

한국기술혁신학회

2002년 추계 학술대회 발표논문

## 다속성효용이론을 적용한 열공급시스템 대안 평가

An Assessment of Alternative for Thermal Supply System  
Using Multiple Attribute Decision Making Theory

이덕기\*, 양종택\*\*

한국에너지기술연구원\*, 충북대학교\*\*

### 목 차

- I. 서 론
- II. 다속성효용이론의 고찰
- III. 다속성효용이론을 적용한 시스템평가 및 선정
- IV. 결 론

---

\* 한국에너지기술연구원, 기술이전연구팀장, deokki@kier.re.kr

\*\* 충북대학교, 경영학과 교수, yang2331@trut.chungbuk.ac.kr

## I. 서 론

에너지는 국가 경제 활동의 근간이 되는 기반산업으로 경제의 안정 성장에 영향을 미치는 공공성이 강한 산업이다. 에너지 기술혁신의 중요성을 부각시키고 있는 것으로서 가장 큰 이유는 기존의 화석에너지사용에 따른 환경문제로서 지구환경문제와 밀접한 관계성을 지니고 있다. 실제 우리 나라의 에너지 소비는 2001년 들어 IMF이전 수준으로 다시 되돌아가 총 198,409천TOE를 소비한 것으로 나타났는데 이는 '97년 총 에너지소비인 180,638 천TOE를 넘어서는 수준을 보이고 있다. 특히, 수입의존도에 있어서는 연도를 더해가며 지속적인 증가를 보여 왔으며 2001년 들어서는 97.3%를 차지하고 있다.

열공급시스템은 회수→수송→공급의 네트워크 형태로 구성하고 있는 각각의 요소 기술들이 최적의 형태로 서로 조합하는 것으로서 시스템 구축에서 가장 중요한 부분으로 부각되고 있다. 열공급시스템은 열회수기술, 열수송기술, 열공급이용기술 등의 조합에 의하여 무수히 많은 대안을 생성할 수 있다.

산업단지나 발전소 등과 같은 열원에서 발생하는 열을 사용 가능한 에너지로 재생하기 위해 열회수기술을 이용하여 회수하게 되는데 이러한 다양한 열을 유용하게 이용하기 위해서는 열원의 성질에 따라 유용한 열회수기술을 선택해서 사용해야 한다. 그러나, 손실되는 열을 회수하더라도 사용처까지 이송시킬 수 없다면 의미가 없으며 회수된 폐열의 수요처인 배후 도시에 열손실 없이 장거리 수송을 위한 개념의 시스템기술이 필요하게 된다. 이와 관련된 기술이 열수송기술이며 이러한 수송효율을 높이기 위해 몇몇 기술들이 개발중이거나 개발된 상태이다. 공급된 열의 온도가 수요처에 필요한 온도 이하라면 온도를 올려줄 필요가 있으며 이와 관련된 기술이 보일러와 같은 열공급 이용기술이다. 열공급 최적화시스템은 열회수, 열수송, 열공급이용 부문 요소기술들의 조합에 의해 발생열원에서 수요처까지 열을 효율적으로 이용할 수 있게 하는 에너지 시스템을 말한다. 따라서 효과적이고 효율적인 시스템을 구성하기 위한 시스템 대안들은 이들 요소기술들의 조합에 의해 만들어 질 수 있다. 현재, 에너지 흐름시스템에 대한 열공급시스템에 대한 명백한 평가방안이 제시되지 않은 상황에서 다양한 평가속성의 결정과 함께 적합한 열공급 시스템 평가 선정모형의 확립이 필요하며 이를 이용한 최적 열공급 시스템을 선정하여 제시할 필요성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 다속성 의사결정이론을 이용한 열공급시스템 최적 대안을 선정하여 제시하고 이에 따른 평가모형을 확립코자 하였다.

## II. 다속성 효용 이론의 고찰

多基準 意思決定(multiple criteria decision making)이란 대안의 평가를 위해 화폐 단위로 평가가 가능한 평가요소들은 물론 화폐단위로 평가가 불가능한 평가요소들을 상반된 기준들을 고려하여 意思決定을 내리는 것을 의미한다. Hwang and Lin은 多基準 意思決定을 多目的 意思決定(multiple objective decision making)과 多屬性 意思決定(multiple attribute decision making)으로 분류하고 있다.

多目的 意思決定은 제약조건들에 의해 함축적으로 정의된 무한개의 대안집합에서 최적대안을 선택하는 것으로 모든 대안이 사전에 인식될 필요가 없다. 多屬性 意思決定은 대안들의 집합이 명시적으로 유한집합일 경우에 사용되며 그 집합으로부터 하나의 대안이나 선호도가 같은 몇 개의 대안을 선택하는 것이다. 따라서 多目的 意思決定은 意思決定 문제를 설계하는데 적당하며 多屬性 意思決定은 선택문제에 유용하다. 다시 말해 多目的 意思決定(MODM)은 주어진 제약식들을 만족하는 무한개의 대안들 중에서 고려중인 목적들을 가장 만족하는 대안을 찾는 것으로서 최적 대안을 설계하는 접근방법이며, 이에 반해 多屬性 意思決定(MADM)은 유한개의 대안들 중에서 복수의 요소들을 복합적으로 고려하여 하나의 대안이나 선호도가 같은 몇 개의 대안을 선택하는 접근 방법이다. 대표적인 방법으로는 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 MAUT(Multi-Attribute Utility Theory)가 있으며 본 연구에서는 MAUT를 적용하여 최적 열공급시스템을 선정 제시하였다.

### 1. 다속성 효용이론의 개요

다속성효용이론에 의한 평가 방법은 몇 가지가 있는데 속성들이 상호효용 독립이면 개별속성들의 효용함수의 통합으로 하나의 다속성함수를 얻을 수 있으며 Pollak는 이러한 가법형 효용함수 공식을 이용할 수 있는 필요 충분조건을 도출하였다<sup>1)</sup>.

한편 Keeney<sup>2)</sup>는 단일 효용함수를 기초로 해서 가법형 또는 승법형의 다속성함수를 도출하는 전반적인 절차를 개발하였다<sup>3)</sup>. 그 후에 Keeney와 많은 다른 연구자들이 다속성 효용함수이론을 실제 문제에 적용하여 그 유용성을 증명해 보였다.

1) R.A. Pollak, "Additive von Neumann-Morgenstrn Utility Functions," *Econometria*, Vol. 35, 1967., pp.485-494.

2) Keeny, R. L., "Multiplicative Utility Functions," *Operations Research*, vol.22, 1974., pp. 22-34.

3) Keeny, R. L., and Raffa, H., *Decisions with "Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs*, John Wiley & Sons, New York, 1976.

이러한 다속성 효용이론은 시장가치와 비 시장가치를 통합할 수 있으며, 각 속성에 대해 넓은 범위의 가치를 유도하므로 조건이 변함에 따른 추가 계산에 필요한 정보를 얻을 수 있어서 변하는 조건에 유연성이 있다는 장점이 있다. 반면에 MAUT는 단지 2단계로 문제를 구조화해야 하며 속성의 정량화가 가능해야 효용합수를 구할 수 있다는 한계를 지니고 있다.

MAUT를 적용하기 위해서는 목적이 되는 각 속성에 설계자의 선호도를 반영하여 효용합수를 만들고, 이렇게 만들어진 각 속성의 효용합수를 종합화하여 전체적인 효용합수를 만들게 된다.

이와 같은 방식으로 분석자의 선호도가 표현된 전체적인 관점의 효용합수가 만들어지면, 이후 과정에서 발생하는 여러 선택 문제의 해결에 이를 유용하게 사용할 수 있다.

## 2. 다속성 효용이론의 연구동향

최근 다속성효용이론을 이용한 연구가 에너지기술과 같이 경제적 가치뿐만 아니라 비경제적 가치 또한 중요한 평가기준이 되는 기술의 가치평가를 위하여 많은 연구들이 수행되고 있다.

Robert(1999)는 Option Pricing과 의사결정분석모형을 이용하여 연구분야를 선정하고 그것의 최적 포트 폴리오를 구성하였다. Gordon(2000)은 현재 미국에서 행해지고 있는 가치평가방법을 여러 기술에 따라 비용접근법, 수익접근법, 시장접근법 중심으로 설명하였다.

본 연구에서 채택한 방법인 MAUT를 이용한 연구로는 Behnam(1999)이 있으며 이는 비선형 다항함수로 표현되는 의사결정대안의 순위결정과 대안평가를 하였다.

Clifford(2001)는 다속성을 갖는 가치평가문제를 위해서 조건부가치측정법의 특징인 지불의사액(WTP : Willingness-To-Pay)을 유도하는 데에 MAUT를 이용한 바 있으며 Komaragiri(1999), Chapman(1999) 역시 대안결정에 MAUT를 이용하였으나, 각각 2명의 평가자가 의사결정에 참여하거나, 속성이 표현될 수 있는 경우의 수를 3가지로 정함으로 인해 다른 문제에 적용하기에는 한계가 있었다. 또한 AHP와 MAUT를 의사결정에 이용한 연구로는 Ho(1999) 등과 Bard(1992)가 있다.

### 3. 다속성 효용이론의 실행

MAUT의 적용절차는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

① 속성 및 속성수준의 정량화 결정 단계

- 대상과 관련된 문제를 수집, 분석, 식별하여 속성을 도출하며 속성의 평가 단위, 평가 범위 등을 결정한다.

② 대안 도출 단계

- 최종 우선순위를 결정할 수 있는 대안의 도출

③ 단일속성 효용함수를 도출하는 단계

- 다속성 효용함수의 구성요소로서 속성의 효용을 결정한다.

④ 속성의 중요도를 평가하는 단계

- 주어진 범위에서 속성간의 중요도를 결정한다.

⑤ 다속성 효용함수를 도출하는 단계

- 단일속성 효용함수를 결합하여 다속성 효용함수를 도출한다.

⑥ 속성치 및 기술대안의 효용치 산출 단계

- 속성치를 산출하고 도출된 다속성 효용함수에 대입하여 각 기술대안들의 효용치를 산출한다.

⑦ 대안의 평가 및 분석

- 평가값을 바탕으로 대안의 우선 순위를 결정하고 최종 대안을 결정한다.

속성 및 속성수준의 정량화 결정은 평가 및 분석을 위한 대상을 구체적으로 도출하는 과정을 말하는 것이다. 즉, 대상과 관련된 문제를 수집, 분석, 평가하여 속성을 도출하는 일련의 과정을 말한다.

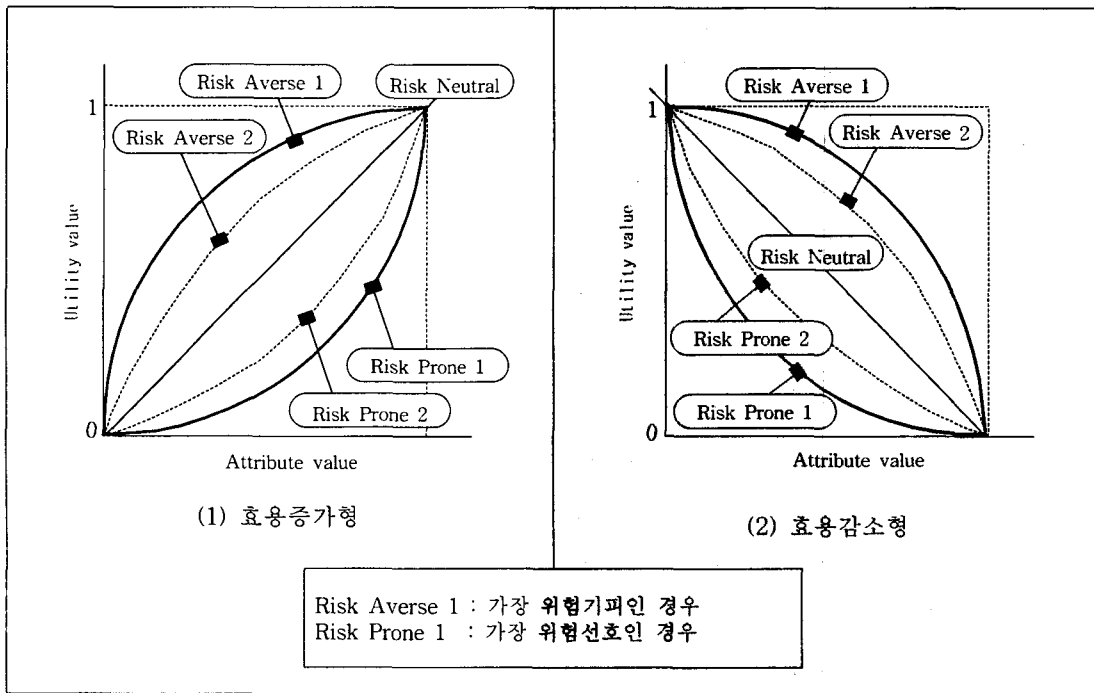
이 과정에서는 평가대상에 관한 기초연구를 바탕으로 해당 전문가들의 자문 및 평가에 따른 결과에 의해 결정하는 방법이 가장 널리 사용되는데 각각의 전문가들의 인식에 따라 인식하고 있는 문제가 상이할 수 있으며 동일한 문제라도 인식의 차이에 따라 전혀 다른 견해를 보일 수 있다.

따라서 보다 객관적인 속성 및 수준 결정을 위해서는 보다 많은 전문가들의 의견과 함께 관련 이해자들의 동의를 구하는 절차를 택하는 것이 좋은 방법이다. 속성은 대안 선정에 위해 합리적 차원에서 결정되고 선정되어야 하며 결과에 대한 통제가 가능하여야 한다.

대안의 결정은 평가를 위한 전제조건을 감안하여 열공급시스템이 지닌 특성과 합

깨 열을 회수 할 수 있는 조건과 수송 및 공급대상을 고려하여 대안을 결정한다.

단일속성 효용함수는 다속성효용함수의 구성요소이다. 단일속성 효용함수는 증가형, 감소형, 증가 후 감소형, 감소 후 증가형 등 여러 가지가 있을 수 있는데 단순한 증가형과 감소형만을 가정한다면, 위험중립형과 위험선호형, 위험기피형이 있다 ([그림 1] 참조).



[그림 1] 위험태도에 대한 경향

이러한 단일 속성 효용함수는 속성에 대한 위험태도 즉, 위험 중립, 위험기피, 위험선호 여부에 따라 함수의 형태가 달라진다.

위험기피(Risk Averse)의 경우 확실성 등가를 기대값보다 작게 보는 경우로서 즉,  $u(E(x)) > E(u(x))$ 로 나타낼 수 있는데 위험에 대해 신중하게 접근하는 태도를 말한다. 효용함수의 그래프는 볼록한 형상을 보인다.

위험추구(Risk Prone)는 확실성 등가를 기대값보다 크게 보는 경우로서 위험기피와 반대되는 경우인데 위험을 감수하면서도 얻을 수 있는 이익을 크게 하려는 태도를 말한다. 효용함수의 그래프는 오목한 형상을 보인다

위험중립(Risk Neutral)은 확실성 등가를 기대값과 같은 정도로 보는 경우. 즉 위험에 대한 인간의 태도가 반영되지 않고 기대값에 의해서만 의사 결정을 내리는 경우를 말한다. 효용함수의 그래프는 선형적으로 보인다.

• 위험중립 :  $u(x) = \alpha + \beta x$  .....(1)

• 위험기피 및 선호 :  $u(x) = \alpha + \beta e^{\gamma x}$  .....(2)

$x$  : 속성의 특정수준  $u(x)$  : 속성의 특정수준에서 평가되는 효용

한편 단일속성함수의 모수  $\alpha, \beta, \gamma$ 를 결정하기 위해서 각 속성 범주의 각 끝 값을 결정하여 다음과 같이 표시한다.

$U(a) = 1$ ,  $a$ 는 속성의 범주에서 가능한 최고점

$U(b) = 0$ ,  $b$ 는 속성의 범주에서 가능한 최저점

그리고, 효용의 중간치(0.5)가 되는 속성값을 설문을 통해 파악한다. 이때의 속성 값을  $c$ 라 하면 식(2.10)과 같이 표시할 수 있다.

$U(c) = 0.5U(a) + 0.5U(b)$  .....(3)

이때, 응답자가  $c$ 를  $a$ 와  $b$ 의 중앙값을 선택한다면 이는 위험중립 성향이고, 중앙값보다 큰 값을 선택한다면 위험선호, 작은 값을 선택한다면 위험기피 성향이다. 위 식 3개가 결정된다면, 모수가 3개( $\alpha, \beta, \gamma$ )이므로 값을 구할 수 있다.

그런데 이와 같은 초월함수에 대한 방정식을 풀고자 할 때는 직접 계산하는 것보다, MAPLE, Mathematica, MACSYMA와 같은 컴퓨터 계산 프로그램(CAS : Computer Algebra System)을 이용하는 것이 간편하다.

본 연구에서는 MAPLE을 사용하였다. 메이플(MAPLE)은 워터루 대학(University of Waterloo)과 ETH Zurich의 합동 연구로 개발된 것으로서 다양한 기호적, 수리적, 도형적 계산을 가능케 하는 프로그램으로 널리 사용되고 있다.

한편 다속성 효용함수의 계수로서 사용될 속성의 중요도는 우선순위 평가를 통하여 결정되게 되는데, 다속성 효용함수의 계수는 중요도가 큰 속성의 계수가 큰 수로 들어가야 하므로 평가된 우선순위를 역으로 한 후 각 수치를 속성별로 표준화하여야 한다.

각 요소를 표준화하는 방법으로 벡터 표준화(vector normalization)를 들 수 있으며 이 방법은 각 열벡터(column vector)를 자신의 norm으로 나눔으로써 얻어진다. 이 방법은 모든 요소가 무차원 단위(non-dimensional unit)로 표현됨으로써 요소들간의 비교가 가능하게 되며 속성값  $x_i$ 에 대한 표준화 값을  $r_i$ 라 한다면 이를 구하기 위한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = \frac{x_i}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}}, \quad (i=1 \dots 6) \dots \dots \dots (4)$$

단일 속성함수를 결정한 후 이들을 결합하여 속성의 주어진 범위에서 속성간의

우선순위를 수학적으로 대표하는 다속성 효용함수를 도출해야한다.

다속성효용함수는 일반적으로 가법형(additive form) 또는 승법형(multiplicative form)으로 표현할 수 있는데<sup>4)</sup>, 선호의 형태에 따라 하나를 선택하게 된다.

보통 승법형은 속성의 독립성이 보장되지 않는 경우에 가법형은 독립성이 보장되는 경우에 사용한다.  $n$ 개의 속성  $x=(x_1, \dots, x_n)$ 에 대한 다속성 효용함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$U(x) = U(x_1, \dots, x_n) \quad x_i : \text{각 속성} \dots \dots \dots (5)$$

• 가법형 :  $U(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_j(x_i) \dots \dots \dots (6)$

• 승법형 :  $U(x) = \frac{1}{k} [ \prod_{i=1}^n k_i u_j(x_i) - 1 ] \dots \dots \dots (7)$

$$U(x), u_i(x_i), k_i \in [0, 1], \quad 1 + k = \prod_{i=1}^n (1 + k_i)$$

$i$  : 속성 인덱스,  $j$  : 응답자 인덱스  $k_i$  : 비례상수로서 속성  $i$ 의 가중치

$u_j(x_i)$  : 개별속성에 대한 단일 속성 효용함수

속성치 및 기술대안의 우선순위 결정을 위해 전문가는 속성치로 직접 응답한 것이 아니라 각 기술별 우선순위로 응답하게 되며, 그 우선순위를 속성치로 변환해야 한다.

변환방법은 속성범주에 우선순위를 등간적으로 맵핑하는 방법이 있는데, 예컨대, CO<sub>2</sub> 저감에 해당하는 범위가 최고 1000TC에서 100TC사이에 있을 때 전체 대안 13개중 우선순위가 8이라면, 우선순위가 높은 수치가 속성치도 높게 하기 위해 역을 취한다. 따라서 수정 우선순위는 6(=14-8)이 된다. 이때의 속성치  $x$ 는 다음과 같이 구한다.

$$1000-100 : 13-1 = 1000-x : 13-6$$

즉, 수정 우선 순위는 6에 대한 속성값을 이 식에 따라 산출하여 보면 수정 우선 순위 13에 해당하는 속성치는 1000, 수정 우선 순위 1에 해당하는 속성치는 100임을 뜻하는 것으로서 이러한 방법에 따라 속성치를 산출하고 이를 변환하여 풀어보면 다음과 같다.

$$x = 1000 - \frac{(1000-100) \times (13-6)}{(13-1)} = 475 \text{가 된다.}$$

이후 각 전문가의 각 기술에 대한 효용치를 구하기 위해서 이들 속성치를 대입하여 산출한다.<sup>5)</sup>

4) Keeney, R., and H. Raiffa, *Decision with Multiple Objectives*, Wiley, New York, 1976.



### Ⅲ. 다속성효용이론을 적용한 시스템평가 및 선정

#### 1. 속성 결정 및 속성수준의 정량화

본 연구에서는 열공급시스템 구성에 필요한 이유로서 속성을 결정하였다. 본 속성들은 경제성, 기술성, 환경성, 파급효과를 Attribute1으로, 13개의 요인을 Attribute2로 규정하여 실시하였다. 이에 따라 열공급시스템 최적 대안 선정을 위해 고려하여야 할 13개의 屬性이 결정되었으며 이에 해당되는 각 屬性의 정량적인 評價를 위한 기준을 설정하였다. 각 전문가의 大屬性에 대해 序列評價에 의한 가중치를 기준으로 산출한 결과 經濟性(0.345), 技術性(0.335) 環境性(0.195), 파급효과(0.125)로 經濟性이 가장 높은 屬性으로 나타났다.<표 1>

<표 1> 屬性和 屬性水準의 定量化

Attribute1	Attribute2	屬性水準의 定量化
Att.1-1. 經濟性 (0.345)	Att.2-1. 투자비규모 Att.2-2. 공급원가	시설투자비(억원) Steam공급가(원/TON)
Att.1-2. 技術性 (0.335)	Att.2-3. 신뢰도 Att.2-4. 안전도 Att.2-5. 기술성숙도 Att.2-6. 보수용이성	시스템의 신뢰도(%) 시스템의 안전도(%) 시스템 구성 기술의 성숙도(%) 시스템의 보수 용이성(%)
Att.1-3. 環境性 (0.195)	Att.2-7. CO <sub>2</sub> 배출량 Att.2-8. SO <sub>x</sub> 배출량 Att.2-9. NO <sub>x</sub> 배출량 Att.2-10. TSP배출량	CO <sub>2</sub> 배출저감량(TC) SO <sub>x</sub> 배출저감량(TON) NO <sub>x</sub> 배출저감량(TON) TSP배출저감량(TON)
Att.1-4. 波及效果 (0.125)	Att.2-11. 에너지수급기여도 Att.2-12. 과학적 공헌도 Att.2-13. 타산업융용가능성	자원 공급 가능 정도(TOE) 과학기술에 끼치는 영향(%) 타산업 대응 기술의 적용성(%)

#### 2. 기술대안의 결정

熱供給시스템 대안은 廢熱回收技術, 熱輸送技術, 熱供給利用技術 등의 조합에 의해 결정된 5개 대안(HOS<sub>1-5</sub>)을 대상으로 하였다.

5) 이덕기, 양종택, "MAUT를 이용한 차세대 에너지기술 평가 및 선정 연구", 한국기술혁신학회지 (ISSN1598-2912), 제4권 제2호, 2001. 7. pp.143-156.

<표 2> 시스템 대안의 구성

system	시스템 구성		
	폐열회수	열수송	열공급
HOS <sub>1</sub>	general heat exchanger →	hot water or steam →	high-efficiency boiler
HOS <sub>2</sub>	general heat exchanger →	hot water or steam →	absorption heat pump
HOS <sub>3</sub>	ceramic heat exchanger →	metal hydride →	absorption heat pump
HOS <sub>4</sub>	heat exchanger using solid particles →	hot water or steam →	high-pressure using MVR
HOS <sub>5</sub>	heat exchanger using solid particles →	metal hydride →	high-pressure using MVR

### 3. 單一屬性 效用函數 決定 및 모수산출

단일효용함수를 기초로 모수  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 를 결정하기 위한 각 속성 범주의 각 끝 값을 결정하여 다음과 같이 표시하였다.

$$U(a) = 1, a \text{는 속성의 범주에서 가능한 최고점}$$

$$U(b) = 0, b \text{는 속성의 범주에서 가능한 최저점}$$

$$U(c) = 0.5U(a) + 0.5U(b)$$

이때, 응답자가  $c$ 를  $a$ 와  $b$ 의 중앙값을 선택한다면 이는 위험중립 성향이고, 중앙값보다 큰 값을 선택한다면 위험선호, 작은 값을 선택한다면 위험기피 성향이다. 본 연구에서  $a$ ,  $b$ 는 응답자가 이해하기 쉽도록 기준치를 부여한 수치로 정하여 제시하여  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 를 MAPLE로 산출하였다(<표 3> 참조).

<표 3> 단일 속성효용함수의 모수 산출 결과

속성2	Spe.	a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
속성 2-1	S <sub>1</sub>	100	10	55	-0.111111	0.011111	
	S <sub>2</sub>				-0.111111	0.011111	
	S <sub>3</sub>			40	1.309017	-1.536766	-0.016040
	S <sub>4</sub>			55	-0.111111	0.011111	
	S <sub>5</sub>			10	1.000000	-512.000000	-0.693147
	S <sub>6</sub>			55	-0.111111	0.011111	
	S <sub>7</sub>			30	1.060024	-1.458378	-0.031903
	S <sub>8</sub>			10	1.000000	-512.000000	-0.693147
	S <sub>9</sub>			30	1.060024	-1.458378	-0.031903
	S <sub>10</sub>			25	1.017626	-1.596993	-0.045065
	S <sub>11</sub>			20	1.001992	-2.000008	-0.069116
	S <sub>12</sub>			15	1.000004	-3.999985	-0.138629
	S <sub>13</sub>			25	1.017626	-1.596993	-0.045065
	S <sub>14</sub>			40	1.309017	-1.536766	-0.016040
	S <sub>15</sub>			20	1.001992	-2.000008	-0.069116
	S <sub>16</sub>			60	-1.768641	1.682730	0.004979
	S <sub>17</sub>			70	-0.309017	0.263221	0.016040
	S <sub>18</sub>			60	-1.768641	1.682730	0.004979
	S <sub>19</sub>			15	1.000004	-3.999985	-0.138629
	S <sub>20</sub>			35	1.145098	-1.440554	-0.022954

속성2	Spe.	a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
속성 2-2	$S_1$	40,000	10,000	25,500	-7.005559	6.700798	0.000004
	$S_2$				-0.333333	0.000033	
	$S_3$			26,000	-3.261138	2.982980	0.000009
	$S_4$			25,500	-7.005559	6.700798	0.000004
	$S_5$			24,000	4.261138	-4.658481	-0.000009
	$S_6$			26,000	-3.261138	2.982980	0.000009
	$S_7$			30,000	-0.309017	0.190983	0.000048
	$S_8$			10,000	1.000000	-511.999998	-0.000693
	$S_9$			20,000	1.309017	-2.118034	-0.000048
	$S_{11}$			20,000	1.309017	-2.118034	-0.000048
	$S_{11}$			27,000	-1.397435	1.167328	0.000018
	$S_{12}$			15,000	1.017626	-3.933076	-0.000135
	$S_{13}$			26,000	-3.261138	2.982980	0.000009
	$S_{14}$			27,000	-1.397435	1.167328	0.000018
	$S_{15}$			20,000	1.309017	-2.118034	-0.000048
	$S_{16}$			27,000	-1.397435	1.167328	0.000018
	$S_{17}$			18,000	1.123446	-2.345546	-0.000074
	$S_{18}$			30,000	-0.309017	0.190983	0.000048
	$S_{19}$			20,000	1.309017	-2.118034	-0.000048
	$S_{20}$			29,000	-0.483685	0.332892	0.000037

. . . . .

속성2	Spe.	a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
속성 2-13	$S_1$	30	10	28	-9.87E-04	3.10E-05	0.34608072
	$S_2$				-0.5	5.00E-02	
	$S_3$			25	-9.57E-02	2.83E-02	0.12187557
	$S_4$			19	3.016755959	-3.6896366	-2.01E-02
	$S_5$			28	-9.87E-04	3.10E-05	0.34608072
	$S_6$			15	1.095743942	-3.7068752	-0.1218756
	$S_7$			25	-9.57E-02	2.83E-02	0.12187557
	$S_8$			23	-0.385832921	0.20358393	6.39E-02
	$S_9$			25	-9.57E-02	2.83E-02	0.12187557
	$S_{10}$			30	-5.14E-03	5.19E-04	0.22934741
	$S_{11}$				-0.5	5.00E-02	
	$S_{12}$			25	-9.57E-02	2.83E-02	0.12187557
	$S_{13}$			25	-9.57E-02	2.83E-02	0.12187557
	$S_{14}$			30	-5.14E-03	5.19E-04	0.22934741
	$S_{15}$			22	-0.78405743	0.51977741	4.11E-02
	$S_{16}$			26	-3.90E-02	7.57E-03	0.16406399
	$S_{17}$			29	-9.53693E-07	9.3135E-10	0.69314623
	$S_{18}$			10	1.000000477	-511.99805	-0.6931467
	$S_{19}$			15	1.095743942	-3.7068752	-0.1218756
	$S_{20}$			10	1.000000477	-511.99805	-0.6931467

각 전문가의 응답한 값에 의한 속성에 대한 위험성향은 각 속성의 대속성의 분류에 따라 확연한 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

즉, 각 속성의 특성에 따라 선호하는 양상이 두드러진 특성을 보이고 있는데 경제성의 경우 투자비규모에 있어서 위험기피현상을, 공급원가의 경우 위험선호성향을 보이고 있다. 이는 높은 초기투자비를 기피하는 현상과 함께 공급원가에 있어 어느 정도 가격은 감수해야 한다는 성향으로 해석할 수 있다.

기술성의 경우 전반적으로 위험선호 성향을 보이고 있는데 이는 전체적으로 기술 보급에 따른 높은 신뢰도, 안전도, 기술성숙도, 보수용이성 등을 요구함에 기인한 것으로 보인다.

한편 환경성의 경우 위험기피 현상이 두드러지게 나타나고 있는데 이는 환경분야의 오염저감물질이 어느 정도 감축됨에 만족하는 성향으로 해석할 수 있다. 파급효과 등의 경우 위험 선호가 많은 것으로 나타났다(<표 4> 참조).

<표 4> 속성에 대한 위험성향

Attribute2	위험선호	위험중립	위험기피	합 계
Att.2-1. 투자비규모	3	4	13	20
Att.2-2. 공급원가	11	1	8	20
Att.2-3. 신뢰도	11	1	8	20
Att.2-4. 안전도	15	4	1	20
Att.2-5. 기술성숙도	14	1	5	20
Att.2-6. 보수용이성	12	1	7	20
Att.2-7. CO <sub>2</sub> 배출량	7	2	11	20
Att.2-8. SO <sub>x</sub> 배출량	6	1	13	20
Att.2-9. NO <sub>x</sub> 배출량	5	1	14	20
Att.2-10. TSP배출량	5	1	14	20
Att.2-11. 에너지수급기여도	15	2	3	20
Att.2-12. 과학적 공헌도	12	3	5	20
Att.2-13. 타산업융용가능성	13	2	5	20
Total	129	24	107	260

#### 4. 속성의 중요도 결정

이 단계는 단일속성 효용함수를 결합하여 다속성 효용함수를 도출하는 과정이다. 승법형은 속성의 독립성이 보장되지 않는 경우에 쓰인다.

본 연구의 설문에서는 속성들간의 독립성이 보장되도록 정했기 때문에 가법형을



## 6. 속성치 및 기술대안의 우선순위 결정

各 열공급 시스템의 屬性値를 결정함에 있어서 전문가는 屬性値로 직접 응답한 것이 아니라 各 열공급 시스템別 優先順位로 응답하였으므로 그 優先順位를 屬性値로 변환해야 한다. 변환방법은 屬性범주에 優先順位를 등간격으로 맵핑하여 산출하였다. 각 전문가들의 열공급시스템별 속성치를 구한후 이에 따른 효용치 산출하였다.

한편, 이들 열공급시스템에 대한 각 전문가들의 통합된 효용치는 총 20점 만점에 HOS<sub>1</sub>이 가장 높은 15.549, 다음이 HOS<sub>4</sub>로 15.487, HOS<sub>2</sub>가 15.390이었으며 HOS<sub>3</sub>이 가장 낮은 8.412로 나타났다<표 6>.

<표 6> 전문가의 각 시스템에 대한 效用値

Spe.	HOS <sub>1</sub>	HOS <sub>2</sub>	HOS <sub>3</sub>	HOS <sub>4</sub>	HOS <sub>5</sub>	Total
S <sub>1</sub>	0.650	0.802	0.373	0.889	0.448	3.162
S <sub>2</sub>	0.956	0.815	0.474	0.609	0.426	3.279
S <sub>3</sub>	0.720	0.872	0.347	0.810	0.404	3.153
S <sub>4</sub>	0.762	0.921	0.457	0.840	0.450	3.430
S <sub>5</sub>	0.822	0.806	0.450	0.700	0.458	3.235
S <sub>6</sub>	0.973	0.850	0.546	0.670	0.444	3.483
S <sub>7</sub>	0.897	0.869	0.477	0.814	0.554	3.610
S <sub>8</sub>	0.667	0.691	0.433	0.887	0.551	3.229
S <sub>9</sub>	0.644	0.663	0.752	0.542	0.437	3.038
S <sub>10</sub>	0.646	0.668	0.262	0.886	0.433	2.895
S <sub>11</sub>	0.980	0.935	0.382	0.841	0.616	3.755
S <sub>12</sub>	0.628	0.732	0.268	0.982	0.537	3.146
S <sub>13</sub>	0.642	0.646	0.369	0.957	0.451	3.067
S <sub>14</sub>	0.885	0.514	0.404	0.363	0.326	2.492
S <sub>15</sub>	0.620	0.615	0.282	0.977	0.464	2.958
S <sub>16</sub>	0.877	0.835	0.599	0.755	0.408	3.475
S <sub>17</sub>	0.722	0.704	0.464	0.572	0.437	2.898
S <sub>18</sub>	0.813	0.909	0.356	0.733	0.529	3.341
S <sub>19</sub>	0.881	0.689	0.355	0.828	0.545	3.298
S <sub>20</sub>	0.764	0.854	0.362	0.782	0.498	3.260
Total	15.549	15.39	8.412	15.437	9.416	64.204

이를 선형변환한 결과는 이러한 결과들을 종합한 各 技術들의 效用値를 계산한 결과 제1순위는 HOS<sub>1</sub>의 효용치가 4.852로서 가장 우수한 것으로 나타났으며 다음으로 HOS<sub>4</sub>가 4.811, HOS<sub>2</sub>가 4.777, HOS<sub>5</sub>가 2.932, HOS<sub>3</sub>이 2.628순으로 나타났다<표 7>.

<표 7> 전문가의 각 시스템에 대한 선형 변환된 효용치

Spe.	HOS <sub>1</sub>	HOS <sub>2</sub>	HOS <sub>3</sub>	HOS <sub>4</sub>	HOS <sub>5</sub>	Total
S <sub>1</sub>	0.206	0.254	0.118	0.281	0.142	1.000
S <sub>2</sub>	0.291	0.248	0.144	0.186	0.130	1.000
S <sub>3</sub>	0.228	0.277	0.110	0.257	0.128	1.000
S <sub>4</sub>	0.222	0.268	0.133	0.245	0.131	1.000
S <sub>5</sub>	0.254	0.249	0.139	0.216	0.142	1.000
S <sub>6</sub>	0.279	0.244	0.157	0.192	0.128	1.000
S <sub>7</sub>	0.248	0.241	0.132	0.225	0.153	1.000
S <sub>8</sub>	0.207	0.214	0.134	0.275	0.171	1.000
S <sub>9</sub>	0.212	0.218	0.247	0.178	0.144	1.000
S <sub>10</sub>	0.223	0.231	0.091	0.306	0.150	1.000
S <sub>11</sub>	0.261	0.249	0.102	0.224	0.164	1.000
S <sub>12</sub>	0.200	0.233	0.085	0.312	0.171	1.000
S <sub>13</sub>	0.209	0.211	0.120	0.312	0.147	1.000
S <sub>14</sub>	0.355	0.206	0.162	0.146	0.131	1.000
S <sub>15</sub>	0.210	0.208	0.095	0.330	0.157	1.000
S <sub>16</sub>	0.252	0.240	0.172	0.217	0.117	1.000
S <sub>17</sub>	0.249	0.243	0.160	0.197	0.151	1.000
S <sub>18</sub>	0.243	0.272	0.107	0.219	0.158	1.000
S <sub>19</sub>	0.267	0.209	0.108	0.251	0.165	1.000
S <sub>20</sub>	0.234	0.262	0.111	0.240	0.153	1.000
sum	4.852	4.777	2.628	4.811	2.932	20.000
ave.	0.243	0.239	0.131	0.241	0.147	1.000
rank	1	3	5	2	4	

#### IV. 결 론

다속성효용이론(MAUT)은 각 전문가에 대한 일관성을 측정할 수 있는 방법으로 분석자가 응답자의 여러 요인(전공, 주요업무 등)을 고려하여 나타난 결과로서 측정할 수 있는데 본 연구에서 실시한 전문가 설문평가 응답의 경우 편중된 평가가 나타나지 않았으며 이에 따라 객관적인 입장에서 평가가 이루어진 것으로 분석되었다.

본 논문에서는 열공급시스템에 대한 최적대안을 선정하기 위한 연구로서 아직까지 국내에서 수행된 바 없는 다속성효용이론을 적용하여 열공급 시스템을 평가하고 선정하여 優先順位를 제시하였다.

에너지기술은 많은 종류의 要素技術과 시스템 技術을 가지고 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 5개 열공급시스템은 모두 중요하게 이용될 수 있는 시스템들이다. 그러나 지극히 제한된 투자조건(예컨대, 인력, 예산 등)에서 개발에 優先順位를 두고자 할 때 본 연구에서 제시한 순위를 고려하는 것도 바람직할 것으로 보여진다.

본 연구의 특징은 MAUT를 적용할 때 多屬性을 고려하는 것뿐만 아니라, 多樣한 시스템을 비교한다는 것이다. 그래서 각각 이들의 조합을 모두 고려하여 최적한 優先順位를 결정하였다.

## 참고문헌

1. 이덕기외, MAUT를 이용한 차세대 에너지기술 평가 및 선정 연구, 기술혁신학회지(ISSN1598-2912), 제4권 제2호 pp143-156, 2001년 7월
2. Hwang, C. L., and Lin, M. J., *Group Decision Making under Multiple Criteria-Methods and Applications*, Springer-Verlag, 1987, pp342-370
3. Behnam Malakooti and Sriram Subramanian, "Generalized polynomial decomposable multiple attribute utility functions for ranking and rating multiple criteria discrete alternatives", *Applies Mathematics and Computation*, Vol. 106, Issue 1, pp. 69-102, 1999.
4. Chapman G.B.; Elstein A.S.; Kuzel T.M.; Nadler R.B.; Sharifi R.; Bennett C.L., "A multi-attribute model of prostate cancer patients' preferences for health states, *Quality of Life Research*", Vol. 8, Issue 3, pp. 171-180, 1999.
2. Keeney, R., and H. Raiffa, *Decision with Multiple Objectives*, Wiley, New York, 1976