

어선의 선저폐수 및 폐윤활유 발생량 추정 연구

정해종⁽¹⁾, 권기생

A study on the estimation of the oily bilge water and waste lubricating oil produced from fishing vessels

by

H. J. Jeong⁽¹⁾ and K. S. Kwon

요 약

최근 연안의 해양오염 증가로 인하여 매년 발생하는 적조현상 등이 연안 생태계에 영향을 많이 끼치는 문제점으로 되고 있다. 해양오염 요인 중에 어선에서 발생하는 선저폐수나 폐윤활유의 무단 배출은 큰 비중을 차지하고 있으므로 효율적인 관리방법을 찾아야 한다. 이런 문제점을 해결하기 위한 방안으로 선저폐수처리장치를 어항별로 설치하여 소형 어선에서 발생하는 선저폐수와 폐윤활유를 육상으로 이송·처리하여 해양으로의 무단 배출을 막아야 한다. 그에 대한 선결연구과제로 어선에서 발생하는 선저폐수와 폐윤활유 발생량 추정에 관한 연구의 필요성이 대두된다. 본 연구의 주요내용은 톤급별 어선에서 발생하는 선저폐수와 폐윤활유 현황 조사 및 고찰과 선저폐수와 폐윤활유 발생량에 영향을 주는 파라미터 도출을 통한 발생량 모델링과 이를 이용한 샘플어장에 대한 선저폐수와 폐윤활유 발생량 추정을 포함하고 있다.

Abstract

Recently, there have been frequent environmental threats associated with the red tide. The discharge of bilge water and waste lubricating oil from fishing vessels is known to be the major cause of such problems. In order to treat those wastes, post processing units at harbours are being considered, and an accurate prediction of the amount of such wastes is required. In this paper we have proposed a method to estimate the amount of bilge water and waste lubricating oil from fishing vessels. We identified the key parameters affecting the quantity of oily bilge water and waste lubricating oil, and proposed a prediction model. We applied the present model to estimate the quantity of oily bilge water and waste lubricating oil in the sample fishing port.

Keywords: 선저폐수처리장치(oily bilge water separating plant), 선저폐수(oily bilge water), 폐윤활유(waste lubricating oil)

(1) 정희원, 한국해양수산연수원, krhjj@post.webkimft.or.kr

1. 서 론

환경보존에 대한 의식의 확산으로 환경이 경제활동의 중요한 요소로 등장했으며, 환경분야에서의 국제 경쟁력을 확보하는 일이 국민의 삶의 질 향상은 물론 국가와 기업의 경쟁력 강화에 관건으로 작용하고 있다. 또한 해양자원의 개발을 둘러싼 연안국간의 경쟁이 가속화되고 있으며, 해양환경 보존을 위한 국가간의 협력체계구축이 확대되고 있다. 특히 해양환경의 가치에 대한 인식제고와 쾌적하고 건강한 해양환경 보존의 욕구로 연안의 환경관리는 더욱 중요한 과제로 인식되고 있다. 신 해양질서에 따라 해양환경보존의 중요성이 해마다 증가되고 있으며, 이에 따라 해양오염원에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다. 특히 연안지역의 환경기초시설부족과 산업화 도시화로 인한 해양오염의 증가 등으로 매년 발생하는 적조현상과 연안 생태계의 영향 등 많은 문제점이 대두되고 있는 실정이다(관계부처합동[2000]).

우리 나라의 해양오염방지법은 선박에서 발생하는 선저폐수와 폐유허유 등을 해양에 배출하는 것을 규제하고 있으며, 해양에 배출되는 기름 등 해양의 오염물질을 제거하여 해양환경을 보존함으로써 국민의 건강과 재산을 보호함을 목적으로 하고 있다(법제처[1991]). 그러나 산업발전에 따른 해운운송물량 증가로 선박충돌 등으로 인한 대형 해양오염사고 증가와 선박 종사자들의 해양오염에 대한 인식부족으로 유류 폐기물의 불법투기 등이 어장의 황폐화 요인이 되고 있다.

이러한 요인들 중에 소형어선에서 발생하는 선저폐수의 경우 선박 내 공간적 제한과 육상에서의 선저폐수 수용시설 미비 등으로 대부분이 해양으로 무단 배출되고 있는 실정이다. 그러므로 연안의 해양오염방지를 위하여 어선의 선저폐수 처리를 위한 효율적인 방안과 어선의 소형성과 영세성 및 수용시설의 미비로 인한 구조적인 문제점을 해결하기 위해서 어선이 입·출항하는 항구에 선저폐수처리장치의 설치가 필요하다. 이와 같은 처리장치를 개발하여 제작·설치하기 위하여서는 어항별 선저폐수와 폐유허유의 발생량을 추정하여 설치될 어선 선저폐수처리장치의 용량을 설정하여야 한다. 이에 대한 선결과제로 어항별 유류 폐기물 발생량에 대한 조사·분석 및 산출 모델에 관한 연구의 필요성이 요구된다.

그래서 먼저 우리 나라의 어선세력을 조사하여 분석하고, 그에 따른 톤급별 척수를 선정하여 항구별 현장 표본조사를 통하여 선저폐수 발생량과 폐유허유 발생량을 조사·분석하였다. 그리고 톤급별 척당 유류 폐기물 발생량의 파라미터를 도출하여 산출모델을 구하고, 산출모델식으로 어항별 유류 폐기물 발생량을 근사적으로 추정해보았다.

2. 어항별 현장 표본조사 및 분석

2.1 조사범위

1) 어항의 현황

우리 나라의 어항시설은 어업의 기반시설로 어업의 생산과 어획물의 양육 및 유통에 이르는 전과정을 지원하는 시설이고, 특히 어업인들의 재산과 생명을 안전하게 보호할 수 있는 곳으로 앞으로 해양레저 중심시설로 활용될 수 있도록 어촌, 어장, 관광을 연계 개발되고 있다.

2000년 12월 31일 현재 어항이 국가어항(제1종 어항 58개항, 제3종 어항 31개소) 및 지방어항(제2종 어항 326개항)과 2000여 개소의 어촌정주어항(소규모 항, 포구)이 산재되어 있고, 지금도 건설 개발 중에 있다(해양수산부[2000]).

이렇게 개발된 어항에 입·출항하는 어선에서 발생하는 선저폐수 등을 수집 처리하는 시설은 아직도 미비한 실정에 있으며, 어선에서 발생하는 선저폐수 등의 대부분이 해양으로 무단 배출되어 연안의 오염의 주 요인이 되고있는 실정이다.

2) 조사방법

어선에서 발생하는 유류폐기물의 발생량 조사기간은 2000년 1월부터 12월까지 1년간으로 정하고 탐은 4개탐으로 구분하여 시도별로 구분하여 중복조사가 되지 않도록 하고, 톤급별 1인당 조사척수를 선정한다.

조사항목은 시군, 어항, 업종, 선명, 총톤수, 조업일수, 연료유 종류, 연료사용량, 윤활유사용량, 폐유허유발생량, 빌지발생량 등으로 연료유와 윤활유의 사용량과 폐유허유와 선저폐수의 발생량은 연간 기준으로 조사한다.

조사된 내용은 분류하여, 정리된 데이터를 분

석 및 통계 처리하여 톤급별 연료유와 윤활유의 사용량과 폐윤활유와 선저폐수의 발생량에 대한 파라미터를 도출하여 산출모델을 구한다.

2.2 조사내용 분석 및 고찰

1) 톤급별 어선 척수 및 톤수 현황

우리 나라 1991년에서 2000년까지 10년간 동력선의 연평균 어선보유척수는 Table 1과 같이 약 77,740척에 약 948,682톤이고, 2000년 말 기준 톤급별 어선척수 현황은 Fig. 1과 같다. 이에 대비하여 실제 조사선박은 Table 2와 같이 421척에 약 39,506톤으로 연평균 어선보유척수대비 약 0.54%, 톤수 대비 약 4.2%를 조사하였다.

2000년 12월 31일 기준 어선세력 조사분석결과 선박등록척수는 총 95890척으로 이중 동력선은 약 89294척으로 전체 93%를 차지하고 있으며, 85%가 5톤 미만이다.

Fig. 1과 같이 어선척수는 톤급이 증가할수록 지수 함수로 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 관련하여 현장조사척수도 이와 비슷한 경향으로 조사대상 척수를 톤급별로 선정하였다.

Fig. 2와 같이 업종별 현황은 연안어업과 양식업이 약 86%를 차지하고 있으며, 96%가 30톤 미만의 선박으로 구성되어 있다. 우리나라 연안의 대부분을 차지하고 있는 선박이 30톤 미만이므로 연안어업과 양식업에서 해양오염원이 될 수 있으므로 이에 대한 효율적인 관리방법이 모색되어야 할 것이다.

Table 1 연도별 어선의 동력선 현황

연도	동력선				
	척수	톤수	마력수	척당평균톤수	척당평균마력수
'91	84,024	961,714.57	6,198,182	11.45	73.77
'92	76,825	940,468.49	6,910,316	12.24	89.95
'93	72,838	903,911.79	7,279,350	12.41	99.94
'94	70,082	930,075.94	8,134,817	13.27	116.08
'95	71,041	951,212.86	8,841,842	13.39	124.46
'96	69,206	965,275.94	9,191,689	13.95	132.82
'97	73,780	958,155.03	12,700,482	12.99	172.14
'98	82,803	971,704.15	13,067,043	11.74	157.81
'99	87,502	986,338.98	11,796,089	11.27	134.81
'00	89,294	917,962.98	13,597,179	10.28	152.27
평균	77,740	948,682.07	9,771,699	12.30	125.40

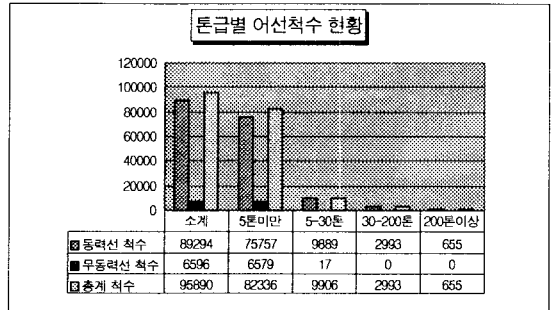


Fig. 1 톤급별 어선척수 현황

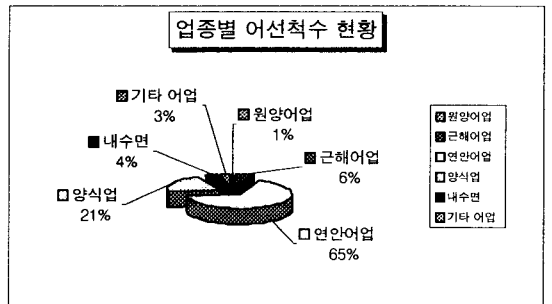
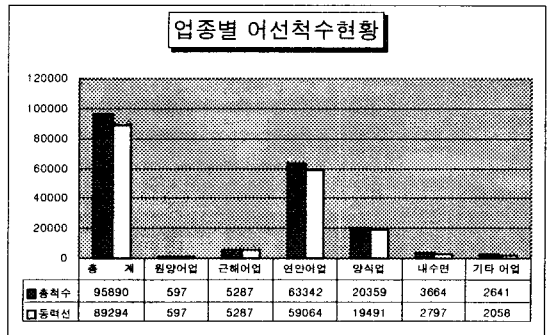


Fig. 2 업종별 어선척수 현황

Table 2 폐윤활유와 선저폐수의 발생량 조사표

톤급별	척수	톤수	폐윤활유 발생량 (리터)	선저폐수 발생량 (리터)
5톤미만	184	518.92	18,464	88,120
5-30톤	158	1,618.69	30,176	163,712
30-200톤	50	5,476.02	62,847	196,464
200톤이상	29	31,893.00	147,900	1,032,296
총계	421	39,506.63	259,387	1,480,592

어선의 선저폐수 및 폐유헬유 발생량 추정 연구

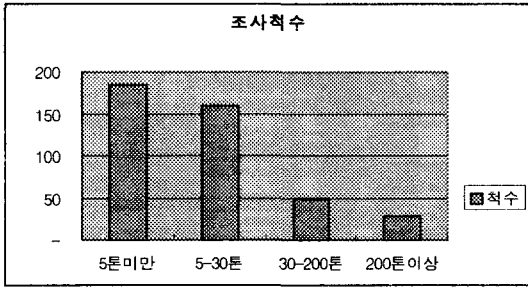


Fig. 3 톤급별 조사척수 현황

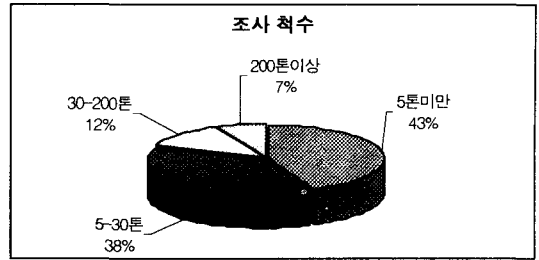


Fig. 4 톤급별 조사척수 분포도 현황

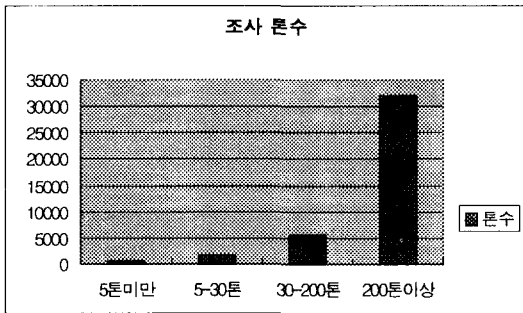


Fig. 5 톤급별 조사톤수 현황

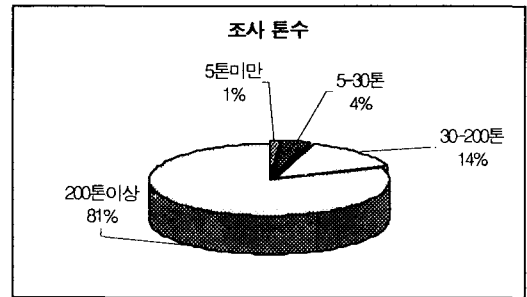


Fig. 6 톤급별 조사톤수 분포도 현황

(단위 : 리터)

(단위 : 리터)

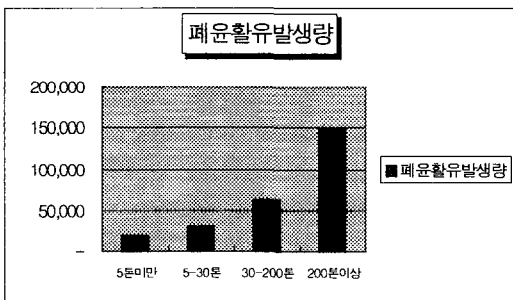


Fig. 7 톤급별 폐유헬유 발생량 조사현황

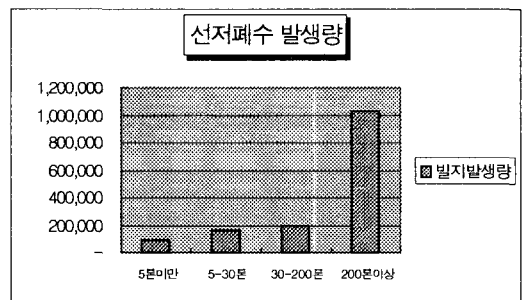


Fig. 8 톤급별 선저폐수 발생량 조사현황

2) 폐유헬유 및 선저폐수 발생량 조사

Table 2와 Fig. 3 ~ Fig. 6는 현장조사결과 톤급별 폐유헬유와 선저 폐수의 발생량 및 톤급별 척수 및 톤수 조사현황과 분포도를 나타내고 있다.

Fig. 4와 같이 톤급별 현장조사척수는 5톤 미만이 43%, 5~30톤이 38%로 전체 81%를 조사하

였다. 이와 같이 우리 나라의 어선척수 보유경향과 비슷하게 항구별 샘플조사를 하였다.

톤급별, 척수별, 톤수별, 폐유헬유 및 선저폐수 발생량 현장 샘플조사결과를 Fig. 7 ~ Fig. 8과 같다.

3. 유류 폐기물 발생량 파라미터 도출 및 모델링

3.1 파라미터 도출 및 모형화 방법

어항별 유류 폐기물 발생량 모델을 구축하기 위하여 통계학의 기초 분야인 기술통계학과 자료의 특성에 관한 추론분야인 추측통계학을 이용하여 조사된 데이터를 분석 처리해서 톤급별 어선의 선저폐수와 폐윤활유의 발생량에 대한 척수당 톤당 파라미터를 도출하여 방정식 모델을 구하는 기법을 도입한다(이기훈[1999]; 송문섭, 조신섭[1999]).

톤수와 선저폐수의 발생량 및 톤수와 폐윤활유의 발생량에 대한 두 변수간의 비선형 관계를 꺾은 선도를 그린 후 각 함수형태에서 추세선을 그리고, 결정계수와 추정회귀선 수식을 구한다. 여기서 사용한 회귀분석(Regression analysis)이란 하나의 종속변수와 하나 내지는 2개이상의 독립변수들간의 관련성을 규명할 수 있는 수학적 모형을 측정된 변수들의 자료로부터 추정하는 통계적 방법으로 단순 비선형 회귀분석으로 추세선의 모형에 따라 지수함수 회귀방정식을 사용하여 지수함수 회귀모형으로 모델링한다. 지수함수 회귀방정식은 (1)식과 같이 나타내고 양변에 로그를 취하면 (2)식과 같이 된다. $\ln(y)$ 을 종속변수 x 을 설명변수로 한 단순회귀분석을 실시한다.

$$y = ce^{bx} \quad (1)$$

$$\ln(y) = \ln(c) + bx \quad (2)$$

즉, $\ln(y) = Y$ 절편 + 기울기 * x 식에서 실제 $\ln(y)$ 와 추정된 $\ln(y)$ 의 오차제곱합을 최소화하여 구한다.

두 변수 사이의 연관성에 관한 추론을 상관분석이라고 하는데 연관성을 나타내는 척도로서 X 와 Y 의 상관계수는 (3)식과 같이 정의된다.

$$\rho = \text{Corr}(X, Y) = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} \quad (3)$$

두 변수 (X, Y) 에 대한 관측값이 (x_i, y_i) ,

$\dots, (x_n, y_n)$ 으로 주어질 때, 상관계수 ρ 는 (4)식의 표준상관계수로 추정한다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

표본자료로부터 추정된 회귀선이 그 측정자료에 어느 정도 적합한가를 측정하는 척도가 결정계수(coefficient of determination)이다. 관측값 y_i 와 전체평균 \bar{y} 의 총편차 $(y_i - \bar{y})$ 는 하나는 변수사이에 존재하는 어떤 연관성, 즉 회귀직선에 의한 변동인 회귀편차 $(\hat{y}_i - \bar{y})$ 이고, 또 하나는 설명할 수 없는 우연성 관측값 $(y_i - \hat{y}_i)$, 즉 오차에 의한 변동인 잔차(residual)로 나눌 수 있고, (5)식와 같다.

$$(y_i - \bar{y}) = (y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y}) \quad (5)$$

(5)식의 양변을 제곱하여 더하면, 우변에서 곱의 합은 0이 되므로 (6)식과 같은 제곱합의 분해를 얻는다.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (6)$$

$$SST(\text{총제곱합}) = SSE(\text{잔차제곱합}) + SSR(\text{회귀제곱합})$$

관측값 y_i 의 총변동은 회귀선에 의해 설명되는 변동과 설명되지 않는 변동으로 나누어지는데, 여기서 설명되는 변동이 총변동 중에서 차지하고 있는 비율을 회귀선의 결정계수라 하고 (7)식과 같이 표현된다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (7)$$

이 결정계수 R^2 는 x 와 y 의 표본상관계수 r 을 제곱한 값과 같으며, R^2 의 값은 0과 1사이의 값을 갖는다.

3.2 유류 사용량과 유류 폐기물 발생량 파라미터 도출 및 모델링

어항별 유류 폐기물 발생량 모델을 구하기 위하여 톤급별 폐윤활유와 선저폐수 발생량을 톤급별 톤당 척수당 파라미터를 산출하여 방정식 모델을 Fig. 9 ~ Fig. 12와 같이 구하였다.

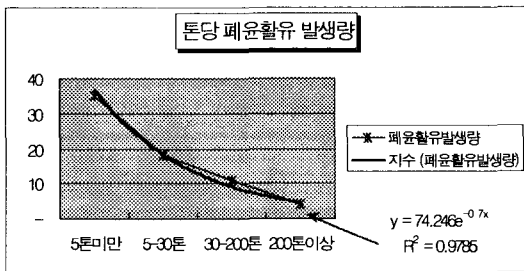


Fig. 9 톤급별 톤당 폐윤활유 발생량 모델

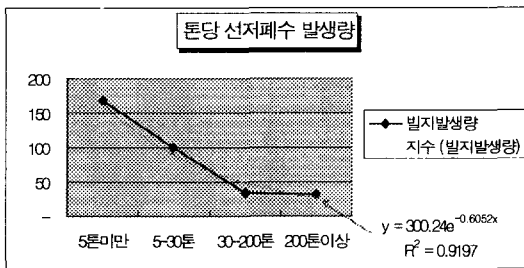


Fig. 10 톤급별 톤당 선저폐수 발생량 모델

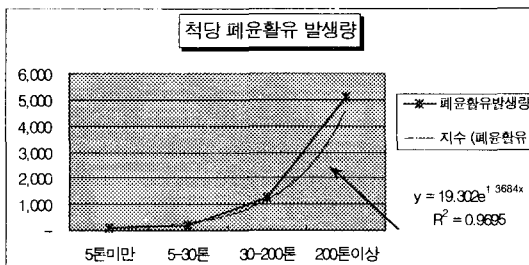


Fig. 11 톤급별 척수당 폐윤활유 발생량 모델

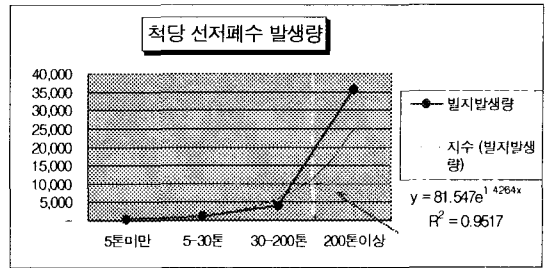


Fig. 12 톤급별 척수당 선저폐수 발생량 모델

위의 그림들을 다시 정리하면 식(8)식~식(11) 식과 같다.

- 톤급별 톤 당 폐윤활유 발생량 산출 모델 방정식

$$y=74.246e^{-0.7x} , R^2=0.9785 \quad (8)$$

- 톤급별 톤당 선저폐수 발생량 산출 모델 방정식

$$y=300.24e^{-0.6052x} , R^2=0.9197 \quad (9)$$

- 톤급별 척수당 폐윤활유 발생량 산출 모델 방정식

$$y=19.302e^{1.3684x} , R^2=0.9695 \quad (10)$$

- 톤급별 척수당 선저폐수 발생량 산출 모델 방정식

$$y=81.547e^{1.4264x} , R^2=0.9517 \quad (11)$$

Fig. 10 ~ Fig. 11의 톤급별 폐윤활유와 선저폐수 발생량에 대한 회귀분석결과 추정된 회귀식 $y=19.302e^{1.3684x}$ 와 $y=81.547e^{1.4264x}$ 에 대한 결정계수가 Table 3 ~ Table 4에서 $R^2=0.969498954$ 와 $R^2=0.95169966$ 이므로 산출된 모델 방정식이 조사된 자료에 적합함을 알 수 있다.

Table 3 톤급별 척수당 폐윤활유 발생량 회귀 분석요약

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.98463138
결정계수	0.969498954
조정된 결정계수	0.95424843
표준 오차	0.383770172
관측수	4

Table 4 톤급별 척수당 선저폐수 발생량 회귀 분석요약

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.97555095
결정계수	0.95169966
조정된 결정계수	0.9275495
표준 오차	0.50809048
관측수	4

4. 어항별 추정 유류 폐기물 발생량 산출

4.1 산출방법

우리 나라의 시·군별 전산자료에 의거하여 가장 큰 기장읍 대변항에 대한 2000년 12월 31일 기준 어선 현황을 Table 5의 자료를 참조하여 톤급별 유류 폐기물 발생량 파라미터 산출 및 산출 모델링에 의거하여 추정 유류 폐기물 발생량을 (10)과 (11)식을 이용하여 다음과 같이 산출하였다.

Table 5 기장군 기장읍 대변항 톤급별 어선척수

지역항	계	5톤 미만	5톤~30톤 미만	30톤~200톤 미만
대변	79	58	20	1

대변항의 경우(100% 운항하는 경우)

- ① 5톤 미만 : 58척
- ② 5톤~30톤미만 : 20척
- ③ 30톤~200톤미만 : 1척이 운항하는 경우 1

년간 폐윤활유와 선저폐수의 총발생량을 계산하면 다음과 같다.

1) 폐윤활유 발생량 산출

가. 모델식

$$y = 19.302e^{1.3684xi} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

- 여기서, 5톤미만 : $X_1 = 1$
- 5톤 ~ 30톤 미만 : $X_2 = 2$
- 30톤 ~ 200톤 미만 : $X_3 = 3$
- 200톤 이상 : $X_4 = 4$

- 폐윤활유 총발생량 = 운항척수×톤급별, 척수당 폐윤활유 발생량 모델식

나. 산출량

$$11.529[M^3 / \text{년}] = (58\text{척} \times 19.302e^{1.3684 \times 1}) + (20\text{척} \times 19.302e^{1.3684 \times 2}) + (1\text{척} \times 19.302e^{1.3684 \times 3})$$

2) 선저폐수 발생량 산출

가. 모델식

$$y = 81.547e^{1.4264xi} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

- 선저폐수 총발생량 = 운항척수 × 톤급별, 척수당 선저폐수 발생량 모델식

나. 산출량

$$53.854[M^3 / \text{년}] = (58\text{척} \times 81.547e^{1.4264 \times 1}) + (20\text{척} \times 81.547e^{1.4264 \times 2}) + (1\text{척} \times 81.547e^{1.4264 \times 3})$$

이상과 같이 각 항구별 척수별 폐윤활유 및 선저폐수 발생량 모델식을 이용하여 연간 예상 유류 폐기물 발생 추정량을 산출할 수 있다.

5. 결 론

우리나라의 어항은 천혜의 관광자원과 연안어장의 이용확대 등 해양환경의 가치에 대한 인식 제고와 쾌적하고 건강한 해양환경 보존의 욕구로 연안의 환경보호에 대한 여러 분야별로 그에 대한 대책이 마련되고 있으나 소형어선의 오염원에 대한 대책방안은 아직도 미비한 상태에 머물고 있는 실정이다.

연안해역에서의 해양오염의 요인 중 소형어선에서 발생하는 선저폐수의 경우 선박 내 공간적

제한과 육상에서의 선저폐수 수용시설의 미비 등으로 대부분 해양으로 무단 배출되고 있어 항후 연안의 청정해역을 가꾸기 위한 일환으로 어선이 입·출항하는 항구에 어선용 선저폐수처리장치 설치가 필요하다. 이에 대한 선결 과제로 어항별 유류 폐기물 발생량에 대한 조사 분석 및 산출 모델에 관한 연구의 필요성이 요구된다.

본 연구에서는 첫째, 어항별 현장 샘플 조사 선박은 421척 39,506톤으로 최근 10년간 동력선의 연평균 어선보유 척수 77,740척 948,682톤으로 척수대비 약 0.54%, 톤수 대비 약 4.2%를 조사·분석하였다. 둘째, 어항별 유류 폐기물 발생량 모델을 구축하기 위하여 톤급별 톤당 척수당 유류 폐기물 발생량 파라미터 도출 및 단순 비선형 회귀분석에 의거하여 지수함수 회귀모형으로 모델링을 하고, 톤당 척당 산출모델식과 상관계수를 구하였다, 그리고 톤급별 톤당 척수당 폐유험유 발생량과 선저폐수 발생량에 대하여 회귀분석결과를 도출하였다. 셋째, 지수함수 회귀모형으로 모델링된 것을 조사대상 항구인 대변항에 적용하여 추정 유류 폐기물 발생량을 쉽게 산출했다. 이와 같이 우리 나라의 어항별 운항하는 어선세력만 알면 톤급별 유류 폐기물 발생량과 톤급별 유류 사용량의 산출 모델링에 의거하여 추정 유류 폐기물 발생량 및 유류 사용량을 쉽게 산출할 수가 있다.

[5] 해양수산부, 2000, 해양수산연보, (주)정인사

후 기

본 연구는 수산특정연구개발사업으로 수행한 “어항의 유류폐기물 처리방안”과제의 일부분으로서 해양수산부의 지원을 받아 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 법제처, 1991, 대한민국 현행법령집, 한국법제연구원, pp. 247
- [2] 송문섭·조신섭, 1999, 통계학 입문, 자유아카데미, pp. 149~158.
- [3] 이기훈, 1999, EXCEL을 이용한 통계학, 자유아카데미, pp. 3~33, pp. 191~235.
- [4] 정부관계부처 합동 행정 간행물, 2000, 해양개발기본계획, pp. 7~88.