며 Table13은 계산 방법 I 을 기준으로 각 계산결과의 비율을 정리하여 나타낸 것으로서 계산 방법에 의한 NO<sub>x</sub> 총 배출량의 차이를 비교할 수 있다. 계산 방법 I, II, III 계산결과를 보면 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식1을 적용한 것과 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식2를 적용한 경우 주기 디젤(ME)의 NO<sub>x</sub> 배출량이 상당히 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 NO<sub>x</sub> 배출량 산정

식의 차이가 아니라 NO<sub>x</sub> 계산법 I 에서의 주기 디젤 부하율이 slow 시 톤수별 부하율 적용이 틀리고 6,000 ton 이상의 선박들에는 11%의 부하를 적용하기 때문에 NO<sub>x</sub> 계산법 II 의 25%부하율과의 차이로 인해 결과값이 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 보조 디젤(DE)의 결과값들은 부하율이 NO<sub>x</sub> 계산법 I 과 NO<sub>x</sub> 계산법 II 가 유사하므로 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 그러므로 NO<sub>x</sub> 배출량의 정확한 산정을 위해서는 부하율 적용에 대한 더 많은 자료 수집 및 분석이 필요하다고 생각한다. 한편 계산 방법 III 은 기관출력을 선종별로 분리하여 분석한 결과를 이용한 방법으로 예상한대로 선종별로 상당한 차이를 보인다. 보고서에 의하면 계산법 I 의 경우 분석한 선박의 자료들이 주로 산물선과 일반화물선에 속하기 때문으로 당연한 결과라 판단되며 선종별로 분리하여 적용하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 보조 디젤의 경우에는 이 경우에도 큰 차이를 나타내지 않는 것은 앞에서 언급한 바와 같다.

이상의 결과를 보면 기관출력의 산정은 선종별로 분리하여 취급하고, 입·출항시의 부하율에 관하여 검토하면 더욱 정확한 NO<sub>x</sub> 총배출량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 12 Comparisons for results of calculation

단위: kg/month

선종	계산방법		주기 디젤(ME) NO <sub>x</sub> 결과				보조 디젤(DE) NO <sub>x</sub> 결과			
	I	II	III		I	II	III			
			(1)	(2)			(1)	(2)		
여객선	1,554	3,450	2,420	5,296	4,804	5,071	4,640	4,885		
산물선	1,460	2,142	1,816	2,878	7,672	8,383	5,490	6,228		
일반화물선	7,630	10,592	8,572	10,484	24,178	37,231	19,404	20,794		
컨테이너선	16,568	35,314	40,930	90,088	77,335	81,059	60,940	63,445		
합계	10,644	16,184	12,809	18,660	36,654	50,685	29,535	31,909		

Table 13 Rate for results of calculation

계산방법 선종	주기 디젤(ME)					보조 디젤(DE)				
	I / I	II / I	III			I / I	II / I	III		
			(1)/ I	(2)/ II	(2)/(1)			(1)/ I	(2)/ II	(2)/(1)
여객선	1.0	2.2	1.6	1.5	2.2	1.0	1.1	0.9	0.96	1.1
산물선	1.0	1.5	1.2	1.3	1.6	1.0	1.1	0.7	0.7	1.1
일반화물선	1.0	1.4	1.1	0.9	1.2	1.0	1.5	0.8	0.9	1.1
컨테이너선	1.0	2.1	2.5	2.6	2.2	1.0	1.1	0.8	0.8	1.04
평균	1.0	1.70	1.23	1.43	1.75	1.0	1.23	0.85	0.84	1.08

## 5. 실자료와 비교 검토

### 5.1 총톤수와 기관출력의 관계식 검토

이 장에서는 이미 알려져 있는 실제 선박의 자료를 이용하여 본 연구에서 검토한 관계식들의 검증을 시도해 보고자 한다. 총톤수와 기관출력의 관계식 I 은 주로 이용한 데이터가 화물선에 국한되어 있으므로 검증을 위한 선종의 선택은 컨테이너선 1척과 화물선 1척을 가지고 검증을 해보았다.

#### (1) 기초 자료

선종	총톤수	ME 출력	DE 출력	비고
컨테이너	51,836	67,034	3,298	HYUNDAI ADMIRAL
산물선	29,160	11,841	943	OCEAN GOLD

\* 한국선급 등록자료<sup>(12)</sup>

#### (2) 결과

선종	총톤수	ME 출력		DE 출력	
		I	II	I	II
컨테이너	51,836	15,356	59,132	2,523	3,255
산물선	29,160	11,517	11,218	1,849	903

결과를 보면 알수 있듯이 총톤수와 기관출력의 관계식 I 은 산물선의 경우 실제 선박의 자료와 결과치가 비슷하나 컨테이너의 경우에는 상당한 차이를 나타낸다. 관계식 II 의 경우 컨테이너와 산물선의 계산결과 값이 실제 선박과 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있으며 선종별 특성을 고려하여 계산하는 것이 타당함을 입증하고 있다고 판단된다.

### 5.2 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식과 실제엔진 측정치의 비교

NO<sub>x</sub> 산정식<sup>1,2</sup>의 결과를 검증하기 위하여 엔진 제작자가 직접 측정하여 제시한 자료와 비교하였다. 비교 대상기관은 주기 디젤 3기종과 보조 디젤 4기종을 선택하였으며 그림 4.2.1은 주기 디젤 NO<sub>x</sub> 배출량의 측정 결과와 산정식<sup>1과 2</sup>에 의한 계산결과를 그래프로 나타낸 것이다. 각각의 결과들을 비교해보면 전체적으로 산정식 1과 2에 의한 계산결과가 측정치보다 약간 높게 예측되는 것으로 판단된다. 이는 선택된 각 기관이 비교적 최근에 개발된 기관으로 모두 IMO에서 요구하는 NO<sub>x</sub> 배출량 규제치를 만족하고 있어서 계산 결과치가 높다고 생각된다. 따라서 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식<sup>1과 2</sup>를 이용하면 실제선박에서 배출되는 NO<sub>x</sub> 배출량을 산정할 수 있다고



판단된다. 다만 산정식1과 2를 적용함에 있어서 주기 디젤의 경우 약 1.8배의 차이를 나타내므로 실제 선박의 항해 운항상태를 면밀히 분석하여 합리적인 부하율을 산정 해야 할 필요가 있다고 생각된다.

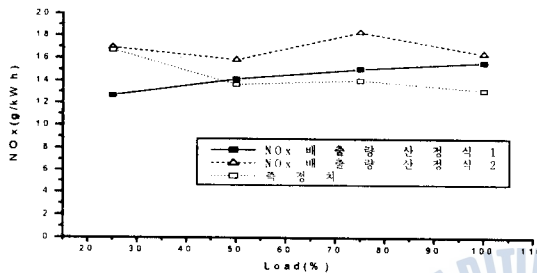


Fig. 3 Comparison of difference from measured value and calculated result for 6S50MC-C MK7

(4) NO<sub>x</sub> 배출량 산정에 있어서 정격출력시의 NO<sub>x</sub> 배출량 분석자료를 적용하는 것도 가능하나 이 경우에는 정확한 부하율 파악이 요구된다.

본 연구에서는 부산시의 대기오염에 미치는 부산항의 영향을 연구하기 위한 기초 연구로 시도하였다. 자료를 분석하는 과정에서 어선, 기타 선, Tug boat 등이 제외되었고, Boiler에 관한 고려도 제외되었기 때문에 연구결과를 그대로 신뢰하는 데는 무리가 있다고 판단되지만 계속적인 자료 분석을 통해 정확도를 높여갈 계획임을 밝힌다. 또한 본 연구에서는 부산항에서 NO<sub>x</sub>의 배출량에 대한 검토만을 하였으나, NO<sub>x</sub>가 부산시의 대기오염에 얼마나 영향을 미치는가를 검토할 필요가 있으며, 이를 위해서는 확산모델의 적용에 관한 연구<sup>[15]</sup>가 필요하다고 생각한다.

## 5. 결 론

이상에서와 검토한 바와 같이 부산항에 출입하고 정박하는 선박으로부터 배출되는 NO<sub>x</sub> 총 배출량의 산정을 시도하였으며 그 과정에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) NO<sub>x</sub> 배출량의 산정은 부하별 실측자료를 이용한 NO<sub>x</sub> 배출량 산정식2를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- (2) NO<sub>x</sub> 배출량 산정식은 산정식2를 이용하고 총톤수와 기관출력의 관계식은 관계식II을 이용하여 계산 한 결과는 204 톤/월 이며 이 결과는 4 가지 선종에 대한 결과이며 본 연구에서 제외된 선종들을 포함하면 약 243 톤/월 의 결과를 얻을 수 있다.
- (3) 전체 NO<sub>x</sub> 배출량에서 정박시 배출량이 차지 하는 비율이 높게 나타났다.

## 참고문헌

- [1] 정 용 일, 「자동차와 환경(www.autoenv.org)」
- [2] 舶用大氣汚染抑制檢討委員會, 「國際海事機構(IMO)における排氣ガス規制の最近の動向」, 日本舶用機關學會誌 第 32卷, 第 6号 1997-6 pp. 390-397
- [3] 平田 賢, 「船舶大氣汚染防止の動向と對應」, 日本舶用機關學會誌 第 32卷 第6号 1997-6 pp. 385-389
- [4] 김 대 식, 엄 명 도 「선박엔진의 NO<sub>x</sub> 배출량 산정」 한국박용기관학회 Volume 24, No.4 July, 2000 pp.441-445
- [5] EPA, 「Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines」, MP/conf. 3/34 Annex VI, 1997

- [6] EPA, 「Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data」, EPA420-R-00-002 February 2000
- [7] EPA, 「Incremental Cost Estimates for Marine Diesel Engine Technology Improvements」, EPA420-R-98-021 September 1998
- [8] 한국선급(www.krs.co.kr), 「등록선박 자료」
- [9] 해양수산부 통계연보, 2001년
- [10] 日本舶用機關學會, 「船舶大氣汚染物質削減手法檢討調査報告書」 1995年3月
- [11] 염 준 근, 「선형회귀분석」, 자유아카데미, 1997
- [12] 이 화 룡, 「Excel 97과 신 경영과학과의 만남」, 도서출판 혜지원, 1998
- [13] 日本システム開發研究所, 「船舶温室効果ガス排出量總合調査」 1996年 3月
- [14] 畔 津 昭 彦, 「窒素酸化物の計測法と排出實態」 日本マリンエンジニアリング 學會誌 第37巻, 第1号 2002-01 pp.49-57
- [15] 西川 榮 一, 財田 武彦, 「大阪灣を航海する船舶の大氣汚染物質排出量の推定」 日本舶用機關學會誌 第 29巻, 第 6号 1994-6 pp.412-421

