

工學博士 學位論文

공간분석과 순위가중치평균법을 이용한 입지평가 연구

- 울산항 대기정박지 입지분석을 중심으로 -

A Study on the Location Analysis Using Spatial Analysis and
Ordered Weighted Averaging(OWA) Operator Weighting Functions

指導教授 李 哲 榮

2008 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

吳 世 雄

本 論文을 吳世雄의 工學博士 學位論文으로 認准함.

위원장	곽 규 석	(인)
위 원	박 진 수	(인)
위 원	구 자 윤	(인)
위 원	서 상 현	(인)
위 원	이 철 영	(인)

2007 년 12 월 17 일

한국해양대학교 대학원

목 차

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구 방법 및 절차	4
제 2 장 선행 연구 고찰	7
2.1 입지분석	7
2.1.1 개념 및 특징	7
2.1.2 전통적인 입지연구	7
2.2 해상교통시스템 연구	9
2.2.1 해상교통 및 해상교통공학	9
2.2.2 해상교통환경 평가연구	1
2.3 공간 분석	3
2.3.1 공간 의사결정 도구	3
2.3.2 입지분석을 위한 공간분석 기법	4
2.3.3 공간적 다기준 의사결정 방법론	6
2.4 다기준 의사결정모형	24
2.4.1 다기준 의사결정모형의 연구가치	24
2.4.2 다기준 의사결정모형의 유형별 특징	24
제 3 장 항만 시설	29
3.1 항만 계획 및 항만시설의 개요	29
3.2 대기정박지 설계	32
3.3 항로와 선회장	35

제 4 장 대기정박지 평가기법	37
4.1 공간 분석 기법	37
4.1.1 GIS 정의 및 구성요소	37
4.1.2 GIS의 구성요소	8
4.1.3 GIS 기능	9
4.2 가중치 산정 기법	41
4.2.1 퍼지이론	41
4.2.2 AHP 기법	42
4.2.3 퍼지 계층분석법(Fuzzy AHP)	66
4.3 의사결정전략 선택기법	50
4.3.1 가중치 결합 기법의 종류	50
4.3.2 순위가중치 평균법(OWA)	53
제 5 장 울산항 대기 정박지 입지 분석	67
5.1 울산항 개요	67
5.1.1 울산항의 자연환경	67
5.1.2 울산항 일반현황	70
5.1.3 요약	80
5.2 대기 정박지 선정 요인 분석	81
5.2.1 항만시설 관련 연구 문헌	81
5.2.2 대기 정박지 선택요인 정리	84
5.3 공간분석을 이용한 대기정박지 후보지 선정	85
5.3.1 수행 방법	85
5.3.2 평가기준도 개발	88
5.3.3 평가기준도의 표준화	88
5.4 후보지 입지평가 및 적지 선정	94

5.4.1 대기정박지 선정요인 계층도	9
5.4.2 설문분석 수행	9
5.4.3 평가치 계산	101
5.4.4 순위가중치평균법 적용	114
5.4.5 요약정리	118
제 6 장 결 론	121
6.1 연구결과 정리	121
6.2 연구의 특징 및 한계점	123

※ 부록 - 설문지

표 차례

<표 2-1> 교통 종류별 비교분석	9
<표 2-2> 가중치 부여 방법 비교	12
<표 2-3> 다기준 의사결정과정에서 활용되는 의사결정 규칙 특성	22
<표 2-4> 다기준 의사결정모형 분류	22
<표 3-1> 항만법(제2조제6호)에 명시된 항만시설의 종류	30
<표 3-2> 국내항만의 정박지 수심	33
<표 3-3> 정박지의 수심	33
<표 3-4> 정박 종류에 따른 정박지면적	43
<표 3-5> 닻 정박일 경우 정박지의 면적	53
<표 3-6> 우리나라 항만의 박지면적과 항구 폭	53
<표 4-1> 쌍대비교 매트릭스	44
<표 4-2> Saaty의 9점 평가 스케일	44
<표 4-3> 행렬의 크기에 따른 확률지수	54
<표 4-4> 삼각 퍼지 변환 척도	55
<표 4-5> $W(3/4)$ 에 대한 가중치 행렬	60
<표 4-6> 일정한 수준을 갖는 가중치 함수	66
<표 4-7> $W(2/3)$ 에 대한 가중치 행렬	61
<표 4-8> $W(1/4)$ 에 대한 가중치 행렬	61
<표 4-9> $W(1/3)$ 에 대한 가중치 행렬	62
<표 5-1> 울산지방 기상 개요	76
<표 5-2> 항만시설 현황	77
<표 5-3> 울산항의 기간별 선박 입출항 현황	77
<표 5-4> 울산항의 선박 종류별 선박 입출항 현황	77
<표 5-5> 울산항 항로의 경위도	77
<표 5-6> 정박지의 경위도	77

<표 5-7> 울산항 해상교통 입항 패턴	77
<표 5-8> 울산항 출항패턴	87
<표 5-9> 전자해도 포함 정보	78
<표 5-10> 삼각 퍼지 변환 척도	79
<표 5-11> 평가치 종합	111
<표 5-12> 요인 평가값의 내림차순 정렬	116
<표 5-13> Orness 값에 대한 의사결정 전략 의미	116
<표 5-14> $n=8$ 에 대한 가중치 행렬	117
<표 5-15> 순위가중치 평균법을 적용한 대기정박지 평가결과	118

그림 차례

<그림 1-1> 연구 방법	4
<그림 1-2> 연구 절차	5
<그림 2-1> 전통적인 입지모델 분류	8
<그림 2-2> 해상교통환경평가 및 선박조종 시뮬레이션	21
<그림 2-3> 공간분석을 입지분석 개념	31
<그림 2-4> 공간분석을 이용한 분석 방법	41
<그림 2-5> 공간적 다기준 의사결정 방법론	71
<그림 3-1> 부산항 전자해도 그림	13
<그림 4-1> GIS를 도구상자(toolbox)로 보는 관점	73
<그림 4-2> GIS를 정보시스템으로 보는 관점	83
<그림 4-3> GIS의 구성요소	93
<그림 4-4> GIS의 기초적인 공간분석 기능 유형	104
<그림 4-5> IDW 보간기법	114
<그림 4-6> 퍼지이론의 구조	121
<그림 4-7> AHP 수행절차	131
<그림 4-8> 의사결정문제의 계층구조화 모델	131
<그림 4-9> Fuzzy AHP 기법의 특징	141
<그림 4-10> 삼각 퍼지 수,	184
<그림 4-11> 과 의 교차점	194
<그림 4-12> 순위가중치 평균법 개념	245
<그림 4-13> 순위가중치 평균법의 의사결정 전략 선택의 의미	245
<그림 4-14> 일정 수준의 결합력을 갖는 함수	275
<그림 5-1> 월별 평균, 최대, 순간 최대 풍속 및 울산지역 바람장미도	
<그림 5-2> 울산항 최강낙조류 관측 자료	296

<그림 5-3> 울산항 최강창조류 관측 자료	96
<그림 5-4> 울산항 항로도	97
<그림 5-5> 울산항 정박지 위치	97
<그림 5-6> 울산항 해상교통 입항 패턴	97
<그림 5-7> 울산항 출항 패턴	97
<그림 5-8> E 정박지에서 해상교통 흐름	97
<그림 5-9> M정박지 이용선박의 패턴	98
<그림 5-10> 대기정박지 선정요인	98
<그림 5-11> 공간분석 절차	98
<그림 5-12> 대상해역의 전자해도 영역	98
<그림 5-13> S57 Converter	98
<그림 5-14> 울산항 전자해도의 SHP 변환	98
<그림 5-15> 평가기준도 작성 항목	98
<그림 5-16> 저질에 대한 평가기준도	99
<그림 5-17> 수심에 대한 평가기준도	99
<그림 5-18> 타항만시설과의 적합도에 대한 평가기준도	99
<그림 5-19> 부두 접근성에 대한 평가 기준도	99
<그림 5-20> 대기정박지 입지 후보지 계산	99
<그림 5-21> 대기정박지 후보지	99
<그림 5-22> 입지선정 요인의 계층도	99
<그림 5-23> 과 의 교차점	99
<그림 5-24> 상위 및 하위 요인의 가중치	99
<그림 5-25> 의사결정 규칙 관점의 평가값	99
<그림 5-26> OWA 순위가중치 적용 개념	99
<그림 5-27> 대기정박지 후보지 순위결과	99
<그림 5-28> 울산항 중소형선박 대기정박지 입지평가 결과	99

**A Study on the Location Analysis Using Spatial Analysis and
Ordered Weighted Averaging(OWA) Operator Weighting Functions**

Se-Woong Oh

*Department of Logistics System
Graduate School, Korea Maritime University*

[Abstract]

The recent trend reflects the increasing importance of non-economic considerations in the locational decision making. But all most traditional locational analysis techniques have been designed for the optimization of a certain of single goal which should be achieved in the locational determination.

The selection of a facility location among alternative locations is a multicriteria decision-making problem including both quantitative and qualitative criteria. The conventional approaches to facility location problem tend to be less effective in dealing with the imprecise or vagueness nature of the linguistic assessment. Under many situations, the values of the qualitative criteria are often imprecisely defined for the decision-makers.

Ulsan port located at the southeastern part of Korean Peninsular is the one of

the greatest port in Korea, where a lot of domestic and foreign ship are entering and departing. As the vessel using the M-Anchorage is increasing, anchorage for small vessel is insufficient. Though there are heavy congestion of ship and the risk of maritime accidents always exist, there has been no preparation for creating new anchorage. In response to that, we analyzed the current status and evaluated the location suitability.

In this thesis, we proposed the method combining spatial analysis, selection method of weighting values, aggregating decision strategy. To select a sites proposed for anchorage, we analyzed spatial data. Fuzzy AHP is used as selection method of weighting values to incorporate the fuzzy set theory and the basic nature of subjectivity due to ambiguity to achieve a flexible decision approach suitable for uncertain and fuzzy environments. To obtain the scoring that corresponds to the best alternative or the ranking of the alternatives, we need to use a total order for the fuzzy numbers involved in the problem. In this thesis, we consider a definition of such a total order: the degree of Orness(1, 3/4, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 0) reflected with the ordered weighted averaging(OWA) operators. A numerical example was given to illustrate the approach.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통에 관한 학설로는 인간상호관계설(最廣義), 인간상호경제관계설(廣義), 장소적 이동설(狹義), 운송설(最狹義) 등이 있으나, 사람이나 물건, 개념의 장소적 이동을 의미하는 장소적 이동설이 통설로 되어있다. 이는 공간적 격리에 의한 장애를 제거하는 인간의 활동을 의미한다. 교통은 교통로에 따라 육상, 해상, 항공교통으로 구별되며, 특히 해상교통은 교통로의 측면에서 항로가 수면 상에 있고 외견상 형태가 없으며, 자연현상 영향이 크고 항로의 전용과 입체교차가 불가능하다. 그리고, 항만시설이 필요하며, 교통기관의 이동성의 측면에서 안전하고, 고정적인 이동이 가능하나 속도의 가감이 신속하지 못한 것이 특징이다. 또한, 적재성의 측면에서 대량적재가 가능하고, 선박의 조선 시 고도의 기술과 경험이 필요하며, 국제성이 큰 특징이 있다. 1993년 10월 10일 승객 362명중 292명이 사망한 전남 부안군 위도면 서해 페리호 인명사고와 1995년 7월 23일 전남 여천군에서 발생하여 어민피해 산정 443억 5,600만원의 피해와 환경을 파괴한 유조선 씨 프린스호의 좌초사고에서 알 수 있듯이, 해상교통은 해상이라는 고립된 특수한 환경에서 발생하는 다양한 위험이 존재하므로 사고 발생 가능성이 높고, 사고가 발생하면 외부로부터 도움을 받기가 힘들어 사고가 대형화 된다. 따라서 미리 사고를 예방할 수 있는 안전관리가 필수적이다.

해상교통 안전을 위해 선박에서는 무재해 운동의 시행, 현장 교육의 강화, 국제 안전관리코드(International Safety Code : ISM Code)의 성실한 시행 등의 방법이 추진되고 있으며, 선박에서 해상교통에 영향을 미치는 기상정보, 지리정보, 항로정보 등의 각종 외부정보를 입수하고, 이들 외부정보와 본선에서 내부적으로 입수한 정보를 통합하여 최적의 결정을 내림으로서 해난사고를 예방하는 방안이 연구되고 있다. 정부에서는 해상교통 안전 관리를 위해 해상교통안전법, 개항질서법 등과 같은 교통 단속 법규를 제정하고, 본선의 위치를 확인하고 위험 장애물을 피하기 위

한 기본적인 설비인 항로표지를 설치하여 관리하고 있다. 또한, 선박의 충돌을 방지하기 위하여 통항로를 설정하거나 기타 적절한 방법으로 한쪽 방향으로만 항행할 수 있도록 항로를 분리하는 방식인 통항분리제도(Traffic Separation Scheme, TSS)를 실시하며, 지정된 지점을 통과할 때 또는 지정된 시간에 선박의 위치를 보고하는 기초적인 선위보고제도(Ship Reporting System), VTS를 통해 해당지역 부근의 선박 교통을 추적 관리하고 있다.

해상운송과 육상운송의 접점이 되는 항만은 항만시설로 구성되어 있는데, 이 항만시설을 이용함으로써 선박의 안전한 입출항, 화물의 양·적하 작업이 이루어지게 된다. 항만시설에는 수역시설, 외곽시설, 운송시설로 구성된 기본시설과, 계류시설, 항행보조시설, 하역시설, 선박보급시설, 승객이용시설 등으로 구성된 기능시설로 구성된다. 해상교통 흐름과 밀접히 관련이 있는 항로, 정박지의 수역시설과 항로표지, 신호, 조명과 같은 항행보조시설의 입지 및 최적관리는 해상교통 흐름을 원활히 하고 선박의 안전운항을 용이하게 하므로 매우 중요한 문제라 할 수 있다.

항만시설 정비를 위한 기존 연구에서는 해상교통체계를 전반적으로 분석하고 개선점을 제안하는 해상교통 환경평가가 이루어지고 있으며, 매립지 건설, 해저배관 시설, 부두 건설, 정박지 확장 등 선박의 해상교통에 영향을 주는 구조물 설치에 따른 파급효과를 파악하기 위해 선박조종 시뮬레이션을 수행하고 있다. 항만시설 정비에 관한 기존 연구에서는 항만의 자연환경 및 교통량을 조사하거나, 도선사, 항해사 등 전문가 의견을 토대로 계획을 수립하고 있다. 그러나 기존 연구에서는 선박의 교통 안전성을 강조하는 반면 항만시설 입지에 관한 외부요인의 고려가 부족하며, 분석결과에서 의사결정으로 연결되는 과정에 의사결정자의 주관적 의견개입이 높고, 외부환경요인에 따른 의사결정 전략의 조정이 어려운 단점이 있다.

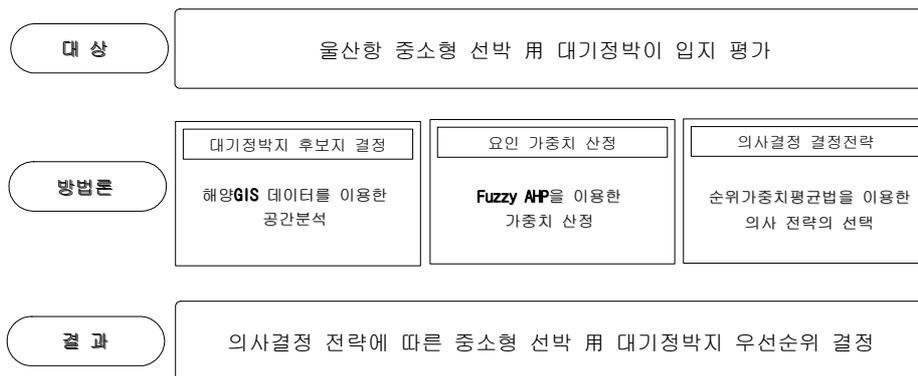
항만시설 정비 문제는 선박의 조종 안정성뿐만 아니라 항만 관련자의 이해관계, 항만개발 계획, 타 항만시설과의 적합도 등 다양한 외부요인이 발생할 수 있으므로 공간적 다기준의사결정 관점의 접근법이 필요하다. 공간적 다기준의사결정법은 공간데이터를 이용한 공간분석과 다양한 기준을 고려하여 문제의 해결책을 모색하는 다기준 의사결정(MCDM : Multicriteria Decision Making)을 결합한 방법이다. 본

연구에서는 항만시설의 배치에 관련된 공간데이터를 활용한 공간분석과 항만시설 입지선정에 영향을 주는 요인의 가중치 결정, 의사결정자의 의사결정 전략에 따른 적용법으로 구성된 항만시설의 공간적 다기준 의사결정 분석법을 개발하였으며, 본 분석법을 울산항의 중소형 대기정박지 입지선정 문제에 적용하였다. 울산항은 전국 화물의 37%를 처리하는 경제적으로 중요한 항만으로, 처리화물 중 위험화물이 81%를 차지하고 있고, 항계 내에서 위험화물의 해상환적작업이 이루어지고 있어 유류유출사고의 위험성이 높다. 특히, 울산항의 중소형 선박 정박지인 M1~M7 정박지에는 정박선박이 집중하여 대단히 혼잡하고 적정허용 척수를 초과하여 정박하고 있다. 또한, 온산항을 입항하는 선박이 M정박지를 이용함으로써 1항로를 횡단하고, SK 1번 SBM 및 동방과제 등 조선수역이 협소한 수역을 항내 이동함으로써 사고의 위험성을 증가시키고 있다. 또한 온산 앞 신항 개발로 인하여 울산항 정박지가 좁아질 것이므로 정박지 확보가 시급한 형편이다.

본 연구에서는 해상교통과 물류흐름에 영향을 주는 항만시설의 입지의사결정을 위해 공간분석과 순위가중치 결정법을 이용한 공간적 다기준의사결정 기법을 개발하였다. 그리고, 중소형 대기정박지 확장이 요구되는 울산항의 대기정박지 입지 결정문제에 적용하여, 의사결정자의 의사결정 전략별 대기정박지 우선순위를 도출하였다. 본 연구에서 개발한 공간적 다기준의사결정 기법은 항만시설 입지 결정에 물리적으로 영향을 주는 공간데이터를 이용하여, 실제 적용 가능한 입지 후보지를 도출하였으며, Fuzzy AHP 기법을 통한 입지요인 가중치 산정, 순위 가중치 결정법의 7가지 종류의 의사결정 전략에 따른 탄력적인 결과를 도출하였다.

1.2 연구 방법 및 절차

본 연구에서는 경제적 측면을 강조한 전통적인 방법에서 벗어나 공간분석과 순위가중치평균법을 이용한 순차적 분석을 수행하였다. 본 연구에서 개발한 방법론의 절차는 3가지 단계로 구성되는데, 1단계는 정박지 인접 시설 관계, 수심, 저질, 교통 혼잡도 등 정량적 요인을 이용한 공간분석을 수행하여 대기정박지 후보지를 선정하고, 2단계는 안전 요인, 환경 요인, 해상교통 요인 등 대기정박지 입지선정에 영향을 주는 요인에 대한 설문을 수행하고 설문결과를 이용하여 가중치 평가와 대안 평가를 하며, 마지막 3단계는 순위가중치평균법을 이용한 가중치 결합을 통해 대기정박지 후보지를 평가한다.

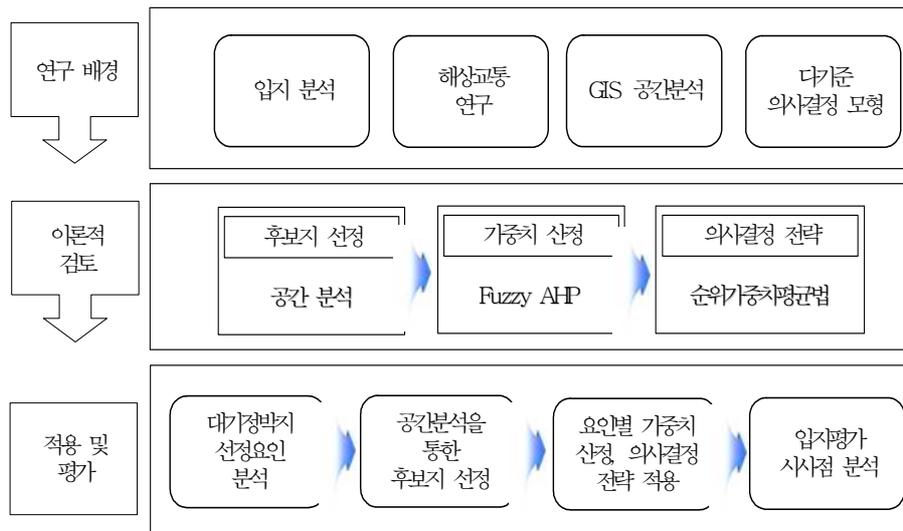


<그림 1-1> 연구 방법

공간분석을 이용한 입지분석은 대량의 공간수치 데이터를 쉽게 처리하고, 최종 대안의 의사결정 폭이 넓은 이점을 지니고 있기 때문에 기존 입지연구에서 다수 시도되었다. 입지요인이 단지 지리적, 공간적 자료이기 때문에 해당 구역의 형평성, 효율성 등을 충분히 처리하지 못한 점을 감안하여, 각 요인들에 대한 설문결과와 Fuzzy AHP 기법을 이용하여 가중치를 산정하였으며, 의사결정자의 의사전략을 결합하기 위해 순위가중치 평균법이 이용되었다.

연구 절차로, 2장은 공간적 다기준의사결정 방법에 관한 이론적 고찰 부문으로,

입지분석에 대한 기본 개념, 해상교통시스템의 구성, 공간분석 기법, 공간의사결정을 위한 다기준 의사결정기법에 대한 특징을 파악하고, 제3장에서는 항만시설의 종류 및 설계 시 고려요소에 대해 서술하였다. 제4장에서는 본 연구의 접근 방법인 공간 분석, 가중치 산정기법, 순위가중치평균법에 대한 내용으로, 평가기준도 작성과 공간분석 결과, Fuzzy AHP 기법을 이용한 가중치 평가방법, 순위가중치 평균법을 이용한 의사결정전략 선택 방법을 서술한다. 제5장에서는 울산항의 대기정박지 입지 선정에 관한 내용으로, 울산항의 교통시스템 개요, 대기 정박지 선정 요소, GIS 데이터의 구축, GIS 기법을 이용한 후보지 선정, 마지막으로 순위가중치 평균법을 이용한 입지 평가 및 분석을 수행하였다. 제6장 결론에서는 주요연구결과를 요약하고 연구의 특징과 한계점을 언급하며, 향후 연구 내용에 대해 언급하였다.



<그림 1-2> 연구 절차

제 2 장 선행 연구 고찰

2.1 입지분석

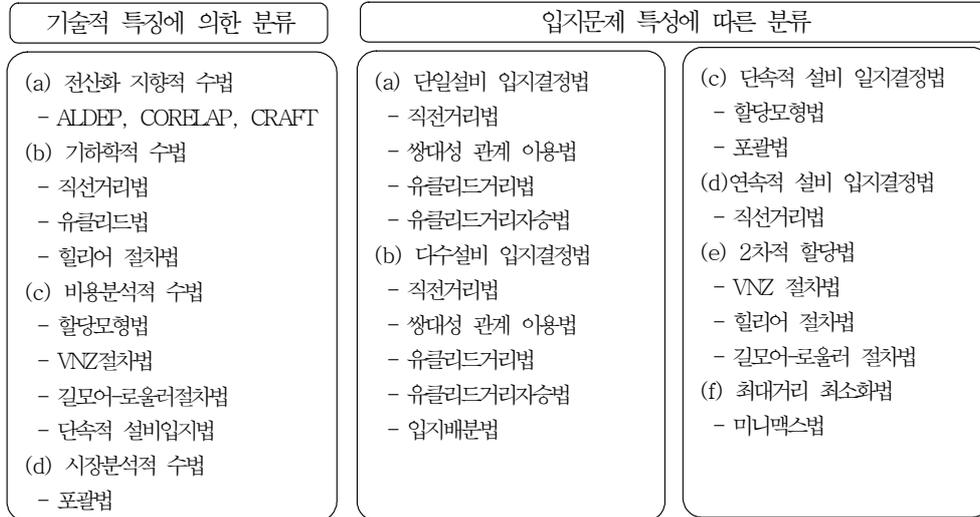
2.1.1 개념 및 특징

입지결정은 많은 변수를 고려하고 불확실성을 전제로 하며, 입지시설의 이용자, 분석가, 기술자가 다방면에서 참여하여 절차가 복잡하고 계층적이다. 통상적인 의사결정은 이익이나 비용과 같은 명확한 목표를 수반하는 것에 비해 입지분석은 이익이나 비용 이외에 많은 목표가 제기 되므로 의사결정의 합리성, 적정성이 강조된다. 한편, 입지분석은 최적입지가 되는 해를 구하는 것으로 의사결정자 선택의 문제라 할 수 있는데, 의사결정자가 입지 갈등을 최소화하기 위해 경영과학적인 여러 방법을 적용하는 과정에서 만들어진 모형으로부터 목적함수를 완전히 충족하는 최적 입지해 도출을 의미한다.

최적 입지분석은 물리적인 거리나 수송거리 혹은 시장 및 고객의 범위, 시설의 규모, 수송비용 및 입지에 소요되는 총 비용 등의 관점에서 최소화나 최대화를 주요 개념으로 이용하고 있다. 그러나 입지분석은 영향을 미치는 모든 요인의 도출이 힘들며, 모든 요인이 도출되어도 기술적으로 전체 요인의 적용이 어렵다. 또한 입지요인의 타당성이 확보되어야 하나 타당성의 검증 및 적용이 취약하기 때문에 이에 대한 지속적인 논의가 이어지고 있다.

2.1.2 전통적인 입지연구

입지선정 연구는 1960년대 초를 시작으로, 초창기에는 이론적인 것으로, 시설용량에 제약이 없는 단순 입지선정문제에 대한 효율적인 해법개발에 주로 중점을 두었지만, 이후 복잡하고 현실에 응용 가능한 입지선정 문제에 대한 모형 및 해법개발 연구가 수행되었다. 전통적 입지결정기법은 기술적 특징과 입지문제의 성격에 따라 <그림 2-1>와 같이 구분된다.



<그림 2-1> 전통적인 입지모델 분류

- 출처 : 백중현(1983), 시설의 입지결정방법론에 관한 비교연구, 서울대 박사학위논문, pp.18~19 인용 및 재정리

기술적 특징으로, 복잡한 입지모형 해를 도출하기 위해 전산화 기법이 도입되었으나, 주로 시설간의 직선거리 및 비용을 최소화하거나, 거리에 따른 포괄범위를 한정짓는 기법으로, 단일 목적을 위한 기법이라 할 수 있다. 입지시설의 특징에 있어서, 초기에는 단일 시설의 입지결정을 주목표로 하였으며, 이후 단일시설이 갖는 한정성 때문에 다수시설 입지결정이 시도되었다. 전통적 기법의 목표는 재화의 수송에서 발생하는 이동거리를 최소화시키는 입지를 적정입지로 설정하는 것이 목적이며, 입지의 결정과 관련하여 재화의 수송에서 발생하는 총 수송비를 최소화시키는 입지를 적정입지로 설정하는 방법이 주를 이루었다. 또한 입지결정과 관련하여 발생하는 총 입지비용을 최소화시키는 입지를 적정입지로 설정하고, 발생하는 최대 이동거리를 최소화시키는 입지를 적정입지로 설정하며, 마지막으로 최소의 비용으로 포괄할 수 있는 고객의 수 또는 시장의 범위를 최소화시키는 입지를 적정입지로 설정하였다. 결과로 이동거리와 수송비용, 총 입지비용, 시설규모의 요인들을 최소화/최대화 목표를 달성하는 입지가 최적입지로 정의된 점을 알 수 있다.

2.2 해상교통시스템 연구

2.2.1 해상교통 및 해상교통공학

해상교통은 <표 2-1>에서와 같이 도로교통과 항공교통과는 비교되는 다양한 특징이 있다. 해상교통은 해상이라는 고립된 특수한 환경에서 발생하는 다양한 위험이 존재하므로 사고 발생의 가능성이 많으며, 일단 사고가 발생하면 외부로부터 도움을 받기가 힘들어 사고가 대형화하기 쉬운 특징을 가지고 있으므로, 미리 사고를 예방할 수 있는 안전관리가 필수적이다.

<표 2-1> 교통 종류별 비교분석

		도로교통	항공교통	해상교통
교통로		<ul style="list-style-type: none"> - 도로는 한정된 지향성을 가진 구축물 - 자연현상의 영향이 적다 - 도로의 전용 또는 입체 교차가 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 항공로는 공간에 있고 외견상 형태가 없다. - 자연현상의 영향이 크다. - 항공로의 전용과 입체 교차가 가능하다. - 공항이 불가결하고 다수의 항공로가 활주로에 집결된다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 항로는 수면 상에 있고 외견상 형태가 없다. - 자연현상의 영향이 크다. - 항로의 전용과 입체 교차가 불가능하다. - 항만시설이 필요하다.
교통기관	물리 특성	- 도로를 지지대로 도로면에 밀착된다.	- 공기를 지지대로 하는 비행성이다.(추진력+양력)	- 물을 지지대로 하는 부양성이다.
	이동성	<ul style="list-style-type: none"> - 안정하고 고정적이다 - 고속력이 가능, 속도의 감속, 급정지, 후진이 용이하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 안정하고 고정적인 이동이 곤란하다. - 초고속이 가능하나 정지와 후진이 어렵다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 안정하고 고정적인 이동이 가능하다. - 고속력이 불가능하고 속도의 가감이 신속하지 못하다.
	적재성	- 적재능력이 적다.	- 적재능력이 제한을 받는다.	- 대량의 적재가 가능하다.
기타		<ul style="list-style-type: none"> - 교통관제가 용이하다. - 운전기술이 용이하다. - 국제성이 별로 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 교통관제가 필수적이다. - 운전(조종)에 고도의 기술이 필요하다. - 국제성이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 운전(조선)에 고도의 기술과 경험이 필요하다. - 국제성이 크다.

- 출처 : 박성태(2001), 해상교통안전 서비스정보망 구축에 관한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문, p.6.

한편, 교통공학이란 사람과 화물의 움직임에 관련된 상호간의 관계와 이에 의해 파생되는 문제를 밝혀냄으로써 교통 체계를 합리적으로 계획, 설계, 운영, 통제하기 위한 학문적 틀을 논리적으로 제시하기 위한 학문이다. 해상교통공학은 선박의 교통을 조사/해석하여 항로, 항만의 설계와 제반시설의 개선 및 적절한 항행의 관리에 병행하여 조선기술(操船技術)의 개선에 이바지 하는 기술 분야이다. 또한 교통 시스템에 있어 트랙(도로, 선로, 항로)의 형상과 배치문제 및 교통의 운영과 통제문제를 다루는 공학의 일부로서 선박, 사람 및 화물을 안전하고 편리하며 경제적으로 이동시키는 방법을 제공하는 공학 분야이며, 해상교통을 연구하고 그 결과 항행 문제점 및 교통관련 규정의 개선에 적용하는 학문분야라고 정의할 수 있다. 해상교통공학에 관한 연구는 대체로 교통특성, 해양사고, 경제적 관점의 3가지 측면에서 연구되고 있으며, 이들 3가지는 서로 상호 관련을 가지고 있으므로 그 구분이 분명하지는 않으나 개략적으로 다음과 같다.

1) 교통특성

어느 해역에 있어서 가장 기본적인 교통특성은 그 해역을 항행하는 선박의 국적, 크기, 척수, 선종, 항로 및 화물이라고 볼 수 있고, 이러한 근본요소들의 분포를 알기 위해 교통관측 조사가 많이 이루어지고 있다.

2) 해양사고

해양사고는 근본 원인에 따라 충돌, 좌초 및 접촉사고를 포함하는 해상교통 관련 사고와 화재, 폭발, 침몰, 전복, 침수 및 악천후 손상 등이 포함되는 기술 관련 사고로 크게 두 가지로 구분된다. 이런 구분은 사고에 대한 대처 방법을 보면 분명해지는데 교통관련 사고는 교통상황이나 교통 환경의 개선을 통해 사고를 예방할 수 있지만, 기술관련 사고는 선박의 기술적인 개선을 통하여 방지할 수 있다. 따라서 해상교통공학에서는 주로 교통관련 사고에 연구를 집중하고 있다. 해양사고는 그 내용이나 사고 과정을 재현해 본다든가 실험을 행하기가 매우 어렵고, 가능하다 하더라도 아주 복잡한 관계로, 과거의 해양사고 데이터를 수집하여 그 내용을 분석하

는 방법이 해상안전 연구에 많이 이용되고 있다. 이러한 해양사고 통계를 해상안전 연구에 이용할 때의 어려움으로는, 국제적으로 통일된 해양사고 조사방법이나 자료의 처리 및 보전방법이 없다는 점이며, 또 다른 어려움은 수집된 자료의 질적 문제이다. 대부분의 해양사고 통계자료는 사고의 일반적인 상황만을 요약하여 나타내주고 있을 뿐이고, 상세한 내용을 구할 수가 없는 것이 보통이다.

3) 경제적 관점

교통안전 설비의 설치비용과 교통안전 설비의 설치에 따른 이익 평가는 유사한 측면이 있는데, 실제로 비용이익분석을 수행하는 데는 큰 어려움이 있다. 해양사고로 인해 전손이 발생하는 경우, 전손으로 인한 직접비용뿐만 아니라 간접비용도 감안을 해야 하고, 직접비용은 선체의 수리, 유실, 화물비용 등 손해를 금액으로 나타내기가 가능하나 어려운 특징이 있다. 그러나 해상교통에 대한 연구가 꾸준히 진행되면서 최근에는 해상교통관리에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

2.2.2 해상교통환경 평가연구

인근해역의 해상교통환경을 평가·분석하고, 시뮬레이션 등 과학적인 검증을 통하여 종합적인 항행안전 확보방안을 마련, 안전한 해상교통환경을 조성하기 위해 해상교통환경 평가를 수행한다. 해상교통환경 평가의 주요 분석 내용은 자연환경의 조사·분석, 해양사고 조사·분석, 항만의 일반 현황 파악, 해상교통흐름 관측 조사·분석, 해상교통 혼잡도 분석 평가를 수행하며, 통상적으로 이용자 및 전문가 집단의 의견수렴 및 설문조사를 수행하며, 해상교통류 시뮬레이션이나 선박조종시뮬레이션을 실시하여 해상교통 환경의 종합적인 평가를 수행한다.

최근, 항만시설의 운영 개선 연구가 다수 수행되었는데, 예를 들어 대기정박지 이용 선박의 통행 안전성을 확보하거나, 신규 건설 항만의 항로배치 등의 연구가 수행되었다. 또한, 해상교통관제의 효율성을 위해 VTS 서비스범위에 관한 연구나, VTS의 효율적인 운영방안에 관한 연구가 수행되었다.

한편, 항만시설의 설치나 이동이 항내 선박의 조종성에 미치는 영향을 분석하기 위해 선박 조종 시 동일한 환경과 외부요인을 고려하여 선박조종시물레이션 연구가 수행되었다. 적용한 사례로서, 원유하역시설의 해저배관 이설 계획에 따라 선박의 입출항 항행여건 변화와 관련하여, 대상 해역의 항행환경을 분석하고 이를 바탕으로 선박통항 안전성 검토를 수행하여, 예상되는 문제점을 미리 검토하고 문제점을 도출하고, 최적의 선박운항 통제 방안 및 우회 항로 수립을 위한 자료 제공을 위해 수행되었는데 이때, 선박운항 안전성 평가를 위해 실시간(Real Time) 선박운항 시물레이션 및 분석, 기존 항로 및 우회 항로 통항에 따른 선박운항 안전성을 평가하였다. 둘째로, 신규 부두 건설을 위한 기본 및 실시설계를 수행하는데 있어, 대상 해역의 항행환경을 분석하고 이를 바탕으로 선박 입출항 및 접이안 안전성 검토를 수행하여, 예상되는 문제점을 도출하고 이를 해소하기 위한 최적의 선박운항 통제 방안 및 부두 전면 수역의 경제적 준설계획 수립을 위한 자료 제공을 위해 수행되었는데 이때, 배속(Fast Time) 선박 운항 시물레이션 및 분석, 실시간(Real Time) 선박 운항 시물레이션 및 분석, 부두 운용에 따른 선박운항 안전성 평가, 적정 예선 용량 분석, 항로 능력 검토가 수행되었다.



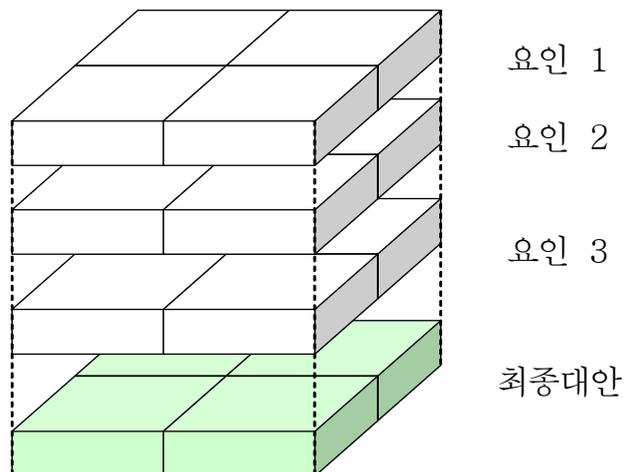
<그림 2-2> 해상교통환경평가 및 선박조종 시물레이션

2.3 공간 분석

2.3.1 공간 의사결정 도구

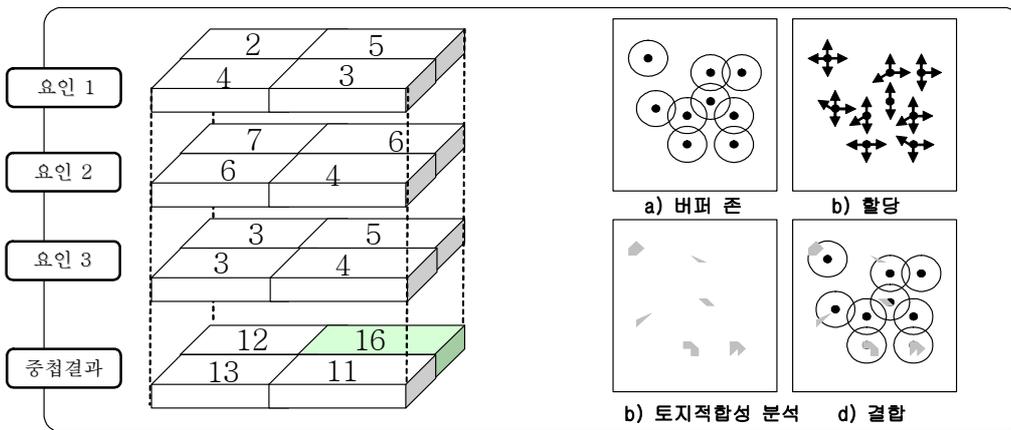
공간분석이란 공간자료를 분석 목적에 따라 각기 다른 형태로 가공하고, 이로부터 추가적인 의미를 추출할 수 있는 기술적 능력이라고 정의할 수 있다. 이는 자료의 관리, 시각적 모델링, 네트워크 분석을 모두 포함하는 광의의 정의이며, 학문적인 의미에서는 자료에서 발견된 패턴과 관계의 확률론적인 속성에 관한 연구인 통계적 공간분석을 말한다.

공간분석을 통해 최적입지를 분석할 때는, 영향을 미치는 주요변수를 도출하고 이를 토대로 분석하는데, 주요변수가 되는 자료, 즉 적용대상지의 실체를 어느 정도 나타내어 줄 수 있는 자료들을 입력하여 하나의 가상공간을 구축한 다음 각각의 변수가 다른 변수에 어떤 영향을 주는가를 밝히는 의사결정법의 하나라고 볼 수 있다. 따라서 도시 및 지역계획분야에서 특히 강조되는 입지분석에서 GIS를 다루게 될 때는 지리적 분석과 모형기능이 강조되어야 한다.



<그림 2-3> 공간분석을 입지분석 개념

입지이론의 기본이 되는 중첩기법은 각 요인별 커버리지를 일정논리에 따라 특정기준을 만족하는 적지를 찾아내는 공간탐색을 하게 된다. 이는 래스터 자료 각각의 레이어간에 같은 위치의 셀과 셀 간의 연산을 통해 중첩 결과인 최종도면의 셀에 중첩된 셀에 해당된 속성 값 연산 결과가 새로운 값으로 주어지는 원리이다.



<그림 2-4> 공간분석을 이용한 분석 방법

2.3.2 입지분석을 위한 공간분석 기법

입지결정에 필요한 요인에는 계량화 가능한 정량적 요인과 계량화하기 어렵지만 입지에 영향을 미치는 정성적 요인을 포함한다. 그러나, 수학적 모형에 근거를 둔 기존의 적정입지선정기법은 경제적 측면을 강조하여 공간정보의 중요성을 간과하는 단일목적의 의사결정이기 때문에 지적되어 온 바 있다. 오늘날에 다기준 의사결정과 공간의사결정보조체계(GIS)를 연결하는 시도는 새로운 학문으로 각광을 받고 있다. 그러나 GIS기법은 시장과 계획 간의 갈등을 해결하지 못하는 단점을 지니고 있기 때문에, 계획과 공간 활동 간에 조화를 이끌 수 있는 정책·의사결정이 필요하다. 즉 GIS는 계획문제들을 공간상에 표현하고 각 대안들을 나열해주는 장점이 있기 때문에 의사결정기법에 필수적으로 이용되는 하나의 도구로 사용될 수 있으며, 그 자체가 최종의 목적이 되지는 않는다.

각 대안에 대한 시각적인 표현을 강조하기 위해 GIS가 매우 효율적이거나, 의사결정권자에게 편의성을 부여하기 위해서는 GIS와 다기준 의사결정의 상호연계가 필요하다. GIS기법이 지닌 문제를 해결하고 다양한 공간상의 요인들을 합리적으로 처리하는 다기준 의사결정의 필요성이 중요하게 인지되고 있으며, 이와 더불어 공간적 정보처리와 분석에 효율적인 GIS와 다기준 의사결정을 지원하는 통합체계는 활용도가 높다.

다양한 기준을 모두 고려한 분석은 불가능하므로 컴퓨터를 이용한 통계분석 처리가 요구되며, GIS와 체계적으로 통합된 의사결정지원체계가 발전되고 있다. GIS환경의 입지분석과 다기준의사결정의 접목은 우선 GIS 자료를 다기준 의사결정의 분석에 맞게 표준화하는 작업이 요구된다. 여기서 다양한 기준에 따른 자료관리와 복구가 가능한 자료형태를 설정하여 구축되어야 하며, 의사결정과정에 합리성을 부여할 수 있는 여러 다기준 의사결정모형 중 하나를 선택하여 분석과 환류가 가능해야 한다.

일반적으로 적용되고 있는 수학적 입지모형들은 공간적인 자료들을 구체적으로 분석하기에는 많은 문제점을 가지고 있기 때문에 중심성, 접근성 등 위치 상호작용을 나타내는 여러 요인들을 계산하는 데 이용되는 GIS툴을 적용하는 것이 보다 바람직하며, 여기서 고려해야 할 것은 정성적 지표, 즉 사회적 요인들에 대한 적정성, 효율성, 형평성 지표를 추가적으로 고려해야 한다.

Naude (1999)는 공간모델링(Spatial Modelling)을 행할 때 첫째, 전통적인 입지할당계획문제에 이용되는 툴(Operations Research tool), 둘째 위치의 상호작용을 계산하는 GIS툴, 셋째 각종 지표, 즉 어느 요인들의 잠재성 및 적합성을 산출하는 다기준 분석툴(Multi-criteria analysis tools)이 토대가 되어야 한다고 언급하고 있다.

우선 첫 단계는 입지분석의 목적에 맞는 GIS환경의 적정 데이터모델을 설정하는 것이다. GIS의 데이터모델은 크게 벡터 데이터와 래스터 데이터로 구분할 수 있지만, 다기준 의사결정모델은 각 요인별로 부여된 값들을 가지고 수학적 연산을 통해 이상적인 해를 추구하기 때문에, 각 요인에 맞게 일정한 영역에 고유의 값이 부여되고 연산되기 때문에, 각 요인에 따라 분리된 커버리지로 관리할 수 있는 데이

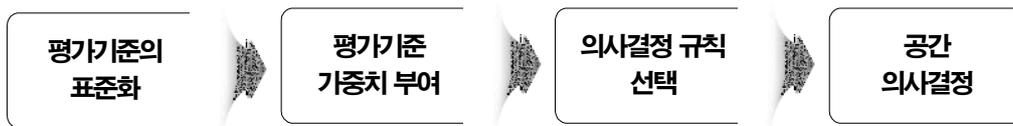
터 모델을 요구하지만 위상정보는 요구하지 않는다고 볼 수 있다. 그리고, GIS의 데이터모델 중에서 래스터 GIS환경에서의 토지적합성 및 입지분석은 다기준 의사결정(MCDM)의 문제와 면밀한 관계를 지니고 있다. 따라서 래스터 형태의 그리드 데이터 모델이 적합하다고 볼 수 있다.

다기준 의사결정에서의 그리드의 장점은, 분류가 가능한 범주데이터와 비연속적인 데이터처럼 분리된 데이터와 고도와 같은 연속적인 데이터 모두를 표현할 수 있다는 것이다. 또한 다른 외부 데이터베이스로부터 쉽게 그리드로 변환할 수 있어 데이터의 구축에 어려움을 덜어준다. 두 번째 단계는 방대한 자료를 표준화시키는 것이다. 다기준 의사결정에서 대안은 정량적인 요소와 정성적인 요소에 의해 평가되는데, 정량적인 요소는 GIS를 이용한 버퍼링 작업을 통해 표준화시킬 수 있지만, 정성적인 요소를 비율척도로의 변환은 어려우므로, 대부분의 다기준 의사결정방법에서는 평가치를 순위척도나 등간척도로 옮겨 분석한다. 자료표준화의 이유는 다양한 공간속성을 통합하고 다양한 거리행렬들의 계산을 간단히 하기 위해서이다.

2.3.3 공간적 다기준 의사결정 방법론

다양한 기준(criteria)들을 고려하여 문제의 해결책을 모색하는 다기준 의사결정(MCDM : Multicriteria Decision Making)은 비공간적 차원에서 적용되어 왔으며, 평가기준이 되는 결정변수는 공간상에서 동질성을 갖는 것을 전제로 하고 있다. 최근 GIS를 기반으로 하는 다기준 의사결정 방법론을 통합화한 공간적 다기준 의사결정 방법론에 관한 연구가 활발히 이루어졌다. 공간적 다기준 의사결정 방법은 주어진 여러 평가기준을 통해 분석된 결과를 토대로 하여 공간적 배열에 따라 순위화된 하나 또는 그 이상의 대안을 선택하는데 활용되는 방법론이다. 공간적 다기준 의사결정 방법에서 가장 중요한 점은 평가기준들에 대한 의사결정자들의 선호도에 따라서 입지에 대한 평가가 달라진다. 즉, 분석결과는 평가기준들이 지리적 분포와 공간적 변이에 따라서 영향 받을 뿐만 아니라 의사결정과정에 포함된 가치 판단이나 선호도에 의해 대안들의 순위가 달라진다. 공간의사결정 시 의사결정 상황에 대

한 제한적인 정보와 관련된 불확실성 문제뿐만 아니라 의사결정에 포함되는 정보의 불명확성 또는 부정확성 문제도 함께 발생된다. 결과로 산출된 결과에 대해 이러한 불확실성과 부정확성에 의해 유래된 오차 문제를 해결하려는 노력이 병행되어야 한다.



<그림 2-5> 공간적 다기준 의사결정 방법론

1) 평가기준의 표준화

다기준 평가에서 각 평가기준은 GIS 데이터베이스 구축 시에 속성 값을 가진 개개의 레이어로 구축되는데 이를 평가 기준도(criterion map)이라 한다. 평가기준도는 평가기준의 특성에 따라 측정 척도가 달라지는데, 일반적으로 측정값에 대해 사고적인 판단이 필요 없고 일반적으로 해석이 가능한 객관적 현상은 자연적 척도(natural-scale)로 측정되나, 의사결정자의 주관적인 판단에 의해 측정단위가 정의되는 경우는 구조화된 척도(constructed-scale)에 의해 측정된다. 또한 측정되는 척도가 목적을 직접적으로 측정할 수 있는 경우가 있는가 하면 속성이 목적의 성취 정도를 분명히 표명하지 않을 경우 간접적으로 측정하여 평가기준도를 구축할 수도 있다. 평가기준도 표준화 최적방법은 없으며, 변수의 특성과 문제에 따라 적절한 방법을 적용한다.

가) 선형 변형(Linear scale transformation) 방법

원 자료를 표준화하는데 가장 많이 이용되는 방법으로, 원 자료를 최대값으로 나누는 비율적 변환방법으로 표준화 점수를 계산하는 최대점수화 방법과 원 자료와 최소값 간의 차이를 주어진 기준의 범위(최대-최소)로 나누어 줌으로써 표준화 점수를 산출하며 최대치와 최소치가 1과 0의 값으로 나타나는 점수 범위화 방법이 있다.

나) 가치/효용도 함수(vale/utility function) 접근법

평가기준도를 공통적인 척도로 전환하는 방법으로 0에서 1사이의 값을 갖는 효용이나 가치로 전화시키는 방법이다. 이 방법은 의사결정자의 상대적인 선호도를 반영할 수 있는데, 가치함수는 결정론적 또는 확실성 하에서 의사결정 상황이 이루어지는 경우에 적용되며, 효용함수는 확률론적 또는 불확실성하에서의 의사결정 상황이 이루어지는 경우에 적용된다.

다) 확률이론에 근거한 변환방법

관측된 결과를 근거로 확률을 도출하는 방법으로 확률이론을 이용하는 방법이다. 발생확률이 평가 수행자와 독립적으로 이루어지는 객관적 확률과, 사건발생 가능성에 대한 주관적인 인식이 개재되어 개인의 경험과 판단, 직관이 불확실성의 정도에 영향을 미치는 주관적 확률로 구분할 수 있다.

라) 퍼지함수(Fuzzy members) 접근법

평가기준을 표준화하는 방법으로 퍼지함수의 개념이 이용될 수 있는데, 퍼지함수는 각 평가기준의 임계치 경계가 명확하지 않은 애매모호한 분류를 표현할 때 소속도 함수로 정의되므로 불확실성 또는 부정확성을 다룰 수 있다.

2) 평가기준에 대한 가중치 부여방법

평가기준을 고려하여 의사결정을 내려야 하는 경우 각 평가기준 간에 상대적인 중요도를 결정하여야 한다. 문제의 성격에 따라 평가기준들 간에 중요도 수준이 다를 수 있으며, 관련된 의사결정자들의 입장에 따라서 평가기준들에 대한 선호도에 차이가 있을 수 있다. 따라서 평가기준 간에 상대적인 중요성을 반영시키기 위한 가중치(weighting)의 적용이 중요하다.

가) 순위화 방법

의사결정자의 선호도에 따라 평가기준을 순위화하는 것으로 순위합계 가중치, 역 순위 가중치, 순위지수 가중치화 방법이 있다. 각각의 가중치 산출 공식은 다음과 같다.

- 순위합계 가중치 : $w_i = \frac{n - r_i + 1}{\Sigma(n - r_k + 1)}$

- 역순위 가중치 : $w_i = \frac{1/r_i}{\Sigma(1/r_k)}$

- 순위지수 가중치 : $w_i = \frac{(n - r_i + 1)^p}{\Sigma(n - r_k + 1)^p}$

여기서 w_i 는 i 번째 평가기준에 대한 정규화된 가중치이며, n 은 평가기준의 수($k = 1, 2, \dots, n$), r_i 는 평가기준의 순위이다. 순위지수 가중치 방법의 경우 반복적인 절차에 의해서 P 를 도출하며, $P=0$ 이면 동등한 가중치를 할당하고, $P=1$ 인 경우는 순위합계 가중치와 같은 결과를 나타낸다.

나) 비율화 방법

의사결정자가 이미 결정해 놓은 척도에 근거하여 가중치를 부여하는 방법으로, 가장 단순한 예로 점수할당 방법이 있다. 의사결정자가 각 평가기준에 0에서 100까지 범위의 점수를 할당하는 것으로 점수가 많아지면 상대적인 중요성이 더 큰 것을 의미한다.

다) 쌍별 비교 방법

Satty의 분석적 계층과정(AHP: Analytic Hierarchy Process)에 의해 고안된 방법으로 불분명한 선택의 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 평가하고, 정서적인 특성들을 정량적인 판단기준에 따라 평가하는 객관적이고 일관성 있는 가중치를 산출하는 방법이다. 특히 공간적 다기준 의사결정의 문제에 AHP를 도입함으로써 공간문제가 갖는 비구조적인 성격을 어느 정도 구조화할 수 있다. 쌍별 비교 논리는 계층구조의 개념과 퍼지집합 개념에서 출발한 것이다.

라) 상충분석 방법

의사결정자가 대안들 각 쌍의 상충(trade-off)을 직접적으로 평가하는데 이용하는 방법으로 대안들에 같은 가중치가 부여되는 것으로 전체적으로 같은 값/효용을 갖는 상충에서 대안들이 동등하게 선호되는 것을 허용한다. 이 접근방법은 두 개의 대안 A와 B 대안 중에 어느 대안이 더 선호되는가를 결정하는 것으로, 두 개의 평가 기준간의 상충은 다른 평가기준 수준에는 영향 받지 않는다는 것을 전제로 하고 있다.

<표 2-2> 가중치 부여 방법 비교

특징	방법			
	순위화	비율화	쌍별비교	상충분석
평가기준 수	n	n	$n(n-1)/2$	$< n$
측정 척도	서열척도	등간척도	비율	등간척도
계측성	가능함	가능함	계측적임	계측적임
이론적 배경	없음	없음	통계적/heuristic	공리적/연역적
이용성	매우 용이함	매우 용이함	용이함	어려움
신뢰성	낮음	높음	높음	중간적임
정확성	정확함	정확치 못함	매우 정확함	매우 정확함

- 출처 : 이희연(2003), GIS 지리정보학, 법문사, pp. 456~460.

3) 의사결정 규칙

다기준 의사결정과정에서 가장 중요한 것은 어떠한 의사결정 규칙을 이용하여 대안들의 순위를 결정하는가의 문제이다. 여기서 의사결정 규칙(decision rule)이란 평가기준에 대한 가중치를 부여한 후에 이를 근거로 하여 대안의 순위를 결정하는 규칙을 말한다. 의사결정 규칙은 넓은 의미의 의사결정 전략(decision strategy)라 할 수 있는데, 이는 문제의 해결점을 찾기 위한 전체 절차이며, 의사결정 규칙은 그 전략의 일부라고 할 수 있다.

(1) 가중선형조합법(WLC : weighted linear combination)

이 방법은 단순가중치 첨가법(SAW : simple additive weighting) 또는 점수화방법(scoring method)라고 하는데 가중평균의 개념에 근거한 방법이다. 의사결정자는 각 평가기준의 '상대적인 중요성'에 따라 가중치를 할당하고, 각 평가기준에 가중치를 곱하고 모든 평가기준들을 합계하여 전체 점수를 산출하는 방법이다. 모든 대안(i)에 대한 전체 평가기준(j)이 계산될 때, 전체 점수가 가장 높은 대안이 최선의 대안으로 선택된다.

$$A_i = \sum_{j=1}^J w_j \cdot x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, I, j = 1, 2, \dots, J)$$

여기서 x_{ij} 는 j 번째 평가기준에 대한 i 번째 대안의 점수이며, w_j 는 표준화된 가중치로 그 합계는 1이 된다. 이와 같이 각 대안들에 대한 점수(A_i)가 산출된 후 점수에 따라 대안들을 순위화 하여 가장 높은 순위의 대안을 최선의 대안으로 선정한다.

(2) 다속성 효용 모델(MUM : multi attribute utility model)

가중조합방법이 선형 함수를 이용하여 모든 기준들에 대한 점수를 표준화하는 고정된 특성에 비하여, 효용분석에서는 각 평가기준 특성에 의해 차별화된 함수로 평가한다는 점이 다르다. 효용분석에서는 점수를 전화하기 위해 값이나 효용함수를 이용한다. 효용점수는 속성의 수준과 속성 변화에 따른 선호도 변화에 대해 의사결정자가 어떻게 반응하는가에 따라서 영향을 받는다. 효용모델을 분석하는 경우 비선형, 다선형 또는 배가적 효용함수가 사용된다.

각 평가기준에 대한 점수와 우위에 있어 정량적인 정보가 필요하며, 각 평가기준에 대한 효용함수가 지정되어야 한다. 효용함수를 이용함으로써 점수에 명확하게 값을 부여할 수 있으며, 대안 간의 순위와 상대적인 차이에 대한 정보를 제공한다.

$$U_i = \sum_{j=1}^J w_j \cdot u_{ij}$$

여기서 U_i 는 i 번째 대안에 대한 전체 효용수준이며, u_{ij} 는 효용함수에 의해 측정된 j 번째 평가기준에 대한 i 번째 대안의 점수이며, w_j 는 표준화된 가중치로 그 합계는 1이 된다.

(3) 이상적 지점 접근법(IPA : ideal point approach)

각 대안이 갖고 있는 가중치가 부여된 각 평가기준의 점수 중에서 최대 값을 취하여 각 평가기준의 최대 값으로 조합된 가장 이상적인 지점을 가설적으로 설정하고 각 대안들이 설정된 이상 지점으로 부터 어느 정도 거리가 떨어져 있는냐에 따라서 대안들을 순위화 하는 방법이다. 이상적 지점과 가장 근접해 있는 대안을 최선의 대안으로 선택하는 것으로, 거리를 산출하는 공식을 활용하며 이상적 지점의 사결정 규칙은 다음과 같다.

$$S_{i^+} = \left[\sum_{j=1}^j w_{jp} (v_{ij} - v_{+j})^p \right]$$

여기서 S_{i^+} 는 i 번째 대안이 이상적 지점으로부터의 거리를 말하며, w_j 는 j 번째 평가기준에 대한 가중치이며, v_{ij} 는 i 번째 대안의 표준화된 평가기준치이다. v_{+j} 는 j 번째 평가기준에 대한 이상적 기준치며, p 는 지수함수로 1에서 무한대까지 주어진다. 이 p 값은 이상적 지점과 각 대안 간의 거리를 측정하는데 다양하게 적용될 수 있다.

(4) 일치모델 접근법(CMA : concordance model approach)

두 대안의 쌍대 순위 관계를 분석하여 대안들의 서열 순위를 정하는 방법이다. 각 대안의 쌍대 순위(outranking) 관계는 일치도 지수와 불일치도 지수를 바탕으로 평가된다. 일치도 지수는 대안 i 가 대안 i' 보다 더 좋은 정도를 나타낸다. 이 지수는 일치도 그룹 C_{ii} 에 포함된 평가기준의 가중치의 합으로 정의된다. 불일치도 지수는 대안 i 가 대안 i' 보다 더 나쁜 정도를 나타낸다. 일치도 지수(C_i)를 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$C_i = \sum_j C_{ij}$$

여기서 $C_{ij} = (\sum_j w_{jii} / \sum w_j)$ 이며, $\sum_j w_{jii}$ 는 대안 i 가 비교대안인 i' 보다 양호하게 나타난 판단기준들에 대한 가중치의 합계이다. 그리고 w_j 는 전체 가중치의 합계이다. 불일치도 지수의 산출방법은 일치도 지수와 같은 논리에 따라 계산된다. 의사결정자는 일치도 매트릭스와 불일치도 매트릭스를 조합하여 만든 최소 요구치를 기준으로 각 대안들 간의 순위의 우위관계를 평가하게 된다.

<표 2-3> 다기준 의사결정과정에서 활용되는 의사결정 규칙 특성

의사결정 규칙 유형	가중선형 조합법	다속성 효용 모델 접근법	이상적 지점 접근법	일치모델 접근법
투입 요소	평가기준들에 대한 점수, 가중치	효용함수, 가중치	평가기준들에 대한 점수, 가중치, 이상지점	평가기준들에 대한 점수, 가중치
산출결과	서열적 순위	기수적 순위	기수적 순위	부분적 또는 서열적 순위
의사결정 유형	개인적 의사결정 결정론적	개인적, 그룹적 의사결정 확률론적	개인적, 그룹적 의사결정, 결정론적, 확률론적, 퍼지	개인적, 그룹적 의사결정, 결정론적, 확률론적, 퍼지
의사결정자의 상호작용	적절함	매우 높음	적절함	적절함

- 출처 : 이희연(2003), GIS 지리정보학, 법문사, pp. 460~467.

2.4 다기준 의사결정모형

2.4.1 다기준 의사결정모형의 연구가치

기존 입지모형들이 단일 목적을 실현하는 것이 대부분이라면, 다기준 의사결정모형은 여러 목적을 실현하는 것이기 때문에, 입지모형이 지닌 한계점을 대신할 수 있다. 즉, 단일평가 기준만으로 많은 참여자의 요구를 충분히 반영하지 못했던 과거의 의사결정들이, 오늘날 사회가 급변함에 따라 의사결정에 참여하는 사람뿐만 아니라 목적가치가 다원화되어 가는 현실을 고려해볼 때, 다기준의사결정은 보다 충실히 반영할 수 있는 기법으로 실효성이 매우 높다.

다기준의사결정문제에 있어서 다기준(Multiple Criteria), 다목적(Multiple Objective), 다속성(Multiple Attribute) 또는 다차원(Multiple Dimensional)의 용어가 혼용되어 사용되고 있다. 일반적으로 다기준의사결정(MCDM)은, 다속성의사결정(MADM)과 다목적의사결정(MODM)을 다루는 모든 방법론을 포괄하는 의미로 사용되고 있다. 다속성 의사결정법은 유한개의 대체 안들의 집합에서 하나의 대체 안이나, 그와 선호도가 같은 몇 개의 대체 안을 선정하는 것이며, 다목적 의사결정법은 제약조건에 의해 함축적으로 정의된 무한개의 대체 안 집합에서, 고려중인 목적들을 가장 만족하는 대안을 찾는 것으로, 최적 대안을 설계하는 경우를 말한다.

따라서 다목적 의사결정법이 주로 최적대안을 설계하는 문제를 대상으로 한다면, 다속성 의사결정법은 선택상의 문제를 다룬다. 이 중에서 다기준 의사결정기법(MCDM)은 목표계획을 수립할 때 가장 일반적으로 사용되며, 매우 적절한 기법이라고 볼 수 있다.

2.4.2 다기준 의사결정모형의 유형별 특징

다기준 의사결정모형은 의사결정을 위한 정보처리과정에 따라 선호보정이 없는 모형과, 선호보정이 있는 모형으로 구분할 수 있다.

<표 2-4> 다기준 의사결정모형 분류

선호 보정이 없는 모형	기본모형 (Basic model)	<ul style="list-style-type: none"> - 우위법(dominance) - 최대최소법(maximin) - 최대최대법(maximax) - 충고법(conjunctive) - 유고법(disjunctive) - 점단법(lexicographic method)
선호 보정이 있는 모형	점수모형 (scoring model)	<ul style="list-style-type: none"> - 단순가중치법 (simple additive weighting method : SAW) - 계층가중치법 (hierarchical additive weighting method : HAW) - 교호단순가중치법(interactive SAW : ISAW)
	절충모형 (compromising model)	<ul style="list-style-type: none"> - TOPSIS방법(technique for order preference by similarity to ideal solution) - LINMAP방법(linear programming technique for multi-dimensional analysis of preference)
	일치모형 (concordance model)	<ul style="list-style-type: none"> - 순열법(permutation method) - 선형할부법(linear assignment method) - ELECTRE방법(elimination et choice translation reality)

- 출처 : 김성희(1991), 의사결정론 분석 및 적용, 영지문화사, pp.375.

1) 선호보정이 없는 모형

우위법(dominance)은 하나 이상의 요소에서 대안 A의 평가치가 대안 B보다 우위에 있고 나머지 요소에서 같은 평가를 받았을 때, 대안 A가 대안 B에 대해 우위에 있다고 한다. 이 방법은 고려중인 대안들 중에서 다른 어떤 대안에 대해서도 우위에 있지 않는(non-dominated) 대안들을 골라내는, 일종의 선별(screening) 작업을 하기 위해 쓰인다. 그리고 이 방법은 가정이나 요소의 변환을 필요로 하지 않는다.

둘째로, 최대최소법(maximin)은 대안의 성과가 가장 취약하고 나쁜 요소의 평가

에 의해 결정되는 상황에서는 의사결정자가 각 대안의 가장 낮은 평가치를 조사하여 그들 중 가장 큰 값을 갖는 대안을 고르게 된다. 즉, 이것은 각 대안마다 최소 요소치를 구하여 이중 최대치를 갖는 대안을 선택 하는 것이다.

셋째, 최대최대법(maximax)은 최대최소법과는 달리, 가장 나쁜 평가 대신에 가장 좋은 평가를 받는 요소치에 의해 대안을 선택하게 된다. 각 대안의 가장 좋은 평가치를 구한 뒤, 대안선택을 위해 이 값들끼리 비교를 하게 된다. 최대최소법과 같이 이 방법도 동일한 척도를 가져야만 선택이 가능하다.

선택되어질 대안(들) A^+ 는 아래 식과 같다.

$$A^+ = \left\{ A_j \mid \max_i \max_j r_{ij} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

넷째, 총고법(conjunctive method)은 의사결정자가 각 요소에 대해 받아들일 수 있는 최소 요소치를 제시해야 한다. 이렇게 의사결정자로부터 받아들여진 기준치는 불만족스런 대안들을 제거하는 역할을 하는데, 기준치가 너무 낮으면 적은 수의 대안만이 제거되고, 기준치가 너무 높으면 만족스런 대안들이 없게 된다. 그러므로 최소기준치를 의사결정자가 점점 증가시키면서 하나의 대안을 선택하거나, 다른 방법을 사용하기 위해 몇 개의 대안만을 선별할 수 있다.

다섯째, 유고법(disjunctive method)은 요소들 중 가장 좋은 값에 의해서만 대안들이 평가된다. x_j^0, x_k^0 를 j 요소와 k 요소에서의 기준치라 할 때, 어떤 한 요소에 대해서라도 이익요소 j 에 대해 $x_{ij} \geq x_j^0$ 이거나, 비용요소 k 에 대해 $x_{ik} \leq x_k^0$ 이면 A_i 는 선택 가능한 대안이 된다. 유고법에서는 모든 요소에서 불만족스러울 확률과 그 대안이 기각될 확률이 같으므로 $r = (1-P)^n$, 즉 $P = 1 - r^{1/n}$ 이 된다.

여섯째, 점단법(lexicographic method)은 의사결정상황에서 한 요소가 특별히 중요할 때, 이러한 상황을 해결하는 방법으로는 가장 중요한 요소에서의 평가치를 비교하여, 한 대안이 다른 대안들보다 더 좋은 평가를 받았을 때는 이 대안을 선택하게 된다.

2) 선호보정이 있는 모형

첫째, 단순가중치법(simple additive weighting method)은 의사결정자가 각 요소에 대한 상대적인 가중치(weighting)를 기수(cardinal number)로 제공해야 하며, 요소변환과 규준화(scaling)에 요소의 가중치를 곱해 모든 요소에 대해 합을 구하면 된다. 이렇게 각 대안에 대한 총점수가 구해지면 의사결정자는 가장 큰 점수를 갖는 대안을 선택하면 된다. 의사결정자가 각 요소의 상대적인 가중치를 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 으로 주었다고 했을 때, 가장 선호도가 높은 대안 A^* 은 다음과 같이 구한다.

$$A^* = \left\{ A_j \mid \max \left(\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} / \sum_{j=1}^n w_j \right) \right\}$$

둘째, 계층가중치법(hierarchical additive weighting method)은 계층적 구조(hierarchical structure)를 이용하여 가중치를 고려하는데, 이것은 문제에 대해 직관적으로 이해한 것을 부분순위집합(partially ordered set)으로 나타내기 위한 수단으로 레벨을 가진다. 최상부 레벨은 목적과 관련된 원소를 가지며, 주어진 단계에서의 각 원소(element) 하부레벨의 원소들을 지배한다. 최하부의 원소들을 비교하기 위하여 바로 상부의 단계로부터 최상부 단계까지의 영향을 고려한다.

셋째, 교호단순가중치법(interactive SAW)은 선형효용극수(linear utility function)에 근거하여 대안들의 선호순서를 결정할 수 있는 상호성(interactive)방법이라 할 수 있다. 이 방법은 의사결정자에 의해 주어져야 할 상대판단의 수에 있어 경제적이며, 최종적으로 대안들의 선호순서와 이러한 선호순서를 결정하는 데 기초가 되는 선형효용함수의 가중치 공간(weights space)을 알 수 있다.

넷째, TOPSIS방법(technique for order preference by similarity to ideal solution)은 최종적으로 선택된 대안은 적정해(ideal solution)로부터 가장 가깝고, 반적정해(negative ideal solution)로부터 가장 멀어야 한다는 개념이다. 각 요소는 단조증가(감소) 효용극수를 가진다고 가정하면, 가장 좋은 요소치로 구성된 적정해

와, 가장 나쁜 요소치로 구성되는 반적정해를 쉽게 구할 수 있다. 기하학적으로 보면 적정해로부터 유클리디안 거리(euclidean distance)가 가장 작은 대안을 선택하게 된다. TOPSIS는 상대적인 근접거리를 이상해와 반적정해를 동시에 고려하여 대안을 선택한다.

다섯째, LINMAP법(linear programming technique for multi-dimensional analysis of preference)은 적정해와 각 요소의 가중치를 구할 수 있는 방법으로 1973년에 Srinivasan와 Shocker에 의해 개발되었다. 이 방법에서 m 개의 대안과 n 개의 요소는 n 차원 공간에서 m 개의 점으로 표시된다. 의사결정자는 가장 선호하는 대안을 나타내는 적정해를 가지고 있다고 가정하여, 적정해의 위치가 결정되면 적정해로부터 가장 가까운 대안을 선택하면 된다.

여섯번째로, 순열법(permutation method)은 모든 가능한 대안들의 연속적인 순열을 이용하여 선호순서를 결정하는 방법이다. 고려중인 대안의 수가 m 개일 때는 $m!$ 순열이 고려될 수 있다. 이 방법은 처음에는 요소들의 계량화된 가중치가 주어졌을 때 선호순서를 파악하기 위해 개발되었으나, 요소들의 가중치가 순서로 주어졌을 때 문제를 분석하는데 더 자주 쓰이고 있다.

일곱번째, 선형할부법(linear assignment method)은 요소간의 가중치의 결합과 각 요소의 가중치의 집합에 근거하여 이 방법은 요소 간의 상호작용과 결합에 대한 선형보정과정(linear compensatory process)이라 볼 수 있다. 이 방법은 각 요소에 대하여 부여된 각 대안의 순위를 합하여, 그 크기에 따라 대안의 선호순서를 정한다.

마지막으로, ELECTRE방법(elimination et choice translation reality)은 대안들 사이의 쌍대관계(pair wise dominance relation)를 나타내는 대안의 평가와, 선호가 중치의 정도에 근거한 대안의 쌍대비교를 한다. 이 방법은 쌍대우위관계와 부합되는 선호가중치와 부합되지 않는 평가치 모두를 조사한다.

제 3 장 항만 시설

항만시설은 컨테이너 터미널에 해당하는 육역시설과 해상교통로에 해당되는 수역시설로 구분된다. 본 장에서는 대기정박지가 속해 있는 항만 수역시설의 구성에 대해 분석한다.

3.1 항만 계획 및 항만시설의 개요

항만을 신설하는 경우에는 외국 무역, 내국 무역, 공업항 또는 어항 등 어떤 종류의 항만을 주축으로 할 것인가가 결정되면, 이에 따른 시설과 규모, 그리고 장차 발전 방향 등을 결정하고, 확장하는 경우는 시설 내용과 규모를 결정할 수 있다. 가 결정된다. 항만 신설 또는 확장을 계획할 때는 항만발전 현황 및 상대항만의 상황, 수출입 화물의 종류와 수량, 입출항 선박 척수 및 톤수, 배후지의 경제 및 교통 상황을 조사하여야 한다.

항만의 규모를 결정할 때는 연간 수출입 화물량, 입출항 선박의 크기 및 척수, 육상교통기관, 항만의 입지조건을 고려하여야 한다. 이들의 조사 자료를 분석 검토하여 계획목표연도에 대한 예측량을 결정하고, 항만규모를 결정하는 동시에 장래 항만 확장 계획도 고려해야 한다.

항만의 위치 결정 시, 신항 건설의 경우 경제사회적 조건과 자연적 조건을 고려하여 결정하게 된다. 자연 조건으로는 수심, 닛 정박지 면적이 충분한 곳, 지형이 양호하고 육상시설을 충분히 할 수 있으며 확장 가능한 곳, 지질이 양호하고 항만 구조물을 만드는데 적합한 곳, 외곽시설 구성 시 파랑, 조석 등이 양호한 곳, 표사에 의해 항구 및 항내매몰의 염려가 없는 곳, 기상 조건이 좋은 곳, 안개, 바람 등이 적은 곳이 유리하며, 경제사회적 조건으로는 상대 항과의 관계에서 선박의 기항이 용이한 곳, 항만의 세력권이 크고, 장래 발전이 가능한 곳, 도시산업이 발전하고 용수, 에너지 등의 확보가 용이한 곳, 철도, 도로 등 육상교통 수단이 용이한 곳, 도시계획과의 관계가 원만한 곳, 공사용 재료가 풍부한 곳이 유리하다. 또한 항만

시설물을 배치하기 위해서는 수심, 조위, 파랑, 바람, 조류, 하천, 표사 및 지질 등의 자연 조건, 닛 정박지, 매립지, 육지 등의 용지확보, 철도, 도로 등 배후지에 대한 교통망 관계, 육역 및 수역의 장래 확보 가능성을 고려하여야 한다.

항만법 제2조 제6호에는 항만시설을 정의하고 있으며, 항만시설에는 크게 기본시설과 기능시설이 있으며, 기본시설에는 수역시설, 외곽시설, 운송시설, 기능시설에는 계류시설, 항행보조시설, 하역시설, 승객이용시설, 화물보관·처리시설, 선박보급시설, 항만후생시설, 항만종사자교육시설, 항만관제·홍보시설, 항만역무용선박시설로 구성된다. 각 시설의 세부 내용은 다음 표와 같다.

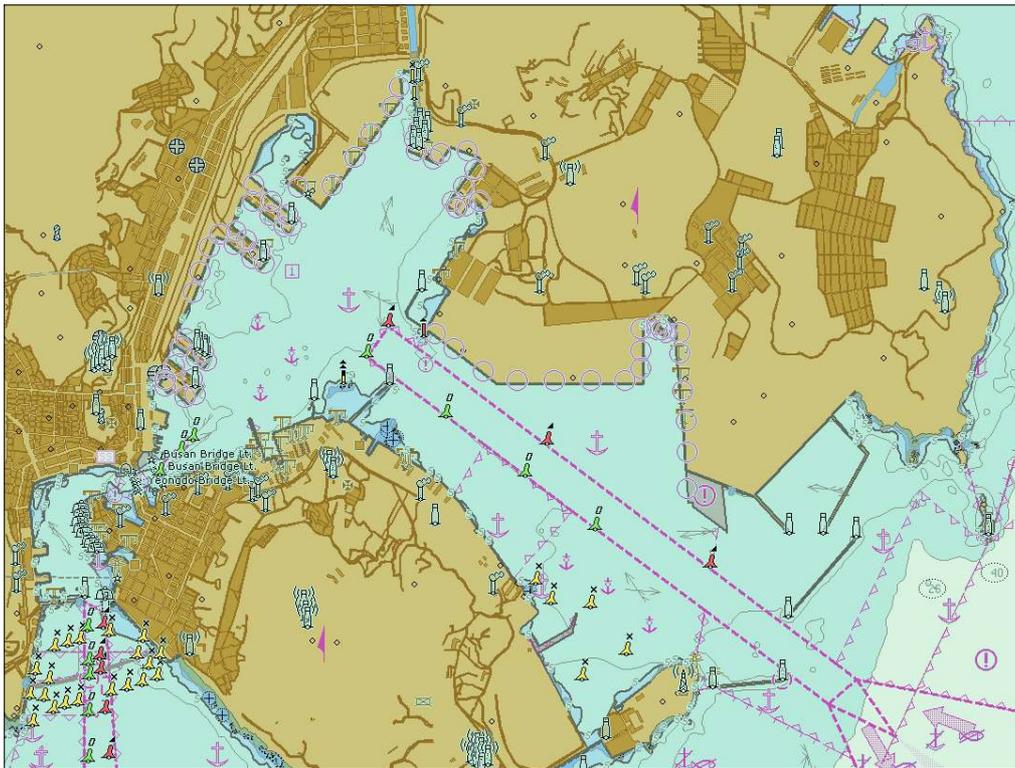
<표 3-1> 항만법(제2조제6호)에 명시된 항만시설의 종류

대분류	중분류	시설 종류
기본시설	수역시설	항로, 박지, 선류장, 선회장 등
	외곽시설	방파제, 방사제, 파제제, 방조제, 도류제, 갑문, 호안 등
	운송시설	철도, 도로, 교량, 주차장, 헬리포트 등
기능시설	계류시설	안벽, 물양장, 잔교, 돌핀, 선착장, 램프 등
	항행보조시설	항로표지, 신호, 조명, 항무 통신시설 등
	하역시설	고정식 또는 이동식 하역장비, 화물이송설비, 배관시설 등
	승객이용시설	대합실, 여객승강시설, 소하물취급소 등
	화물보관·처리시설	창고, 헛간, 야적장, 컨테이너 하치장, 컨테이너 조작장, 싸이로, 저유시설 등
	선박보급시설	급유, 급수시설, 얼음의 생산 공급시설 등
	항만후생시설	선박승무원 및 부두근로자의 휴게소, 숙박소, 진료소, 위락시설 등
	항만종사자교육시설	연수시설
	항만관제·홍보시설	보안시설
	항만역무용선박시설	선박의 접·이안보조, 소방, 구난, 순찰, 표지관리, 조선, 급유, 급수 등

- 출처 : 항만법 제2조 제6호.

한편, 항해에 참고하는 해도 및 전자해도에는 위의 항만시설이 포함되어 있으며, 선박의 운항자는 해도 및 전자해도를 참조하여 항만시설의 위치 및 특징을 파악할

수 있다. 해도 및 전자해도에는 항만시설을 육상분야, 해상분야, 항로표지로 구분하고 있으며, 해상분야 및 항로표지는 다음의 전자해도를 참조하여 설명한다. 아래 그림은 부산항의 부두 접안에 필요한 항해목적(Usage) 5단계 전자해도인 KP521000(부산항) 이미지이다.



<그림 3-1> 부산항 전자해도 그림

위 그림에서, 부산 북항의 수역시설로는 제1항로와 북내항 정박지 E1, E2, E3 및 북외항 정박지 O2, M7, M8, M9, M10, M11이 있으며, 외곽시설로는 오륙도 방파제, 조도 방파제 등이 있다. 또한 하역시설로는 고정식 및 이동식 하역장비가 있으며, 항행보조시설로는 부표 및 등대와 같은 항로표지, 조명시설, 항무 통신시설(부산 VTS) 등이 설치되어 있다.

3.2 대기정박지 설계

항만에 입항한 선박은 안전하게 항행 및 정박을 하고 하역을 할 수 있는 수역시설이 필요하다. 항내에서 선박이 안전하게 항행할 수 있는 통로를 항로라 하고, 정박하여 하역 및 대기하는 수역을 닻 정박지(anchorage)라고 한다. 정박지에 있어서는 항상 안전하게 정박 또는 하역할 수 있도록 방파제 등에 의해 외해와 차폐되어 있는 경우가 많다. 좋은 정박지의 수면은 항상 정온해야 하고, 수심이 충분히 깊어야 하며, 충분한 수면적이 확보되어야 한다. 또한, 저질이 선박의 닻이 걸리는 데 적합해야 하는데 본 절에서는 각 항목별로 상세히 기술한다.

(1) 항내의 정온

닻 정박지의 수면은 항상 정온해야 하며, 일반적으로 방파제에 의하여 외해로부터의 파랑을 차단하여 정온을 유지하고 있으며, 지형상 천연적으로 정온한 정박지도 있다. 정박지에는 선박의 출입구인 항구가 있는데, 외해로부터의 파랑이 항구를 통해서 항내로 침입하게 된다. 항내 수면의 정온도는 이 침입파와 반사파에 의해 좌우되므로 항구의 위치, 방향 및 폭이 중요하다. 항 입구를 통해 항내로 침입한 파랑은 회절에 의하여 파고가 작아지며, 정박지의 정온도를 높이려면 정박지의 수면적을 넓히면 효과적이다.

(2) 정박지의 수심

정박지의 수심은 선박의 항행에 지장이 없도록 선박의 최대흘수에 여유를 더하여야 하며, 수심의 기준은 기본수준면으로 하는데, 국내 항만의 정박지 수심은 아래 표와 같다.

<표 3-2> 국내항만의 정박지 수심

항명	수심 [m]	항명	수심 [m]
군산	9.0	부산	12.5
목포	9.0	울산	12.0
여수	9.0	포항	16.0
삼일항	11~17	북평	13.0
제주	7.5	목호	8

- 출처 : 안수환, 강관원(2005), 항만공학, pp. 70.

정박지의 수심 기준은 대상 선박의 만재흘수에다가 만재흘수의 10%를 더한 값으로, 대상 선박의 흘수가 명확하지 않는 경우는 <표 3-3>을 참고하여 추정한다.

<표 3-3> 정박지의 수심

종류	수심	선형(G/T)	종류	수심	선형(DWT)	종류	수심	선형(DWT)
여객선	5.0	1,000	일반화물선	4.5	700	유조선	11.0	20,000
	6.0	3,000		5.0	1,000		12.0	30,000
	7.5	5,000		5.5	2,000		13.0	40,000
	9.0	10,000		6.5	3,000		14.0	50,000
	10.0	20,000		7.5	5,000		15.0	70,000
	11.0	30,000		9.0	10,000		16.0	100,000
				10.0	15,000		20.0	150,000
				11.0	20,000		21.0	200,000
				12.0	30,000		22.0	250,000
				13.0	40,000			
		14.0	50,000					
카페리	5.0	1,000	유조선	4.5	700	광석전용선	9.0	10,000
	5.5	2,000		5.0	1,000		10.0	15,000
	6.0	3,000		5.5	2,000		11.0	20,000
	6.5	4,000		6.5	3,000		12.0	30,000
	7.5	6,000		7.5	5,000		13.0	50,000
	8.0	13,000		9.0	10,000		15.0	70,000
				10.0	15,000		16.0	90,000
							18.0	100,000
							20.0	150,000

- 출처 : 해양수산부(2005), 울산항 인근해역 해상교통환경평가 연구용역, pp.11-50.

(3) 정박지의 면적

정박지의 면적은 동시에 입항한 선박이 정박하고, 정박지 내에서 안전하게 항행할 수 있을 만큼 넓어야 한다. 정박지의 면적이 넓으면 많은 선박이 동시에 입항할 수 있어 항행이 안전하지만, 너무 넓으면 항내의 정온도를 유지할 수 없는 경우가 있다. 선박이 박지 내에 정박할 때 1척이 점유하는 수면적은 정박방법에 따라 다르다. 정박 방법은 선박 자체가 가지고 있는 닻에 의하는 경우와, 정박지에 설치되어 있는 계류부표에 의하는 경우, 그리고 이들을 병용하는 경우가 있다. 선박의 계류 방법과 1척이 점유하는 수면적은 아래 그림과 같다.

<표 3-4> 정박 종류에 따른 정박지면적

<p>(a) 선수에 있는 하나의 닻을 투하하여 정박하는 것이며, 가장 넓은 면적을 필요로 한다. 항내의 풍속이 큰 경우, 또는 선박수가 적을 때 대형선이 정박하는 방법이다.</p>		
<p>(b) 선수에 있는 2개의 닻을 투하하여 정박하는 방법이며, 대형선이 많이 사용한다. 이 방법은 1척이 차지하는 수면적이 작고 회전할 수도 있으므로 강풍 시에도 지장이 없다.</p>		
<p>(c) 선수와 선미에 있는 2개씩의 닻을 투하하여 정박하는 방법이며, 소형선에 많이 이용된다. 이 방법은 박지면적이 좁을 때, 또는 풍향이 일정할 때 편리하다.</p>		
<p>(d) 선수는 부표에 계류하고 선미의 2개의 닻을 투하하여 정박하는 방법이며, (c)와 마찬가지로 박지면적이 좁을 때, 또는 풍향이 일정할 때 사용하면 좋다.</p>		
<p>(e) 선수를 부표에 계류하는 방법이며, 그 특성은 (b)와 같다.</p>		
<p>(f) 선수와 선미를 부표에 계류하는 방법이며, 가장 좁은 면적을 차지한다. 그러나 이 방법은 풍속이 크고 풍향이 일정하지 않으면 사용할 수 없다.</p>		

- 출처 : 안수환, 강관원(2005), 항만공학, pp. 70~71 정리.

돛 정박의 경우 정박지의 필요면적은 위와 같으며, 여기서 정박지의 면적을 선박의 선체길이 L(m)과 수심 D(m)으로 나타내면 다음과 같다.

<표 3-5> 돛 정박일 경우 정박지의 면적

이용 목적	이용 방식	해저의 저질 또는 풍속	반경
대기 또는 하역	단묘박	Anchor의 박힘이 좋음	L+6D
		Anchor의 박힘이 나쁨	L+6D+30m
	쌍묘박	Anchor의 박힘이 좋음	L+4.5D
		Anchor의 박힘이 나쁨	L+4.5D+25m
황천시의 피박	-	풍속 20m/s	L+3D+90m
		풍속 30m/s	L+4D+145m

- 출처 : 해양수산부(2005), 울산항 인근해역 해상교통환경평가 연구용역, pp.11-50.

우리나라 각 항만의 정박지 면적과 항구 폭은 아래 표와 같다.

<표 3-6> 우리나라 항만의 박지면적과 항구 폭

항명[m]	박지면적[ha]	항구폭[m]	박지면적[ha]	항명[m]	항구폭[ha]
인 천	276	-	울 산	1,100	-
여 수	300	480	포 향	350	470
삼일항	5,500	-	북 평	100	320
제 주	70	150	목 호	40.2	300
부 산	1,610	350	목 포	375	-

- 출처 : 안수환, 강관원(2005), 항만공학, pp. 71.

3.3 항로와 선회장

항만 내에서 선박이 안전하게 항행할 수 있는 구역, 즉 항로가 필요하다. 항로의 설정에 있어서 안전한 항행, 조선의 용이, 지형, 기상, 해상조건과 관련시설과 적합

하도록 고려되어야하며, 법선이 직선에 가깝고 수면이 정온하며 바람, 조류, 기상해상 조건이 양호하고, 항로표지, 신호체계 정비가 잘 되었으면 양호하다고 할 수 있다. 항로 폭에 있어서 L을 대상선박의 전장이라고 할 때, 선박이 운항하면서 상대선박과 교행 할 가능성이 있는 항로에서는 1L이상의 적절한 폭으로 설계하는데, 항로의 거리가 비교적 긴 경우는 1.5L, 대상선박들이 항로 항행 중 빈번히 만날 경우는 1.5L, 대상선박들이 항로 항행 중 빈번히 만나고 동시에 항로의 거리가 비교적 긴 경우는 2L로 설계한다. 선박이 운항하면서 만날 가능성이 없는 항로에서는 0.5L이상의 적절한 폭으로 설계한다. 폭이 1L이 되지 않을 경우 항행을 지원하는 시설 정비 등 안전상의 대책을 충분히 수립하는 것이 바람직하다. 항로의 수심에 있어서 닻 정박지의 수심 조건과 동일하며 상황에 따라 저질, 선체운동, 해도오차, 측량오차 등에 대한 여유를 고려한다. 선박이 수심이 얇은 수역을 항행할 경우 조선이 어렵고 계선이나 정박, 조선 시 횡 이동에 있어 큰 저항을 받게 된다. 또한 항행중의 선체침하로 선저가 해저에 접촉하여 선체의 손상, 기관이나 추진 장치의 장애를 초래한다. 항행의 안전을 기하려면 최대흘수시의 선저와 해저와의 간격, 여유수심을 확보할 필요가 있다. 항로 길이에 있어서 선박이 자력으로 입항할 때 방파제 외부에서는 바람, 조류의 영향을 피하기 위해 어느 정도 속도를 가져야 하므로, 방파제의 개구부 등에서 접안시설까지의 항로 길이와 연속되는 박지의 넓이로서 대상선박의 정지 가능 거리를 적절히 확보하는 것이 바람직하다. 마지막으로 수역시설을 이용하는 선박의 항행, 파일럿의 승선, 끝배의 이용 등을 감안하여 항로의 적절한 정온도를 확보하여야 한다.

항만 내에는 접안선박이 입·출항할 때 그 방향을 바꿀 수 있는 수역이 필요하다. 이 수역을 선회장이라고 하며, 선회장은 넓을수록 좋으나, 항만의 사정상 넓게 할 수 없는 경우는 최소한 선박의 길이의 약 2배의 지름을 가진 수역이 필요하다. 예인선에 의하지 않고 선박 자체가 회전하는 경우는 선박길이의 3배의 지름을 가진 수역이 필요하다.

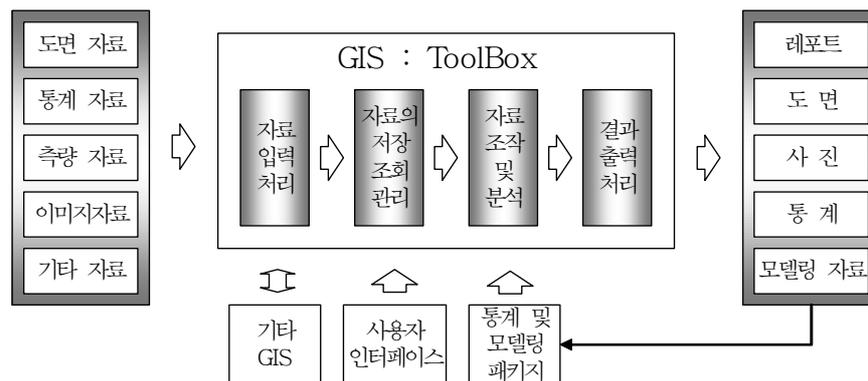
제 4 장 대기정박지 평가기법

4.1 공간 분석 기법

4.1.1 GIS 정의 및 구성요소

지리정보시스템이란 공간적 문제를 해결하기 위해 다양한 지리정보를 수집, 구축, 유지, 관리, 편집하고 분석과 모델링을 통해 추출된 고부가가치의 정보를 표현하고 출력할 수 있게 고안된 종합적인 정보처리시스템이다. 지리정보란 자연적인 문적 여러 현상들이 지도나 도면의 형태로 표현되는 자료를 가리키는 것으로 점·선·면적·부피 등으로 표현되는 현상들이 위치 값을 갖는 자료를 말한다. 이러한 정의를 내리는 경우 공간적(spatial)이란 용어는 지리적(geographical)이란 용어와 혼용되고 있으며 최근에는 지리공간적(geospatial)이란 용어로도 사용되고 있다. 지리정보시스템의 관점은 여러 가지로 분류될 수 있으며 대표적으로 도구상자(toolbox) 관점과 정보시스템 관점(information system)으로 볼 수 있다.

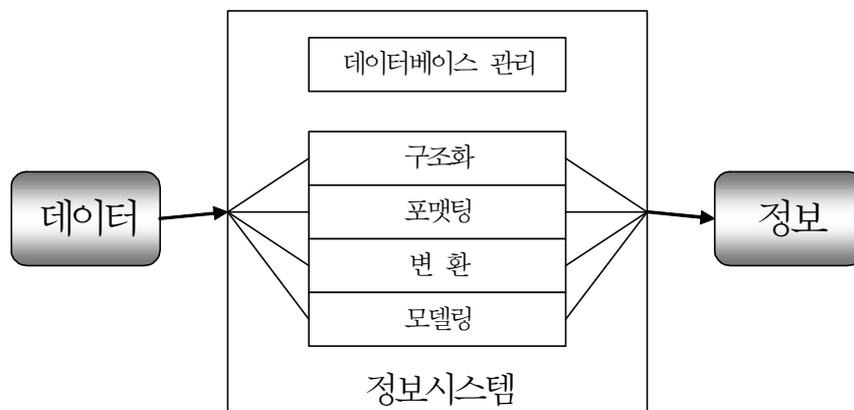
첫 번째로 GIS란 실세계의 다양한 현상들에 대한 공간자료를 수집, 생성, 갱신, 검색, 저장, 변환, 분석, 표현을 위해 필요한 다양한 도구들이 모여진 도구상자(toolbox)로 보는 관점이 있다. 여기서 공간자료란 좌표체계에서 지리적 위치를 나타내고 있는 실세계의 현상을 말한다.



<그림 4-1> GIS를 도구상자(toolbox)로 보는 관점

- 출처 : 이희연(2003), GIS 지리정보학, 법문사, pp. 5.

둘째, GIS를 GISystem, 즉 정보시스템(information system)의 하나로 보는 관점이다. GIS란 지리적 좌표체계에 의해 참조된 데이터를 다루기 위한 목적으로 고안된 정보시스템으로 의사결정지원 등과 같은 특정 목적을 위하여 공간정보와 다른 유형의 정보를 하나의 데이터베이스 시스템으로 통합하여 데이터를 분류, 선정하고 주어진 특정 질문에 대한 해답을 찾아 정보를 추출하는 시스템이다. 여기서 의미하는 시스템이란 특정한 문제를 해결하기 위해 지리정보를 처리하고 관리하기 위해 고안된 하드웨어와 소프트웨어를 모두 포함하는 것이다.

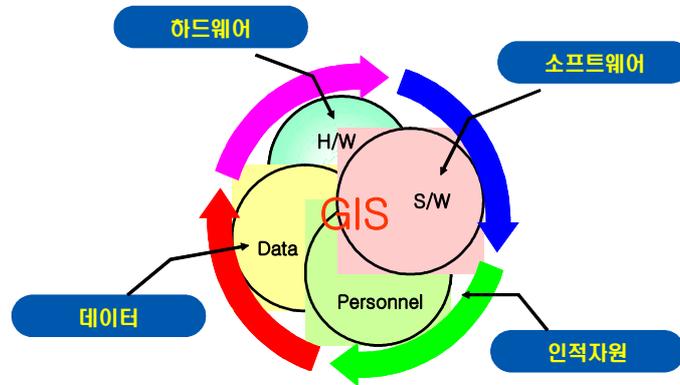


<그림 4-2> GIS를 정보시스템으로 보는 관점

- 출처 : 이희연(2003), GIS 지리정보학, 법문사, pp. 5.

4.1.2 GIS의 구성요소

지리정보시스템은 다양한 분야의 지식과 기술이 결합되어 이루어지며 다양한 분야에서 사용되기 때문에 각 분야 및 시스템 성격에 맞는 구성요소를 필요로 한다. GIS의 주요 구성요소는 하드웨어, 소프트웨어, 데이터, 인적자원으로 구성된다.



<그림 4-3> GIS의 구성요소

하드웨어는 GIS가 운영되는 기본 토대로서 크게 자료 입력과 자료 처리 및 관리, 그리고 자료 출력의 세 부분으로 구성된다. 소프트웨어는 데이터와 함께 핵심적 요소로서 GIS 데이터의 구축과 분석 및 다양한 조작기능들이 소프트웨어를 통해 이루어진다. 현재 다양한 GIS 소프트웨어들이 개발, 판매되고 있으며, 가격 면에서도 상당한 차이를 보이고 있다.

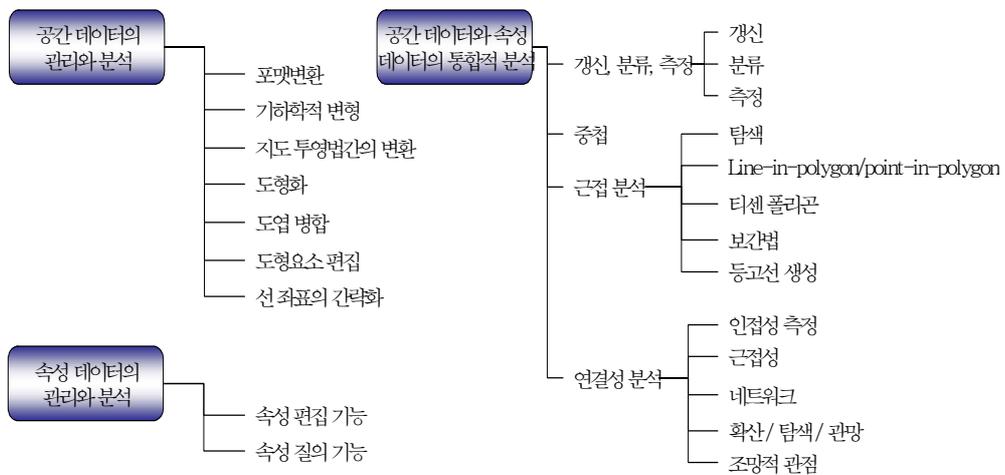
GIS의 구성요소 중 데이터는 GIS 운용에 기반을 이루는 핵심적인 요소로서 GIS 시스템 구축 및 과제 수행 시에 데이터 구축과 관련된 부분이 70% 이상을 차지할 정도로 비중이 크다. 데이터는 실세계의 공간현상에 대한 정확한 위치를 컴퓨터를 통해 나타내고 그 형상물에 대한 여러 가지 속성을 컴퓨터를 통해 표현한 것이다. 인적 자원은 GIS 사용자를 지칭하는 것이 아니라 시스템 구축, 유지관리, 활용이라는 단계를 통해 데이터 제작자, 시스템 관리자, 프로그래머, 시스템 엔지니어, 사용자 등 다양한 역할을 수행하는 인적 자원을 말한다.

4.1.3 GIS 기능

공간분석이란 데이터베이스로부터 유용한 정보를 추출하기 위해 사용되는 기법으로 공간 데이터에 가치를 부여하거나 공간 데이터를 유용한 정보로 바꾸는 과정이라고 할 수 있다. 공간 분석은 인식되지 못했던 패턴이나 미 발견된 일반성, 법

칙 등을 발견하는 과학적인 목적으로 이용되고 데이터베이스로부터 실제세계의 문제를 해결하는데 필요한 정보뿐만 아니라 앞으로의 현상을 예측하거나 시뮬레이션 하는 GIS 모델링의 기초가 된다.

GIS 공간분석의 기능은 공간 데이터의 관리와 분석, 속성 데이터의 관리와 분석, 공간 데이터와 속성 데이터의 통합적 분석의 세 가지로 분류될 수 있다. 공간 데이터의 관리와 분석에는 포맷의 변환, 기하학적 변형, 서로 다른 지도 투영법간의 변환, 융합, 도형화, 선 좌표의 간략화, 도형 요소의 편집 등의 분석기법을 들 수 있다. 한편 속성 데이터의 관리와 분석에는 속성 데이터의 편집 기능과 속성 데이터에 대한 질의 기능을 들 수 있다. GIS에서 가장 중요한 분석기능인 공간 데이터와 속성 데이터의 통합분석 기능에는 갱신, 분류, 측정의 단순한 기능을 비롯하여 중첩, 근접 분석, 연결성 분석 등등이 포함된다. GIS의 분석기능은 데이터 구조(벡터 데이터와 래스터 데이터 등등), 하드웨어, 시스템의 성능 등에 의하여 영향을 받는다.

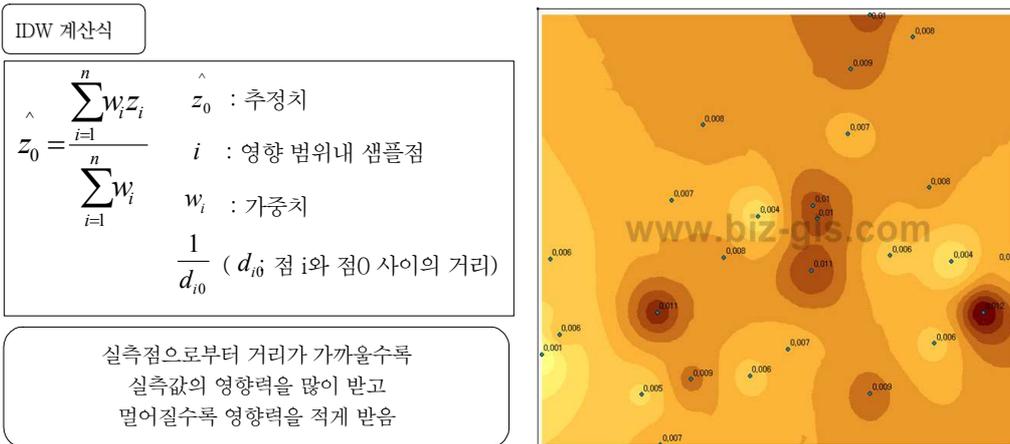


<그림 4-4> GIS의 기초적인 공간분석 기능 유형

- 출처 : Arnoff, S.(1989), GIS : A Management Perspective, p. 208.

본 연구에서는 IDW (Inverse Distance Weighted) 보간 기법을 사용하였으며 본 기법에 대해 살펴본다. IDW 보간 기법은 가까이 있는 실측 값(Point)에 더 큰 가중 값을 주어 보간하는 방법으로 거리가 가까울수록(거리 값이 작을수록) 높은 가중

값이 적용되기 때문에 Inverse Distance Weighted라고 하며, 실측값으로부터 멀어질수록 가중되는 값의 영향력은 줄어든다.



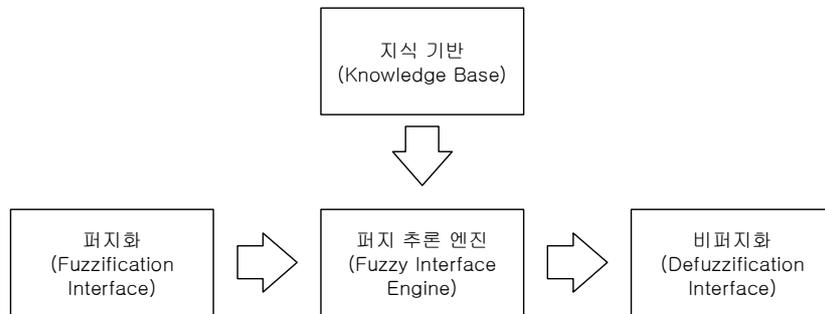
<그림 4-5> IDW 보간기법

- 출처 : 웹페이지, www.biz-gis.com

4.2 가중치 산정 기법

4.2.1 퍼지이론

1965년 Zadeh가 개발한 퍼지이론은 퍼지집합론(Fuzzy Set Theory)의 사고방식을 기초로 불확실성 분석에 사용되는 수학 모델로서 많은 분야에서 응용되고 있다. 특히, 인간의 주관적 인지에 따르는 애매모호한 부분을 다룰 때, 집합에 속하는 원소와 속하지 않는 원소간의 리스크 분석에 유용하게 사용되고 있다. 퍼지이론은 기존 논리체계보다 인간의 사고를 나타내는 자연언어의 특성과 유사성을 많이 가지고 있으므로, 실세계의 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용된다. 퍼지이론은 언어적 형식의 제어규칙으로 이루어져 있으며, 퍼지 합성규칙에 의해 다음의 네 가지로 구성된다.



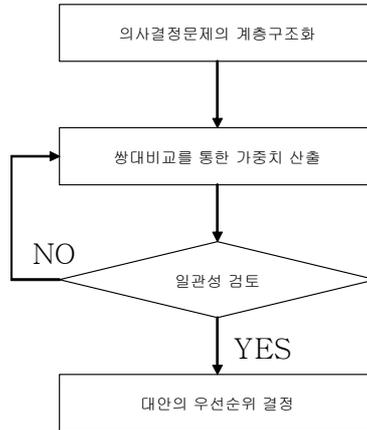
<그림 4-6> 퍼지이론의 구조

모집합 U 의 퍼지집합 A 는 U 내의 각 원소 x 의 멤버쉽함수 $\mu_A(x)$ 에 의해 구체화 된다. 원소 $x \in U$ 에 대한 값 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 은 x 가 퍼지집합 A 에 속한 소속정도 (Grade of Membership)를 나타낸다. 불확정 경계를 표현하는 퍼지집합의 함수에는 삼각형(Triangular)함수, 사다리형(Trapezoidal)함수, 가우스형(Gaussian)함수, 종형(Bell) 함수 등이 있으며, 함수의 선택과 그 중첩 정도의 선택은 대상공정의 종류 또는 전문가의 선호도에 따라 다르며, 시행착오에 의해 최적의 것을 결정할 수도 있다.

4.2.2 AHP 기법

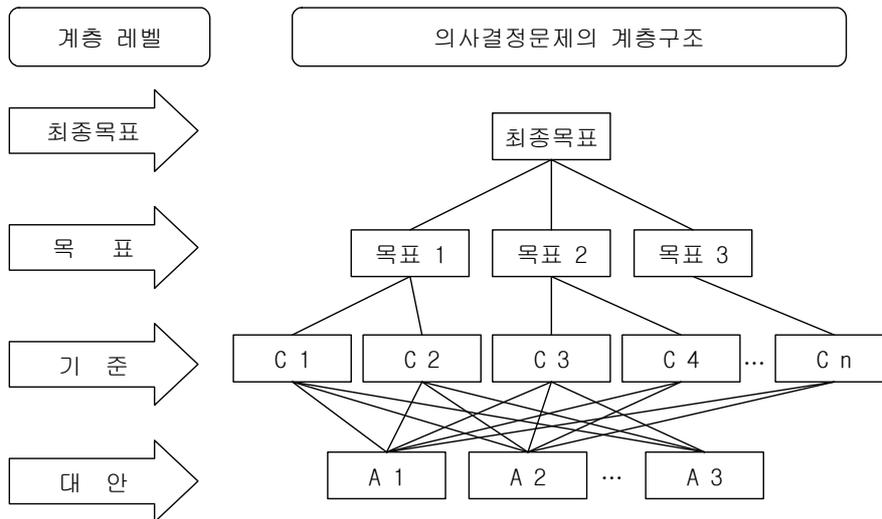
AHP는 1970년대 중반 Saaty가 개발한 계층적 분석기법으로 세계 각국의 정부기관과 기업에서 유용하게 활용되어 오고 있다. 이 기법은 목표 값들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 산출하는 방법으로, 다수의 목표, 평가기준, 의사결정 주체가 포함되어 있는 의사결정문제를 계층화하여 해결하는데 적합하다. 즉, 주어진 의사결정문제를 계층화한 후, 상위 계층에 있는 한 요소의 관점에서 하위계층에 있는 요소들의 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통해 상대적 중요도 또는 가중치를 구함으로써 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위(Priority)를 구하는 것이다. 특히 AHP는 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소

까지 고려할 수 있고, 평가의 일관성을 추론할 수 있는 것이 장점이다. AHP의 수행절차는 아래 그림과 같으며, 다음과 같은 4단계 과정을 거쳐 수행된다.



<그림 4-7> AHP 수행절차

첫째, 평가기준과 각 대안을 설정하여 의사결정문제를 아래 그림과 같이 계층구조(Hierarchy Structure)화 한다. 이는 주어진 문제를 상호 관련된 의사결정속성별로 계층화하여 문제를 분해하는 과정으로 문제의 복잡성을 분석적으로 체계화하여 문제해결에 유연성을 주게 된다.



<그림 4-8> 의사결정문제의 계층구조화 모델

둘째, 계층구조가 설정되면 의사결정자는 동일계층(Level) 요소들의 쌍대비교를 실시한 후 아래 표와 같은 쌍대비교 매트릭스를 구한다. 상대적 중요도의 평가를 위해서는 아래 표와 같은 평가척도가 이용된다.

<표 4-1> 쌍대비교 매트릭스

	a_1	a_2	a_3	...	a_n
a_1	1	a_1/a_2	a_1/a_3	...	a_1/a_n
a_2	a_2/a_1	1	a_2/a_3	...	a_2/a_n
a_3	a_3/a_1	a_3/a_2	1	...	a_3/a_n
.
.
.
a_n	a_n/a_1	a_n/a_2	a_n/a_3	...	a_n/a_n

쌍대비교 행렬은 임의의 두 요소간의 우월성을 나타내는 정방행렬로서 대각선의 원소값은 모두 1이고 나머지는 상호대칭으로 역수관계에 있다. 작성된 쌍대비교 행렬로부터 요소들의 상대적 가중치와 최대 아이젠값(λ_{max})을 구한다.

<표 4-2> Saaty의 9점 평가 스케일

척도	정의	설명
1	동일하다 (equal importance)	두 가지 요소가 상위목표의 기준에서 볼 때 똑같이 중요
3	약간 중요 (slight importance)	한 요소가 다른 요소에 비해 약간 중요
5	중요 (strong importance)	한 요소가 다른 요소에 비해 훨씬 중요
7	매우 중요 (demonstrated importance)	한 요소의 우위성이 실증되고 있음
9	절대적 중요 (absolute importance)	한 요소의 우위성이 절대시 되고 있음
2, 4, 6, 8	각 척도들의 사이값	위에서 정의된 척도들 사이의 값이 요구될 때

셋째, Saaty는 의사결정자의 논리적 일관성을 검증하기 위해 쌍대비교의 신뢰도에 대한 지수를 제시하였는데, 이것을 일관성비율(Consistency Ratio : CR)이라고 하며 계산은 다음식과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} \cdot \frac{1}{RI}$$

(단, CR : 일관성 비율, CI : 일관성 지수, RI : 확률 지수, λ_{\max} : 최대 아이젠값, N : 행렬의 크기)

일관성비율은 일관성지수(Consistency Index : CI)를 행렬의 크기 N에 해당하는 확률지수(Random Index : RI)로 나눈 값이며 여기에서 일관성지수는 $(\lambda_{\max} - N)/(N - 1)$ 로 계산되어 진다. 일관성이 완벽할 경우 일관성비율 0에 가까워지지만 일관성비율이 0.1이상인 경우에는 그 판단을 다시 하거나 수정해야 한다.

<표 4-3> 행렬의 크기에 따른 확률지수

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

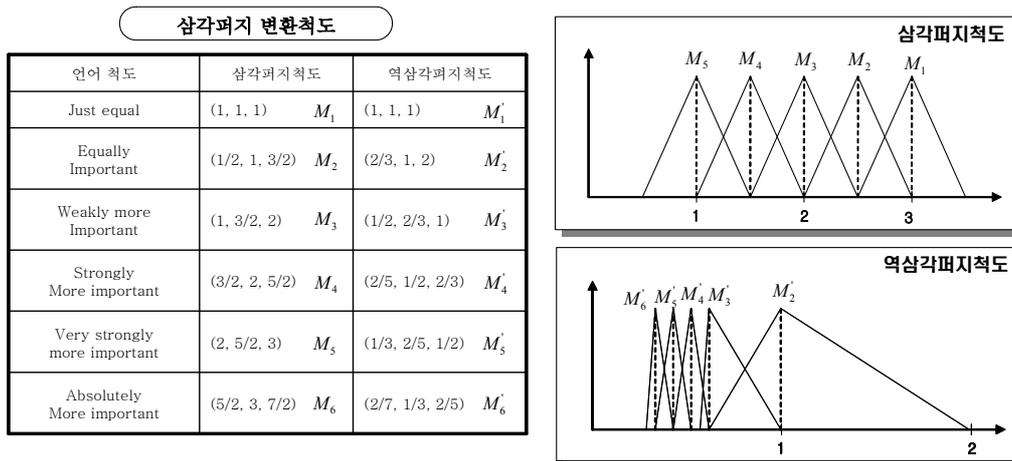
넷째, 각 계층에서 구해진 가중치를 종합하면 각 대안의 우선순위를 파악하여 최적의 대안을 결정할 수 있다.

AHP 기법의 다양한 사용에도 불구하고 쌍대비교 시 9점 평가스케일의 점수 변환에 대한 불확실성에 대해 지적되어 온 바 있다. AHP의 해법에 따라 인간의 사고는 정확한 정수로 표현된다. 그러나, 실제의 문제에서 인간의 기호는 불확실하며, 의사결정자는 비교 문제에 있어서 어려워하며, 정확한 정수 선택이 어렵다. 예를 들어, 서로 다른 서비스를 비교 평가할 경우, 해당 서비스에 대해 자세하게 파악하지 못하여 두 서비스 간의 기호를 정확히 판별할 수 없게 된다. 의사결정자의 서비스 평가 기준이 주관적이고 정성적이기 때문에 의사 결정자의 기호의 정도를 표현하기 힘들고 정확한 쌍대 비교 판단이 어려운 단점이 있다.

4.2.3 퍼지 계층분석법(Fuzzy AHP)

기존의 AHP 기법은 불분명한 선택의 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 정성적인 특성들을 정량적인 판단기준에 따라서 객관적으로 평가할 수 있다. 이를 위해 AHP 기법에서는 9점 평가스케일을 사용하는 것이 일반화되어 있다. 그러나 Saaty는 9점보다 더 낮은 스케일을 사용하면 일관성비율이 좋아져 보다 정확한 논리적 평가가 가능하다고 주장하였다. 그리고 리스크 평가에 이용되는 데이터들은 주로 퍼지(Fuzzy)한 언어표현이 많아 기존의 AHP 기법을 사용하는 데는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 삼각퍼지함수를 이용하여 퍼지한 Scale을 제시하고 입지 분석에 대한 언어적 판단정도를 퍼지집합으로 대응시켜 해석하였다. 이를 위해 기존의 AHP기법에 퍼지집합론의 이론적 특성을 결합시킨 Fuzzy AHP 기법을 적용하였으며, Fuzzy AHP 기법의 수행절차는 다음과 같다.

퍼지 TOPSIS나 퍼지 AHP, 퍼지 아웃랭킹과 같은 퍼지 다기준기법은 모호한 다기준 의사결정문제나 응용사례를 해결할 수 있다. 스케줄링 모델이나 선형계획법, 동적 계획법과 같은 의사결정법과는 달리 퍼지 다기준의사결정법은 다양한 응용분야에서 인정되고 있는 방법론이라 할 수 있다.



<그림 4-9> Fuzzy AHP 기법의 특징

1) Da-Yong Chang의 확장 Fuzzy AHP법

목표, 속성, 대안 간에 계층적 구조를 사용하는 퍼지 AHP는 쌍대 비교법을 이용하여 의사결정자의 기호를 보다 정확하게 판단할 수 있다. 의사결정자는 의사결정 과정에서 복잡함 때문에 올바른 평가를 할 수 없으므로, AHP를 이용하여 일대일 평가를 수행할 수 있다. 퍼지 AHP 분석법 중 개요로서, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 을 오브젝트 집합, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 을 목표 집합이라 할 때, Chang(1996)의 연구에 따르면, 각 오브젝트에 대한 m 확장 분석 값은 다음과 같이 표현된다.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4-1)$$

여기서, 모든 $M_{g_i}^j (j=1, 2, \dots, m)$ 은 파라미터가 a, b, c 인 삼각퍼지수(TFNs : Triangular Fuzzy Numbers)로 구성된다. 삼각퍼지수는 <그림 4-9>와 같이 가장 낮은 값, 가장 최적의 값, 가장 큰 값으로 구성된다. Chang(1996)의 퍼지 AHP 확장분석과정은 3단계로 이루어지는데,

(단계 1) i 번째 오브젝트에 대한 확장 퍼지계산은 다음과 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4-2)$$

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

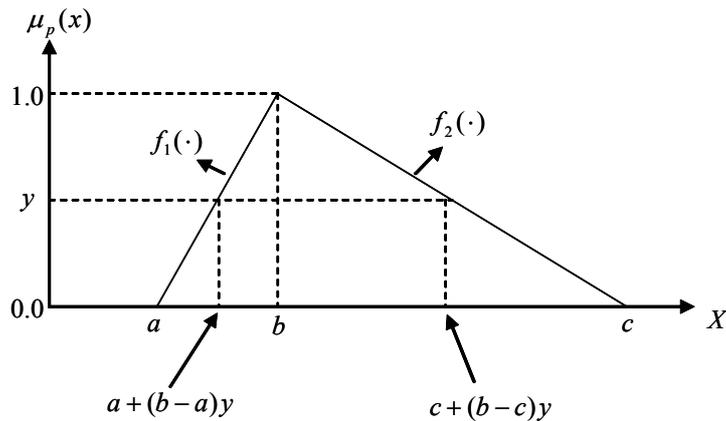
$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{j=1}^m c_{ij} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4-3)$$

그리고 $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ 를 얻기 위해, $M_{g_i}^j (j=1,2,\dots,m)$ 의 퍼지추가 연산을 수행한다.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \right) \quad (4-4)$$

위 식의 벡터 역수를 구한다.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}} \right) \quad (4-5)$$



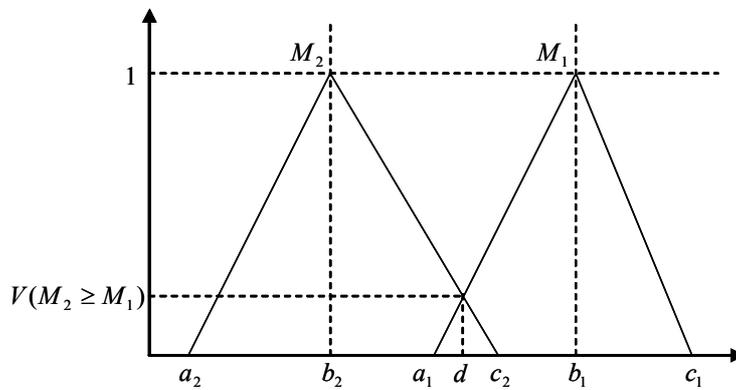
<그림 4-10> 삼각 퍼지 수, $\tilde{P}=(a,b,c)$

(단계 2) 퍼지합성 확장값은 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.

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

(4-6)

여기서 d 는 μ_{M_1} 와 μ_{M_2} 간의 가장 높은 교차점 D 의 y 좌표 값이다.



<그림 4-11> M_1 과 M_2 의 교차점

M_1 과 M_2 를 비교하기 위해 $V(M_1 \geq M_2)$ 과 $V(M_2 \geq M_1)$ 값이 필요하다.

(단계 3) 퍼지수가 k 퍼지 수 $M_i (i=1, 2, \dots, k)$ 보다 더 클 가능성은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k. \end{aligned}$$

(4-7)

$d^i(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ 을 가정하면 $k=1, 2, \dots, n; k \neq i$ 여기서 가중치 벡터는 $W^i = (d^i(A_1), d^i(A_2), \dots, d^i(A_n))^T$ 라 주어진다.

수학적 연산을 직접 언어적 값으로의 변환은 불가능하므로, 언어적 값의 범위가 퍼지값 범위로 변환된다. 퍼지 AHP에 관한 선행 연구에서는 다양한 퍼지값 범위가 소개되었으며, 본 연구에서는 <표 4-4>의 삼각퍼지수 범위를 평가에 사용하였다.

<표 4-4> 삼각 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)

4.3 의사결정전략 선택기법

4.3.1 가중치 결합 기법의 종류

다기준 의사결정 문제에서 의사결정 입력치의 결합은 중요한 문제로서 가중치 결합 연산자 선택 요인은 관련된 요인에 따라 결정된다. 극단적으로 모든 요인을 만족하여야 하는 경우와 적어도 하나의 요인이 만족하여야 경우를 예로 들 수 있다. 이 두 가지 예는 AND 연산자와 OR 연산자의 경우에 해당된다. 다음은 주요 가중치 결합 연산자를 소개한다. $M = \{1, 2, \dots, m\}$, $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 이라고 가정한다.

1) Max Operator

인수의 집합을 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 라고 할 때,

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \max_i \{a_i\}$$

여기서 f 는 최대화 연산자라고 한다. 특히, $a_i \in S$ 일 경우 f 는 언어적 최대화 연산자이고, S 는 언어적 라벨의 제한된 집합이다.

$$S = \{s_1 = \text{none}, s_2 = \text{verylow}, s_3 = \text{low}, s_4 = \text{medium}, \\ s_5 = \text{high}, s_6 = \text{veryhigh}, s_7 = \text{perfect}\}$$

$i < j$ 이면 $s_i < s_j$

2) Min Operator

인수의 집합을 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 라고 할 때,

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \min_i \{a_i\}$$

여기서 f 는 최소화 연산자라 한다. 특히, $a_i \in S$ 일 경우 f 는 언어적 최대화 연산자이다.

3) AA Operator

인수의 집합을 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 라고 할 때, $f: R^n \rightarrow R$

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

f 는 AA 연산자라 한다.

4) WAA Operator

$f: R^n \rightarrow R$ 라고 할 때,

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i a_i$$

여기서, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 는 $a_i (i \in N)$ 의 가중치 벡터이며, $w_j \in [0, 1]$,

$\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 이면, f 는 WAA 연산자라 한다.

특히, $w = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)^T$ 일 경우, f 는 AA 연산자로 조정된다.

5) FWA 연산자

$f: \Theta^n \rightarrow \Theta$ 일 경우, Θ 는 퍼지 수의 집합이다. 만약

$$f(\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n) = \sum_{i=1}^n \hat{\omega}_i \hat{a}_i / \sum_{i=1}^n \hat{\omega}_i$$

여기서, $\hat{\omega} = (\hat{\omega}_1, \hat{\omega}_2, \dots, \hat{\omega}_n)$ 은 $\hat{a}_i (i \in N)$ 의 가중치 벡터이고, $\hat{\omega}_j, \hat{a}_j \in \Theta$ 이면 f 는 FWA 연산자라 한다.

6) GA 연산자

$f: R^{+n} \rightarrow R^+$ 라고 할 때,

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{1/n}$$

일 때, 는 GA 연산자라 한다.

7) WGA 연산자

$f: R^{+n} \rightarrow R^+$ 라고 할 때,

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_{i=1}^n a_i^{w_i}$$

여기서 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 는 $a_i (i \in N)$ 의 지수 가중치 벡터이고, $w_j \in [0, 1]$,

$\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 일 때, f 는 WGA 연산자라 한다. 특히, $w = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)^T$ 라고 하면, f 는 GA 연산자가 된다.

8) Max-Min 연산자

$\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 가 요인의 집합일 때, 만약

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \max_i \min \{w_i, a_i\}$$

여기서 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 는

여기서 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 는 $a_i (i \in N)$ 의 가중치 벡터이고, $w_j \in [0, 1]$,

$\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 일 때, f 는 max-min 연산자라 한다.

특히, $w_i, a_i \in S$ 일 경우 f 는 언어적 max-min 연산자이다.

9) Min-Max 연산자

Max-Min 연산자와 동일하게

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \min_i \max \{w_i, a_i\}$$

f 는 min-max 연산자이다.

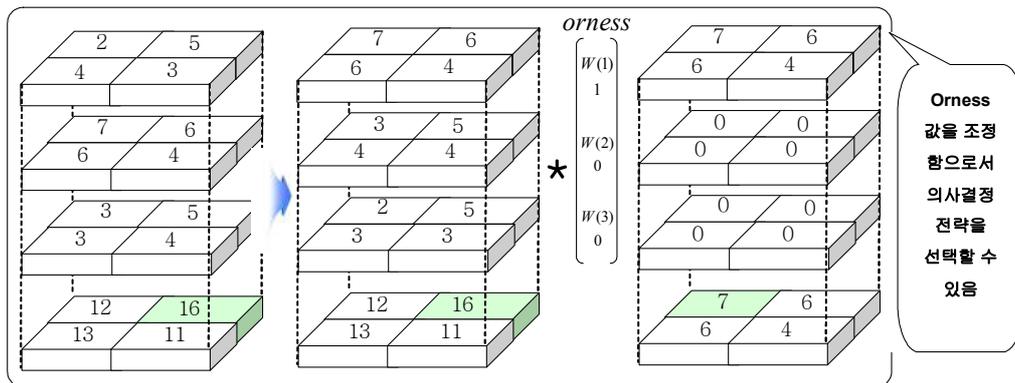
4.3.2 순위가중치 평균법(OWA)

1) 개요

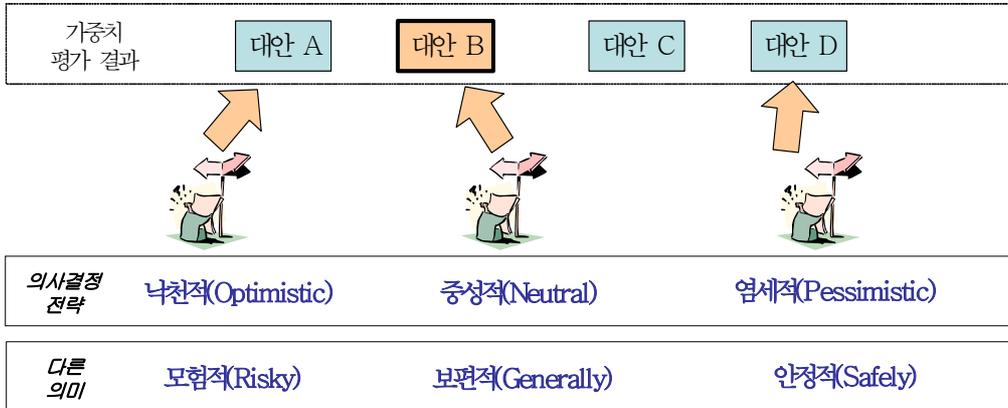
Yager는 최대값과 최소값에 이르는 대안의 결과치를 결합하기 위해 순위 가중치 평균법(OWA : Ordered weighted averaging)을 개발하였다. OWA 연산자는 MAUT

(multiattribute utility theory)이나 단순 가중치 합과 같은 기존의 다기준 결합방식과는 달리 고려하는 기준의 비선형적 결합이 가능하다(Jacek Malczewski, 2006). 순위가중치 평균법이 소개된 이후 가중치 행렬을 조정하여 의사전략을 결합할 수 있는 유연성 때문에 뉴럴 네트워크(Neural networks), 데이터베이스 시스템(Database system), 퍼지 로직 컨트롤러(Fuzzy logic controllers), 그룹 의사결정(Group decision making) 등 다양한 분야에 도입되었다.

순위가중치평균법은 퍼지집합의 orness 개념 즉, 특정 연산자가 얼마나 orlike 한가를 이용하였다. 본 측도는 결합 과정에서 사용되는 가중치의 의미에 따라 의사전략으로 표현된다. 만약 결합된 값이 정렬된 오브젝트의 최대값에 가깝다면, 결합은 orlike 결합이고, 최소값에 가깝다면 andlike 결합이다. 즉, 최대화 결정 원칙은 낙관적인 의사결정이고 최소화 결정 원칙은 비관적인 의사결정이라는 고전적인 의사결정이론과 부합된다.



<그림 4-12> 순위가중치 평균법 개념



<그림 4-13> 순위가중치 평균법의 의사결정 전략 선택의 의미

2) 순위가중치평균법(OWA) 연산자 및 Orness 측도

기준 n 개의 OWA 연산자는 가중치 n 개의 벡터 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 로 표현되며, $w_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, 여기서 함수 $f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 은 아래와 같이 속성값 a_1, a_2, \dots, a_n 가 결합된 값을 나타낸다.

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i b_i \quad (4-8)$$

여기서 b_i 는 n 개의 결합 오브젝트 a_1, a_2, \dots, a_n 중에서 i 번째로 큰 속성 값이다. 결과로 다음 조건을 만족한다.

$$\text{Min}_i[a_i] \leq f(a_1, a_2, \dots, a_n) \leq \text{Max}_i[a_i] \quad (4-9)$$

OWA 연산자의 기본개념은 속성 값의 재배열 즉, 기준 값 a_i 는 순위 가중치 w_i 값에는 영향을 받지 않으며, 속성 값 a_1, a_2, \dots, a_n 은 i 지점의 해당 값과 연산된다.

가중치 벡터 W 에서 가중치 값을 전략에 따라 적절히 배열함으로써 순서에 따른 의사전략을 강조할 수 있다. 만약 가중치를 W 의 상단에 위치할 경우 높은 속성 값을 강조할 수 있고, W 의 하단에 위치할 경우 낮은 속성 값을 강조할 수 있다. 예를 들어, $W = [0.4, 0.3, 0.2, 0.1]^T$ 이라고 할 때,

$f(0.7, 1.0, 0.3, 0.6) = (0.4)(1) + (0.3)(0.7) + (0.2)(0.6) + (0.1)(0.3) = 0.76$ 으로 계산된다.

Yager는 아래와 같이 OWA 연산자의 가중치 벡터 W 에 대한 측도를 제시하였다.

$$orness(W) = \Omega = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \quad (4-10)$$

본 측도는 퍼지개념의 or 연산과 같은 효과로서 $W = [0.4, 0.3, 0.2, 0.1]^T$ 으로 가정할 때 $orness(W) = (1/3)(3(0.4)+2(0.3)+1(0.2)) = 0.666$ 으로 계산된다. 만약 OWA 연산자의 대표적인 경우를 생각한다면

$$\begin{aligned} W^* &= [1, 0, 0, \dots, 0]^T (\text{maximum operator}) \\ W_* &= [0, 0, 0, \dots, 1]^T (\text{minimum operator}) \\ W_{Ave} &= [1/n, 1/n, 1/n, \dots, 1/n]^T (\text{average operator}) \end{aligned}$$

이를 요약하여 표현하면

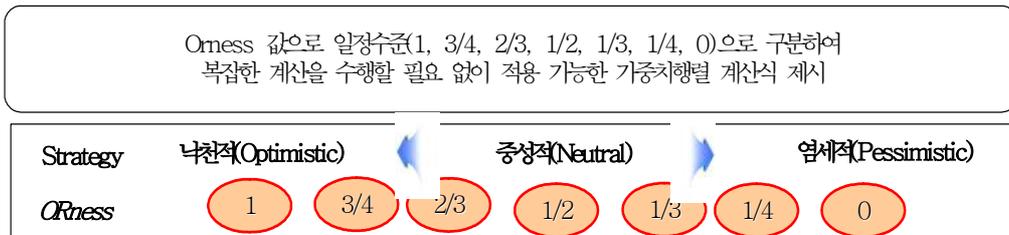
- (1) $orness(W^*) = 1$,
- (2) $orness(W_*) = 0$,
- (3) $orness(W_{Ave}) = 0.5$

가중치 벡터 w 를 가지는 OWA 연산자를 위한 $andness$ 측도는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} andness(W) &= 1 - orness(W) \\ &= 1 - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \end{aligned} \quad (4-11)$$

3) 일정한 수준의 결합력을 갖는 함수

안병석(2006)은 연구결과에서 OWA이론과 추론과정을 통해 orness가 1인 W^* , orness가 0.5인 W_{avg} , orness가 0인 W_* 인 대표적 OWA 가중치 함수에 추가로 4개의 일정한 수준의 결합력을 갖는 OWA 가중치 함수를 추가하여 제시하였다.



<그림 4-14> 일정 수준의 결합력을 갖는 함수

4개의 가중치 중 $W(3/4)$ 추론과정으로 식(9)가 주어지 있을 때,

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}$$

위 식을 Yager의 OWA 가중치 함수 식(9)에 적용한다면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
\text{orness}(W) &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n \left(n \cdot \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) - \sum_{i=1}^n \left(i \cdot \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} \right) \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(n \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{1}{j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i \frac{j}{i} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(n \cdot n - \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \cdot \frac{i(i+1)}{2} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(n^2 - \frac{n^2+3n}{4} \right) = \frac{3}{4}
\end{aligned}$$

다음 OWA 가중치 함수의 orness 수치는 1/4 수준의 orness를 갖는다.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^i \frac{1}{(n-j+1)}$$

위 OWA 가중치 함수를 Yager의 orness 측도 정의식에 대입하게 되면 다음의 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
\text{orness}(W) &= \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^i \frac{1}{(n-j+1)} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \cdot \sum_{k=n-i+1}^n \frac{1}{k} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n n \cdot \sum_{k=n-i+1}^n \frac{1}{k} - \sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{k=n-i+1}^n \frac{1}{k} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(n \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{k=n-i+1}^n \frac{1}{k} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=n-i+1}^n \frac{k}{i} \right) \\
&= \frac{1}{n(n-1)} \left(n^2 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{i} \cdot \frac{i}{2} (2n-i+1) \right) \right) = \frac{1}{4}
\end{aligned}$$

아래 OWA 가중치 함수의 orness 값은 일정한 상수 2/3으로 표현될 수 있다.

$$w_i = \frac{n-i+1}{\sum_{j=1}^n (n-j+1)} = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)}$$

위 OWA 가중치 함수를 Yager의 orness 측도에 대입할 경우 다음의 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned} \text{orness}(W) &= \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \cdot \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)} \right) \\ &= \frac{2}{(n-1)n(n+1)} \sum_{i=1}^n ((n^2+n) - (2n+1) \cdot i + i^2) \\ \sum_{i=1}^n i^2 &= \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \text{ 임을 이용하여} \\ \text{orness}(W) &= \frac{2}{(n-1)n(n+1)} \left(n(n^2+n) - (2n+1) \cdot \frac{n(n+1)}{2} + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \right) \\ &= \frac{2}{3} \end{aligned}$$

아래 OWA 가중치 함수의 orness 값은 1/3으로 표현될 수 있다.

$$w_j = \frac{i}{\sum_{j=1}^n (n-j+1)} = \frac{2i}{n(n+1)}$$

위 OWA 가중치 함수를 Yager의 orness 측도에 대입할 경우 다음의 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned} \text{orness}(W) &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left((n-i) \cdot \frac{2i}{n(n+1)} \right) \\ &= \frac{2}{(n-1)n(n+1)} \left(n \sum_{i=1}^n i - \sum_{i=1}^n i^2 \right) \\ &= \frac{2}{(n-1)n(n+1)} \left(n \cdot \frac{n(n+1)}{2} - \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \right) \\ &= \frac{1}{3} \end{aligned}$$

다속성 값 이론(MAVT : multiattribute value theory)에서 orness 3/4의 상수 값을 가지는 OWA 가중치 $W(3/4) = [w_1(3/4), \dots, w_n(3/4)]$ 는 가중치 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ 일 때, 모든 가능한 가중치 조합의 대표인 단일 가중치를 구하는 질량중심 가중치라 할 수 있다. Edwards와 Barron은 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ 이며 모든 속성이 단순 정렬되어 있을 때 무게 중심점을 구할 수 있는 공식을 제안한 바 있다. $w_1(3/4)$ 는 가장 중요한 속성의 가중치이고, $w_2(3/4)$ 는 두 번째로 가장 중요한 속성의 가중치이다. n 개의 속성이 있을 때 위 식을 이용하여 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} w_1(3/4) &= (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)/n \\ w_2(3/4) &= (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)/n \\ &\vdots \\ w_n(3/4) &= (0 + 0 + 0 + \dots + 1/n)/n \end{aligned}$$

위 식에 따라 평가요인의 개수에 따라 $W(3/4)$ 의 가중치는 <표 4-5>와 같이 계산되었다.

<표 4-5> $W(3/4)$ 에 대한 가중치 행렬

Rank	Number of objectives								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.7500	.6111	.5208	.4567	.4083	.3704	.3397	.3143	.2929
2	.2500	.2778	.2708	.2567	.2417	.2276	.2147	.2032	.1929
3		.1111	.1458	.1567	.1583	.1561	.1522	.1477	.1429
4			.0625	.0900	.1028	.1085	.1106	.1106	.1096
5				.0400	.0611	.0728	.0793	.0828	.0846
6					.0278	.0442	.0543	.0606	.0646
7						.0204	.0335	.0421	.0479
8							.0156	.0262	.0336
9								.0123	.0211
10									.0100

안병석(2006)이 제안한 일정수준의 가중치 함수를 이용하면 복잡한 계산식 없이 OWA 가중치 함수를 구할 수 있다.

<표 4-6> 일정한 수준을 갖는 가중치 함수

의사결정 전략	가중치 함수	orness	OWA 결합
Optimistic	$w_1 = 1, w_j = 0, j \neq 1$	1	b_1
Moderately Optimistic	$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}$	0.75	$\frac{1}{n} \left(b_1 + \frac{1}{2}(b_1 + b_2) + \dots + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} b_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i \right)$
Rather Optimistic	$w_i = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)}$	0.67	$\frac{2}{n(n+1)} \left((n+1) \sum_{i=1}^n b_i - \sum_{i=2}^n i \cdot b_i \right)$
Neutral	$w_i = \frac{1}{n}$	0.5	$\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n b_i \right)$
Rather Pessimistic	$w_i = \frac{2i}{n(n+1)}$	0.34	$\frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{i=1}^n i \cdot b_i \right)$
Moderately Pessimistic	$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^i \frac{1}{(n-j+1)}$	0.25	$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i + \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n b_i + \dots + b_n \right)$
Pessimistic	$w_n = 1, w_j = 0, j \neq n$	0	b_n

위 가중치 함수를 이용하여 다음과 같이 가중치 행렬을 구할 수 있다.

<표 4-7> $W(2/3)$ 에 대한 가중치 행렬

Rank	Number of objectives								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.6667	.5000	.4000	.3333	.2857	.2500	.2222	.2000	.1818
2	.3333	.3333	.3000	.2667	.2381	.2143	.1944	.1778	.1636
3		.1667	.2000	.2000	.1905	.1786	.1667	.1556	.1455
4			.1000	.1333	.1429	.1429	.1389	.1333	.1273
5				.0667	.0952	.1071	.1111	.1110	.1091
6					.0476	.0714	.0833	.0889	.0909
7						.0357	.0556	.0667	.0727
8							.0278	.0444	.0545
9								.0222	.0364
10									.0182

<표 4-8> $W(1/4)$ 에 대한 가중치 행렬

Rank	Number of objectives								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.2500	.1111	.0625	.0400	.0278	.0204	.0156	.0123	.0100
2	.7500	.2778	.1458	.0900	.0611	.0442	.0335	.0262	.0211
3		.6111	.2708	.1567	.1028	.0728	.0543	.0421	.0336
4			.5208	.2567	.1583	.1085	.0793	.0606	.0479
5				.4567	.2417	.1561	.1106	.0828	.0646
6					.4083	.2276	.1522	.1106	.0846
7						.3704	.2147	.1477	.1096
8							.3397	.2032	.1429
9								.3143	.1929
10									.2929

<표 4-9> $W(1/3)$ 에 대한 가중치 행렬

Rank	Number of objectives								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	.3333	.1667	.1000	.0667	.0476	.0357	.0278	.0222	.0182
2	.6667	.3333	.2000	.1333	.0952	.0714	.0556	.0444	.0364
3		.5000	.3000	.2000	.1429	.1071	.0833	.0667	.0545
4			.4000	.2667	.1905	.1429	.1111	.0889	.0727
5				.3333	.2381	.1786	.1389	.1111	.0909
6					.2857	.2143	.1667	.1333	.1091
7						.2500	.1944	.1556	.1273
8							.2222	.1778	.1455
9								.2000	.1636
10									.1818

4) 최대 엔트로피 OWA 연산자 가중치법

Yager는 OWA 연산자에 대해 가중치 벡터 W 와 연계되는 두 가지의 측도를 개발하였다. 첫 번째는 다음의 *orness* 측도로서 다음의 결합정도가 얼마나 퍼지연산 or 한가를 정의한다.

$$orness(W) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \quad (4-12)$$

다음으로 결합 분산 척도를 아래와 같이 제안하였다.

$$disp(W) = - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i \quad (4-13)$$

O'Hagan은 주어진 *orness* 수준에서 OWA 가중치의 최대 엔트로피를 가지는 OWA 연산자 계산식을 제안하였다.

$$\text{maximize : } - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i \quad (4-14)$$

$$\text{subject to : } \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) w_i = \alpha, \quad 0 \leq \alpha \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad 0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

라그랑제 승수법을 이용하여 위 식이 최적 가중치 행렬에 이용되는 다항식으로 변환된다. $disp(W)$ 는 $w_i > 0$ 일 때 의미가 있으며, $w_i \ln w_i$ 을 0으로 놓고 $w_i = 0$ 일 때, 위 식은 다음과 같다.

$$disp(W) \rightarrow \max;$$

$$\text{subject to } \{ orness(W) = \alpha, \quad w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \}$$

만약 $n = 2$ 이고 $orness(w_1, w_2) = \alpha$ 일 경우, $w_1 = \alpha$, $w_2 = 1 - \alpha$ 이다. $\alpha = 0$ 이거나 $\alpha = 1$ 인 경우 가중치 벡터는 $(0, 0, \dots, 0, 1)^T$, $(1, 0, \dots, 0, 0)^T$ 으로 정의할 수 있다.

$n \geq 3$, $0 < \alpha < 1$ 를 가정할 때

$$L(W, \lambda_1, \lambda_2) = - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i + \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^n \frac{n-i}{n-1} w_i - \alpha \right) + \lambda_2 \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right) \quad (4-15)$$

위의 제약 최적해법을 라그랑제 함수로 표현하면 위와 같고, 여기서 λ_1 , λ_2 는 실수이다. L 의 부분 미분계수는 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{\partial L}{\partial w_j} = - \ln w_j - 1 + \lambda_1 + \frac{n-j}{n-1} \lambda_2 = 0, \quad \forall j, \quad (4-16)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = \sum_{i=1}^n w_i - 1 = 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = \sum_{i=1}^n \frac{n-i}{n-1} w_i - \alpha = 0.$$

$j = n$ 인 경우 위 식은 다음과 같으며, $-\ln w_n - 1 + \lambda_1 = 0 \Leftrightarrow \lambda_1 = \ln w_n + 1$

$j = 1$ 일 경우 $-\ln w_1 - 1 + \lambda_1 + \lambda_2 = 0$ 결과로,

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \ln w_1 + 1 - \lambda_1 = \ln w_1 + 1 - \ln w_n - 1 \\ &= \ln w_1 - \ln w_n \end{aligned}$$

$1 \leq j \leq n$ 인 경우

$$\begin{aligned} \ln w_j &= \frac{j-1}{n-1} \ln w_n + \frac{n-j}{n-1} \ln w_1 \\ \Rightarrow w_j &= \sqrt[n-1]{w_n^{n-j} w_1^{j-1}} \end{aligned} \quad (4-17)$$

만약 $w_1 = w_n$ 일 경우 위 식은

$$w_1 = w_2 = \dots = w_n = \frac{1}{n} \Rightarrow \text{disp}(W) = \ln n,$$

위 식에서 $\alpha = 0.5$ 일 때 최적의 해이다. $w_1 \neq w_n$ 일 때, 다음의 식을 가정한다.

$$u_1 = w_1^{1/(n-1)}, \quad u_n = w_n^{1/(n-1)}$$

$1 \leq j \leq n$ 의 경우에 식(3)을 $w_j = u_1^{n-j} u_n^{j-1}$ 로 표기할 수 있다.

O'Hagan의 첫 번째 제약 식에서 $\text{orness}(W) = \alpha$ 이면,

$$\sum_{i=1}^n \frac{n-i}{n-1} w_i = \alpha \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n (n-i) u_1^{n-i} u_n^{i-1} = (n-1)\alpha \quad \text{여기서,}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n (n-i) u_1^{n-i} u_n^{i-1} &= \frac{1}{u_1 - u_n} \left[(n-1) u_1^n - \sum_{i=1}^{n-1} u_1^i u_n^{n-i} \right] \\
&= \frac{1}{u_1 - u_n} \left[(n-1) u_1^n - u_1 u_n \frac{u_1^{n-1} - u_n^{n-1}}{u_1 - u_n} \right] \\
&= \frac{1}{(u_1 - u_n)^2} \left[(n-1) u_1^n (u_1 - u_n) - u_1^n u_n + u_1 u_n^n \right] \\
&= \frac{1}{(u_1 - u_n)^2} \left[(n-1) u_1^{n+1} - u_1^n u_n + u_1 u_n^n \right]
\end{aligned}$$

$$(n-1) u_1^{n+1} - u_1^n u_n + u_1 u_n^n = (n-1) \alpha (u_1 - u_n)^2$$

$$u_1^n - u_1 = (n-1) \alpha (u_1 - u_n)$$

$$u_n = \frac{1}{(n-1) \alpha} \left[((n-1) \alpha + 1) u_1 - u_1^n \right]$$

$$\frac{u_n}{u_1} = \frac{(n-1) \alpha + 1 - n w_1}{(n-1) \alpha} \quad (4-18)$$

두 번째 제약 식에서 $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ 일 때,

$$\sum_{j=1}^n u_1^{n-j} u_n^{j-1} = 1 \Leftrightarrow \frac{u_1^n - u_n^n}{u_1 - u_n} = 1$$

$$\Leftrightarrow u_1^n - u_n^n = u_1 - u_n$$

$$\Leftrightarrow u_1^{n-1} - \frac{u_n}{u_1} \times u_n^{n-1} = 1 - \frac{u_n}{u_1}$$

(4)와 (6)을 비교할 때 다음이 성립되고

$$w_1 - \frac{(n-1) \alpha + 1 - n w_1}{(n-1) \alpha} \times w_n = \frac{n w_1 - 1}{(n-1) \alpha}, \text{ 결과로}$$

$$w_n = \frac{((n-1) \alpha - n) w_1 + 1}{(n-1) \alpha + 1 - n w_1} \quad (4-19)$$

(5)를 재정리 하면,

$$u_1^n - u_n^n = u_1 - u_n$$

$$u_1(w_1 - 1) = u_n(w_n - 1),$$

$$w_1(w_1 - 1)^{n-1} = w_n(w_n - 1)^{n-1},$$

$$w_1(w_1 - 1)^{n-1} = \frac{((n-1)\alpha - n)w_1 + 1}{(n-1)\alpha + 1 - nw_1} \times \left[\frac{(n-1)\alpha(w_1 - 1)}{(n-1)\alpha + 1 - nw_1} \right]^{n-1},$$

$$w_1[(n-1)\alpha + 1 - nw_1]^n = ((n-1)\alpha)^{n-1} [((n-1)\alpha - n)w_1 + 1]$$

w_1 의 최적값은 식(8)을 만족하며, 이단 w_1 이 계산되면 w_n 가 식(7)에 의해 결정된다. 나머지 가중치 값은 식(3)에 의해 계산된다.

제 5 장 울산항 대기 정박지 입지 분석

본 장에서는 공간의사결정법을 이용하여 울산항의 중소형 선박 대기 정박지 선정을 위한 입지 분석을 수행한다.

5.1 울산항 개요

5.1.1 울산항의 자연환경

1) 기상

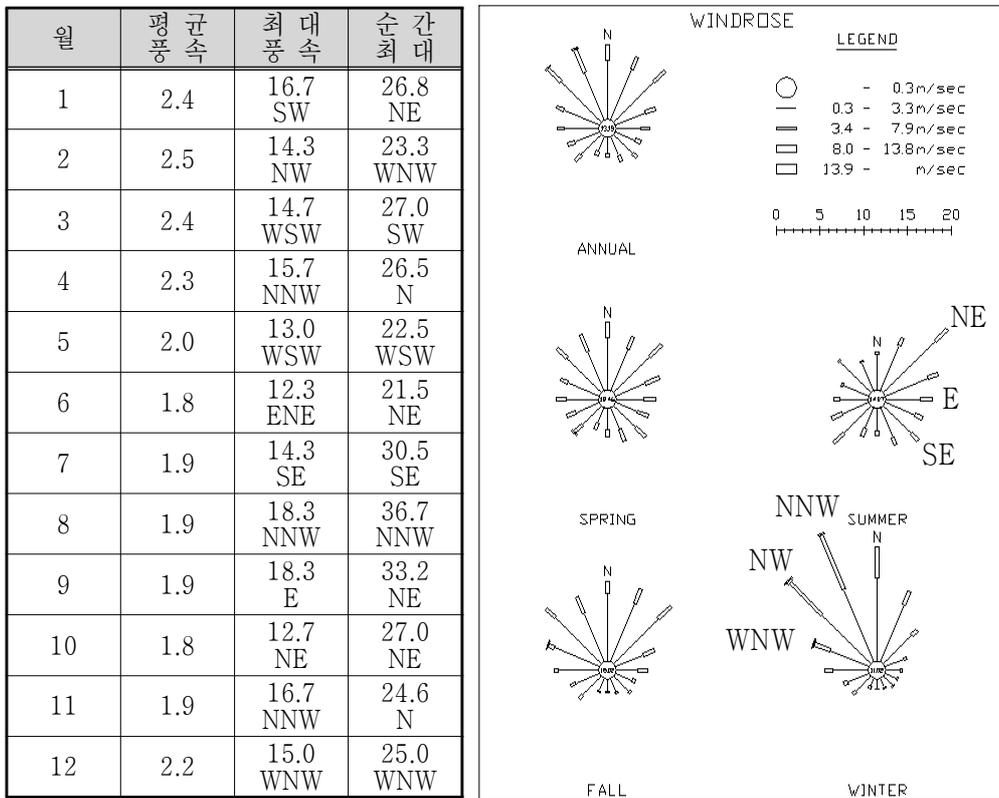
울산지역은 우리나라의 동남단에 위치하여 온난한 기후를 가진 항구도시로, 기후는 서고동저형의 지형상 서부는 산맥, 동부는 해안으로 형성되어 해양성기후가 공존한다. 따라서 겨울의 찬 북서풍을 막아 기온을 따뜻하게 하고, 바다에서 불어오는 해풍이 기온을 조절하여 기후는 온화한 편이다. 계절풍이 많이 불어 여름은 우기, 겨울은 건기로 뚜렷하게 구별되고, 태백산 줄기가 동해안에서 마지막으로 끊어진 곳에 위치한 우리나라의 관문이다. 과거 27년간의 기상자료를 이용하여 분석한 결과, 연평균 강수량은 약 1,316.8mm이고, 연평균기온은 14.05℃, 평균기압은 1,015.6hPa, 맑은 날이 약 113일, 안개가 끼는 날이 약 10일 정도이다.

<표 5-1> 울산지방 기상 개요

구분		단위	기상	비고
기온	평균	℃	14.05	
	최고		38.6	
	최저		-11.9	
해면기압	평균	hPa	1,015.6	
	최고		1,040.8	
	최저		962.5	
습도	평균	%	65.0	
	최소		5.0	
바람	평균	m/sec	2.1	1987. 8. 발생 1987. 8. 발생
	최대		18.3(NNW)	
	순간최대		36.7(NNW)	
강수량	평균	mm	1,311.5	
	1일 최대		417.8	

- 출처 : 기상연보, 울산관측소 1979~2005.

울산지역의 평균 풍속은 2.1m/sec이고 최대풍속 및 풍향은 18.3m/sec (NNW)이다. 전년을 통한 풍향별 관측백분율은 N 방향이 10%로 탁월하게 나타났으며, 다음으로 NE 방향이 9.1%로 나타났다. <그림 5-1>은 지난 27년간의 대상 해역의 바람장미도를 도시한 것이다. 계절별로는 하계에는 NNE에서 SE방향이, 동계에는 NW에서 N방향의 빈도율이 높게 나타났다. 바람은 선박의 운항에 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. 특히 공선으로 운항 시 풍압면적이 커서 바람의 영향을 많이 받는다.

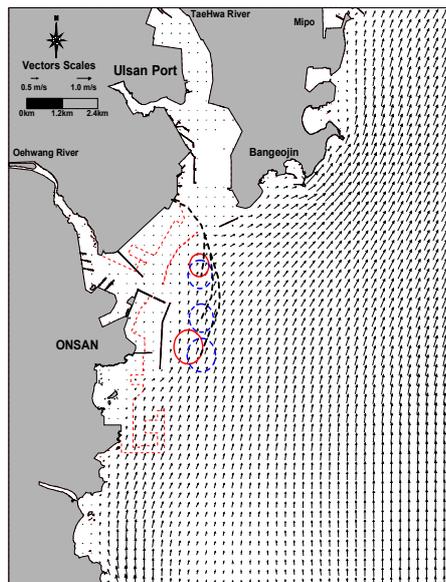


<그림 5-1> 월별 평균, 최대, 순간 최대 풍속 및 울산지역 바람장미도

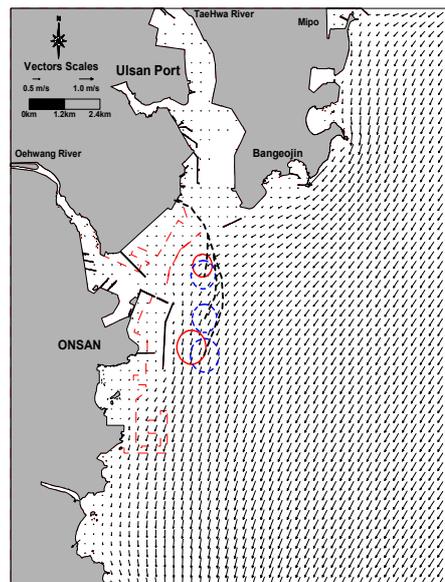
2) 해상

울산항 일원의 조석현상은 매우 미약하며, 대조차 48.2cm, 평균조차 32.6cm, 소조

차 17.0cm를 보이고, 항내 전역의 조류속도는 0.23m/sec로서 선박의 조선이나 접안 하역에 직접 영향을 미치지 않고 있다. 울산항 전면 수역의 조류 분포는 표층에서 낙조 시 최대 38.35 cm/s로 관측되었으며, 창조 시에는 전 층에서 남남서(SSW) 방향으로, 낙조 시에는 표층에서 북북동(NNE), 중층과 저층에서 북북서(NNW)방향으로 흐르고 있다. 유속과 유향은 창조 시 표층은 32.61 cm/s, 200.12°이고, 중층은 26.51 cm/s, 213.01°이며, 저층은 30.26 cm/s, 216.44°이다. 낙조 시에는 표층은 38.35 cm/s, 3.33°이고, 중층은 37.34 cm/s, 1.52°이며, 저층은 31.68 cm/s, 358.94°이다. 유속이 20 cm/s를 상회하는 출현율은 표층에서 6%, 중층에서 10%, 저층에서 5% 정도이고, 전 층 평균 95%가 20 cm/s 이하의 유속을 나타내고 있다. <그림 5-2> 및 <그림 5-3>은 울산항 전면 수역의 최강낙조류, 최강창조류 관측 자료이다.



<그림 5-2> 울산항 최강낙조류 관측 자료



<그림 5-3> 울산항 최강창조류 관측 자료

- 출처 : SK건설(2007), SK 원유하역시설 이설사업 설계용역 선박조종시물레이션 보고서, pp.25~28.

5.1.2 울산항 일반현황

1) 항만시설 및 입출항 선박 현황

울산항은 울산 본항, 온산항 및 미포항으로 이루어져 있으며, 항만시설 현황은 <표 5-2>와 같다.

<표 5-2> 항만시설 현황

구분	총계	울산 본항	온산항	미포항
부두수	50	32	17	1
연장길이	15,832	11,489	4,133	210
선석수	94	68	25	1
접안능력	3,354	2,603	1,271	20
하역능력(천톤)	28,907	24,294	4,084	529

- 출처 : 울산항 홈페이지, <http://port.ulsan.go.kr/>

2006년에 울산 해역을 입출항한 선박에 대한 자료는 다음의 표에 정리되어 있다.

<표 5-3> 울산항의 기간별 선박 입출항 현황

구분	총계		외항선						연안선	
			계		국적선		외국선			
	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수
2006	192,583	1,209,525,234	78,631	1,044,365,920	22,137	155,475,643	56,494	888,890,277	113,952	165,159,314
2005	188,334	1,162,452,892	77,287	1,001,653,686	21,618	151,740,675	55,669	849,913,011	111,047	160,799,206
2004	187,775	1,074,698,672	74,779	922,141,653	19,846	135,230,161	54,933	786,911,492	112,996	152,557,019
2003	192,997	1,022,706,547	70,795	858,660,496	18,397	125,726,922	52,398	732,933,574	122,202	164,046,051
2002	185,133	977,296,701	67,054	819,677,175	17,815	129,857,721	49,239	689,819,454	118,079	157,619,526
2001	176,195	926,409,345	61,403	770,284,075	16,614	118,144,468	44,789	652,139,607	114,792	156,125,270
2000	163,451	889,037,273	59,261	755,224,692	15,591	110,354,031	43,670	644,870,661	104,190	133,812,581
1999	151,109	819,399,319	54,961	691,166,224	14,125	105,319,078	40,836	585,847,146	96,148	128,233,095
1998	139,080	717,148,763	47,600	586,629,496	13,763	110,473,135	33,837	476,156,361	91,480	130,519,267
1997	151,371	731,265,274	47,544	578,372,555	12,343	87,773,973	35,201	490,598,582	103,827	152,892,719

- 출처 : 해양수산부 홈페이지 내 해양수산통계 해운·물류 자료 (울산항 부분)

<표 5-4> 울산항의 선박 종류별 선박 입출항 현황

선박	총계		외항선						연안선	
			계		국적선		외국선			
	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수	척	총톤수
총계	52,080	337,356,534	22,916	306,878,503	6,944	39,691,353	15,972	267,187,150	29,164	30,478,031
여객선	14	103,436	14	103,436	0	0	14	103,436	0	0
산물선	4,278	11,497,968	733	8,160,458	268	551,049	465	7,609,409	3,545	3,337,510
원목선	2	71,790	2	71,790	0	0	2	71,790	0	0
시멘트선	558	2,210,654	139	157,738	126	105,896	13	51,842	419	2,052,916
자동차선	1,210	51,429,884	1,210	51,429,884	24	1,178,758	1,186	50,251,126	0	0
핫코일선	18	28,260	0	0	0	0	0	0	18	28,260
일반화물선	5,152	34,506,536	4,376	32,925,785	510	1,473,793	3,866	31,451,992	776	1,580,751
플컨테이너선	3,480	37,550,167	3,480	37,550,167	1,908	15,404,184	1,572	22,145,983	0	0
세미컨테이너선	104	1,892,970	104	1,892,970	0	0	104	1,892,970	0	0
원유운반선	637	76,736,987	634	76,673,008	84	12,887,942	550	63,785,066	3	63,979
석유정제품운반선	18,548	70,326,929	4,351	56,364,087	993	2,276,335	3,358	54,087,752	14,197	13,962,842
케미칼운반선	8,991	36,457,123	6,576	33,193,592	2,671	4,952,994	3,905	28,240,598	2,415	3,263,531
LPG,LNG운반선	2,186	9,484,462	965	7,213,103	173	392,230	792	6,820,873	1,221	2,271,359
어선	4	2,464	4	2,464	0	0	4	2,464	0	0
기타선	6,898	5,056,904	328	1,140,021	187	468,172	141	671,849	6,570	3,916,883

- 출처 : 해양수산부 홈페이지 내 해양수산통계 해운·물류 자료 (울산항 부분)

2) 항만시설 현황

(1) 항로

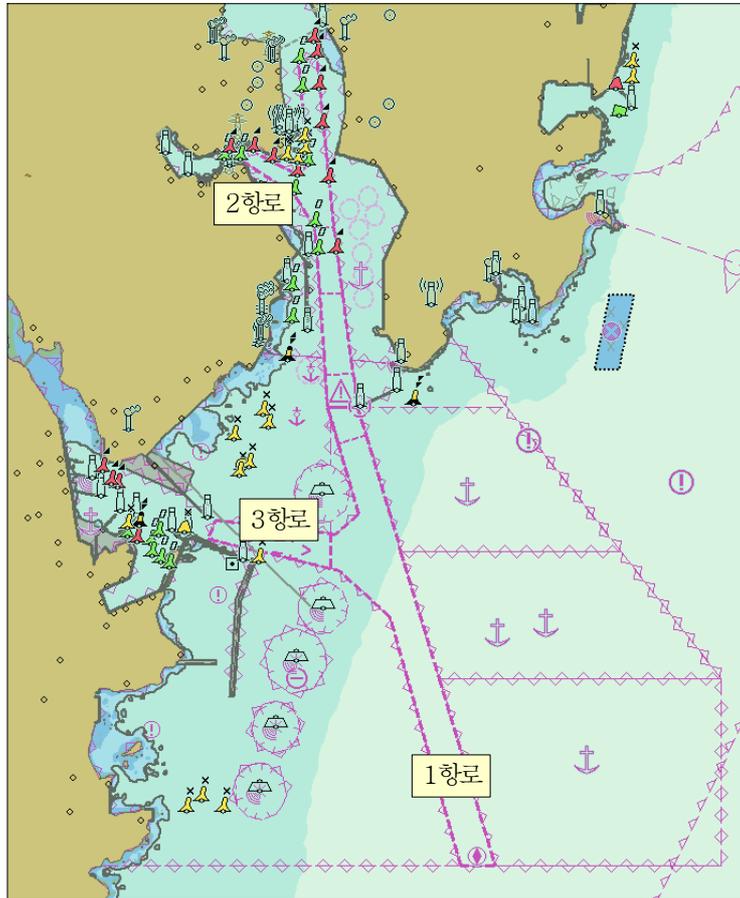
울산항의 항로는 제1항로, 제2항로, 제3항로 등 3개의 항로로 이루어져 있다. 제1항로는 울산항 항계(도선지점)에서 울산항 동방파제를 울산 본항으로 이어지는 주항로이고, 제1항로는 온산항을 이용하는 제3항로 및 장생포항을 이용하는 제2항로와 연결되어 있다. 제1항로의 항로 폭은 울산항으로 진입하는 항계에서 제3항로 하단 분기점까지는 600미터, 2항로 상단 분기점에서 동방파제까지는 500~520미터이

고, 동방과제에서 울산 본항까지는 400~500미터로 항로 폭이 좁아지고 있다. 특히 제3항로와 분기되는 지점(SK 4번 돌핀과 M1 정박지 사이)은 항로 폭이 400여 미터 정도로 SK 4 ~ SK 8번 돌핀을 이용하는 선박, M1~M7 정박지를 이용하는 선박 및 장생포항과 울산 본항을 이용하는 선박 등 교통량이 많고 항로 폭이 협소하여 위험한 수역이다. 제1항로의 수심은 울산항 항계(도선지점)에서 동방과제까지는 20~50여 미터이고, 동방과제에서 울산 본항의 수심은 준설하여 12.5미터 이상을 확보하고 있다.

제2항로는 장생포항을 출입항하는 선박이 이용하는 항로로서 제1항로와 연결되어 있다. 항로 폭은 가장 안쪽부분이 200여 미터이고, 수심은 준설하여 12미터 이상을 확보하고 있다. 제3항로는 온산항을 출입하는 선박이 이용하는 항로이고, 현재 원유부이의 이설작업으로 인해 항로가 굴곡져 있다. 가장 좁은 항로 폭은 가장 안쪽 부분으로 300미터이고, 수심은 20미터 이상이다.

<표 5-5> 울산항 항로의 경위도

항로명	항로구역(WGS-84)
제1항로	<p>다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면</p> <p>1. 35-24-11.0N, 129-25-05.0E 2. 35-27-59.0N, 129-23-39.2E 3. 35-29-28.2N, 129-23-31.1E 4. 35-30-50.0N, 129-23-20.6E 5. 35-31-10.7N, 129-23-05.6E 6. 35-31-16.2N, 129-23-15.5E 7. 35-30-53.2N, 129-23-32.3E 8. 35-29-33.7N, 129-23-42.5E 9. 35-27-59.0N, 129-23-58.7E 10. 35-24-11.0N, 129-25-27.0E</p>
제2항로	<p>다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면</p> <p>1. 35-29-28.2N, 129-23-31.1E 2. 35-29-44.3N, 129-23-18.1E 3. 35-30-02.0N, 129-22-43.8E 4. 35-30-08.0N, 129-22-45.8E 5. 35-29-54.7N, 129-23-19.7E 6. 35-29-59.1N, 129-23-27.1E</p>
제3항로	<p>다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면</p> <p>1. 35-25-29.0N, 129-24-35.7E 2. 35-26-23.3N, 129-23-07.6E 3. 35-26-45.7N, 129-22-46.7E 4. 35-26-53.6N, 129-22-22.6E 5. 35-27-02.6N, 129-22-27.2E 6. 35-26-55.1N, 129-22-48.3E 7. 35-26-39.2N, 129-23-10.2E 8. 35-26-22.6N, 129-23-46.0E 9. 35-26-45.8N, 129-24-06.8E</p>



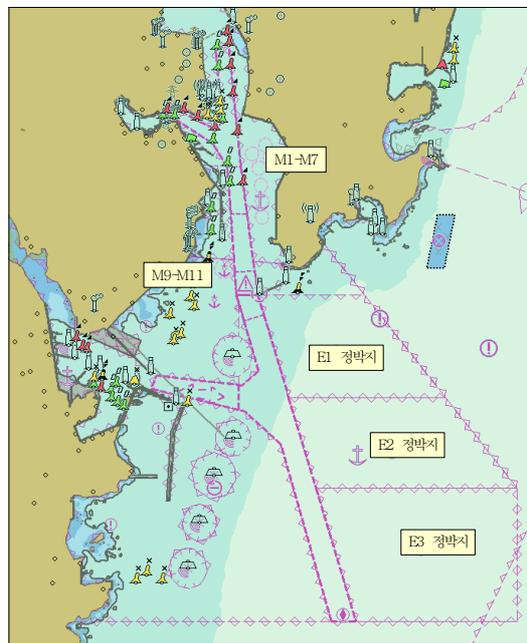
<그림 5-4> 울산항 항로도

(2) 정박지

울산항 정박지는 동방과제 북쪽에 위치한 M1~M7 정박지, 해상환적 전용 정박지인 M9, M10 정박지, 제1항로 동쪽에 위치한 E1, E2, E3 정박지가 있다. M1~M7 정박지는 동방과제 안쪽에 위치하여 소형선박들이 주로 이용하며, 정박능력은 5,000톤급 선박 7척이며, M9 정박지는 20,000톤급 1척, M10은 50,000톤급 1척이고, E1은 10,000톤급, E2는 30,000톤급, E3는 150,000톤급 선박의 정박지이다. 정박지의 위치는 <표 5-6>과 같다.

<표 5-6> 정박지의 경위도

정박지명	정 박 구 역(WGS-84)
E1	다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면 1. 35-27-59.0N, 129-23-58.7E 2. 35-27-59.0N, 129-25-34.7E 3. 35-26-47.0N, 129-26-47.8E 4. 35-26-47.0N, 129-24-26.6E
E2	다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면 1. 35-24-47.0N, 129-24-26.6E 2. 35-26-47.0N, 129-26-47.8E 3. 35-25-44.0N, 129-27-51.7E 4. 35-25-44.0N, 129-24-51.0E
E3	다음 각호의 지점을 순차적으로 연결한 선안의 해면 1. 35-25-44.0N, 129-24-51.0E 2. 35-25-44.0N, 129-27-51.7E 3. 35-24-11.0N, 129-27-51.7E 4. 35-24-11.0N, 129-25-27.0E
M1~7	다음지점을 중심으로 한 반경 150M 원내의 해면 M1. 35-29-37.0N, 129-23-53.7E M2. 35-29-43.0N, 129-24-05.7E M3. 35-29-27.0N, 129-23-59.7E M4. 35-29-34.0N, 129-24-09.7E M5. 35-29-15.0N, 129-24-01.7E M6. 35-29-04.0N, 129-24-02.7E M7. 35-28-53.0N, 129-24-02.7E
M9	다음지점을 중심으로 한 반경 200M 원내의 해면 35-28-17.0N, 129-23-27.7E
M10~11	다음지점을 중심으로 한 반경 300M 원내의 해면 M10. 35-27-55.0N, 129-23-24.7E M11. 35-26-20.0N, 129-22-50.8E
M12	다음지점을 중심으로 한 반경 400M 원내의 해면 35-25-54.0N, 129-22-42.8E



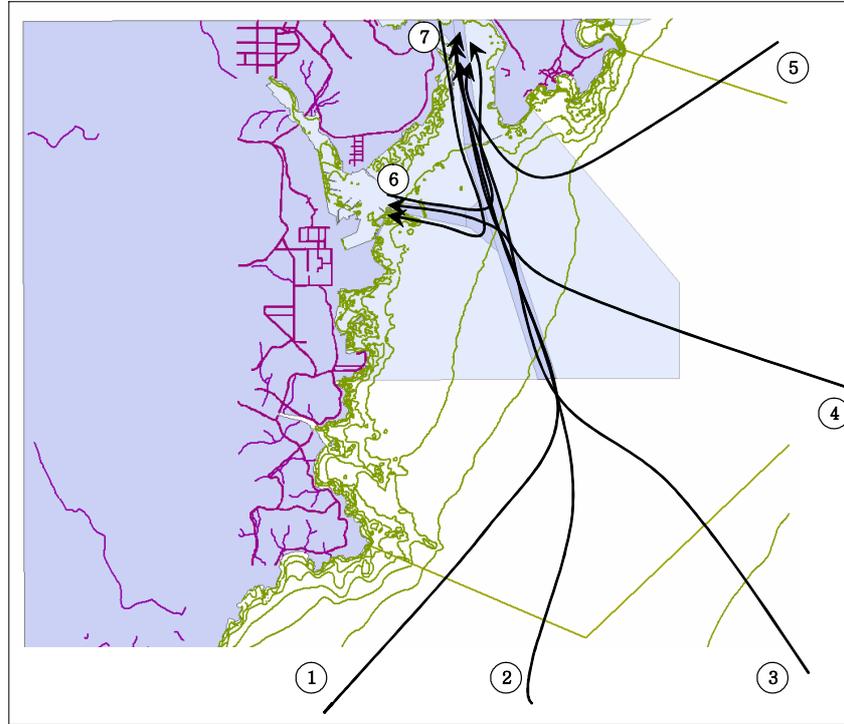
<그림 5-5> 울산항 정박지 위치

3) 울산항 해상교통 패턴 및 정박지 이용실태

대기정박지의 입지분석에 있어서 해상교통 흐름 분석은 대기정박지 선박의 혼잡도와 부두 접근 측면에서 중요한 기초 자료가 된다. 본 연구에서는 울산항을 이용하거나 연안을 통과하는 선박의 교통흐름 패턴을 분석하기 위하여 울산항 인근해역 해상교통환경평가 연구 용역에 수행한 연구 결과를 재정리 하였다. 기존 연구에서는 울산항의 해상교통흐름을 파악하기 위해 울산항 항만교통정보센터(VTS)의 자동기록장치에 저장되어 있는 레이더 영상과 항적 데이터를 사용하여 선박의 항적을 조사하였다. 선박의 항적은 2005년 5월 25일~5월27일 사이의 3일간의 데이터를 사용하였다. 자동기록장치에 저장되어 있는 레이더 영상과 항적 데이터를 재생하여 입출항 선박의 선명, 호출부호, 선속, 선박위치(위도 및 경도)를 구하였고, 각 선박의 제원(선종, 총톤수, 길이, 폭, 깊이 등)은 선명과 호출부호를 이용하여 해양수산부 항만운영정보 사이트를 검색하여 입력하였다. 또한 선박의 항적은 항만교통정보센터에서 추적한 선박을 1분 간격으로 위도 및 경도를 구하여 재현하였다. 본 연구에서는 기존 연구의 관측 결과를 다음과 같이 정리하였다.

(1) 울산항 해상교통 입출항 패턴

먼저 울산항의 해상교통 입항 패턴은 다음과 같다.



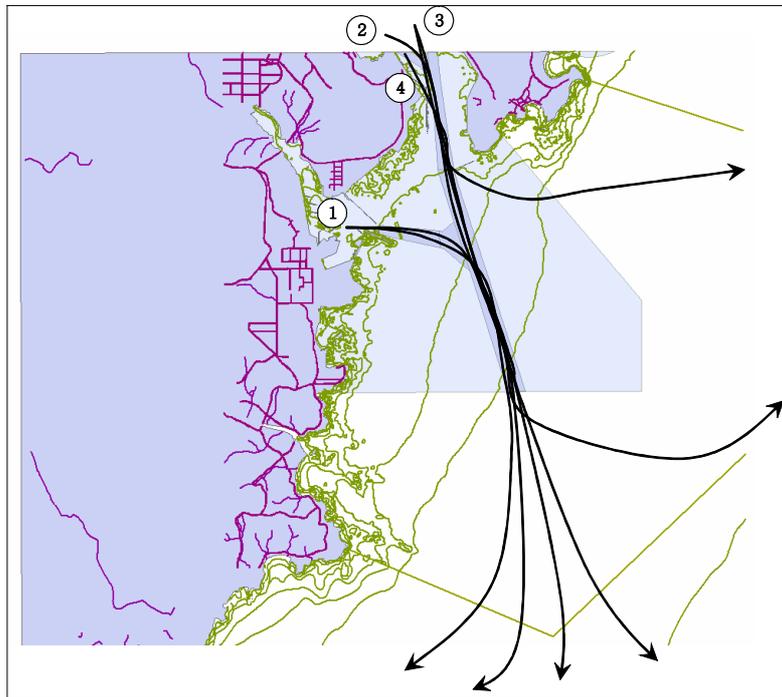
<그림 5-6> 울산항 해상교통 입항 패턴

1. 간절곶을 가까이 통과하여 입항하는 선박 (간절곶 연안항로)
2. 간절곶을 멀리 돌아 통과하여 입항하는 선박 (간절곶 외해항로)
3. 울산항 남동~남남동 방향에서 입항하는 선박 (남동항로)
4. 울산항 북동~남동 방향에서 입항하는 선박 (북동항로)
5. 울기 등대 앞을 통과하여 입항하는 선박 (울기연안항로)
6. 온산항에서 울산본항으로 진입하는 선박
7. 울산본항 및 장생포항에서 온산항으로 진입하는 선박

<표 5-7> 울산항 해상교통 입항 패턴

	주요 입항선박톤수	주요 입항선박 선종
1. 간절곶 연안항로	소형 선박 이용 (3천톤 미만)	위험화물운반선 예인선
2. 간절곶 외해항로	중·대형 선박 이용 (1천톤 ~ 5만톤)	위험화물운반선 일반화물선
3. 남동~남남동 항로	중형 선박 (3천톤~2만톤)	위험화물운반선 일반화물선
4. 북동~남동 항로	3천톤 미만의 선박	위험화물운반선 일반화물선
5. 울기 연안항로	소형 선박 이용 (1천톤 미만)	위험화물운반선 일반화물선
6. 온산항에서 울산본항 항로	소형 선박	위험화물운반선
7. 울산본항에서 온산항 항로	소형 선박	위험화물운반선

다음으로 울산항을 이용하는 선박의 출항 패턴은 다음과 같다.



<그림 5-7> 울산항 출항 패턴

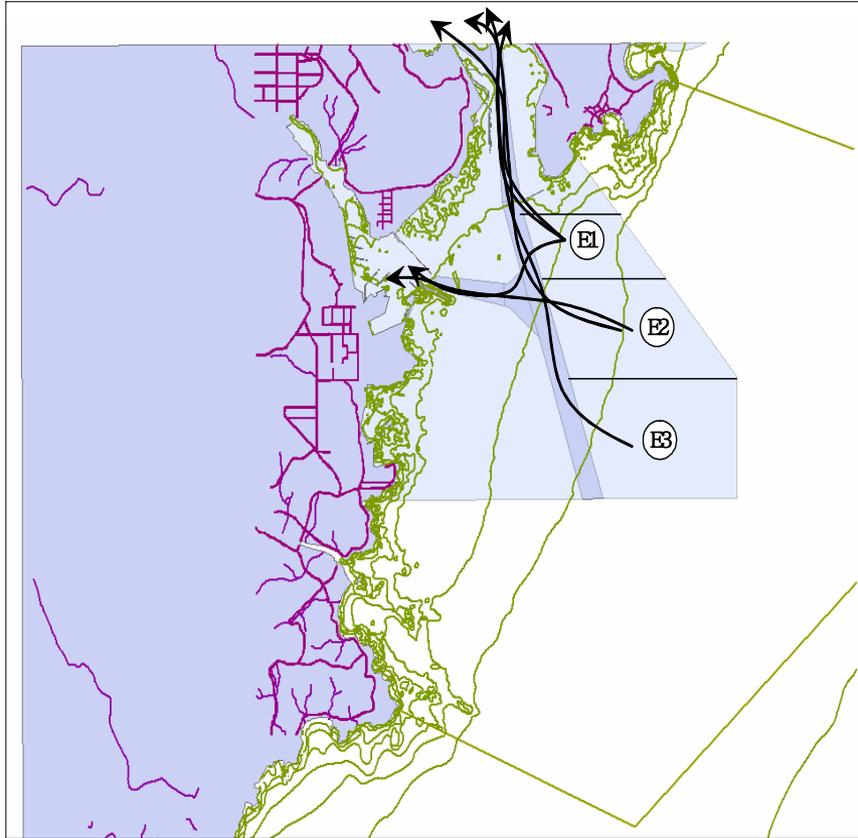
1. 온산항에서 출항하는 선박
2. 장생포항에서 출항하는 선박
3. 울산본항에서 출항하는 선박
4. 화암추 남측항로 이용 선박

<표 5-8> 울산항 출항패턴

	주요 입항선박톤수	주요 입항선박 선종
1. 온산항에서 출항하는 선박	500~1천톤 미만의 선박 1천톤~3천톤 미만의 선박	위험화물운반선 일반화물선
2. 장생포항에서 출항하는 선박	500~1천톤 미만의 선박	위험화물운반선 일반화물선
3. 울산본항에서 출항하는 선박	1만톤 이상의 선박	위험화물운반선 일반화물선
4. 화암추 남측항로 이용 선박	500~3천톤 미만의 선박	위험화물운반선 일반화물선

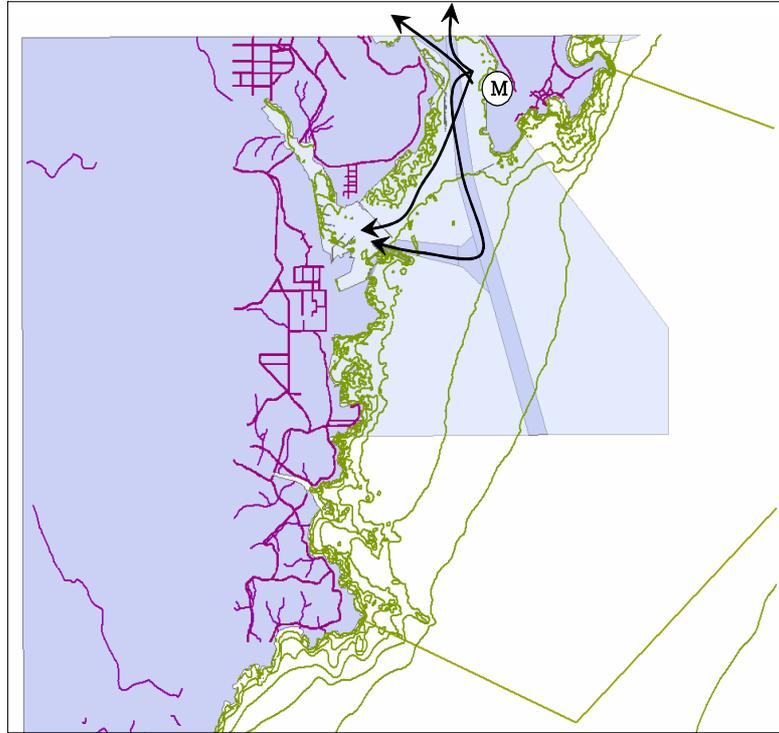
(2) 정박지와 항로 간 선박의 진출입 패턴

E 정박지에서 울산항으로 입항한 선박의 항적은 <그림 5-8>과 같다. E1 정박지를 이용하여 입항한 선박이 가장 많으며, E2 정박지, E3 정박지 순이다. 입항 선박 톤수별 척수로는 E1 정박지는 1천톤~5천톤 미만의 선박이 가장 많고 대부분 소형 선박이었으며, E2 및 E3 정박지는 1만톤 이상의 선박이 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 분석되었다. 선종별 입항 선박의 분포는 E1 및 E3 정박지는 위험화물운반선(원유운반선, 석유정제품운반선, 케미컬운반선, LPG/LNG 운반선 등)의 비율이 가장 높았으며, E2정박지는 위험화물운반선과 일반화물선의 이용 비율이 높다.



<그림 5-8> E 정박지에서 해상교통 흐름

M 정박지에서 울산항으로 입항한 선박의 항적은 <그림 5-9>와 같다. M1~M7 정박지를 이용한 선박이 M9~M10 정박지를 이용하는 선박보다 높은 것으로 조사되었다. 입항 선박 톤수별 척수로는 M1~M7 정박지가 3천톤 미만의 선박이었으며, M9~M10 정박지는 소형 선박과 더불어 2만톤 이상의 선박도 이용하고 있는 것으로 분석되었다. 선종별 입항 선박의 분포는 M1~M7 정박지가 모두 위험화물운반선(원유운반선, 석유정제품운반선, 케미컬운반선, LPG/LNG 운반선 등)이었으며, M9~M10 정박지도 대부분 위험화물운반선이 차지하는 것으로 분석되었다.



<그림 5-9> M정박지 이용선박의 패턴

5.1.3 요약

울산항은 전국화물의 37%를 처리하는 경제적으로 중요한 항만으로, 처리화물 중 위험화물이 81% 차지하고 있고, 항계 내에서 위험화물의 해상환적작업이 이루어지고 있어서 유류유출사고의 위험성이 높다. 울산항의 자연환경에 있어서 울산항 일원의 조석현상은 매우 미약하며, 대조차 48.2cm, 평균조차 32.6cm, 소조차 17.0cm로 선박의 조선이나 접안하역에 직접 영향을 미치지 않고 있다. 조류의 최강창조류는 남서쪽으로 울산항의 고조전 약 2.5~3.0시 사이에 일어나고 약 0.5~1.8노트로 흐르며, 최강낙조류는 북동쪽으로 저조전 약 1.0~3.0시 사이에 일어나 1.1~2.0노트의 속도로 흐르고 있다. 미포항 부근에서는 북~북동방향의 해류가 0.5노트의 속도로 흐르고 있으며, 만부근에서는 북상난류에 의한 반류(남동류)가 0.3노트 정도로 흐르

고 있다. 신항만 계획지역 전면에서의 창조류는 최대 2.1노트이며, 낙조류는 최대 1.2노트이다. 울산항은 간절곶에서 울기등대를 있는 수역 밖은 쿠루시오 해류의 영향을 받기 때문에 쿠루시오 해류와 창조류가 겹칠 때에는 조류가 강하다. 일선 도선사들이 경험적으로 느끼는 유속은 4노트에 이르는 것으로 언급되고 있다. 울산만은 항 입구가 남쪽으로 향하고 있어 풍향이 남~남남동풍일 경우에는 파고의 영향을 많이 받는다. 울산항의 중소형 선박 정박지인 M1~M7 정박지는 정박선박이 집중하여 대단히 혼잡하고, 적정허용 척수를 초과하여 정박하고 있다. 뿐만 아니라, 온산항을 입항하는 선박이 M정박지를 이용함으로써 1항로를 횡단하고, SK 1번 SBM 및 동방과제 등 조선수역이 협소한 수역을 항내 이동함으로써 사고의 위험성을 증가시키고 있다. 또한 온산 앞 신항 개발로 인하여 온산항 정박지가 좁아질 것이므로 정박지 확보방안이 강구되어야 한다. 동해안을 오가는 연안선이 E 정박지를 가로질러 통과하는 위험요소가 많으므로 검토가 필요하며, 현재 정박지 안전거리의 산정 없이 무분별하게 사용되고 있으므로 정박지의 안전거리를 고려한 적정 묘박 용량 산출이 필요하다. 항로 중 가장 위험한 해역은 SBM과 정박지 사이로 매우 복잡한 교차 상황이 발생하고 있으므로 중앙 부이에 대한 검토가 필요하다.

5.2 대기 정박지 선정 요인 분석

정박이란 선박이 해상에서 닻을 바다 밑에 내려놓고 운항을 정지하는 것을 말하며, 정박지란 선박이 정박할 수 있는 장소로 정의할 수 있다. 일반적으로 정박선은 풍파나 조류의 영향에 따라 닻을 중심으로 선수가 선회하기 때문에, 선체와 닻줄의 길이를 감안하여 상당한 수역이 정박지에 포함되어야 한다. 정박지를 선정할 때는 조선상 용이하고 정박 목적에 부합한 작업이 효율적으로 이루어질 수 있는 곳이면서, 항내 반사파나 항주파의 영향이 적은 곳이어야 한다. 특히 양호한 정박지가 되기 위해서는 정온하고, 충분한 면적에 해저저질이 닻 놓기에 적합하여야 하고 바람, 조류 등 기상과 해상조건이 좋아야 한다. 대기 정박지 선정 기준은 항만시설의

안전성 평가 연구나 해양수산부 제정 “항만 및 어항 설계기준(2000)”에 명시되어 있으며 그 내용은 다음과 같다.

5.2.1 항만시설 관련 연구 문헌

1) 일반

정박지 선정에는 안전한 정박, 조선의 용이, 하역의 효율성, 기상, 해상조건, 항내 반사파, 항주파 등의 영향, 관련시설과의 모순이 없도록 고려하여야 한다. 정박지는 묘박지, 부표 박지이외에 선류장 등의 조선수면을 포함하고 그 기능상 다음조건을 만족할 때 양호하다고 본다.

- 정온하고 충분한 수면을 갖는다.
- 저질이 닻 놓기에 좋다.
- 부표가 정비되어 있다.
- 바람, 조류 등의 기상, 해상조건이 좋다.

2) 정박지의 위치와 면적

정박지의 위치에 관하여서는 방파제, 부두, 항로 등의 배치, 정온도 확보 등을 고려하여 적절한 장소를 확보한다.

- 정박 또는 계류용 박지는 안벽, 계선말뚝, 잔교 및 부잔교의 전면박지 이외의 박지로서 묘박 및 부표박으로 사용되는 박지이고 그 면적은 이용의 목적, 이용 방식, 해저지질, 풍속, 수심 등을 충분히 고려하여 결정한다.
- 정박 및 계류형태는 부표박이고 이용 방식 및 조위차가 큰 경우 등 부표의 수평이동량을 고려한다.
- 정박 또는 계류용 박지는 안벽, 계선말뚝 잔교 및 부잔교 전면의 넓이에 대하여 규정하고 있으나 박지의 길이는 대상선박의 선체길이에 대상선박이 횡접안할 때 필요한 연장이며 박지의 폭은 이접안의 안정성에 대하여 고려한다.
- 돌제와 돌제와의 사이의 정박지폭은 선형, 선석수, 예인선의 유무 등을 충분히

고려하고 적절하게 정한다.

- 박지의 넓이에 대해서는 선박의 이·접안 및 박지에 출입, 묘박지에서는 투묘오차를, 위험물을 적재하는 선박이 이용하는 박지에서는 그의 보안거리를 고려한다.

3) 정박지의 수심

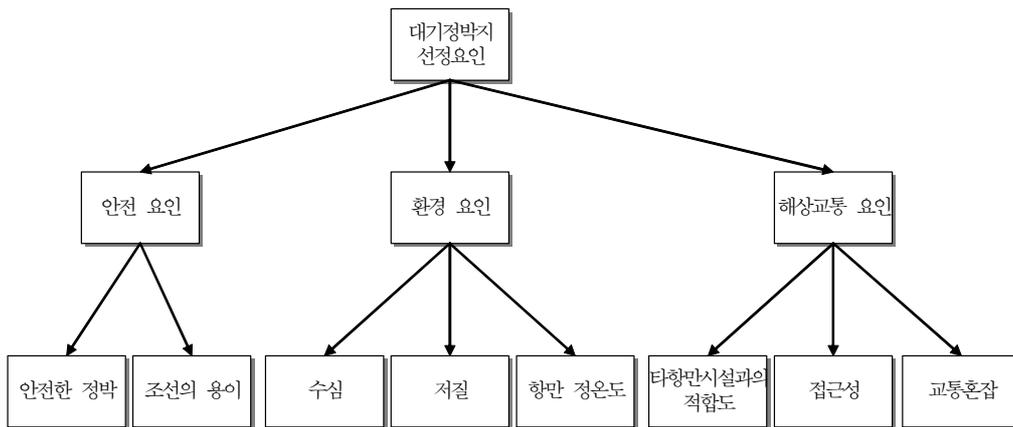
정박지의 수심은 공사용 기준면으로부터 만재흘수 등으로 상정되는 최대흘수에 그 최대흘수에 대한 여유수심을 확보한 수심이다. 선박의 특수한 정박 또는 계류용 박지란 의장용박지, 대상선박의 이용시의 흘수가 항상 만재흘수보다 작은 경우를 말한다. 박지의 수심에 대하여는 대상선박의 만재흘수 등을 잘 알지 못할 경우에는 적절히 정한다.

4) 정박지의 정온도

수역시설의 이용선박에 대한 정박 또는 계류용 박지에서 계류시설의 전면에서는 원칙으로 연간 97.5%이상의 정박 또는 계류 일수가 가능한 정온도를 확보하여야 한다. 다만, 계류시설 또는 계류시설 전면의 이용이 특수한 경우에는 그렇지 않다.

5.2.2 대기 정박지 선택요인 정리

문헌 분석을 통해 도출한 대기정박지 선정 요인은 다음과 같다.



<그림 5-10> 대기정박지 선정요인

대기정박지 선정요인으로 안전요인, 환경요인, 해상교통요인을 들 수 있으며, 먼저 안전 요인으로는 안전한 정박과 조선의 용이를, 환경 요인으로는 수심, 저질과 항만 정온도를, 해상교통 요인으로는 타항만시설과의 적합도, 접근성 및 교통혼잡으로 구성할 수 있다.

5.3 공간분석을 이용한 대기정박지 후보지 선정

5.3.1 수행 방법

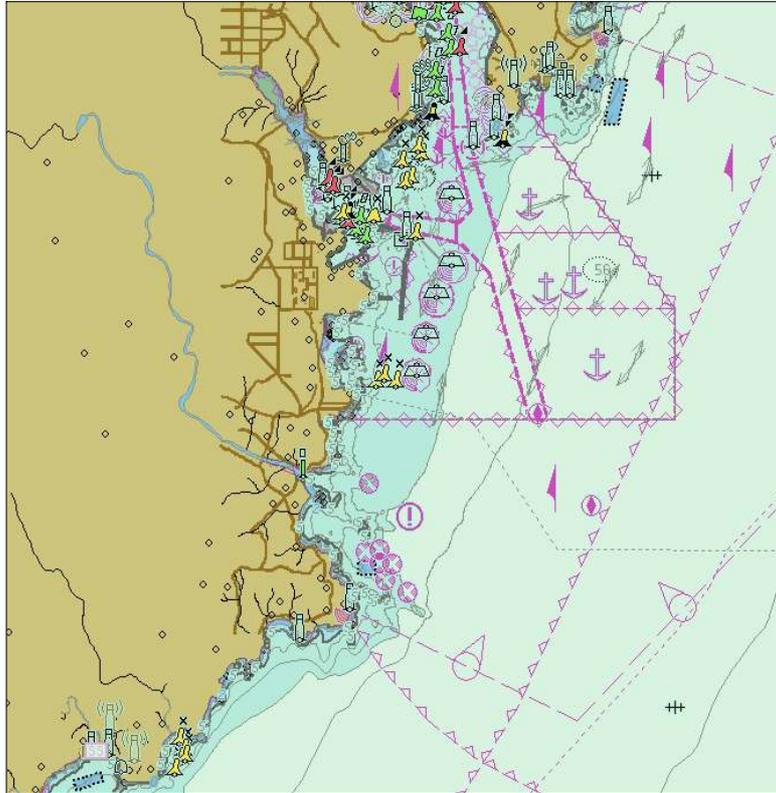
본 연구의 대상지역은 울산항의 VTS 센터 보고 지역 내로 설정하였다. 공간분석을 위해서는 평가기준도를 작성하여야 하며, 울산항 해역의 지리공간정보를 이용하여야 한다. 육상GIS의 수치지도와 같이 해양GIS에는 전자해도가 개발되었다. 전자해도란 전자해도표시시스템(ECDIS)에서 사용하기 위해 종이해도 상에 나타나는 해안선, 등심선, 수심, 항로표지(등대, 등부표), 위험물, 항로 등 선박의 항해와 관련된 모든 해도정보를 국제수로기구(IHO)의 표준규격(S-57)에 따라 제작된 디지털해도를 말한다. 전자해도에는 항로표지, 수심, 저질, 해저케이블 등 선박의 안전한 항해를 위해 필요한 많은 정보가 수록되어 있다. 본 연구에서는 해양GIS 분야의 Base map이라고 할 수 있는 전자해도와 해상교통 정보를 이용하여 아래의 절차에 따라 공간분석을 수행 하였다.



<그림 5-11> 공간분석 절차

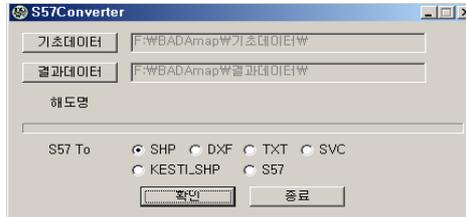
5.3.2 평가기준도 개발

GIS 데이터베이스 구축 대상해역은 울산항의 항계 내로 설정하며, 여기에 해당되는 전자해도는 수로도서지 목록에 따라 전자해도 KP5G3B1D와 KP5G3B3B가 해당된다. 전자해도 뷰어 S/W를 이용하여 대상해역을 나타내면 아래 그림과 같다.



<그림 5-12> 대상해역의 전자해도 영역

전자해도, ENC는 해양의 객체들을 S-57 국제표준에 맞춰 표현한 공간정보이다. S-57에서는 네 가지의 데이터 모델을 제시하고 있으나, ENC에서는 chain-node 모델을 사용하도록 규정하고 있다. ENC 데이터와 같이 구조화된 데이터를 이기종의 컴퓨터 시스템간에 교환하기 위한 encapsulation 표준이 ISO/IEC 8211이다. ISO/IEC 8211은 포함된 실제 데이터의 묘사와 논리적 구조를 설명하는 'Data Descriptive Record'와, 실제 데이터를 담고 있는 'Data Record'로 구성되며, 이 Record들은 'Leader', 'Directory', 'Field area'로 각각 구성된다. 전자해도 데이터를 GIS 공간분석 도구에서 분석하기 위해서는 범용적인 포맷으로 변환이 필요하므로, 본 연구에서는 국립해양조사원이 개발한 S57 Converter를 이용하여, 전자해도 포맷을 SHP 포맷으로 변환하였다.



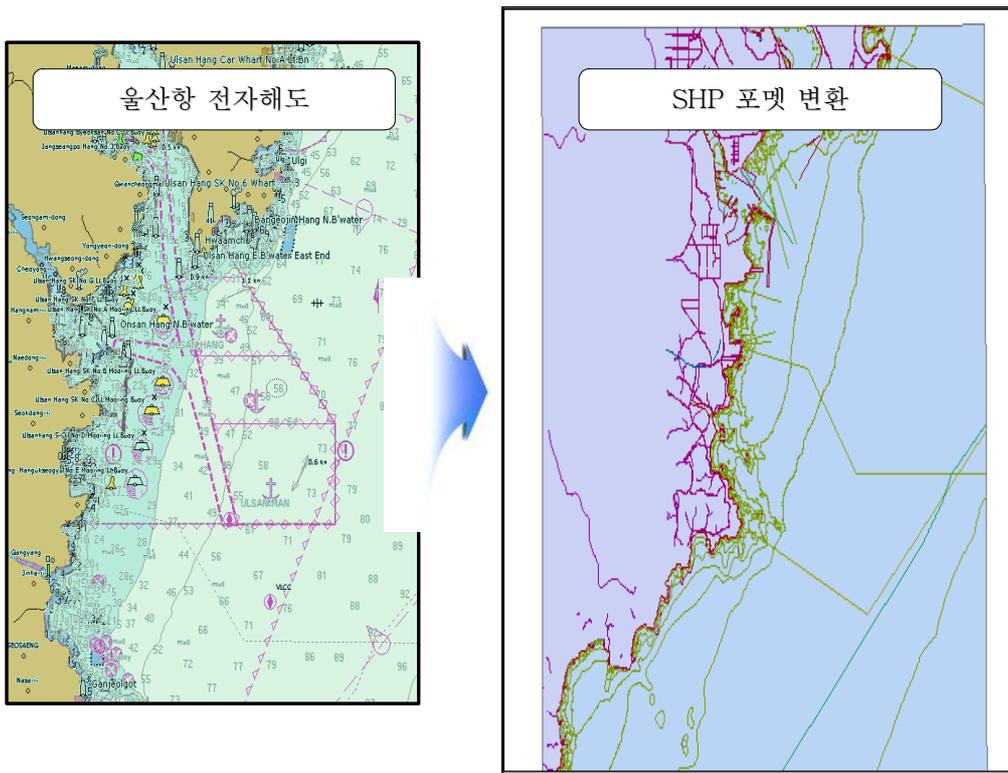
<그림 5-13> S57 Converter

SHP 포맷의 파일 구조는 DBF, SHP, SHX 파일로 구성되며, 하나의 전자해도 KP5G3B3B는 다음의 SHP 파일로 분리되는데, 각 정보는 포인트 점, 선, 면 정도로 구성된다. 아래의 정보는 육지, 해안선, 수심, 저질과 같은 자연환경 정보와, 등대, 항로표지, 항만시설, 양식장 등의 해상교통정보가 포함된다.

<표 5-9> 전자해도 포함 정보

포인트 정보		라인 정보		에리어 정보	
약어	설명	약어	설명	약어	설명
SBDARE_P	저질	CBLOHD_L	가공선	BRIDGE_A	다리
BOYSPP_P	부표	CBLSUB_L	해저선	BUAARE_A	빌딩지역
BUISGL_P	건물	COALNE_L	자연안선	BUISGL_A	건물
CRANES_P	크레인	DAMCON_L	댐	CTNARE_A	경고지역
CTNARE_P	경고지역	DEPARE_L	수심지역	DEPARE_A	수심지역
CTRPNT_P	기준점	DEPCNT_L	등심선	HRBARE_A	항만지역
FOGSIG_P	무신호	FSHFAC_L	어로시설	HRBFAC_A	항만시설
LIGHTS_P	등화	MORFAC_L	돌핀,계류시설	LAKARE_A	호수
LNDARE_P	육상영역	PIPOHD_L	가공수송관	LNDARE_A	육상영역
LNDELV_P	육지고도	PIPSOL_L	육상,해저수송관	LNDRGN_A	육상지역
LNDMRK_P	육표	RAILWY_L	철로	M_COVR_A	커버리지
LNDRGN_P	육상지역	RDOCAL_L	무선호출지점	M_CSCL_A	자료편집축척
MAGVAR_P	나침도	RIVERS_L	강	M_NPUB_A	간행물정보
OBSTRN_P	장애물	ROADWY_L	도로	M_NSYS_A	항해표지시스템
OFSPLF_P	연안작업선	SLCONS_L	인공안선	M_QUAL_A	자료특성
PILBOP_P	도선사승선지점	STSLNE_L	직선영해기선	MARCUL_A	양식장
PYLONS_P	철탑			MORFAC_A	돌핀,계류시설
RADRFL_P	레이다 반사기			OBSTRN_A	장애물(어초)
RDOSTA_P	라디오국			PRCARE_A	주의지역
RTPBCN_P	레이콘			RESARE_A	제한구역
SEAARE_P	해역			RIVERS_A	강
SISTAW_P	신호소,경고			SBDARE_A	저질
SOUNDG_P	측심			SILTNK_A	사이로/탱크
TOPMAR_P	두표			SLCONS_A	인공안선
TS_FEB_P	조류			TWRTPPT_A	양길항로부
UWTROC_P	노간출암			UNSARE_A	미측지역
WEDKLP_P	해초				
WRECKS_P	침선				

변환 결과는 점으로 표현되는 포인트 정보와, 선으로 표현되는 라인정보, 면으로 표현되는 에리어 정보로 구분할 수 있으며, 결과를 ESRI社의 ArcMap으로 출력하면 아래 그림과 같다.



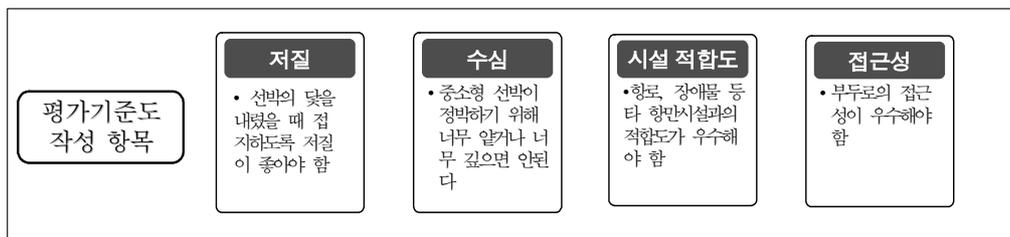
<그림 5-14> 울산항 전자해도의 SHP 변환

5.3.3 평가기준도의 표준화

대기정박지 입지 후보지역을 추출하고 적합도를 평가하기 위해서, 대기정박지의 입지 선정에 영향을 주는 요인을 토대로 평가기준을 선정한다. 법적, 물리적, 기능상의 규제에 대한 종합적인 검토를 통해 대기정박지가 입지할 수 없는 제한요인들과, 고려되어야할 평가기준 요인들을 선정한다. 이들 요인들은 각각 SHP으로 표현

하고 다양한 측정단위로 이루어진 커버리지들은 표준화 과정을 거쳐서 평가기준도 (criterion map)로 구축된다. 본 연구에서는 대기정박지 입지 요인 중 전자해도 데이터로서 추출할 수 있는 물리적 정보를 대상으로 SHP 형태의 벡터 포맷을 래스터 포맷으로 데이터 변환하여 평가기준도를 구축하였다.

공간분석을 위해 환경요인으로 수심과 저질, 해상교통요인으로 타항만시설과의 적합도, 근접성을 고려하였다. 본 연구에서는 평가기준의 표준화를 위해 0과 1의 측도로 변환하여 적용하였다.

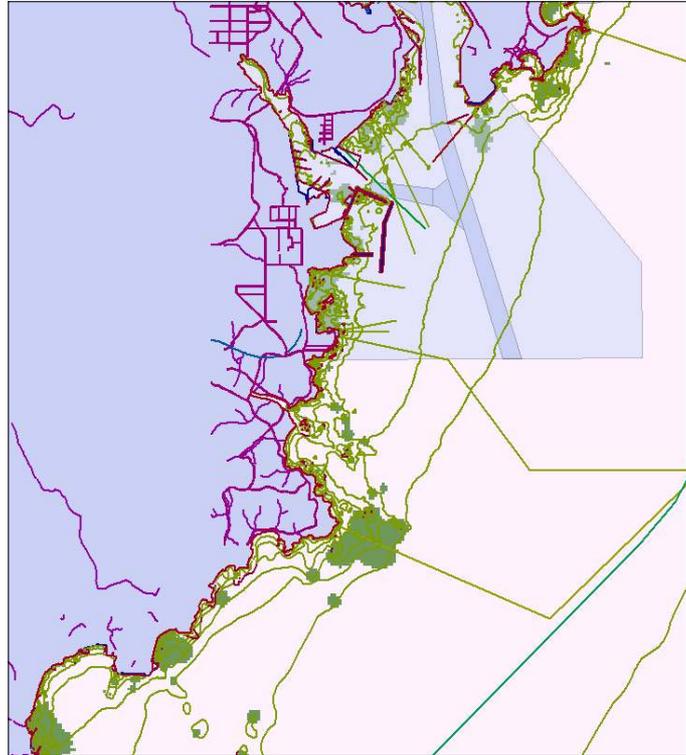


<그림 5-15> 평가기준도 작성 항목

전자해도 정보 중 저질은 정박을 위해 앵커를 내리면 앵커가 닿는 해저 저질의 종류이며 속성 정보로서 저질의 종류가 포함되어 있다. 저질에는 다음과 같이 18가지의 종류가 있다.

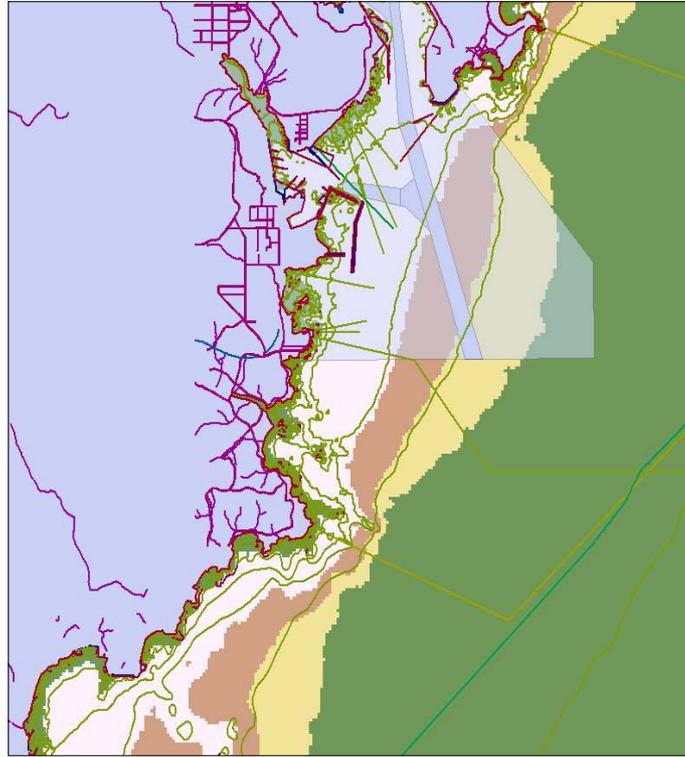
- 1 : mud, 2 : clay, 3 : silt, 4 : sand, 5 : stone, 6 : gravel, 7 : pebbles,
8 : cobbles, 9 : rock, 10 : marsh, 11 : lava, 12 : snow, 13 : ice, 14 : coral,
15 : swamp, 16 : bog/moor, 17 : shells, 18 : boulder

울산항 해역의 저질은 진흙, 암석, 모래로 분포되어 있으며, 안전한 정박을 위해 저질은 진흙이어야 하므로 진흙은 1로 부여하고 이외의 값은 0으로 부여한다.



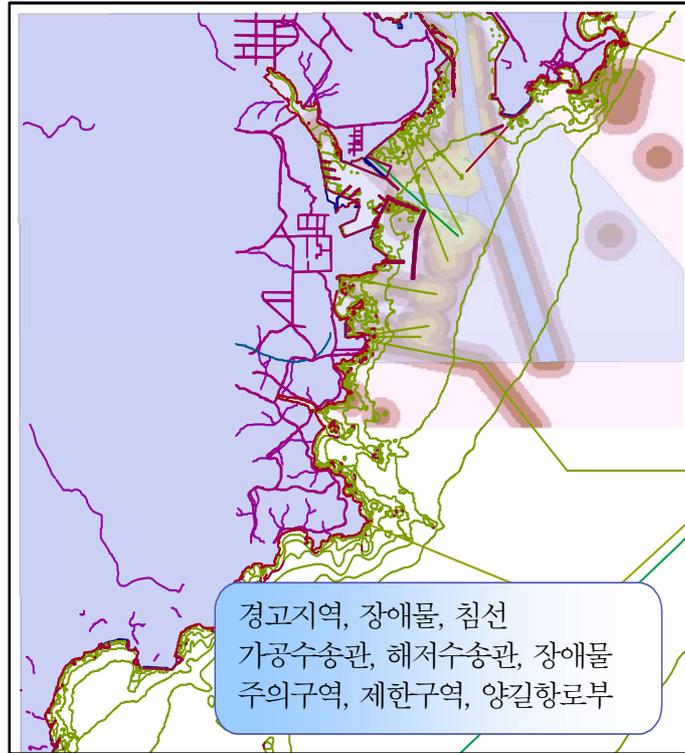
<그림 5-16> 저질에 대한 평가기준도

다음으로 본 연구에서 다루고 있는 중소형 정박지의 적정 수심은 9m~15m가 예상되므로 9m 이내의 수심지역은 0, 9m~17m 사이의 수심지역은 10, 17m~26m 사이의 수심지역은 9, 26m~35m 사이의 수심지역은 8의 값을 부여하였고 이상의 수심 지역은 0을 할당하였다. 본 연구에서는 공간분석에서 사용되는 IDW(Inverse Distance Weighted) 보간기법을 이용하여 벡터 데이터를 래스터 데이터로 분석 변환 하였다. IDW 보간기법이란 가까이 있는 실측 값(Point)에 더 큰 가중 값을 주어 보간하는 방법으로, 거리가 가까울수록(거리 값이 작을수록) 높은 가중 값이 적용 되기 때문에 Inverse Distance Weighted라고 한다. 반대로 실측값으로부터 멀어질 수록 가중되는 값의 영향력은 줄어든다. 이런 것을 그림으로 나타내면 아래와 같다. 실측 점으로부터의 거리가 가까울수록 실측값의 영향력을 많이 받으며 멀어질 수록 영향력을 작게 받는다.



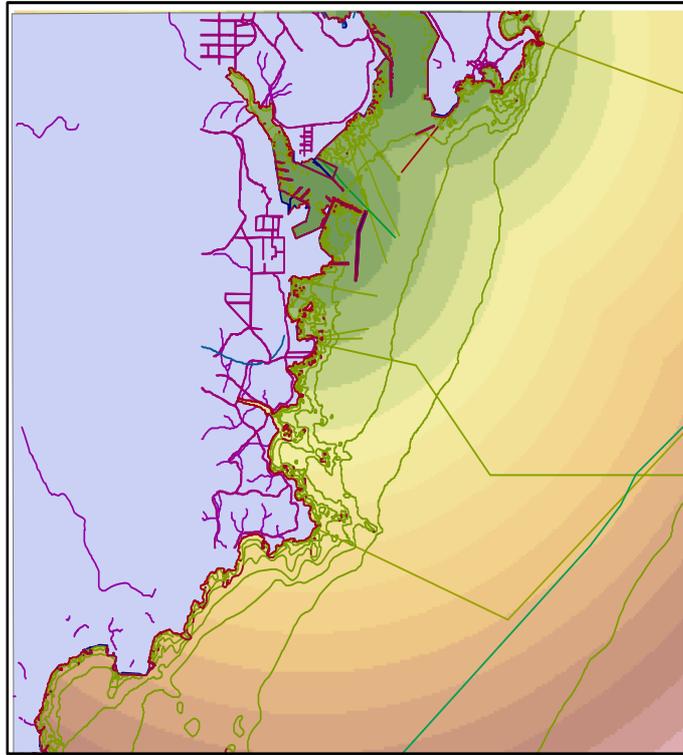
<그림 5-17> 수심에 대한 평가기준도

다음으로 대기정박지 선정에 영향을 미치는 요인으로 항로 및 경고지역, 장애물, 침선, 가공수송관, 해저수송관, 주의구역, 제한구역, 양길 항로부등이 있으며 이러한 요인들은 대기정박지 선정에 마이너스 요인으로 작용한다. 각 정보를 화면에 표기하고 공간 분석 중 거리분석을 이용하여 다음 결과를 얻었다.



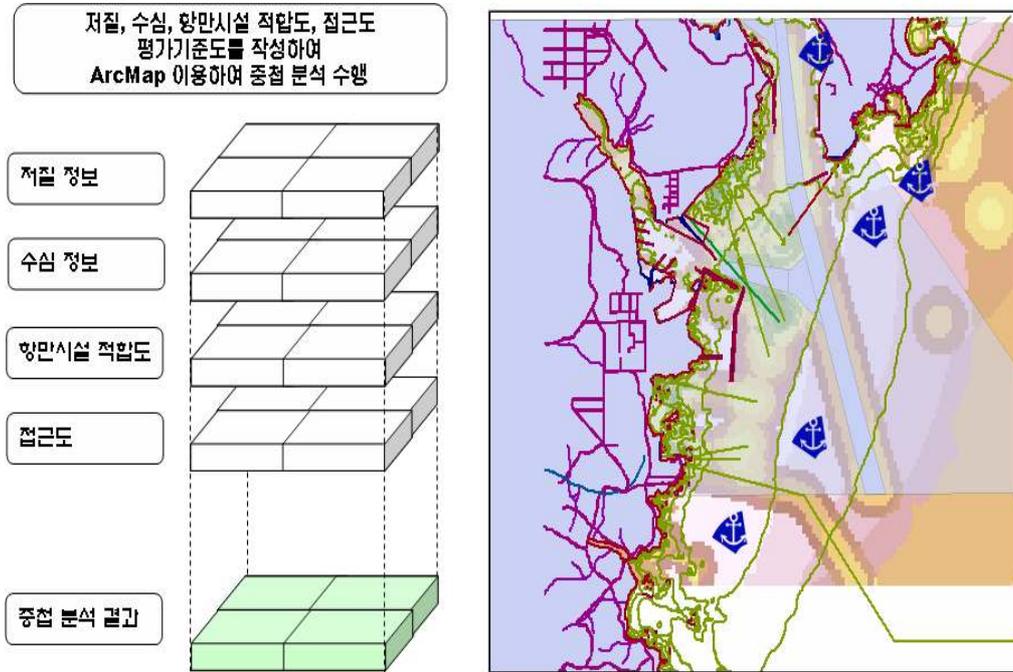
<그림 5-18> 타항만시설과의 적합도에 대한 평가기준도

선박은 입항을 위해 대기정박지를 이용하여 정박을 하거나 하역 작업을 수행하게 되므로, 부두로부터의 거리가 가까울수록 유리하다. 부두로부터 거리 분석을 하여 다음의 결과를 얻었다.



<그림 5-19> 부두 접근성에 대한 평가 기준도

제작한 평가기준도 래스터 차트를 이용하여 다음의 대기정박지 후보지를 도출하였다.



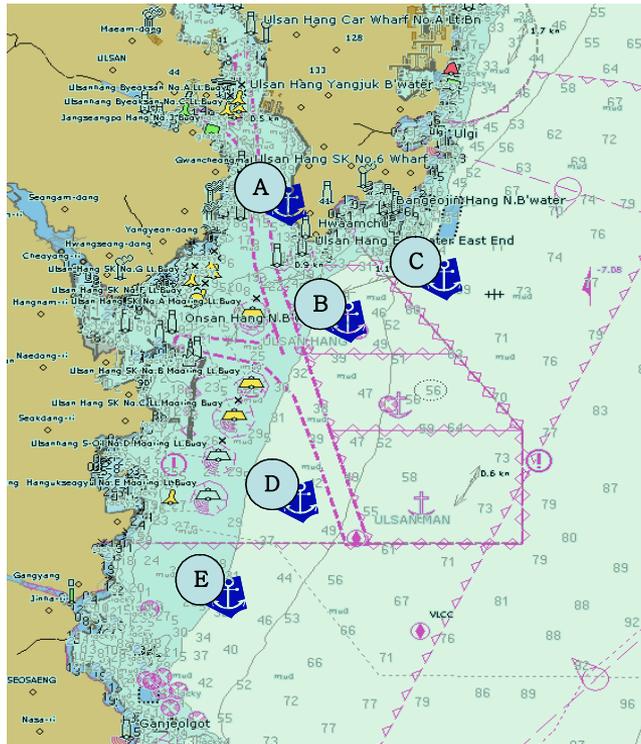
<그림 5-20> 대기정박지 입지 후보지 계산

5.4 후보지 입지평가 및 적지 선정

5.4.1 대기정박지 선정요인 계층도

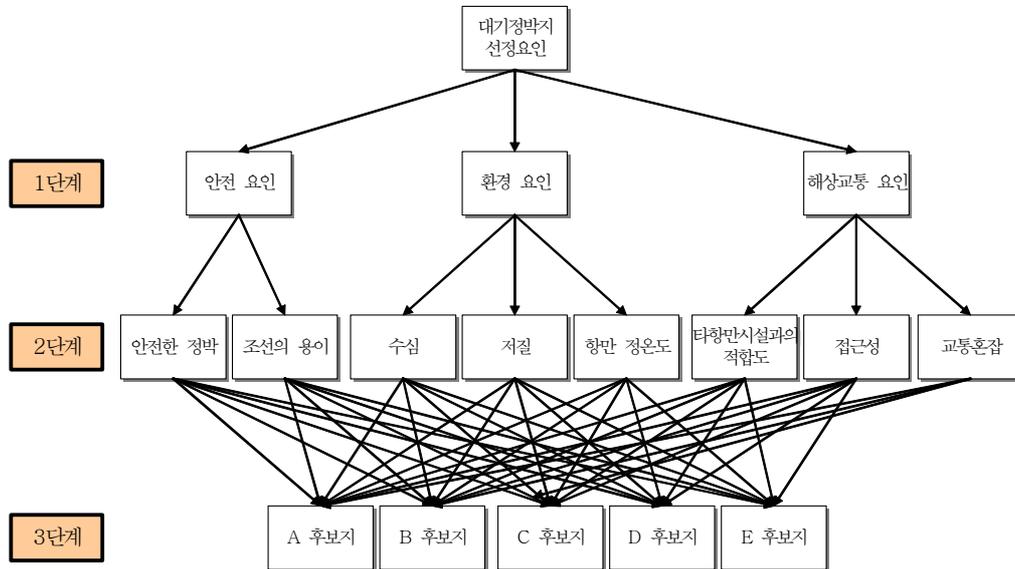
울산항 정박지는 동방과제 북쪽에 위치한 M1~M7 정박지, 해상환적 전용 정박지인 M9, M10 정박지, 제1항로 동쪽에 위치한 E1, E2, E3 정박지가 있다. M1~M7 정박지는 동방과제 안쪽에 위치하여 소형선박들이 주로 이용하며, 정박능력은 5,000톤급 선박 7척이며, M9 정박지는 20,000톤급 1척, M10은 50,000톤급 1척이고, E1은 10,000톤급, E2는 30,000톤급, E3는 150,000톤급 선박의 정박지이다. 목포해양대학교의 교통환경평가 연구에서는 M1~M7 정박지를 보완하기 위해 1만 톤급 중소형 선박이 이용할 수 있는 반경 330미터의 정박지 8개의 정박지 신설을 제시하였다. 기존

M1~M7 정박지는 A지점이고, 연구 보고서에서 제시한 대기정박지 위치는 C 지점이다. B 지점은 외해에 위치한 E1 정박지로 중소형 선박이 대기하나 이용량은 적다.



<그림 5-21> 대기정박지 후보지

본 연구에서는 기존 A지점을 포함하여 B지점, C지점, D지점, E지점에 대한 대기정박지 입지 평가를 수행하였다. 본 연구에서는 전문가의 의견과 연구보고서를 토대로 대기정박지 입지평가 요인을 다음과 같이 도출하여 계층모델화 시켰다. 정박지의 위치 선정요인으로 크게 안전요인(SF), 환경요인(EF), 해상교통요인(TT)로 분류할 수 있으며, 세부적으로 안전요인에는 안전한 정박(SA), 조선의 용이(SC) 요인이 포함되고, 환경요인에는 수심(ES), 저질(EB), 항만정온도(ET) 요인이 포함되며, 해상교통요인에는 타항만시설과의 적합도(TS), 근접성(TC), 교통혼잡(TA) 요인이 포함된다.



<그림 5-22> 입지선정 요인의 계층도

5.4.2 설문분석 수행

1) 설문 준비

울산항을 이용하는 전문가를 상대로 설문조사를 수행하였다. 설문의 구성은 3단계 평가로 구성되며 아래의 내용과 같다.

- 1단계 평가 : 안전 요인, 환경 요인, 해상교통 요인 간의 중요도 평가
- 2단계 평가 : 안전한 정박, 조선의 용이 요인 간의 중요도 평가
수심, 저질, 항만 정온도 요인 간의 중요도 평가
타항만시설과의 적합도, 접근성, 교통혼잡 요인 간의 중요도 평가
- 3단계 평가 : 2단계 요인 각각에 대해 A, B, C, D, E 지역 간의 우선도 평가

본 연구에서는 설문 결과를 Fuzzy AHP를 이용한 가중치 산정을 위해 다음과 같이 삼각 퍼지 변환 척도를 사용하여 설문을 작성하였다.

<표 5-10> 삼각 퍼지 변환 척도

언어 척도	삼각 퍼지 척도	삼각 퍼지 상대 척도
동일 (Just equal)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
조금 중요 (Equally important)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
보통 중요 (Weakly more important)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
많이 중요 (Strongly more important)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
매우 중요 (Very strongly more important)	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
절대 중요 (Absolutely more important)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

위 삼각 퍼지 변환 척도를 이용하여 다음과 같이 설문을 작성하였다.

□ 1단계 평가

Q1-1. 안전요인과 환경요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

Q1-2. 안전요인과 해상교통요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q1-1.	안전 요인												환경 요인
Q1-2.	안전 요인												해상교통 요인

□ 2단계 평가

Q2-1. 안전한 정박 요인과 조선의 용이 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-1.	안전한 정박												조선의 용이

□ 3단계 평가

[안전한 정박]

Q3-1. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-2. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-3. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-4. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-1.	A후보지												B후보지
Q3-2.	A후보지												C후보지
Q3-3.	A후보지												D후보지
Q3-4.	A후보지												E후보지

위 설문 내용은 각 단계별 사례에 해당되며 전체 설문 내용은 부록에 첨부하였다.

2) 설문 결과 정리

본 연구에서는 울산항의 실제 이용자에 해당되는 도선사 및 항해사 10인의 전문가를 상대로 설문을 수행하였으며, 각 전문가 설문 내용을 정리하여 평균한 다음 다음과 같이 삼각퍼지수로 표시하여 정리하였다.

<1단계>

	안전요인(SF)			환경요인(EF)			해상교통요인(TF)		
안전요인(SF)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50
환경요인(EF)	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50
해상교통요인(TF)	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00

<2단계>

[안전요인(SF)]

	안전한정박(SA)			조선의용이(SC)		
안전한정박(SA)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
조선의용이(SC)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[환경요인(EF)]

	수심(ES)			저질(EB)			항만정온도(ET)		
수심(ES)	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.50	0.67	1.00
저질(EB)	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00
항만정온도(ET)	1.00	1.50	2.00	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00

[해상교통요인(TF)]

	타항만시설과의적합도(TS)			항만관제서비스용이(TC)			정박지항과(TA)		
타항만시설과의적합도(TS)	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00
항만관제서비스용이(TC)	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00
정박지항과(TA)	0.50	1.00	1.50	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00

<3단계>

[안전한정박(SA)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50
B지역	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50
C지역	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
D지역	0.50	0.67	1.00	0.50	0.67	1.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00
E지역	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00

[조선의용이(SC)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00	0.50	0.67	1.00
B지역	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	0.67	1.00	2.00
C지역	0.50	1.00	1.50	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
D지역	0.50	1.00	1.50	0.67	1.00	2.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00
E지역	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00

[수심(ES)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.50	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00
B지역	0.40	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00
C지역	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
D지역	0.67	1.00	2.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50
E지역	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00

[저질(EB)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B지역	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
C지역	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
D지역	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E지역	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[항만정온도(ET)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	1.00	1.50	2.00	1.50	2.00	2.50	1.50	2.00	2.50
B지역	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50
C지역	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50
D지역	0.40	0.50	0.67	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E지역	0.40	0.50	0.67	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[타항만시설과의적합도(TS)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00
B지역	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	1.50	2.00	2.50	1.00	1.00	1.00
C지역	0.50	1.00	1.50	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00
D지역	1.00	1.50	2.00	0.40	0.50	0.67	0.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E지역	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

[항만관제서비스용이(TC)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	0.50	1.00	1.50	1.50	2.00	2.50
B지역	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	0.67	1.00	2.00	0.67	1.00	2.00
C지역	0.50	0.67	1.00	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00	0.67	1.00	2.00
D지역	0.67	1.00	2.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50
E지역	0.40	0.50	0.67	0.50	1.00	1.50	0.50	1.00	1.50	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00

[정박지항과(TA)]

	A지역			B지역			C지역			D지역			E지역		
A지역	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	1.50	2.00	2.50	2.00	2.50	3.00	1.00	1.00	1.00
B지역	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	2.00	0.50	0.67	1.00
C지역	0.40	0.50	0.67	0.67	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00
D지역	0.30	0.40	0.50	0.50	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.67	1.00
E지역	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.50	1.50	2.00	2.50	1.50	2.00	2.50	1.00	1.00	1.00

5.4.3 평가치 계산

1) 상위 요인 계산

1단계 평가인 상위요인 조선요인, 환경요인, 해상교통요인을 식(2), 식(3), 식(5)에 따라 확장퍼지 계산을 수행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(SF)	2.50	3.50	4.50	6.84	9.17	13.00	0.08	0.11	0.15	0.19	0.38	0.66
S(EF)	2.00	2.67	3.50	6.84	9.17	13.00	0.08	0.11	0.15	0.15	0.29	0.51
S(TF)	2.34	3.00	5.00	6.84	9.17	13.00	0.08	0.11	0.15	0.18	0.33	0.73

$$S_{SF} = (2.50, 3.50, 4.50) \otimes (1/13.0, 1/9.17, 1/6.84) = (0.192, 0.382, 0.658)$$

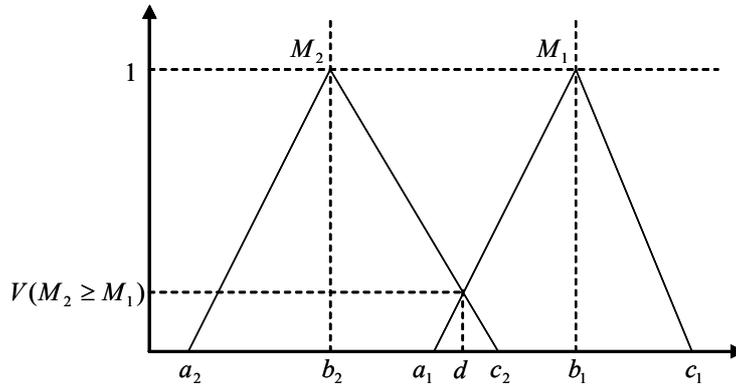
$$S_{EF} = (2.00, 2.67, 3.50) \otimes (1/13.0, 1/9.17, 1/6.84) = (0.154, 0.291, 0.512)$$

$$S_{TF} = (2.34, 3.00, 5.00) \otimes (1/13.0, 1/9.17, 1/6.84) = (0.180, 0.327, 0.731)$$

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

위 식을 이용하여 가능성 정도를 파악한다.

M_2 의 b_2 값이 M_1 의 b_1 보다 클 경우 1이며, M_1 의 a_1 이 M_2 의 c_2 보다 클 경우 0이 부여된다. 그리고 이외의 경우에는 M_1 과 M_2 가 교차 되므로 아래 그림과 같이 교차점 d 의 값을 구해야 하므로 위 식을 이용하여 구한다.



<그림 5-23> M_1 과 M_2 의 교차점

위의 결과 값에 대해 (단계 2)의 가능성 정도는 다음과 같이 계산된다.

$S(SF) > S(EF)$	1	$S(SF) < S(TF)$	0.9081
$S(SF) < S(EF)$	0.779	$S(EF) > S(TF)$	0.902125
$S(SF) > S(TF)$	1	$S(EF) < S(TF)$	1.0000

각 쌍대비교 과정에서 최소 가능성 정도 값은 다음과 같으며,

$$\text{Min } V(S_{SF} \geq S_i) = 1$$

$$\text{Min } V(S_{EF} \geq S_i) = 0.779$$

$$\text{Min } V(S_{TF} \geq S_i) = 0.9081$$

각 값은 $W' = (1, 0.779, 0.908)^T$ 가중치 벡터로 구성되며, 정규화 과정을 통해 상위 속성의 중요도 가중치는 다음과 같이 계산되었다.

$$W = (d(SF), d(EF), d(TF))^T = (0.3721, 0.2899, 0.3379)$$

2) 하위 요인의 계산

위와 동일한 방법으로 하위 요인에 대한 가중치를 구한다.

[안전요인(SF)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(SA)	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50
S(SC)	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50

S(SA) > S(SC)	1
S(SA) < S(SC)	1

$$\text{Min } V(S_{SA} \geq S_i) = 1$$

$$\text{Min } V(S_{SC} \geq S_i) = 1$$

$$W = (d(SA), d(SC))^T = (0.5, 0.5)$$

[환경요인(EF)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(ES)	2.17	2.67	4.00	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.17	0.29	0.56
S(EB)	2.00	2.67	3.50	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.16	0.29	0.49
S(ET)	3.00	4.00	5.00	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.24	0.43	0.70

S(ES)>S(EB)	1.000	S(ES)<S(ET)	1.000
S(ES)<S(EB)	1.000	S(EB)>S(ET)	0.635
S(ES)>S(ET)	0.691	S(EB)<S(ET)	1.000

$$\text{Min } V(S_{ES} \geq S_i) = 0.691$$

$$\text{Min } V(S_{EB} \geq S_i) = 0.635$$

$$\text{Min } V(S_{ET} \geq S_i) = 1$$

$$W = (d(CM), d(GT), d(SG))^T = (0.297, 0.273, 0.430)$$

[해상교통요인(TF)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(TS)	2.17	2.67	4.00	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.17	0.29	0.56
S(TC)	3.00	4.00	5.00	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.24	0.43	0.70
S(TA)	2.00	2.67	3.50	7.17	9.34	12.50	0.08	0.11	0.14	0.16	0.29	0.49

S(TS)>S(TC)	0.691	S(TS)<S(TA)	1.000
S(TS)<S(TC)	1.000	S(TC)>S(TA)	1.000
S(TS)>S(TA)	1.000	S(TC)<S(TA)	0.635

$$\text{Min } V(S_{TS} \geq S_i) = 0.691$$

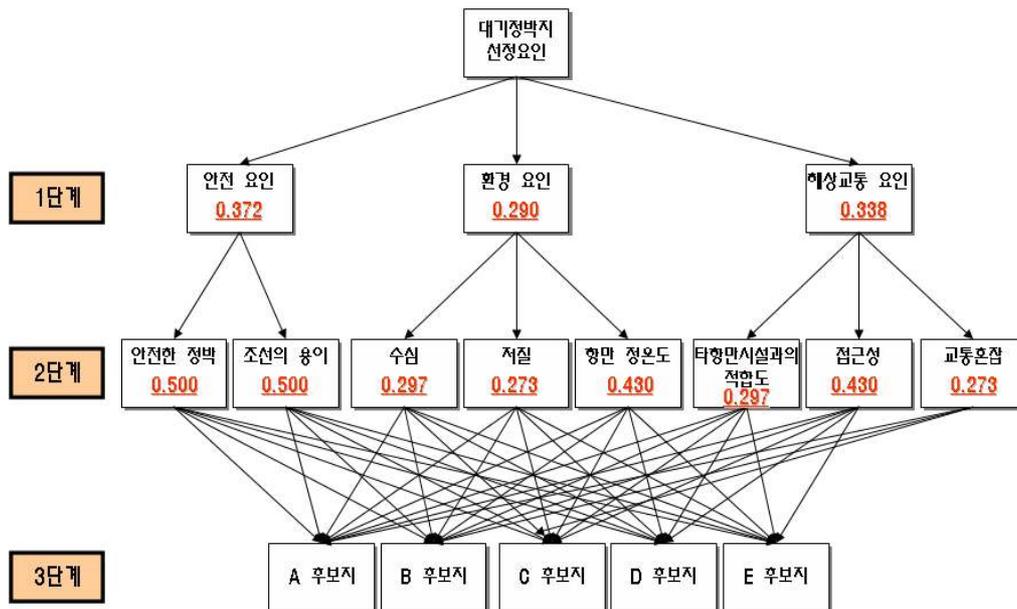
$$\text{Min } V(S_{TC} \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_{TA} \geq S_i) = 0.635$$

$$W = (d(TS), d(TC), d(TA))^T = (0.297, 0.430, 0.273)$$

3) 후보지 평가

1단계와 2단계의 대기정박지의 입지선정 요인 가중치를 계산하였고 2단계의 각 평가 요인에 대해 후보지를 선정된 A지역, B지역, C지역, D지역, E지역을 위와 동일한 방법으로 계산한다.



<그림 5-24> 상위 및 하위 요인의 가중치

[안전한정박(SA)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	4.00	6.00	8.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.11	0.23	0.44
S(B)	3.67	5.50	8.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.10	0.21	0.44
S(C)	3.51	4.67	8.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.09	0.18	0.44
S(D)	3.00	4.01	5.50	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.08	0.16	0.31
S(E)	3.84	5.50	8.50	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.10	0.21	0.47

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	0.72	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	0.89
S(A)<S(B)	0.95	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	0.78	S(C)>S(E)	0.91
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	0.95	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	0.87	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	1.00	S(D)>S(E)	0.78
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	0.91	S(C)>S(D)	1.00	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 0.950$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.870$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.780$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 0.950$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.220, 0.209, 0.191, 0.171, 0.209)$$

[조선의용이(SC)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	3.34	4.34	7.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.09	0.17	0.39
S(B)	4.17	6.00	8.50	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.11	0.23	0.47
S(C)	3.34	4.67	7.50	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.09	0.18	0.42
S(D)	3.17	4.67	7.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.08	0.18	0.39
S(E)	4.00	6.00	8.00	18.02	25.68	38.00	0.03	0.04	0.06	0.11	0.23	0.44

S(A)>S(B)	0.81	S(A)<S(D)	1.00	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	1.00
S(A)<S(B)	1.00	S(A)>S(E)	0.81	S(B)<S(D)	0.84	S(C)>S(E)	0.86
S(A)>S(C)	0.96	S(A)<S(E)	1.00	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	1.00	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	1.00	S(D)>S(E)	0.85
S(A)>S(D)	0.96	S(B)<S(C)	0.86	S(C)>S(D)	1.00	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 0.814$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.855$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.843$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 1.000$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.180, 0.222, 0.190, 0.187, 0.222)$$

[수심(ES)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	5.00	7.00	9.00	19.92	26.84	38.17	0.03	0.04	0.05	0.13	0.26	0.45
S(B)	3.57	4.50	6.17	19.92	26.84	38.17	0.03	0.04	0.05	0.09	0.17	0.31
S(C)	3.51	4.67	8.00	19.92	26.84	38.17	0.03	0.04	0.05	0.09	0.17	0.40
S(D)	3.67	5.50	8.00	19.92	26.84	38.17	0.03	0.04	0.05	0.10	0.20	0.40
S(E)	4.17	5.17	7.00	19.92	26.84	38.17	0.03	0.04	0.05	0.11	0.19	0.35

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	0.83	S(B)>S(D)	0.85	S(C)<S(D)	1.00
S(A)<S(B)	0.66	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	1.00	S(C)>S(E)	0.94
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	0.76	S(B)>S(E)	0.89	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	0.76	S(B)>S(C)	0.97	S(B)<S(E)	1.00	S(D)>S(E)	1.00
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	1.00	S(C)>S(D)	0.91	S(D)<S(E)	0.95

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 0.657$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.757$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.829$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 0.764$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.250, 0.164, 0.189, 0.207, 0.191)$$

[저질(EB)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	4.00	5.00	6.00	20.02	25.00	34.00	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.30
S(B)	4.01	5.00	8.00	20.02	25.00	34.00	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.40
S(C)	4.01	5.00	8.00	20.02	25.00	34.00	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.40
S(D)	4.00	5.00	6.00	20.02	25.00	34.00	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.30
S(E)	4.00	5.00	6.00	20.02	25.00	34.00	0.03	0.04	0.05	0.12	0.20	0.30

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	1.00	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	1.00
S(A)<S(B)	1.00	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	1.00	S(C)>S(E)	1.00
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	1.00	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	1.00	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	1.00	S(D)>S(E)	1.00
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	1.00	S(C)>S(D)	1.00	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 1.000$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200)$$

[항만정온도(ET)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	6.00	8.00	10.00	20.48	26.34	35.34	0.03	0.04	0.05	0.17	0.30	0.49
S(B)	3.50	4.67	6.00	20.48	26.34	35.34	0.03	0.04	0.05	0.10	0.18	0.29
S(C)	3.50	4.67	6.00	20.48	26.34	35.34	0.03	0.04	0.05	0.10	0.18	0.29
S(D)	3.74	4.50	6.67	20.48	26.34	35.34	0.03	0.04	0.05	0.11	0.17	0.33
S(E)	3.74	4.50	6.67	20.48	26.34	35.34	0.03	0.04	0.05	0.11	0.17	0.33

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	0.54	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	0.97
S(A)<S(B)	0.49	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	0.97	S(C)>S(E)	1.00
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	0.54	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	0.97
S(A)<S(C)	0.49	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	0.97	S(D)>S(E)	1.00
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	1.00	S(C)>S(D)	1.00	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 0.494$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.494$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.540$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 0.540$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.326, 0.161, 0.161, 0.176, 0.176)$$

[타항만시설과의적합도(TS)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	3.67	4.34	6.00	21.74	26.01	32.17	0.03	0.04	0.05	0.11	0.17	0.28
S(B)	5.50	7.00	8.50	21.74	26.01	32.17	0.03	0.04	0.05	0.17	0.27	0.39
S(C)	3.67	4.67	6.50	21.74	26.01	32.17	0.03	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30
S(D)	3.90	5.00	6.17	21.74	26.01	32.17	0.03	0.04	0.05	0.12	0.19	0.28
S(E)	5.00	5.00	5.00	21.74	26.01	32.17	0.03	0.04	0.05	0.16	0.19	0.23

S(A)>S(B)	0.51	S(A)<S(D)	1.00	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	1.00
S(A)<S(B)	1.00	S(A)>S(E)	0.83	S(B)<S(D)	0.59	S(C)>S(E)	0.92
S(A)>S(C)	0.93	S(A)<S(E)	1.00	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	1.00	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	0.43	S(D)>S(E)	1.00
S(A)>S(D)	0.86	S(B)<S(C)	0.59	S(C)>S(D)	0.93	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 0.507$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.588$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.595$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 0.434$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.162, 0.320, 0.188, 0.190, 0.139)$$

[접근도(TC)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	4.50	6.50	8.50	18.42	26.01	38.17	0.03	0.04	0.05	0.12	0.25	0.46
S(B)	4.01	5.50	9.00	18.42	26.01	38.17	0.03	0.04	0.05	0.11	0.21	0.49
S(C)	3.17	4.01	6.00	18.42	26.01	38.17	0.03	0.04	0.05	0.08	0.15	0.33
S(D)	3.67	5.50	8.00	18.42	26.01	38.17	0.03	0.04	0.05	0.10	0.21	0.43
S(E)	3.07	4.50	6.67	18.42	26.01	38.17	0.03	0.04	0.05	0.08	0.17	0.36

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	0.89	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	1.00
S(A)<S(B)	0.91	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	1.00	S(C)>S(E)	0.93
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	0.76	S(B)>S(E)	1.00	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	0.68	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	0.87	S(D)>S(E)	1.00
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	0.79	S(C)>S(D)	0.80	S(D)<S(E)	0.87

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 0.906$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.685$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.892$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 0.870$$

$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.230, 0.208, 0.157, 0.205, 0.200)$$

[혼잡도(TA)]

요인	$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]$			$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$			$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
S(A)	6.50	8.00	9.50	23.37	28.75	35.67	0.03	0.03	0.04	0.18	0.28	0.41
S(B)	3.50	4.84	6.50	23.37	28.75	35.67	0.03	0.03	0.04	0.10	0.17	0.28
S(C)	3.57	4.17	5.67	23.37	28.75	35.67	0.03	0.03	0.04	0.10	0.15	0.24
S(D)	3.30	3.74	4.50	23.37	28.75	35.67	0.03	0.03	0.04	0.09	0.13	0.19
S(E)	6.50	8.00	9.50	23.37	28.75	35.67	0.03	0.03	0.04	0.18	0.28	0.41

S(A)>S(B)	1.00	S(A)<S(D)	0.07	S(B)>S(D)	1.00	S(C)<S(D)	0.86
S(A)<S(B)	0.47	S(A)>S(E)	1.00	S(B)<S(D)	0.71	S(C)>S(E)	0.31
S(A)>S(C)	1.00	S(A)<S(E)	1.00	S(B)>S(E)	0.47	S(C)<S(E)	1.00
S(A)<S(C)	0.31	S(B)>S(C)	1.00	S(B)<S(E)	1.00	S(D)>S(E)	0.07
S(A)>S(D)	1.00	S(B)<S(C)	0.86	S(C)>S(D)	1.00	S(D)<S(E)	1.00

$$\text{Min } V(S_A \geq S_i) = 1.000$$

$$\text{Min } V(S_B \geq S_i) = 0.466$$

$$\text{Min } V(S_C \geq S_i) = 0.312$$

$$\text{Min } V(S_D \geq S_i) = 0.065$$

$$\text{Min } V(S_E \geq S_i) = 1.000$$

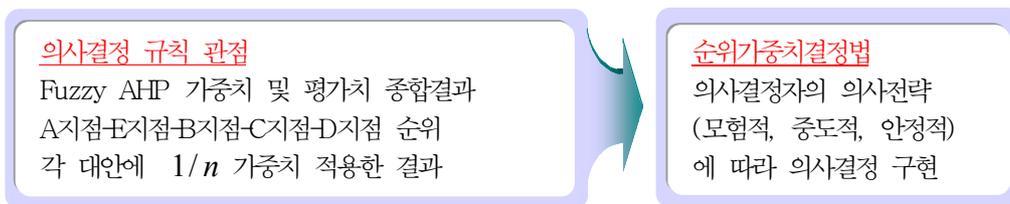
$$W = (d(A), d(B), d(C), d(D), d(E))^T = (0.352, 0.164, 0.110, 0.023, 0.352)$$

4) 평가치 종합

아래 표는 전문가 의견을 정리하여, 삼각퍼지수로 표현된 하위요인의 평가값을 확장퍼지 계산과 최소 가능성 정도값을 계산하여 정리하였다. 퍼지 AHP법을 이용하여 울산항 대기정박지의 입지평가를 수행하였을 때 A지점의 가중치가 가장 높은 것으로 분석되었다.

<표 5-12> 평가치 종합

	안전 요인 0.372		환경 요인 0.290			해상교통 요인 0.338			
	안전한 정박 0.500	조선의 용이 0.500	수심 0.297	저질 0.273	항만 정온도 0.430	타항만 시설적합도 0.297	접근도 0.430	혼잡도 0.273	
A지점	0.220	0.180	0.250	0.200	0.326	0.162	0.230	0.352	0.235
B지점	0.209	0.222	0.164	0.200	0.161	0.320	0.208	0.164	0.208
C지점	0.191	0.190	0.189	0.200	0.161	0.188	0.157	0.110	0.175
D지점	0.171	0.187	0.207	0.200	0.176	0.190	0.205	0.023	0.173
E지점	0.209	0.222	0.191	0.200	0.176	0.139	0.200	0.352	0.210



<그림 5-25> 의사결정 규칙 관점의 평가값

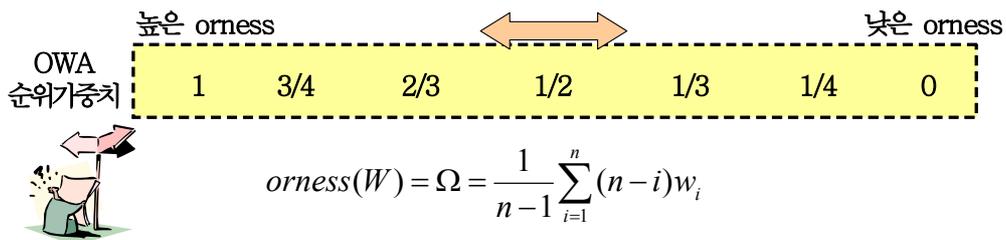
5.4.4 순위가중치평균법 적용

다기준 의사결정과정에서 가장 중요한 것은, 어떠한 의사결정 규칙을 이용하여 대안들의 순위를 결정하는가의 문제이다. 의사결정 규칙(decision rule)이란 평가기

준에 대한 가중치를 부여한 후에, 이를 근거로 하여 대안의 순위를 결정하는 일련의 규칙들을 말한다. 즉, 평가기준과 대안들의 정보, 의사결정자의 선호도를 통합하여 대안들을 전체적으로 평가한 후, 대안들을 순위화하여 최선의 대안을 추출하는데 사용되는 의사결정 규칙이다. 의사결정 규칙은 넓은 의미의 의사결정 전략(decision strategy)이라고 볼 수 있는데, 이는 문제의 해결점을 찾기 위한 전체 절차이며, 의사결정 규칙은 그 전략의 일부라고 할 수 있다.

순위가중치 결정법은 가중치가 부여된 평가기준들을 총합화하는 규칙으로, 평가기준들의 가중치와 순위 가중치가 사용되는 가중 합계(weighted sum)이다. 순위가중치는 평가 기준 사이에 존재하는 상충수준을 직접적으로 조절할 수 있다. 전체 상충수준의 정도는 평가기준/상충적 가중치에 따라 결정된다. 퍼지총합 연산에서 총합규칙은 재순위화된 기준점수를 바탕으로 하게 되며, 가중 계수(weighting coefficients)가 주어진 대안에 대한 평가기준 값의 순위에 할당된다. 즉, 높은 값을 갖는 평가기준에 가장 높은 가중치가 부여되는 것이다.

퍼지 AHP에 계산된 <표 5-16>의 결과는 중성적(neutral)인 평가값으로, 의사결정자의 의사전략 요인의 평가치에 결합된다면 다양한 결과를 도출할 수 있다. 순위가중치평균법은 대기정박지 요인의 순서와 상관없이 의사결정자의 전략에 따른 순위 가중치를 결합하는 방법이다.



<그림 5-26> OWA 순위가중치 적용 개념

순위 가중치 값을 결합하기 위해 입지 후보지의 평가값을 비교하여 입지후보지 평가값과 각 지점의 요인가중치 값을 내림차순으로 정렬하였다.

<표 5-13> 요인 평가값의 내림차순 정렬

요인 평가값의 내림차순 정렬								
A지점	0.3517	0.3261	0.2496	0.2298	0.2198	0.2000	0.1804	0.1622
	0.0923	0.1246	0.0861	0.1453	0.1861	0.0791	0.1861	0.1003
B지점	0.3201	0.2216	0.2088	0.2082	0.2000	0.1641	0.1639	0.1609
	0.1003	0.1861	0.1861	0.1453	0.0791	0.0861	0.0923	0.1246
C지점	0.2000	0.1912	0.1896	0.1889	0.1883	0.1609	0.1573	0.1097
	0.0791	0.1861	0.1861	0.0861	0.1003	0.1246	0.1453	0.0923
D지점	0.2068	0.2049	0.2000	0.1904	0.1869	0.1760	0.1714	0.0229
	0.0861	0.1453	0.0791	0.1003	0.1861	0.1246	0.1861	0.0923
E지점	0.3517	0.2216	0.2088	0.2000	0.1999	0.1906	0.1760	0.1390
	0.0923	0.1861	0.1861	0.0791	0.1453	0.0861	0.1246	0.1003

본 연구에서는 안병석(2006)이 제안한 [1, 3/4, 2/3, 1/2, 1/3, 1/4, 0]의 일정한 수준의 순위가중치 값을 계산하기 위해, 아래의 공식에 따 순위 가중치 값을 계산하였다.

<표 5-14> Orness 값에 대한 의사결정 전략 의미

의사결정 전략	순위 가중치($n=2$)	순위 가중치($n=3$)	Orness
Optimistic	(1, 0)	(1, 0, 0)	1
Moderately Optimistic	(0.750, 0.250)	(0.611, 0.278, 0.111)	0.75
Rather Optimistic	(0.667, 0.333)	(0.500, 0.333, 0.167)	0.67
Neutral	(0.50, 0.50)	(0.333, 0.333, 0.333)	0.5
Rather Pessimistic	(0.333, 0.667)	(0.167, 0.333, 0.500)	0.34
Moderately Pessimistic	(0.250, 0.750)	(0.111, 0.278, 0.611)	0.25
Pessimistic	(0, 1)	(0, 0, 1)	0

- Optimistic Strategy : $w_1 = 1, w_j = 0, j \neq 1$

- Moderately Optimistic Strategy : $w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}$

- Rather Optimistic Strategy : $w_i = \frac{2(n+1-i)}{n(n+1)}$
- Neutral Strategy : $w_i = \frac{1}{n}$
- Rather Pessimistic Strategy : $w_i = \frac{2i}{n(n+1)}$
- Moderately Pessimistic Strategy : $w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^i \frac{1}{(n-j+1)}$
- Pessimistic Strategy : $w_n = 1, w_j = 0, j \neq n$

2단계 입지 선정 평가항목이 8개 이므로 위 계산식에 $n=8$ 을 적용시켜 다음의 순위 가중치 값을 계산하였다.

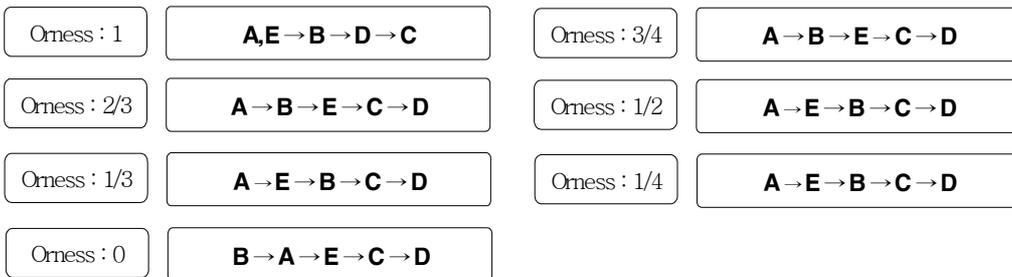
<표 5-15> $n=8$ 에 대한 가중치 행렬

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3/4	0.3397	0.2147	0.1522	0.1106	0.0793	0.0543	0.0335	0.0156
2/3	0.2222	0.1944	0.1667	0.1389	0.1111	0.0833	0.0556	0.0278
1/2	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
1/3	0.0278	0.0556	0.0833	0.1111	0.1389	0.1667	0.1944	0.2222
1/4	0.0156	0.0335	0.0543	0.0793	0.1106	0.1522	0.2147	0.3397
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

<표 5-13>의 입지후보지 평가 값에 <표 5-15>의 순위 가중치 값을 적용하여 <표 5-16>의 최종 결과 값을 도출하였다.

<표 5-16> 순위가중치 평균법을 적용한 대기정박지 평가결과

	OWA Orness						
	1	3/4	2/3	1/2	1/3	1/4	0
A지점	0.03247	0.03220	0.03152	0.02932	0.02712	0.02535	0.01627
B지점	0.03212	0.03187	0.03016	0.02595	0.02173	0.02036	0.02006
C지점	0.01583	0.02370	0.02390	0.02186	0.01983	0.01814	0.01013
D지점	0.01781	0.02277	0.02303	0.01994	0.01685	0.01353	0.00212
E지점	0.03247	0.03170	0.03011	0.02622	0.02232	0.02041	0.01395



<그림 5-27> 대기정박지 후보지 순위결과

5.4.5 요약정리

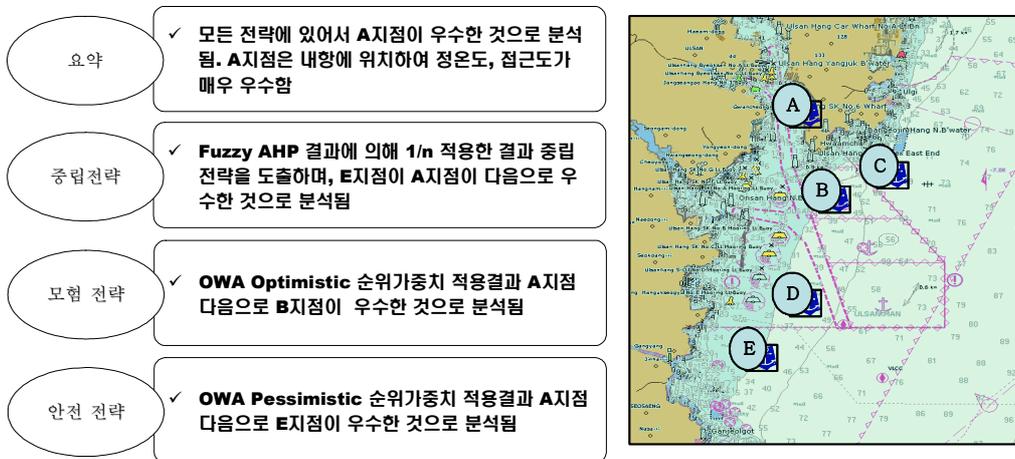
가중치 평가 결과로 전문가 설문에 따른 Fuzzy AHP 계산 값에 따라 1단계에 해당되는 요인 중 안전요인이 가장 중요하며, 해상교통요인, 환경요인 순으로 분석되었으며, 2단계 요인에서 안전한 정박 및 조선의 용이의 가중치는 균등하고, 수심, 저질에 비해 항만정온도에 대한 가중치가 높게 분석되었다. 또한 항만시설 적합도, 혼잡도에 비해 접근도(경제성)의 가중치가 높은 것으로 분석되었다.

후보지 평가결과로 A지점은 내항에 위치하여 항만 정온도, 접근도, 혼잡도에 있어서 매우 유리하여 다양한 전략 중에서도 순위가 높으며, B지점은 항만 시설 적합

도가 높으나 수심, 항만 정온도, 혼잡도에서 평가 결과가 낮은 것으로 분석되었다. 또한 C지점, D지점은 대체로 모든 항목에서 평가 결과가 낮았으며, E지점은 대체로 우수하며 혼잡도, 조선의 용이 부분이 높은 것으로 분석되었다.

의사결정자가 모험적인 전략을 구사할 경우 일부 항목에서 가중치 및 평가 값이 높은 B지점이 우수하며, 안전한 전략을 구사할 경우 전체적으로 고루 안정된 E지점이 우수한 것으로 분석되었다.

항만시설 입지 결정은 해상 교통안전과 교통흐름에 중요한 영향을 미치므로 안전성이 강조되며, 본 연구의 대기정박지 입지선정 요인의 가중치 평가에 있어서도 알 수 있었다. 결과로 대기정박지의 입지 선정에 따른 의사결정자의 전략은 최대화 전략 보다는 최소화, 즉 안전한 전략 구사가 요구되며 순위가중치 평균법에서 Orness 값 1/3, 1/4에 해당되는 전략구사가 필요한 것으로 판단되며, E 지점이 울산항 중소형 선박을 위한 대기정박지 입지에 가장 적합한 지역으로 사료된다.



<그림 5-28> 울산항 중소형선박 대기정박지 입지평가 결과

제 6 장 결 론

6.1 연구결과 정리

해상교통은 사고가 발생하면 외부로부터 도움을 받기가 힘들어 사고가 대형화하기 쉬운 특징을 가지고 있기 때문에 미리 사고를 예방할 수 있는 안전관리가 필수적이다. 해상교통과 밀접하게 관계있는 항만시설에는 안전한 해상교통을 지원하기 위한 다양한 항만시설이 있으며, 항만 시설의 운영 및 배치가 중요한 문제로 인식되어 왔다. 해상교통시스템에서 항만시설의 입지선정에는 전문가의 의견이나 안전성에 한정된 시뮬레이션 결과가 활용되어 왔다. 이러한 방법은 항만시설의 입지결정에 영향을 미치는 입지요인을 충분히 반영하지 못하였으며, 이러한 요인들을 통합적으로 처리하여 과학적이며 객관적인 해를 확보할 수 있는 기법이 제시되지 못했다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 우리나라에서 경제적, 지리적으로 중요한 울산항의 중소형 대기정박지 선정을 위해 공간 기법 및 가중치 산정, 결합법을 이용하여 입지 평가를 수행하였다.

대상 지역인 울산항의 중소형선박 대기정박지 M1~M7은 묘박 선박이 집중하여 대단히 혼잡하며, 적정허용 척수를 초과 정박하여 위험이 따르고 있다. 또한 온산항을 입항하는 선박으로 인해 해상 교통량이 증가하고, 항로를 횡단하는 선박이 조선수역이 협소한 항내를 이동함으로써 사고 위험성이 증가되므로, 대기정박지 확장에 대한 지적이 있어왔다. 본 연구에서는 전자해도 등 GIS 데이터를 이용한 공간분석을 통해 대기정박지 후보지를 선정하였고, 전문가를 상대로 수행한 설문 결과를 토대로 가중치 평가기법인 Fuzzy AHP법을 이용하여 대기정박지 입지선정 가중치를 도출하고 후보지 평가를 수행하였다. 또한 의사결정 전략에 따른 의사결정의 탄력성을 높이기 위해, 순위가중치 평균법을 적용하여 최대화 전략에서 최소화 전략에 이르는 대기정박지 입지평가 결과치를 분석하였다. 의사결정 규칙 관점에서 Fuzzy AHP 가중치 및 평가치 종합결과는 중립적인 관점으로서 A지점-E지점-B지점-C지점-D지점 순위 결과를 도출하였고, 여기에 순위가중치평균법의 최대화 전략

적용 결과 A지점 다음으로 B지점이 우수한 것으로 분석되었으며, 최소화 전략 적용 결과 A지점 다음으로 E지점이 우수한 것으로 분석되었다. 모든 전략에 있어서 A지점이 우수한 것으로 분석되었는데, 그 이유는 A지점은 내항에 위치하여 정온도, 접근도가 매우 우수하기 때문인 것으로 사료된다.

항만시설 입지 결정은 해상 교통안전과 교통흐름에 중요한 영향을 미치므로 안전성이 강조되며, 본 연구의 대기정박지 입지선정 요인의 가중치 평가에 있어서도 알 수 있었다. 결과로 대기정박지의 입지 선정에 따른 의사결정자의 전략은 최대화 전략 보다는 최소화, 즉 안전한 전략 구사가 요구되며 순위가중치 평균법에서 Orness 값 1/3, 1/4에 해당되는 전략구사가 필요한 것으로 판단되며, E 지점이 울산항 중소형 선박을 위한 대기정박지 입지에 가장 적합한 지역으로 사료된다.

6.2 연구의 특징 및 한계점

본 연구의 특징으로 첫째, 항만시설의 입지 분석에 국가에서 관리하고 인증하는 전자해도 자료를 사용하였는데, 전자해도에 포함된 수심이나 저질 항만시설물의 위치 등은 시설물의 입지 결정에 매우 중요한 자료가 되었다. 둘째는 대기정박지 입지요인의 가중치 산정을 들 수 있는데, 퍼지 AHP법을 사용하여 대기정박지 입지요인에 대한 설문조사를 거쳐 그 결과를 토대로 각 요인별 가중치를 계산하였다. 셋째로 순위가중치법을 이용한 의사전략의 결합 방법으로 의사결정자의 의사전략 별 입지 후보지를 결정할 수 있는 기법을 구현하였다.

본 연구가 지닌 한계점으로는 전통적으로 내려오는 입지모형들이 채택한 경제적인 요인들을 고려하지 못하고, 설문지의 결과와 지리적인 특성을 지닌 변수들을 주된 요인으로 삼고 있다는 점이다. 변수선정에 있어서 타당성을 검증받지 못하고 기준에 문헌 분석을 통해 채택한 결과 최적의 입지 후보지를 발견하는데 문제점을 드러내었다. 또한 울산항의 중소형 선박에 대한 교통흐름 자료 분석이 미흡하여 보다 실제적인 자료가 반영되지 못하였다.

따라서 본 연구에서 미비한 것으로 나타난 입지요인들을 다양한 각도에서 확보하고 채택가능성 및 정확성 여부를 면밀히 파악하여야 하며, 입지선정의 목적을 구체적으로 제시하기 위한 관련 자료를 다방면에서 취득하여야 한다.

조선기술과 항만의 발달로 해상교통시스템이 고속화, 거대화되기 때문에 항만시설물의 입지문제에 대처하기 위해서는 입력정보의 정확성 확보와 모의과정의 효율적 적용이 매우 중요하게 거론되고 있기 때문에, 이에 대한 해결책으로 전문가 시스템의 구성방안이 필요하게 되었으며, 이를 GIS 및 다기준 의사결정모형과 접목시키면 보다 가치가 높은 대안이 도출될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Alexandra Gemitzi 외 4인(2007), Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills, *Environ Geology* 51, pp797-811
2. C.K. Makropoulos, D. Butler(2006), Multi-criteria decision-making approach with incomplete certain information based on ternary AHP, *Environmental Modelling & Software* 21, pp69-84.
3. Claus Rinner, Jacek Malczewski(2002), Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA), *Journal of Geographical Systems* 4, pp385-403
4. Eddie W.L. Cheng, Heng Li, Ling Yu, A GIS approach to shopping mall location selection, *Building and Environment* 42, pp884-892
5. F.Tunc Bozbura, Ahmet Beskese, Cengiz Kahraman(2007), Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications* 32, pp1100-1112
6. F.Chiclana 외 3인(2006), Some induced ordered weighted averaging operators and their use for solving group decision-making problems based on fuzzy preference relations, *European Journal of Operational Research*.
7. Gleb Beliakov(2005), Learning Weights in the Generalized OWA Operators, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 4, pp119-130.
8. Janos Foder, Jean-Luc Marichal, Marc Roubens(1995), Characterization of the ordered weighted averaging operators, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol 3, Vo. 2
9. J.R.Chang, T.H.Ho, C.H.Cheng, A.P.Chen(2006), Dynamic fuzzy OWA model for group multiple criteria decision making, *Soft Comput* 10, pp543-554
10. Jacek Malczewski(2006), Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers:

- GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, pp270–277.
11. Jacek Malczewski(2004), GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in Planning* 62, pp3–65.
 12. M.Teresa Lamata(2004), Ranking of Alternatives with Ordered Weighted Averaging Operators, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 19, pp473–482.
 13. M.Weck, F.Klocke, H.Schell(1997), Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method, *European Journal of Operational Research* 100, pp351–366
 14. M.C.Lopez-de-los-Mozos 외2인(2006), A generalized model of equality measures in network location problems, *Computers & Operations research*
 15. Robert Fuller, Peter Majlender(2001), An analytic approach for obtaining maximal entropy OWA operator weights, *Fuzzy sets and systems* 124, pp53–57.
 16. Robert Fuller, Peter Majlender(2003), On obtaining minimal variability OWA operator weights, *Fuzzy sets and systems* 136, pp203–215.
 17. Ronald R. Yager(1999), Induced Ordered Weighted Averaging Operators, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 29, No. 2.
 18. R.J.Kuo, S.C.Chi(1999), A decision support system for locating convenience store through fuzzy AHP, *Computers & Industrial engineering* 37, pp323–326.
 19. S.L.tung, S.L.Tang(1998), A comparison of the Saaty's AHP and modified AHP for right and left eigenvector inconsistency, *European journal of operational research* 106, pp123–128
 20. Ying-Ming Wang 외1인(2005), A minimax disparity approach for obtaining OWA operator weights, *Information Sciences* 175, pp20–29

21. Ze-Shui Xu, Jian Chen(2007), An interactive method for fuzzy multiple attribute group decision making, Information Sciences 177, pp248-263.
22. 구재중(2000), 의사결정요인분석에 의한 대형유통할인매장의 입지선정에 관한 연구, 광주대학교 석사학위논문
23. 김건호(2004), 계층퍼지분석법을 이용한 시내버스 서비스 평가에 관한 연구, 전북대학교 석사학위논문
24. 김우관, 김영훈(2000), 지리정보시스템의 한계와 새로운 공간분석기법의 개발, 지리학연구 20호, pp1-20
25. 김태준(2006), GIS기반 AHP기법을 적용한 작물 재배 적지분석에 관한 연구, 전남대학교 박사학위논문
26. 남광우(1998), 퍼지집합개념과 AHP를 이용한 GIS 환경에서의 공간의사결정에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문
27. 목포해양대학교(2005), 울산항 인근해역 해상교통환경평가 연구 용역, 해양수산부
28. 박영돈(2006), 부산항 대기정박지 (N-ANCHORAGE) 이용 선박의 통항 안전성 확보 방안 연구, 한국해양대학교 석사학위논문
29. 박건호(2007), 부산 북항 O-2 정박지의 운영 개선방안에 관한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문
30. 송인성(1999), 퍼지집합에 기반한 GIS 적지분석에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문
31. 성정경(2005), 부산신항만 항로배치에 관한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문
32. (사)한국항만협회, 해양수산부 제정 항만 및 어항 설계기준(상권), pp637-652 2000.
33. 이희연(1996), GIS의 공간분석기법을 활용한 서비스업의 입지분석, 응용지리, 제 19호, pp.64-89
34. 윤영봉(2006), 폐기물 매립지 적지선정을 위한 평가방법 개발, 동아대학교 박사학위논문
35. 안병석(2006), 순위가 있는 가중치 평균 방법에서 일정한 수준의 결합력을 갖는

가중치 함수의 성질 및 다기준의사결정 문제에의 활용, 경영정보학연구 제16권 제1호

36. 이희연(2003), GIS 지리정보학, 법문사
37. 이재하, 이지영(2000), GIS에 의한 택지개발 적지분석 모형 설정, 지리학연구 20호, pp71-83
38. 조재영(2001), GIS기반에서의 다기준 의사결정모형을 이용한 입지분석에 관한 연구(GB내 공원입지 선정), 경상대학교 석사학위논문
39. 정지안(1999), 다기준의사결정의 가중치도출방법 선정을 위한 평가기준과 절차의 개발, 동국대학교 박사학위논문
40. 최도석(2004), 계층퍼지분석법을 이용한 크루즈 터미널 입지 및 운항코스 선정, 동아대학교 박사학위논문
41. 한국해양연구원(2007), 대산항 S-Oil 부두 설계 선박통항 안전성 평가 시뮬레이션 최종보고서, (주)세일종합기술공사
42. 한국해양연구원(2007), SK 원유하역시설 이설사업 설계용역 선박조종시뮬레이션 보고서, SK 건설주식회사

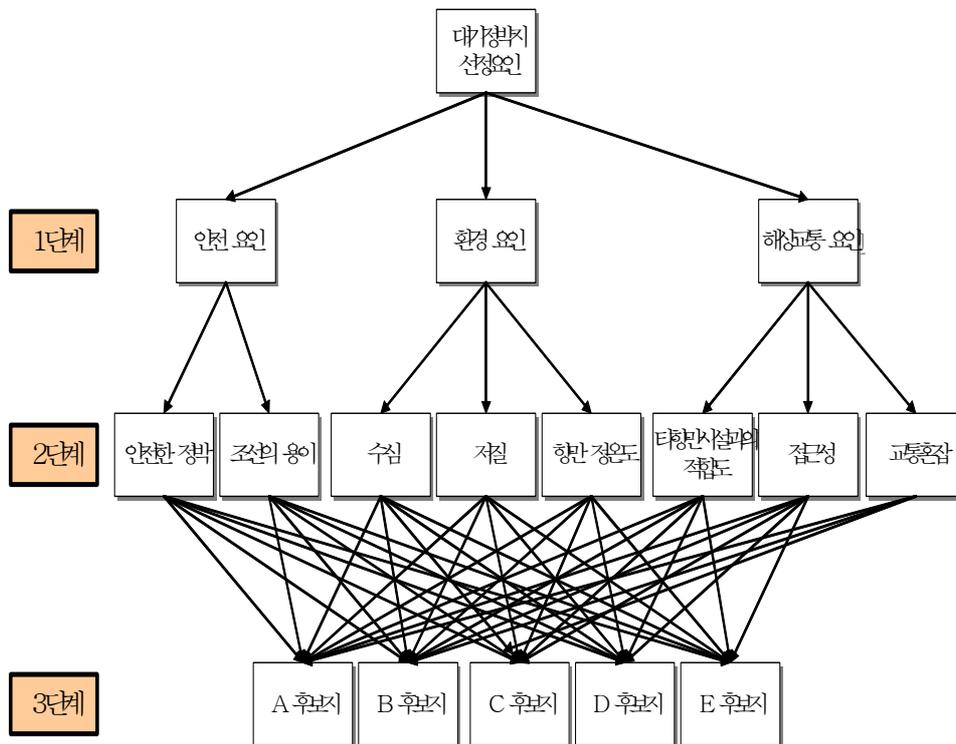
해상교통시스템 중 중소형선 대기정박지의 위치 선정 요인의 중요도와
 울산항의 중소형선 대기정박지 입지평가를 하고자 하오니 협조
 부탁드립니다.

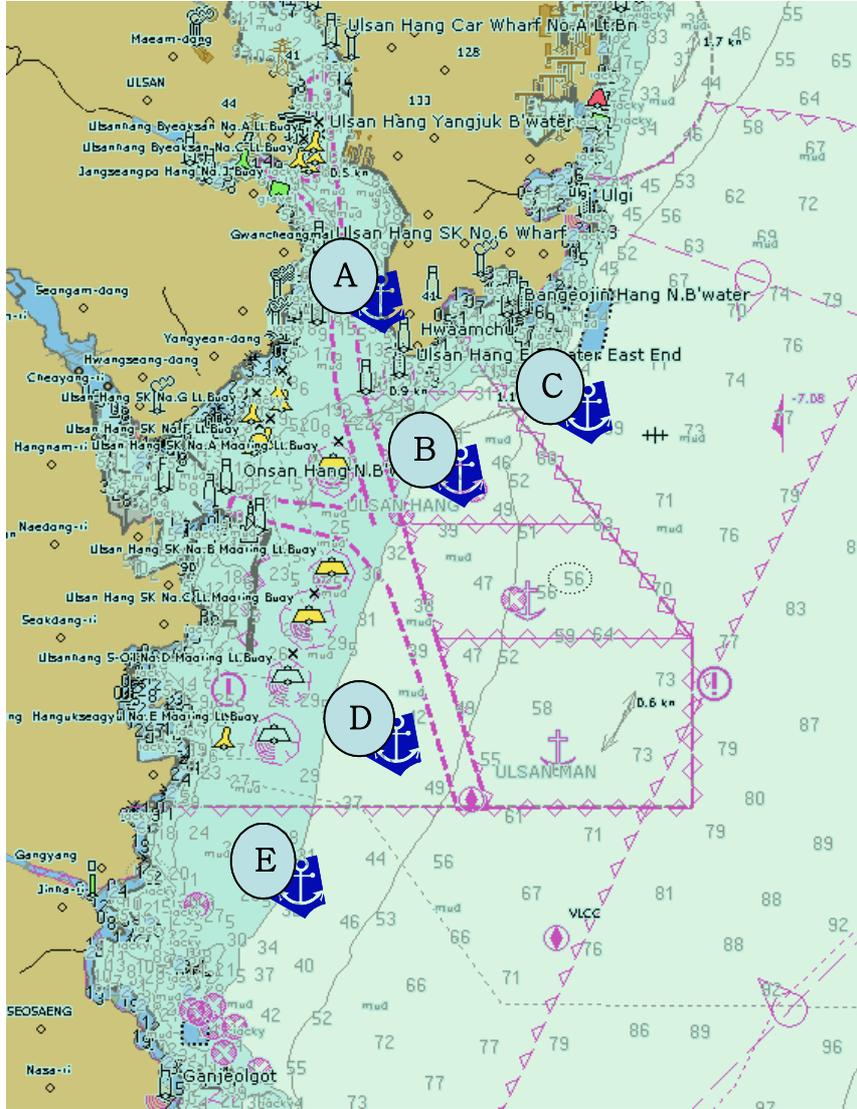
성함		근무처	
직책		승선경력	년차

<평가방법>

- 1단계 : 각 요인 간에 중요도를 평가해 주세요.
- 2단계 : 각 요인 간에 중요도를 평가해 주세요.
- 3단계 : 2단계 요인에 대해 대기정박지 후보지의 우선도를 평가해 주세요.

[정박지 선정요인 계층구조 분석]





[대기정박지 예상 위치도]

□ 1단계 평가

Q1-1. 안전요인과 환경요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

Q1-2. 안전요인과 해상교통요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q1-1.	안전 요인												환경 요인
Q1-2.	안전 요인												해상교통 요인

Q1-3. 환경요인과 해상교통요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q1-3.	환경 요인												해상교통 요인

□ 2단계 평가

Q2-1. 안전한 정박 요인과 조선의 용이 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-1.	안전한 정박												조선의 용이

Q2-2. 수심 요인과 저질 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

Q2-3. 수심 요인과 항만 정온도 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-2.	수심												저질
Q2-3.	수심												항만 정온도

Q2-4. 저질 요인과 항만 정온도 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-4.	저질												항만 정온도

Q2-5. 타항만시설과의 적합도 요인과 접근도 용이 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

Q2-6. 타항만시설과의 적합도 요인과 혼잡도 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-5.	타항만시설 과의 적합도												항만관계 서비스 용이
Q2-6.	타항만시설 과의 적합도												정박지 항과

Q2-7. 접근도 용이 요인과 혼잡도 요인을 비교할 때 그 중요도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 중요	매우 중요	많이 중요	보통 중요	조금 중요	동일	조금 중요	보통 중요	많이 중요	매우 중요	절대 중요	요인
Q2-7.	항만관계 서비스 용이												정박지 항과

□ 3단계 평가

[안전한 정박]

Q3-1. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-2. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-3. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-4. 안전한 정박 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-1.	A후보자												B후보자
Q3-2.	A후보자												C후보자
Q3-3.	A후보자												D후보자
Q3-4.	A후보자												E후보자

Q3-5. 안전한 정박 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-6. 안전한 정박 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-7. 안전한 정박 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-5.	B후보자												C후보자
Q3-6.	B후보자												D후보자
Q3-7.	B후보자												E후보자

Q3-8. 안전한 정박 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-9. 안전한 정박 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-8.	C후보지												D후보지
Q3-9.	C후보지												E후보지

Q3-10. 안전한 정박 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-10.	D후보지												E후보지

[조선의 용이]

Q3-11. 조선의 용이 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-12. 조선의 용이 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-13. 조선의 용이 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-14. 조선의 용이 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-11.	A후보지												B후보지
Q3-12.	A후보지												C후보지
Q3-13.	A후보지												D후보지
Q3-14.	A후보지												E후보지

Q3-15. 조선의 용이 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-16. 조선의 용이 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-17. 조선의 용이 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-15.	B후보자												C후보자
Q3-16.	B후보자												D후보자
Q3-17.	B후보자												E후보자

Q3-18. 조선의 용이 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-19. 조선의 용이 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-18.	C후보자												D후보자
Q3-19.	C후보자												E후보자

Q3-20. 조선의 용이 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-20.	D후보자												E후보자

[수심]

Q3-21. 수심 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-22. 수심 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-23. 수심 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-24. 수심 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-21.	A후보지												B후보지
Q3-22.	A후보지												C후보지
Q3-23.	A후보지												D후보지
Q3-24.	A후보지												E후보지

Q3-25. 수심 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-26. 수심 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-27. 수심 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-25.	B후보지												C후보지
Q3-26.	B후보지												D후보지
Q3-27.	B후보지												E후보지

Q3-28. 수심 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-29. 수심 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-28.	C후보지												D후보지
Q3-29.	C후보지												E후보지

Q3-30. 수심 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-30.	D후보자												E후보자

[저질]

Q3-31. 저질 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-32. 저질 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-33. 저질 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-34. 저질 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-31.	A후보자												B후보자
Q3-32.	A후보자												C후보자
Q3-33.	A후보자												D후보자
Q3-34.	A후보자												E후보자

Q3-35. 저질 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-36. 저질 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-37. 저질 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-35.	B후보자												C후보자
Q3-36.	B후보자												D후보자
Q3-37.	B후보자												E후보자

Q3-38. 저질 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-39. 저질 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-38.	C후보자												D후보자
Q3-39.	C후보자												E후보자

Q3-40. 저질 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-40.	D후보자												E후보자

[항만 정온도]

Q3-41. 항만 정온도 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-42. 항만 정온도 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-43. 항만 정온도 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-44. 항만 정온도 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-41.	A후보자												B후보자
Q3-42.	A후보자												C후보자
Q3-43.	A후보자												D후보자
Q3-44.	A후보자												E후보자

Q3-45. 항만 정온도 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

Q3-46. 항만 정온도 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

Q3-47. 항만 정온도 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-45.	B후보자												C후보자
Q3-46.	B후보자												D후보자
Q3-47.	B후보자												E후보자

Q3-48. 항만 정온도 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

Q3-49. 항만 정온도 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-48.	C후보자												D후보자
Q3-49.	C후보자												E후보자

Q3-50. 항만 정온도 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠한가요?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-50.	D후보자												E후보자

[타항만시설과의 적합도]

Q3-51. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-52. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-53. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-54. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-51.	A후보지												B후보지
Q3-52.	A후보지												C후보지
Q3-53.	A후보지												D후보지
Q3-54.	A후보지												E후보지

Q3-55. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-56. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-57. 타항만시설과의 적합도 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-55.	B후보지												C후보지
Q3-56.	B후보지												D후보지
Q3-57.	B후보지												E후보지

Q3-58. 타향만시설과의 적합도 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-59. 타향만시설과의 적합도 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-58.	C후보지												D후보지
Q3-59.	C후보지												E후보지

Q3-60. 타향만시설과의 적합도 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-60.	D후보지												E후보지

[접근도 용이]

Q3-61. 접근도 용이 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-62. 접근도 용이 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-63. 접근도 용이 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-64. 접근도 용이 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-61.	A후보지												B후보지
Q3-62.	A후보지												C후보지
Q3-63.	A후보지												D후보지
Q3-64.	A후보지												E후보지

Q3-65. 접근도 용이 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-66. 접근도 용이 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-67. 접근도 용이 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-65.	B후보지												C후보지
Q3-66.	B후보지												D후보지
Q3-67.	B후보지												E후보지

Q3-68. 접근도 용이 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-69. 접근도 용이 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-68.	C후보자												D후보자
Q3-69.	C후보자												E후보자

Q3-70. 접근도 용이 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-70.	D후보자												E후보자

[혼잡도]

Q3-71. 혼잡도 요인에 있어서 A후보지와 B후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-72. 혼잡도 요인에 있어서 A후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-73. 혼잡도 요인에 있어서 A후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

Q3-74. 혼잡도 요인에 있어서 A후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-71.	A후보자												B후보자
Q3-72.	A후보자												C후보자
Q3-73.	A후보자												D후보자
Q3-74.	A후보자												E후보자

- Q3-75. 혼잡도 요인에 있어서 B후보지와 C후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?
 Q3-76. 혼잡도 요인에 있어서 B후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?
 Q3-77. 혼잡도 요인에 있어서 B후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-75.	B후보지												C후보지
Q3-76.	B후보지												D후보지
Q3-77.	B후보지												E후보지

- Q3-78. 혼잡도 요인에 있어서 C후보지와 D후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?
 Q3-79. 혼잡도 요인에 있어서 C후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-78.	C후보지												D후보지
Q3-79.	C후보지												E후보지

- Q3-80. 혼잡도 요인에 있어서 D후보지와 E후보지를 비교할 때 그 우선도는 어떠합니까?

질문	요인	절대 우선	매우 우선	많이 우선	보통 우선	조금 우선	동일	조금 우선	보통 우선	많이 우선	매우 우선	절대 우선	요인
Q3-80.	D후보지												E후보지

※ 설문에 응해주셔서 감사합니다.

감사의 글

대학원 공부를 시작한지 올해로 9년째입니다. 그간의 생활은 저에게 학문뿐만 아니라 앞으로 제가 살아갈 수 있는 지혜와 방법을 갖게 한 소중한 시간이었다고 생각합니다. 특히, 박사과정 기간 동안 대전에서 근무하며, 업무와 학문을 병행해야 하는 어려움이 있었습디만, 많은 분들의 도움으로 무사히 마침표를 찍게 되어, 기쁜 마음보다는 은인들에게 고맙다는 마음이 앞섭니다.

학부시절 시작한 실험실 생활에서부터 저의 작은 능력 인정해 주시고, 깊이를 알 수 없는 철학으로 항상 제자를 일깨워 주셨던 이철영 지도 교수님의 은혜를 평생 잊을 수 없습니다. 그리고 연구소의 막중한 업무 가운데서도 회사의 팀장 보다는 인생의 선배로서 옳은 길을 알려주시고 따뜻하게 보살피 주신 서상현 박사님께 깊이 감사드립니다. 또한, 바쁘신 와중에도 세심한 심사와 조언을 해주신 광규석 교수님, 구자윤 교수님, 박진수 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

저는 대학원과 연구소 생활을 통해 많은 은인들을 만날 수 있었습니다. 먼저 연구뿐만 아니라 사회생활에서 본받고 싶은 여기태 교수님, 이홍걸 교수님, 이재원 선배님, 그리고 도움 많이 준 동기 류형근, 김태원, 훌륭한 시그마 선배님들께 감사드립니다. 그리고, 연구소 저의 사수로서, 친동생처럼 대해 주시면서, 사회생활과 인생살이의 안목을 길러주신 박종민 선임연구원님께 깊이 감사 드리구요, 회사 업무 중에도 논문에 힘쓸 수 있게 도움을 주셨던 우리팀 이상지 박사님, 박상현 박사님, 조득재 박사님, 서기열 박사님, 최진규 연구원, 박한산 연구원, 장원석 연구원에게 깊이 감사드립니다. 또한, 마치 친형제 같이 서로의 일 도와주는 조석규형, 양영훈, 김갑수 등 기숙사 멤버에게 감사드리며, 대전으로 온 이후 좋은 추억과 기쁨을 나누었던 대전충남 베누스토 단원들과 마정민에게도 감사의 마음을 전합니다. 마지막으로 지금까지 공부할 수 있도록 멀리 부산에서 물심양면으로 지원해 주시고, 언제나 아들 걱정 해주시는 부모님께 진심으로 감사드리고, 항상 수원에서 응원해 주는 형과 예비 형수와도 기쁨을 나누고 싶습니다.

그동안 쌓아두었던 무거운 짐을 벗었으나 시원섭섭하네요. 이번 졸업논문 준비는 어려운 난관을 헤쳐 나갈 수 있는 용기와 힘을 주었습니다. 앞으로 졸업논문 준비하던 그해 겨울을 기억하며 정진하려 합니다.