

공학석사 학위논문

부산항의 선박으로부터 배출되는
질소산화물의 배출량 산정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Discharge Amount of NO_x
Emission from Ships in Port of Busan

지도교수 최재성

2003年 2月

한국해양대학교 대학원

기관공학과

송화창

本 論 文 을 宋 和 昌 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위 원 장 裴 鍾 旭 (印)

위 원 趙 權 回 (印)

위 원 崔 在 星 (印)

2 0 0 2 年 12 月 10 日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

機 關 工 學 科 宋 和 昌

목 차

Abstract	iii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경.....	1
1.2 선행연구현황 및 연구목적.....	6
제 2 장 NO_x의 생성 및 환경에 미치는 영향	8
2.1 NO _x 가 오존생성에 미치는 영향.....	10
2.2 NO _x 가 환경에 미치는 영향.....	10
2.3 NO _x 생성기구 및 분류.....	14
제 3 장 선박으로부터 NO_x 배출량 산정방법	16
3.1 NO _x 산정방법 개요.....	16
3.2 부산항의 선종별 입·출항 통계자료.....	19
3.3 총톤수와 기관출력과의 관계식.....	21
3.3.1 선형회귀분석의 개요 및 방법.....	21
3.3.2 총톤수와 기관출력의 관계식 I	24
3.3.3 총톤수와 기관출력의 관계식 II	26
3.3.4 어선을 제외한 모든 선종의 선형회귀분석	33
3.4 부산항의 부두별 거리와 소요시간 및 정박시간산정.....	35
3.4.1 입·출항 거리와 소요 시간.....	36
3.4.2 정박시간 산정.....	38
3.5 NO _x 배출량 산정방법	38

3.5.1	부하율을 이용한 방법(산정식 I)	38
3.5.2	부하별 실측자료를 이용한 방법(산정식 II)	39
제 4 장	NO_x 배출량 산정방법에 의한 계산 결과	43
4.1	NO _x 배출량 계산 방법 I	43
4.1.1	입·출항시 NO _x 배출량 계산	43
4.1.2	정박중 NO _x 배출량 계산	45
4.1.3	계산 결과	45
4.2	NO _x 계산 방법 II	46
4.3	NO _x 계산 방법 III	47
4.4	NO _x 계산 방법 결과 비교	49
제 5 장	실자료와의 비교 검토	51
5.1	선박의 총톤수와 기관출력과의 관계식의 검토	51
5.2	NO _x 배출량 산정식과 실제엔진 측정치와의 비교	52
제 6 장	결 론	59
참 고 문 헌		61

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_x Technical Code were adopted by the IMO.

Particularly from the year 2000, according to Regulation 13 Nitrogen Oxides(NO_x) of the Annex VI, this regulation shall apply to new marine diesel engines greater than 130 kW 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_x Technical Code.

In order to prevent the port city from air pollution, we have to know how many tons of NO_x emit from ships in all port city and we should make our own implementation schedule depending on our country's status.

For this purpose, this study investigates the discharge amounts of nitrogen oxides(NO_x) from all ships in the port. But it is difficult to survey for the discharge amounts of NO_x from all ships in a port city due to time and cost.

Marine engine power is very related to Gross tonnage of ship and the amount of NO_x emission is related to engine power. Therefore the method

of calculation can be obtained from these relationships.

So this report proposed the method of calculation without onboard survey. With the comparison and analysis of other countries emission control regulation, author proposed basic data of total discharge NO_x emission from ships in the port and future emission control standard in our country. Especially, this report focused on port of Busan, because marine traffic of Busan is very intensified.

From the Busan Regional Maritime Affairs and Fisheries office, ships types were classified into container ship, bulk carrier, general cargo ship, passenger ship.

Marine engine power is directly related to Gross tonnage of ships therefore a regression across four ship types was performed by using KR registration data statistically.

As the result, the estimation results reveal that total discharge amount from ship is large unexpectedly ,but there is few report that NO_x emission from ship will have an effect on the coastal environment. Thus its effect should be investigated in order to search the proper procedures against air pollution.

The more study will need to research OCD(Offshore and Coastal Dispersion)model for coastal environment effect.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

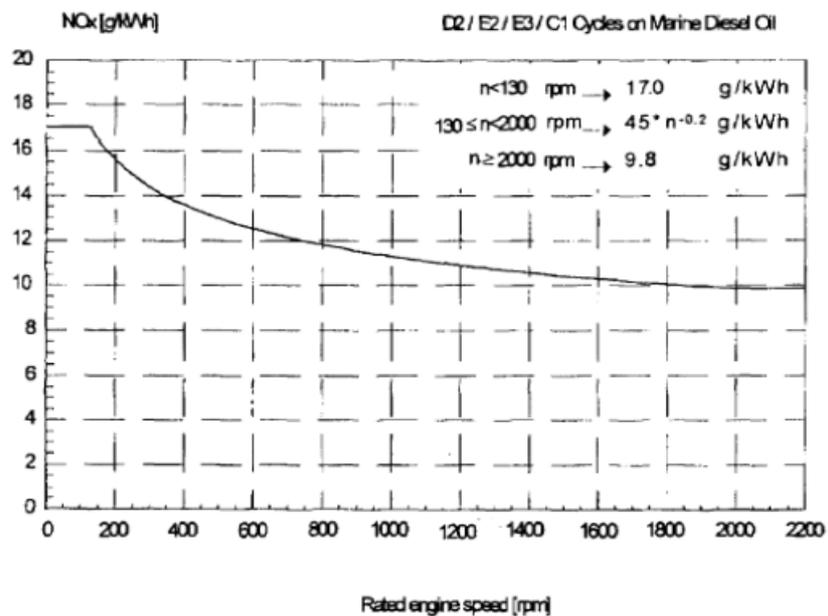
지구환경오염 방지에 대한 관심이 고조됨에 따라, 해상에서는 1954년 해양오염방지협약(MARPOL 73/78)을 채택되었고, 해상에서의 기름에 의한 오염의 국제적 규제가 실시되었다. 육상에서는 1952년 대도시인 영국 런던에서 석탄연료 사용에 의한 공기오염사고가 발생하면서 본격적인 공기오염 방지법이 제정되기 시작하였다. 한편 미국은 대기오염사건으로 그 해 공기오염 방지법을 제정하였으며 규제정도를 더욱 강화하고 있는 추세이다.⁽¹⁾

이와 같이 세계각국과 국제전문기구들이 환경보호 입법활동을 통해 대기오염규제를 강화하자 국제해사기구(IMO)은 1988년 9월 제 26차 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)에서 Norway의 선박에 의한 대기오염문제의 제기에 이어, 1990년과 1991년의 MEPC 30차, 31차 회의에서 선박으로부터의 대기오염방지를 위한 IMO총회 결의 초안 작성 및 승인을 거쳐, 91년 11월 IMO 제 17차 총회에서 이에 대한 결의문을 총회 결의 A.719(17)로 채택하였으며 1997년 9월 26일 지금까지 논의의 대상에서 제외되었던 「선박으로부터 대기오염방지를 위한 협약」을 제 40차 MEPC에서 승인하고 제3차 MARPOL 당사국회의에서 채택하였다.⁽²⁾⁽³⁾

대기오염방지협약은 조기발효를 위하여 별도의 협약으로 제정하지 않고 기존의 해양오염방지협약인 MARPOL 73/78의 새로운 부속서(Annex VI)로 채택하였으며 MARPOL 협약 당사국 15개국 수락 및 수

락 한 국가의 선복량이 전세계 상선 선복량의 50%이상인 날로부터 12개월 후에 발효되며 동 협약이 2002년 12월 31일까지 발효되지 않았을 경우 2003년에 개최되는 MEPC 회의에서 조기 발효를 강구하도록 결의안으로 채택되어 있다.⁽⁴⁾

그러나 NO_x 규제에 대해서는 2000년 1월 1일 이후 선박에 탑재되는 출력 130kW이상의 디젤엔진이나 주요한 개조가 이루어지는 출력 130kW이상의 디젤엔진에 대해 NO_x 규제안(regulation 13)이 적용되며, 시험, 검사 및 승인을 위해서 선박디젤엔진의 NO_x 배출에 관한 기술코드(NO_x Technical Code)가 마련되었다. 그림.1.1은 IMO의 NO_x 규제의 내용을 나타낸 그림이다.⁽⁵⁾



where n = rated engine speed (crankshaft revolutions per minute)

그림 1.1 Marine Diesel Engine의 NO_x 최대 허용치

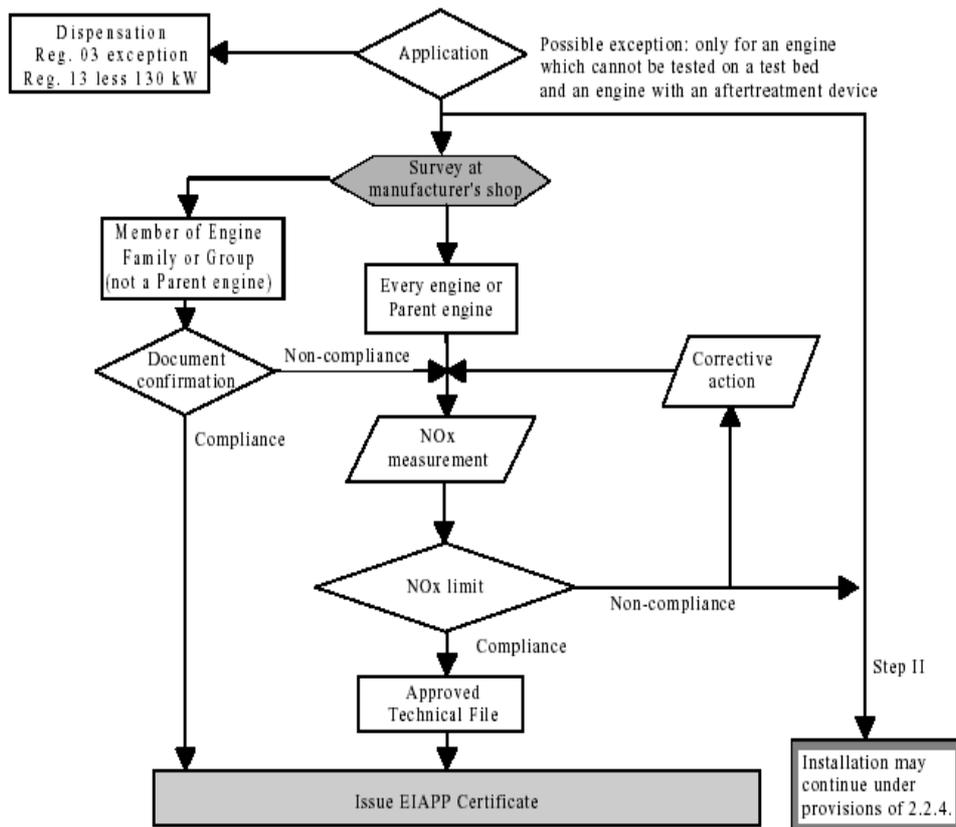


그림.1.2 제조공장등에 있어서의 NO_x 검증 흐름도

그림 1.2는 EIAPP(Engine International Air Pollution Prevention, 엔진 국제대기오염방지)증서의 취득 절차를 나타낸 것이다. 이 증서는 NO_x 배출에 관계되는 엔진에 대하여 선박에 탑재하기 전에 엔진 제조공장에서 검사에 적합한 엔진 및 그것을 새로운 엔진으로 한 family 또는 group의 엔진에 발급되는 증서로써 NO_x Technical Code를 근거로 검사를 수행한다.

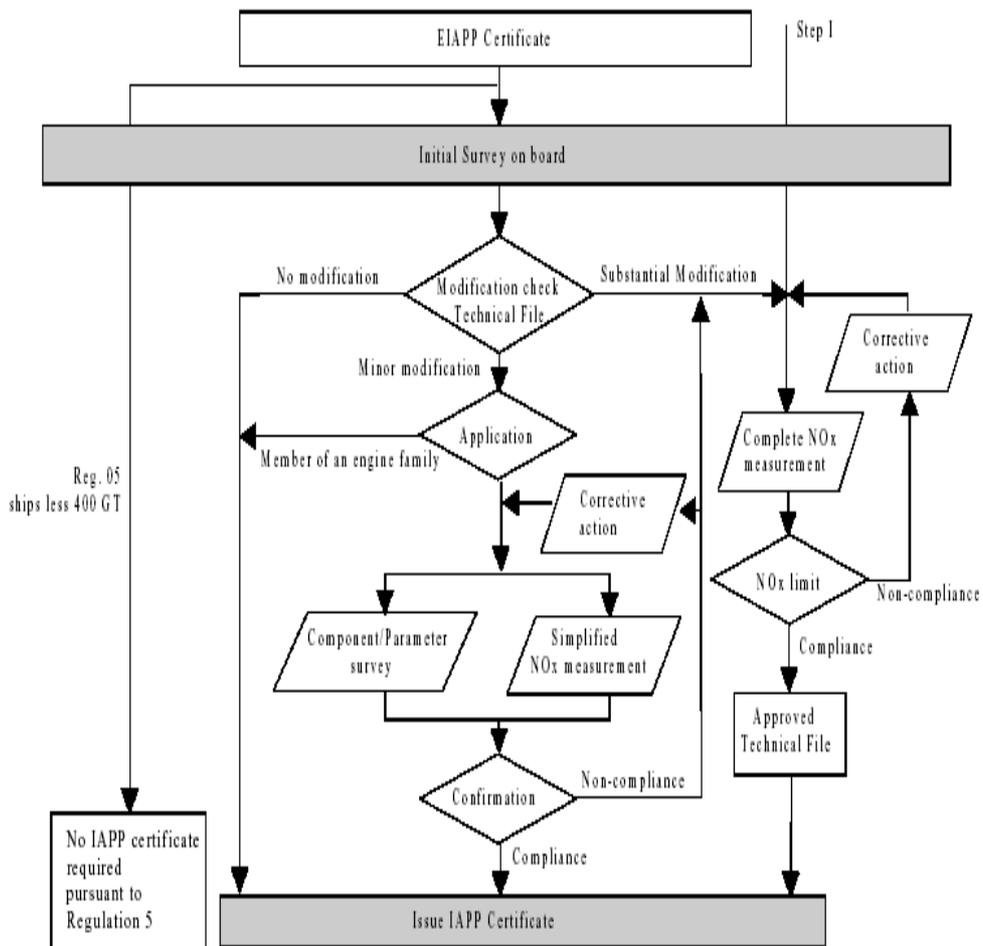


그림 1.3 선상에 있어서의 NO_x 검증 흐름도

그림1.3은 IAPP(International Air Pollution Prevention, 국제 대기오염 방지)증서의 발급절차를 Flow chart로 나타낸 것으로, IAPP 증서는 EIAPP 증서를 취득한 엔진이 선박에 탑재된 후, 본 검사요령에 따른 최초검사를 행하고 대기오염물질에 대한 적합성이 확보된 경우 대상

선박에 대하여 발행되는 증서를 말한다. 그림1.4는 최초 검사후 5년마다 규제치를 만족하는지를 검사하고 만족시에 IAPP증서를 갱신하는 절차를 Flow chart로 표시한 것이다. 이러한 각종 규제 및 증서의 발급은 오존층 파괴로 인한 지구의 온실효과를 줄이기 위한 노력들이며, 이에 못지 않게 온난화를 유발하는 인자들의 오염정도와 실태를 지역적으로 파악하는 것이 중요하다.

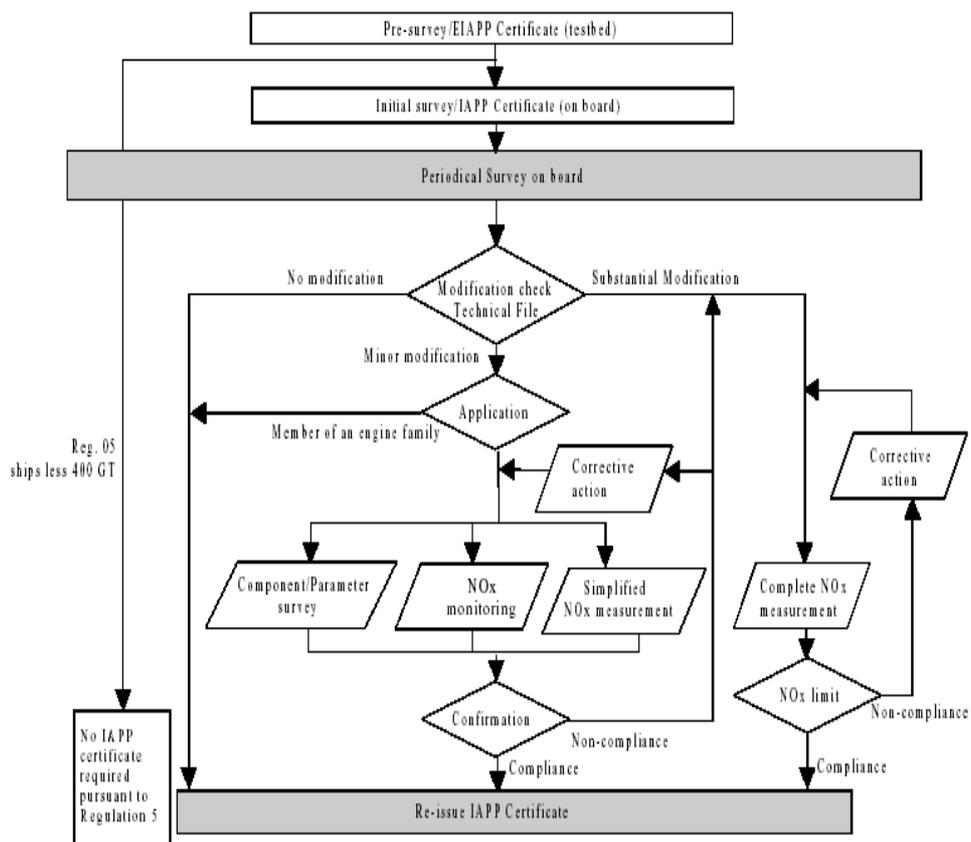


그림 1.4 선상에 있어서의 정기적 NO_x 검증 흐름도

1.2 선행연구현황 및 연구 목적

환경청의 “년도별·배출원별 오염물질 배출량”의 조사에 따르면 전국에서 대기오염물질 중 NO_x의 비율이 전체의 28%를 차지하고 있으며 부산시의 경우 자동차에서 대기오염물질 배출량은 120,575 ton이고 그 중 NO_x의 배출량은 35,295 ton 이다. 또한 전국의 대기오염물질 504,000 ton 중 부산시의 선박 및 기타로부터의 대기오염물질 배출량은 168,279 ton이다. 이와 같이 부산시의 경우 자동차의 대기오염물질 배출량보다 선박의 배출량이 많다는 것을 알 수 있으며 지역적인 실태조사가 필요하다고 판단된다. 그림1.5는 이 조사 결과들을 나타낸다.

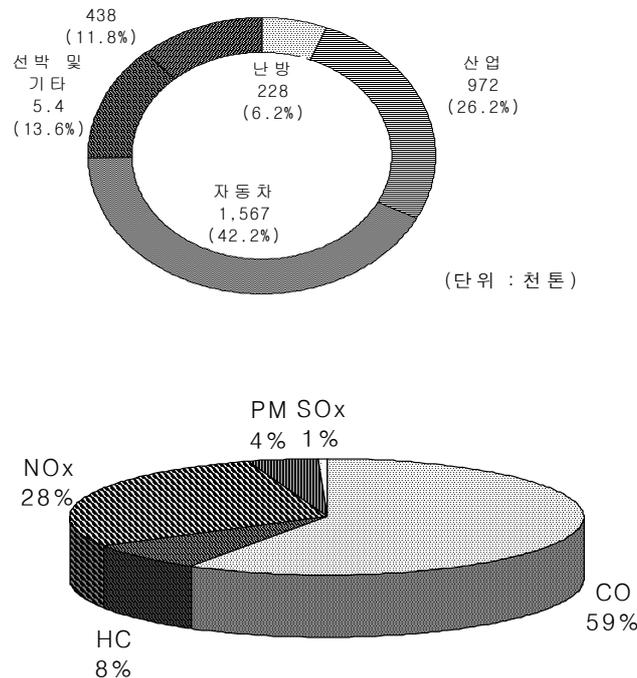


그림 1.5 전국의 대기오염물질 배출량 현황

그러나 환경청에서는 각 항구별 선박으로부터의 NO_x 배출량을 집계하지 않고 있으므로 파악이 곤란하다. 이를 위해서는 통계적 산정방식이 필요하며 본 논문에서는 선박으로부터 배출되는 대기 오염 물질 중 이미 규제가 시작된 NO_x의 배출량 산정을 시도해 보고자 한다. 그러나 이러한 기초 자료들을 얻기 위해서 실제 선박에 승선하여 계측한다는 것은 많은 경비와 시간이 요구된다.

외국에서는 이러한 실태 조사가 점차 증가하고 있는 추세이다. 특히 미국 환경청 EPA와 일본 환경청에서는 각 항구별로 선박의 NO_x 배출량을 산정 하여 실태파악에 노력하고 있다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 국제적 동향과 조화되는 기준을 도입하기 위해서는 우리 나라 항만에서의 선박에 대한 NO_x의 배출량을 파악하는 것이 시급하다. 또한 이러한 자료를 토대로 우리나라의 실정에 맞는 허용기준의 제정과 적용시기를 결정해야할 필요가 있다.

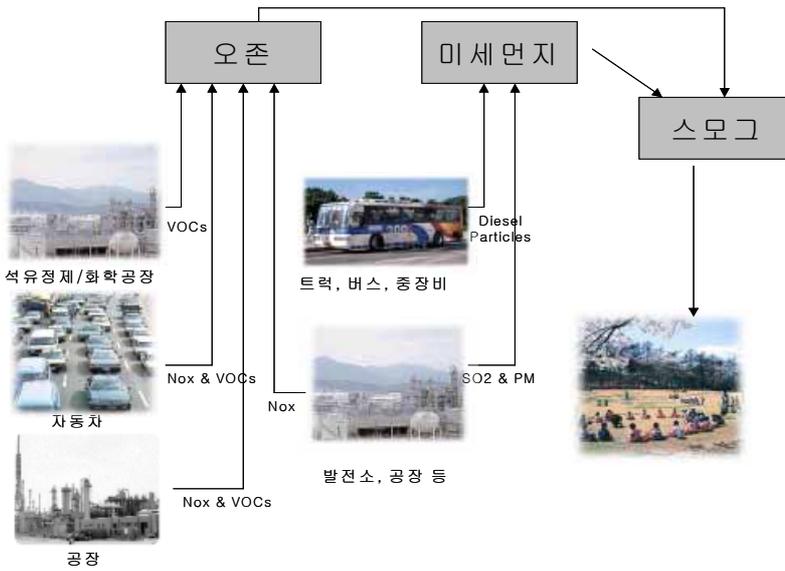
따라서 본 연구에서는 부산항에서의 선박으로부터 배출되는 NO_x량을 계산적으로 산정 하는 방법을 제시하고 이미 연구보고 되었던 일본과 미국에서 제시한 산정 법들을 비교 검토하였다. 또한 이러한 계산식의 검증을 위해 실제 엔진 제조사에서 측정된 자료를 토대로 계산을 수행하였다. 이들 결과의 비교로부터 부산항을 입·출항하는 선박으로부터 배출되는 NO_x의 배출량을 산정 하였으며 다른 대기 오염물질의 배출량 산정에도 유용한 자료를 확보하였다.

제 2 장 NO_x의 생성 및 환경에 미치는 영향

2.1 NO_x가 오존생성에 미치는 영향

지구가 만들어진 초기단계에서는 오존층이 없었으나 녹색식물이 산소를 만들면서 대기 중의 산소농도가 증가하게 되었고, 태양에너지로 인해 산소분자는 산소원자로 분해되면서 산소분자와 산소원자가 결합하여 오존을 형성하게 되었다. 오존은 대기 중의 산소분포에 따라 고도 약 25km 부근(성층권)에서 최적의 오존생성 조건이 되어 오존층이 형성되게 되었다. 이론적으로는 오존층이 계속 증가되어야 하나 자외선을 흡수하면 산소원자와 산소분자로 분리되는 오존의 불안정한 구조로 인해 성층권의 오존량은 일정하게 유지된다. 성층권에 형성된 오존층은 태양으로부터 오는 자외선을 지표면에 도달하기 전에 대부분 흡수하여 지구 생물을 보호하는 역할을 한다. 자외선내의 복사과장은 모든 형태의 생물체에게 해롭기 때문에 오존층의 역할이 매우 중요하며, 또한 대기권의 온도분포에 영향을 주기 때문에 지구의 기후조절에도 큰 영향을 준다. 성층권에 형성된 오존층은 자연적으로 생성되어 지구생물의 보호, 기후 조절기능 등의 역할을 하기 때문에 보호가 필요하지만 주로 대기오염에 의해 생성되는 대류권의 낮은 고도에 존재하는 오존은 광화학스모그를 유발하는 등 여러 가지 해로운 영향을 주고 있다. 인위적으로 배출된 대기오염물질의 대부분은 통상 지상으로부터 1~2 km 이내에 존재한다. 대기오염물질 중 질소산화물과 휘발성유기화합물은 햇빛에 의한 화학반응에 의해 오존을 생성하여 대기 중 오존농도가 증가하게 된다. 그리고 이 오존의 일부는 대기 중 또 다른 오염물질과의 2차 반응에 의해 미세입자를 만들어 하늘이 뿌옇게 보이는 광화

학스모그 현상을 일으킨다. 이에 따라 가시거리가 짧아지는 등 시정이 나빠지고 호흡기나 눈을 자극하는 등의 건강에 장애를 주며 농작물에도 직·간접적인 피해를 주는 데 이를 지표오존이라 한다. 그림 2.1.1은 광화학 스모그의 발현현상 과정을 정리하여 나타낸 것이다.

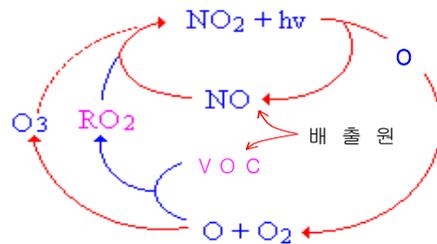
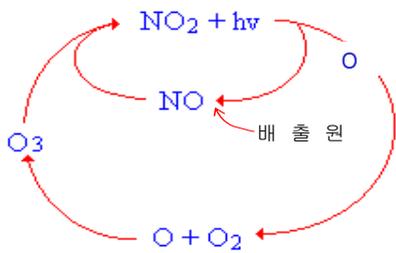


VOCs : 휘발성유기화합물
 NO_x : 질소산화물
 SO₂ : 아황산 가스
 PM : 입자상 물질(미세먼지)

그림 2.1.1 광화학 스모그의 발현현상

오존의 생성 반응은 가정, 자동차, 사업장 등에서 대기 중으로 직접 배출되는 오염물질이 아니라, 이들에서 배출된 질소산화물[NO_x = NO+NO₂ : 연소과정에서 90~95% 이상이 NO로 배출됨]과 휘발성유기화합물(VOC)이 대기 중에 함께 존재한 상태, 또는 질소산화물만이 존재하는 상태에서 햇빛에 의하여 광화학반응으로 생성되는 2차적 오염물질이다. 그림.2.1.2는 광화학 반응에 의한 오존 생성반응을 나타낸 그림이다.

그림 2.1.2의 (a)와 같이 대기 중에 질소산화물만이 존재한 경우에는 먼저 일산화질소(NO)가 이산화질소(NO₂)로 산화되고, 이 NO₂가 햇빛(자외선 중의 장파와 가시광선 중의 단파 $\Rightarrow h\nu$)에 의해 산소원자(O)와 NO로 광분해된다. 그리고 산소원자는 대기 중의 산소분자와 반응하여 오존을 만들며, 이 오존은 다시 NO를 NO₂로 산화시키는 데 소비된다. 따라서 이 과정에서는 오존농도가 증가하지 않고 일정한 농도로 유지되게 된다. 그러나 휘발성유기화합물이 존재하는 경우에는 그림 2.1.2의 (b)와 같이 산소원자와 휘발성유기화합물의 반응에 의해 과산화기(RO₂)가 생성된다. 이 과산화기에 의해 NO는 NO₂로 매우 빨리 산화된다. 따라서 NO를 NO₂로 산화시키는 오존이 덜 소모되어 대기 중의 오존농도는 증가하게 된다. 도시지역에서 하절기의 낮 시간대에 고농도 오존발생에 대한 주의보가 자주 발령되는 것은 이와 같은 반응에 연유한다.⁽⁹⁾



(a) 휘발성유기화합물 없을 때의
일정 오존농도 유지 반응

(b) 휘발성유기화합물이 있을 때의
오존농도 증가 반응

그림 2.1.2 광화학 반응에 의한 오존 생성반응

2.2 NO_x가 환경에 미치는 영향

질소 산화물은 대기중의 질소와 산소의 화학반응으로 생성되는 물질로서 그 종류로는 N₂O, NO, N₂O₂, NO₂, N₂O₄, N₂O₅등이 있고, 이를 총

칭하여 NO_x라 한다. 이들 NO_x 중 대기환경을 오염시키는 주요 물질에는 N₂O, NO, NO₂등이 있고 그 특성과 환경에 미치는 영향은 다음 표 2.1과 같이 정리할 수 있다.⁽¹⁰⁾

표 2.1 질소산화물이 생태계에 미치는 영향

특성 NO _x	생성 기구	특징 및 영향
N ₂ O	NH ₄ NO ₃ ⇒N ₂ O+2H ₂ O(열분해) 질산암모늄을 가열하면 185℃정도에서 분해하기 시작하고 250℃에서는 격렬하게 이 가스가 발생함.	<ul style="list-style-type: none"> - 향기와 약간 단맛이 나는 무색의 기체 (액체,고체도 무색)로서 CO₂,CH₄와 함께 지구 온난화를 유발하는 물질 - 소량흡입하면 흥분을 일으키고 얼굴의 근육에 경련이 일어나서 웃음가스라고도 함. - 대량 흡입시 마취효과(최초마취제로 사용) - 실온에서 비활성 상태이나, 500℃ 이상에서 O₂, N₂, NO로 생성되며 H₂ 와 HC의 연소를 지속시키는 특성
NO	N ₂ +O ₂ +열(21.6 Kcal, 흡열반응) ⇒ 2NO	<ul style="list-style-type: none"> - 무색 무취의 기체 - 주로 연소과정에서 대기 중 질소의 산화에 의해 생성되며 고온일수록 생성량이 증가함. 대기 중에서 정전기의 방전시에 많은 양이 생성. 이 때의 1V의 전압은 N₂+O₂ 결합에 충분한 에너지임. N₂+O₂ → 2NO or NO₂ - 혈액중의 헤모글로빈과 결합하여 산소 결핍증을 유발 - 반응성이 매우 큰 특성으로 대기 상태에서 O₂와 반응하여 대부분 적갈색인 NO₂로 전환 - 액체화되기 어렵고 공기보다 약간 무거움. 다른 물질과 작용하기 쉬워서 할로젠X와 할로젠화 니트로실 NO_x를 만들.
NO ₂	N ₂ +O ₂ ⇒ 2NO 혹은 NO ₂	<ul style="list-style-type: none"> - 질식성 가스로서 주로 대기 중에서 정전기의 방전시 대량 생성 - Aerosol을 생성하며 도시나 공업지역의 광화학 스모그 형성의 주성분 - 소량 흡입시 기관지가 축소되고, 150-220[ppm]이상에선, 폐의 손상으로

- 계속 -

특성 NOx	생성 기구	특징 및 영향
NO ₂		<p>사망에 이르나 보통 대기중에는 ppb 이하임.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적갈색 기체로 150℃에서 색깔이 가장 진하고, 그 이상에서는 해리하여 NO로 되어 색이 연해짐. - 광화학적 반응을 하지않으면 수증기와 반응함. $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$ (아질산) $4NO_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4HNO_3$ 이것이 대기중의 암모니아 또는 금속입자와 반응 $NH_3 + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$ 이러한 산 및 염은 Aerosol을 생성하여 공기로 부터 이탈한다. 즉 NO₂는 Aerosol을 형성 - 도시 및 공업지대의 안개의 주원인이 되며 대기중에 약 3일간 존재한다.
NO ₃	N ₂ O ₅ 의 증기와 오존화한 산소의 작용으로 얻어짐.	<ul style="list-style-type: none"> - 100℃에서 발화하여 갈색불꽃을 내고 N₂O₅와 산소로 됨. - 물에 녹은 것이 기체보다 안정하며 강한 산화력이 있으나 얼마 안 가서 질산과 산소로 분해하고 산화력은 없어짐. - 물보다 에테르에 잘 녹음.
N ₂ O ₃	질산을 삼산화비소 또는 녹말로써 환원하거나 아질산나트륨에 질산을 작용시켜서 얻음. (아질산무수물)	<ul style="list-style-type: none"> - 순수한 것은 고체로서만 존재함. - 고체는 연한 청색, 녹는점 -102℃ - 액체에서는 일부 해리하여 N₂O₄ (또 NO₂도 생김)와 NO로 되는데 이 해리도는 온도와 함께 증가함. - 용액은 -30℃에서는 진한 청색이지만 상온에서 초록색을(NO₂ 때문) 띠.

- 계 속 -

특성 NOx	생성 기구	특징 및 영향
N ₂ O ₄	기체 상태에서는 NO ₂ 와 평형을 유지하면서 존재함.	<ul style="list-style-type: none"> - N₂O₄를 혼합냉각제로 식힌 그릇 안에서 서리게 하면 황색 액체(끓는점 22℃)로 되고 -10℃에서는 무색고체로 됨. - 무색 고체는 N₂O₄이지만 즉시 NO₂로 분해함.
N ₂ O ₅	차고 진한 질산(비중 1.5을 P ₂ O ₅ 와 증류,탈수 하거나 냉각한 액체 N ₂ O ₄ 에 오존을 작용시켜 만들.또는 질산은과 염소를 반응시켜도 됨.	<ul style="list-style-type: none"> - 단단한 기둥모양의 무색 결정 - 0℃이상이 되면 NO₂와 산소로 분해되기 시작함. - 폭발성이 있음. - 물에 녹아서 질산으로 됨.
N ₂ O ₆	질산에 플루오르를 작용 시키든지 또는 NO와 액체공기의 반응에 의해 얻어지는 초록색 고체.	<ul style="list-style-type: none"> - 매우 불안정 - 방치하면 지체없이 분해하여 산소를 잃음.

2.3 NO_x의 생성기구 및 분류

(1) Thermal NO_x

공기중의 N₂를 기원으로 하며, 1800 K이상의 고온 영역, 그리고 당량비(ϕ)가 1보다 작은 경우(연료희박상태)에 화염대 후류 영역에서 생성되는 NO_x를 말하며 Zeldovich기구에 의해서 해석할수 있는 NO_x를 Thermal NO_x라 한다.

이 Thermal NO_x의 발생의 주된 반응식은 다음과 같다.⁽¹¹⁾



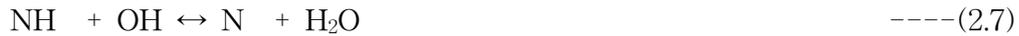
디젤 엔진에서 발생하는 NO_x의 대부분은 이러한 Thermal NO_x 이다.

(2) Prompt NO_x

공기중의 질소를 기원으로 하면서도 확대 Zeldovich 기구 이외의 경로에 의해 급속히 생성되는 NO_x를 Prompt NO_x라고 한다. 즉 연료 과농 화염에서는 화염대 하류에서 서서히 NO가 생성되는 연료희박화염에서와는 달리 거의 대부분의 NO가 화염대내에서 생성되는데 화염대 전반부에서 생성된 HCN이 후반부에서 감소되어감에 따라 NO가 생성된다. 생성농도는 당량비 ϕ 가 1.2~1.4에서 최대가 된다. 이와 같이 Prompt NO_x의 생성 반응은 연소의 연쇄반응에 포함되어 있으나 포괄적인 생성기구는 다음과 같다. 즉 탄화수소의 열분해 반응의 도중에 CH 및 CH₂가 중간생성물로서 생성되고, 이들이 공기중의 N₂와 반응하여 HCN, N, NH를 만든다.



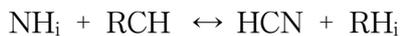
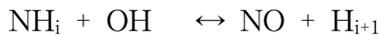
HCN과 NH는 일련의 반응을 거쳐 NO로 변화한다.



이 Prompt NO_x는 최근에 와서 확산화염연구에 의해 중요성이 인식되고 있다. Prompt NO_x 생성에 관여하는 반응은 활성화 에너지가 작은 것이 많고, 온도를 낮추어도 생성량에 큰 변화는 보이지 않는다.⁽¹¹⁾

(3) Fuel NO_x

Fuel NO_x는 연료를 기원으로 생성되는 NO_x로서 연료유에 함유된 질소분 (Fuel N)이 연소과정중 O₂에 의해 산화되거나, 화염대에서 질소분(N)이 분해하여 중간생성물로 된후 OH와 반응하여 NO를 생성하거나 HCN을 생성한 후 일부가 OH와 반응하여 NH_i로 분해되는 일련의 반응을 거쳐 Fuel NO_x를 생성하게 된다. 생성되는 반응식은 다음과 같다.⁽¹¹⁾



여기서 R은 Alkil radical(O₂, O, OH)중의 하나이다.

제 3 장 선박으로부터의 NO_x 배출량 산정방법

3.1 NO_x 산정방법 개요

어떤 한 척의 선박이 부산항에 입·출항하는 과정에서 배출하는 NO_x량을 산출하기 위해서는 부산항 입구에서 부두에 접안하기 까지 걸리는 시간과 접안 후 정박시간 그리고 입·출항시 및 정박시에 주기디젤(ME),보조디젤(DE), Boiler로부터 배출되는 NO_x 배출농도 및 배기 가스량 등의 자료가 필요하다. 부산항을 입·출항하는 선박이 부산항에 체류하는 기간동안에 배출하는 NO_x량을 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.⁽¹²⁾ 다음으로 주기관으로부터 배출되는 NO_x 배출량의 산정을 실측자료를 토대로 제시된 NO_x 배출량과 출력과의 관계식을 이용하기로 한다. 선박의 정박시간은 해양수산부의 관계정보를 통하여 선박별로 산출하였다. 이상의 자료들을 이용하면 부산항에 입·출항하는 선박의 정박시간을 포함하여 부산항에 정박하는 기간동안 배출하는 NO_x 배출량을 산출할 수 있으며 이를 정리한 것이 그림 3.1.1과 3.1.2이다. 선박의 운항은 크게 항해와 정

박으로 나눌 수 있고, 항해는 또한 입·출항과 대양항해로 나눌 수 있다. 부산항에서의 선박의 NO_x 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 ME와 DE에 비해 상대적으로 적으므로 계산에서 제외하였다. 그림 3.1.1은 입·출항시의 NO_x 배출량의 산정방법을 간략히 표시한 것이며 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 항해거리가 필요하다. 이러한 거리는 입항할 부두에 따라 틀리므로 부두에서 과일롯 스테이션 까지의 거리로 구할 수 있다. 이러한 자료를 토대로 연간 NO_x 배출량을 구할 수 있으며 추가로 연간 입·출항 선박에 대한 척수 및 총톤수의 자료가 필요하다. 또한 그림 3.1.2은 선박이 정박 중 배출하는 NO_x량을 산정하는 방법을 간략히 나타내며 정박중의 선박의 보조디젤(DE)이 100% 전부하의 운전이 아니므로 부하율의 선정 자료와 정박시간이 필요하다.

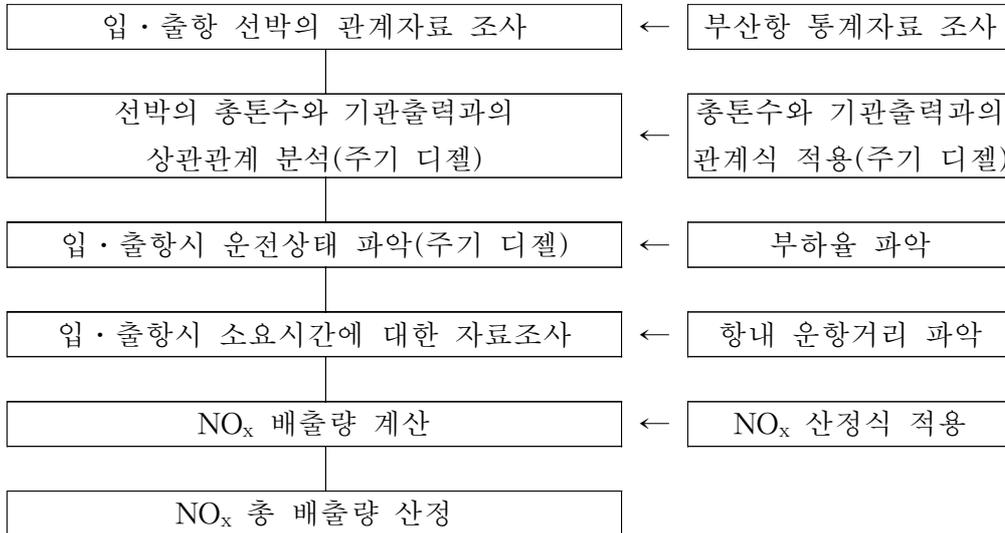


그림 3.1.1 입·출항 NO_x 배출량 산정방법의 순서도

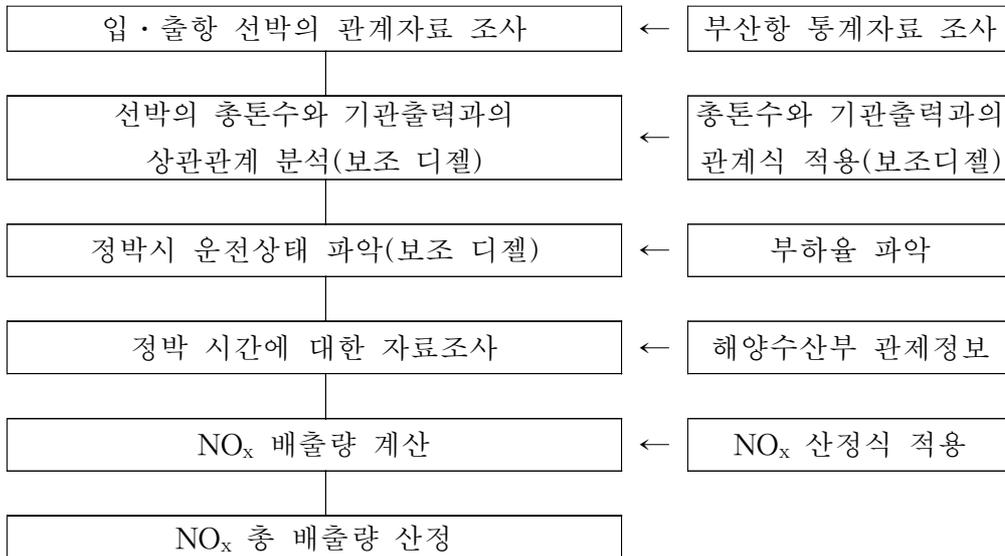


그림 3.1.2 정박중의 NO_x 배출량 산정방법의 순서도

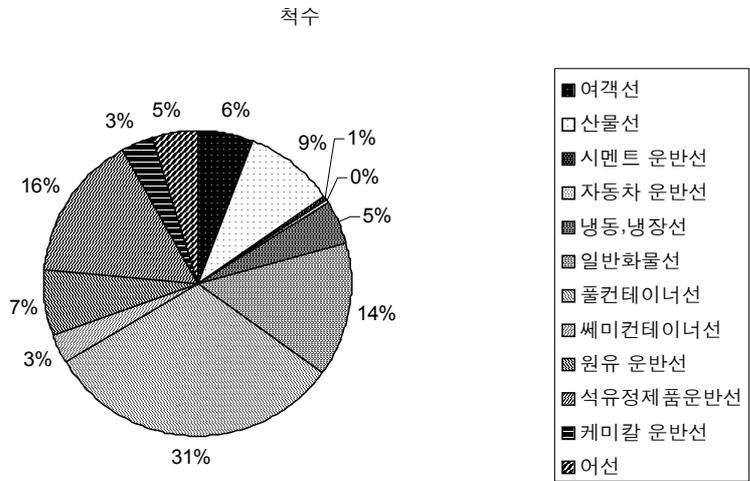
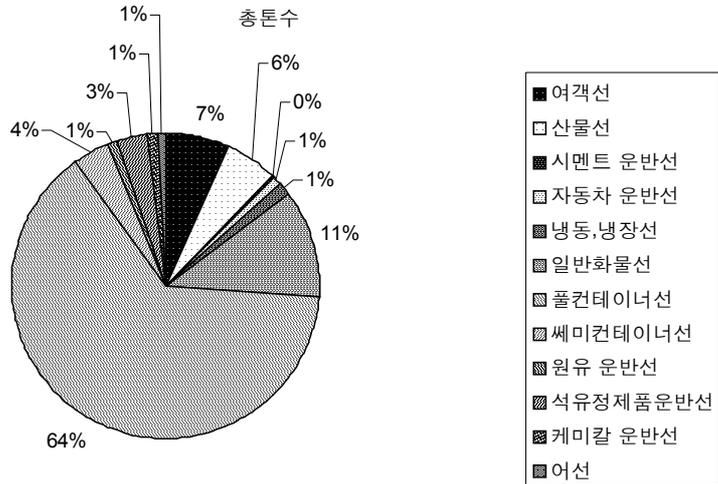
3.2 부산항의 선종별 입·출항 통계자료

표 3.2.1은 해양수산부에서 2001년 1월 한달 동안 부산항에 들어왔던 선박의 선종 및 척수, 총톤수(GT)를 집계한 자료이다.⁽¹³⁾ 본 연구에서는 자료의 방대함으로 인해 부산항의 2001년 1월의 자료를 사용하여 계산을 해보았다. 표 3.2에는 부산항에 출입하는 선박의 종류별 척수를 나타낸다. 분석의 효율성을 위해 그림3.2.1의 그래프에서 나타낸 점유비율이 낮은 종류의 선박을 무시하였고 차지하는 비율이 큰 여객선, 산물선, 일반화물선, 풀 컨테이너선, 썬미 컨테이너선을 선정하여 계산하였으며, 풀 컨테이너선과 썬미 컨테이너선은 컨테이너선으로 묶어서 계산하였다.

표 3.2.1 2001년 1월 입항선박 선박용도별 통계

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
핫코일 운반선	2	3,940
냉동,냉장선	123	319,262
일반화물선	378	2,458,227
풀컨테이너선	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

그림 3.2.1 2001년 1월 입항선박 선박용도별 통계



3.3 총톤수와 기관출력의 상관관계

3.3.1 선형회귀 분석의 개요 및 방법 ⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾

일상생활에서나 학문연구에서 둘 또는 그 이상의 변수들이 서로 관계를 가지고 변화할 때 그 관련성을 규명해야 할 경우가 많이 있다. 예를 들면 지능지수를 하나의 변수로 보고 수학점수를 또 다른 하나의 변수로 보았을 때 지능지수와 수학점수간에는 어떤 관계를 가지고 있는가를 알아보고자 하는 경우 등이며, 이와 같이 변수들간의 관련성을 자료를 통하여 알 수만 있다면 한 변수의 변화를 관찰하여 다른 변수의 변화를 예측할 수도 있을 것이며 관심 있는 변수의 최적점은 다른 변수들의 어떤 값들을 취할 때 얻어질 것인가를 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 여기서 독립변수란 서로 관계를 가지고 있는 둘 또는 그 이상의 변수들 중에서 다른 변수에 영향을 주는 변수를 독립변수(independent variable) 또는 설명변수(explanatory variable)라 하며 x 로 표시하고 독립변수에 의하여 영향을 받는 변수를 종속변수(dependent variable) 또는 반응변수(response variable)라 하며 y 로 표시한다. 회귀분석의 경우 독립변수들이 개수에 따라 단순 회귀분석과 다중 회귀분석으로 나눌 수 있다. 이 논문에서는 독립변수가 1개이므로 단순회귀분석을 사용하여 x 는 GT(총톤수) y 는 PS(마력)으로 하여 분석하였다.

1) 단순 회귀분석

독립변수 x 와 종속변수 y 사이의 관계를 식으로 나타낸 것을 회귀분석이라고 한다. 회귀식의 경우 여러 가지의 형태로 나타낼 수 있으

나 가장 간단한 형태는 독립변수 x 와 y 사이에 직선적인 비례관계가 있다고 보는 것이며 $y = \alpha + \beta x$ 와 같은 관계가 있다고 할 수 있으며 이를 단순회귀분석이라고 하며 위의 수식형태로서 1차식인 회귀분석을 선형회귀분석이라고 한다.

2) 비 선형 회귀분석

선형관계가 적절치 못한 경우 비 선형함수들을 적절한 수학적변환을 통하여 다루기 쉬운 선형식으로 바꾸어 분석하는 방법을 말하며 주로 누승과 로그변환, 지수변환을 사용하여 분석한다. 본 논문에서는 모든 선종에 대한 PS(마력)과 GT(총톤수)에 대해서는 누승 회귀분석을 사용하였다.

3) 회귀 분석 결과 해석

회귀분석 통계량	
다중 상관계수(r)	0.9775
결정계수(R^2)	0.9556
조정된 결정계수	0.9546

위의 테이블은 컨테이너 주기 디젤(ME)의 분석 결과를 나타내고 있다. 회귀분석 결과를 해석하기 위해 필요한 항목은 다중상관계수와 결정계수이며 분산 분석표는 생략하였다.

1) 다중 상관계수(상관계수)

1. r 의 값은 항상 다음과 같은 범위 안에 있다.

$$-1 < r < 1$$
2. x 와 y 사이에 상관이 없으면 $r=0$ 이 된다.
3. $0 < r \leq 1$ 일 때 두 변량의 상관은 양상관이 되며 한변량이 증가(감소)하면 다른 변량도 증가(감소)하는 관계를 가지며 $r=1$ 일 때 완전 상관이라 하며 일정한 비율로 증가 또는 감소한다. 즉 상관도의 점들이 기울기가 양인 직선위에 모두 있게된다.
4. $-1 \leq r < 0$ 일 때 두 변량의 상관은 음상관이 되며 변량이 증가(감소)하면 다른변량은 감소(증가)하는 관계를 가지며 $r=-1$ 일 때 완전음상관이라 하며 상관도 상의 점은 기울기가 음인 직선위에 있게된다.
5. 상관계수는 두 변량간의 선형관계를 나타내는 척도이지 함수 관계를 알아보는 척도는 아니다.

2) 결정계수

표본으로부터 추정된 회귀선이 표본관측치에 얼마나 적합한가를 나타내는 척도로서 사용되며 실제 문제에서는 R^2 가 0 이거나 1인 경우는 거의 없고 x 와 y 사이에 높은 상관관계가 성립될수록 1에 가까우며 상관관계가 희박할수록 0에 가까이 간다. 즉 R^2 의 값이 0에 가까워지는 회귀선은 의미가 없는 회귀선이고 1에 가까울수록 더 유용한 회귀선이라 할 수 있다. 또한 두 변수간의 상관계수가 0.90이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 높은 상관관계, 0.40~0.60이면 보통 상관관계, 0.40이하이면 약한 상관관계가 있다고 할 수 있다. 본 논문에서는 예로 든 결과표를 모두 나타내지 않고 분석된 수식과 결정계수만을 나타내었다.

3.3.2 총톤수와 기관출력의 관계식 I

선박의 추진력은 톤수와 선속에 의하여 결정되고, 기관의 소요출력은 이를 근거로 정하여 진다. 선박으로부터 배출되는 NO_x량을 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. 이상관계를 적용함으로써 NO_x 배출량의 산정에 있어서 작업량을 대폭적으로 감소시킬수 있을 것이다. 일본에서의 선행 연구되어 발표된 “선박 배출 대기오염 물질 저감방법 검토조사”에 의하면 선박의 총톤수와 기관 출력의 상관관계를 그림 3.3.1과 같이 파악하였다.⁽¹⁶⁾ 이를 정리하면 표 3.3.2와 같다. 표 3.3.3은 이 조사분석에 이용된 선종별 자료를 나타낸 것이다.

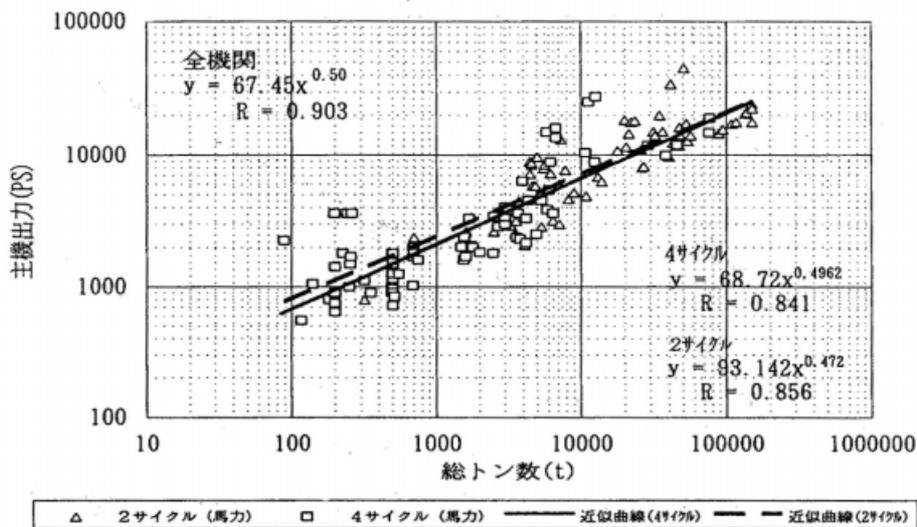


그림.3.3.1 총톤수와 기관출력의 상관관계

표 3.3.2 선종별 자료

선종 \ 척수	객 선	페 리	컨테이너선	탱 커	화물선	터그 보트	기타선
2 행정	3	1	5	15	35	-	7
4 행정	1	5	-	21	43	5	13

표 3.3.3 총톤수와 기관출력의 관계식 I (t :Gross tonnage)

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

그림 3.3.1의 결과는 4행정 기관과 2행정 기관을 합쳐서 유도하였으며 이 결과식은 2행정과 4행정 기관 모두 적용 가능하다는 것을 의미한다. 이 보고서는 선종에 관계없이 모든 선박을 대상으로 분석하였고, 보조 디젤의 경우는 정박 중 2기가 항상 운전되는 경우를 나타내고 있는 것이 특징이다.

3.3.3 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 하여 총톤수와 기관출력과의 상관관계를 분석하여 주기 디젤(ME)와 보조 디젤(DE)로 분리하여 상관관계를 도출하였다. 한편 한국선급에 있는 모든 선종 중 어선을 제외한 선종에 대하여 선종을 구별하지 않는 경우에 대해서도 그 상관관계로부터 관계식을 도출하였다. 한국선급에 등록된 선박은 표 3.3.3에 정리하였다.⁽¹²⁾

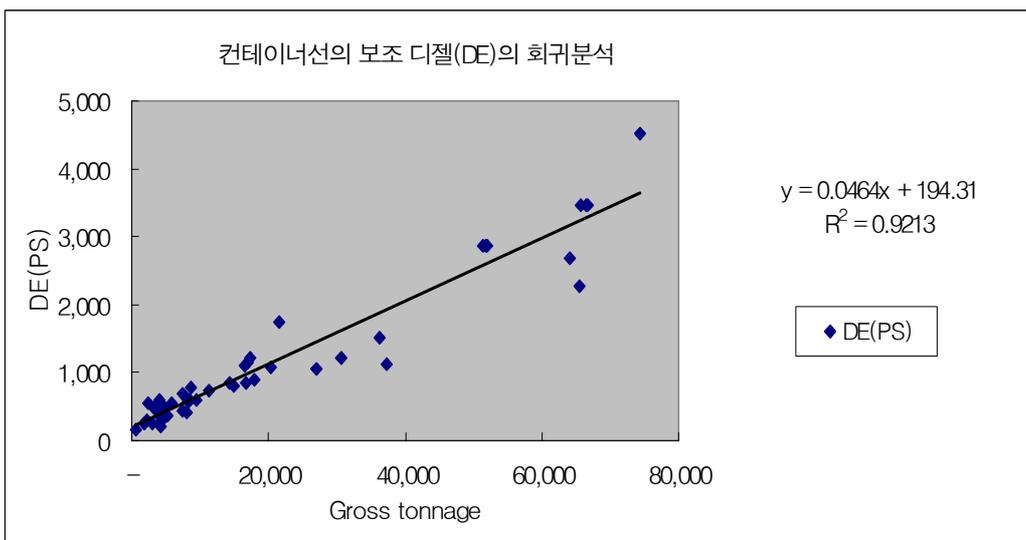
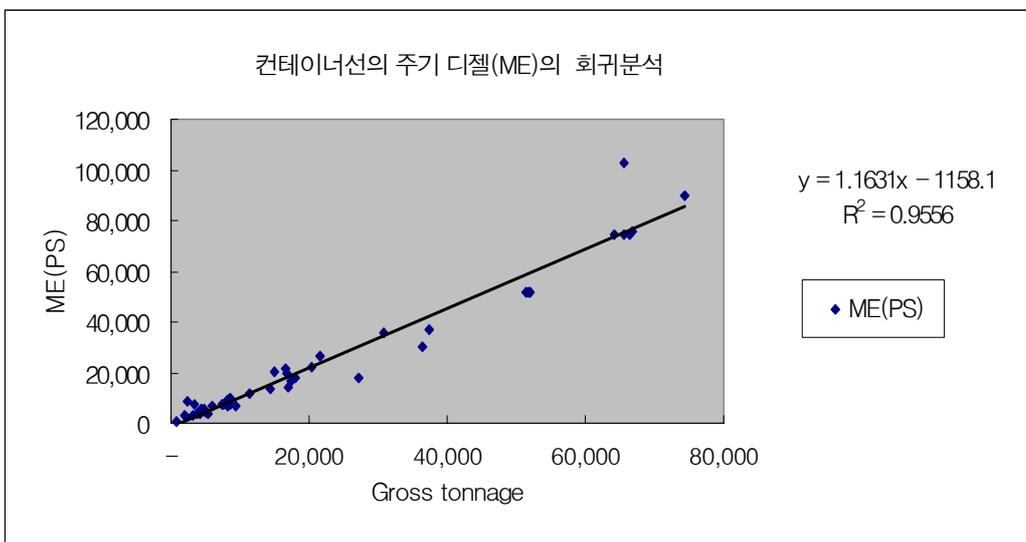
표 3.3.3 한국선급에 등록된 선박과 선종

선 종	척 수
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
합 계	1,177

선형회귀분석은 엑셀의 데이터 분석도구와 분산형 그래프를 이용하여 실제 선박의 총톤수와 기관출력으로부터 관계식을 도출하였으며 각 도출된 수식을 표 3.3.4에 정리하였다. 또한 관계식을 도출함에 있어서 보조 디젤(DE)은 정박 중1기가 운전되는 것으로 가정하였다.

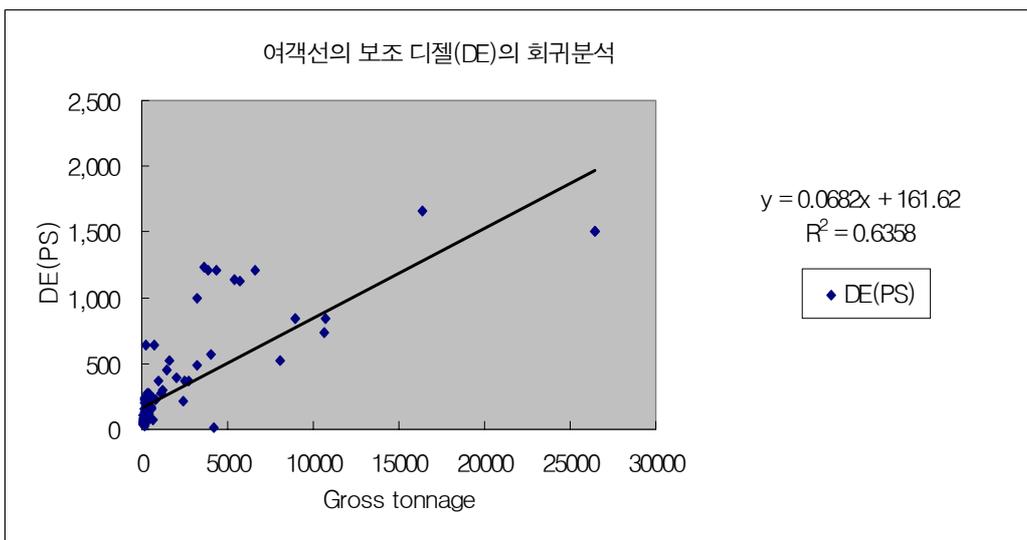
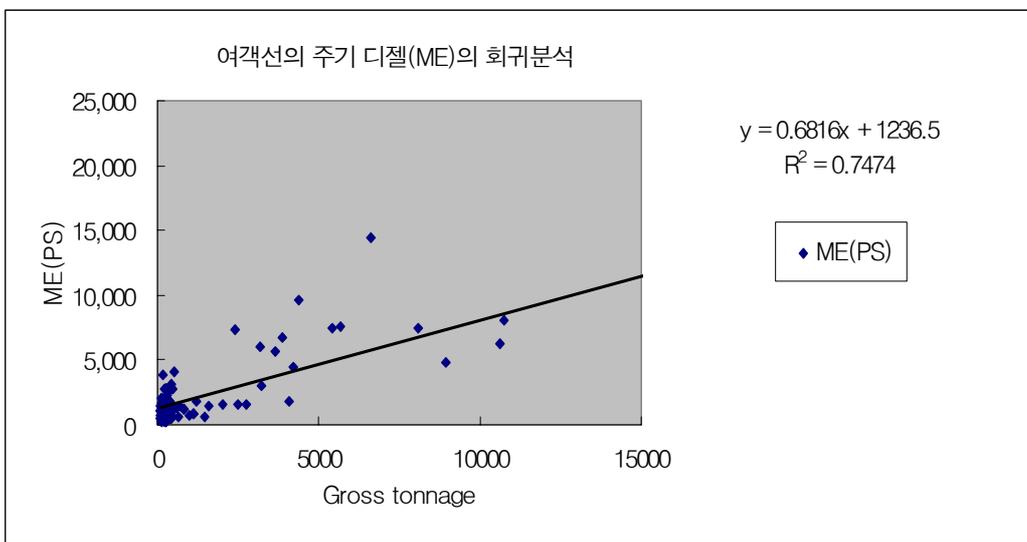
(1) 컨테이너선의 선형회귀분석과 결과

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 총톤수와 엔진마력과의 상관관계가 상당히 높음을 알 수 있다.



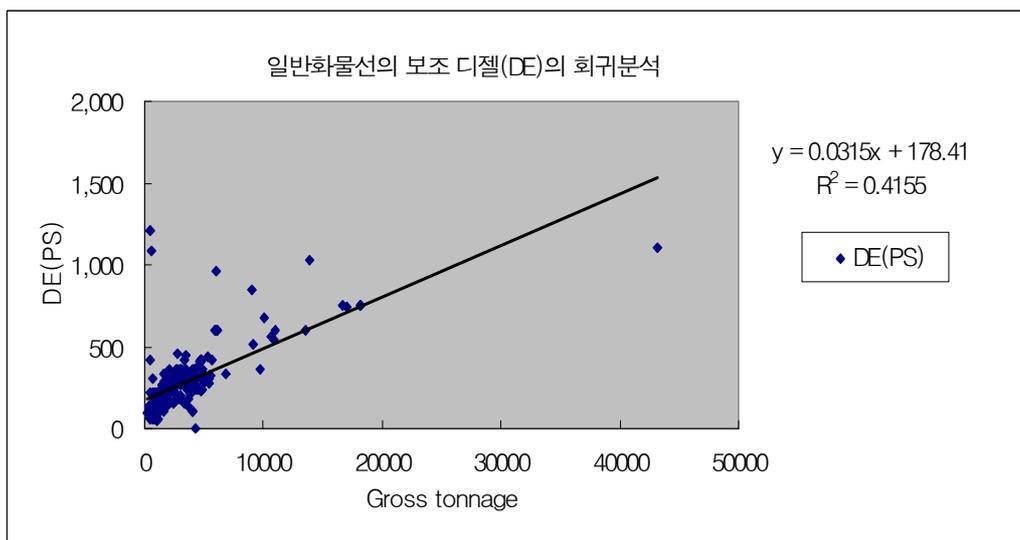
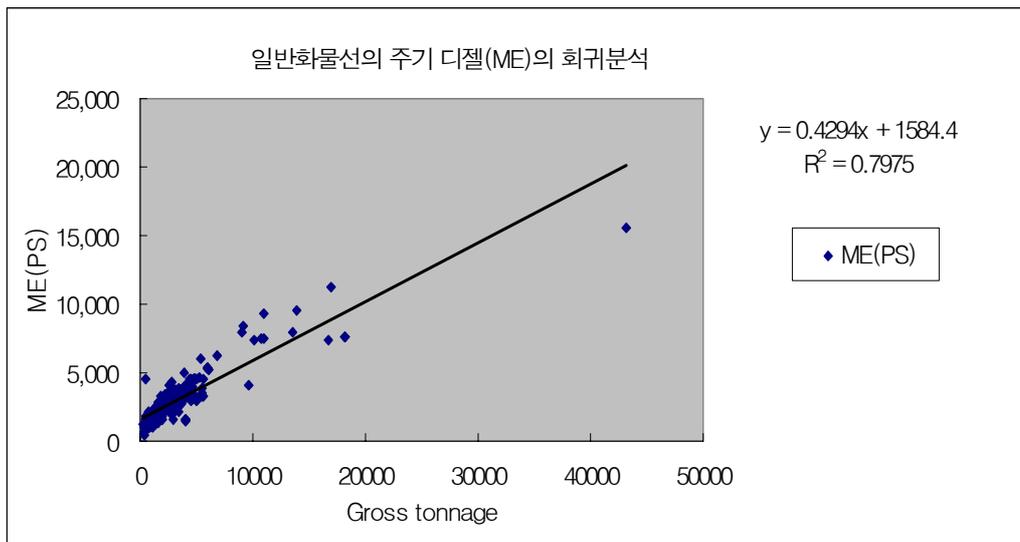
(2) 여객선 선형회귀분석과 결과

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



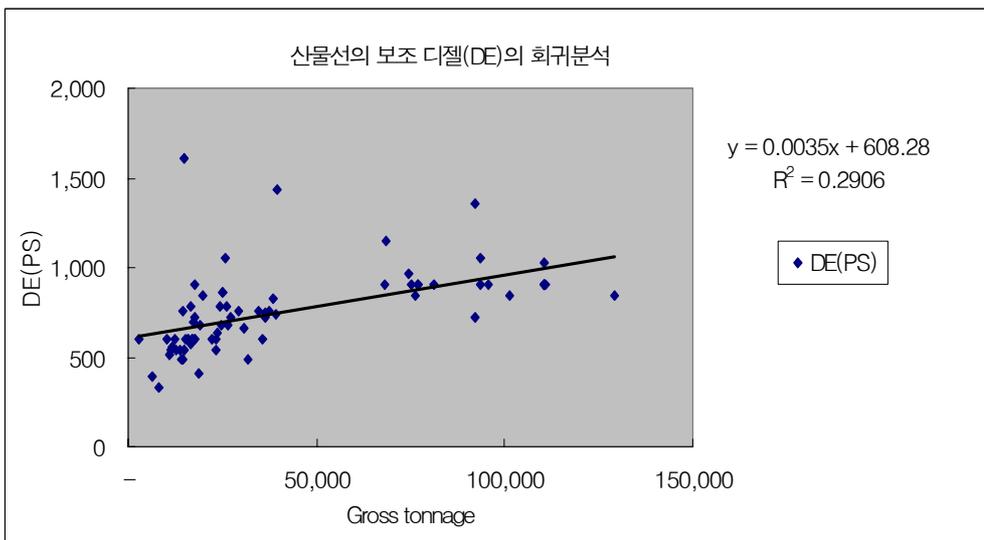
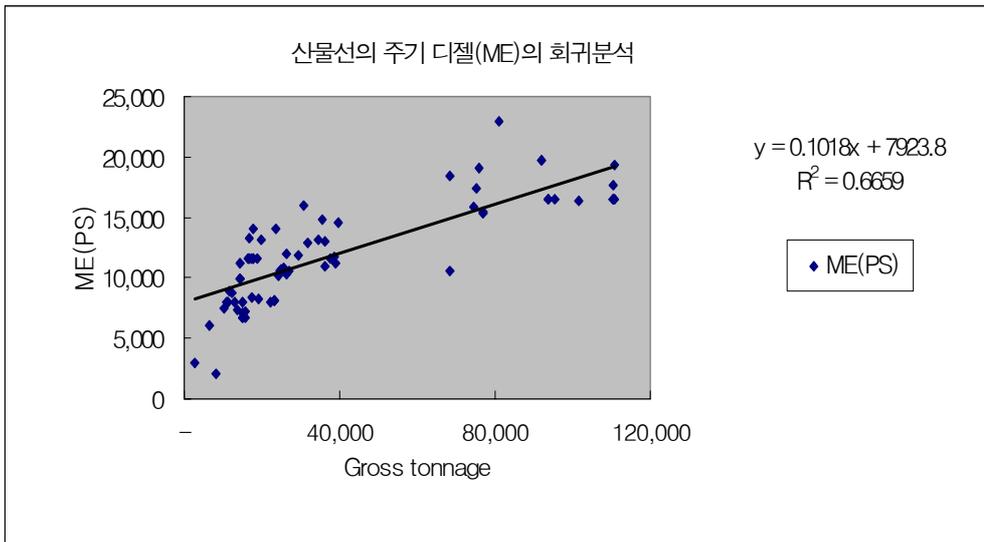
(3) 일반화물선의 선형회귀분석과 결과

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 경우도 일반화물선처럼 주기 디젤은 총톤수와 엔진 마력과의 상관관계가 높은 편이나 보조 디젤의 경우는 상관성이 낮음을 알수 있으며 산물선의 운항과 화물의 특성에 기인한 결과라고 판단된다.



그림으로부터 알수 있는 바와 같이 데이터의 분포가 총톤수 40,000 톤 이하 80,000 톤 이상으로 나뉘어 있으며 이를 1차식으로 상관관계식을 도출하면 총톤수가 비교적 적은 40,000톤 이하의 범위에서 예측 오차가 크다고 판단된다. 따라서 산물선의 경우에는 누승회귀식을 적용하기로 하였으며 아래 그림은 그 결과를 나타낸다. 결과를 보면 직선 회귀식보다 결정계수가 올라감을 알 수 있다.

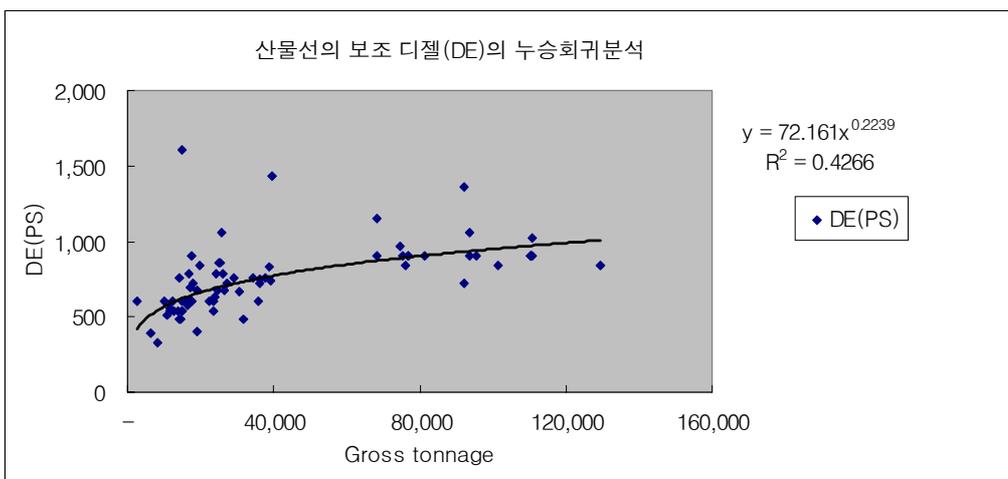
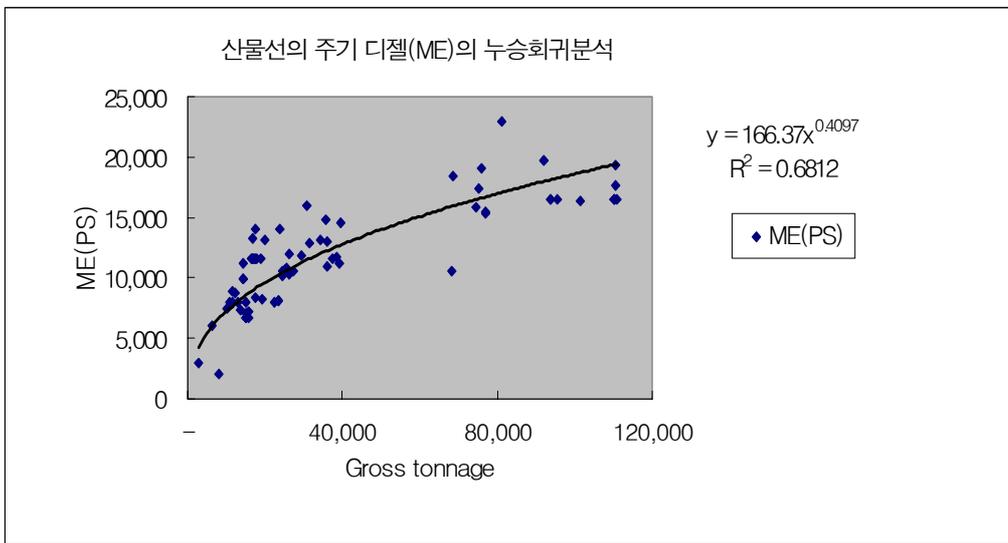


표 3.3.4는 선종별 그리고 배출원별 상관관계식을 정리하여 나타낸 것이다. 결과를 보면 컨테이너선은 상관관계가 높게 나오는 반면 산물선의 경우는 상관관계가 낮음을 알 수 있으며 상관관계가 낮은 선종의 경우 더 많은 데이터를 확보하여 상관관계가 높은 관계식을 도출할 필요가 있다. 그러나 본 연구에서는 자료확보의 어려움으로 이 결과식을 사용하기로 하였다.

표. 3.3.4 선종별 총톤수와 기관출력의 관계식(t :Gross tonnage)

선 종	배출원	정격 출력(PS) ,	결정계수(R^2)
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

3.3.4 어선을 제외한 모든 선종의 선형회귀분석

데이터를 분석함에 있어 선종별로 분리하는 것은 지극히 타당한 방법이다. 그러나 많은 데이터를 취급 할 경우 선종별로 분리하기 위해서는 데이터의 정확성이 요구되고 분석하는데 많은 시간을 요하게 된다. 따라서 간편한 방법으로 선종을 구별하지 않고 상관관계를 분석하는 경우를 생각할 수 있다. 선행 연구에서도 이와 같은 방법을 사용하였다. 본 연구에서도 비교를 위하여 선종

을 구별하지 않고 전 선박을 대상으로 하는 경우를 분석하였다. 그러나 어선은 데이터의 확보가 어려워 제외하였다. 아래의 그림은 선종별 구분을 하지 않고 모든 선종을 대상으로 상관관계를 조사한 것으로 결정계수는 ME의 경우 선종별 구분하지 않는 값과 큰 차이가 나지 않으며 DE의 경우 산물선이나 일반화물선의 경우보다 큰 값이 나오는 것을 알 수 있다.

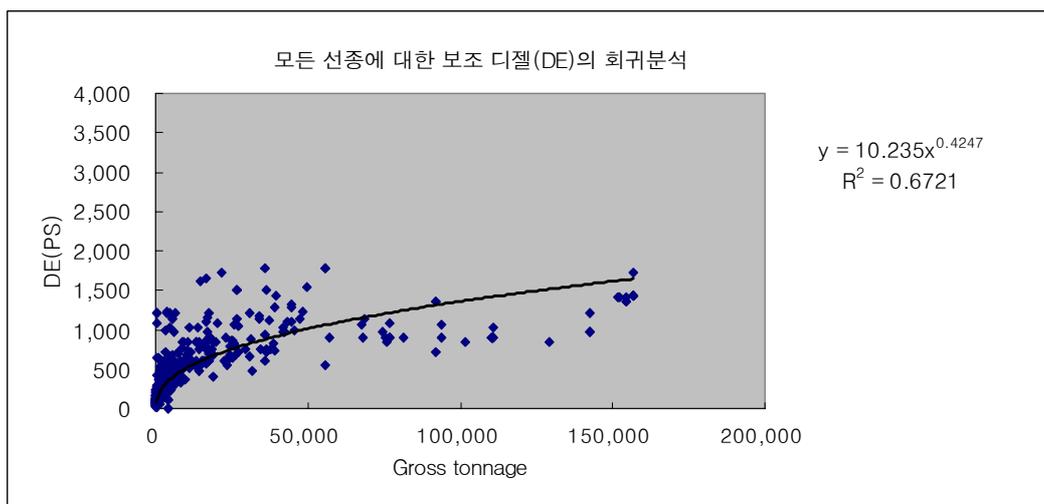
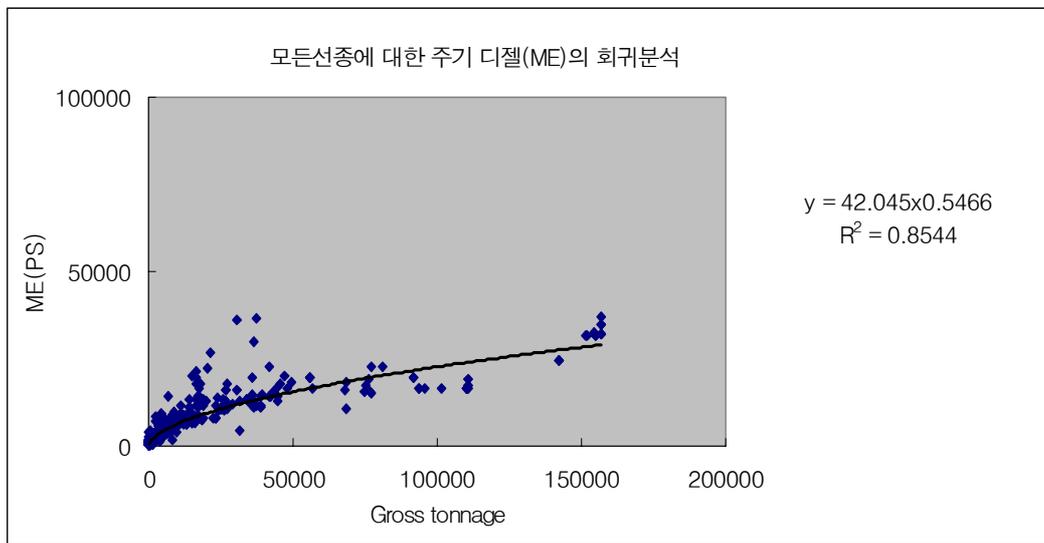


표 3.3.5에 계산결과를 정리하면 총톤수와 기관출력과의 관계식 I 과 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

표 3.3.5 총톤수와 기관출력의 상관관계식 비교(t :Gross tonnage)

배출원	정격 출력(PS)	결정계수	비고(관계식 I)
주기 디젤	$P=42.045 t^{0.5466}$	0.8544	$P=67.45* t^{0.50}$
보기 디젤	$P=10.235 t^{0.4247}$	0.6721	$P=7.18* t^{0.54}*2기$

3.4 부산항의 부두별 거리와 소요시간 및

정박시간 산정

3.4.1 입·출항 거리와 소요시간

부산항 북항의 해도를 그림 3.4.1에 나타내었다. 그림에는 신선대, 감만, 자성대 부두를 입·출항하는 선박의 항로를 개략적으로 표시하였으며 파일럿 스테이션에서부터 부두까지의 거리를 측정하면 각각 5, 6, 7mile이다. 각 부두의 거리를 산출하고 입·출항에 소요되는 시간을 파악하면 각 선박의 항내의 평균 항해속도를 산출할 수 있으며 이로부터 ME의 부하율을 측정할 수 있다. 표 3.4.1은 실제선박의 입·출항 자료이며 이 자료를 보면 64,054 톤 풀컨테이너선이 입항시 걸리는 시간이 1시간 35분이며 남외항-파일럿 스테이션 -감만 부두를 경유하는 거리는 11 mile이며 속도를 6.5 knot로 계산하면 1시간 40분 정도가 나온다. 또한 도선사 협회의 자문을 구한 결과 6.5 knot, 모드는 slow 소요시간은 약 1시간이라는 자료를 얻었다. 이러한 자료로 부산항에 입·출항하는 선박에 주기 디젤 부하율은 slow로 정하여 계산을 하였으며 일

반화물선의 경우는 주로 감천항을 이용하므로 거리가 조금 상이하나
일괄적으로 이 부하율을 적용하였다.

표 3.4.1 실 선박의 입·출항 시간과 부두별 거리

선종	톤수	코스	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.			

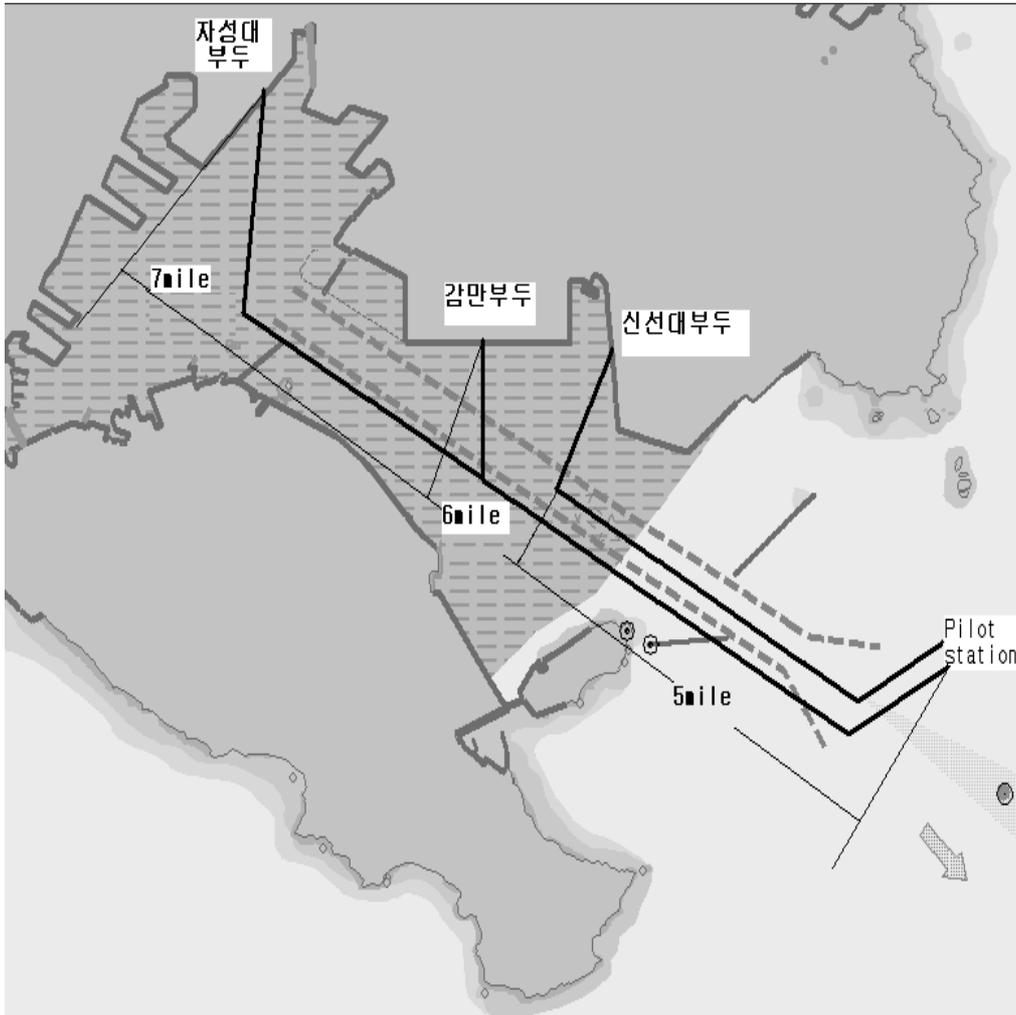


그림 3.4.1 해도상의 파일럿 스테이션으로부터 각부두의 거리

3.4.2 정박 시간 산정

표 3.4.2 정박시간 산정

크기	I	II	III	IV
	500톤 미만	500 이상 6.000 미만	6.000 이상 10.000 미만	10.000톤 이상
정박 시간	6.8	16.3	19.5	39.3
하역 시간	6.8	8.6	12.6	27.1

선박의 정박시간은 적재된 화물의 톤수와 관계가 있다고 할 수 있다. 표 3.4.2는 일본박용기관학회에서 보고된 통계자료로서 선박의 톤수별 정박시간과 하역시간을 조사하여 정리한 자료이다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ 그러나 정박시간 및 하역시간은 근본적으로 항만의 시설과도 밀접하게 관계가 있을 것이라고 생각되기 때문에 본 연구에서 목적으로 하고 있는 부산항에 대한 결과를 그대로 적용하는 것은 곤란하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서 해양수산부의 선박관제정보로부터 선박의 정박시간을 직접 구하여 정박시간을 산정 하였다. 그러나 정박시간의 자료 수집시 현재 해양수산부의 자료로는 불편함이 많으므로 개선이 필요하다.

3.5 NO_x 배출량 산정방법

3.5.1 부하율을 이용한 방법(산정식1)

일본환경청에서는 “질소산화물 총량 규제 매뉴얼”에서 선박의 주기관으로부터 배출되는 NO_x를 기관출력으로부터 산출할 수 있는 NO_x 배출량 산정식을 제시 하였다. 표 3.5.1은 이 산정식을 정리하여 나타낸 것이다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ 표 3.5.1에서 제시한 NO_x 산정식은 80년대의 선박의 데이터를 이용하여 도출된 식이며

일본의 NO_x 배출량에 관한 논문들에서 가장 많이 사용하고 있어 이 결과를 그대로 적용하여 NO_x 배출량을 산출하기로 하고 “NO_x 산정식1”이라고 표현하기로 한다. 이 식은 부하율의 언급이 없으나 본 연구에서는 NO_x 배출량이 산정식과 부하율에 비례하는 것으로 하여 계산하였다.

표 3.5.1 NO_x 배출량 산정식 1

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

3.5.2 부하별 실측자료를 이용한 방법(산정식2)

NO_x 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 하였다.⁽¹⁸⁾ 여기서 수집한 자료를 대상으로 부하별로 나누어 선형회귀분석을 하였으며 유도된 식은 그림 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4와 같다. 이 그림들은 각각의 부하시에 NO_x 배출량 산정식 I 과 각 부하별로 선형 회귀 분석하여 얻은 결과식들을 비교한 그림들이며 Corr.Coeff는 상관계수를 의미하고 결정계수와 상관계수의 관계 “상관계수 = $\sqrt{R^2}$ (결정계수)” 이다. 즉 그림 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4의 결과들은 상관계수가 높게 나오며 NO_x 배출량 산정식1보다는 상관관계가 높게 나오는 것을 알 수 있다. 즉 선박은 임의의 부하 상태로 운전하는 것이 아니라 Dead Slow, Slow, Half, Full 이라는 정해진

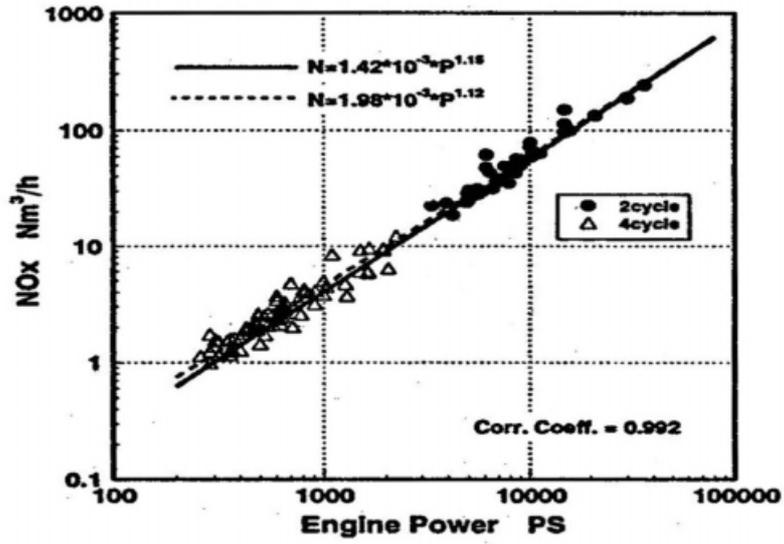


그림 3.5.1 전부하의 NO_x 배출량

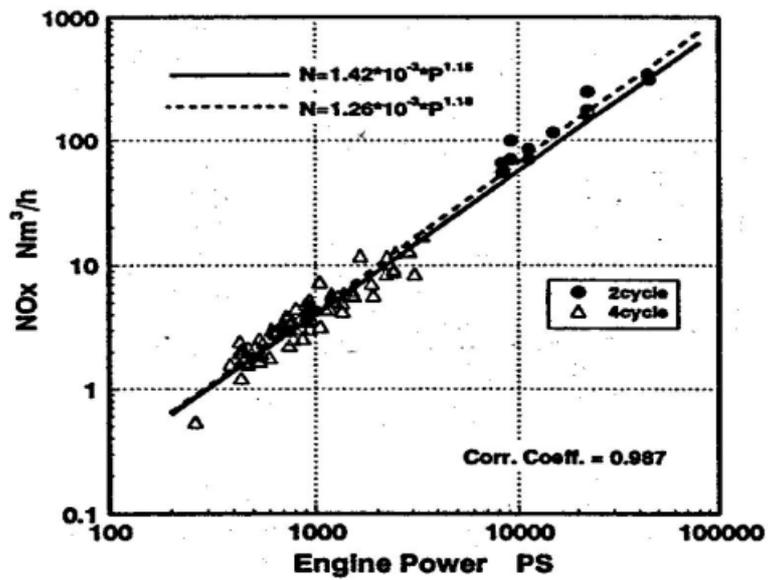


그림 3.5.2 75% 부하의 NO_x 배출량

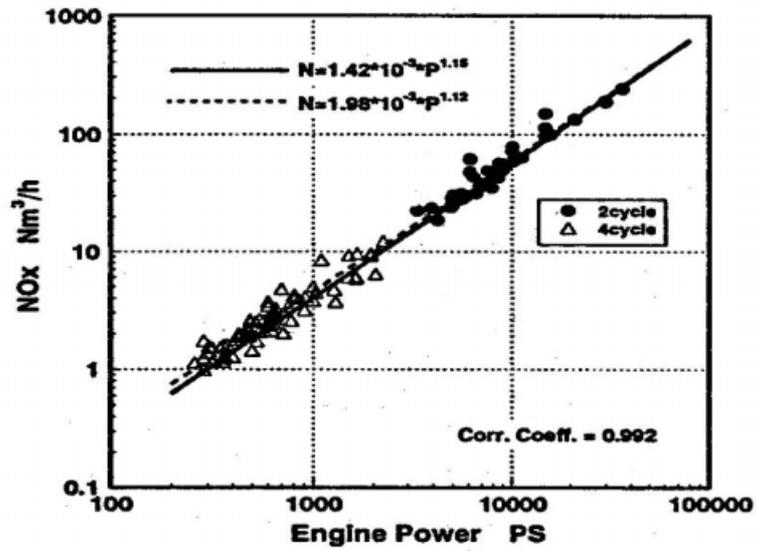


그림 3.5.3 50% 부하의 NO_x 배출량

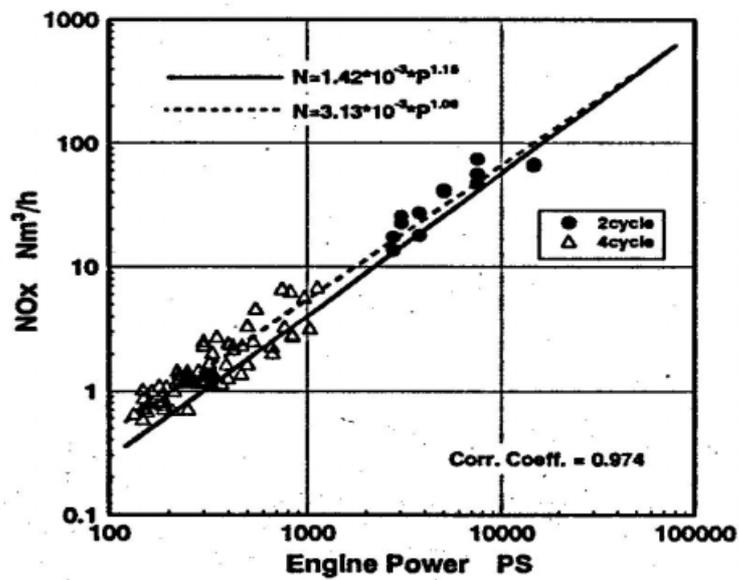


그림 3.5.4 25% 부하의 NO_x 배출량

부하 상태에서만 일반적으로 운전되는 특성을 가지고 있으므로 산정식1 보다는 상관관계가 높다고 생각된다. 표 3.5.2는 각각의 결과를 정리한 것이다.

표 3.5.2 NO_x 배출량 산정식 2

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

제 4 장 NO_x 배출량 산정방법에 의한 결과

이상에서 검토한 결과를 이용하여 부산항에 출입하는 선박이 부산항에 정박하는 동안 배출하는 NO_x의 총배출량을 계산하는 방법을 정리하면 다음과 같다.

(1) 계산 방법 I

선 선종을 대상으로 톤수와 기관출력의 상관관계를 도출한 관계식 I (3.3.2)과 부하율을 이용한 NO_x 배출량 산정식1(3.5.1)을 이용하여 계산하는 방법

(2) 계산 방법 II

선 선종을 대상으로 톤수와 기관출력의 상관관계를 도출한 관계식 I (3.3.2)과 부하별 실측 자료를 이용한 NO_x 배출량 산정식2 (3.5.2)을 이용하여 계산하는 방법

(3) 계산방법 III

선종별로 분리하여 상관관계를 도출한 관계식 II (3.3.3)과 부하율을 이용한 NO_x 배출량 산정식1(3.5.1)과 부하별 실측자료를 이용한 NO_x 배출량 산정식2(3.5.2)을 이용하여 계산하는 방법

4.1 NO_x 배출량 계산방법 I

4.1.1 입·출항시 NO_x 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 표 4.1.1에 정리

하였다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

(1) 주기 디젤(ME)의 부하율 산정

표 4.1.1 주기 디젤(ME) 부하율

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

입·출항시 엔진이 Full mode로 운항하지 않으므로 부하율이 계산시 필요하며 부하율은 표 4.1.1에 인용된 자료를 이용한다. 그러므로 계산방법은 다음과 같이 정리할 수 있다.

주기 디젤의 입·출항시의 NO_x 배출량;

$$P = 67.45 * t^{0.50} \quad \text{『 P: PS, } t: \text{ Gross tonnage, N: Nm}^3/\text{h} \text{』}$$

$$N = 1.49 P^{1.14} * 10^{-3} * \text{주기 디젤 부하율} * \text{입·출항시간(h)}$$

총톤수와 기관출력의 관계식을 이용하여 마력을 계산하고 NO_x 배출량 산정식1에 마력을 대입하고 주기 디젤 부하율을 곱하여 계산하며 이 계산 결과의 단위는 Nm³/h이므로 NO_x의 밀도를 고려하여 kg/h으로 바꾸어 계산하였다.

4.1.2 정박 중 NO_x 배출량 계산

선박의 정박 중 보조 디젤의 부하율 산정은 일본 박용 기관학회의 자료를 인용하여 계산하였으며 표 4.1.2은 인용된 자료를 정리한 것이다. 또한 각 선종별 하역특성이 다르므로 부하율을 비하역중 부하율로 정하여 계산을 하였다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

표 4.1.2 보조 디젤(DE)의 부하율 설정 (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

따라서 정박시의 NO_x 배출량 계산은 다음과 같다.

보조 디젤의 NO_x 배출량;

$$P = 7.18 * t^{0.54} \quad 『 P(\text{PS}), t = \text{GT}, N(\text{Nm}^3/\text{h}) 』$$

$$N = 1.49 P^{1.14} * 10^{-3} \quad * \text{보조디젤 부하율} * \text{정박시간}(\text{h})$$

4.1.3 계산 결과

표 4.1.3은 이상의 방법으로 산출된 NO_x 배출량을 정리한 것이다.

표 4.1.3 NO_x 계산 방법 I 의 결과

선 종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO _x (kg/month)	DE NO _x (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
합 계						27,212	113,989

4.2 NO_x 계산방법 II

NO_x 계산법 II는 총톤수와 기관출력과의 관계식을 이용하여 마력을 구하고 입·출항 및 정박시의 NO_x 배출량은 NO_x 배출량 산정식1에 대한 보정식인 NO_x 배출량 산정식2을 사용하여 계산하였다. 입·출항시의 주기 디젤의 NO_x 배출량은 NO_x 계산법 I의 경우 주기 디젤의 부하율이 대략 11~ 26%이므로 NO_x 배출량 산정식2 중 Load 25%를 선택하고 정박시의 보조 디젤의 부하율은 NO_x 계산법 I의 부하가 비하역중 42~52 %이므로 NO_x 배출량 산정식2 중 Load 50%을 선택하여 계산하였다.⁽¹⁸⁾ 또한 입·출항시의 주기 디젤의 항해시간은 1시간으로 하였다. 주기 디젤의 계산과정과 보조 디젤의 계산과정은 다음과 같이 정리할 수 있다.

입·출항시의 주기 디젤 ;

$$P=67.45 * t^{0.50} \quad 『 P: PS, t: Gross tonnage, N: Nm^3/h 』$$

$$N=3.13 * P^{1.08} * 10^{-3} * 1 \text{시간}$$

정박시의 보조 디젤;

$$P=7.18 * t^{0.54} \quad 『 P: PS, t: Gross tonnage, N: Nm^3/h 』$$

$$N=1.98 * P^{1.12} * 10^{-3} * \text{정박시간(h)}$$

표 4.2는 계산 방법Ⅱ에 의한 계산 결과를 나타낸다.

표 4.2 NO_x 계산 방법Ⅱ의 결과

선종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO _x (kg/month)	DE NO _x (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
합계						51,768	131,744

4.3 NO_x 계산방법Ⅲ

앞에서 언급한 바와 같이 선박의 특성은 선종별로 다르기 때문에 총톤수와 기관출력과의 관계는 선종별로 분리하여 취급할 필요가 있다고 판단된다. 입·출항시의 주기 디젤의 배출량 산정은 총톤수와 기관출력과의 관계식Ⅰ을 이용하는 것보다는 선종별로 특성들이 틀리므로 각 선종별로 분리하여 유도된 관계식Ⅱ을 사용하는 것이 더욱 정확하다고 판단하여 관계식Ⅱ을 이용하여 계산하였다.

입·출항시의 주기 디젤의 배출량 산정은 총톤수와 기관출력과의 관계식Ⅱ을 이용하여 계산하였고 입·출항 및 정박시의 NO_x의 배출량 산정은 NO_x 배출량 산정식1과 2의 두 가지 수식을 적용하여 입·출항시의 주기 디젤의 NO_x 배출량과 정박시의 보조 디젤 NO_x 배출량을 계산하였다.

(1) NO_x 배출량 산정식1을 이용한 결과

선종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO _x (kg/month)	DE NO _x (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
합계						53,738	90,474

(2) NO_x 배출량 산정식 2을 이용한 결과

선종	총톤수 (TON)	총 정박시간 (HOUR)	척수	ME(PS)	DE(PS)	ME NO _x (kg/month)	DE NO _x (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
합계						108,746	95,352

4.4 NO_x 계산방법의 결과 비교

표 4.4.1은 계산 결과를 비교하기 위하여 정리한 것이며 표 4.4.2는 계산 방법 I 을 기준으로 각 계산결과의 비율을 정리하여 나타낸 것으로서 계산 방법에 의한 NO_x 총 배출량의 차이를 비교할 수 있다. 계산 방법 I, II, III 계산결과를 보면 NO_x 배출량 산정식1을 적용한 것과 NO_x 배출량 산정식2을 적용한 경우 주기 디젤(ME)의 NO_x 배출량이 상당히 큰 차이가 있는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 이유는 NO_x 배출량 산정식의 차이가 아니라 NO_x 계산법 I에서의 주기 디젤 부하율이 slow 시 톤수별 부하율 적용이 틀리고 6,000 ton 이상의 선박들에는 11%의 부하를 적용하기 때문에 NO_x 계산법 II의 25%부하율과의 차이로 인해 결과값이 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 보조 디젤(DE)의 결과값들은 부하율이 NO_x 계산법 I 과 NO_x 계산법 II이 유사하므로 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 그러므로 NO_x 배출량의 정확한 산정을 위해서는 부하율 적용에 대한 더 많은 자료 수집 및 분석이 필요하다고 생각한다.

한편 계산 방법III은 기관출력을 선종별로 분리하여 분석한 결과를 이용한 방법으로 예상한대로 선종별로 상당한 차이를 보인다. 보고서에 의하면 계산법 I 의 경우 분석한 선박의 자료들이 주로 산물선과 일반 화물선에 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.

표 4.4.1 계산 결과 비교

단위: Kg/month

계산방법 선종	주기 디젤(ME) NO _x 결과				보조 디젤(DE) NO _x 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
합 계	27,212	51,498	53,738	108,746	113,989	131,744	90,474	95,352

표 4.4.2 계산결과의 비율

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
평 균	1.0	1.80	1.60	1.57	1.80	1.0	1.20	0.80	0.84	1.08

이상의 결과를 보면 기관출력의 산정은 선종별로 분리하여 취급하고, 입·출항시의 부하율에 관하여 검토하면 더욱 정확한 NO_x 총배출량을 산정 할 수 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 실자료와의 비교 검토

5.1 선박의 총톤수와 기관출력과의 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

선 종	총톤수	ME 출력	DE 출력	비 고
컨테이너	51,836	67,034	3,298	HYUNDAI ADMIRAL
산물선	29,160	11,841	943	OCEAN GOLD

*한국선급 등록자료⁽¹²⁾

(2) 결과

선 종	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 II의 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_x 배출량 산정식과 실제엔진 측정치의 비교

NO_x 산정식1,2의 결과를 검증하기 위하여 엔진 제작자가 직접 측정하여 제시한 자료와 비교하였다. 비교 대상기관은 주기 디젤 3기종과 보조 디젤 4기종을 선택하였다. 표 5.2.1~표 5.2.7은 선택한 각 기종의 기관 사양 및 NO_x 배출량 측정결과를 나타내며 산정식1과 2에 의한 계산 결과도 비교를 위하여 나타내고 있다.

그림 5.2.1~5.2.4는 NO_x 배출량의 측정 결과와 산정식1과 2에 의한 계산결과를 그래프로 나타낸 것이다. 각각의 결과들을 비교해보면 전체적으로 산정식1과 2에 의한 계산결과가 측정치보다 약간 높게 예측되는 것으로 판단된다. 이는 선택된 각 기관이 비교적 최근에 개발된 기관으로 모두 IMO에서 요구하는 NO_x 배출량 규제치를 만족하고 있어서 계산 결과치가 높다고 생각된다. 따라서 NO_x 배출량 산정식1과2를 이용하면 실제선박에서 배출되는 NO_x 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.

표 5.2.1 Main Engine-A

Engine Type	6S50MC-C MK7			
Engine Output/rpm	9,462(kW)/127			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DMB)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	13.15	14.07	13.67	16.70
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	15.64	15.08	14.16	12.68
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	16.38	18.31	15.85	16.91
NO _x IMO-cycle E3(g/kWh)	13.91			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	17.0			

표 5.2.2 Main Engine-B

Engine Type	7K80MC-C MK6			
Engine Output/rpm	25,227(kW)/104			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DM)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	11.87	13.26	11.64	12.57
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	17.91	17.23	16.25	14.90
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	18.98	21.88	17.83	18.07
NO _x IMO-cycle E3(g/kWh)	12.64			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	17.0			

표 5.2.3 Main Engine-C

Engine Type	6RT-flex58T-B			
Engine Output/rpm	11,274(kW)/92.9			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DMB)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	15.34	15.28	15.80	14.48
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	16.05	15.37	14.54	13.12
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	16.85	18.92	16.14	17.03
NO _x IMO-cycle E3(g/kWh)	15.69			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	17.0			

표 5.2.4 Diesel Generator Engine-A

Engine Type	6L23/30H			
Engine Output/rpm	967(kW)/900			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DMC)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	7.96	8.61	8.17	7.62
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	11.36	10.92	10.31	9.35
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	11.63	12.16	12.03	13.87
NO _x IMO-cycle E2(g/kWh)	8.22			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	11.5			

표 5.2.5 Diesel Generator Engine-B

Engine Type	6L23/30			
Engine Output/rpm	790(kW)/720			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DM)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	11.11	11.16	10.37	9.72
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	11.04	10.60	10.02	9.09
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	11.28	11.72	11.74	13.55
NO _x IMO-cycle E2(g/kWh)	10.61			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	12.1			

표 5.2.6 Diesel Generator Engine-C

Engine Type	7L23/30			
Engine Output/rpm	905(kW)/720			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DMB)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	12.07	12.72	11.93	10.42
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	11.30	10.81	10.21	9.24
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	10.70	12.01	11.94	13.77
NO _x IMO-cycle E2(g/kWh)	11.94			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	12.1			

표 5.2.7 Diesel Generator Engine-D

Engine Type	5L28/32H			
Engine Output/rpm	1050(kW)/720			
Kind of Fuel	BUNKER-A(ISO8217,DMB)			
Load(%)	100	75	50	25
NO _x (g/kWh)	10.17	10.47	11.01	9.91
NO _x 배출량 산정식1(g/kWh)	11.43	13.29	9.52	7.40
NO _x 배출량 산정식2(g/kWh)	11.43	12.70	11.43	14.81
NO _x IMO-cycle E2(g/kWh)	10.50			
Maximum Allowable NO _x emission (g/kWh)	12.1			

- E3: Test cycle for "Propeller law operated main & propeller law operated aux.engine" application
- E2: Test cycle for "Constant speed main propulsion engine" application (incl.variable pitch propeller installation)
- D2: Test cycle for "Constant speed auxiliary engine" application

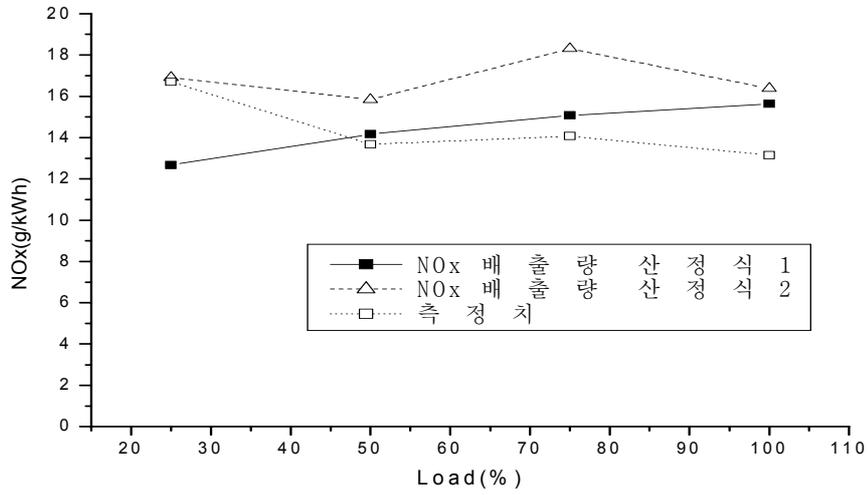


그림 5.2.1 6S50MC-C MK7의 측정치와 산정결과 비교

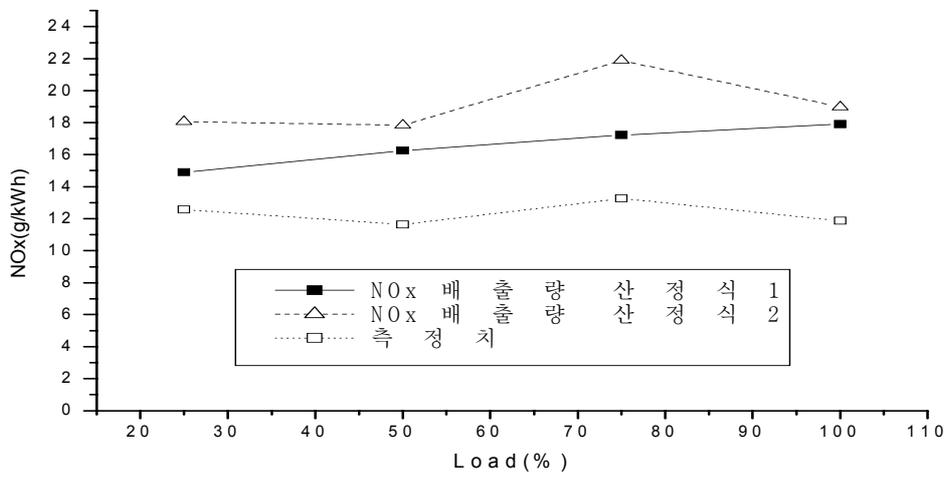


그림 5.2.2 7K80MC-C의 측정치와 산정결과 비교

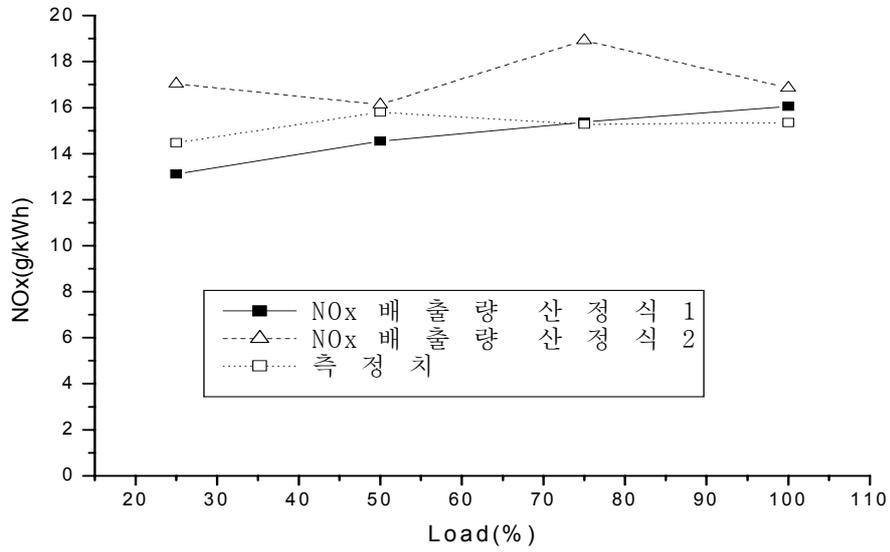


그림 5.2.3 6RT-flex58T-B의 측정치와 산정결과 비교

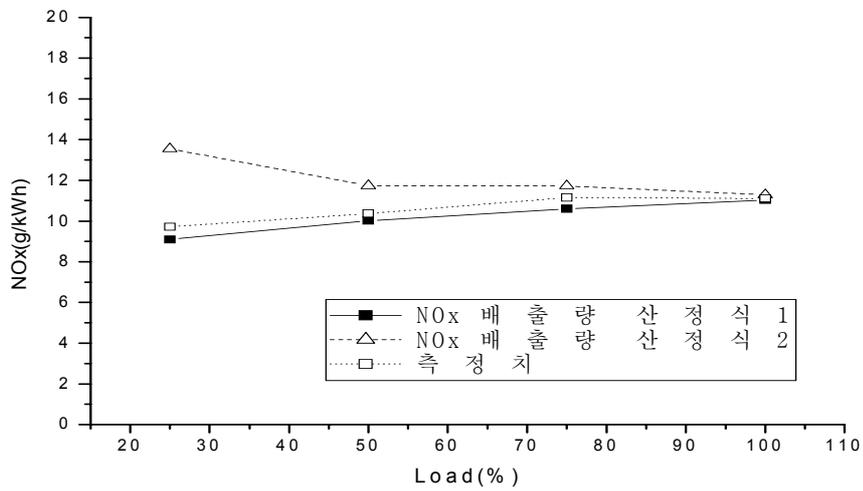


그림 5.2.4 6L23/30(790kW)의 측정치와 산정결과 비교

결 론

이상에서와 검토한 바와 같이 부산항에 출입하고 정박하는 선박으로부터 배출되는 NO_x 총 배출량의 산정을 시도하였으며 그 과정에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) NO_x 배출량의 산정은 부하별 실측자료를 이용한 NO_x 배출량 산정식2를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- (2) NO_x 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 제외한 선종들을 포함하면 약 243 톤/월 의 결과를 얻을 수 있다.
- (3) 전체 NO_x 배출량에서 정박시 배출량이 차지하는 비율이 높게 나타났다.
- (4) NO_x 배출량 산정에 있어서 정격출력시의 NO_x 배출량 분석자료(NO_x 배출량 산정식1)를 적용하는 것도 가능하나 이 경우에는 정확한 부하율 파악이 요구된다.
- (5) NO_x 배출량 산정에는 기본적으로 주기 디젤의 기관출력 파악이 요구되나, 항내를 출입하는 다양한 선종의 많은 선박에 대해서는 선종별로 분리하여 총톤수와 기관출력의 상관관계를 분석하여 이용하는 것이 바람직

할 것이다. 본 연구에서는 선종별 총톤수와 기관출력의 관계를 도출하였다.

- (6) 본 연구에서는 정박시간의 산정에는 해양수산부에서 집계하고 있는 선박별 관제정보를 이용하였다. 관제정보는 정보의 활용을 고려하여 분석이 용이한 형태로 정리될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서는 부산시의 대기오염에 미치는 부산항의 영향을 연구하기 위한 기초 연구로 시도하였다. 자료를 분석하는 과정에서 어선, 기타선, Tug boat 등이 제외되었고, Boiler에 관한 고려도 제외되었기 때문에 연구결과를 그대로 신뢰하는 데는 무리가 있다고 판단되지만 지속적인 자료 분석을 통해 정확도를 높여갈 계획임을 밝힌다. 또한 본 연구에서는 부산항에서 NO_x의 배출량에 대한 검토만을 하였으나, NO_x가 부산시의 대기오염에 얼마나 영향을 미치는가를 검토할 필요가 있으며, 이를 위해서는 확산모델의 적용에 관한 연구⁽¹⁹⁾가 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

- (1) 정 용 일, “자동차와 환경” (www.autoenv.org)
- (2) 船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, 日本船用機關學會誌 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」, 日本船用機關學會誌 第 32卷 第 6号 1997-6 pp. 385-389
- (4) 김 대 식, 엄 명 도 「선박엔진의 NO_x 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) EPA, Commercial Marine Activity for Great Lake and Inland River Ports in the United States Final Report, EPA420-R-99-019 September 1999
- (9) 국립 환경원, 오존의 이해와 대응 -지표오존을 중심으로, 국립 환경원, 2001.03
- (10) 조 광 명, “대기오염“, 청문각 , 1990
- (11) 이 재 순 편저, “연소공학“, 진성 문화사, pp.316-319, 1992

- (12) 한국선급(www.krs.co.kr), 등록선박 자료
- (13) 해양수산부 통계연보, 2001년
- (14) 염 준 근, “선형회귀분석”, 자유아카데미, 1997
- (15) 이 화 룡, “Excel 97과 신 경영과학과의 만남”, 도서출판 혜지원, 1998
- (16) 日本船舶機關學會, 「船舶大氣汚染物質削減手法檢討調査報告書」
1995年 3月
- (17) 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
- (18) 畔 津 昭 彦, 「窒素酸化物の計測法と排出實態」日本アリンエンジニアリング學會誌 第 37券 ,第 1号 2002-01 pp.49-57
- (19) 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」日本船舶機關學會誌 第 29券, 第 6号 1994-6
pp.412-421