

폐 FRP 선박 처리시설 입지선정문제

Location Problem on the Treatment Facility of Waste FRP Ships

박현지^a, 신재훈^a, 김기동^{a*}

HyunJi Park^a, JaeHun Shin^a, KiDong Kim^{a*}

^a Department of Industrial Engineering, Kangwon National University, 24341

Received 17 September 2018; Revised 24 October 2018; Accepted 26 October 2018

Abstract

FRP(Fiber Reinforced Plastic) ships are easy to manufacture and repair. Also they are more durable and cheaper than steel wires and neck lines. Therefore FRP ships are widely used in small ships. In Korea, the amount of waste FRP ships is increasing. It is expected that a large amount of waste FRP ships will be generated. Waste FRP ships are emerging as a social problem, such as the difficulty in preserving the marine environment. To improve this, a waste FRP ship melting process system has been developed. In order to construct an effective waste FRP ship processing system, it is necessary to study the treatment facilities location problem. In this paper, we suggest mathematical model to solve optimal location problem of waste FRP Ships and discuss on results by applying it to nine regions selected as candidates for treatment facilities.

Keywords: waste FRP Ships, mathematical model, location problem, treatment system

1. 서론

FRP(유리섬유강화플라스틱) 선박은 제작과 수리가 용이하며 강선과 목선에 비해 저렴하고 내구성이 좋기 때문에 소형 선박을 중심으로 널리 사용되고 있다^[1]. FRP 선박은 국내에서 1970년대 후반부터 저렴한 건조비용으로 제작이 가능한 소형 선박을 중심으로 제작되기 시작하였다. FRP 선박은 우리나라 전체 선박의 약 70%를 차지하고 있으며 이에 따라 처리해야 할 노후 선박도 2005년을 기준으로 약 1만 6천여척정도 되는 것으로 나타났다. 현재 폐 FRP 선박의 발생이 계속 증가하고 있으며, 이후에도 막대한 양의 폐 FRP 선박이 발생할 것으로 예상된다.

노후된 FRP 선박이 하천이나 어항 내에 방치되면 운항안전과 해양환경보전에 어려움을 줄 수 있다. 따라서 폐 FRP 선박 처리는 점차 사회문제로 대두되고 있는 실정이다^[2]. 현재 노후된 FRP 선박은

조선소 등에서 수집, 파쇄 후에 민간의 폐기물처리업체에서 맡아 소각, 매립하는 방식으로 처리하고 있다. FRP 내에 포함된 유리섬유는 인간에게 매우 해로운 물질로 알려져 있다. 위와 같은 방법으로 유리섬유를 소각 할 경우 환경을 오염시키고 처리비용이 많이 발생하여 선박 소유자의 자발적인 처리가 어려우며 법적, 경제적 으로 많은 부담을 주고 있다. 늘어나는 폐 FRP 선박의 처리문제들을 개선하기 위해 한국해양과학기술원에서는 폐 FRP 처리기술 개발 연구가 시작되었다. 2008년에는 폐 FRP 선박 용융안정화와 처리 시스템 개발을 완료하여 폐 FRP 선박 처리통합실증시험을 수행한 바 있으며 추가연구개발을 거쳐 실용화할 계획이라고 밝혔다^[1].

앞으로 한국해양과학기술원의 추가연구개발을 통해 처리 시스템이 실용화 되고 난 후 더욱 효과적인 폐 FRP 선박 처리 체계를 구축하기 위해서는 처리시설의 입지선정에 관한 연구가 필요하다. 현재 국내에서는 FRP 선박에 관한 연구는 여러 차례 수행되고

* Corresponding author. Tel.: +82-033-250-6281

fax: +82-033-259-5547

E-mail address: kdkim@kangwon.ac.kr (KiDong Kim).

있으나 입지선정에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다.

오세웅 외(2010)는 폐 FRP 선박 입지선정에 관한 문제를 정성적인 기법을 이용하여 풀었다^[2]. 본 연구에서는 폐 FRP 선박 처리시설 최적 입지 선정을 위한 수리모형을 제시할 것이며, 제시된 수리모형의 타당성을 입증하기 위해 임의로 처리시설 후보지로 선정한 전라남도 9개의 지역에 적용하고 결과를 검토할 것이다.

2. 관련 연구 현황

먼저 FRP 선박과 관련된 연구로 정노택 외(2007)는 선박처리 현황과 관련된 법제도를 고찰하였고^[3], FRP 선박 자발용융처리에 관한 연구를 하였다^[4]. 그 후 정노택 외(2008)는 선박 처리방법에 따른 비용을 분석하여 처리비용 절감방안을 소개하였고^[5], 윤구영(2007)은 친환경적으로 일괄처리 할 수 있는 재처리시스템을 개발^[6]하는 등의 연구들이 여러 차례 수행되고 있다. 하지만 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정문제를 다룬 논문은 거의 없었다. 기존에 연구된 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정문제는 오세웅 외(2010)가 Fuzzy AHP, 극한확률 이론, 설문조사를 이용하여 입지선정문제를 풀었다^[2]. 하지만 설문 대상이 바뀔 때마다 도출되는 결과가 바뀔 수 있다는 문제점이 있으며 일부 요인들만 고려하여 문제를 풀었기 때문에 최적해라고 볼 수 없다.

본 연구에서 다루는 문제는 설비입지선정문제의 일종이다. 설비입지선정문제는 설치후보지역에 목적을 극대화 할 수 있는 가장 적합한 설비의 수나 위치를 결정하는 문제이다^[7]. 설비입지선정문제는 문제의 목적에 따라 최대지역커버문제, 고정비를 가지는 설비입지선정문제, 제한용량이 없는 설비입지결정문제, 제한용량이 있는 설비입지결정문제 등으로 분류할 수 있다. 이상현 외(2006)는 기업가(생산자)의 입장에서 수익성을 최대화하는 설비입지선정 문제를 SA(Simulated Annealing) 알고리즘과 SE(Stochastic Evolution)알고리즘을 적용하여 풀었다^[7]. 김철연 외(2011)는 제한용량이 있는 문제를 적응형평균치교차분할 알고리즘을 이용하여 문제를 풀었으며^[8] 최순식 외(2007)는 기간별로 고객의 수요위치와 요구량이 변화하고, 설비의 운영여부의 변화에 따른 전환비용을 고려해 문제를 풀었다^[9]. 홍석학 외(2004)는 비용 제약이 존재하며 그 안에서 서비스 수준을 최대화하는 설비입지선정 문제를 풀었다^[10]. 이처럼 설비입지문제는 다양한 요소에 의하여 분류 및 정의 될 수 있고 설비입지문제의 분류 기준에 따라 목적식과 고려하는 제약이 달라질 수 있으며 문제 해결 방법도 다양하다^[9].

본 논문은 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정문제를 고정비를 가진 설비입지선정문제로 다룬다. 고정비를 가지는 설비입지선정문제는 비용의 최소화를 목적으로, 각 입지마다 설비를 세우는 데 필요한 일정한 고정비가 존재하는 상황에서 최소 비용으로 모든 수요를 만족시킬 수 있는 위치를 찾는 문제이다. 여기서 비용이란 설비를 건설하는 데 필요한 고정비와 거리에 비례하는 운송비를 합한 비용으로 정의된다^[10].

다음 장에서는 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정 시 소요되는 비용 최소화를 목적으로 하는 수리모형을 제시하고, 더 나아가 어느 지역에 처리시설이 설치되는 것이 비용을 최소화 할 수 있는지 수리모형에 실제 데이터를 적용하여 해를 도출할 것이다.

3. 수리모형

먼저 본 연구에서의 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정 수리모형을 수립하기 위해 사용할 인덱스와 입력변수는 다음과 같다.

- i = 폐 FRP 선박 발생지
- j = 폐 FRP 선박 처리시설 후보지
- I = 폐 FRP 선박 발생지의 수
- J = 폐 FRP 선박 처리시설 후보지의 수
- f_j = 후보지 j 에 설치시의 고정비용
- c = 단위 무게 당 단위 거리 당 수송비
- d_{ij} = 발생지 i 와 후보지 j 간 거리
- s_i = 발생지 i 의 폐 FRP 선박 발생량

의사 결정 변수는 다음과 같다.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{에서 } j \text{로 수송이 이루어지면} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{후보지 } j \text{에 처리시설이 위치하면} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

폐 FRP 선박 발생지는 i 로, 처리시설 후보지는 j 로 정의한다. 폐 FRP 선박 발생지 i 에서 처리시설 후보지 j 로의 수송여부를 나타내는 의사결정변수인 x_{ij} 는 0 또는 1의 결정변수이다. y_j 는 처리시설 후보지 j 에 설비 입지 여부를 나타내는 0 또는 1의 결정변수이다.

위에 표기한 기호들과 의사결정변수들을 이용하여 다음과 같이 고정비와 수송비의 합을 최소화하는 수리모형을 제시한다.

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^J (f_j \times y_j) + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J s_i d_{ij} c \times x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^J x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, \forall j \quad (3)$$

$$x_{ij} \in 0, 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$y_j \in 0, 1 \quad \forall j \in J \quad (5)$$

(1)번 식은 처리시설을 설치할 시 발생하는 고정비용과 폐 FRP 선박 발생지 i 에서 처리시설 후보지 j 로의 발생하는 수송비용의 합을 나타내며 이를 최소화하는 목적함수이다. 수송비용은 폐 FRP 선박 발생량(s_i)과 노드 간거리(d_{ij}), 단위 무게 당 단위 거리 수송비(c)를 곱하여 계산한다.

(2)번 식은 폐 FRP 선박 발생지 i 에서 발생한 폐선박은 하나의 처리시설 j 로만 수송하고 반드시 수송 되어야 한다는 제약식이다.

(3)번 식은 폐 FRP 선박 발생지 i 와 처리시설 후보지 j 로 수송하기 위해서는 처리시설 후보지 j 에 처리시설이 반드시 설치되어 있어야 함을 나타낸다.

(4)번과 (5)번 식은 결정변수 x_{ij} 와 y_j 가 0 또는 1의 값을 가질 수 있도록 하는 제약조건들이다.

4. 실험결과

4.1 실험환경

3장에서 제시한 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정 수리모형의 타당성을 입증하기 위해 필요한 데이터들을 수집하였다. 먼저 발생지와 후보지를 선정하였고 데이터는 고정비, 수송비, 발생지와 후보지간의 거리, 폐 FRP 선박 발생량이 있으며 가능한 한 실제 데이터를 이용하였다.

4.1.1 발생지와 후보지 선정

폐 FRP 선박 발생지 i 와 처리시설 후보지 j 는 전라남도 지역에서 FRP 어선을 많이 보유한 순으로 9개를 임의로 지정하였다^[11]. 지정된 9개의 FRP 발생지 i 와 처리시설 후보지 j 는 같다고 가정한다. 다음 Table 1은 폐 FRP 선박 발생지와 처리시설 후보지의 지역을 나타낸 것이다.

Table 1 Occurrence Regions of Waste FRP Ships and Candidate Regions of Treatment Facility

1	목포시	6	무안군
2	여수시	7	완도군
3	고흥군	8	진도군
4	장흥군	9	신안군
5	해남군		

4.1.2 고정비와 수송비

건설해야 하는 처리시설의 수는 고정비용에 따라서 달라질 수 있다. 현 상황에서는 고정비를 정확하게 추정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 실험에서는 고정비용을 변화시키며 그에 따른 결과값을 확인 할 것이다. 수송에 필요한 단위 무게 당 단위 당 수송비는 한국교통연구원에서 발표한 ‘2015 국가물류비 조사 및 산정’ 자료를 활용하여 625원/ton-km로 지정하였다.

4.1.3 폐 FRP 선박 발생

폐 FRP 선박 발생량을 산정하기 위해 ‘2008 전라남도 지역별, 톤급별 FRP 어선 현황’ 자료를 사용하였으며 단위는 톤이다^[11]. 다음 Table 2는 9개의 처리시설 후보지별 폐 FRP 선박의 발생량을 나타낸다. FRP 선박은 1980년도 이후 꾸준히 증가하여 1990년대 후반에는 증가율이 20%에 이를 정도로 가파른 증가세를 보이다가 2000년대로 들어서면서 둔화되어 증가율이 5%를 기록했다. 2000년 이후 증가량은 크게 감소했으나 선행 16년 이상의 고령의 선박의 양이 계속해서 증가하고 있다^[12]. 본 실험에서는 FRP 선박의 증가율을 감안하여 2008년 자료의 3배의 양을 폐 FRP 선박 발생량으로 산정하여 실험하였다.

Table 2 Amount of Waste FRP Ships Occurrence by Treatment Facility Candidate Regions in 2008(ton)

후보지	발생량 (ton)
목포시	5887
여수시	25732
고흥군	11831
장흥군	2989
해남군	6179
무안군	1958
완도군	31548
진도군	6431
신안군	10922

4.1.4 발생지와 후보지간의 거리

폐 FRP 선박 발생지 i 와 처리시설 후보지 j 간의 거리를 측정하기 위하여 인터넷 사이트의 길 찾기를 이용하여 육로 상의 실제거리 (km)를 산정하였다. Table 3, 4는 발생지와 후보지간의 거리(km)를 나타낸 것이다.

Table 3 Distance between Occurrence and Candidate Regions (i=1-9, j=1-5)(km)

i \ j	1	2	3	4	5
1	0	148.52	137.1	63.74	63.63
2	148.52	0	73.44	91.56	133.63
3	137.1	73.44	0	80.49	126
4	63.74	91.56	80.49	0	37.67
5	63.63	133.63	126	37.67	0
6	33.41	160.65	149.59	76.63	64.73
7	106.41	176.41	168.78	66.98	44.65
8	48.65	176.62	168.98	80.77	44.82
9	7.26	150.35	139.29	66.33	54.43

Table 4 Distance between Occurrence and Candidate Regions (i=1-9, j=6-9) (km)

i \ j	6	7	8	9
1	33.41	106.41	48.65	7.26
2	160.65	176.41	176.62	150.35
3	149.59	168.78	168.98	139.29
4	76.63	66.98	80.77	66.33
5	64.73	44.65	44.82	54.43
6	0	110.04	80.13	35.09
7	110.04	0	85.98	108.18
8	80.13	85.98	0	53.88
9	35.09	108.18	53.88	0

4.2 실험결과

본 실험은 전라남도 9개의 지역인 목포시, 여수시, 고흥군, 장흥군, 해남군, 무안군, 완도군, 진도군, 신안군을 대상으로 제3장에서 제시한 수리모형을 이용하여 고정비와 수송비의 합을 최소화하기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 2016 Excel의 해찾기 기능을 이용하였고 고정비용을 변화해가며 해를 도출하였다. Table 5는 고정비 변화에 따른 결과 값을 나타내주는 표이다.

Table 5 Treatment Facility Regions according to Fixed Cost Change

고정비	설치 지역
1억	목포시, 여수시, 고흥군, 장흥군, 해남군, 무안군, 완도군, 진도군
2억	여수시, 고흥군, 장흥군, 해남군, 무안군, 완도군, 진도군
2억 5천	여수시, 고흥군, 장흥군, 무안군, 완도군, 진도군
3억	여수시, 고흥군, 장흥군, 무안군, 완도군
4억	여수시, 고흥군, 무안군, 완도군
5억	여수시, 고흥군, 무안군
5억 5천	여수시, 무안군
6억	무안군
7억	무안군

고정비를 변화해가며 해를 구한 결과, 고정비가 증가할수록 건 설해야 하는 처리시설의 수가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 무안 군, 여수시, 고흥군, 완도군, 장흥군, 진도군, 해남군, 목포시, 신안 군 순으로 처리시설을 설립해야 하는 것을 알 수 있다.

기존에 연구된 폐 FRP 선박 입지선정문제 연구에서는 목포시, 여수시, 고흥군 순을 우선순위로 결과 값을 제시했으며²⁾, 본 연구의 결과 값과 차이가 있었다. 본 논문에서 제시한 수리모형의 경제적 효율성을 입증하기 위하여 고정비용이 5억원일 때를 기준으로 본 논문의 결과 값인 여수시, 고흥군, 무안군에 처리시설을 설치할 경우와 기존연구의 결과 값인 목포시, 여수시, 고흥군에 설치할 경우를 비교하였다.

고정비용 5억원을 기준으로 본 논문의 결과 값 3곳에 처리시설을 설치하는 경우 총 비용은 2,968,610,138원으로, 기존연구 결과 값 3곳에 처리시설을 설치하는 경우의 총비용은 6,210,961,369원으로 계산되었다. 본 연구에서 구해진 결과 값의 총비용과 비교해 기존 연구의 총비용이 3,242,351,231원이 더 소요되는 것을 볼 수 있다. 따라서 실험결과에서와 같이 본 연구에서 제시된 수리모형을 활용할 경우에 입지선정 시 경제적으로 보다 효율적인 의사결정을 할 수 있는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

FRP 선박은 제작과 수리가 쉽고 내구성이 좋기 때문에 우리나라 선박의 약 70%를 차지하고 있다. FRP 선박 사용이 증가하면서 노후된 FRP 선박도 계속 증가하고 있으며 정부에서는 ‘방치어선 정리사업’을 통하여 처리하고 있으나, FRP 선박 재질 특성상 일반소각로에서 처리가 어렵고 환경오염을 일으키는 문제점을 가지고 있어 사회문제로 대두되고 있다. 이를 개선하기 위하여 한국해양과학기술원은 폐 FRP 선박 용융안정화 처리 시스템 개발을 완료하여 실용화를 계획하고 있다.

본 논문에서는 용융안정화 처리 시스템을 어느 지역에 설치하는 것이 경제적으로 효율적인가라는 문제를 경영과학적 기법을 이용하여 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 폐 FRP 선박 처리시설 입지선정문제를 고정비를 가지고 있는 설비입지선정문제로 간주하고 폐 FRP 선박 처리시설의 입지선정 방식을 고정비와 수송비의 합을 최소화 하는 수리적 모형을 제시하였다. 또한 수리모형의 타당성을 입증하기 위해 임의로 전라남도 9개의 지역을 대상으로 실험을 실시하였고 고정비 변화에 따른 건설해야할 처리시설의 수와 설치지역들이 변화하는 것을 확인 할 수 있었다. 그 결과 오세웅 외(2010)²⁾에서 제시한 결과 값과 차이를 보였으며 본 논문에서 제시한 방안이 경제적으로 더 효율적인 것을 볼 수 있었다. 본 실험에서의 고정비나 처리시설 발생지와 후보지, 폐 FRP 선박 발생량을 임의로 지정하였으나 실제 데이터로 얼마든지 변경 가능하다. 더 나아가 경제적 뿐만 아니라 기술적, 환경적으로 고려해야 할 사항을 적용시켜 문제를 푼다면 더 실용적인 해법이 될 것이다.

References

- [1] KORDI, 2008, Treatment System of Waste FRP Ship Construction, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Research Report.
- [2] Oh, S. W., Jeon, T. B., 2010, Location Analysis on the Melting System of Waste FRP Ship, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, 13:2 75-82.
- [3] Lee, E. J., Jung, R. T., 2007, A Study of Waste FRP Vessel Treatment in View of Legal System, The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies academic journal, 2711-2719.
- [4] No, S. A., Jung, N. T., 2007, Self Sustained Direct Melting of Waste

FRP Ships, Korean Society Of Environmental Engineers academic journal, 139-139.

- [5] Lee, E. J., Jung, R. T., 2008, A Cost Analysis on the Treatment Methods of a Waste FRP Vessel, The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies academic journal, 2905-2914.
- [6] Yoon, K. Y., 2007, New Practical and Eco-friendly Recycling method of FRP Boats, Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, 10:3 592-597.
- [7] Lee, S. H., Baek, D. H., 2006, The Maximal Profiting Location Problem with Multi-Product, Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society, 31:4 139-155.
- [8] Kim, C. Y., Choi, G. H., 2011, Adaptive Mean Value Cross Decomposition Algorithms for Capacitated Facility Location Problems, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 37:2 124-131.
- [9] Choi, S. S., Lee, Y. H., 2007, The multi-period Demand Changing Location Problem, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 33:4 439-446.
- [10] Hong, S. H., Lee, Y. H., 2004, The Maximal Covering Location Problem with Cost Restrictions, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 30:2 93-106.
- [11] Jeollanam-do, 2008, Registration Status of FRP Ships by Municipality.