

# 다속성 효용이론을 이용한 다속성 지수의 개발\*

— 지역개발에 대한 의사결정을 중심으로 —

곽승준\*\* · 유승훈\*\*\* · 신철오\*\*\*\*

## 〈차 례〉

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| I. 개 요          | IV. 연구결과의 유용성 |
| II. 연구방법론: MAUT | V. 결 론        |
| III. 적용절차와 결과   |               |

## I. 개 요

현재 우리 나라를 비롯해서 여타 개발도상국가에서 환경정책을 담당하고 있는 의사결정자들은 대기질의 개선, 폐기물, 그리고 환경자원의 보전과 같은 여

\* 본 논문은 '두뇌한국 21' 사업에 의하여 지원되었음.  
\*\* 고려대학교 경제학과.  
\*\*\* 호서대학교 경제통상지역학부.  
\*\*\*\* 고려대학교 경제학과 박사과정.

러 가지 복잡한 환경문제에 직면해 있다. 그러나 이를 처리하기 위한 과학적인 자료와 해결을 위한 접근방법이 항상 가능한 상황에 있는 것은 아니라고 할 수 있다. 또한 환경가치에 대한 일반의 인식수준이 제고되면서 여러 개발정책과 관련된 계획의 수립과 집행이 뜻하지 않은 난관에 봉착하는 일이 빈번해지고 있다. 1995년도에 있었던 굴업도 핵폐기장 선정계획은 지역주민과 여러 환경단체의 강력한 반발에 부딪쳐 백지화된 바 있다. 이 밖에도 대규모 관광단지나 환경관련 시설의 입지문제등에서도 각계의 의사결정상의 참여가 배제된 후 이로 인한 문제가 야기되어 추진에 적지 않은 곤란을 겪는 사례가 늘고 있다. 실제로 환경에 관한 보전정책의 수립과 개발의 추진에는 복잡다단한 생태계에 대한 충분한 인식과 상충하는 이해관계에 대한 조정 및 자원의 제약문제가 동시에 얽혀 있으므로 환경정책의 의사결정자(decision-maker: DM)는 반드시 충분한 자료와 해결을 위한 방법론을 획득하고 있어야 한다(Lindsey *et al.*, 1997).

현재까지 한국적인 상황에서는 대규모 개발계획이 타당한 과학적 자료와 자연자원의 훼손에 대한 경제학적 분석이 선행되지 않고 추진되어 온 측면이 강하다고 할 수 있다. 이러한 상황에서 DM에게 의사결정과정에서 요구되는 명확하고 적절한 자료를 제공하는 것은 대단히 중요한 작업이며 이를 위해 환경정책의 집행과 실행과정에서 사용할 수 있는 방법론을 제공하기 위해 많은 이론가들이 노력해 왔다. 최근 들어 환경과 관련된 여러 의사결정에 대한 가치평가연구들이 다각도로 진행되어 왔다(US EIA, 1995; Kim *et al.*, 1998; Kwak *et al.*, 2000; Desvousges *et al.*, 1995; Dale *et al.*, 1996).

본 연구는 DM의 의사결정상황에 대한 분석을 통해 환경자원의 관리에 도움을 줄 수 있는 방안을 적용해 보고자 한다. 또한 환경영향(environmental impacts)에 대한 속성들을 밝혀 내고 DM이 의사결정상황에서 중요하게 고려하는 목표를 식별해 내어 궁극적으로는 의사결정과 가치추정의 기초가 되는 다속성 효용함수(multi attribute utility function: MUF)를 구성하고 다속성 지수를 개발하는 데에 있다. 방법론적인 측면에서는 다속성 효용이론(multi attribute utility theory: MAUT)을 통한 추정을 사용하여 환경영향의 중요도에 관한 가

치판단을 이끌어 내고 이를 이용하여 환경영향지수를 도출하는 절차에 기반하고 있다.

이후 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ절에서 연구의 방법론인 MAUT에 관한 개략적인 소개를 제시한다. 제Ⅲ절에서는 구체적인 실증연구와 결과를 설명한다. 제Ⅳ절에서는 도출된 결과를 이용한 잠재적 유용성과 정책적 함의를 제시하고, 마지막으로 제Ⅴ절은 결론으로 할애하도록 한다.

## Ⅱ. 연구방법론 : MAUT

MAUT의 접근방법은 von Neumann and Morgenstern (1947)의 효용이론에 기반하고 있으며, Keeney and Raiffa (1976)에 의해 구체적인 기법과 적용절차 등이 개발되었다. 이 접근방법은 위험에 대한 개인의 태도를 반영한 효용함수와 선택된 속성들이 모형에 구체화되도록 하고 있을 뿐만 아니라 모형의 적절한 함수적 형태의 식별문제가 개개인의 선호와 효용에 대한 행태적 가정으로부터 공리적으로 도출된다. 그리고 개별 속성에 있어서 위험에 대한 태도는 DM이 응답한 결과와 이후의 이론적 적용절차에 의해 결정되는 특징이 있다.

MAUT를 통한 의사결정론적 접근방법은 지난 40여 년 간 지속적으로 발전되어 왔을 뿐만 아니라 통상적인 비용-편익분석을 이용한 무형적 환경외부성의 측정문제가 중요하게 대두되면서 전력산업과 관련된 분석 및 여러 환경시설의 입지문제 등과 관련된 분야에 적용되어 왔다. 예를 들어, Keeney *et al.* (1985)은 석탄화력시설의 배출가스 규제와 관련된 대안을 분석하였으며, Marttunen and Hämäläinen (1995)은 수자원 개발과 관련된 환경영향의 평가 및 이와 관련된 의사결정문제에 MAUT를 적용하였다. 또한 Kim *et al.* (1998)과 유승훈 등 (1998)은 전력산업의 입지선정문제에 관한 가치판단에 MAUT를 적용한 바 있다. 그리고 Kwak *et al.* (2000)은 MAUT에 기반한 조건부가치측정법을 사용

하여 서울시 대기질에 관한 속성을 대상으로 가치측정을 시도한 바 있다. EIA (1995)에서는 환경외부성을 다룰 수 있는 다섯 가지 대안 가운데 하나로 선정하기도 하였다. 뿐만 아니라 최근 환경 이외의 분야에서 대상의 속성에 대한 지수의 도출 및 이를 이용한 가치판단 작업에 이용되고 있다(유승훈등, 2000).

MAUT는 경제활동에 의해 야기된 환경영향의 평가에 대한 다양한 모형과 기법을 제시하고 있으며 이러한 모형들은 환경에 대한 여러 속성으로 대표되는 각 대안간의 선택문제를 정교하게 묘사하는 데에 필요한 정식적인 기초를 제공한다. 따라서 이러한 접근절차를 이용할 경우 DM은 선택의 문제에 직면했을 때 이를 기초로 더 나은 대안의 선택을 할 수 있게 된다.

이하의 내용에서는 일반적인 지역개발계획을 상정하여 이에 따른 환경영향을 살펴보고 실제 환경담당 의사결정자의 입장에서 환경영향을 어떻게 평가하는가에 관한 이론적·실제적 논의를 MAUT의 구도에서 살펴보고자 한다. 본 연구에서는 환경부의 정책책임자를 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 여기서는 개발계획을, 예를 들어 사적 용도로 사용되는 시설, 전력시설 또는 혐오시설 등의 설치 문제로 국한하지 않고 생태계에 영향을 미치는 일반적 개발계획에 대한 DM의 판단문제를 다루고자 한다.

### Ⅲ. 적용절차와 결과

본 절의 주요한 관심은 환경영향을 나타낼 수 있는 지수를 구성하는 데 있다. 여기서의 환경영향은 다속성 효용함수로 표현되며, 이는 여러 가지 우선적인 고려사항과 더불어 속성간의 상충관계가 수학적으로 표시된 것을 말한다. 현재 이론과 실제 응용측면에서 여러 가지 MAUT의 적용방법이 있으나, 본 연구에서는 다음의 여섯 단계를 채택하였다.

## 1. 구체적 목표와 속성의 식별

가장 먼저 환경에 대한 영향을 평가함에 있어서 이의 지표가 될 수 있는 일차적인 환경관리의 목적과 속성에 대한 선정이 필요하다. 우선 여러 개발계획의 시행에 따른 환경영향에 대한 광범위한 국내외 문헌에 대한 조사를 실시하였으며, 이러한 과정을 통해 15~20여 개의 이용가능한 속성과 그것들을 정량화할 수 있을 것으로 판단되는 측정단위 등을 선별해 내었다. 그리고 이를 다시 20여 명으로 구성된 생태계, 농업, 환경경제 등의 속성별 관련 전문가 집단에 대한 설문조사를 거쳐 선정된 속성에 대한 검토를 하였다. 이러한 식별과정에서 DM에게 중요성을 갖는 환경정책의 목적과 속성을 비교적 정확히 선별하기 위해 환경부의 정책집행을 담당하는 공무원과의 인터뷰도 실시하였다. 이러한 과정을 거쳐서 개발사업의 환경영향을 평가할 수 있는 구체적인 목적과 속성집합이 결정되었다.

실제 사용된 선별기준은 다음과 같다. 첫째, 환경영향은 외부성이어야 한다. 개발사업과 관련된 특정 영향들은 실제로 외부성을 나타내는 것이 아닌 경우가 존재한다. 예를 들어, 개발과정에서 타인의 재산 또는 신체상에 미친 개발외적 영향은 거의 대부분 개발에 따른 비용 또는 사전적으로는 보험료 등으로 내부화되므로 이러한 영향들은 제외되어야 한다.<sup>1)</sup> 둘째, 외부성은 가변적이어야 한다. 만일 환경영향이 가변적이지 않고 일정 수준을 계속 유지하는 것이라면 이러한 영향은 선정과정에서 제외되어야 한다. 셋째, 영향에 대한 충분한 문헌이 존재해야 한다. 어떤 피해는 그 영향을 계산하기 위한 과학적 정보가 충분하지 못할 수 있는데, 이러한 피해는 불확실한 것으로 분류하여 미래의 연구과제로 남기는 것이 바람직하다. 예를 들어, 당초 개발에 따른 토양오염부분을 고려하

---

1) 농업피해와 소음피해에 관한 속성의 경우 발생과정에서 충분히 내부화될 수 있으므로 선정되는 것에 문제가 있을 수 있다는 견해가 제기된 바 있다. 그러나 관련 전문가 다수와 의사결정자의 판단에 따라 최종속성집합에 포함시키게 되었다.

〈표 1〉 연구에 채택된 목표와 속성

종합목표 개발에 따른 환경영향을 최소화	
1. 지역적 환경영향(local environmental impacts)의 최소화	
1.1 산림(forest)에 대한 환경영향	
1.2 농업생산(agricultural production)에 대한 환경영향	
1.3 자연경관(landscape)에 대한 환경영향	
1.4 지표수(surface water)에 대한 환경영향	
2. 지역적 생활환경영향(local living environmental impacts)의 최소화	
2.1 소음(noise)에 대한 환경영향	
2.2 지하수(ground water)에 대한 환경영향	
3. 전역적 환경영향(global impacts)의 최소화	
3.1 생물종 다양성(bio-diversity)에 대한 영향	
3.1.1 동물종 다양성(fauna-a prime wildlife habitat)에 대한 영향	
3.1.2 식물종 다양성(flora-a wild plant)에 대한 영향	
3.2 지구온난화(global warming)에 대한 영향	

여 이를 속성으로 추가하려했으나 이와 관련된 충분한 문헌자료의 수집과 발생 빈도에 대한 검토가 어려운 점이 지적되어 최종속성집합에서 이러한 토양피해 속성을 제외시킨 바 있다. 넷째, 피해는 상대적으로 적어서는 안 되며 비교적 빈번하게 발생하는 것이어야 한다. 일부 외부성은 다른 것과 비교하여 상대적으로 영향이 미미하다고 볼 수 있으며 따라서 이러한 외부성은 속성으로 선정하지 않았다. 예를 들어, 문헌자료의 검토와 전문가 조사에서 토양에 대한 피해가 고려되었으나 DM 및 다른 전문가의 견해를 수용하여 이를 최종속성집합에서 제외시켰다. 다섯째, 환경에 대한 영향은 DM에게 중요하게 인식되어야 한다.

지역개발과 관련된 환경정책을 입안하고 수행함에 있어서 환경부가 항상 염두해 두고 있어야 하는 전체적인 목표는 개발정책의 환경적 악영향을 최소화할 수 있도록 하는 것이라고 할 수 있다. 이러한 전체적 목표는 다음과 같이 지역적 환경영향의 최소화, 지역적 생활환경영향의 최소화 및 전역적 영향의 최소

화 등의 세 개의 하위목적으로 구분되었다. 지역적 환경영향은 다시 네 개의 하위속성으로 나뉘어지고, 지역적 생활환경영향과 전역적 영향은 각각 두 개의 하위속성으로 구분된다(<표 1> 참고). 결국 목적과 속성의 식별과정에서 중요한 속성으로 아홉 개가 선정되었으며, 이러한 결과는 의사결정자에게 부여될 속성들간의 판단과 선호의 표출과정에 비추어 볼 때, 일단 적절하다고 볼 수 있다 (Phelps and Shanteau, 1978).

## 2. 속성의 정량화

속성의 수준을 정량화하는데 있어서 속성의 영향과 관련된 여러 가지 자료들이 사용되었다. 그러나 이를 조사하는데 있어서 특정 환경영향에 대해 구체적인 과학적 정보가 그리 많지 않았다는 점을 지적할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 광범위한 문헌 수집·검토에 많은 시간을 할애하였다. 동일한 양의 오염물질이라 하더라도 기후, 문화, 인구 등에 따라 환경영향은 다르므로 먼저 국내문헌들을 수집하여 외국의 문헌과 비교하여 속성의 평가단위 및 수준범위를 결정하였다.<sup>2)</sup> 각 속성에 대해 <표 2>에서 나타낸 바와 같이 DM이 고려할 수 있는 수준에서의 최소와 최대 허용범위를 결정하였다.

---

2) 참고한 주요 국내문헌은 다음과 같다. 지역적 환경영향과 관련해서는 구자형(1984), 국립환경연구원(1988, 1989), 김용익(1991), 김종갑(1992), 김종욱(1995), 김준선(1992), 김태욱(1976), 과학기술처(1996), 산림청(1987), 이정연(1985), 지광재(1996), 한국전력공사(1989), 환경부(1999) 등을, 지역적 생활환경영향과 관련해서는 강효성(1994), 대한주택공사(1998), 한국소음진동공학회(1995), 환경부(1996) 등을, 그리고 전역적 환경영향과 관련해서는 기상청(1993), 이명인(1996), 허창희(1994) 등을 참고하였다.

〈표 2〉 속성의 평가단위 및 수준범위

속 성	가정 최저 수준	가정 최고 수준	단 위
1.1 산림 산림피해의 면적	600	0	ha
1.2 농업생산 쌀생산감소비율	20	0	%
1.3 자연경관 자연경관피해면적	1000	0	ha
1.4 지표수 일일 발생하는 폐기물량	270	0	ton/day
2.1 소음 개발로 인한 소음의 정도	85	50	dB(A)
2.2 지하수 연간 하수처리비용 증가율	30	0	%
3.1.1 동물종다양성 동물서식지 감소면적	480	0	ha
3.1.2 식물종다양성 식물서식지 감소면적	480	0	ha
3.2 지구온난화 연간 화석연료사용량	30	3	1000 ton/day

### 3. 가정의 적절성 확인

본 단계에서는 가정의 적절성의 확인을 통하여 다속성 효용함수의 함수적 형태를 도출할 수 있게 된다. 따라서 여기서는 선호독립, 효용독립 및 선호의 가



법성으로 구성되는 가치독립에 관한 테스트가 요구된다. 테스트 결과에 따라 이러한 여러 조건들이 만족되는 것으로 확인되면, 가법적인 다속성 효용함수를 상정하는 것이 타당하게 된다(Fishburn, 1965). 그러나 DM으로부터 이러한 독립성 조건들이 만족되는가를 확인하기 위해서는 여러 단계의 길고 복잡한 검증과정을 거쳐야 하는 문제가 야기된다. 따라서 현실적인 제약을 고려할 때, 가법적인 형태를 가정하고 논의를 진행시켜도 실제의 가치에 비교적 잘 근사하는 것으로 상정된다.

이는 첫째, 실증연구의 관점에서 각 속성이 다른 속성에 대한 수단이 아니라는 점에 있어서 근본적(fundamental)이고 속성의 목록이 포괄적(comprehensive)이라면 독립성에 대한 검증 없이 가법형 형태의 다속성 효용함수를 사용하는 것이 별 무리가 없기 때문이다(Keeney, 1992). 둘째, 일부 속성들은 속성이 어떻게 만들어지는가, 즉 생산함수의 관점에서는 독립적이지 않을 수 있지만, 속성들의 가치가 어떻게 평가되는가, 즉 가치함수(value function)의 관점에서는 얼마든지 독립적일 수 있다. 따라서 대부분의 실증연구에서도 의사유도절차의 복잡성을 줄이기 위해 단순한 가법형 구조가 거의 항상 가정된다(Edwards and von Winterfeldt, 1987). 셋째, 가법형 함수는 다양한 상황에서 응용 MAUT 연구에 대한 한 기초로서 강건할 뿐만 아니라 보다 복잡한 승법형 함수의 기본적인 출발점이 되기에 충분하다(McDaniels, 1996).

본 연구에서 사용되는 함수적 형태는 다음과 같다.

$$U(x_1, x_2, x_3) = k_1u_1(x_1) + k_2u_2(x_2) + k_3u_3(x_3) \quad (1)$$

여기서  $U$ 는 MUF를 나타내며, 포함하고 있는 세 개의 주요 하위 속성으로 지역적 환경영향( $x_1$ ), 지역적 생활환경영향( $x_2$ ), 그리고 전역적 영향( $x_3$ )이 포함되어 있으며, 가법적인 구조를 갖는다.  $k_i$ 는 주요 구성요소에 대한 비례상수로서  $\sum_{i=1}^3 k_i = 1$ 이고,  $U$ 와  $u_i$ 는 <표 2>에서의 범위에서 0과 1 사이에 값을 갖는 것으로 정규화되어 있다.

#### 4. 단일속성 효용함수의 도출

단일속성 효용함수의 정확한 형태를 얻기 위해서는 먼저, DM이 가진 특정 속성에 대한 위험태도가 결정되어야 한다. 그런 후에 일반적인 형태로부터 구체적인 개별속성함수가 식별된다. 일반적으로는 지수적 함수형태 또는 선형의 함수형태가 가정되며, 이러한 형태를 사용하는 것이 개별속성효용함수를 추정하는데 있어서 강건(robust)한 것으로 알려져 있다(Keeney, 1992).

설문과정에서 DM은 자신의 위험에 대한 태도에 있어서 일관성을 보여 주었으며, 함수의 계수값을 구하는데 필요한 확실성 등가(certainty equivalent)를 구할 수 있었다. <표 3>에 제시된 결과에서 볼 수 있듯이 DM은 소음피해를 제외하고는 모든 속성에 대해 위험 기피적인 태도를 보여 주었다.<sup>3)</sup> 소음피해에 대한 태도는 위험 선호적인 것으로 나타났다.

<표 3> 단일속성 효용함수 분석결과

속 성	단일속성 효용함수	단 위
산 림	$u_{11}(x_{11}) = 1.30902 - 0.309017 \exp(2.40606 \times 10^{-3} x_{11})$	ha
농업생산	$u_{12}(x_{12}) = 1.78406 - 0.78457 \exp(4.11082 \times 10^{-2} x_{12})$	%
자연경관	$u_{13}(x_{13}) = 1.78406 - 0.784057 \exp(8.22163 \times 10^{-4} x_{13})$	ha
지 표 수	$u_{14}(x_{14}) = 2.76864 - 1.176864 \exp(1.6598 \times 10^{-2} x_{14})$	ton/day
소 음	$u_{21}(x_{21}) = -1.27407 + 5.20292 \exp(-1.6553 \times 10^{-2} x_{21})$	dB(A)
지 하 수	$u_{22}(x_{22}) = 2.39743 - 1.39743 \exp(1.7992 \times 10^{-2} x_{22})$	%
동물종다양성	$u_{311}(x_{311}) = 3.51394 - 2.51394 \exp(6.9768 \times 10^{-4} x_{311})$	ha
식물종다양성	$u_{312}(x_{312}) = 3.51394 - 2.51394 \exp(6.9768 \times 10^{-4} x_{312})$	ha
지구온난화	$u_{32}(x_{32}) = 2.76864 - 1.68273 \exp(1.6598 \times 10^{-2} x_{32})$	1000 ton/day

3) 맵스매티카(Mathematica 4.0)를 이용하여 구하였다.

## 5. 속성의 상대적 중요성 평가

개별속성에 대한 효용함수를 도출한 후에는 각 속성들의 상대적 중요성을 평가하여 이로부터 DM에게 어떠한 속성들이 얼마만큼의 중요도를 갖는가를 도출할 수 있게 된다. 상대적 중요성을 평가하기 위해서는 설문을 통해 자신이 선호하는 속성에 따라 속성들을 나열하고 이에 대해 가중치를 매기도록 유도하게 된다. 이러한 과정을 수행하기 위해 여기서는 가장 일반적으로 사용되는 가중치 결정방법인 스윙기법을 사용하였다(Russell *et al.*, 2000; Dale *et al.*, 1996).<sup>4)</sup> 응답의 일관성을 보장하기 위해 스윙기법을 두 번에 걸쳐 사용하였는데 먼저 세 가지 목적과 각 하위 속성에 관해 적용하였다. 그런 다음 아홉 개의 속성에 대해 한번 더 실시하는 방법을 사용하였다. 독립성 조건의 충족을 위해 DM에게는 인터뷰 실시과정에서 각각 고려하고 있는 속성을 제외한 나머지 속성들은 어떤 특정수준에서 변하지 않음을 지속적으로 주지시켰다.

## 6. MUF의 구성

앞서 실시된 5단계까지의 결과를 통해 MUF가 구성될 수 있다. MUF는 지역적 자연환경영향, 지역적 생활환경영향, 전역적 영향의 세 가지 구성요소를 가지고 있으며 가법적인 형태로 나타낼 수 있다. 그리고 세 개의 주요 구성요소에 대한 각각의 비례상수  $k_i$  값은 다음과 같다.

$$k_1 = 0.575381, \quad k_2 = 0.028331, \quad k_3 = 0.396288$$

---

4) 가중치를 결정하는 여러 가지 방법의 소개와 스윙기법의 바람직성에 대한 보다 자세한 논의는 Roessler and McDaniels (1994)를 참고할 수 있다.

지역적 환경영향과 관련하여 효용함수  $u_1$ 은 네 개의 하위속성에 관해 가법적이며, 비례상수들간에는  $\sum_{j=1}^4 k_{1j} = 1$ 의 관계를 만족하므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 u_1(x_1) &= k_{11}u_{11}(x_{11}) + k_{12}u_{12}(x_{12}) \\
 &\quad + k_{13}u_{13}(x_{13}) + k_{14}u_{14}(x_{14}) \\
 k_{11} &= 0.354999 \\
 k_{12} &= 0.139073 \\
 k_{13} &= 0.292531 \\
 k_{14} &= 0.213397
 \end{aligned} \tag{2}$$

지역적 생활환경영향을 나타내는 효용함수  $u_2$  역시 두 개의 하위속성에 관해 가법적이므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$u_2(x_2) = u_2(x_{21}, x_{22}) = k_{21}u_{21}(x_{21}) + k_{22}u_{22}(x_{22}) \tag{3}$$

<표 2>의 속성범위내에서  $u_i$ 는 0과 1 사이에 정규화되었다. 또한  $k_j$ 은  $\sum_{j=1}^2 k_{2j} = 1$ 을 만족하는 상대적 중요도를 뜻한다. 이에 따른 계산 결과는 다음과 같다.

$$k_{21} = 0.569909, \quad k_{22} = 0.430091$$

지역적 환경영향을 나타내는 효용함수  $u_3$ 는 두 개의 하위속성, 즉 동식물 다양성과 기후변화속성에 대해서 가법적이나 동물종 다양성과 식물종 다양성 속성 상호간에는 일반적 의미에서 상호 대체적 관계가 성립된다고 볼 수 있으므로, 가법적이 아니라 승법적으로 표현하였다. 따라서 함수적 형태를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

〈표 4〉 효용함수 구성결과

속 성		정규화된 비례상수	순 위
지역적 환경영향 ( $x_1$ )	산림피해 ( $x_{11}$ )	0.204	2
	농업생산피해 ( $x_{12}$ )	0.080	6
	경관피해 ( $x_{13}$ )	0.168	3
	지표수오염 ( $x_{14}$ )	0.123	5
	계	0.575	
지역적 생활환경영향 ( $x_2$ )	소음피해 ( $x_{21}$ )	0.017	8
	지하수오염 ( $x_{22}$ )	0.012	9
	계	0.029	
전역적 영향 ( $x_3$ )	동물종다양성상실 ( $x_{311}$ )	0.149	4
	식물종다양성상실 ( $x_{312}$ )	0.227	1
	지구온난화 ( $x_{32}$ )	0.020	7
	계	0.396	

$$u_3(x_3) = u_3(x_{31}, x_{32}) = k_{31}x_{31}(x_{31}) + k_{32}u_{32}(x_{32}) \quad (4)$$

$$u_{31}(x_{31}) = u_{31}(x_{311}, x_{312}) \quad (5)$$

$$1 + ku_{31}(x_{311}, x_{312}) = [1 + kk_{311}u_{311}(x_{311})] [1 + kk_{312}u_{312}(x_{312})] \quad (6)$$

그리고 이러한 함수적 형태에 따른 계수값들은 다음과 같이 계산되었다.

$$k_{31} = 0.949159, \quad k_{32} = 0.050841$$

$$k = 48.9764, \quad k_{311} = 0.1, \quad k_{312} = 0.152596$$

위와 같은 승합형인 함수적 형태로부터 직관적인 비교를 쉽게 이끌어낼 수 있기 위해서는 상대적 영향에 관한 계수값들을 정규화시키는 것이 필요하다. 이

에 따라 정규화된 계수값들은 다음과 같다.

$$k_{311}' = 0.395889, \quad k_{312}' = 0.60411$$

결국 최종적인 MUF는 식 (1)부터 식 (6)에 의해 구성되게 된다.

이와 같은 과정을 통해 도출된 속성의 중요도와 정규화된 비례상수의 값이 <표 4>에 제시되어 있다. 이러한 비례상수의 값을 통해서 우리는 DM에게 가장 중요성을 갖는 속성이 주어진 속성의 범위내에서 식물종 다양성, 산림 등의 순으로 나타남을 알 수 있다. 전체적으로는 지역적 환경영향이 DM에게 인식되는 환경영향의 약 57.5%를 설명하고 있으며, 상대적으로 지구온난화속성은 주어진 속성 범위내에서 2%만을 설명하고 있으며, 지하수오염속성이 아홉 개의 속성 가운데 가장 덜 중요한 속성임을 알 수 있다.

#### IV. 연구결과의 유용성

지금까지 우리는 MAUT의 적용가능성을 검토해 보았고 이를 통해 DM이 직면한 개발과 관련된 환경문제에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 현재 MAUT는 앞서도 언급한 바와 같이 여러 종류의 환경시설의 입지선정문제와 관련하여 논의되었으나 아직까지 이해관계자의 참여가 공공의 의사결정문제에 대한 수단으로는 많이 이용되지 않은 측면이 있다(Merkhofer *et al.*, 1997; Marttunen and Hämäläinen, 1995). 자연환경의 중요한 측면과 관련된 DM의 관점을 반영하는 MAUT 접근방법은 다음과 같은 여러 장점을 지닌다. 첫째, 의사결정의 기술적인 구성요소와 가치의 구성요소를 명확하게 구별할 수 있게 하고, 기술적인 정보는 전문가나 관련 문헌으로부터 도출하며, DM 또는 관련 이해당사자들은 이에 대한 가치판단을 수행하게 한다. 둘째, 상황변화에 대한

유연성을 지닌다. 이는 각 속성의 변동을 상당히 넓게 허용하는 이론의 특성에 따른 것이라고 할 수 있다. 결과적으로 의사결정상황이 변하더라도 재계산이 용이하여 이로부터 필요한 정보를 얻을 수 있다.

## 1. 목적과 속성의 식별

목적과 속성의 식별과 관련하여 우리는 조직 전체의 관점에서 환경에 대한 전반적인 계획의 단계에서 지역적 환경영향, 지역적 생활환경영향, 전역적 환경영향이 중요한 고려대상이 되고 있음을 알 수 있으며 암묵적으로 전개되어 오던 의사결정과정상의 목표를 <표 1>과 같이 명확화하였다. 이에 따라 <표 1>에 제시된 목적과 이에 따른 속성은 전반적인 환경계획의 수립과 실행단계에서 유용하게 사용될 수 있다. 환경에 관한 계획의 수립과 집행단계에서 여러 환경관리 주무부서간의 의사교환의 불충분성이 정보의 유통과 관련하여 문제점으로 지적되기도 한다.

환경부 조직내에서 의사결정상의 합의도출과 원활한 의견의 교환을 촉진할 수 있는 가장 효과적인 방법 가운데 하나는 환경관리가 추구하는 목적을 분명하게 정의하고 이에 관련된 정보가 각 부서간에 원활히 유통되도록 하는 것이다. 이러한 맥락에서 앞서 이론적·실제적 절차를 거쳐 도출된 MUF를 이용하는 것이 합리적이다. 더욱이 이렇게 제공된 정보는 DM으로 하여금 더욱 적절한 환경관리수단을 선택할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. 즉, 한정된 경제적 자원하의 제약된 선택에 직면한 DM은 이를 이용해 자원의 할당과 관련한 적절한 판단을 내릴 수 있는 것이다. <표 4>에 제시된 비례상수를 통해서 보면 개발계획과 관련된 환경영향의 측면에서 지역적 자연환경영향이라는 목적이 전체 변화의 약 57.5%를 설명할 수 있는 것으로 나타나 있다. 따라서 이런 관점에서 동일한 자원이 소요된다고 가정할 때 자연환경영향을 최소화하는 방향으로 정책을 수립하고 실시하는 것이 전역적 환경영향을 최소화하는 정책보다 우선시 되어야 함을 알 수 있다.

## 2. 수단선택에 따른 민감도 분석

본 연구는 DM이 여러 가지 대안을 선택해야 하는 상황에 적용 가능하다. <표 5>에는 가상적인 두 가지 대안에 따른 각 속성의 값이 제시되어 있다. 두 번째와 세 번째 열의 각 값은 단일 효용함수의 가상적인 수치를 나타내며, 도출된 속성의 지수화된 값들이 대안의 판단문제에 어떻게 적용될 수 있을 것인가를 예시하기 위해 만들어진 수치이다. 제시된 단일속성 효용함수의 값만으로는 어느 것이 우월한 대안인지에 대한 판단이 쉽게 서지 않게 된다. 그러나 MUF를 구성하고 이에 따른 효용함수값을 계산하는 경우 이 값에 의해 두 대안의 수평적 비교가 가능해지게 된다. 대안 1의 경우 0.326으로써 대안 2의 0.313에 비해 더 크게 계산되어 결과적으로 대안 1이 더 우월한 것임을 알 수 있다. 그러나 이러한 판단을 내리기 위해서는 먼저 환경에 대한 정확한 투입/산출 또는 환경영향의 인과관계 및 측정문제에 대한 지식이 있어야 하며, 이를 가정한 상

<표 5> 대안의 선택문제 예시

구 분	대안 1	대안 2
$u_{11}(x_{11})$	0.183	0.223
$u_{12}(x_{12})$	0.401	0.652
$u_{13}(x_{13})$	0.306	0.577
$u_{14}(x_{14})$	0.285	0.316
$u_{21}(x_{21})$	0.219	0.675
$u_{22}(x_{22})$	0.285	0.590
$u_{311}(x_{311})$	0.389	0.123
$u_{312}(x_{312})$	0.395	0.132
$u_{32}(x_{32})$	0.546	0.623
$U(x)$	0.326	0.313



태에서 <표 5>와 같은 가상적인 상황의 비교가 가능하게 된다. 따라서 이러한 부분에 대한 후속연구를 통해 더욱 과학적인 민감도 분석이 이루어질 것이다. 그러나 MAUT 접근방법은 지수의 관점에서 더욱 다양한 대안의 제시가 가능하다. 일단 환경관리 목적에 대한 중요한 속성이 정의되고 나면 이를 이용하여 작업을 묘사할 수 있게 된다(Keeney, 1992). 그런 다음 각 목적과 그 하위목표에 대해 그것을 가장 잘 달성할 수 있는 또 다른 방안이 없는가에 대한 질문을 통해 새로운 대안의 제시가 가능한 것이다.

### 3. 환경영향평가의 개선

현재 한국에서는 개발과 관련되어 야기될 수 있는 환경오염을 방지하기 위한 수단으로 환경영향평가제도가 마련되어 실시되고 있다. 이에 따르면 개발계획의 수립과 집행단계에서 시행자는 환경의 질적 수준을 유지하고 환경피해를 감소시킬 수 있는 조치들을 실시하도록 하고 있다.

본 연구에서 이용된 MAUT 방법론은 환경영향평가제도를 더욱 발전시키는 데에 사용될 수 있다. 현행 환경영향평가법에서는 19개 사업영역에서 63가지 사업에 대해 환경영향평가를 실시하도록 규정하고 있으며 공청회와 지역주민의 참여절차를 보장하고 있다. 이러한 절차와 관련하여 환경영향평가법은 공청회에 앞서 환경영향평가서가 사전에 일반에 공개되도록 하고 있다. 그러나 환경영향평가와 관련된 모든 절차들은 실제 개발계획이 확정된 단계에서 자연훼손과 환경오염의 최소화에 목적을 두고 있다는 문제가 제기된다.

환경영향평가제도가 사전적 예방수단으로써 환경목표를 달성하기 위해서는 동 제도가 개발계획과 환경보호수단에 있어서 의사결정도구로 활용될 수 있어야 한다. 따라서 사후적 환경피해의 최소화에 앞서 의사결정이론을 도입한 MAUT 접근법을 이용, DM과 관련된 지역주민, 개발사업의 시행자 간에 합의를 유도하고 이에 기반한 사전적 예방수단과 합리적 개발이 이루어지도록 제도를 보완할 필요가 있다. 따라서 환경영향평가제도가 환경보호와 개발의 합리적

조화라는 목적을 달성하기 위해서는 환경계획관리에 대한 DM이 개발에 따른 다양한 영향을 최소화하고, 서로 다른 이해관계자간의 의견을 조율할 수 있는 예방적 수단을 갖고 있어야 한다. 이러한 맥락에서 MAUT를 통한 접근법은 정책형성과 환경대안의 검증도구로써 이용될 수 있다.

#### 4. 추후 연구방향

앞으로 추후 연구를 통해 환경정책을 수립하고 집행하는 입장에서 이용가능한 더욱 정교한 의사결정상의 전체적 기회집합이 밝혀질 필요가 있다. 그러나 여기에는 먼저 해결해야 할 두 가지의 과제가 있다. 첫째는 개발에 따른 정확한 환경영향과 이에 따른 오염수준을 과학적으로 추정해 내는 추정할 수 있는 정보를 획득하는 일이다. 만일 정보의 부재가 존재할 경우 개발에 따른 오염을 방지하기 위한 투자가 실제로 얼마만큼의 효과를 가져올 것인가가 불명확해지게 된다. 따라서 오염의 수준과 개별 속성의 변화수준 간에 관계를 추정할 수 있는 후속연구가 필요하다. 둘째, 본 연구에서는 MUF를 구성하기 위해 단 한 명의 DM의 관점이 반영되었다. DM을 포함하여 다양한 이해당사자의 견해를 반영한 효용함수가 구성된다면, 이해당사자와 정책당국 모두의 이해를 증진시킬 수 있을 것이고 나아가 보다 바람직한 환경관련 의사결정을 할 수 있을 것이다.

### V. 결 론

본 연구의 목적은 환경보존과 상충하는 이해관계의 조절을 담당하고 있는 DM에게 정책결정에 타당한 정보를 제공할 수 있는 방법론에 대한 체계적 적용을 시도하고 이러한 방법론적 절차에 따라 다속성 지수를 개발하는 것이었다. 본 연구에서는 MAUT의 적용절차에 대한 검토를 실시하였으며, 도출된 다속성

지수를 이용하여 DM에게 개발에 앞서 당면한 실제문제를 해결할 수 있는 대안을 제시하고자 하였다. 이러한 목적을 이루기 위해서는 채택된 방법론을 통해 현실에서 실현가능하고 의사결정과정에 영향을 주는 여러 가지 잠재적 상황에 대한 고려가 가능하도록 설계되어야 한다. 환경자원에 대한 가치측정과 합리적 의사결정론의 도입이 필요한 한국의 실정에서는 본 연구에서 채택한 MAUT 접근이 어느 정도 잠재적 유용성을 갖는다고 말할 수 있다.

### ◎ 참고 문헌 ◎

1. 강효성, “건축폐기물 관리현황 및 재활용방안”, 대림기술정보, 43, 1994, pp. 12~17.
2. 구자형, “대기오염물질이 관상식물에 미치는 피해 및 피해경감에 관한 연구”, 경북대학교 박사학위논문, 1984.
3. 국립환경연구원, 『대기오염과 식물 : 해설과 도해』, 1988.
4. \_\_\_\_\_, 『환경오염생물 지표법의 개발연구』, 1989.
5. 기상청, 『기후변화가 한반도에 미치는 영향 (기후변화 예측 시나리오)』, 1993.
6. 김용익, “대기오염이 국민건강에 미치는 영향”, 서울대학교 석사학위논문, 1991.
7. 김종갑, “온산공단주변의 대기오염이 산림식생에 미치는 영향”, 경상대학교 박사학위논문, 1992.
8. 김종욱, “대기오염물질에 대한 신갈나무 숲의 생리-생물학적 반응과 오존에 의한 생산성 예측모델”, 서울대학교 박사학위논문, 1995.
9. 김준선, “대기오염물질이 여천공단 주변 해송의 양묘행태와 군락구성에 미치는 영향”, 서울대학교 박사학위논문, 1992.
10. 김태욱, “대기오염이 조경수목의 생육에 미치는 영향: 아황산가스에 대하여”, 서울대학교 박사학위논문, 1976.
11. 과학기술처, 『생물다양성의 국가적 비용-편익분석을 통한 국가 정책방안 수립』, 과학기술처, 1996.

12. 농촌진흥청, 『원색도감 농작물환경오염피해분석』, 농업기술연구소, 1985.
13. 대한주택공사, 『건설공사장 소음도 평가 및 예측기법 개발연구』, 주택연구소, 1998.
14. 산림청, 『대기오염과 산성우가 산림생태계에 미치는 영향』, 임업연구원, 1987.
15. 유승훈 · 곽승준 · 김태유, “서울시 대기질 속성의 가치측정: 다속성 효용이론에 근거한 조건부 가치측정법”, 『환경경제연구』, 제7권, 제2호, 한국환경경제학회, 1992, pp. 243~270.
16. \_\_\_\_\_, “환경관련 의사결정을 위한 환경영향지수: 전력산업을 중심으로”, 『자원경제학회지』, 제7권, 제2호, 한국자원경제학회, 1998, pp. 111~135.
17. 유승훈 · 김준상 · 김태유, “전파자원 관리에 대한 의사결정분석: 다속성 효용이론의 적용을 중심으로”, 『정보통신정책연구』, 제7권, 제1호, 정보통신정책학회, 2000, pp. 59~84.
18. 이명인, “한반도 기온변동성과 온난화”, 서울대학교 석사학위논문, 1996.
19. 이정연, “대기오염이 호흡기계 질환에 미치는 영향에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문, 1985.
20. 지광재, “대기오염지역과 대조지역에서 대기오염물질에 대한 리기다소나무 바늘잎의 생태적 반응비교”, 서울대학교 석사학위논문, 1996.
21. 한국소음진동공학회, 한국도로공사, 『건설공사장 소음 · 진동 방지시설설계기법에 관한 연구 I』, 한국소음진동공학회, 1995.
22. \_\_\_\_\_, 『건설공사장 소음 · 진동 방지시설설계기법에 관한 연구 II』, 한국도로공사 도로연구소, 1996.
23. 한국전력공사, 『석탄화력발전소 가동이 주변지역의 육상식물에 미치는 영향 조사 연구』, 기술연구원, 1989.
24. \_\_\_\_\_, 『전원입지확보업무편람』, 입지처, 1995.
25. 허창희, “이산화탄소의 증가에 따른 기후변화의 모델연구”, 서울대학교 박사학위논문, 1994.
26. 환경부, 『훼손된 생태계의 Biodiversity 평가 및 복원기법개발』, 1996.
27. \_\_\_\_\_, 『자연경관의 보전 및 관리 : 사례집』, 1999.

28. Dale, V., Russell, C., Hadley, M., Kane, M. and R. Gregory, "Applying Multi-Attribute Utility Techniques to Environmental Valuation: A Forest Ecosystem Study," *Paper Presented at the Southern Economic Association Meetings*, Washington, DC., 1996.
29. Desvousges, W. H., Johnson, F. R., Banzhaf, H. S., Russell, R. R., Fries, E. E., Dietz, K. J. and S. C. Helms, *Assessing Environmental Externality Costs for Electricity Generation*, Report to Northern States Power Company, Minnesota: Triangle Economic Research, Durham, N. C., 1995.
30. Edwards, W. and von Winterfeldt, D., *Public Values in Risk Debates*, *Risk Analysis*, 7, 1987, pp. 141~158.
31. Energy Information Administration (EIA), US, *Electricity Generation and Environmental Externalities: Case Studies*, DOE/EIA-0698, Washington, D.C.: US Department of Energy, 1995.
32. Fishburn, P. C., *Independence in Utility Theory with Whole Products Sets*, *Operation Research*, 13, 1965, pp. 28~43.
33. Keeney, R. L., *Value-Focused Thinking*, Cambridge : Harvard University Press, 1992.
34. \_\_\_\_\_ and H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs*, New York : John Wiley & Sons, 1976.
35. \_\_\_\_\_ and T. L. McDaniel, *Value-focused Thinking about Strategic Decisions at BC Hydro*, *Interfaces*, 22, 1992, pp. 94~109.
36. Kim, T. Y., Kwak, S. J. and S. H. Yoo, *Applying Multi-attribute Utility Theory to Decision-making in Environmental Planning: A Case Study of Electric Utility in Korea*, *Journal of Environmental Planning and Management*, 51, 1998, pp. 597~609.
37. Kwak Seung-Jun, Yoo Seung-Hoon and Tai-Yoo Kim, *A Constructive Approach to Air Quality Valuation in Korea*, *Ecological Economics*, Forthcoming, 2000.
38. Lindsey, G., Wittman, J. and M. Rummel, *Using Dindices in Environmental Planning: Evaluating Policies for Wellfield Protection*, *Journal of Environmental Planning & Management*, 40, 1997, pp. 685~703.
39. Marttunen, M. and R. P. Hämäläinen, *Decision Analysis Interviews in Environmental*

- Impact Assessment, *European Journal of Operational Research*, 87, 1995, pp. 551~563.
40. McDaniels, T. H., A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities, *Journal of Environmental Management*, 46, 1996, pp. 57~66.
41. Merkhofer, M. W., Conway, R. and R. G. Anderson, Multiattribute Utility Analysis as a Framework for Public Participation in Siting a Hazardous Waste Management Facility, *Environmental Management*, Vol. 21, No. 6, 1997, pp. 831~839.
42. Phelps, R. H. and J. Shanteau, Livestock Judges: How Much Information Can an Expert Use?, *Organizational Behavior & Human Performance*, 21, 1978, pp. 209~219.
43. Roessler, C. and T. L. McDaniels, *A Critique of Analytical Approaches for Full Cost Accounting*, Report to Environment Canada, DOE FRAP 1994-08, 1994.
44. Russell, C. S., Dale, V., Lee, J., Hadley, M., Kane, M. and R. Gregory, Experimenting with Multi-attribute Utility Survey Methods in a Multi-dimensional Valuation Problem, *Environmental and Resource Economics*, Forthcoming, 2000.
45. von Neumann, J. and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton: Princeton University Press, 1947.
46. von Winterfeldt, D. and E. Edwards, *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

ABSTRACT

---

A Multi-attribute Index for Assessing Environmental  
Impacts of Regional Development Projects:  
A Case Study of Korea

---

Seung-Jun Kwak · Seung-Hoon Yoo · Chul-Oh Shin

Evaluating environmental impacts of regional development projects has critical importance in environmental management aspect. This paper uses multi-attribute utility theory as a basis for obtaining a value index to assess the environmental impacts and applies the theory to a specific Korean case study. To structure and quantify basic values for the assessment, we elicited important attributes, then refined and structured them into a hierarchy. An environmental multi-attribute index is constructed as a multi-attribute utility function, based on value judgments provided by a group of technical experts, policy makers, and a decision-maker at Korean Ministry of Environment. The implications of the results are also discussed. We found that the work and results can provide valuable insights for assessment of environmental consequences.

Key words: Multi-attribute utility theory; Multi-attribute index; Decision analysis; Decision-making; Environmental impact assessment.