

다속성 효용이론을 이용한 신규 수요관리 투자사업 선정평가 모델 개발

박상용*, 이덕기*, 이정태*, 이상설**

*한국에너지기술연구원, **해천대학

Development on the Assessment Model for Selection of New DSM Investment Programs using MAUT

Sang Yong Park*, Deok ki Lee*, Jeong Tae Lee*, Sang Seol Lee**

*Korea Institute of Energy Research, 71-2, Jang-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

**Hyecheon College, 721 Boksu-Dong, Seo-Gu, Daejeon 302-715, Korea

Abstract: The purpose of this study is to develop assessment model for selection of new DSM investment programs. In this research, MAUT method which find assessment value by each attributes related to selecting new DSM investment programs using utility function and integrate with structural frame was used to develop assessment model. In order to validate the usefulness of the model, assessment model was applied for actual candidate group of new DSM investment programs in natural gas domain. By utilize this assessment model to select new DSM investment programs, it is expected to minimize risk of new program launching and to maximize efficiency of DSM investment programs.

Key words: DSM(수요관리), Assessment model(평가모형), Decision making(의사결정), 다속성 효용이론(MAUT)

1. 서론

고유가 지속, 기후변화협약 등에 따른 국가적인 에너지안보 위협에 따라 수요관리 투자사업의 적극적인 추진 필요성이 강조되고 있다. 일반적으로 에너지 수요관리란 에너지 절약(또는 효율향상) 및 부하관리를 위한 투자를 통해 에너지 공급시설의 확충부담을 경감해 나가는 제도이며 수요관리는 특히 시간대별, 일별, 계절별 부하편차가 심한 전력 산업과 가스 산업, 지역난방 산업 등에서 적용 및 논의되어 왔다.

그러나 최근 수요관리는 첨두부하와 기저부하 사이의 차이를 최소화하는 부하관리 중심에서 고효율 기기 및 기술의 도입을 통하여 에너지 소비량을 절감하는 효율향상 중심으로 패러다임이 변화되고 있다. 이에 따라 홍보, 요금제도, 관련 기관 출연 등의 정책적 수단 중심의 국내 수요관리

투자사업을 고효율 기기의 보급 등과 같은 기술적 수단 중심으로 재편해야한다는 공감대가 형성되고 있다.

그러나 신규 사업의 경제성, 실효성, 추진가능성 등에 대한 충분한 검토가 동반되지 않는 수요관리 투자사업의 재편은 막대한 예산 낭비와 정책 실패를 가져올 수 있으므로, 신규 사업을 다양한 측면에서 종합적이고 합리적으로 평가할 수 있는 방법론의 구축 및 적극적인 활용이 절실히 요구되어 진다⁽¹⁾. 따라서 본 연구에서는 다속성 효용함수를 이용하여 수요관리 투자사업에 대한 평가모형을 개발하고 이를 한국가스공사의 신규 수요관리 투자사업 후보군의 선정에 적용하여 평가모형의 활용 가능성 및 유용성을 검증하고자 한다.

2. 다속성 효용이론의 고찰

다속성 효용이론은 문제를 구성하는 여러 속성들에 대한 개별적 판단으로부터 종합적 의사결정이 가능하도록 평가자가 느끼는 가치에 적절한 가중치를 부여할 수 있는 조건들을 공리적으로 정리한 것이라 할 수 있다⁽²⁻⁵⁾. 즉 사람들이 자신의 선호에 근거한 선택을 할 수 있고 이러한 선택들이 공리를 만족시킨다면 효용이나 가치는 숫자로 표현될 수 있으며, 더 큰 값을 갖는 것이 보다 선호되도록 효용함수를 구성할 수 있다는 것이다^(6, 7).

다속성 효용이론을 이용한 의사결정론적 접근 방법은 지난 40여 년 동안 꾸준히 발전되어 왔다. Pollak은 속성들이 상호 효용독립인 경우 개별 속성에 대한 효용함수들의 통합으로 하나의 다속성 함수를 얻기 위한 가법형 효용함수 공식을 이용할 수 있는 필요충분조건을 도출하였으며⁽⁸⁾, Raiffa는 단일 효용함수를 기초로 가법형 또는 승법형의 다속성 함수를 도출하는 전반적인 절차를 개발하였다⁽⁹⁾. 그 후 von Winterfeldt는 수리적으로 다속성 효용함수이론의 타당성을 증명해 보였다⁽¹⁰⁾.

다속성 효용함수이론은 이와 같은 타당성에 대한 정리를 바탕으로 건설입지 선정, 직장 선정 등의 다양한 분야에서 의사결정 문제에 적용되어 왔으며, 특히 과학기술 분야에서는 기술의 가치 설정에 따른 대안 선정⁽¹¹⁻¹⁵⁾, 차세대 에너지기술 평가⁽¹⁶⁾, 그리고 기술 선정 및 평가에 기초한 연구개발사업의 투자계획 수립 등의 문제에 적용되어 왔다. 이러한 다속성 효용이론의 적용절차는 그림 1과 같다.

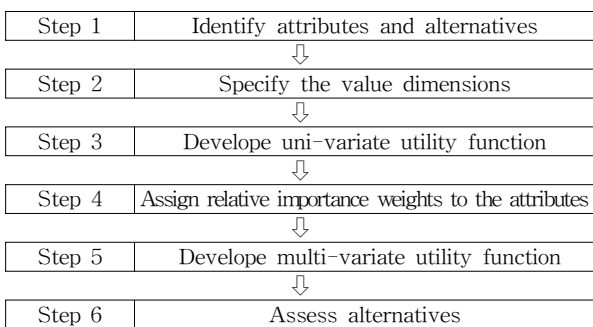


Fig. 1 Procedure of MAUT.

3. 다속성 효용이론을 이용한 평가모형 개발

3.1. 평가지표의 결정 및 수준의 정량화

본 연구에서는 신규 수요관리 투자사업의 선정을 위한 평가 시, 전문가의 의사결정에 영향을 미치는 속성 혹은 영향요인을 평가지표라고 정의하고, 정량적 평가지표와 정성적 평가지표로 구분하여 도출하였다.

다속성 효용함수는 속성들이 의사결정에 미치는 효용을 함수화하기 위하여 모든 속성들을 정량화하여야 하며, 평가지표의 단위와 평가지표가 취할 수 있는 값의 범위를 정의하여야 한다. 본 연구에서는 표 1과 같이 평가지표를 결정하고, 정량화하였다.

Table. 1 Attributes for assessment

Category	Attribute	Scale Range
Quantitative attribute	Energy consumption reduction ratio	% 0~5
	TDR reduction ratio	% 0~10
	B/C Ratio	% 50~200
Qualitative attribute	Needs for program	% 0~100
	Possibility of success	% 0~100
	Realities of methodologies	% 0~100
	Importance of expected effects	% 0~100

3.2. 선정평가대상 결정

선정평가대상은 아래와 같이 수요관리 투자사업 평가 시스템 개발 관련 연구를 통하여 도출된 한국가스공사의 신규 수요관리 투자사업 후보군으로 정의하였다.

- ① 열병합발전 시스템 리베이트 제도
- ② 산업용 고효율 천연가스 냉난방기기 리베이트 제도
- ③ 축열식 가스 보일러 리베이트 제도
- ④ 고효율 천연가스 보일러 복지 사업
- ⑤ 가스냉방 리스제도
- ⑥ 에너지 진단

3.3. 단일속성 효용함수 결정

단일속성 효용함수는 다속성 효용함수의 구성

요소로서 증가형, 감소형, 증가 후 감소형, 감소 후 증가형 등 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 증가형만이 존재하도록 평가지표를 정의하였으며, 이에 따라 단일속성 효용함수는 위험 중립형과 위험선호형, 위험기피형의 3가지 유형만이 존재한다.

- 위험중립 : $u(x) = a + \beta x$ (1)

- 위험기피 및 선호 : $u(x) = a + \beta e^{yx}$ (2)

x : 속성의 특정수준

$U(x)$: 속성의 특정수준에서 평가되는 효용

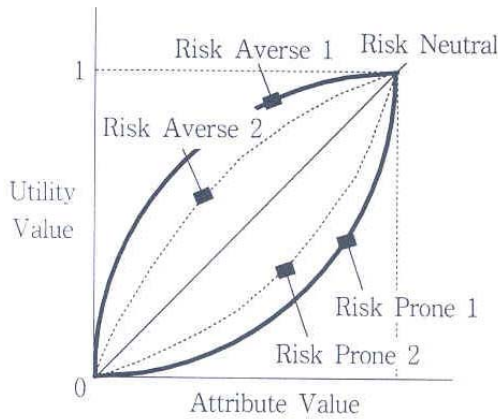


Fig. 2 Uni-attribute utility function

단일속성 효용함수는 아래의 3가지 조건식을 만족한다.

① $U(a) = 1$ (3)

a : 속성의 범주에서 가능한 최고점

② $U(b) = 0$ (4)

b : 속성의 범주에서 가능한 최저점

③ $U(c) = 0.5$ (5)

따라서 단일속성 효용함수의 모수가 3개(α, β, γ)이므로 효용의 중간치(0.5)가 되는 속성값을 설문문을 통해 파악한다면 모수에 대한 추정이 가능하다. 본 연구에서는 단일속성 효용함수의 모수를 추정하기 위하여 에너지관리공단, 한국가스공사, 한국지역난방공사를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 설문조사 결과는 표 2와 같다.

Table 2. Survey results

Organization	Mailing number	Return number	Return percent
KEMCO	30	8	26.7%
KOGAS	30	16	53.3%
KDHC	30	13	43.3%
Sum	90	37	41.1%

초월함수에 대한 방정식을 풀기 위해서 컴퓨터 계산 프로그램을 이용하였다. 7개의 선정평가지표에 대하여 설문문에 응답한 전문가들 중 62.8%는 위험선호, 15.5%는 위험중립, 21.7%는 위험기피 형태의 경향을 나타내는 것으로 분석되었으며, 'B/C Ratio'는 유일하게 위험기피 성향이 강한 평가지표이며, '기대효과'의 중요성은 가장 높은 위험선호 성향을 나타내는 것으로 분석되었다. 결국 설문조사에 참여한 전문가들의 위험선호 경향은 점수가 낮은 사업이 선정될 위험을 낮추는 것 보다는 점수가 조금이라도 더 높은 사업이 선정될 확률을 높이는데 효과적인 효용함수의 도출을 유도하였으며, 결과적으로 점수에 의한 사업 선정시 보다 엄격한 기준이 적용될 것으로 분석되었다.

Table 3. Parameter estimation results

Attribute	Risk prone	Risk neutral	Risk Averse
energy consumption reduction ratio	27	2	6
TDR reduction ratio	19	12	4
B/C Ratio	11	1	23
Needs for program	24	6	5
Possibility of success	25	8	2
Realities of methodologies	26	8	1
Importance of expected effects	30	3	2
Percent	62.8%	15.5%	21.7%

3.4. 평가지표의 중요도 산출

평가지표의 중요도는 다속성 효용함수의 계수로 사용된다. 본 연구에서는 평가지표의 중요도에 대한 직접적인 설문문이 아닌 우선순위에 대한 설문문을 통하여 중요도를 추정하였다. 그 이유는 정량적인 수치에 대한 응답보다 쌍대비교, 우선순위

등에 대한 응답의 정확도가 더 높다고 알려져 있기 때문이다. 다속성 효용함수의 계수는 중요도가 큰 속성의 계수가 큰 수로 들어가야 하므로 평가된 우선순위를 역으로 한 후 각 수치를 속성별로 표준화하였으며, 요소들 사이의 비교가 용이하도록 각 열벡터(column vector)를 자신의 norm으로 나눔으로써 표준화하는 벡터표준화(vector normalization) 방법을 활용하였다.

중요도 산출결과를 살펴보면 ‘에너지수요 절감량’에 대한 가중치가 0.16로서 가장 높은 중요도를 보였으며, 이후 ‘성공 가능성’, ‘사업의 필요성’, ‘추진방안의 현실성’ 등의 순서로 중요도가 산출되었다.

Table 4. Importance weight by attributes

attribute	average	rank
energy consumption reduction ratio	0.16	1
TDR reduction ratio	0.13	6
B/C Ratio	0.13	7
Needs for program	0.15	3
Possibility of success	0.15	2
Realities of methodologies	0.14	4
Importance of expected effects	0.14	5

3.5. 다속성 효용함수 도출

다속성 효용함수를 도출하는 단계는 앞서 정의된 평가지표별 중요도 및 단일속성 효용함수를 결합하는 단계이다. 다속성 효용함수의 대표적 형태는 가법형과 승법형이 존재하나, 본 연구에서는 평가지표들 사이의 독립성이 보장되도록 지표들 선정하였기 때문에 가법형을 사용하였다.

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

$$\text{가법형} : U(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (6)$$

$$\text{승법형} : U(x) = \frac{1}{k} \left[\prod_{i=1}^n k_i u_i(x_i) - 1 \right] \quad (7)$$

$$U(x), u_i(x_i), k_i \in [0, 1]$$

$$1 + k = \prod_{i=1}^n (1 + k_i)$$

i : 속성 인덱스, j : 응답자 인덱스,

k_i : 비례상수로서 속성 i 의 가중치,

$u_j(x_i)$: 개별속성에 대한 단일 속성 효용함수

본 연구에서는 설문 응답자별로 각각의 다속성 효용함수를 도출하였다. 계수 k 는 결정된 각 속성의 중요도 계수를 $U_i(x_i)$ 는 결정된 속성 i 에 대한 단일속성 효용함수를 이용하여 다속성 효용함수를 도출한 예로서, 순번 30번의 에너지관리공단 응답자에 대한 다속성 효용함수는 다음과 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} U(x) &= \sum_{i=1}^7 k_i u_i(x_i) \\ &= 0.25 + 0.11(0.1 \times x_2) \\ &\quad + 0.14(1.309 - 2.118 \times e^{-0.0096x_3}) \\ &\quad + 0.21(-0.1978 + 0.1978 \times e^{0.0180x_4}) \\ &\quad + 0.07(-0.0390 + 0.0390 \times e^{0.0328x_5}) \\ &\quad + 0.04(0.01 \times x_6) \\ &\quad + 0.18(-0.7841 + 0.7841 \times e^{0.0082x_7}) \end{aligned} \quad (8)$$

4. 평가모형 적용사례

4.1. 속성치 및 효용치 산출

본 연구에서는 개발된 평가모형의 활용가능성을 검증하기 위하여 한국가스공사의 신규 수요관리 투자사업 후보군을 본 연구결과로 도출된 다속성 효용함수를 적용하여 평가하였다. 그러나 연구시점에서 신규 사업의 ‘에너지수요 절감량’, ‘TDR 개선효과’, ‘B/C Ratio’와 같은 정량적인 평가지표의 속성치를 추정하는데 한계가 존재하기 때문에, 신규 수요관리 투자사업 후보군에 대한 평가지표별 속성치를 산출하기 위한 설문조사는 ‘사업의 필요성 및 시급성’을 비롯한 4개의 정성적 평가지표에 대해서만 수행하였다. 또한 전문가별 속성치 추정의 불확실성을 고려하여 직접적인 속성치가 아닌 각 후보사업별 우선순위에 대한 설문조사를 수행하고, 이를 평가지표의 속성치로 변환하기 위하여 속성범주에 우선순위를 등간격으로 맵핑하는 방법을 활용하였다.

다음으로 후보사업별 효용치는 산출된 속성치를 다속성 효용함수에 대입하여 산출하였다.

4.2. 평가결과 분석

사전 선정평가 모형을 이용한 우선순위 평가결과를 살펴보면, 먼저 단순한 전체 평균은 한국가

스공사가 에너지관리공단 보다 설문에 응답한 전문가 수가 많기 때문에, 한국가스공사의 우선순위에 보다 큰 영향을 받게 된다. 따라서 기관별 평가에 대한 가중치를 동일하게 유지한 상태에서 종합결과를 보기 위해서 각 기관별 평균을 먼저 도출한 후, 이 값에 대한 평균을 산출하였다. 기관별 평균 효율치에 대한 평균값을 산출한 결과 ‘산업용 고효율 천연가스 냉난방기기 리베이트 제도’, ‘열병합발전 시스템 리베이트 제도’, ‘가스냉방 리스제도’의 순으로 선정 우선순위가 산출되었다. 특히 ‘산업용 고효율 천연가스 냉난방기기 리베이트 제도’와 ‘열병합발전 시스템 리베이트 제도’는 순위뿐만 아니라 평균 점수 역시 0.5 이상이며, 평균 점수가 0.3445에 그친 ‘가스냉방 리스제도’에 비하여 월등히 높은 평가를 기록하였다.

Table 5. Assessment results

Program	KOGAS		KEMCO		Average	
	Avg.	Rank.	Avg.	Rank.	Avg.	Rank.
Rebate program for Combined heat and power plant	0.5794	2	0.4673	2	0.5234	2
Rebate program for high efficiency industrial gas chiller/heater unit	0.6194	1	0.788	1	0.7037	1
Rebate program for thermal storage boiler	0.1444	6	0.4013	3	0.2728	6
Welfare program providing high-efficiency boiler	0.1932	5	0.3718	4	0.2825	4
Natural gas air-conditioning lease program	0.3254	3	0.3636	5	0.3445	3
Energy diagnosis	0.2945	4	0.2651	6	0.2798	5
Average	0.3594		0.4429		0.4011	

5. 결론

본 연구에서는 다속성 효율이론을 이용하여 신규 수요관리 투자사업을 다양한 평가지표들을 종합적으로 고려하여 정량적이며 합리적으로 평가할 수 있는 수리적 모형을 도출하였다. 또한 개발된 평가모형을 한국가스공사의 신규 수요관리 투자사업 후보군에 적용하여 평가모형의 활용가능성을 검증하였다.

개발된 평가모형은 다수의 신규 후보사업 제안시 후보사업 별 효율치에 대한 비교를 통한 투자 우선순위 결정을 위하여 활용이 가능하며, 또한

효용함수의 결과는 최대 효율을 1, 최소 효율을 0 이라고 정의하였을 때의 절대적 수치 의미도 보유하고 있으므로, 하나의 후보사업을 신규 사업으로 선정해야 하는가에 대한 의사결정에서도 활용이 가능하다. 그리고 속성별 평가결과에 대한 분석을 통하여, 사업계획서 상의 부족한 부분에 대한 파악이 가능하며, 이에 대한 보완을 통하여 사업계획의 완성도를 높이고 투자사업의 시행착오를 최소화하는 데에도 기여할 수 있다.

향후 평가모형의 활용성을 높이기 위하여, 다속성 효율함수의 결과를 이용하여 독립 후보에 대한 선정 여부를 판단할 수 있는 선정 기준의 설정에 대한 연구가 필요하다. 또한 우선순위에 대한 설문조사에 의하여 추정하였던 평가지표의 가중치와 속성치를 보다 합리적으로 추정할 수 있는 방법론의 개발 등과 같이 평가모형의 신뢰도를 높이기 위한 연구가 지속되어야 할 것이다.

후 기

설문조사 및 평가결과 검증에 도움을 주신 에너지관리공단과 한국가스공사에 감사드립니다.

Nomenclature

DSM	demand side management
MAUT	multi attribute utility theory
MUF	multi attribute utility function
TDR	turn down ratio
KEMCO	Korea energy management corporation
KOGAS	Korea gas corporation
KDHC	Korea district heating corporation

참고문헌

1. Deok Ki Lee et al., 2007, "Development of assessment model for demand-side management investment programs in Korea", Energy Policy, Vol. 35, pp. 5585-5590.
2. Keeney, R. L., 1974, "Multiplicative Utility Functions", Operations Research, vol. 22, pp. 22-34.
3. Keeney, R. L., 1982, "Decision Analysis: An

- Overview", *Operations Research*, vol. 30, pp. 803-838.
4. Goicoechea A., D. Hansen and L. Duckstein, 1982, "Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Application", Wiley.
 5. 오정훈, 곽승준, 2003, "정부연구개발사업의 평가모형: AHP와 MAUT의 비교 및 적용가능성을 중심으로", 제9권, 제2호, pp. 93-119.
 6. 이윤중, 1999, "의사결정론", 서울, 세종출판사.
 7. 이창효, 1999, "다기준 의사결정론", 서울, 세종출판사.
 8. Pollak, R. A., 1967, "Additive von Neumann-Morgenstrn Utility Functions", *Econometria*, Vol. 35, pp. 485-494.
 9. Raiffa H., 1968, "Decision Analysis", Addison-Wesley.
 10. von Winterfeldt D., Edwards W., 1986, *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press.
 11. McDaniels, T. L, 1996, "A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities", *Journal of Environmental Management*, Vol 46, pp. 57-66
 12. 민완기, 오완근, 이찬구, "CDMA의 비경제적 가치 평가", *기술혁신학회지*, 제3권, 제1호, 2000, pp. 127-138.
 13. 유승훈, 원중호, 채경석, 2000, "케이블TV 방송 신제품의 잠재적 가치평가", *기술혁신학회지*, 제3권, 제1호, pp. 113-126.
 14. 허은녕, 2000, "가치평가기법의 최근 동향", *기술혁신학회지*, 제3권, 제1호, pp. 37-54.
 15. 이덕기, 박수익, 홍종철, 2006, "다속성 효용이론을 이용한 열공급시스템 대안 평가", *자원·환경경제연구*, 제15권, 제3호, pp. 451-477.
 16. 이덕기, 양종택, 2001, "MAUT를 이용한 차세대 에너지기술 평가 및 선정 연구", *한국기술혁신학회지*(ISSN 1598-2912), 제4권, 제2호, pp. 143-156.