

가스하이드레이트 개발사업의 기술가치평가 사례연구

이 유아¹⁾, 김 진수²⁾, 허 은녕³⁾

A Case Study on Value Evaluation of Gashydrate Development Technology

Youah Lee, Jinsoo Kim, Eunnyeong Heo

Key words : Value evaluation model(기술가치평가모델), Fuzzy analytic hierarchy process(계층분석적의사결정법), Contingent valuation method(조건부가치측정법)

Abstract : 가스하이드레이트의 국내 부존 가능성이 확인됨에 따라 가스하이드레이트 개발기술 및 부존 정보의 확보를 위한 가스하이드레이트 연구개발사업이 추진 중에 있다. 가스하이드레이트 개발사업과 같은 국가주도 연구개발사업의 경우 사업의 타당성 확보와 효율적인 추진을 위해서 사업 및 개발기술의 가치를 객관적으로 평가해야 할 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 가스하이드레이트 개발사업의 가치평가를 위한 주요 속성들을 결정하고 속성별 쌍대비교를 통해 중요도를 도출 할 수 있는 Fuzzy AHP 방법론을 사용하여 상대적 가치를 도출 하였다. 연구 결과 가스하이드레이트 개발사업 및 기술의 가치는 상위계층으로 직접가치와 유발가치로 나눌 수 있고, 하위계층으로 총 8개의 속성으로 분류 할 수 있는 것으로 분석되었다. 중요도 분석결과 가스하이드레이트를 직접 개발함으로써 얻을 수 있는 개발가치가 사업시행으로 인한 탐사개발 기술의 확보로 유발되는 가치보다 높은 중요도를 가지는 것으로 평가 되었다. 또한 개발가치의 세부항목 중에는 에너지 안보 증진 효과가, 유발가치의 세부항목 중에는 인력 양성효과가 가장 중요한 가치평가 요소로 나타났다.

subscript

AHP : analytic hierarchy process
CVM : contingent valuation method
MAUT : multi-criteria analysis utility theory

1. 서론

가스하이드레이트는 메탄이 주성분인 천연가스가 고체화 되어있는 상태의 물질로 심해의 퇴적암층에 넓게 분포하며 전체 매장량이 천연가스의 약 100배인 10조톤이 넘을 것으로 추산되고 있다. 또한 연소시 발생하는 이산화탄소량이 휘발유의 0.7배 정도 밖에 되지 않아 석유와 석탄을 대체할 미래 에너지원으로 주목 받고 있다. 우리나라의 경우 2000년부터 시행된 동해지역의 기초 탐사 결과 울릉도와 독도 인근 해역에서 LPG 수입량을 기준으로 전 국민이 30년간량 사용할 수 있는 가스하이드레이트의 부존 가능성이 확인 되었다. 이에 2005년 7월 가스하이드레이트 개발사업의 효율적 추진을 위하여 전담조직인 “가스하이드레이트 개발사업단”이 출범하였고, 2005년부터 2014년까지 10년간 “가스하이드레이트 개발

사업”을 수행하게 되었다.

가스하이드레이트 개발사업과 같이 장기화, 대형화 되고 있는 국가주도 연구개발 사업의 경우 산업계·학계·연구계 등 다양한 주체들의 협력과 공동 노력이 요구 된다. 따라서 효율적인 국가 주도 연구개발사업의 수행을 위해서 체계적인 연구성과 분석 및 개발 기술에 대한 가치평가의 필요성이 제기되고 있다. 오정훈·곽승준(2003)은 정부 연구개발사업평가의 중요성을 제시하며 다기준 의사결정법인 AHP와 MAUT가 연구개발사업의 평가를 합리적이고 객관화 하는데 적용될 수 있음을 보여주었다. 또한 과학기술부(2005)는 이산화 탄

-
- 1) 서울대학교 지구환경시스템공학부
E-mail : youah@snu.ac.kr
Tel : (02)880-8284 Fax : (02)882-2109
 - 2) 서울대학교 지구환경시스템공학부
E-mail : simple99@snu.ac.kr
Tel : (02)871-8289 Fax : (02)882-2109
 - 3) 서울대학교 지구환경시스템공학부
E-mail : heoe@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-8284 Fax : (02)882-2109

소 저감 및 처리기술 개발 정책연구로서 기술개발 파급효과를 분석하여 (CDRSU) 연구개발사업의 효율적 운영을 위한 제도적 기초를 마련하였다. 하지만 아직까지 국내 연구개발사업의 개발기술 가치평가 및 성과분석에 대한 연구는 미비한 실정이다.

가스하이드레이트의 생산이 상용화 될 경우 수급 가능한 에너지원의 확보라는 측면에서 우리나라의 사회·경제 전반에 미치는 파급효과가 상당히 클 것으로 예상된다. 따라서 가스하이드레이트 연구개발사업의 가치와 사업을 통해 개발한 기술들에 대한 가치를 종합적으로 평가하여 사업의 타당성을 제고하고 사업의 효과적인 수행 전략을 제시하기 위한 정책연구가 반드시 필요할 것이다. 본 연구에서는 가스하이드레이트 개발사업의 기술가치평가를 위한 속성들을 도출하고 전문가 설문문을 통하여 속성들의 상대적 중요도를 도출하였다. 분석방법론은 복잡한 문제를 계층화하여 각 요인들에 대한 상대비교를 통해 중요도를 도출하는 AHP방법론의 발전 형태인 Fuzzy AHP를 사용하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 연구방법론인 Fuzzy AHP에 대한 소개와 가스하이드레이트 사업의 가치평가에 대한 적용 가능성을 제시한다. 제3장에서는 가치평가를 위한 속성을 결정하고, Fuzzy AHP를 이용하여 속성들의 중요도를 산정하였다. 제 4장은 결론으로 연구결과를 요약하고 도출된 결과의 유용성과 향후 보완점에 대해 논의 하였다.

2. 연구방법론

Saaty(1980)에 의해 제안된 AHP(계층 분석 과정)는 MCDA(Multi Criteria Decision Analysis, 다기준 의사결정법)의 하나이다. AHP는 복잡한 문제를 계층화 하여 주요 요인과 세부 요인들로 나누고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 중요도를 도출 한다. AHP는 인간의 사고와 유사한 방법으로 문제를 분석하고 구조화 할 수 있다는 점과, 모형을 이용하여 상대적 중요도 혹은 선호도를 체계적으로 비율척도(ratio scale)화 하여 정량적인 형태로 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다. 이와 같은 AHP 방법론은 최적대안 선정을 위한 의사결정 문제 뿐만 아니라 다면적인 평가기준과 다수의 의사결정자를 가지는 기술의 가치평가에도 활용되고 있다. 한국지질자원연구원(2005)에서는 AHP를 적용하여 지질도가 정보로서 가지는 가치를 평가하였고, 수자원의 지속적 확보기술개발사업단(2006)에서는 수자원기술의 평가를 위해 AHP 방법론을 사용하였다. AHP의 적용절차는 [Table

1]에 제시되어 있는 것과 같이 크게 8단계로 구분할 수 있다.

[Table 1] AHP의 적용절차

1 단계	브레인 스토밍을 통한 문제의 정의 및 속성의 결정
2 단계	속성간의 계층 구성
3 단계	쌍대비교를 통한 비교행렬의 구성
4 단계	기하평균을 이용한 다수응답의 결과 종합
5 단계	가중치 도출 및 일관성 판단
6 단계	계층의 모든 수준에 대해 3-5 단계의 반복 수행
7 단계	하위 계층의 가중치 벡터를 상위 계층의 가중치 벡터로 정규화
8 단계	전체 계층에 대한 일관성 평가

본 연구에서는 속성들의 가중치를 도출함에 있어 응답에 대한 오차를 고려하기 위해 응답자가 선택한 값이 확정된 값(deterministic value)이 아니라 확률적인(stochastic) 분포를 띄고 있다고 가정된 Fuzzy AHP방법을 적용하였다.

$$M_1 = (l_1, m_1, u_1), M_2 = (l_2, m_2, u_2) \quad (1)$$

식 (1)과 같은 퍼지 삼각수가 있을 때 Fuzzy AHP를 이용한 Chang(1996)의 Extent Analysis Method(EAM) 가중치는 다음과 같은 과정에 의해 산출된다.

■ 1 단계 : 응답자들로부터 쌍대비교를 통하여 얻은 퍼지 삼각수를 식 (2)와 같이 평균을 구한다.

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

■ 2 단계 : 1단계에서 구한 평균 퍼지 삼각수를 M_y^j 라고 하면, 식 (3)과 식(4)를 적용하여 i 번째 퍼지 synthetic extent를 구한다.

$$(l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \quad (3)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4)$$

■ 3 단계 : 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 각 퍼지 synthetic extent에 대한 확률도(degree of possibility) V 를 구한다.

$$V(M_2 \geq M_1) = 1 \quad \text{iff} \quad m_2 \geq m_1 \quad (5)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (6)$$

■ 4 단계 : 식 (7)을 사용하여 가장 작은 확률도를 구하면, EAM 가중치 벡터는 식 (8)과 같이 도출된다. 식(8)을 정규화(normalization)하면, 속성의 중요도를 나타내는 EAM 가중치 벡터 식 (9)를 얻을 수 있다.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (7)$$

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (8)$$

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (9)$$

3. 연구결과

3.1 가치평가 모델

가스하이드레이트 개발 사업의 가치분석 모델을 결정 하기 위하여 여러 기술가치 평가 문헌 및 전문가 자문을 통하여 [Table 2]의 항목과 같이 속성들의 계층을 구성하였다. 가스하이드레이트 개발사업의 가치를 먼저 가스하이드레이트를 직접 개발함으로써 얻을 수 있는 개발가치와, 가스하이드레이트 탐사개발 기술을 확보함으로써 발생하는 유발가치 등 두 측면으로 나누고 각각의 상위 계층에 해당하는 하위계층을 구성하였다.

개발가치에는 개발한 가스하이드레이트가 직접 사용할 수 있는 있는 에너지로써 가지는 가치를 의미하는 '에너지 사용가치'와, 가스하이드레이트의 확보로 에너지 자급률을 높임으로써 기대할 수 있는 '에너지 안보 증진효과'가 세부 속성으로 고려되었다. 또한 본 개발사업이 수행되지 않았을 경우 가스하이드레이트 개발시 수입해야 하는 기술에 지급해야 하는 '수입 대체효과'와 가스하이드레이트 개발 단계에서 나타나는 인력 수요에 의한 '고용효과'도 개발가치에 대한 세부 속

성으로 포함되었다.

유발가치는 하부 4개의 세부항목으로 구성된다. '타 산업 파급효과'는 본 개발사업에서 연구된 기술이 타 산업으로 이전되어 타 산업의 수요를 증진시켜 유발되는 가치와 탐사자료와 같이 본 개발사업에서 축적한 정보가 다른 산업에 활용됨으로써 유발되는 가치를 의미한다. '기술 수출 효과'는 본 개발사업으로 축적한 우수한 기술을 해외에 수출함에 따라 발생하는 가치를 의미하며, '인력양성효과'는 본 사업시행기간동안 양성된 가스하이드레이트 개발 인력이 가지는 가치를 의미한다. 또한 '국가 위상 제고효과'는 본 개발사업이 성공적으로 수행되어 가스하이드레이를 개발할 수 있는 기술을 축적하였을 경우 세계 다른 나라와 비교하여 에너지 개발 선진국으로서 우리나라의 위상이 높아지는 것에 대한 가치를 의미한다.

3.2 가중치의 산정 결과

가중치 도출을 위하여 가스하이드레이트 과제 책임자 19명을 대상으로 2006년 10월 19일부터 11월 10일에 걸쳐 가중치 설문을 실시하였고 총 배포된 19부중 회수된 12부를 사용하여 분석에 사용하였다.

Fuzzy AHP를 이용하여 도출한 가스하이드레이트 개발사업의 가치를 평가하기 위한 속성별 가중치의 결과는 [Table 2]과 같다. 최종가중치는 1, 2 단계 기준을 종합적으로 고려한 것이다.

[Table 2] Fuzzy AHP를 이용한 가중치 산정 결과

상위계층	하위계층	최종가중치
개발가치 (0.8939)	에너지 사용 (0.3185)	0.2487
	에너지 안보 증진 효과 (0.3664)	0.3276
	수입 대체 효과 (0.2387)	0.2133
	고용효과 (0.0764)	0.0683
유발가치 (0.1061)	타 산업 파급 효과 (0.2644)	0.0281
	기술 수출 효과 (0.0061)	0.0007
	인력 양성 효과 (0.5367)	0.0569
	국가 위상 제고 효과 (0.1928)	0.0205

상위 단계 요소의 가중치 산정 결과 가스하이드레이트 개발에 따르는 개발가치의 가중치

(0.8939)에 비해 기술개발에 따른 유발가치의 가중치는 (0.1091) 상대적으로 낮게 도출 되었다.

상위요소인 개발가치에 대한 하위계층들의 분석에서는 에너지 안보 증진효과 (0.364)와 에너지사용(0.3185)의 가중치가 비슷하게 나타났으며, 고용효과의 가중치가 가장 낮게 평가 되었다.

기술확보에 의한 유발가치의 하위단계 평가요소들의 가중치 산정 결과를 살펴보면 사업에 시행에 따르는 인력양성효과 (0.5967)의 가중치가 가장 높았으며 타 산업 파급효과(0.2644)와 국가 위상 제고 효과(0.1928)의 가중치는 비슷하게 평가 되었다. 사업으로 축적된 기술의 수출 효과는 유발가치의 세부항목 중 가장 낮은 가중치(0.0061)를 나타내었다.

가스하이드레이트 개발사업의 가치분석을 위한 요소들의 최중가중치를 살펴보면 가스하이드레이트의 개발에 따른 에너지 안보 증진 효과가 가장 높게 평가 되었으며 그 다음으로 에너지 사용효과와 수입대체 효과가 비슷한 가중치를 나타내었다. 이어서 가스하이드레이트 개발사업을 통한 고용효과, 인력양성효과, 타 산업의 파급효과, 국가 위상 제고효과, 기술 수출 효과의 순위로 중요하게 파악되고 있음을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 Fuzzy AHP 방법을 사용하여 가스하이드레이트 개발사업의 가치평가를 위한 속성들을 결정하고 그 중요도를 분석하였다. 분석 결과 전문가들은 가스하이드레이트 개발에 여부 따라 발생하는 개발가치가 가스하이드레이트 개발사업으로 축적된 기술로 인해 유발되는 가치보다 중요하다고 평가하였다. 이는 본 사업의 목적이 하이드레이트 개발 기술을 확보함으로써 국내 에너지 자급률을 높이고 미래 에너지원을 확보하기 위함이라는 것에 부합하는 것이라 볼 수 있다.

개발가치의 세부항목 평가에서는 에너지 안보 증진 효과가 가장 중요한 평가항목으로 도출되었는데 가스하이드레이트 확보에 따라 우리나라 에너지수급 구조에 미치는 긍정적인 영향을 전문가들이 높게 평가하고 있음을 보여준다. 반면 고용 효과가 가장 낮은 중요도를 보여주는 것은 가스하이드레이트 개발로 인한 일자리 창출보다는 화석연료의 대체 에너지원으로써의 직접적 영향정도가 더 중요하게 고려되고 있기 때문이다.

유발가치의 세부항목 평가에서는 사업 시행과정에서 지식 및 노하우의 축적으로 발생하는 인력양성효과가 가장 중요한 요소로 평가되었다. 이는 정부주도의 연구개발사업이 전문 연구 인력의 육성의 바탕이 되는 중요한 역할을 하고 있음을 반영하는 것이라고 생각할 수 있다. 그 다음 순위

로는 타 산업 파급효과가 중요하게 파악 되었는데, 가스하이드레이트 개발사업 수행 중 확보하게 되는 해저 지형도 및 탐사·채굴 기술들은 해외자원개발의 기초 자료로 사용 가능하기 때문이다.

본 연구에서 제안한 가스하이드레이트 개발사업 가치평가를 위한 속성 및 중요도는 가스하이드레이트 개발사업의 타당성 제고와 사업을 통해 개발한 기술의 가치 평가에 사용할 수 있는 중요한 지표들이다. 하지만 이러한 속성들은 측정 가능한 정량적인 형태가 아니기 때문에 사업의 가치를 직접 도출하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 CVM(조건부가치측정법)을 사용하면 속성들의 가치는 정량 가능한 금전적인 단위로 도출 될 수 있다. CVM은 시장이 없는 재화의 가치를 추정하는 방법론으로 환경재의 가치측정에 많이 사용되고 있다. 본 논문에서 제시한 항목별 가중치와 CVM을 적용하여 산출한 개별 속성별 가치를 종합하는 연구가 수행 된다면 가스하이드레이트 개발사업 및 개발기술의 가치를 평가할 수 있는 하나의 객관적이고 정량화된 지표를 제안할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국지질자원연구원의 연구사업인 「가스하이드레이트 개발사업」의 1단계 2차년도 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Chang, D E, 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, Vol.95, pp.649-655.
- [2] Saaty, T. L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process : planning, priority setting, resource allocation*, McGraw-Hill, New York.
- [3] 과학기술부, 2005, 「이산화탄소 저감 및 처리기술개발 정책연구/ 기술개발 파급효과 분석」, 서울.
- [4] 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 2006, 「수자원 및 기술 가치 평가 시스템 구축」, 서울.
- [5] 오정훈, 광승준, 2003, “정부연구개발사업의 평가모형,” *정부학연구*, 제 9권 제 2호, pp.93-119.
- [6] 정연재, 2004, “AHP 적용시 타나는 의사결정구조 분석연구-터널 환기/방재 시설 설계 및 고속도로 노선선정 사례를 중심으로-,” 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- [7] 한국지질자원연구원, 2005, 「지질도 및 지질정보의 경제적 가치평가분석」 서울.