

# 다수목표 어선단 구성모형에 관한 연구

어 윤 양\*

## Multiobjective Optimization of Fishing Fleet

-The interactive tolerance approach

Eh, Youn Yang

목 차	
I. 문제의 제기	1) 이론적 배경과 알고리즘
II. 선단구성을 위한 다수목표 의사결정모형의 구축	2) 모형 구축과 그 결과
1. 선단구성 문제의 성격	III. 결론 및 앞으로의 연구
2. 일반적 선단구성 MOLP모형	
3. 대화형 허용공차법의 개발과 그 적용	

### I. 문제의 제기

우리나라의 연근해어업은 1960년대 초부터 시작된 경제개발계획으로 인한 투자증가와 어로 장비의 발달에 따른 어로기술의 개발, 어선규모의 증가, 이용어장의 확대 등에 힘입어 어획량의 꾸준한 증가를 거듭하여 왔으나 근래에 들어와 여러가지 어려움에 직면하고 있다. <표 1>을 보면 1975년부터 1980년까지는 어선척수가 43,517척에서 41,874척으로 감소되고, 총톤수는 약 25만2천톤에서 37만9천톤으로 약 1.5배가 증대되었으나, 어획량은 약 120만8천 M/T에서 137만M/T으로 5년사이에 약 1.1배밖에 증가하지 않았다. 또 1980년부터 1987년 사이에는 어선척수가 41,874척에서 53,358척으로 약 1.3배, 총톤수는 약 37만9천톤에서 45만2천톤으로 약 1.2배가 증대되었으나 어획량은 1986년 약 172만6천M/T을 기록한 것을 제외하고는 1981년 약 150만M/T을 초과한 후, 증가되지 않고 답보상태에 머물고 있다. 이러한 것으로 미루어 볼 때, 어선의 척수와 크기를 증대시켜 어획능력을 향상시킨다 하더라도 어획량의 증가는 기대하기 어렵다는 사실을 미루어 짐작할 수 있다. 뿐만 아니라 각 연근해 어업별 적정어획량에 관련된 조사자료에 따르면 <표 2>에서 나타난 바와 같이 모든 어업이 적정어획량을 넘어 조업하고 있음을 살펴볼 수 있다. 이와 같이 자원의 남획과 어획량의 감소가 발생하게 된 중요한 원인은 관련어업에의 과도한 자원과 노동력의 투자를 지적할 수 있으며, 이에 따른 적당어획량의 감소때문에 어선의 수익성 확보가 어려운 실정이다. 이로부터

\*釜山水産大學校 社會科學大學 水産經營學科 助教授

터 적정어획강도를 유지하기 위한 어획능력을 적정하게 보유하는 것은 자원보호의 관점에서 뿐만 아니라 사회경제적 관점에서도 중요함을 알 수 있다.

〈표 1〉 연근해 어업의 연도별 어선세력과 생산량 동향

연도별	1970	1975	1980	1985	1987
척수(척)	49,781	43,517	41,874	50,457	53,358
톤수(1000ton)	245,700	252,100	379,300	434,500	452,300
생산량(M/T)	522.5	859.4	1,037.9	1,153.2	1,178.5

\* 자료: 부산수산대학 해양과학연구소, 어업별 어선의 선복량 기준에 관한 연구, 1990. 2, p. 69.

〈표 2〉 업종별 자원평가

어업	적정어획강도의 평가*
연근해어업전체	57-83%
대형선망	65-91
동해구기선저인망	75-82
대형기선저인망쌍끌이	49-63
대형기선저인망외끌이	58-78
근해안강망	44-69
근해통발	74-81
기선권현망	74
서남구기선저인망쌍끌이	71-79
서남구기선저인망외끌이	56-74
근해유자망	61-91
대형트롤	33-87
동해구트롤	68-77
근해채낚기	88-97

\* (현어획강도/적정어획강도) × 100

\* 자료: 수산진흥원

제도적으로 적정한 어획능력을 유지하기 위하여 수산자원보호령(1970. 6.11. 대통령령 제 5027호, 개정 82. 11.13. 대통령령 제10945호)에서는 허가의 정한수를 정하여 대형기선저인망어업, 중형기선저인망어업, 근해트롤어업, 기선선인망어업(기선권현망어업), 잠수기어업, 근해안강망어업, 근해유자망어업, 기선형망어업, 기선선망어업(대형선망어업), 근해통발어업의 허가를 정한수의 제한을 받도록 하고 있고, 어업허가에 관한 규칙(1985. 3. 2. 농수산부령 제927호)에서는 근해구역을 주요업구역으로 하는 허가어업의 명칭과 어선의 규모를 수산청장이 정하여 허가하도록 하고 있으며, 어업별 어선의 선복량기준등에 관한 고시(87. 7.14. 수산청 고시 제87-7호)에서는 연근해 어업별 어선의 선복량기준을 정하고 연근해 어선의 건조 및 개조 발주허가와 선복량 허용범위를 규제하고 있다. 그러나 이러한 제도적인 조치에도 불구하고 현행어업의 어선세력은 수산자원보호령에서 정한 허가의 정한수와 선복량기준을 초과하고 있는 업종이 많다. 이에 따라 선복량을 규제하기 위하여 선복량기준고시에서는 선복량기준과 정한수 초과어업의 어선에 대하여 피해복구 및 노후선 대체시 정부지원대상

에서 제외하고, 자가건조시에도 피대체선의 톤수(2척이상을 1척으로 건조하는 경우에는 그 합계톤수)이내에서 건조를 허용할 뿐, 증톤을 위한 건조 및 개조 발주허가는 불허하도록 되어 있다. 따라서 업종별로 감척되지 않으면 선복량을 감소시키는 것이 불가능한데 감척의 조정은 잘 되지않고 있다. 업종에 따라서는 감척조정의 어려움 때문에 소형 노후선의 대체가 부진하여 자원의 고갈에 기인한 어장의 원격화에 따라 해난사고의 원인이 증대되고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

(표 3) 해역 및 톤급별 연간 해난사고

구 분		발생척수	미구조척수	인명피해인원
계		241(100)	71(100)	185(100)
해역별	동해	31(13)	10(15)	52(28)
	서해	74(30)	22(31)	59(32)
	남해	111(46)	36(51)	69(37)
	동지나해	24(10)	2(2)	5(3)
	대화퇴	1(1)	1(1)	—
톤급별	10톤미만	45(19)	20(28)	49(27)
	10~50톤	82(34)	26(36)	37(20)
	50~100톤	93(38)	18(26)	73(39)
	100톤 이상	21(9)	7(10)	26(14)

\* 자료 : 한국수산회, 수산연감, 1988.

이상과 같은 어업자원유지와 자본의 효과적 투자를 위하여 감톤의 필요성이 증대되고 있는데 반하여, 선복량규제에 따른 노후선 대체의 부진과 자원의 고갈에 따른 어장의 원격화에 기인한 해난사고의 증대, 소득의 향상과 사회민주화에 기인한 선원들의 거주 환경개선 요구, 원해어장에서의 국제적 어업경쟁력 강화의 필요성 등의 요인은 어선의 대형화와 시설의 현대화 즉, 어선의 증톤의 필요성을 노정하고 있는 실정이다. 따라서 수산업계에서 당면과제로 제기되고 있는 자원보호의 문제와 선원들의 노동생활질의 제고문제, 업종의 수익성 제고문제 등 서로 관련된 연관문제들을 잘 조정하여 합리적으로 어선의 선복량과 어선규모, 그리고 규모별 적정척수를 결정하여야 한다는 것은 공공정책의 관점에서 실로 중요하다고 하지 않을 수 없을 것이다.

그러나 제기된 적정한 어획능력유지에 관련된 의사결정문제는 자원보호의 목표, 경제적 목표(자원의 효율적 이용 목적), 선원들의 생활환경목표(선원고용의 문제, 작업조건 향상), 어선의 안정성 목표 등과 같은 다수개의 서로 상충된 목표들이 포함되어 있는 문제이므로, 이와 같은 다수목표 의사결정문제를 단일목표모형과 같은 고전적 방법으로 해결하고자 하는 것은 모형과 현실간의 괴리때문에 효율적이지 못할 것으로 생각된다. 작금에 가장 유용한 다수목표 의사결정방법으로 인정받는 방법중의 하나인 목표계획법도 문제의 성격이 의사결정과정

1) 이 사고선박중에서 대형선박의 경우에는 대부분이 선령 20년 이상된 노후선박이었으며, 원해어장을 가진 남해역에서 가장 많은 사고가 발생하였다.

상에서 제 이해관계자들의 합의와 참여가 있어야 한다는 것을 고려할 때 현실적용의 관점에서 모형의 한계점이 제기된다. 이에 따라 당면문제를 해결하기 위한 의사결정모형의 개발과 의사결정의 효율성을 높이기 위한 방안이 긴급하다고 할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구의 첫번째 목적은 앞에서 제기한 수산업계의 당면과제를 해결하기 위하여 당면현안의 핵심적인 의사결정문제라고 생각되는 어선단 구성에 관련된 다수목표 의사결정문제를 분석하고, 이러한 의사결정문제를 해결하는데 유용할 것으로 생각되는 대화형 공차개념을 이용한 MOLP(Tolerance approach to Multiple Objective Linear Programming)해법을 제시하는 데 있다. 대화형 해법들은 가능해영역 축소방법, 벡터공간 축소방법, 기준원추 축소방법 등 여러가지 방법들이 제시된 바 있으나 기존의 대화형 해법절차들은 의사결정자가 다수일 경우에 이용될 수 있는 성격을 갖고있지 못하고, 또 현실문제에서의 적용을 통한 평가가 이루어지지 않았다.<sup>2)</sup> 뿐만 아니라 기존연구들은 사용자관점에서 해법절차가 개발되지 못하였기 때문에 해법의 적용상의 문제가 매우 크다.<sup>3)</sup>

본 연구의 두번째 목적은 기존연구들의 적용상의 한계점을 보완하기 위하여, 제기된 모형의 해법을 실제의 어선단 구성문제에 적용하여 봄으로써 해법절차의 적용측면과 실제문제의 문제해결적 관점에서 유용성을 제고시키는 데 있다.

## II. 선단구성을 위한 다수목표 의사결정모형의 구축

### 1. 선단구성문제의 성격

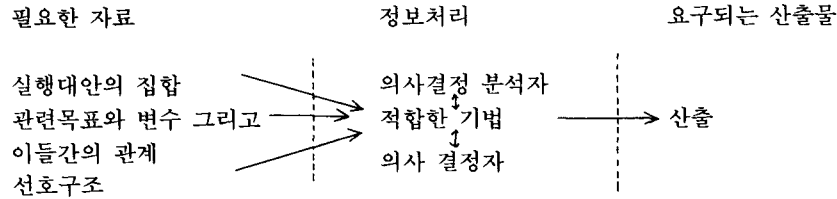
의사결정은 다수개의 대안중에서 의사결정자의 판단기준에 따라 평가하여 최선의 대안을 선택하는 것이라고 할 수 있다. 의사결정시에 가장 어려운 문제중의 하나는 윌래스(Peter Wiles)<sup>4)</sup>가 “문제를 해결하는 것(problem solving)이 아니고 문제를 구축하는 것(problem formulating)이다”라고 지적한 바와 같이 문제를 구축하는 것이라고 할 수 있으며 문제구축은 의사결정대상의 시스템이 복잡할수록 더욱 어려워진다. 이러한 의사결정문제의 성격은 대안을 평가하는 기준이 다수개일 때 더욱 강하여진다. 그러므로 현실에 적합하고 해결가능한 모형을 구축하기 위해서는 문제에 대한 구조적인 분석이 필요하다고 할 수 있다. 다수목표 의사결정 문제에 대한 구조적인 분석을 수행하기 위해서는 먼저 다수목표 의사결정문제의 특성에 관련된 다음 그림과 같은 주요한 요인들의 관계를 분석할 필요가 있다.<sup>5)</sup>

2) Evans G.W., "An overview of techniques for solving MMP," *Management Science*, Vol. 30, No. 11, 1984. 에반스(Evans, G. W.)는 MOLP모형의 실제문제에 대한 적용이 더 큰 과제라고 지적하고 있다.

3) Buchanan J.T. & H.G. Daellenbach, "A comparative evaluation of interactive solution method for multiple objective decision model," *European Journal of Operational Research*, Vol. 29, 1987. 대화형기법의 제 방법들은 스티어(1986)참조.

4) Wiedermann P., "Planning with multiple objectives," *OMEGA*, Vol. 6, 1978, p. 427.

5) Nijkamp P. & J. Spronk, *Multiple Criteria Analysis*, Gower. Enoland. 1981, p. 7.



<그림 1> 의사결정문제의 요인도표

다수목표 의사결정문제의 성격과 관련하여 어선단 구성문제에 관련된 적합한 기법선택과 모형구축에 관련된 요인들 중에서 문제해결의 입장에서 보면 다음과 같은 두가지 요구되는 기법상의 특성을 생각하여 볼 수 있다.<sup>6)</sup>

첫째, 다수의사결정자의 의견을 반영할 수 있어야 한다.

앞절에서 제기한 바 있는 어선단 구성과 같은 공공정책과 관련된 의사결정문제는 이해당사자들이 다수이고 이들의 이해가 상충되는 경우가 많다. 이에 따라 의사결정과정에서 반드시 이해당사자들의 의견이 집약되는 과정이 있어야 한다.<sup>7)</sup> 다수목표 의사결정문제의 모형들에 대한 연구가 많이 진행되었지만 기존에 제시된 연구들은 의사결정과정에서 다수의사결정자의 의견을 반영시키는 방법에 관련된 연구가 없었다.<sup>8)</sup>

둘째, 목표들과 제약조건과의 관계에 대한 구조적 분석이 있어야 한다.

다수목표 의사결정문제의 가장 기본적인 가정은 다수개의 목표가 하나의 목표로 변환이 불가능하다는 것과 목표가 제약조건으로 변환되는 경우가 발생하지 않는다는 것을 들 수 있다. 그러나 이러한 가정에도 불구하고 현실의 문제는 이러한 가정이 만족되지 않는 경우가 많은데 이는 의사결정문제 자체가 본질적으로 엄격하고 독립적인 목표와 제약조건으로 구분 가능하지 못하고 부문간의 역동적인 관계에 의하여 전체가 구성되기 때문이다.<sup>9)</sup> 어선단 구성문제의 경우에서 보면 문제의 성격이 국가경제적 측면과 개별업종 그리고 개별기업의 문제로 서로 연관되어 있기 때문에 이에 대한 분석이 구조적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

문제해결적 관점에서 어선단 구성의 문제는 어선규모별 적정척수에 관련된 문제로 볼 수 있으며 어선규모에 대한 의사결정문제는 어구어법과 밀접한 연관을 맺고있음은 주지의 사실이다. 이러한 의사결정문제의 특성때문에 모든 업종에 적용할 수 있는 어선규모의 유형화를

6) OR/MS의 방법론적이 특성은 슐츠(Scholz, 1984)참조.

7) 문제구축단계에서 의사결정자의 의견을 반영시키는 것도 매우 중요하다. 이에 관련된 논문은 참고문헌 다니엘(D.W. Daniel, 1985)을 참고할 것.

8) 사회적 정치적인 문제에서 누구의 선호가 더욱 중요한가 하는 문제는 매우 중요하다. 왜냐하면 가중치의 조그마한 변화가 문제에 큰 영향을 미치기 때문이다. 다수목표 의사결정문제의 경우 목표간의 가중치를 결정할 때 이러한 문제는 더욱 증폭되는데 이것은 목표들간의 가중치가 목표의 기준척도와 결합하여 영향을 미치기 때문이다. 이에 관한 논문은 와이더만(P. Wiedermann, 1978)을 참조할 것

9) Meredith J. R., "Reconsidering the decision making approach to management," OMEGA, Vol. 12, 1984 pp. 347-352

한다는 것은 현실적 문제의 특성과 기술적 요인을 간과한다는 점에서 문제점이 발생하나 이러한 문제는 연구대상의 범위를 한정함으로써 충분히 극복할 수 있다. 즉 모형구축의 범위를 특정업에 한정하더라도 어선단 구성 의사결정문제의 본질은 변하지 않는다. 어선단 구성문제와 관련된 어선별 규모별 적정척수를 결정하는 의사결정문제는 어업자원 이용과 관련된 다음과 같은 세단계의 계층적 문제의 부분문제(sub problem)로 생각하여 볼 수 있을 것이다.

### (1) 국가적 차원에서 어업자원의 이용과 관련된 의사결정문제

어업자원의 이용에 관련된 의사결정문제와 관리목표는 각국의 경제상태와 경제수준에 따라 상이할 수밖에 없으나 우리나라의 경우 어업자원의 이용을 통하여 얻고자하는 목표는 생산자인 어민의 소득향상과 자원의 최대지속적 생산량 달성이라고 할 수 있다.<sup>10)</sup> 이와 같은 목표는 수산업종에 대한 사회경제적, 생물학적 관점에서의 목표라고 할 수 있으며 이 단계에서의 명확한 목표는 개별업종에 대한 제약적 요인이 된다.<sup>11)</sup>

### (2) 개별업종의 차원에서 어업자원의 이용과 관련된 의사결정문제

개별업종은 전체업종으로부터 수립된 목표를 주어진 환경적 제약요인으로 받아들이고 개별기업 전체의 이익을 반영하기 위한 목표를 수립하여야 한다. 개별업종의 관점에서 보면 수산업종 전체에서 이루어진 사회경제적 목표와 생물학적 목표들은 제약조건으로 받아들여야 하는 환경적 요소라고 할 수 있다. 외부 환경적 요소를 세부적으로 나누어 생각하면 어업허가에 관한 규칙, 어업별 선복량 기준에 의하여 정하여져 있는 선복량에 대한 제약, 선복량기준과 연관되어 있는 어업허가에 관한 규칙, 수산자원보호령, 어구어법의 제한에 의한 자원보호에 관한 규제 등을 생각하여 볼 수 있다. 이러한 제약하에서 업종의 목표는 어획수익을 매개로 한 업종의 유지 발전으로 생각할 수 있다.<sup>12)</sup>

### (3) 개별기업의 관점에서 어업자원의 이용과 관련된 의사결정문제

개별기업의 목표분석을 위해서는 수산업에 참여하고 있는 기업들의 목표에 대한 분석이 이루어져야 하나 일반적인 기업의 목표로 인식되고 있는 이익에 관련된 목표로 생각할 수 있으

10) 유동운, "어업자원의 경제적 특성과 그 관리의 사회, 경제적 목표에 관한 연구," 수산경영논집 제12권, 1981.12.

크리스티(F.T. Christy, 1969, p. 373)는 국가차원의 관리목표를 다음의 다섯가지로 표현하였다. 1. increased catch 2. conservation 3. contribution to the economy(GNP) 4. employment opportunities 5. the tradition of free fishing (Christy F.T. Jr., "Fisheries goal and the rights of property," TRANS. AMER. FISH. SOC., No. 2, 1969. 참조).

11) 상위의 목표는 하위부문의 제약조건적인 성격도 있지만 하위부문의 관점에서 보면 부문의 목표달성을 위하여 변화시켜야할 대상이라고 할 수 있다. 뿐만아니라 상위의 목표가 제약조건으로만 작용하는 것이 아니라 상위의 목표가 하위의 목표에 연결되면서 하위부문간의 목표간에는 상충성(conflict)이 발생하게 된다. 이와 같이 부문간의 목표들은 서로 긴장관계에 있다.

12) 앰블(Ant Amble)업종별 목표를 연간어획량, 노동력 수익, 월간노동력, 월간어획량, 선박의 자본비용, 연료비용, 세금 등 8가지를 세부적으로 나누어 제시하고 있다.

Amble A., "Multi objective optimizatin of local fishing flect-A GP approach," in Haley K.B.(ed), *Applied OR in Fishing*, Plenum Press, New York, 1981.

며 상위단계의 목표는 제약조건의 성격을 갖는다고 할 수 있다.

위와 같은 수산업 전체에의 목표에서 기인된 제약과 개별업종의 차원에서 목표 그리고 현업종이 당면하고 있는 과제를 고려하여 문제해결적인 입장에서 규모에 따른 어선척수 결정에 관련된 목표와 제약조건은 다음과 같이 정리하여 볼 수 있다.<sup>13)</sup> 우선 업종의 목표로 업종의 수익성 확보와 관련하여 적정 수익과 비용유지(선박의 자본비용에 따른 수익 등 포함)의 목표, 계속적 수익확보를 위한 내부환경적 요인(노동력 확보, 즉 선원의 확보)과 관련된 적정한 임금수준, 조업의 안정성, 선박의 거주공간 확보와 같은 노동생활의 질(Quality of work Life: QWL)의 목표 그리고 외부환경적 요인(경쟁력 확보)과 관련된 경쟁력과 안정성있는 배의 규모, 시설의 목표 등을 생각할 수 있다. 그리고 이러한 목표달성에 관련된 제약조건은 첫째 목표 상호간의 상충성(conflict)에 기인된 제약조건과 상위목표가 제약조건으로 변화한 것(최대지속적 생산량, 어획노력에 대한 과잉투자를 규제하기 위한 선복량 규제와 정한수 규제)을 들 수 있고, 둘째로 자원의 한계(예를 들면 예산자원의 한계, 선박, 노동력과 같은 기존자원의 최대한 이용 등)에 기인한 제약조건등을 생각할 수 있다. 이와 같은 문제의 성격을 고려하여 수산업의 개별업종에서 가장적합한 의사결정방법이 모색되어야 할 것이라고 생각된다.

## 2. 일반적 선단구성 MOLP 모형

앞에서 제기한 바와 같이 선단구성과 같은 복잡한 공공의사결정문제는 상충하는 다수기준에 의하여 여러 대안 중 하나를 선정하게 되는 경우가 일반적이므로, 이에 따라 현실에 대한 모형의 진실성(model fidelity)을 갖기 위해서는 다수목표모형에서 어떤 대안을 선정한다는 것이 단일목표의 문제와는 달리 어떤 의사결정의 법칙하에서 다수개 목표간의 트레이드—오프(trade-off)를 결정하는 것이라고 할 수 있으며, 이러한 목표간의 트레이드—오프를 결정하는 것은 목적함수들간의 암목적 효용함수를 최대화하는 가중치를 찾는 것이라고 할 수 있다. 그러나 이러한 트레이드—오프에 있어서 해법절차의 측면에서 보면 단지 유효한 대체안(efficient alternatives)만이 그 비교평가 대상에 포함되어야 한다.<sup>14)</sup> 이러한 성격을 갖는 다목적의사결정문제의 대화형 모형은 다음과 같은 수학적 형식으로 표현할 수 있다.<sup>15)</sup>

$$\begin{aligned} & \text{Decision Rule } (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ & x \in X \end{aligned}$$

- 13) 물론 실제적인 목표에 대한 분석은 수산업에 관련된 당사자들에게서 의견을 획득하여야 하나 이와 같은 것은 또다른 연구조사가 필요하다고 할 수 있다.
- 14) 다수목표모형에서 해가 유효하다는 의미는 하나의 목적함수를 증가시키기 위하여서 반드시 다른 목표의 감소가 있어야 한다는 것을 의미한다. 이에 대한 수학적 정의는 참고문헌 Steuer(1986) 참조
- 15) 이 표현식은 참고문헌 Vira Changkong (1984), p. 291 참조.  
식에서 p개의 목적함수는 서로 비통약성(noncommensurability)과 비양립성(incompatibility)의 성향을 가질 수 있다. 이에 대한 것은 솔란드(R.M. Soland, 1979)를 참고할 것. 다수목표계획에 대한 일반적 성격은 스티어(R.E. Steuer, 1986), 미사드(A. Musad, 1982) 등의 개괄적 연구문헌을 참고하기 바람.

여기서,  $x \in R^n$ 은 의사결정변수 벡터

$X$ 는 가능해 영역

$f_i, i=1, \dots, p$ 는 목적함수

위에서 제시된 일반적인 수학적 모형에 맞추어 어선선단 구성문제에서 어선단에 의하여 성취되어야 할 목표의 수를  $k$ 개, 목표달성에 따르는 제약조건의 수를  $m$ 개, 어선규모에 따르는 어선종류의 수를  $n$ 개, 어선단 구성에 따르는 자원의 제약을  $t$ 라고 할 때의 다목적최적화계획 모형을 일반적으로 정리한다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \\ & \text{s.t. } Ax \leq T \\ & \quad x \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서,  $x$ 는  $(n \times 1)$ 의 벡터로서 어선단 구성의 수준

$T$ 는  $(t \times 1)$ 의 벡터로 제약조건으로 표현되는 요구수준 또는 자원의 한계

$A$ 는  $(m \times n)$ 의 행렬로  $a_{ij}$ 는 어선규모  $j$ 의 단위당 활동수준에 따른 제약조건  $i$ 에서의 기술계수

$f_k(x)$ 의  $F(x)$ 의  $k$ 번째의 목적함수로서 다음의 식으로 표현되며, 여기서  $c_{ij}$ 는  $i$ 번째 목적함수에서 어선규모  $j$ 가 기여하는 양.

$$f_i(x) = \sum_{j=1, n} c_{ij} x_j, \quad i=1, \dots, k$$

이러한 다수목표모형에 대한 해법은 에반스(Evans, G.W., 1984)가 제시한(그림 2)에서 나타나고 있는 바와 같이 매우 다양다기하다. 따라서 기존연구에서 제시된 해법상의 특성을 분석하여, 제기된 어선단 구성문제에서 노정되는 적용상의 한계를 분석하기에는 지면의 제약으로 한계가 있다.<sup>16)</sup> 하지만 기존의 연구에서는 앞에서 제시한 어선단 구성문제와 같이 다수요인의 복잡성과 목적가치에 있어서의 다차원성, 그리고 다수의사결정자의 참여적 의사결정이 요구되는 복잡한 시스템에 대한 의사결정에 있어서 보다 현실적이고 효과적인 해법절차의 제시가 없었다.<sup>17)</sup> 이에 본고에서는 다음절에서 허용공차와 성취수준을 점진적으로 결정하여 나감으로서 가능해영역을 줄여나가 최종해에 도달하여 나가는 해법절차를 제시하고자 한다.<sup>18)</sup>

16) 참고문헌 지러니(M. Zeleny, 1984)에서는 다수목표모형에 대한 논문 2200여편을 정리 제시하고 있다.

17) 다수목표모형의 적용에 대한 기존연구를 보면, 암블(Arnt Amble, 1980)에 의하여 어선단 구성문제의 경우 목표계획법을 이용한 모형구성은 제시된 바 있으나, 목표계획법이 가지고 있는 본질적인 한계 즉 유효해만을 대상으로 해를 구하지 못한다는 점, 사전적 우선순위와 성취수준을 결정하여야 한다는 점, 의사결정자의 참여가 배제되어 해가 결정된다는 점 등을 노정하고 있다.

18) 다수목표문제에서 다음과 같은 용어의 정의가 필요하다.

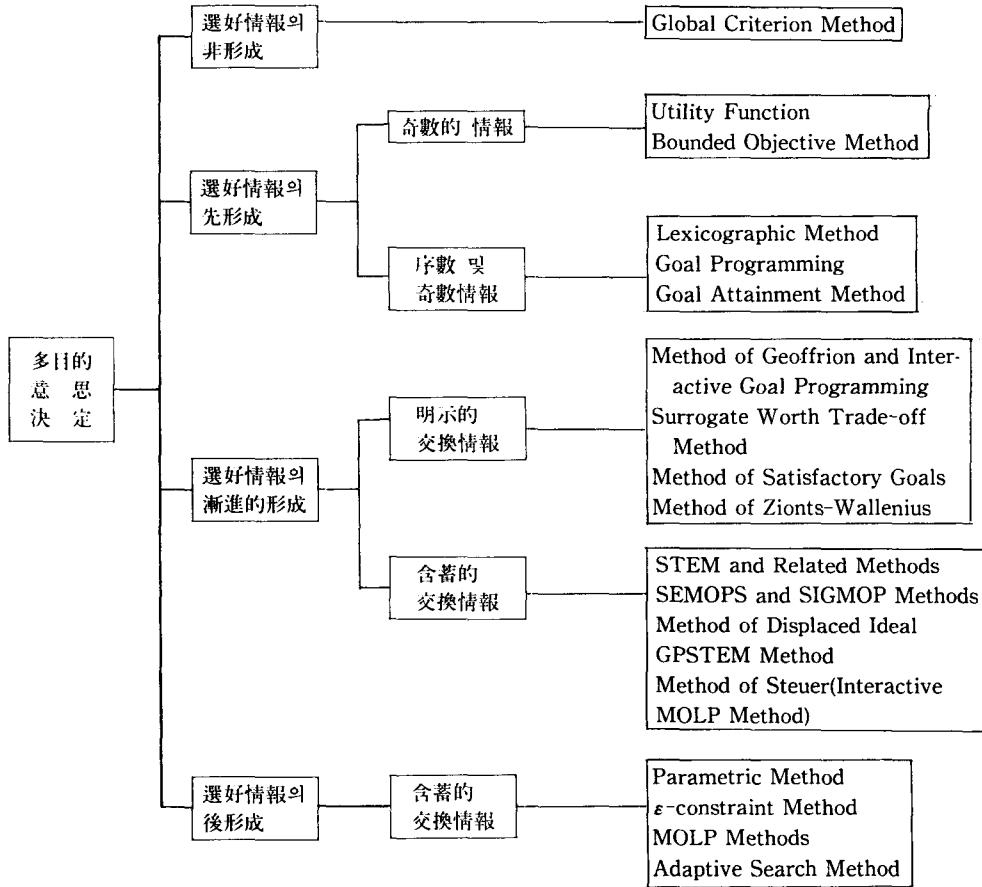
유효해(efficient solution) : 어떤 임의의 목적함수 값을 개선시키려면 반드시 다른 하나 이상의 목적함수 값을 희생하여야 하는 경우 이런 가능해를 유효해라 한다.

선호해(preferred solution) : 의사결정자가 가지고있는 심리적 선호관계에 의해 유효해중에서 최종적으로 선택된 해를 선호해라 한다.

이상해(ideal solution) : 의사결정자가 제약조건을 만족시키면서 다른 목적함수를 고려하지 않고 각각의 목적함수값을 극대화하였을 경우, 각목적함수의 최적해로 이루어진 목적함수치를 이상해라고 한다.



段階：情報가 필요한 段階 II段階：情報의 形態 III段階：方法의 大分類



〈그림 2〉 다수목표의사결정 해법의 분류

### 3. 대화형 허용공차법의 개발과 그 적용

#### 1) 이론적 배경과 알고리즘

다수목표모형의 해법절차중에 의사결정자의 의견을 점진적으로 반영시키면서 해를 구하여 나가는 대화형방법은 1970년에 나타나기 시작하여 여러가지 기법이 소개되었지만 아직까지는 어떠한 방법이 좋은 방법이라고 평가받고 있지 못하고 있다. 이것은 의사결정자의 행위와 의사결정형태, 의사결정상황, 그리고 의사결정 과정상의 특징이 서로 다르기 때문에 각 상황에 맞는 보편적인 방법이 만들어지기 어렵기 때문이다. 하지만 어떠한 대화형기법일지라도 반복적인 절차를 수행할 때의 알고리즘상의 중요한 내용은 한 유효해에서 다른 유효해로 이동해 나가는 방법과 의사결정자가 만족하는 해에 대한 결정방법에 관한 것으로 생각하여 볼 수 있

다.<sup>18)</sup> 본 연구에서는 목적함수간의 가중치와 요구되는 목적함수의 성취수준에 관련된 특성을 이용하여 가능해영역을 축소시켜 나가는 해법을 제시하고자 한다.

다수목표모형에서 목적함수간의 가중치의 성격은 의사결정자의 효용함수  $U: R^k \rightarrow R$  가 미분가능하다고 할 때 효용함수선상에서 임의의 점에서 증분(gradient)이라고 할 수 있으며,  $\sum \lambda_i f_i(x)$ 는 효용함수의 선형근사치(linear approximation)라고 할 수 있다. 기존의 연구에서 제시된 MOLP의 대화형해법을 보면 이러한 가중치의 성격을 이용하여 선호해를 효과적으로 찾기위해 기준원추(criterion cone)를 줄여나가 가중치벡터중에서 선호해에 관련된 최적가중치벡터를 선택하는 방법, 가중치의 구간을 정하여 유효해를 찾고 그 유효해중에서 선호해를 선택하는 방법, 가중치의 변동에 따라 나타나는 trade-off를 의사결정자로 하여금 평가하게 하여 선호해를 찾는 방법 등 여러가지 방법들이 제시되고 있음을 살펴볼 수 있다.<sup>19)</sup> 이러한 가중치를 이용하여 MOLP문제를 해결하는 제방법들의 수학적 이론배경이 되는 것은 각각의 목적함수  $f_i(x)$ 에 非負의 스칼라 가중치  $\lambda_i$ 를 곱하여 단일의 목적함수를 갖는 목적함수의 가중합의 문제 식(4)을 만들어 가중치에 따른 유효해를 탐색하는 점추정 가중합 접근방법(point estimate weighted-sums approach)이라고 할 수 있다.

$$\max\{\lambda^T F(x) \mid x \in X\} \quad \text{식 (2)}$$

이러한 점추정 가중합 접근방법의 대부분의 연구는 지오프리온(Geoffrion, 1968)의 다음의 두가지 정리에 근거를 두고 있다고 할 수 있다.<sup>20)</sup>

(정리 3-1)  $x^0 \in X$  가  $\lambda^0 \in \Lambda$  일 경우, 다음의 가중합 LP문제를 최대화한다면,  $x^0$  는 유효해이다.

$$\max\{\lambda^{0T} F(x) \mid x^0 \in X\} \quad \text{식 (3)}$$

이 정리는 가중합 MOLP의 해가 MOLP문제의 유효해가 된다는 사실을 말해주며, 또 LP 문제의 최적해나 MOLP문제의 유효해가 같다는 사실은 MOLP의 유효해가 가능해 영역의 경계에서 발생한다는 사실을 말해준다.

(정리 3-2)  $x^0 \in X$  가 유효해라고 하면,  $x^0$ 가  $\max\{\lambda^{0T} F(x) \mid x \in X\}$ 의 최적해(maximal solution)인  $\lambda^0 \in \Lambda$ 가 존재한다.

이 정리는 각 유효해가 가중합 MOLP문제에서 최적해를 가지는 하나 이상의 가중치 벡터를 가진다는 것을 의미한다.

위의 두 정리에 따라서 가중합 MOLP문제의 경우 유효해중에서 선호해를 구하는 것은  $\lambda \in \Lambda$ 중에서 가장 선호하는  $\lambda^0$ 를 찾는 것이라고 할 수 있다. 이에 따라 임의의 가중치가 정하여져  $\lambda F(x)$ 가 결정되면 처음의 MOLP문제는 단일목표의 선형계획문제로 바뀌어지며, 이때의 최적해는  $\lambda F(x)$ 의 탄젠트면(tangent plane)이 원점으로부터 가장 먼 곳에서 만나는 점

19) 이에 대한 세부적인 내용은 스티어(Steuer, 1986)과 창콩(Vira Changkong, 1984)을 참조 바람.

20) Geoffrion H.M., "Proper efficiency & the theory of vector maximization," J. of Mathematical Analysis & Application, Vol. 22, 1968, pp. 613-630.

이 최적해가 됨을 쉽게 알 수 있으며, 이로부터 각 목적함수의 가중치의 변동이 언제나 유효해의 변동을 가져오는 것이 아님을 알 수 있다. 이것은 하나의 유효해에 많은 수의 최적가중치 조합이 가능함을 의미한다. 뿐만 아니라 현실문제에 있어 최적가중치 벡터의 집합은 의사결정자의 선호, 목적함수중분의 상대적 크기 즉 가중치의 크기, 가능해영역(feasible region)의 형태에 의하여 결정되기 때문에 전부 다 찾아낸다는 것은 쉬운 일이 아니다. 이러한 최적가중치벡터의 특성때문에 기존의 가중치를 이용한 대화형기법의 연구들을 효과적으로 선호해에 관련된 가중치를 찾기 위하여 다양한 방법이 제기되었는데 이러한 기존의 연구중에 스티어(R.E. Steuer, 1977)의 연구는 각 가중치의 구간이 정하여지면 효과적으로 선호해를 탐색하여 나갈 수 있음을 제시하고 있다. 이는 각 가중치의 구간이 정하여짐에 따라 유효해의 수가 줄어들고 이에 따라 적은 수의 유효해만 탐색하면 되기 때문에 효과적으로 선호해를 탐색할 수 있기 때문이다. 그러나 스티어의 방법도 계산절차의 관점에서 보면 독립적인 목적함수의 증가, 그리고 목적함수 가중치의 구간범위에 따라 유효해의 수가 급격하게 증가하여 유효해를 탐색하기가 쉽지 않고,<sup>21)</sup> 어떤 경우에는 유효해가 꼭지점으로 나타나지 않고 면으로 나타나기도 하기 때문에 더욱 문제의 어려움이 노정된다.<sup>22)</sup> 기존의 가중치를 이용하는 방법들을 이용자의 관점에서 보면, 의사결정자가 각 목적함수의 가중치구간을 정확하게 결정할 수 있느냐 하는 것이 문제라고 할 수 있다. 이는 각 목적함수의 가중치가 바뀐다고 하여도, 그에 따른 비례적인 목적함수의 변동이 발생하지 않으므로 의사결정자의 한리성이 적절하게 작용하기 어렵다는데 기인한다고 할 수 있을 것이다.

이러한 가중치를 이용한 방법들의 최적가중치벡터와 관련된 문제점들은 현재의 유효해에서 각 목적함수 가중치의 변동가능한 허용공차를 알 수 있다면 기저(base)의 변동을 초래하는 가중치의 변화구간을 역으로 알아낼 수 있음으로써 완화가 가능할 것이다. 이는 만약 한 유효해에서 각 목적함수의 가중치가 변동가능한 가중치의 공차를 알 수 있다면, 단일 목적함수의 LP문제에서의 심플렉스법과 같은 논리적 방법으로 각 유효해에서의 가중치에 대한 선호를 의사결정자로 하여금 결정하게 하여 선호가 더 큰 유효해로 찾아가는 것이 가능하게 될 것이기 때문이다. 그리고 가중치와 목적함수치와의 변동을 결합시키기 위해서 변동이 큰 목적함수를 성취수준으로 결정하여 제약조건화 함으로서 가능해영역을 축소시키면서 유효해의 수를 줄일 수 있을 것이다.<sup>23)</sup>

21) 스티어(R.E. Steuer, 1978, 1986) 참조

22) MOLP문제에서 유효면(efficient faces)은 매우 중요하다. 왜냐하면 의사결정자의 선호가 유효꼭지점에서 나타나지 않고 유효면에서 나타날 수도 있기 때문이다. 식(3)의 최종도표에서  $N_i$ 를 비기저변수라고 하고  $X_i$ 를 기저가능해라고 하면, 각  $a \leq N_i$ 에 대하여  $X_i$ 에 인접한 유효면  $f(t, a)$ 과 같이 정의 된다.

$$f(t, a) = \{x \in X \mid x_j = 0 \text{ for } j \in N_i - a\}$$

이에 관한 논문은 포조(L.P. Fotsos, 1981, p. 24) 참조

23) 이러한 방법을  $\epsilon$ -제약법( $\epsilon$ -constraint method)이라고 한다.  $\epsilon$ -제약법에서 가장 중요한 것은 제약조건으로 변화된 목적함수들의 적정수준 또는 받아들일 수 있는 수준(acceptable goals: H.A. Simon이 주장하는 만족해의 개념)을 어떻게 정하느냐가 문제이다. 어떤 특정 만족수준  $\epsilon$ 에 대한 만족해  $x^0$ 를 찾는 후에 보다 높은 만족수준  $\epsilon' \geq \epsilon$ 에 대해서도  $x^0$ 가 만족해가 되는가를 살펴보아야 하기 때문이다.  $\epsilon$ -제약법과 가중합점근방법을 적절하게 결합함으로써 가능해영역과 유효해의 수, 유효면의 발생에 기인하는 문제 등을 효과적으로 처리할 수 있다.  $\epsilon$ -제약법( $\epsilon$ -constraint method)에 관련된 내용은 창콩(Vira Chankong, 1983)을 참조.

이상의 이론적 배경에서 MOLP 문제에서 기저변동을 가져오지 않는 가중치 허용공차를 구하기 위한 가중치 섭동문제 (perturbation problem)는 다음 식(4)와 같이 구축할 수 있다. 식(4)에서 의사결정변수  $r$ 에 대한 허용공차( $\tau_r$ )는 다음 식(5)와 같이 나타난다.<sup>24)</sup>

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1,k} (W_i^0 + \gamma_i W_i^1) (f_i(x)) && \text{식(4)} \\ \text{s.t.} \quad & Ax = b \\ & x \geq 0 \\ & W_i^1 \geq 0, \quad i=1, k \end{aligned}$$

$$\tau_r = \frac{\sum_{(i=1,k)} W_i^0 (Z_{ir} - C_{ir})}{\sum_{(i=1,k)} W_i^1 |C_{ir} - Z_{ir}|} \quad \text{식(5)}$$

여기서  $(C_{ir} - Z_{ir})$ 는  $i$ 번째 목적함수에서  $r$ 번째 변수  $x_r$ 의 감소된 비용(reduced cost)이다.<sup>25)</sup>

본 연구에서 제시하는 가중치의 허용공차를 이용한 대화형 다목적계획모형은 각 목적함수에 대한 명확한 가중치 부여가 어려운 경우에 유효한 대안중 의사결정자의 선호도가 가장 높은 선호대안 즉 선호해를 위에서 제시한 수식을 이용하여 찾아가는 방법이다. 다시말하면 이 방법은 선호해를 효과적으로 찾기 위하여 가중치의 허용공차를 이용하고 유효해의 수를 줄이기 위하여 목적함수의 성취수준을 제약조건으로 변환시켜 가능해 영역을 줄여나가는 방법이라고 할 수 있다.

전술한 이론적 배경을 토대로 한 대화형 허용공차법(interactive tolerance method)의 해탐색과정은 다음과 같다.

단계 1: 가중합 다수목표모형 구축

식(1)을 대화형 허용공차법으로 풀기 위해서는 목적함수에 상대적 가중치를 부여한 후 가중합 다수목표모형으로 다음과 같이 구축한다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & \sum_{i=1,k} w_i f_i(x) && \text{식(6)} \\ \text{s.t.} \quad & Ax \leq T \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

24) 이에 대한 증명은 웬델(R.E. Wendell, 1989)을 참조.

25)  $Z_{ir} = C_{iB}(B^{-1}A)r$  :  $C_{iB}$ 는  $i$ 번째 목적함수에서 기저변수 계수  $(B^{-1}A)r$ 은 최종단계중의  $k$ 번째 열

단계 2 : 각 의사결정변수에 대한 허용공차를 구한다.

(6)의 최적해를 구하면 그 해는 지오프리온의 정리에 의하여 (1)문제의 유효해라고 할 수 있다. 현재의 해에서 각 목적함수 가중치의 변동가능한 허용공차를 식(5)에 의하여 구하면 이 값으로부터 기저(base)의 변동을 초래하는 가중치의 변화구간을 알 수 있다.

단계 3 : 각 허용공차  $\tau_i$  중에서 가장 작은 값 즉 최대허용공차를 결정하여 이 값에 따라 현재의 가중치의 변화범위  $[\omega_i^*, \omega_i^{**}]$ 를 구한다.

$[\omega_i^*, \omega_i^{**}]$ 을 다음 (식 7)과 같이 정의한다면,  $\tau_i$ 은  $\tau_i$ 과 같으므로 각 목적함수의 가중치 값에 대한 최소치와 최대치를 얻을 수 있다. (가중치에서 음수가 나타나는 것을 방지하기 위하여, 즉  $\omega_i + \gamma_i \omega_i' \geq 0$ 으로 하기 위하여 가중치의 하한값은 0으로 한다.)

$$\omega_i^* \leq \omega_i \pm \tau_i \omega_i' \leq \omega_i^{**} \quad \text{식 (7)}$$

단계 4 : 의사결정자와의 질의응답을 통하여 목적함수의 가중치를 설정하고 이 가중치를 단계 3의 허용공차범위를 벗어나는 경우, 이에 대응하는 유효해를 찾는다.

만약 의사결정자의 가중치가 허용공차내에 포함된다면 가중치를 변경하여 해를 구한다 하더라도 같은 유효해가 해로 나타나므로 이 유효해가 선호해라고 할 수 있을 것이다. 이때의 해가 찾고자하는 선호해이다. 그렇지 않으면 다음 단계로 넘어간다.

단계 5 : 의사결정자의 가중치평가에 일관성이 있는지 평가한다.

의사결정자가 앞단계에서 찾은 적이 있는 유효해로 되돌아가는지 여부를 평가하여야 한다.

단계 6 : 유효해변동에 따라 목적함수값이 변동한 것 중에 하나의 목적함수를 선택하여 그 값의 최저만족수준을 우편상수로 하여 제약조건으로 한다.

단계 7 : 제약조건을 변화시켜 단계 1로 되돌아간다.

어선단(fishing fleet)의 구성문제와 같은 공공문제에 관한 의사결정문제는 물론 관련당사자간의 의견을 집약하여야 함은 재론의 여지가 없을 것이다. 이와 같이 의사결정자가 다수인 경우에는 가중치에 대한 선택이 의사결정자가 혼자인 경우보다는 복잡한 문제가 발생한다. 왜냐하면, 다수의 가중치를 단일의 가중치로 집약시켜야 할 필요성이 나타나기 때문이다. 이렇게 다수의 의사결정자가 존재할 경우 가중치를 구하고 선호해를 찾는 방법은 어려운 문제가 발생하기 때문에 의사결정자의 적극적인 참여가 필요하다. 다수의 의사결정자의 의견을 집약하는 방법으로 의사결정자 각각 목적함수간의 가중치를 쌍대응비교법(paired comparison method)으로 구하게 한 다음, 사티(T.L. Saaty)가 제시한 AHP방법으로 각 목적함수에 대한 상대적 가중치를 구하는 방법을 생각할 수 있다.<sup>26)</sup> 각 목적함수의 가중치를

26) AHP기법 (Analytic Hierarchy Process Method)은 각 대안의 가중치를 부여하는 문제에 매우 유용하다고 보고되고 있다. 이 방법은 각 대안간의 판단행렬(judgement matrix) A로부터 다음 식을 통하여 가중치를 구한다. 이 가중치는 행렬의 eigen vector이다.

$$(A-I)W=0 \quad \sum_{j=1, n} w_j=1 \quad 0, I: \text{zero \& unitary matrix}$$

구한 다음, 가중치의 불일치비율 (inconsistency ratio : IR)<sup>27)</sup>을 구하여 이 불일치비율이 허용공차보다 크질 때까지 계속적으로 유효해를 찾아나가는 방법을 전략적으로 선택할 수 있다.

2) 모형 구축과 그 결과

수산업종 중에서 D업종을 중심으로 앞에서 제시한 MOLP의 모형을 구축함에 있어 개략적으로 다음과 같은 것들을 분석, 추출하였다. 어업의 어선단구성에 관련된 모형구축과 그 해를 구하는 것은 실제적 적용을 위한 자료의 타당성 조사가 수반되어야 하고, 관련당사자의 의견을 집약하는 과정이 수반되어야 하나 여기서 이용된 자료는 관련된 문헌자료를 통하여 추출한 2차적 자료이므로 이에 따른 한계점이 노정됨은 피할 수 없다.<sup>28)</sup>

(1) 모형의 구축

① 의사결정변수

선단구성문제에 있어 의사결정변수는 업종 선단을 구성하는 선박의 규모로 생각할 수 있는 어선의 규모는 사회경제적 요인과 어장과 어구어법에 따른 기술적 요인에 의하여 결정된다고 할 수 있으므로 객관적으로 유형화하기가 어렵다. 자료에 의하면 해당업종의 톤급별 어선의 척수는 다음 <표 4>과 같이 나타났으며, 이에 따르면 각 톤급별의 가장 대표적인 톤수는 55(40), 80(60), 110(80), 140(100)이었으므로 어선의 유형을 다음 4가지로 구분하였다.<sup>29)</sup>

- X<sub>1</sub> : 55(40)톤급 어선
- X<sub>2</sub> : 80(60)톤급 어선
- X<sub>3</sub> : 100(80)톤급 어선
- X<sub>4</sub> : 140(100)톤급 어선

<표 4> 업종의 톤급별 어선척수 (1988. 12. 31 현재)

톤급별	30톤이하	40-60톤	70-90톤	90-110톤	110톤이상	계
척수	1	15	52	4	1	89

자료 : D수산업협동조합

27) 이에 관련된 참고문헌은 사티(Saaty, 1977, 1980, 1982), 하커(Harker, 1987) 참조. 불일치비율은 다음 식과 같이 정의된다.

$$IR = (\lambda - n) / (n - 1) \quad \lambda : \text{the largest eigen value}$$

이 값이 0에 가까울수록 가중치에 대한 완전한 일치율을 나타낸다. Saaty는 이 값이 10%이하만 되면 받아들일만 하다고 하고 있다.

28) 여기서는 모형의 예시적 적용이 목적이므로 본 논문의 목적에는 크게 벗어나지 않는다.

29) ( )는 신톤수로 표시한 톤수임. 이하에서는 어선 톤수를 신톤수로 기준함. 각 유형마다 대표로 정한 톤수를 기준하여 어선의 크기의 변동은 심하지 않았다. 이와 같은 이유는 대부분 표준선을 기준하여 선박을 건조하기 때문으로 생각된다.

② 제약조건

제약조건은 어획자원에 대한 제약만 분석하였는데 자원에 따른 제약은 적정어획강도에 의한 제약과 이와 관계된 정한수에 의하여 구성되어진다고 할 수 있다.<sup>30)</sup>

a. 적정어획량에 따른 제약

해당업종에 대한 톤급별 어획량에 대한 제약조건을 산정하기 위하여, 톤급별 어획량과 현재 어획수준에 대한 평가가 이루어져야 한다. 자료에 의하면 1986-1988 3개년간의 톤당 평균어획량은 3.7745 M/T 이었으며, 어획강도에 대한 평가는 적정어획강도보다 22-42%정도 높게 나타나고 있다.<sup>31)</sup> 이에 따라 어획량에 대한 제약조건은 다음과 같이 유도되었다.

$$138.98X_1 + 208.47X_2 + 277.96X_3 + 347.45X_4 \leq 94380$$

단, 여기서

기술계수는 톤당 어획량×어선톤수

우편상수 3년간 평균어획량(121000)×0.78

b. 정한수와 선복량에 따른 제약

수산업 자원보호령에서는 해당어업에 대하여 80건을 정한수로 하고 있으며 선복량 기준을 4830톤으로 정하고 있다. 이에 따른 제약조건을 구성하면 다음과 같다.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 80$$

$$40X_1 + 60X_2 + 80X_3 + 100X_4 \leq 4830$$

③ 목적함수

어선단 구성문제에 있어 목적함수로 고려되는 것은 앞에서 분석한 바와 같이 조업에서의 선원생활의 질, 어업의 수익성확보 목표, 조업의 안전성의 목표, 경쟁국과의 경쟁력, 고용수준에 대한 목표 등으로 나눌 수 있다. 이러한 목표중 선박의 안전성, 선박에서의 QWL 국제경쟁력에 관련된 목표들은 선박의 크기에 따라 차이가 있다고 할 수 있으나 양적인 변수로 측정하기에는 어려운 질적인 목표들이라고 할 수 있다. 이들 목표에 대하여 대략적으로 규모에 따른 특성을 보면 선박의 규모에 따른 선박의 안전성은 크기에 따라 증가하는 것은 아니나,<sup>32)</sup> 거주환경은 대체적으로 선박의 규모가 클수록 공간확보가 가능하기 때문에 향상될 것으로 생각할 수 있으며, 국제경쟁력은 규모가 클수록 항행거리가

30) 적정어획강도는 자원평가 Model에 의하여 MSY에 대한 어획강도(Fmsy)와 굴란드와 보헤머(Gulland & Boerema)가 제안한 적정어획강도(F<sub>0.1</sub>)를 보통기준으로 하고 있다.(Gulland & Boerema, "Scientific advice on catch levels," *Fishery Bulletin*, Vol. 71, No. 2, 1973, pp. 325-335. 참조).

31) 해당어업의 적정어획강도 평가(적정어획강도/현어획강도×100)는 58-78%로 나타나고 있다.

자료 : 한국수산회, 수산년감, 1987, 1988, 1989

부산수산대학교 해양과학연구소, 어업별 어선의 선복량 기준개선에 관한 연구, 1990

32) 안정성은 선박의 구조가 견고할수록, 추진기관이 배의 크기에 비하여 고성능일수록 증가한다고 할 수 있다.

길고 시설의 현대화가 가능하기 때문에 높아진다고 할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 세가지 목표에 대한 측정은 대리변수를 이용하지 않고는 어렵다.

따라서 본 적용연구에서 선박의 안전성에 대하여서는 과거 각 선박의 크기에 따른 해난사고율을, 선박의 QWL은 각 선박에서의 거주공간의 크기를 대리변수로 선정하고 각각의 가중치를 산정하여 목적함수계수로 하였다.<sup>33)</sup>

㉠ 업종의 수익성에 관련된 목표

해당업종의 톤급별 어획량은 톤수에 비례하며, 어업외에는 수익이 발생하지 않는다고 가정하였을 경우, 다음과 같이 톤급별 수익을 다음과 같이 추정할 수 있으며 이에 따라 수익에 관한 목표는 다음과 같이 유도되었다.<sup>34)</sup>

$$\text{Maximize } Z = 12476X_1 + 32224X_2 + 44267.6X_3 + 51739.5X_4$$

〈표 5〉 어선규모별 어획량에 따른 이익

톤급별	어획량(M/T)	이익(1000원)
X1(40)	138.98	12476
X2(60)	208.47	32224
X3(80)	277.96	44267.6
X4(100)	347.45	51739.5

자료 : 한국수산회, 수산연감, 1987, 1988, 1989  
부산대학교 해양과학연구소, 어업별 어선의 선복량 기준개선에 관한 연구, 1990.2. 위의 자료에서 재정리

㉡ 고용수준목표

고용수준에 관련하여 각 어선규모별 승선 선원수는 다음(표)와 같다. 이에 따라 고용에 관련된 목표는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\text{Maximize } Z = 10X_1 + 10X_2 + 10X_3 + 12X_4$$

〈표 6〉 어선규모별 톤당 선원수

어선규모	톤당선원수
100톤 이하	10명
100톤 이상	12명

\* 자료 : D어업협동조합

33) 질적인 대리변수의 측정에서 가장 한계로 제기되는 것은 변수와 실제 현상간의 내용적 타당성 문제이다. 이에 대한 내용은 다음의 참고문헌을 참조.

Volkema R.J., "Problem formulation in planning and design," *Management Science*, Vol.29, No.6, 1983.

Widermann P., "Planning with multiple objectives," *OMEGA*, Vol.6, No.5, 1978.

34) 어획량에 따른 수익에 대한 추정은 "어업별 어선의 선복량 기준개선에 관한 연구"에서의 어획량에 따른 수익자료를 인용하여 시뮬레이션으로 구하였다. 이획량에 따른 이익추정시에 어선의 톤당 건조비는 5,500,000으로 산정(1989년 5월에 수협중앙회에서 계획조선시 톤당건조비로 책정)하였으며, 선박건조에 따른 감가상각비는 내용연수를 15년, 어선잔존가치를 10%하는 경우 정액법으로 산정하였다.





이상과 같은 결과를 요약하여 모형을 정리한다면 다음과 같다.

$$\text{Maximize } Z = 12476X_1 + 32224X_2 + 44267.6X_3 + 51739.5X_4$$

$$\text{Maximize } Z = 10X_1 + 10X_2 + 10X_3 + 12X_4$$

$$\text{Minimize } Z = 0.287X_1 + 0.279X_2 + 0.279X_3 + 0.155X_4$$

$$\text{Maximize } Z = 0.227X_1 + 0.252X_2 + 0.252X_3 + 0.267X_4$$

subject to

$$138.98X_1 + 208.47X_2 + 277.96X_3 + 347.45X_4 \leq 94380$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 80$$

$$40X_1 + 60X_2 + 80X_3 + 100X_4 \leq 4830$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 = \text{integer}$$

(2) 예시적 해

이상의 모형에 대하여 앞에서 제시한 계산절차에 따라 예시적으로 해를 구하여 보면 다음과 같다.<sup>35)</sup>

단계 1. 각 목적함수에 똑같이 가중치 0.25를 주어 가중합 다수목표모형으로 구축한다.

$$\text{Maximize } Z = 3124.50 X_1 + 8058.40 X_2 + 11069.4 X_3 + 12938.4 X_4$$

subject to

$$(1) \quad 138.98 X_1 + 208.47 X_2 + 277.96 X_3 + 347.45 X_4 < 94380$$

$$(2) \quad 1.0 X_1 + 1.0 X_2 + 80.0 X_3 + 1.0 X_4 < 80.0$$

$$(3) \quad 40.0 X_1 + 60.0 X_2 + 80.0 X_3 + 100.0 X_4 < 4830.0$$

$$(4) \quad X_1 \geq 0$$

단계 2. 앞의 문제를 풀면 최종 테이블은 다음과 같으며 이것과 원문제의 목적함수를 이용하여 비기저변수에 대한 허용공차를 구하면,  $\tau_{x1} = 0.998944$ ,  $\tau_{x2} = 0.994765$ ,  $\tau_{x4} = 0.999719$ ,  $\tau_{s3} = 0.999987$ 로 나타난다.

〈표 9〉 Final tableau (Total iteration = 2)

Basis	C(j)	X1	X2	X3	X4	S1	S2	S3	B(i)	B(i)
		3122	8058	11069	12938	0	0	0		A(i, j)
S1	0	0	0.000	0	0.000	1.000	0	-3.47	77598	0
S2	0	0.500	0.250	0	-0.250	0	1.000	-0.013	19.63	0
X3	11069	0.500	0.750	1.000	1.250	0	0	0.013	60.38	0
C(j) - Z(j)		-2413	-244	0	-899	0	0	-138	Inf.	
* BigM		0	0	0	0	0	0	0	0	

(Max.) Optimal OBJ value = 668315.1

35) 이 문제를 풀기 위한 S/W는 Microsoft사의 QSB. version 1.5를 이용하였음.

단계 3. 최대허용차를 구하여 보면  $z^*=0.994765$ 로 나타나며 이에 따라 지금의 유효해를 기저로 하는 가중치의 변화범위는  $[0.25 \pm 0.25 \times 0.994765]$ 로 구할 수 있다.

단계 4와 단계 5에서 의사결정자가 현재의 해를 선호해로 선택하지 않고 단계 6에서 2번째 목적함수에 대하여 최저 만족수준을 650으로 정하였다고 하자.

단계 7. 단계 6에서 새로운 제약조건  $10X_1 + 10X_2 + 10X_3 + 12X_4 \geq 650$ 을 구성한 뒤 단계 1로 되돌아간다. 이와 같은 과정을 거쳐 다시 해를 구하면 ( $X_2=18.50$ ,  $X_3=46.50$ ,  $Z=663807.5$ )로 나타났다. 이 해에 의사결정자가 만족하였다면 이에 대한 정수계획모형의 해를 구하면 최종해이면서 선호해를 <표 10>과 같이 구할 수 있다.<sup>36)</sup>

<표 10> summary of results for problem

Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient	Variables No. Names	Solution	Obj. Fnctn. Coefficient
1 X1	0.000	3121.500	3 X3	46.000	11069.400
2 X2	19.000	8058.400	4 X4	0.000	12938.000

Maximum value of the OBJ=662302 Total iterations=849

### Ⅲ. 결론 및 앞으로의 연구

본 연구는 어선단 구성문제와 같은 상충하는 다수의 목적을 가진 의사결정문제 해결을 위하여 문제해결적 접근방식의 입장에서 대화형 허용공차법을 개발하고 이 계산절차의 이용가능성을 예시적 사례연구를 통하여 살펴보았다.

다수목표의사결정 문제에 대한 기존의 해법은 먼저 유효해집합을 구한다음 그중에서 가장 의사결정자가 선호하는 유효해를 선택하는 것이 일반적이라고 할 수 있다. 그러나 다수목표 의사결정 문제의 성격이 유효해 집합이 매우 클 뿐 아니라, 체계적인 순서를 가지고 있지 않으므로 유효해 중에서 선호해를 찾기 위해서는 의사결정자의 효용함수를 직접 구하는 방법을 이용하든지 암묵적으로 효용함수를 가정하고 선택적으로 선호해를 찾아가는 방법을 이용하게 된다. 이러한 접근방법중 직접적으로 효용함수를 찾는 방법은 실제문제에 적용시에 효용함수를 탐색하는 문제때문에 어렵다. 암묵적 효용함수를 가정하고 해를 구하는 방법중에 일반적으로 가장 유용하다고 인정되고 있는 접근방법으로는 대화형 해법을 들 수 있는데, 이러한 대화형기법으로는 가능해영역 축소방법, 벡터공간 축소방법, 기준원추 축소방법 등이

36) MOLP문제에서의 정수계획문제(MOILP: Multiple Objective Integer Linear Programmig)에 대한 해법은 카아완(Karwan M.H., 1981), 마코테(Marcotte O., 1986) 등이 제시한 바 있으나 기존방법들은 너무 계산량이 많아서 효율적이지 못하다. 본 연구에서는 처음부터 정수계획모형으로 풀지않고 제시된 알고리즘을 이용하여 MOLP의 최종해를 구한다음 정수제약조건을 도입하여 해를 구하였다. 해의 비교를 통하여 나타나는 바와 같이 정수제약조건에 따른 해의 변화는 별로 크지않게 나타나고 있으므로 이러한 방법이 계산 측면에서 유용할 것으로 고려된다.

제시되었으나 기존의 접근방법들은 선호해 도출과정이 복잡하고 의사결정자에게 판단시에 유용한 정보제공의 측면에서 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서는 기존의 기법들과는 다르게 목적함수가중치의 허용공차와  $\epsilon$ -제약조건을 이용하여 의사결정자가 보다 용이하게 선호해를 탐색할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 허용공차법은 가능해영역을 효과적으로 축소시키고 그에 따른 유효해를 분석할 수 있을 뿐만아니라, 기존의 방법들과는 달리 유효면에 대한 정보를 제공할 수 있다는 특징이 있다. 그리고 이 방법도 다수의 의사결정자가 의사결정을 하는 경우에도 목적함수에 대한 가중치를 고유방정식을 이용하여 구하여 집단의 선호해를 효과적으로 찾아갈 수 있다. 또 해법절차중에 의사결정자의 일관성을 검정할 수 있다는 장점이 있으며 선형계획법의 단체법을 원용할 수 있으므로 하여 계산적으로 효율성이 높다고 할 수 있다.

그러나 이 방법은 선형문제에만 적용가능하다는 점에서 가지는 근본적인 선형성의 한계를 지니고 있음으로 비선형모형으로의 확장이 불가능하다는 점과 동적인 문제에 적용이 불가능하다는 한계를 가지고 있다. 이러한 문제에 대한 연구는 앞으로 유용할 것으로 사료되며, 확률적 변수의 도입가능성에 대한 연구로 바람직할 것으로 고려된다.

어선단구성 문제를 통한 허용공차법의 적용에서 나타난 결과를 보면, 제기된 문제와 같은 공공의사결정 문제에 이러한 모형이 유용하게 적용가능함을 볼 수 있으며 또 합리적인 정책을 수립하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다. 문제해결을 위한 관점에서 수산업계의 당면한 과제들은 관련 당사자들의 위원회같은 조직을 구성하여 연구에서 제시한 바와 같은 체계적 접근을 통한 합리적인 해결방안을 모색하여야 할 필요성이 있다고 생각된다.

끝으로, 어선단 구성문제와 같은 문제는 그 문제의 계량적 모형의 유용성은 종국적으로 의사결정자의 효과적인 참여에 의하여 결정될 수 밖에 없는 한계를 지니고 있으나, 본 연구는 이러한 한계에도 불구하고 문제해결을 위한 한가지 접근방법을 제시하였다는 점에서 유용성이 있다고 생각한다.

## 참 고 문 헌

- 1) 유동운, "어업자원의 경제적 특성과 그 관리의 사회경제적 목표에 관한 연구", 「수산경영론집」 제12권, 1981.12.
- 2) Amble A, "Multiobjective optimization of a local fishing fleet-A goal programming approach," in Haley, K.B.(ed), *Applied OR in Fishiny*, Plenum Press, New York, 1981.
- 3) Buchanan J.T. and H.G. Daellenbach, "A comparative evaluation of interactive solution methods for multiple objective decision models," *European Journal of*

- Operational Research*, Vol. 29, 1987, pp. 353-359.
- 4) Chankong V. and Y.Y. Haimes, "Optimization-based methods for multiobjective decision making: An overview," *Large Scale Systems* 5, pp. 1-33.
  - 5) Chankong V. & Y.Y. Haimes, *Multiobjective Decision Making*, North-Holland, N.Y., 1983.
  - 6) Christy F.T. Jr., "Fisheries goal and the rights of property," *TRANS. AMER. FISH. SOC.*, No. 2, 1969.
  - 7) Daniel D. "The politics, philosophy and practice of OR-A personal view of the Issues", *OMEGA*, Vol. 13, No. 2, 1985, pp. 89-94
  - 8) Evans G.W., "An overview of techniques for solving multiobjective mathematical programs," *Management Science*, Vol. 30, 1984, 1268-1282.
  - 9) Fotso L.P., *Multiple objective Programming, Ph D. Dissertation (in USA) Rensselger polytechnic Institute Troy, New York*, 1981.
  - 10) Geoffrion H.M., "Proper efficiency & the theory of vector maximization," *J. of Math. Analysis and Application*, Vol. 22, 1968.
  - 11) Hansen P., Labbe M. and R.E. Wendell, "Sensitivity analysis in multiple objective linear programming: The tolerance approach," *European Journal of Operational Research*, Vol. 38, 1989, pp. 63-69.
  - 12) Harker P.T. and L.G. Vargas, "The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process," *Management Science*, Vol. 33, 1987, pp. 1383-1403.
  - 13) Khorranshahgol R. and V.S. Moustakis, "Delphic hierarchy process (DHP): A methodology for priority setting derived from the delphi method and analytical hierarchy process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 37, 1988, pp. 347-354.
  - 14) Marcotte O. & R.M. Soland, "An Interactive branch & bound algorithm for multiple criteria optimization," *Management Science*, Vol. 32(1), 1986, pp. 61-75.
  - 15) Marcotte O. and Soland R.H., "An Interactive branch & bound algorithm for multiple criteria optimization," *Management Science*, Vol. 32, 1986.
  - 16) McGinnis M.A., "The key to strategic planning: Integrating analysis and intuition," *Sloan Management Review*, Vol. 25(1), 1984, pp. 45-52.
  - 17) Meredith J.R., "Reconsidering the decision-making approach to management." *OMEGA*, Vol. 12, No. 4, 1984, pp. 347-352.
  - 18) Nijkamp P. & J. Spronk, *Multiple Criteria Analysis*, Gower Pub., England, 1981.

- 19) Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- 20) Saaty T.L., "A scaling method for priorities in hierarchical structures," *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, 1977, pp. 234-281.
- 21) Saaty T.L., *Decisim Making for Leaders*, Lifetime Learning Pub., Belmont California, 1982.
- 22) Scholz C. "OR/MS methodology-A conceptual framework", *OMEGA*, Vol. 12, No. 1, 1984, pp. 53-61.
- 23) Steuer, R.E. and E.U. Choo, "An interactive weighted tchebycheff procedure for multiple objective programming," *Mathematical Programming*, Vol. 26, 1983, pp. 326-344.
- 24) Steuer, R.E. and A.T. Schuler, "An interactive multiple objective linear programming approach to a problem in forest management," *Operations Research*, Vol. 26, 1978, pp. 254-269.
- 25) Steuer R.E. "Multiple objective linear programming with interval criterion weights," *Management Science*, Vol. 23, 1976, pp. 305-316.
- 26) Steuer R.E., *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application*, Wiley, New York. 1986
- 27) Villarreal B. & M.H. Karwan, "Multicriteria integer programming : a (hybrid) dynamic programming recursive approach," *Math. Programming*, Vol. 21, pp. 204-223.
- 28) Widerman P., "Planning with multiple objectives," *OMEGA*, Vol. 6(5), 1978.
- 29) Zahedi F., "The analytic hierarchy process: A survey of the method and its applications," *Interfaces* 16, 1986, pp. 96-108.
- 30) Zeleny M., *MCDM : Past & future Trends*, JAI Press, London, 1984.
- 31) Zionts S., and J. Wallenius, "An interactive programming method for solving the multiple criteria problem," *Management Science*, Vol. 22, 1976, pp. 652-663.
- 32) Zionts S. and J. Wallenius, "An interactive multiple objective linear programming method for a class of underlying nonlinear function," *Management Science*, Vol. 29, 1983, pp. 519-529.