

천연가스 공급타당성 검토를 위한 영향요인 발굴 및 중요도 평가

홍성준[†], 최봉하, 이덕기, 이정태, 박수익

*한국에너지기술연구원

An Evaluation of the Weights and Investigation of the Impact Factors for Supplying LNG

SUNGJUN HONG[†], BONGHA CHOI, DEOKKI LEE, JEOUNGTAE LEE, SOOUK PARK*

*Korea Institute of Energy Research, 102 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-343, Korea

ABSTRACT

In this paper, we investigated impact factors by brainstorming and survey research and calculated the weights of them using the Analytic Hierarchy Process(AHP) method in order to evaluate alternatives for supplying Liquefied Natural Gas(LNG). AHP is a useful method for evaluating multi-criteria decision making problems. We selected 3 criteria and 9 sub-criteria. According to the result in this study, the most important sub-criterion is the Government's Policy, and the second is the Province's Policy. The other side, the lowest important sub-criterion is the Investment Cost. This study may provide basic data to select the optimal alternative for supplying LNG.

KEY WORDS : LNG(액화천연가스), AHP(계층적 의사결정기법), Impact factor(영향요인), MCDM(다기준 의사결정)

Nomenclature

AHP	: analytic hierarchy process
CI	: consistency index
CR	: consistency ratio
IF	: impact factor
LNG	: liquefied natural gas
MAUT	: multi-attribute utility theory
MCDM	: multi-criteria decision making
RI	: random Index

1. 서 론

현재 대도시나 인구밀집지역을 중심으로 약 150여개 시군에 천연가스가 공급되어 64%의 보급률을 나타내고 있으나, 인구 저밀도 지역이나 주변 관망에서 원거리에 위치하여 투자에 대한 경제성이 낮은 지역에는 여전히 가스공급이 절실한 실정이다. 지속적인 유가상승에 따른 석유류 에너지 가격차이 확대에 에너지원간 비용 차이가 점차 증가하는 추세이며, 안전하고 청정한 천연가스 보급 및 확대 요구는 전국에서 지역별로 지속적으로 이루어지고 있다.

[†]Corresponding author : sjhong@kier.re.kr

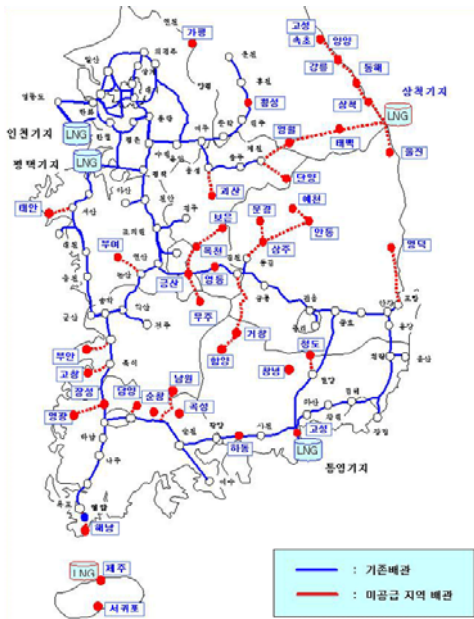


Fig. 1 The existing pipeline and planned pipeline of LNG

제8차 천연가스 장기 수급계획에 따르면 2010년까지 17개 지역, 2015년까지 16개 지역, 그 이후에 9개 지역을 선정하여 천연가스 공급계획을 수립하였으나, 도시가스사업법 제18조의 2(가스의 수급계획)에 의거하여 '06년 12월 이후 수급여건 변화를 반영하고 미공급지역의 여건을 고려하여 '08년 12월 제9차 장기 천연가스 수급계획을 확정 발표하였다.

이번 천연가스 수급계획을 통해 중장기 천연가스 수요전망을 바탕으로 수급안정을 위한 천연가스 산업의 종합적·장기적인 정책이 제시되었고, 특히 그동안 수도권과 지방 거점도시 중심으로 보급되었던 도시가스 보급이 지방 공급소외지역으로 대폭 확대되었다.

본 연구에서는 천연가스 공급을 위한 공급대안들을 평가하기 위하여 영향요인(impact factor)을 발굴하고, 다기준 의사결정기법(MCDM, multi-criteria decision making) 중에서 가장 활용도가 높은 계층적 의사결정기법(AHP)을 적용하여 영향요인의 중요도를 산출하였다.

2. AHP 방법론

K개의 기준을 가진 다기준 의사결정문제의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$Max f_1(a), \dots, f_h(a), \dots, f_k(a) \mid a \in K$$

다기준 의사결정문제에서 최대의 과제는 상충하는 기준들간의 절충이기 때문에 대부분의 현실문제에서 $f_h(\tilde{a}) \geq f_h(a), \forall a \in K, \forall h$ 를 만족시키는 최적해 \tilde{a} 는 거의 존재하지 않는다. 이와 같이 평가기준(criteria)이 다수이고, 각 기준하에서 고려되는 대안들의 선호도를 객관적으로 측정하거나, 이를 종합하여 최선의 대안을 선택하는 문제를 다기준 의사결정문제(multi-criteria decision making problem)라고 한다.

대표적인 다기준 의사결정기법으로 각 기준들의 효용함수(utility function)를 이용하는 MAUT와 계량적 수치로 나타내기 어려운 요소들을 정량화하고 문제를 계층화하여 분석하는 AHP, 그리고 순위선호(outranking) 개념을 바탕으로 선호함수(preference function)를 이용하는 PROMETHEE (preference ranking organization METHod enrichment evaluations) 등이 있다.

이 중에서 AHP 기법은 1970년대 초반에 미국 피츠버그대학의 Saaty 교수에 의해 최초로 개발된 의사결정방법론이다. AHP 기법은 예비타당성조사, 기술가치평가, 공공부문의 정책수립 및 의사결정, 기업의 경영전략수립, 마케팅, 생산, 제조 등 다양한 분야에 폭넓게 적용되고 있는 계량경영기법이다.

의사결정기법이 이론적으로 성공하기 위해서는 이율배반적으로 이론의 단순성과 복잡성을 만족시켜야 한다. 즉, 이론은 개념적으로 아주 간단하여 쉽게 이용할 수 있어야 하며(단순성), 동시에 실제계의 복잡한 의사결정 문제를 다룰 수 있을 정도(복잡성)의 강건성을 지니고 있어야 한다. AHP 기법은 이러한 두 가지를 충분히 만족시키고 있는 의사결정 지원도구로 인정되고 있으며 다음과 같

은 전제에 기초를 두고 있다.

첫째, 선호도는 역수조건을 만족해야 한다. 속성 A가 속성 B보다 x배 선호된다면 속성 B는 속성 A보다 1/x배 선호된다(reciprocal comparison).

둘째, 선호도는 제한된 척도로 나타내며 속성들은 비교 가능해야 한다(comparability).

셋째, 선호도를 표현할 때 판단기준들은 속성들의 성질과 독립적이라고 가정된다(independence).

넷째, 의사결정의 목적을 위하여 계층적 구조는 완전하다고 가정된다. 즉, 모든 대안들과 기준들이 모두 계층에 표현되어야 한다(expectations).

3. 영향요인 발굴

영향요인(impact factor)이란 개발기술에 직접 또는 간접적으로 영향을 끼칠 수 있는 요인들로서 이는 유·무형적, 정성적, 정량적 특성을 모두 포함하고 있는 총체적 요인들을 말한다.

우선 브레인스토밍을 통하여 천연가스 공급대안 선정에 고려되어야 할 요소들을 도출하고, 이들 요소들의 공통성과 중복성을 확인하여 영향요인을 발굴하였다. 이 과정에서 지식경제부, 한국가스공사, 광역단체, 지자체, 도시가스사 등 25개 관련기관을 대상으로 설문 조사를 진행하였으며, 공청회를 통해 결과에 대한 검증을 실시하였다. 그 결과 3개의 상위요인(criteria)과 9개의 하위요인(sub-criteria)이 선정되었으며(Table 1), 이를 근거로 영

Table 1 Impact factor category

Criteria	Sub-Criteria (영향요인)
경제성	투자비
	잠재수요
	편익지수
공급가능성	권역별 공급여건
	도시가스사 공급의지
	인프라
정책성	정부정책방향
	광역단체 정책성
	적용 시·군 정책성

향요인별 중요도 평가를 실시하였다.

3.1 경제성

영향요인 중에서 가장 우선적으로 고려해야 하는 요인은 경제성이다. 그동안 일부 지역에 천연가스가 공급되지 않았던 이유는 경제성이 없었기 때문이지만, 제한된 예산으로 천연가스를 공급하고자 한다면 경제성에 대한 분석자료가 가장 기초가 될 것이다. 투자비는 예상 공급루트로 주배관을 매설하는 경우 요구되는 비용으로서, 주배관 연장길이, 주배관 재질(직경, 두께), 예상 차단소 개수에 따른 비용이 포함된다. 잠재수요는 해당지역의 현황과 향후 개발여건을 종합적으로 고려하여 추정된 잠재수요량을 기본으로 한다. 편익지수는 경제성분석을 통해 산출된 NPV, IRR, B/C ratio가 포함된다.

3.2 공급가능성

현재까지 천연가스가 공급되지 않은 지역들의 경제성이 대부분 낮고 지역별로 경제적 편차가 크지 않을 것으로 예상되기 때문에, 비계량적 요인을 판단기준으로 포함시켜 공급대안간 우열을 구분해야 한다. 특히 권역별 공급여건이나 해당 도시가스사의 공급의지, 인프라 등과 같이 일부 계량화되지 않았지만, 공급지역 평가에 중요한 요소로 판단되는 항목에 대하여 고려해야 한다. 권역별 공급여건은 현장실사 이전에 실시한 주민서명운동, 국립공원·상수원 등 자연환경 보존구역과의 인접성, 인근 시·군과의 협의체 구성을 통한 공동노력 등이 포함된다. 도시가스사 공급의지는 관할 도시가스사의 투자여력이나 사전검토 여부 등이 판단기준이다. 인프라는 배관망 매설시 제한사항이 될 수 있는 교량이나 철로, 기존 LPG+air 배관인프라, 기존 주배관 인접지역 여부 등이 포함된다.

3.3 정책성

비계량 요인 중 두 번째로 정부와 광역단체, 지자체의 정책성을 고려하여 천연가스 공급가능성을

판단해야 한다. 정부정책방향은 정부의 천연가스 공급 추진계획이나 소외지역 지원계획 등과 같이 정부의 정책성을 판단기준으로 한다. 광역단체 정책성은 광역단체의 사업검토 여부나 도시가스사 선정여부 등이 판단기준이 된다. 적용 시·군 정책성은 해당 시·군의 사업검토 여부나 현장실사 대응 및 준비 등이 포함된다.

4. 중요도 산출

4.1 계층구조 설계

천연가스 공급대안들을 평가하기 위하여 평가기준의 계층구조(hierarchy structure)를 설계해야 한다.

AHP 기법을 적용하기 위하여 본 연구에서는 계층구조를 1계층(criteria)과 2계층(sub-criteria)으로 구분하여 기본 모형을 설계하고, 이에 따른 평가를 실시하였다.

4.2 관련요소의 쌍대비교

천연가스 공급대안을 선정하기 위하여 Fig. 2와

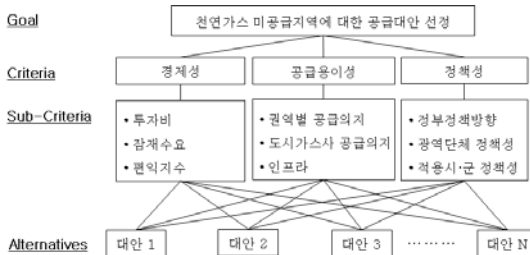


Fig. 2 Hierarchy structure of AHP

Table 2 Pairwise comparison scale

Scale	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong importance
9	Extremet importance
2, 4, 6, 8	Intermediate values of each scale

같이 계층구조를 설계한 후, 하위요인들이 직계 상위요인에 얼마나 많은 영향을 받는지 또는 중요성을 갖는지 비교 평가해야 한다. 1956년 Miller의 심리학실험에서 “인간은 7±2개의 대상을 혼동없이 동시에 비교가 가능하다”라는 결과를 발표하였다. 이러한 결과를 고려하여 Saaty에 의해 개발된 척도로 쌍대비교를 하였다. 척도의 범위는 1에서 9까지로 나타내며, 숫자가 커질수록 기준이 되는 구성요소의 중요도가 증가함을 의미한다(Table 2).

4.3 중요도 산출

고유벡터법(eigen value)을 사용하여 의사결정속성들 간의 상대적인 가중치를 추정한다. 평가된 쌍대비교 결과들을 이용하여 각 수준 속성들의 상대적 가중치를 얻기 위해서 고유벡터법(eigen value)이 널리 사용되고 있는데, 속성 i는 속성 j와 비교하여 어느 정도 중요한지를 나타내는 상대적 중요도를 a_{ij} 라 하면 쌍대 비교행렬($A=[a_{ij}]$)은 다음과 같다.

$$A=[a_{ij}] = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, $w_i(i=1, 2, \dots, n)$ 는 i 번째 속성의 가중치를 나타낸다. 이 행렬은 원소 a_{ij} 에 대하여 다음의 관계가 성립하는 역수행렬이 된다.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (2)$$

이 행렬에 벡터 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 를 전치벡터로 곱하여 다음과 같은 관계식을 얻는다. 즉, 행렬 A가 일관성을 갖는 조건을 말한다.

$$Aw = \lambda w \quad (3)$$

여기서, λ 는 A의 고유치이고 w 는 A의 고유벡터를 나타낸다. 그런데 일반적으로 속성에 대한 쌍대비교는 비일관성(inconsistency)이 나타나게 되므로 최대고유치(λ_{max})를 이용하면 다음 식을 얻는다.

$$Aw = \lambda_{max} w \quad (4)$$

이를 다시 쓰면 제차 선형연립방정식인 다음과 같은 식을 얻는다.

$$(A - \lambda_{max} I)w = 0 \quad (5)$$

식 (5)를 만족시키는 영벡터(zero vector)가 아닌 w 를 구하면 된다. 요컨대, 평가행렬에서 고유치를 계산하고 최대고유치에 해당하는 고유벡터를 구해서 가중치의 합이 1이 되도록 규준화(normalize)한다. 식 (4)에서의 λ_{max} 는 식 (3)의 λ 추정값이다. Saaty는 최대고유치(λ_{max})는 속성의 수(n)보다 항상 크거나 같다는 것을 입증하였다. 계산된 최대고유치가 속성의 수에 가까울수록 쌍대비교 행렬 평가는 더욱 일관성이 있다고 할 수 있다. 이 성질은 다음과 같은 일관성 비율(consistency ratio)로 측정하며 일관성비율의 값이 10%이하이면 평가가 일관성이 있고, 20%이내이면 허용(tolerable)할 수 있는 평가라고 할 수 있다.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = (CI / RI) \times 100$$

Table 3 Random index

Size(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Table 4 Weights of impact factors

대분류	개별 가중치	영향요인	개별 가중치	최종 중요도
경제성	0.172	투자비	0.148	0.026
		잠재수요	0.574	0.099
		편익지수	0.277	0.048
공급 용이성	0.285	권역별 공급의지	0.373	0.106
		도시가스사 공급의지	0.370	0.105
		인프라	0.257	0.073
정책성	0.543	정부정책방향	0.446	0.242
		광역단체 정책성	0.286	0.155
		적용 시·군 정책성	0.268	0.145



Fig. 3 Final weights of impact factors

여기서 CI(consistency index)는 일관성 지수, CR(consistency ratio)은 일관성 비율, RI(random index)는 난수지수를 의미한다.

일관성 비율을 계산하여 유효 일관성 비율(20% 이내)에 들지 못한 정보는 제외하거나 재설문을 받았으며, 취합된 정보는 기하평균(geometric mean)을 이용하여 계산하였다. 기하평균은 설문조사 결과가 몇 개의 극단치에 좌우되는 단점을 최소화하여 결과를 종합할 수 있으며, 영향요인에 대한 중요도를 산출하기 위하여 AHP전용 S/W인 expert

choice 2000을 사용하였다. Table 4는 AHP 기법에 의해 산출된 영향요인별 가중치와 최종 중요도를 나타낸다.

영향요인에 대한 최종 중요도는 정부정책방향(0.242)이 가장 높게 산출되었으며, 그 다음으로는 광역단체 정책성(0.155), 적용 시·군 정책성(0.145) 순으로 나타났다. 중요도가 가장 작은 하위 3가지 영향요인으로는 인프라(0.073), 편익지수(0.048), 투자비(0.026)로 나타났으며, 최상위 영향요인이 최하위 영향요인간의 편차는 0.216이었다.

4. 분석 및 결론

일반적으로 의사결정문제는 서로 상반된 기준과 불완전한 정보 및 제한된 자원 하에서 최적의 대안을 선택해야 하는 문제를 내포하고 있다. AHP 기법은 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 널리 활용되고 있다.

본 연구에서는 천연가스 공급타당성을 검토하기 위한 영향요인을 발굴하고, AHP 기법을 적용하여 중요도를 산정하였다.

연구결과를 살펴보면 현재까지 천연가스가 공급되지 않은 지역의 특성상 소외지역 지원이나 국가 균형발전계획과 같이 그들에게 공통적으로 유리한 조건들을 평가기준으로 선정해야 한다는 의견이 많았음을 알 수 있다. 또한 관련 광역단체나 지자체의 준비사항 등도 중요한 영향요인으로 선정되었다. 반면에 편익지수나 투자비와 같이 이들 지역들에 공통적으로 불리하여 변별력이 없을 것으로 판단되는 조건들은 낮은 점수를 획득하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 천연가스의 공급타당성을 경제성만으로 평가한다면 모든 대안들이 타당하지 않다는 결론이 나올 것이다. 왜냐하면 현재까지 천연가스가 공급되지 않은 대부분 지역들이 주변관으로부터 멀리 떨어진 지점에 위치해 있어서 배관망 연장시 많은 투자비가 소요되고, 그에 따른 경제성이나 향후 수요량 측면에서 불리한 여건을 가지고 있기 때문이다. 하지만 지역균형발전과 소

외지역을 지원한다는 측면에서 이들 지역에 대한 천연가스 공급논의가 재조명되고 있고, 최근들어 천연가스 공급혜택을 모든 국민에게 주어야 한다는 여론도 커지고 있는 것 또한 사실이다. 따라서 경제성 측면에서의 영향요인과 함께 비계량적 영향요인을 발굴하고, 영향요인의 중요도를 산출한 본 연구결과는 향후 본격적인 천연가스 공급대안을 평가하는 추후 연구에서 기초자료로 활용도가 높을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 이덕기, “AHP를 이용한 신재생에너지 보급 확산제도 평가”, 한국신재생에너지학회지, Vol. 1, No. 2, 2005, pp. 79-90.
- 2) 이성곤, 겐토 모기, 김종욱, “규모의 경제성을 고려한 전략적 온실가스저감기술 개발을 위한 다기준의사결정기법”, 한국수소 및 신에너지학회지, Vol. 19, No. 6, pp. 552-560.
- 3) 지식경제부, “제9차 장기 천연가스 수급계획(2008년~2022년)”, 2008.
- 4) 한국에너지기술연구원, “천연가스 미공급지역 공급타당성 검토 최종보고서”, 2008.
- 5) 홍성준, 이용대, 김승권, 김승훈, “PROMETHEE와 ANP기법을 활용한 상수도관망의 위험요소평가”, IE Interfaces, Vol. 19, No. 2, 2006, pp. 106-116.
- 6) S. J. Hong, D. K. Lee, B. H. Choi, S. Y. Park, C. H. Kwon, and S. U. Park, “Assessment of Impact Factors to Energy Technology Development for the Future Using AHP”, International Conference of RENEWABLE ENERGY 2008.
- 7) Fatemeh Zahedi, “The Analytic Hierarchy Process : A Survey of the Method and its Applications”, INTERFACES, Vol. 16, No. 4, 1986, pp. 96-108.
- 8) Miller, G. A., “The Magical Number Seven, plus or minus Two : Some Limits on our Capacity for Processing Information”, Psychologi-

- cal Rev., Vol. 63, 1956.
- 9) Saaty, T. L, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, 1980, pp. 170-171.
 - 10) Saaty, T. L, "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol. 32, No. 7, 1986, pp. 841-855.
 - 11) Saaty, T. L, "Decision making with dependence and feedback the analytic network process", RWS Publisher, USA, 1996, pp. 21-70.
 - 12) Vargas, L. G., "An overview of the analytic hierarchy process & its application", European Journal of Operational Research, Vol. 48, 1990, pp. 2-8.