한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 13, No. 2. pp. 75-82, May 2010

폐 FRP선박 용융처리시스템 입지 선정에 관한 연구

오세웅† · 전태병 · 박종민
해양연구원

Location Analysis on the Melting System of Waste FRP Ship

S. W. Oh†, T. B. Jeon and J. M. Park
MOERI/KORDI

요 약

FRP 선박은 제작이 쉽고 저렴한 건조비용으로 소형 선박을 중심으로 국내에 보급되었지만, 수명이 다한 노후 FRP 선박이 하천이나 어항 내에 방치되어 운항안전과 해양환경보전에 위협을 주는 등 사회문제로 대두대고 있다. 이를 개선하기 위하여 폐 FRP 선박 처리 기술과 용융처리시스템이 개발되었으며, 현지 적용을 위해 폐 FRP선박 처리 단계에 따른 전처리 지역 및 용융처리시스템 입지 방안이 필요하게 되었다. 폐 FRP선박 용융처리시스템 입지 장소는 기술적, 경제적, 환경적으로 적정해야 하므로 종합적인 차원의 평가가 요구되어 적지 선정에 어려움이 있다. 본 연구에서는 폐 FRP 용융처리시스템의 최적 입지 선정을 위해 입지경제적 요인, 생활환경 요인, 기반인프라 요인의 상위 요인과 각 상위 요인의 세부요인을 도출하여 폐 FRP선박 관련자를 대상으로 설문을 수행하였다 또한, Fuzzy AHP, 극한확률 이론을 이용하여 평가요인 간의 중요 가중치, 연관 가중치를 계산하고 후보지로 선정한 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시에 대한 평가 결과를 검토 하였다.

Abstract – The economical efficiency and easy ship building have enabled to spread FRP ships in the ship-building field. As waste FRP ships have been thrown away at a river or within a harbour, this matter has become issues. For the improvement of this matter, the melting technique and system of waste FRP ships was developed. But, Decision making was required for a location plan of the melting system of waste FRP ships. It's recognized that the location decision of this system is difficult due to the dependence on technical, economical, environmental factors. In this paper, we survey the primary factors of location-economic, life-environment, infrastructure and make up a question for the experts. We also calculate the important weight and related weight using Fuzzy AHP, Limiting probability method and discuss on the calculation results on the proposed sites.

Keywords: 다기준의사결정문제(MCDM), Fuzzy AHP(Fuzzy 계층분석법), 마코프 체인의 극한확률, 폐 FRP 선박

1. 서 론

1970년대 후반부터 보급된 FRP(유리섬유강화프라스틱) 선박은 제작이 쉽고 저렴한 건조비용으로 소형 선박을 중심으로 보급되었지만, 최근 노후된 FRP 선박이 하천이나 어항 내에 방치되어 운항안전과 해양환경보전에 위협을 주는 등 폐 FRP선박 처리의 지연은 사회문제로 대두되고 있다. 현재 노후화된 FRP 선박은 주성분인 유리섬유로 인하여 우리나라뿐만 아니라 많은 국가에서 처리에 어려움을 겪고 있다. 유리섬유는 소각이 어렵고 그대로 매립할 경우 인체에 해로운 영향을 주기 때문에 적절한 방법으로 처리해야만 하나, 고가의 처리비용으로 인해 불법적으로 방치되거나 처리하더라도 소각, 매립에 의존할 수밖에 없어 환경을 오염시키게 된다. 이를 개선하기 위해 폐 FRP 처리기술 개발 연구가 시작되었으며, 2008년에는 폐 FRP 선박 용융안정화 처리 시스템 개발을 완료하여 폐 FRP 선박처리 통합실증시험을 수행한 바 있다(한국해양연구원[2008]). 폐 FRP 선박 처리시스템은 폐 FRP 선박 분포상황을 고려하여 지역별 네트워크 구성이 요구되며, 폐 FRP선박의 용융처리시스템의 입지 장소는 기술적, 경제적, 환경적으로

†Corresponding author: osw@moeri.re.kr

적정해야 하므로 종합적인 차원의 평가가 요구되어 적지 선정에 어려움이 있었다. FRP 선박에 관한 연구는 실용적 재활용 방법, 재처리시스템 개발, 재자원화를 위한 유리면포 추출장치 개발, 자발용융처리 연구 등이 수행되었으나 폐기물 처리시설에 해당되는 폐 FRP선박 용융처리시스템의 입지선정에 관한 연구는 수행되지 못하였다.

본 연구에서는 폐 FRP 용융처리시스템의 최적 입지 선정을 위해 입지경제적 요인, 생활환경 요인, 기반 인프라 요인과 각 세부 요인을 도출하여 폐 FRP선박 관련자를 대상으로 설문을 수행하였으며, Fuzzy AHP, 극한확률 이론을 이용하여 평가요인 간의 중요 가중치, 연관 가중치를 계산하고 후보지로 선정한 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시에 대한 평가 결과를 검토 하였다.

2. 폐 FRP선박 처리절차 및 용융처리시스템 입지요인

2.1 폐 FRP 선박 처리 절차

폐 FRP 선박의 처리 단계는 예인 인양 절단 선박운반 하차 선박파쇄 파재운반 소각/매립, 용융의 8단계로 구성된다. 먼저 예인 단계로서 해체선박이 육상에 있지 않고 섬이나 뻘 등에 버려지거나 계류되어 있을 경우에는 예인선을 이용하여 연안으로 끌고 와야 하며, 폐선에 구멍이 있거나 파손되었을 경우에는 선박을 이용한 예인이 불가능하여 바지선에 파쇄를 위한 중장비를 싣고 섬으로 들어간 후 파재를 싣고 나와야 한다. 폐 FRP 선박을 연안으로 예인해온 후에는 크레인을 통하여 육상으로 인양하여야 하고 폐 FRP 선박의 인양이 끝나면 선박을 트럭에 싣고 선박해체지로 운반하며, 선박해체지로 운반된 폐 FRP 선박을 파쇄와 선박해체 작업을 하게 된다. 폐 FRP선박의 해체/파쇄가 완료되면 폐기물 수집운반 업체에서 운영하는 폐기물 전용 운반 집게차를 이용하여 소각 및 매립처리 업체로 FRP 파재를 운반하게 된다. 마지막으로 폐 FRP 선박 처리 단계에서는 소각/매립 처리되거나 용융 처리할 수 있다(한국해양연구원[2008]).

현행 폐기물 관리법에서 FRP 폐기물은 성상별 폐기물 분류법을 따르지 않고, 사용자 및 용도에 따라 산업 폐기물 또는 일반폐기물로 분류하고 있다. 대부분의 FRP 선박은 어선, 양식장 관리선, 낚시배로 사용하고 있어 산업 활동 재료로 간주하여 산업폐기물로 분류되고 있으며, 이에 따라 현행법상으로 소각 또는 매립처리를 원칙으로 하고 있다.

2.2 용융처리시스템 입지요인

한국해양연구원에서 수행한 폐 FRP선박 처리시스템 구축 연구에 따르면 용융처리시스템 장소의 고려사항을 연구한 바 있다. 용융처리시스템 입지 장소는 기술적, 경제적, 환경적으로 적정해야 하므로 “폐 FRP어선 발생원에서 적정한 운반거리 내에 있는 장소”, “적정 용량의 확보가 가능한 장소”, “주변이 주거 밀집지역으로부터 이격된 장소”, “수송로 상에 주거지역과 교통량이 적은 장소”, “경관의 손상이 적은 장소” 등을 고려해야 한다고 연구 하였다(한국해양연구원[2008]). 한국해양연구원의 연구 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. 용융처리시스템 입지 장소 선정 시 고려사항

구 분	시설 입지 고려사항
일 반	- 계획된 폐기물 처리 용량의 확보가 가능한 장소 - 폐기물 발생원에서 적정한 운반거리 내에 있는 장소
생활환경	- 주변이 주거 밀집지역으로부터 이격된 장소 - 용도상 규제지역은 회피(자연 및 수렴 보호지역 등) - 지역주민의 생활영양이 낮은 장소(농경지, 수렵 등) - 수송로 상에 주거지역과 교통량이 적은 장소 - 매립지 토지이용이 유리한 장소
자연환경	- 경관의 손상이 적은 장소 - 동·식물상의 훼손이 적은 장소 - 구배의 안정도가 높은 장소
운영관리	- 환경오염방지 및 안전대책 등 시설관리가 용이한 장소 - 지형상 재해에 대한 안전한 장소

본 연구에서는 기존 연구 결과와 폐기물 처리시설 입지 선정 시 고려되는 요인을 기반으로 폐 FRP 선박 용융처리시스템의 입지요인 구조를 설계하였다. 폐 FRP 선박 용융처리시스템의 입지에 영향을 주는 요인은 입지경제 요인, 생활환경 요인, 기반인프라 요인으로 구성되며, 각 세부 요인의 내용과 구조는 다음과 같다.

□ 입지경제 조건: 폐 FRP선박 용융처리시스템의 설치에 영향을 주는 경제적인 조건

- 토지이용 가능도 : 최종 처리 시스템의 설치에 필요한 부지 가용 조건
- 발생원 거리 : 폐 FRP 선박의 발생지, 전처리 장소로부터 최종 처리시스템 까지의 거리
- 용량 확보 : 전처리 장소에서 발생되는 폐 FRP 선박의 용량

□ 생활환경 조건 : 용융처리시스템 설치에 관계되는 생활 및 환경 조건

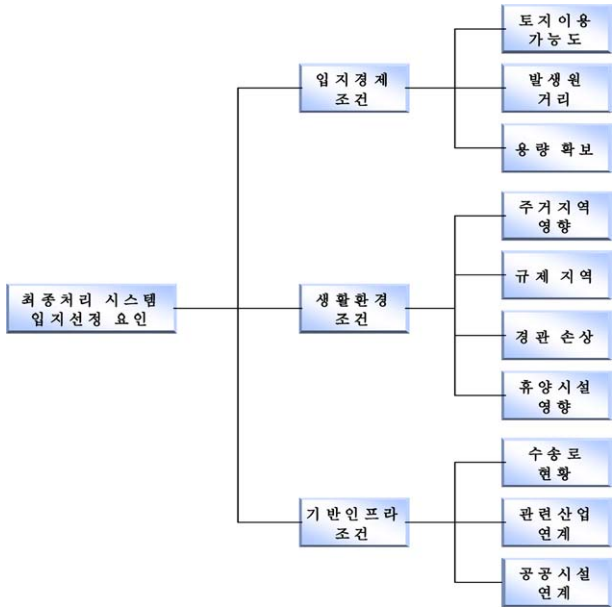

Fig. 1. 폐 FRP선박 용융처리시스템 입지 선정 요인.

- 주거지역 영향 : 최종 처리 시스템이 주거지역에 미치는 영향
- 규제지역 : 최종 처리 시스템 설치에 영향을 주는 규제지역
- 경관 손상 : 최종 처리 시스템 설치가 주변 경관에 미치는 영향
- 휴양시설 영향 : 최종 처리 시스템 설치가 휴양시설에 미치는 영향

□ 기반인프라 조건 : 용융처리시스템 운영 및 폐 FRP 선박 운송에 관련된 인프라 조건

- 수송로 현황 : 각 후보지로 폐 FRP 선박의 운반 시 수송로의 현황
- 관련 산업 연계 : 조선산업, 관광산업, 지역특화 사업 등 관련 산업 현황
- 공공시설 연계 : 최종 처리 시스템 운영에 필요한 공공시설 및 서비스 현황

2.3 폐 FRP 용융처리시스템 후보지 선정

폐FRP 선박처리 체계는 지역별 네트워크 형태가 예상되고 절차상 전처리 과정이 요구된다. 폐FRP 어선 전처리 장소 선정 시 고려대상으로 “폐 FRP어선 반입 경로가 쉽고 편리한 장소”, “선박 해체 시 폐 FRP어선 잔존유 회수가 가능한 장소”, “지역주민으로부터의 미원이 나오지 않는 장소”에 대한 항목 등을 검토해야 한다. 그리고 “국가사업으로 인한 폐 FRP어선 처리 실적이 있는 장소”, “어항 내 근접한 위치에 있는 장소”, “해체 작업인 절단, 파쇄 과정에 필요한 장비를 준비할 능력이 있는 장소” 항목들도 폐 FRP어선 전처리 장소 선정 시 충분히 고려하여 선정해야 된다. 전라남도의 경우 전처리 장소는 국가사업으로 폐선처리가 실시된 장소 및 지자체 폐선처리 담당자가 추천한 장소에 대해 자료를 취합하여 무안군, 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시에 각 1개소를 고려하며, 각 대상 장소는 국가사업으로 폐선처리를 실시하는 장소로 파악되었다. 대상 장소는 “국가사업으로 인한 폐선처리 실시 장소”, “지속적인 부지 사용 가능 장소” 등 전처리 장소 선정 고려사항 항목에 적합한 장소로 사료된다.

Table 2. 전라남도 지역별·선령별 FRP어선 등록 현황

지역	계	5년 이하	6~10년	11~15년	16년 이상
전라도	26,647	3,391	4,804	9,782	2
목포시	876	204	235	437	
여수시	4,350	824	1,183	2,343	
순천시	222	74	62	86	
광양시	282	89	56	137	
고흥군	2,822	556	654	1,612	
보성군	405	75	97	233	
장흥군	941	218	276	447	
강진군	439				
해남군	1,593	212	391	990	
영암군	154	21	39	94	
무안군	911	273	313	325	
함평군	816				
영광군	740	145	164	431	
완도군	7,747	2,313	2,279	3,155	
진도군	1,849	399	404	1,046	
신안군	2,500	460	724	1,314	

자료출처: 전라남도 지자체별 수산행정프로그램 FRP어선 등록 현황, 2008년

한편, 지역별·톤급별 어선 통계 현황에서 우리나라 총 어선척수 86,113척 중 전라남도 어선은 34,159척으로 총 어선척수의 39.7%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 그 다음으로 경상남도 18,348척으로 21.3%를 분포하고 있다. 어선 비중이 가장 많은 지역인 전라남도는 톤급별로 5톤 이하가 31,779척으로 93%를 차지하고 있으며, 그 다음으로 경상남도는 5톤 이하 어선이 16,611척으로 90.5%를 나타내고 있다. 어선 비중이 가장 많은 전라남도 지역의 지자체별 FRP어선 등록 현황으로 총 어선 척수 26,647척 중 완도

Table 3. 전라남도 지역별·톤급별 FRP 어선 현황

지역	계	0~1톤	1~5톤	5~10톤	10~20톤	20~50톤	50~100톤	100톤 이상
전라도	26,647	7,974	15,585	1,566	128	122	17	
목포시	879	322	329	181	8	33	3	
여수시	4,350	632	3,162	445	47	50	14	
순천시	222	111	79	32				
광양시	282	80	201	1				
고흥군	2,822	786	1,901	128	3	4		
보성군	405	98	240	66		1		
장흥군	941	454	471	14	2			
강진군	439							
해남군	1,593	489	1,082	19	2	1		
영암군	154	58	73	23				
무안군	911	643	255	12	1			
함평군	816							
영광군	740	240	350	132	6	12		
완도군	7,747	2,418	5,402	188	7	2		
진도군	1,849	851	920	70	4	4		
신안군	2,500	1,062	1,120	255	48	15		

자료출처: 전라남도 지자체별 수산행정프로그램 FRP어선 등록 현황, 2008년

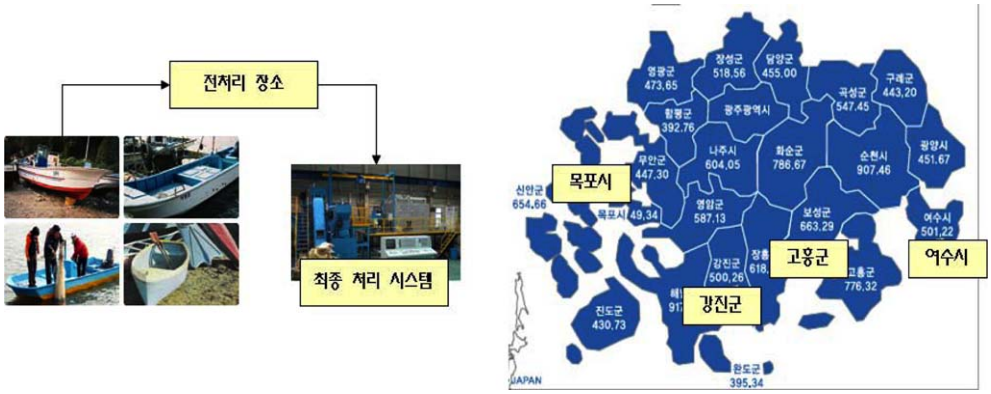

Fig. 2. 폐 FRP선박 용융처리시스템 후보지 선정.

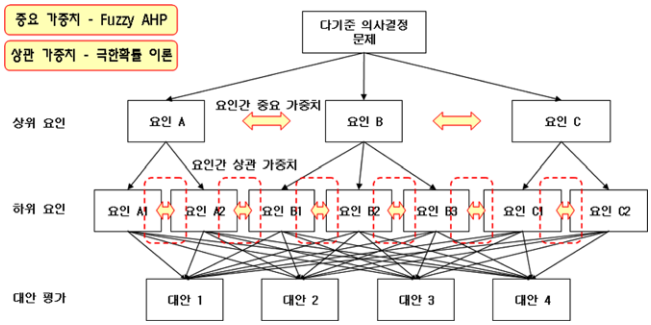

Fig. 3. 계산 방법론의 구성.

군이 7,747척(29.1%)으로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 여수시 4,350척(16.3%), 고흥군 2,822척(10.6%)으로 분포하고 있다.

Table 3은 전라남도 지역별·톤급별 FRP 어선 통계 현황을 나타낸 것으로 총 26,647척 중 5톤 미만의 어선이 23,559척(88.4%)으로 가장 많이 분포하고 있다. 5톤 미만의 어선 중 완도군이 7,550척(32.0%)으로 가장 많이 차지하고, 여수시 3,794척(16.1%), 고흥군 2,687척(11.4%)으로 분포하고 있다.

폐 FRP선박 용융처리시스템의 후보지는 현재 국가사업으로 폐선처리가 진행되고 있는 실정으로 기존 처리 단계를 토대로 인수·인계하는 장소를 대상으로 고려하였다. 전처리 대상 장소는 언급한 것과 같이 무안군, 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시가 있으며, 이 중 무안군과 목포시 인접해 있기 때문에 하나의 후보지로 고려하였다. 결과로 폐 FRP선박 용융처리시스템 후보지를 제1그룹 목포시, 제2그룹 강진군, 제3그룹 고흥군, 제4그룹 여수시로 선정하였다. 그림 2는 폐 FRP 선박 용융처리시스템의 후보지 선정 결과이다.

3. 의사결정 지원 도구 개발

3.1 계산방법론

의사결정 행동은 개인이나 조직, 기업경영, 행정 업무 등 다양한 분야에서 수행되고 있다. 의사결정 과정은 미리 준비한 평가기준에 따라 선택 가능한 여러 대안을 선택하는 것이나 사회가 산업화, 복잡화 되고 있으며, 급속한 과학기술 발전으로 과거에 비해 평가기준 간의 복잡성과 불확실성, 평가기준 간의 상호작용으로 많은 어려움이 발생하게 되었다. 다기준의사결정문제(Multiple Criteria Decision Making) 에서는 평가기준의 가중치 부여방법이 중요하며, 이에 대한 해법으로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 계층 분석법이 다양한 분야에서 사용되고 있다. 다기준 의사결정 연구에서는 본 계층 분석법을 이용하고 있으나, 방법론의 단순함에도 불구하고 해당 분야에 대한 계층적 의사결정방법 연구가 개별적으로 이루어져 왔기 때문에 다기준 의사결정문제를 지원할 수 있는 보편적인 도구 개발이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 다기준의사결정 문제에 적용할 수 있는 의사결정 도구를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 의사결정 도구에는 극한확률이론을 이용하여 평가기준 간의 상호연관성을 고려하였으며, Fuzzy AHP를 이용하여 판단 시의 모호성과 애매함을 도구에 반영하였다. 그림 3은 다기준 의사결정 문제에 있어서 요인의 가중치 고려가 중요하며, 이 때 요인 간의 중요 가중치와 상관 가중치를 계산하기 위해 Fuzzy AHP 기법과 마코프 체인의 극한확률의 적용에 관한 그림이다. 다음은 Fuzzy AHP와 마코프 체인의 극한확률 이론에 대한 개념에 대해 설명한다.

3.1.1 퍼지 계층분석법(Fuzzy AHP)

AHP 기법의 쌍대비교에 사용되는 척도는 특정 수치(crisp data)이며, 평가에 이용되는 데이터들은 주로 퍼지(Fuzzy)한 언어표현이 많아 전통적인 AHP으로 현실적인 의사결정을 내리기에 부적절하다는 의견이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 D.Y.Chang[1996]의 확장 Fuzzy AHP 기법을 이용하였다. $X=\{x_1, x_2,..., x_n\}$을 오브젝트 집합, $U=\{u_1, u_2,..., u_m\}$을 목표 집합이라 할 때, D.Y. Chang[1996]의 연구에 따르면, 각 오브젝트에 대한 m 확장 분석 값은 M_g^1, M_g^2,..., M_g^m, $i=1,2,..,n$로 표기된다. 여기서, 모든 $M_g^j(j=1,2,...,m)$은 파라미터가 a,b,c인 삼각퍼지수(TFNs: Triangular Fuzzy Numbers)로 구성된다. 퍼지 AHP 확장 분석과정은 3단계로 이루어지는데, i번째 오브젝트에 대한 확장 퍼

지계산은 다음과 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1}$$

$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ 값을 계산하기 위해 행렬에 대한 확장 분석의 퍼지추가 연산을 수행한다.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \sum_{j=1}^{m} b_{ij}, \sum_{j=1}^{m} c_{ij} \right), i = 1,2,\ldots,n$$

그리고 $\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1}$ 를 얻기 위해, $M_{gi}^{j}(j=1,2,\ldots,m)$ 의 퍼지추가 연산을 수행하고 벡터 역수를 구한다.

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{ij}, \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} b_{ij}, \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} \right) \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1}$$
$$= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} b_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{ij}} \right)$$

퍼지합성 확장 값은 주어진 정보에 대한 가능성 정도(Degree of Possibility)를 구하는 데 적용되며, 퍼지삼각함수 $M_1(a_1, b_1, c_1)$, $M_2(a_2, b_2, c_2)$가 볼록 퍼지함수(Convex Fuzzy Number)일 때, 가능성 정도 $M_2=(a_2, b_2, c_2) \geq M_1(a_1, b_1, c_1)$는 다음과 같이 표현된다.

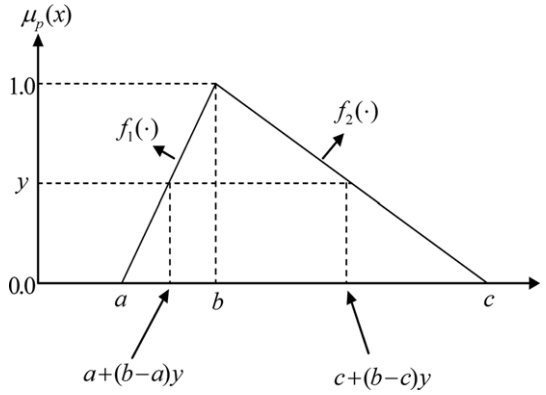

Fig. 4. 삼각 퍼지 $\tilde{P} = (a, b, c)$.

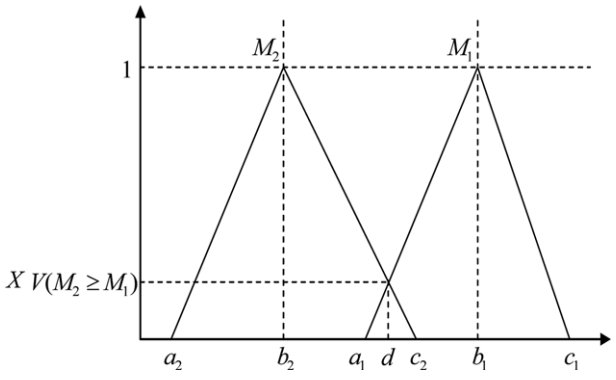

Fig. 5. M_1과 M_2의 교차점.

Table 4. 삼삭 퍼지 변환 척도

Linguistic scale	Triangular fuzzy scale	Triangular fuzzy reciprocal scale
Just equal	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Equally important	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Weakly more important	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Strongly more important	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Very strongly more important	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Absolutely more important	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } b_2 \geq b_1 \\ 0, & \text{if } a_1 \geq c_2 \\ \dfrac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 d는 μ_{M_1}와 μ_{M_2}간의 가장 높은 교차점 D의 y좌표 값이다. 퍼지수가 k 퍼지 수 $M_i(i=1, 2,\ldots,k)$보다 더 클 가능성은 다음과 같다.

$$V(M \geq M_1, M_2, \ldots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and} \ldots \text{and} (M \geq M_k)]$$
$$= \min V(M \geq M_i),\ i = 1,2,3,\ldots,k$$

$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$을 가정하면 $k=1,2,\ldots,n$; $k \neq i$ 여기서 가중치 벡터는 $W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T$라 주어진다. 본 연구에서는 요인의 평가에 Table 4의 삼각퍼지수 범위를 사용하였다.

3.1.2 극한확률이론(Limiting Probability)

본 연구에서는 평가기준 간의 상호연관성을 고려하기 위해 마코프 체인(markov chains)을 이용한 극한확률(Limiting Probability) 개념을 적용하였다. 이산 시간적 확률과정이 상태의 개수가 유한하고, 마코비안 성격을 만족하며, 초기상태에 대한 확률과 안정적인 전이확률을 가질 경우 이를 이산 시간적 유한 상태 마코프 체인이라고 한다. 시스템을 마코프 체인화 하면 초기상태에 대한 확률을 구할 수 있으며, 분석을 위해서는 단계의 전이가 필요하다. 초기상태의 확률이 i 상태에 있고, n 기간 후 상태 j에 있을 확률과 같이 2단계 이상의 전이확률은 다음의 체프만-콜모고로프(Chapman-Kolmogorov)식을 이용하여 구할 수 있다.

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{M} P_{ik}^{(m)} P_{kj}^{(n-m)} 0 \leq m \leq n$$

초기 확률행렬이 위와 같은 방법을 적용하게 되면 n단계의 전이확률은 1단계 초기 확률을 반복하여 사용함으로써 얻어질 수 있으며, 이는 행렬 P의 곱으로 정의된다. 마코프 체인으로 모형화된 시스템이 n단계와 같이 다단계의 변화를 거치게 되면 임의의 한 시점에서의 확률은 안정 상태에 도달하게 된다. 이러한 상태에 도달하게 되면 다음과 같이 현재 상태와 상관없이 일정한 값 π로 수렴되는데 이를 극한확률이라고 한다.

$$\lim_{n\to\infty} P^n = \begin{pmatrix} \pi_1 \pi_2 \dots \pi_m \\ \pi_1 \pi_2 \dots \pi_m \\ \pi_1 \pi_2 \dots \pi_m \\ \vdots \ \vdots \quad \vdots \\ \pi_1 \pi_2 \dots \pi_m \end{pmatrix}$$

여기서 π값은 확률로서 $\pi \geq 0, \Sigma\pi = 1, \pi = \pi P(\pi \neq 0)$의 성격을 가지게 되며, 시스템이 임의의 시점에 머무를 확률이나 많은 변화를 계속했을 때 일정한 상태에 있을 비율로서 해석이 된다. 마코프 체인의 모든 상태들이 상호방문하면서 비주기일 경우에 이 마코프 체인의 상태가 유한하며, 다단계의 전이가 진행될수록 초기 확률에 상관없이 값이 일정한 값으로 수렴되는 에르고딕 마코프 체인일 경우에 한하여 안정적인 전이확률을 얻을 수 있다. 마코프 체인의 상태확률은 일반적으로 초기상태의 영향을 받지만 에르고딕일 경우 다단계의 전이가 진행될수록 초기 확률에 상관없이 확률 $P_{ij}^{(n)}$ 의 값이 일정한 값으로 수렴하게 된다. 이와 같이 초기상태의 영향력이 없어지는 임의의 시점에 도달하게 되면 마코프 체인이 안정상태에 도달했다고 하며, 이때의 확률을 안정상태 확률이라고 한다. 따라서 에르고딕 마코프 체인의 극한확률은 안정상태 확률과 같게 되며 일반적으로 확률 $\lim_{n\to\infty} P^n$ 을 안정상태 확률이라고 한다.

3.2 의사결정 지원도구 개발

본 연구에서는 다기준 의사결정문제의 평가요인의 중요 가중치와 평가요인 간 상호연관 가중치를 계산하기 위하여 Fuzzy AHP 기법과 마코프 체인(markov chains)을 이용한 극한확률(Limiting Probability) 개념을 적용하였다. 일반적으로 다기준 의사결정 문제는 평가요인을 계층적으로 분류하고 상위요인 가중치, 하위 요인의 가중치, 평가항목의 평가 단계로 구성된다. 본 연구에서는 다기준의사결정 문제 처리를 위해 평가값 입력단계, Matrix 생성단계, 평가값 계산단계, 최종평가치 계산단계, 의사결정 단계의 5단계 구조로 설계하였다.

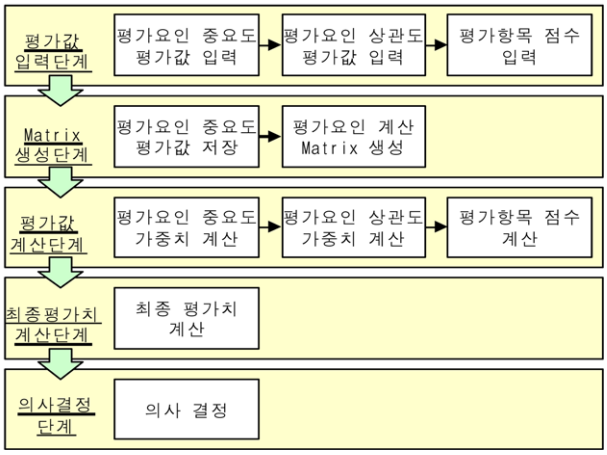

Fig. 6. 도구의 설계.

평가값 입력단계에서는 설문을 통해 수렴된 평가요인 중요도 평가값, 평가요인 상관도 평가값, 평가항목의 점수를 입력하게 된다. Matrix 생성단계는 Fuzzy AHP 기법이 쌍대비교 방식으로 $A \rightarrow B$의 평가값으로 $B \rightarrow A$ 평가값을 계산하여 평가요인 중요도 가중치 계산을 위한 행렬을 생성하는 단계이다. 평가값 계산단계에서는 Fuzzy AHP 기법의 로직에 따라 평가요인 중요도 가중치와 평가항목 점수를 계산하고, 마코프 체인(markov chains)을 이용한 극한확률(Limiting Probability) 개념을 이용하여 평가요인 상관도 가중치를 계산하게 된다. 최종 평가치 계산단계에는 평가요인 중요도 가중치, 평가요인 상관도 가중치, 평가항목 점수를 계산하여 최종의 평가요인 평가치를 계산한다. 계산된 평가치에 따라 평가항목의 순위를 결정할 수 있으며 의사결정자는 의사결정이 가능하게 된다. 그림 6은 의사결정 지원도구의 구동 절차에 관한 그림이다.

본 연구에서는 위 설계 내용에 따라 전문가 설문 결과를 입력하고 Fuzzy AHP와 극한확률 알고리즘에 따라 최종 평가값을 계산하는 의사결정 지원도구를 개발 하였다. 개발언어는 C#을 이용하였으며, 개발 플랫폼은 마이크로소프트사의 비주얼 스튜디어 2005을 이용 하였다. 의사결정 지원도구 개발 결과는 그림 7과 같다.

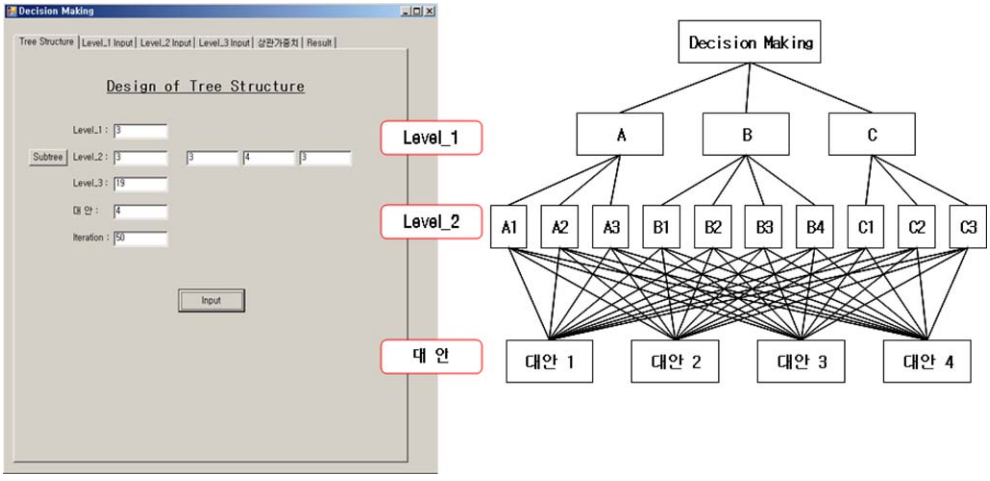

Fig. 7. 의사결정 지원도구 개발 화면.

4. 설문 분석 및 결과 검토

4.1 설문 분석

본 연구에서는 전라남도를 대상으로 폐 FRP 선박 전처리 대상지인 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시를 최종 처리 시스템 후보지로 선정하여, 입지 선정에 영향을 주는 입지경제적 조건, 생활환경 조건, 기반 인프라 조건 등을 고려한 입지 선정을 하고자 하였다. 폐 FRP선박 용융처리시스템과 관련한 전문가를 대상으로 설문 조사를 수행 하여, 26개의 설문지를 입수 하였으며, 이 중 2개의 설문지는 작성결과가 충분치 못하여 24개의 설문지를 이용하였다. 설문지를 작성한 전문가는 연구업무 분야의 10명, 관리업무 분야의 6명, 사용 분야의 8명으로 구성되며, 설문자의 해당분야 경력은 표 5와 같다.

설문지는 해양폐기물 처리시설의 입지선정 요인의 가중치 및 후보지의 점수를 평가하기 위해 수행 되었으며, 표 4의 척도에 따라 작성되었다. 본 연구에서는 설문 결과를 계산 프로그램에 입력하기 위해 표 4의 척도를 아래의 값으로 정리 하였다.

4.2 결과 검토

본 연구에서는 설문 결과 값을 정리하여 의사결정 지원도구에 입력하여 입지선정 평가값을 계산하였다. 본 프로그램에서는 입지선정 요인의 중요도 가중치, 상관 가중치, 각 후보지의 평가값, 그리고 각 가중치와 후보지의 평가값을 결합한 입지선정 점수를 계산하였다. 의사결정 지원도구에 설문결과의 입력과 최종 평가값의 계산 결과는 그림 8과 같다.

Table 5. 설문자의 해당 분야 경력 분류

번호	설문자의 해당분야 경력	명수
1	1년 ~ 5년	8 명
2	6년 ~ 10년	9 명
3	11년 ~ 15년	3 명
4	15년 ~ 20년	3 명
5	20년 이상	1 명
	합계	24 명

Table 6. 삼각 퍼지 측도의 퍼지 계산값

순서번호	의미	Min	Medi	Max
1	절대 중요	2.50	3.00	3.50
2	매우 중요	2.00	2.50	3.00
3	많이 중요	1.50	2.00	2.50
4	보통 중요	1.00	1.50	2.00
5	조금 중요	0.50	1.00	1.50
6	동일	1.00	1.00	1.00
7	조금 중요	0.67	1.00	2.00
8	보통 중요	0.50	0.67	1.00
9	많이 중요	0.40	0.50	0.67
10	매우 중요	0.33	0.40	0.50
11	절대 중요	0.29	0.33	0.40

평가요인 중 상위 요인인 입지경제, 생활환경, 기반인프라 요인의 요인 간 가중치는 Fuzzy AHP 계산 로직에 따라 0.087, 0.155, 0.757로 계산되었다. 입지경제 요인의 하위 요인의 가중치는 각각 0.213, 0.169, 0.619, 생활환경 요인의 하위 요인의 가중치는 0.197, 0.149, 0.275, 0.378, 기반 인프라 요인의 하위 요인의 가중치는 각각 0.546, 0.293, 0.161로 계산되었다. Fuzzy AHP 로직에 따라 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시의 평가항목 점수는 표 7과 같이 계산되었다. 한편, 하위 요인 간의 상관도 가중치는 마코프 체인(markov chains)을 이용한 극한확률(Limiting Probability) 개념에 따라 상관도 가중치 행렬을 누적 곱셈하여 일정한 값으로 수렴되는 행렬을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 가중치 행렬 누적 계산 시 50회 누적 곱셈 하였을 때 에르고딕 상태가 되는 것을 확인 할 수 있었다. 표 7에서는 평가요인의 요인 간 가중치, 평가요인 상관도 가중치, 평가항목의 평가 값이 계산되었으며, 곱셈으로 최종 평가값을 계산하여, 목포시 0.083, 강진군 0.003, 고흥군 0.003, 여수시 0.065가 계산되었다.

표 7에서 서남권 지역에 중심지이며 서해안고속도로의 최남단인 목포시는 조선 산업·관광 산업 등 지역특화 산업 육성에 대한 인프라가 형성되어 있으며, 서남권 조선사업 클러스터의 한 축을 담당하는 조선소 산업단지가 형성되어 있으므로 가장 높은 점수를 받은 것으로 사료된다.

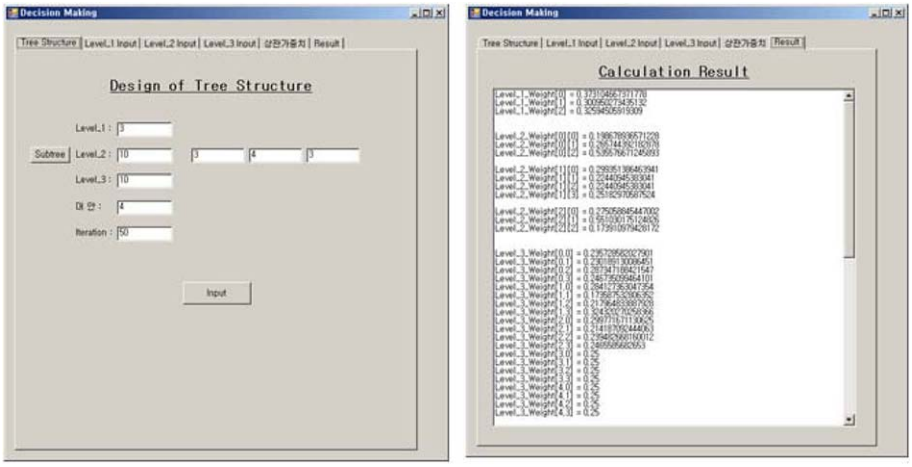

Fig. 8. 설문 결과 입력 및 최종 평가값 계산.

Table 7. 평가 값의 계산

	입지경제(0.087)			생활환경(0.155)				기반인프라(0.757)			합 계
	토지 이용 (0.213)	발생원 거리 (0.169)	용량 확보 (0.619)	주거 지역 (0.197)	규제 지역 (0.149)	경관 손상 (0.275)	휴양 시설 (0.378)	수송로 (0.546)	관련 산업 (0.293)	공공 시설 (0.161)	
상관 가중치	0.162	0.114	0.134	0.049	0.022	0.038	0.061	0.256	0.088	0.075	
목포시	0.592	0.591	0.570	0.254	0.25	0.25	0.25	0.570	0.5	0.5	0.083
강진군	0	0	0	0.281	0.25	0.25	0.25	0.006	0	0	0.003
고흥군	0	0	0	0.281	0.25	0.25	0.25	0.006	0	0	0.003
여수시	0.408	0.409	0.430	0.183	0.25	0.25	0.25	0.417	0.5	0.5	0.065

5. 결 론

폐 FRP선박 용융처리시스템은 님비 시설의 입지문제로 간주할 수 있으며 입지 고려사항으로 기술적, 경제적, 환경적 요인이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 다기준의사결정문제 해결을 위해 퍼지 계층분석법(Fuzzy AHP)과 극한확률 이론(Limiting Probability)을 적용한 의사결정 지원도구를 개발하였으며, 입지 고려요인에 따른 설문지를 작성하고 전문가 설문을 수행하여 계산 결과를 도출할 수 있었다.

평가요인 중 상위 요인인 입지경제, 생활환경, 기반인프라 요인의 요인간 가중치는 0.087, 0.155, 0.757, 입지경제 요인의 하위 요인의 가중치는 0.213, 0.169, 0.619, 생활환경 요인의 하위 요인의 가중치는 0.197, 0.149, 0.275, 0.378, 기반 인프라 요인의 하위 요인의 가중치는 0.546, 0.293, 0.161로 계산되었다. 또한 목포시, 강진군, 고흥군, 여수시의 평가항목와 요인간 상관 가중치를 계산하여 최종적으로 목포시 0.083, 강진군 0.003, 고흥군 0.003, 여수시 0.065의 점수가 계산되었다. 계산 결과에 따라 폐 FRP선박 용융처리시스템 입지 우선순위는 목포시 - 여수시 - 강진군, 고흥군 순이며, 이는 목포시가 서남권 지역에 중심지, 서해안고속도로와의 연결, 조선 산업·관광 산업 등 지역특화 산업 육성에 대한 인프라 및 조선소 산업단지가 형성되어 있는 것이 중요하게 작용한 것으로 분석되었다.

본 연구 방법은 전문가가 평가한 설문 결과를 이용하여 평가요인의 가중치 계산, 후보지 평가, 계산 값 결합을 통해 결과를 도출하였다. 그러나 설문 대상인 전문가 집단의 의견에 따라 변화된 결과를 도출할 수 있고, 본 연구에서 조사한 입지선정 요인 이외에 복잡 다양한 요인이 작용할 수도 있으며, 용융처리시스템의 설치 지역의 관계자 및 주민의 의견이 상이할 수 있다. 따라서, 본 연구 결과가 절대적인 것은 아니며, 입지선정 의사결정에 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국해양과학기술진흥원의 “해양폐기물 자원순환 기술연구”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] D. Y. Chang, 1996, “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, European Journal of Operatioanl Research, Vol. 95, pp. 649-655.

[2] 오세웅외 4인, 2007, “OWA를 이용한 의사전략 결합과 대기정박지 입지분석 문제 적용연구”, 2007 한국퍼지및지능시스템학회 춘계학술대회, 17권 1호, pp. 265-268.

[3] 지충열, 2008, “상관관계를 고려한 Fuzzy AHP 의사결정에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문.

[4] 오세웅외 3인, 2008, “다기준 의사결정문제 지원을 위한 도구 개발 연구”, 2008 지능시스템학회 춘계학술대회, 18권 1호, pp. 169-171.

[5] 한국해양연구원, 2008, 폐 FRP선박 처리시스템 구축(4), 국토해양부 연구보고서.

[6] Bayazit, O., 2005, “Use of AHP in decision making for flexible manufacturing systems, Journal of Manufacturing Technology Management”, Vol. 16, No. 17, pp. 808-819.

[7] Eddi, W. L. and Hang, L., “Analytic hierarchy process, an approach to determine measured for business performance”, Measuring Business Performance, Vol. 5(3), pp. 30-36.

[8] F. Tunc Bozbura and Ahmet Beskese, “Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy AHP”, International Journal of Approximate Reasoning 44, pp. 124-147.

[9] Ke-Jun Zhu, Yu Jing and Da-Yong Chang, “A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP”, European Journal of Operational Research, pp. 450-456.

[10] Ling Wang, Jian Chu and Jun Wu, “Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process”, International Journal of production Economics 107, pp. 151-163.

[11] Mead, L and Sarkis J., “A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers”, Supply Chain Management : An International Journal, Vol. 7, No. 5, pp. 283-295.

[12] Osman Kulak and Cengiz Kahraman, “Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process”, Information Science 170, pp. 191-210.

[13] Saaty, T. L., “The analytic hierarchy Process”, Mc Graw-Hill, 1980.

2010년 1월 13일 원고접수
2010년 3월 11일 심사완료
2010년 3월 17일 수정본 채택