

네트워크 분석과정을 적용한 가스하이드레이트 개발 사업의 기술향상도 평가[†]

Technology Improvement Assessment of Gas Hydrate R&D Project
using Analytic Network Process

송승국(Sueng-GGock Song)*, 허은녕(Eunngyung Heo)**, 이유아(Youah Lee)***

목 차

I. 서론	IV. 분석 결과
II. 배경이론	V. 결론
III. 네트워크 분석 과정 (Analytic Network Process)	

국 문 요 약

본 연구에서는 연구개발 사업에서 기술가치평가의 중요성 및 필요성을 인식하며, ANP(Analytic Network Process)기법을 적용하여 연구개발 사업으로 추진되고 있는 가스하이드레이트 개발 사업의 기술향상도를 평가하였다. ANP 방법은 요인들간의 상호 종속성 및 네트워크를 고려하여 연구개발 사업을 통해 개발된 기술의 가치를 평가 할 수 있다는 장점이 있다. 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도 평가를 위하여 사업의 4개 기술 분야 별 전문가의 자문 및 설문 결과를 바탕으로 기술향상도에 영향을 미치는 속성을 선정하였고, 각 속성 및 대안의 상호 종속성 관계를 고려한 네트워크 구조도를 도출하였다. ANP 기법을 적용하여 가중치 행렬을 도출한 결과 네트워크 구조도에서 보여지는 상호 관계를 확인할 수 있었다. 이러한 속성간 네트워크 관계는 기술가치평가에서 ANP 방법의 적용의 당위성을 제공해 준다. 기술향상도를 나타내는 요인의 극한 가중치 도출 결과에서는 모든 기술에서 실현 가능성이 가장 높게 평가되었다. 1위 이외에 다른 속성의 순위 및 기술향상도의 평가에서는 사업 수행 전 기술의 수준에 따라 영향을 받는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 네트워크 분석과정, 기술가치평가, 기술향상도평가, 가스하이드레이트 연구개발사업

※ 논문접수일: 2010.12.8, 1차수정일: 2011.3.8, 2차수정일: 2011.3.14, 게재확정일: 2011.3.18

† 본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행한 "가스하이드레이트 개발 추진대책 연구" 결과를 수정 보완하여 작성되었습니다.

* (주) 효성, ssk617@hyosung.com, 031-596-1813

** 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수, heoe@snu.ac.kr, 02-880-8323

*** 서울대학교 에너지시스템공학부 박사과정, youah@snu.ac.kr, 02-880-8705, 교신전자

ABSTRACT

This study accomplished technology improvement assessment of Gashydrate R&D project using ANP method which can deal with the sophisticated decisions involving a variety of interactions and dependencies. Criteria were selected by consultation and questionnaires with experts in four technology parts of gas hydrate project, and then the network was formed from relation with criteria and alternatives. As the result of analysis, the weight matrix was derived and the various relation in the network was able to be verified. The analysis was accomplished with four technology parts - geophysical exploration technology, geological and geochemical technology, analysis of deep-drill cores and stability technology, production technology - and the 'reliability' criterion ranked the highest of all parts. The rank of other criteria and the result of technology improvement assessment reflected the level of each technology. Thus, the result of this study will contribute to policy decision-making for developing and evaluating gas hydrate technology and other R&D projects.

Key Words : Analytic Network Process, Technology Valuation, Technology Improvement, Gas Hydrate

I. 서 론

연구개발사업의 기술가치평가(Technology Valuation)는 지식기반경제의 도래와 함께 기술 거래에 대한 사회적 수요가 증가하면서 그 중요성이 강조되고 있다. 기술의 가치를 평가하는 방법은 크게 정량적 방법과 정성적 방법으로 구분할 수 있다. 정량적 방법이 주로 재무 측면, 계량적 성과에 초점을 두고 있는 반면 정성적 방법은 전문가 의견에 기반을 두어 연구개발 사업 효율성의 척도로써 인간 행태적 성과에 더 많은 비중을 두고 기술을 평가한다. 최근에는 정성적 평가 방법이 연구개발 사업 또는 연구개발 사업에 의한 기술개발 평가에서 광범위하게 사용되고 있다. 정성적 방법은 정량적 방법으로 측정하기 힘든 거시적이고 중요한 성과의 평가 뿐 만 아니라 평가 의견에 담긴 내재적인 의미나 관련 정보 등을 파악 할 수 있기 때문이다.

정성적 기술가치평가에 있어 가장 중요한 요인은 다수의 평가기준들을 합리적인 방법으로 구조화하여 전문가들의 평가가 공통적이고, 체계적으로 이루어 질 수 있도록 모형화 하는 것이다. 지금까지는 이러한 정성적 평가의 모형화에 계층적 분석 과정(Analytic Hierarchy Process: AHP)이 활용되었다. 하지만 AHP를 이용하여 연구개발사업의 가치평가를 수행한 Huang et al.(2008), Shin et al.(2007) 등의 연구에서는 AHP 방법은 각 속성들이 상호 독립성을 가정하고 있다는 것을 한계로 지적하고 있다. 권철신, 조근태(2002)의 연구에서도 연구개발 분야에서 AHP를 적용하는 것에 대해, 연구개발 과제의 평가를 위한 의사결정에서는 최종 대안들인 연구개발 항목 간에 상호종속성(dependency)이 존재하기 때문에 상호영향(cross-impact)의 문제까지 고려하여 평가하여야 함을 강조하고 있다.

네트워크 분석과정(Analytic Network Process; ANP)은 AHP 기법의 요소간 상호 독립성이라는 한계점을 극복하기 위해 Thomas L. Saaty에 의해 제안된 기법이다. ANP는 슈퍼행렬의 개념을 사용하여 요소간 상호작용 작용과 반복적인 피드백 관계까지도 고려할 수 있는 방법이다. 1998년 제안된 이후로 연구개발 및 신제품 개발 등 기술분야에서 많이 연구되었으며 최근에 와서는 환경, 에너지, 연구개발사업의 평가 등 그 범위가 넓어지고 있다. 국내에서는 이영찬·오형진(2010), 김홍배·이창우(2009)등 최근에 와서야 ANP 방법론을 적용하려는 시도가 이루어지고 있다.

이에 본 연구에서는 ANP 기법의 적용 범위를 확대하는 측면에서 국가 연구개발사업인 가스하이드레이트 개발사업을 실증대상으로 기술가치평가를 수행하였다. 기술의 가치를 표현하는 항목 중에서 기술향상도에 초점을 맞추어 분석을 실시하였다. 연구개발사업의 가치평가에 존재하는 평가요인들은 독립적으로 하지 않고 상호 의존하는 경우가 많다. 따라서 ANP를 이용하여 모형화 하는 것이 더 적합한 평가모형 구축 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서 실증분석 대상으로 선정한 가스하이드레이트 개발사업단은 지식경제부와 한국지질자원연구원과 한국석유공사, 한국가스공사가 주축이 되어 조직되었으며 총 3단계 15년에 걸친 장기 연구프로젝트이다. 사업단은 청정에너지 자원인 가스하이드레이트의 국내 생산을 위한 기술확보를 목적으로 2005년 7월 19일 출범되었다. 지식경제부(2010)에 따르면 2009년을 기준으로 에너지 자주개발 공급률이 99%인 우리나라가 자체기술로 국내 해역에서 가스하이드레이트 개발에 성공한다면 이의 국내 산업과 경제에 미치는 중요성은 매우 클 것으로 예상된다. 이에 사업단은 미국, 일본, 캐나다 등의 가스하이드레이트 개발연구의 선진국에 비해 낮은 기술 수준을 극복하기 위하여 탐사·분석·개발생산 기술 확보를 위한 연구개발을 수행하고 있다.

가스하이드레이트 개발은 사회적 파급효과가 클 것으로 예상되고, 장기에 걸친 막대한 자금이 투자되는 사업이지만 사업 수행의 타당성 제고 및 효율적인 사업 운영을 위한 평가 체계는 미흡한 실정이다. ANP를 적용한 기술가치평가 모형 구축은 연구개발사업의 연구개발 자원의 투자효율성을 향상시키는 관점에서 그 의미를 찾을 수 있다. 이에 본 연구에서는 가스하이드레이트 연구개발사업의 기술가치평가 항목들을 도출하고, 요인들의 관계 및 중요도를 도출하여 모형을 구축하였다. 더 나아가 실제 분석을 실시하여 기술 혁신의 측면에서 경영 및 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

본 연구에서는 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도를 평가하기 위해 가스하이드레이트 개발사업의 4개 연구 분야 지구물리탐사 연구, 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 연구, 지질·지화학 연구, 개발생산 연구에 대한 기술향상도를 평가하였다. 4개 분야의 연구 내용은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 가스하이드레이트 개발사업의 분야 별 연구 내용

분야	연구 내용
지구물리탐사	<ul style="list-style-type: none"> • 가스하이드레이트 부존지층 물성 및 탄성과 특성 파악 • 가스하이드레이트 탐사 기반기술 확보
심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해	<ul style="list-style-type: none"> • 심부시추시료 분석에 의한 매장량 산정 필요 모수 도출 • 가스하이드레이트 시추개발시의 안정성 확보
지질·지화학	<ul style="list-style-type: none"> • 가스하이드레이트 분포 지역 확인 및 부존 지시 인자 개발 • 가스하이드레이트 부존 지질·지화학 모델 확립
개발생산	<ul style="list-style-type: none"> • 가스하이드레이트의 중장기 개발 대비 생산기술의 현장 적용 기초기반 확보 • 가스하이드레이트 생산기법 및 생산모델 확립

이후 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 연구개발사업의 가치평가 개념 및 구체적인 항목을 설정하고, 제 3장에서는 네트워크 분석방법에 대해 정리하였다. 제 4장에서는 전

문가 설문을 바탕으로 가스하이드레이트 개발사업 기술향상도 평가 요인들의 네트워크 관계를 설정하고 가중치를 도출하여 모형을 구축하였다. 또한 각 연구 분야별로 평가를 실시하여 실제 가스하이드레이트 연구개발사업의 기술가치평가를 실시해 보았다. 제 5장에서는 연구내용을 정리하고 ANP를 적용한 가스하이드레이트 연구개발사업의 가치평가 실시의 의의를 살펴보았다.

II. 배경이론

1. 연구개발사업의 기술가치평가

연구개발사업의 기술가치평가는 연구개발 투자의 의사결정 및 연구개발 성과 확산을 위한 중요한 기초정보를 제공해 준다. 특히 국가연구개발사업의 경우 상업화를 목적으로 하지 않는 기초연구에 집중되어 있는 경우가 많기 때문에 기술 혁신 및 확산이 원활이 이루어지지 않고 있다. 현재 국가경쟁력 제고 및 기업의 기술경쟁력을 강화하기 위해 막대한 연구개발 자원이 연구소나 대학, 기업현장에 투입되고 있음에도 불구하고 기술경쟁력 제고에 실질적 도움을 줄 수 있는 연구개발 성과의 확산 및 사업화가 활성화되지 못하고 있는 실정이다.

기술가치평가의 평가 대상은 기술이며, 기술 정의에 대한 많은 연구가 선행되어 왔다. 먼저, Capon and Glazer(1987)는 기술을 넓은 의미에서 노하우(know-how)라고 정의하였고, 기업의 관점에서는 제품 또는 서비스의 생산 및 판매에 요구되는 정보(information)라고 정의하였다. Boer(1999)는 기술을 유용한 목적을 위한 지식의 응용이라 정의하고, 기술은 기존의 기술에 대한 새로운 기술적 요소 또는 과학적 지식을 추가함으로써 창출된다고 하였다. 또한 국내 연구에서, 안승구(2000)에 의하면 기술(technology)은 통상적으로 광의적 개념의 기술과 협의적 개념의 기술로 분류할 수 있다. 우선 광의적 개념의 기술은 구체적 의미의 독립적인 기술, 특히 지적재산권을 포함할 뿐 아니라 기업이 보유하고 있는 기술력을 포함하는 것을 말한다. 협의적 의미의 기술이란 특허, 실용신안, 상표 등 지적재산권과 노하우, 영업비밀, 컴퓨터 소프트웨어 등의 개별기술을 말한다.

이와 같이, 기술가치평가 대상인 기술에 대해서도 다양한 관점으로 정의 내려지고 있듯이 기술의 가치를 평가하는 관점 역시 다양하다. 최승안(2006)은 기술가치평가 관점에 대해 크게 국가와 기업의 관점으로 설명하였다. 먼저, 정부 정책적 관점에서는 주로 환경과 사회경제적 영향을 평가하는데 거시경제적 관점에서는 자주 산업적인 파급효과를 평가하려는 경향이 강

하고 국가 연구개발투자를 관리하는 관점에서는 제안된 기술개발과제에 대한 우선순위를 결정하는 것이 필요하다. 또 기업의 관점에서는 경제성 측면에서 기술의 가치를 평가하려 할 것이다. 결국 관점에 따라서, 평가 목적에 따라서 적절한 평가 체계 및 평가 방법을 적용하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

이영찬(2005) 연구에서는 기술가치평가 방법론을 크게 정량적 방법(quantitative method)과 정성적 방법(qualitative method)으로 구분하고 있다. 정량적 방법은 기술의 가치를 직접적인 화폐가치로 측정하는 방법으로 비용접근법, 수익접근법, 시장접근법 등이 있으며 이 외에도 계량분석 모형, 자본자산 가격결정 모형, 실물옵션 모형 등이 있다. 또한 정성적 방법은 전문가들의 판단, 직관, 조사, 비교 등을 이용하여 수행하는 대표적인 기법으로 델파이 기법, AHP 기법 등이 자주 활용되고 있다.

미국을 비롯한 모든 선진국에서는 대부분의 국가 연구개발 사업 시행이전에 사업에 대한 경제적 타당성을 실시하는 등 연구개발사업의 평가를 위해서 그 동안 정량적인 평가 방법이 많이 사용되어 왔다. 그러나 국가 연구개발 기술의 잠재가치를 평가하려는 목적과 관점은 매우 다양하며, 정량적인 경제적 가치를 중시하는 기술가치평가는 다양한 관점 중에 하나에 불과하다.

이시우(2006)는 국가 연구개발 기술의 정성적 평가의 불가피성을 설명하고 있다. 예를 들어 거시적 관점에서, 경제적 가치 외에 기술의 사회경제적인 영향을 포함한 비경제적 가치를 중시하는 국가 연구개발 사업의 과제를 선정할 때 거의 대다수는 정성적 등급평가모형을 활용하고 있다. 한편 미시적 관점에서, 경제적 가치를 중시하는 민간부분의 기업이나 연구소들도 연구개발투자 의사결정을 행함에 있어 결과적으로 정성적 평가에 의존하게 되는 체크리스트를 겸한 등급형 또는 다기준법 평가모형을 채택하는 경우가 많음을 알 수 있다.

2. 기술가치평가 항목의 선정

기술의 가치평가는 그 연구개발사업의 최종 목표 및 유형에 따라서 달라진다. 따라서 본 연구의 실증분석대상인 가스하이드레이트 연구개발사업의 평가지표를 선정하기 위해서는 연구개발의 목적에 따라 적합한 평가지표를 선정해야한다.

Brown and Svenson(1988)과 KISTI(2002)에는 연구개발의 분류에 따른 평가 지표를 제안하였다. 먼저, 연구개발의 목적이 기초연구인 연구개발사업은 특허, 제품, 공정, 논문, 지식 등과 같은 1차적 성과로 평가 할 수 있다. 반면 연구의 목적이 응용 연구 및 개발연구인 경우는 연구성과에 해당하는 연구개발의 2차적 성과를 이용하여 평가 가능하다. 2차적 성과에 해당하는 지표에는 비용절감, 매출증대, 제품개선, 과학기술 기여도, 경제사회 기여도 등이 있다.

〈표 2〉 연구개발 분류에 따른 평가지표

연구개발 분류	연구개발의 평가	평가지표
기초 연구	1차적 성과 (output)	특허, 제품, 공정, 논문, 지식
응용 연구 및 개발 연구	2차적 성과 (outcome)	비용절감, 매출증대, 제품개선, 과학기술 기여도, 경제사회 기여도

한국산업기술진흥협회(1993)에서는 각 연구개발 분류별 정의를 시도하였다. 기초연구란 지식의 진보를 목적으로 하여 행한 연구로서 특정 응용을 노리지 않는 것 또는 특성의 사업적 목적 없이 과학지식의 진보를 목적으로 하는 연구 활동을 지칭한다. 응용연구란 지식의 진보를 목적으로 하여 행한 연구로서 특성의 실제 응용을 직접 노리는 연구 활동 또는 제품과 공정에서 특정 상업적 목적을 가지고 과학지식의 진보를 목적으로 한 연구 활동이다. 마지막으로 개발연구란 기초연구 및 응용연구 등에 의한 기존 지식을 활용해 새로운 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목적으로 한 연구 활동을 지칭한다.

본 연구에서 평가하고자 하는 가스하이드레이트 개발사업은 기존 석유나 가스 개발사업 등의 기존 지식을 활용해 국내에서 처음으로 가스하이드레이트라는 새로운 제품을 생산하기 위한 기술을 연구하는 사업이다. 동시에 가스하이드레이트의 실제 응용을 목적으로 하기 때문에 응용연구 및 개발연구로 분류할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 응용 및 개발연구에 해당하는 가스하이드레이트 개발사업의 기술가치평가를 위해서 석유 및 가스 개발사업 등과 같이 서로 영향을 미칠 수 있는 사업과의 관계 및 기술개발로 인한 수익 증가 등의 연구성과에 대해서도 충분히 고려하여 기술가치평가를 수행 하였다. 특히 세부적으로는 연구성과인 기술향상도를 평가하였다. 기술향상도는 기술의 안정성, 비용절감, 기술 수입료 증가, 다른 기술에 기여 등의 항목등 2차 성과 상목들을 포괄적으로 평가할 수 있으므로 응용개발사업인 가스하이드레이트 연구개발사업의 평가에 적합한 항목이다.

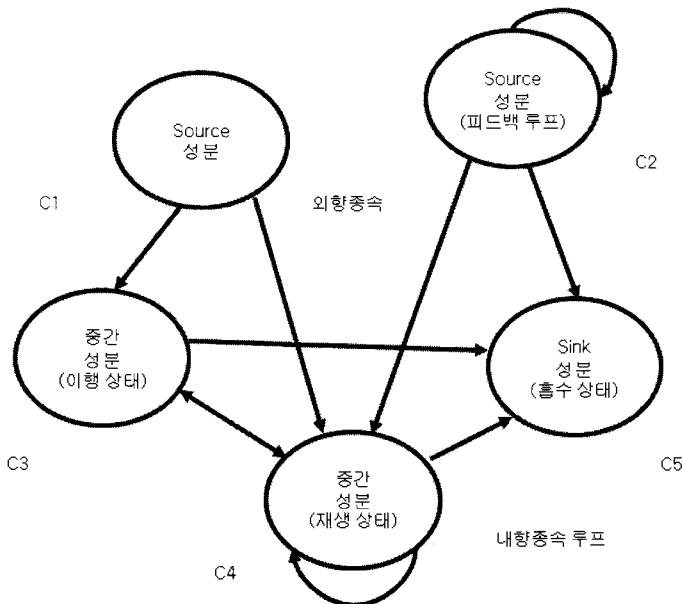
III. 네트워크 분석 과정(Analytic Network Process)

ANP 기법은 AHP 기법의 요소간 상호 독립성이라는 한계점을 극복하기 위해 Thomas L. Saaty에 의해 제안된 기법으로 네트워크구조를 포함하는 확장된 형태를 가진다. ANP 기법은 AHP 기법과 마찬가지로 의사결정의 대상에 대한 모형을 설정하고 그에 적절한 쌍대비교를 하는 것으로 각 요소와 대안간의 가중치를 구한다. 그 후 쌍대비교의 결과를 통하여 계산된

요소별 가중치를 슈퍼행렬의 각 위치에 대입하고 슈퍼행렬의 극한 연산을 통하여 최종 우선순위를 얻는 과정을 거친다(Saaty, 1996).

ANP 기법은 피드백 구조를 모형화하여 의사결정을 가능하게 한다. 다중의사결정법을 적용하여 의사결정을 하는 과정에는 계층요소 간에 존재하는 상호작용 또는 의존성으로 인해 계층 형태로 구성되지 않는 의사결정 문제들이 많이 있다. 이럴 경우 판단기준의 중요도에 따라 대안의 중요도가 달라지기도 하지만 대안의 중요도에 따라 판단기준의 중요성도 달라진다. 피드백 구조는 상위에서 하위로 직선적인 형태를 취하는 계층적 구조와 달리 클러스터와 요소를 잇는 사이클과 클러스터 자신에게 연결되는 루프를 가지기 때문에 네트워크 형태로 표현된다. 피드백을 내포하는 의사결정 문제는 현실적으로 많이 나타나며, 주어진 목표를 달성하도록 통상 많은 상호작용이 수반되고 있다. 따라서 현실의 의사결정문제에서 나타나는 이와 같은 복잡성을 다루기 위한 도구가 필요하고, 그러한 도구로서 ANP 기법의 활용성이 높은 것이다.

ANP모형은 피드백 네트워크 및 슈퍼행렬구조를 통해 설명할 수 있다. 우선 N개의 성분(component)을 갖는 (그림 1)과 같은 하나의 시스템을 생각해 보자. 각 성분 안에 있는 요소(element)는 상호작용을 하거나 다른 성분으로부터 영향을 받는다.



(그림 1) 피드백 네트워크

(그림 1)에서는 세 종류의 성분이 있는데, C₁과 C₂와 같이 들어오는 화살표가 없는 성분은 source 성분이라 하고 C₅와 같이 나가는 화살표가 없는 성분을 sink 성분이라 한다. 그리고,

C_3 와 C_4 와 같이 들어오고 나가는 화살표가 있는 성분을 transient 성분이라 한다. 이 두 성분 간에는 피드백이 존재하기 때문에 하나의 사이클(cycle)을 형성한다. C_2 와 C_4 는 루프(loop)를 가지며 따라서 내향종속(inner dependent)이라 하고, 나머지 모든 성분은 외향종속(outer dependent)이라 정의한다.

(그림 1)의 피드백 네트워크에서처럼 의사결정 네트워크의 성분을 C_h ($h=1, \dots, m$)라 하면 각 성분은 n_h 개의 요소를 가지며, 이는 $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn_h}$ 로 나타낸다. 한 성분내의 요소들 간의 영향은 AHP에서처럼 쌍대비교로부터 도출되는 우선순위 벡터로 표현된다. 즉, 이는 식 (1)과 같이 슈퍼행렬(supermatrix)로 할 수 있다.

$$\begin{matrix}
 & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\
 e_{11}e_{12}\dots e_{1n_1} & e_{21}e_{22}\dots e_{2n_2} & \dots & e_{m1}e_{m2}\dots e_{mn_m} \\
 \\
 \begin{matrix}
 C_1 \\
 \\
 C_2 \\
 \\
 \vdots \\
 C_m
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 e_{11} \\
 e_{12} \\
 \vdots \\
 e_{1n_1} \\
 e_{21} \\
 e_{22} \\
 \vdots \\
 e_{2n_2} \\
 \vdots \\
 e_{m1} \\
 e_{m2} \\
 \vdots \\
 e_{mn_m}
 \end{matrix}
 \begin{bmatrix}
 W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\
 W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm}
 \end{bmatrix}
 \end{matrix} \tag{1}$$

AHP에서는 각 단계마다 쌍대비교를 통해 가중치를 구한 뒤, 이를 서로 곱함으로써 간단히 최종결과를 얻을 수 있지만, ANP는 내향 및 외향 종속성과 피드백 효과를 고려하기 때문에 AHP처럼 단순히 가중치의 곱을 통해 결과를 얻을 수는 없다. 즉, ANP는 내향 및 외향 종속성을 동시에 표현할 수 있는 수단으로 위의 슈퍼행렬을 활용하여 행렬의 극한 특성을 구하고, 이 값으로써 최종 의사결정을 취하게 된다.

슈퍼행렬에서 W_{ij} 는 슈퍼행렬의 블록(block)이라 하며, 이는 식 (2)와 같이 행렬 형태를 갖는다.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i_1j_1} & w_{i_1j_2} & \cdots & w_{i_1j_{n_j}} \\ w_{i_2j_1} & w_{i_2j_2} & \cdots & w_{i_2j_{n_j}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{i_{n_j}j_1} & w_{i_{n_j}j_2} & \cdots & w_{i_{n_j}j_{n_j}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

W_{ij} 의 각 열은 네트워크의 j 번째 성분에 있는 한 요소에 대한 i 번째 성분에 있는 요소들의 영향을 나타내는 고유벡터이다. 행렬을 구성하는 요소 중에서 영향관계가 없는 경우에는 0의 값을 갖는다. 따라서 고유벡터를 도출하기 위해 쌍대비교를 행할 때 성분에 있는 모든 요소를 이용할 필요가 없고, 0이 아닌 영향도를 갖는 요소만 이용하면 된다.

이 때, 쌍대비교의 일관성지수(CI)를 측정하여 쌍대비교의 결과가 모형에 적용할 만큼의 일관성을 가지고 있는지를 판단하여야 한다. 그 후 쌍대비교의 결과를 통하여 계산된 가중치를 슈퍼행렬의 각 위치에 대입하고 슈퍼행렬의 극한 연산을 통하여 최종 우선순위를 얻는다. Satty(1996)의 연구에서는 $CI \leq 0.1$ 정도이면 비교 행렬 A의 적합도는 양호하다고 제시하고 있다. 즉 이 비교행렬은 응답자들의 응답이 일관성을 기반으로 작성되어 신뢰할 수 있음을 의미한다. 여기서 0.1 이라는 수치는 경험적인 수치이다. CI는 응답자의 비교 행렬이 일관성이 있으면 작아지고, 일관성이 없으면 커지게 된다. 이와 같이 CI에 의하여 A가 일관성이 있는지 아닌지를 판정할 수 있지만 n 이 크게 되면, CI의 값도 커지게 되기 때문에 그대로 일관성의 판정에 이용하기에 어려운 점이 있다. 그래서 CI를 보완한 CR(Consistency Ratio)도 이용되고 있다. CR은 CI를 Random Index(RI)로 나눈 값을 의미한다. 하지만 본 연구에서는 응답자의 n 이 크지 않기 때문에 CI 지수를 이용하여 일관성 지수를 도출하였다.

IV. 분석 결과

1. 네트워크 관계의 설정

ANP를 적용하여 기술향상도를 평가하기 위한 첫 번째 단계는 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도 평가를 위한 요인을 결정하고 네트워크 관계를 설정하는 것이다. 본 연구에서는 ‘기존문헌 검토-속성 초안 작성-전문가 의견반영’의 절차를 거쳐 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도를 표현하는 속성을 파악하고 네트워크 관계를 설정하였다.

먼저, 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도를 표현하는 속성을 파악하기 위하여 기존

문헌들에 대한 검토를 실시하였다. 한국기술거래소(2002)의 「KVA 기술기업평가 모형」 등 여러 기술평가 문헌자료와 기술개발 파급효과 분석(과학기술부, 2005), 수자원 및 기술 가치 평가 시스템 구축(수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2006) 등 에너지 기술에 대한 가치평가 문헌들을 검토하여 속성 초안을 작성하였다.

다음으로는 작성된 속성 초안에 대하여 2차에 걸쳐 전문가 자문을 수행하였다. 1차 설문은 2008년 7월에 시행되었으며, 2차 설문은 2008년 9월에 시행되었다. 전문가 설문은 1,2차 모두 동일한 10명을 대상으로 실시하였다. 설문 대상자는 2008년 가스하이드레이트 개발사업에 참여하고 있는 8명의 세부과제 책임자 및 가스하이드레이트 전문가 2명으로 구성다. 여기서 기술은 가스하이드레이트 사업단의 사업구분을 따라 개발생산, 지구물리탐사, 지질·지화학, 심부시추시료 분석 및 안정성 그룹으로 구분하였다. 설문방식은 직적 면담을 통한 설문을 실시하여 이해를 돕고자 노력하였다.

기술향상도를 평가하기 위해 필요한 속성은 상위속성 3개와 여기에 종속되는 하위속성 6개로 선정되었고, 향상도는 0%~100%, 101%~200%, 201%~300%의 범위로 분류하였다. 기술향상도를 평가하기 위한 기술의 속성은 다음 <표3>와 같이 정리 할 수 있다.

상위속성인 '신뢰성' 및 신뢰성의 하위속성인 '기술의 안정성'은 기술이 얼마나 신뢰할 수 있는지, 얼마나 안정적인지를 나타내며 기술이 신뢰할 만하거나 안정적인수록 그 기술은 향상되었다고 설명할 수 있다.

상위속성인 '이용가능성'은 3개의 하위속성으로 구분된다. 하위속성인 '기술 인프라'는 기술의 기반구조가 잘 구축되어 있는지를 나타내며 인프라가 잘 구축될수록 기술의 향상도가 높다고 할 수 있다. '다른 기술에 기여'는 가스하이드레이트 개발 생산 외에 다른 분야 또는 평가 대상이 되는 기술(가스하이드레이트 개발 생산 4가지 분야) 외에 다른 기술에 영향을 미치거나 기여하는 것을 나타낸다. 기여도가 클수록 기술의 향상도는 더 높게 평가됨을 의미한다. '기술의 실현가능성'은 해당 기술이 얼마나 실현가능한지를 나타낸다. 실제로 가스하이드레이트 개발사업은 기술개발의 최종적인 목적이 가스하이드레이트를 실제 에너지원으로 사용하기 위한 기술을 개발하는 것이므로 실현가능성이 높을수록 기술의 향상도가 높다고 할 수 있다.

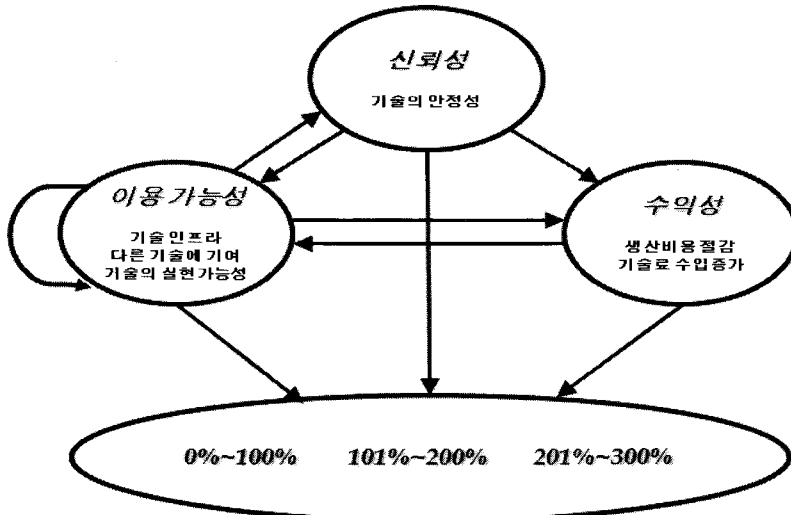
마지막으로 상위속성인 '수익성'은 2개의 하위속성으로 나눌 수 있는데, '생산비용 절감'과 '기술료 수입증가'이다. 먼저, 기술 개발 시 기반이 잘 구축되고 안정적인 단계로 들어서면 한계비용이 감소할 것이다. 즉, 생산비용이 절감되면 기술 개발에 영향을 미쳐 결국 기술 향상에 도 영향을 미치게 된다. '기술료 수입증가'에 대해서, 기술이 개발되고 다른 기술에 기여할 수 있을 만큼 안정적으로 확보가 되면 기술료 수입이 발생하게 된다. 따라서 기술료 수입이 증가하게 되면 역시 기술 개발 및 기술 향상에 영향을 미칠 수 있다.

〈표 3〉 기술향상도의 상위속성 및 하위속성

상위속성	하위속성	설명
1. 신뢰성	11. 기술의 안정성	기술이 신뢰할 수 있을 만큼 얼마나 안정적인가
2. 이용 가능성	21. 기술 인프라	기술의 인프라(기반구조)가 잘 구축 되었는가
	22. 다른 기술에 기여	다른 분야 또는 다른 기술에 기여할 수 있는가
	23. 기술의 실현가능성	기술이 실현 가능한가
3. 수익성	31. 생산비용 절감	기술 개발로 인해 생산비용이 절감 되었는가
	32. 기술료 수입증가	기술거래로 인한 기술료의 수입이 발생 하는가

위 속성들은 각각 같은 클러스터(상위속성) 또는 다른 클러스터에 존재하는 요소(하위속성)들 사이에 네트워크 구조를 가지고 있다. 전문가 설문을 바탕으로 도출한 클러스터와 요소, 대안 간에 존재하는 상호 의존성과 피드백 관계는 다음과 (그림 2)와 같은 구조를 가진다.

먼저, 각 클러스터(상위속성)와 요소(하위속성)들은 모두 대안(기술향상도)에 영향을 미치는 계층 구조를 가지고 있다. 단순한 계층 구조를 가질 경우 각 클러스터와 요소들은 독립적인 관계를 가정하게 된다. 그러나 가스하이드레이트 개발 사업의 기술향상도에서는 클러스터와 요소 사이에는 단순한 계층 구조로 설명할 수 없는 상호 종속성이 존재함이 확인 되었다.



(그림 2) 기술향상도 네트워크 구조

먼저 3개의 클러스터(상위속성)인 신뢰성, 이용가능성과 수익성의 영향관계가 존재함을 알 수 있다. 먼저 ‘기술의 신뢰성’은 ‘이용가능성’과 ‘수익성’에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

즉 기술이 신뢰할만하고 안정적인 수록 기술의 이용가능성과 수익성이 높아질 수 있음을 의미한다. 다음으로 ‘이용가능성’은 나머지 2개의 클러스터, ‘신뢰성’과 ‘수익성’에 영향을 미친다. 이용가능성이 높을수록 그 기술은 신뢰할 만하다고 판단할 수 있으며, 기술이 이용 가능할 때 수익이 발생할 수 있는 기회가 발생할 것이다. 마지막으로 ‘수익성’은 ‘이용가능성’에 영향을 미친다. 수익을 발생시키는 기술은 수익이 낮은 기술에 비해 이용 가능성이 더 높아질 수 있다. 그러나 전문가들은 수익이 높다고 해서 기술의 신뢰도를 높게 평가 하지는 않는 것으로 인식하고 있었다. 즉, 네트워크 구조도에서 ‘수익성’은 ‘신뢰성’에 영향을 미치지 않는 것으로 표현된다. 이러한 클러스터 간 관계를 ANP 기법의 방법론 정리에서 표현한 피드백 네트워크 구조에 따라 정리를 하면, ‘신뢰성’과 ‘이용가능성’, ‘이용가능성’과 ‘수익성’ 사이에는 피드백이 존재하기 때문에 두 개의 사이클이 형성됨을 확인할 수 있다.

다음으로 요소 간 관계에 대해 의견을 수렴하였다. 먼저 ‘신뢰성’의 요소인 ‘기술의 안정성’과 ‘이용 가능성’의 요소들 간의 관계를 분석하였다. ‘기술의 안정성’ 요소는 ‘이용가능성’의 ‘기술 인프라’, ‘다른 기술에 기여’, ‘기술의 실현가능성’ 3가지 요소에 모두 영향을 미친다. 물론 그 영향도의 차이는 있겠지만, 기술이 안정적이면 안정된 기술을 바탕으로 기반이 잘 구축될 수 있고, 안정적인 기술일수록 다른 기술이나 다른 분야에 미치는 영향이 클 것이다. 이는 기술의 실현가능성이 높아짐을 의미한다. 그리고 ‘기술의 안정성’ 요소는 ‘수익성’의 요소에도 영향을 미친다. 기술이 안정적이면 기술을 개발하고 제품(가스하이드레이트)을 생산하는데 드는 비용을 절감될 수 있고, 안정적인 기술을 바탕으로 기술료 수입을 발생시킬 수도 있다.

본 연구의 네트워크 구조에서는 같은 클러스터 내에서 영향을 미치는 루프 관계도 존재하는 것으로 분석되었다. 즉, ‘이용가능성’의 요소 중 ‘기술 인프라’는 같은 클러스터 내의 다른 요소인 ‘다른 기술에 기여’와 ‘기술의 실현가능성’에 영향을 미친다. 인프라가 잘 구축되어 있을수록 다른 기술이나 분야에 영향을 미치는 정도가 커질 수 있고 해당 기술의 실현가능성 또한 커질 수 있다. 따라서 ‘이용가능성’은 이러한 루프 관계가 형성되는 내향 종속(inner dependent)성을 가진다고 할 수 있다. 다음으로, ‘이용가능성’의 요소 중 ‘다른 기술에 기여’는 ‘수익성’의 요소인 ‘생산비용 절감’에도 영향을 미친다. 즉, 다른 기술 영향을 미치는 기술의 경우 기술 거래를 통한 기술료 수입이 발생할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 ‘수익성’의 요소인 ‘생산비용 절감’은 ‘이용가능성’의 요소인 ‘기술 인프라’와 ‘기술의 실현가능성’에 영향을 미친다. 즉, 생산비용이 적은 기술의 경우 비용이 적게 든다는 유리함 때문에 기술 개발을 위한 인프라가 확대될 수 있다. 또한 비용이 줄어들게 되기 때문에 사업의 경제성을 고려하였을 때 기술의 실현 가능성이 커질 수 있음을 의미한다.

2. 요소별 가중치 행렬의 구성

가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도 평가를 위한 다음 단계는 각 클러스터 및 요소별 가중치 행렬을 구성하고, 이 결과를 바탕으로 극한 가중치를 도출하여 가치평가 모형을 구축하는 것이다. 분석에는 ‘Super Decisions’ 프로그램을 사용하였다. 본 소프트웨어는 의사결정 문제를 쉽게 상호 종속성과 피드백을 지닌 형태로 구성하고 ANP의 슈퍼행렬을 통해 계산해주는 소프트웨어이다.

기술향상도를 평가하고 각 속성 별 가중치를 도출하기 위해 쌍대비교 형식의 설문지를 구성하였다. 응답자의 일관성을 나타내는 CI 산정결과 모든 기술에서 0.2 이하를 넘지 않는 값으로서 수용할 만한 신뢰도를 가지는 것을 알 수 있었다. 각 분야별 CI지수는 부록에 제시하였다.

가중치 슈퍼행렬의 결과를 통해, 앞의 네트워크 구조도에서 설명했던 관계를 확인할 수 있다. 가중치 슈퍼행렬은 각 클러스터의 블록 행렬로 구성이 되며, 각 가중치 값은 열의 항목이 행의 항목에 미치는 영향도를 의미한다. 영향을 미치지 않은 경우, 즉 상관관계가 존재하지 않는 경우에는 0의 값으로 계산된다.

각 세부기술의 클러스터 가중치 결과는 다음 <표 4>와 같이 정리할 수 있다.

<표 4> 클러스터 가중치 슈퍼행렬

기술분야	클러스터	신뢰성	이용 가능성	수익성	기술향상도
물리탐사	신뢰성	0.000	0.134	0.000	0.000
	이용 가능성	0.308	0.278	0.333	0.000
	수익성	0.308	0.219	0.000	0.000
	기술향상도	0.444	0.370	0.667	0.000
지질·지화학	신뢰성	0.000	0.154	0.000	0.000
	이용 가능성	0.203	0.154	0.250	0.000
	수익성	0.055	0.050	0.000	0.000
	기술향상도	0.742	0.642	0.750	0.000
심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해	신뢰성	0.000	0.349	0.000	0.000
	이용 가능성	0.226	0.243	0.387	0.000
	수익성	0.088	0.138	0.000	0.000
	기술향상도	0.686	0.270	0.613	0.000
개발생산	신뢰성	0.000	0.514	0.000	0.000
	이용 가능성	0.554	0.264	0.663	0.000
	수익성	0.167	0.095	0.000	0.000
	기술향상도	0.279	0.127	0.337	0.000

물리탐사 기술의 클러스터 가중치 결과로부터, '이용가능성'은 모든 클러스터에 영향을 미치고 특히 자기 자신에게도 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. '신뢰성'은 자기 자신을 제외한 다른 클러스터에 비슷한 정도의 영향을 미친다. '수익성'의 경우 '이용가능성'에 영향을 미치지만 '기술향상도' 대안에 미치는 영향이 크다. '기술향상도'는 네트워크 구조도에서도 알 수 있듯이 영향을 주지 않고 받기만 하는 Sink 성분에 해당한다. 또한 상위속성이 되는 각각의 클러스터가 다른 속성에 미치는 영향보다 대안이 되는 '기술향상도'에 직접 미치는 영향이 가장 큼을 알 수 있다. 그러나 '기술향상도'에 미치는 가중치의 크기와 비교했을 때, 상위속성끼리의 영향도 비교적 크다는 것을 알 수 있다.

지질지화학의 클러스터 가중치 결과를 살펴보면, '신뢰성'이 '수익성'에 미치는 영향도는 0.055 값으로 거의 영향을 미치지 않으며, '기술향상도'에는 0.742 값으로 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. '이용가능성' 역시 '수익성'에 미치는 영향이 0.050이고 '신뢰성' 및 자기 자신에게 미치는 영향이 0.154로, '수익성'보다는 '신뢰성'이나 자기 자신에게 비교적 영향을 미치고 특히 '기술향상도'에 0.642의 값으로 많은 영향을 미친다. '수익성' 역시 '이용가능성'에는 0.250으로 다소 영향을 미치기는 하지만 '기술향상도'에도 0.750으로 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 즉 지질·지화학 기술에서는 상위속성에 해당하는 클러스터들이 상호 관계를 가지긴 하지만 서로에게 미치는 영향보다 대안이 되는 '기술향상도'에 직접 미치는 영향이 가장 큼을 알 수 있다.

심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술의 클러스터 가중치 행렬을 보면, '신뢰성'과 '수익성'은 앞의 두 기술, 물리탐사와 지질·지화학 기술과 마찬가지로 '기술향상도'에 미치는 영향이 0.686, 0.613으로 가장 크다. 그러나 '이용가능성'의 경우 '기술향상도'에 미치는 영향인 0.270보다 '신뢰성'에 미치는 영향이 0.349로 더 큼을 알 수 있다.

개발생산 기술의 클러스터 가중치는 앞의 세 기술들과 다른 결과를 보여주고 있다. 앞의 기술들에서는 대부분 상위요소인 클러스터가 다른 상위요소에 미치는 영향보다 '기술향상도'에 미치는 영향이 가장 크지만, 개발생산 기술에서는 '기술향상도'에 미치는 영향이 가장 크지 않다. '신뢰성'의 경우, '이용가능성'에 미치는 영향이 0.554로 가장 큰 것으로 나타났는데 이것은 개발생산 기술의 신뢰성이 높아질수록 이용가능성에 직접적으로 미치는 영향이 크다는 것을 말한다. 즉, 개발생산 기술의 경우 다른 기술에 비해 가스하이드레이트 생산에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 기술의 신뢰도가 높아지면 가스를 생산하는 것, 즉 이용가능성이 높아질 수 있다고 해석할 수 있다. '수익성' 역시 '기술향상도'에 미치는 영향이 0.337, '이용가능성'에 미치는 영향이 0.663으로 '이용가능성'에 미치는 영향이 더 크다. 그러나 큰 영향을 받고 있는 '이용가능성'은 자기 자신보다는 '신뢰성'에 큰 영향을 미친다. '이용가능성'이 높아질

수록 개발기술의 신뢰성이 높다고 볼 수 있기 때문이다.

다음으로는 세부 요소에 대한 슈퍼가중치를 도출한 결과를 <표 5>에 각 기술별로 정리하였다.

<표 5> 요소 가중치 슈퍼행렬-물리탐사

요 소		신뢰성	이용가능성			수익성		
		안정성	다른 기술에 기여	실현 가능성	기술 인프라	생산비용 절감	기술료 수입증가	
물리 탐사	신뢰성	안정성	0.000	0.000	0.000	0.171	0.000	0.000
	이용 가능성	다른기술에 기여	0.048	0.000	0.000	0.191	0.000	0.000
		실현 가능성	0.069	0.000	0.000	0.165	0.103	0.000
		기술 인프라	0.131	0.000	0.000	0.000	0.230	0.000
	수익성	생산비용 절감	0.056	0.218	0.000	0.000	0.000	0.000
		기술료 수입증가	0.252	0.154	0.000	0.000	0.000	0.000
지질·지화학	신뢰성	안정성	0.000	0.000	0.000	0.162	0.000	0.000
	이용 가능성	다른기술에 기여	0.017	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000
		실현 가능성	0.060	0.000	0.000	0.135	0.188	0.000
		기술 인프라	0.125	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000
	수익성	생산비용 절감	0.042	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000
		기술료 수입증가	0.014	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
안정성·지질 재해	신뢰성	안정성	0.000	0.000	0.000	0.404	0.000	0.000
	이용 가능성	다른기술에 기여	0.047	0.000	0.000	0.146	0.000	0.000
		실현 가능성	0.094	0.000	0.000	0.136	0.288	0.000
		기술 인프라	0.084	0.000	0.000	0.000	0.098	0.000
	수익성	생산비용 절감	0.038	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000
		기술료 수입증가	0.051	0.205	0.000	0.000	0.000	0.000
개발 생산	신뢰성	안정성	0.000	0.000	0.000	0.318	0.000	0.000
	이용 가능성	다른기술에 기여	0.077	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000
		실현 가능성	0.170	0.000	0.000	0.392	0.372	0.000
		기술 인프라	0.307	0.000	0.000	0.000	0.291	0.000
	수익성	생산비용 절감	0.105	0.176	0.000	0.000	0.000	0.000
		기술료 수입증가	0.062	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000

물리탐사부문의 요소 가중치 결과에서는 ‘안정성’이 자기 자신을 제외한 모든 요소에 미치는 영향에 대해서 ‘기술료 수입증가’에 미치는 영향이 0.252의 값으로 가장 큼을 알 수 있다. 즉, 기술의 안정성이 확보되면 무엇보다 기술거래를 통한 기술료 수입이 증가할 것이라는 결

과이다. 그리고 ‘기술 인프라’의 영향도에서는 기술의 ‘안정성’에 미치는 영향이 0.171, ‘다른 기술에 기여’에 미치는 영향이 0.191, ‘실현가능성’에 미치는 영향이 0.165 값으로 큰 차이 없이 비슷한 결과를 보이고 있다. 여기서 주목할 점은 ‘이용가능성’의 블록행렬이다. ‘이용가능성’의 요소 중 ‘기술 인프라’의 경우 같은 클러스터 내의 다른 요소에 영향을 미치는 루프 관계 즉, 내향 종속성이 있음을 확인할 수 있다. 이것은 네트워크 구조도에서 설명한 바와 같다. 마지막으로 ‘수익성’에서는 생산비용의 절감이 ‘실현가능성’에 미치는 영향이 0.103의 값이고 ‘인프라 구축’에 미치는 영향이 0.230의 값으로, 비용이 절감되면 기술의 ‘실현가능성’보다 ‘인프라 구축’에 더 영향을 미치게 된다는 결과가 도출되었다.

지질·지화학 기술의 요소 가중치 행렬에서는 ‘안정성’ 요소가 ‘기술 인프라’에 미치는 영향이 0.125로서 다른 속성들과 비교하여 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 지질·지화학 기술이 안정적인 수록 기술의 기반을 잘 구축하게 된다고 설명할 수 있다. 그리고 ‘안정성’이 ‘기술 인프라’에 가장 큰 영향을 미치는 것과 마찬가지로 ‘기술 인프라’ 역시 다른 요소들 보다 ‘안정성’에 0.162의 값으로 가장 큰 영향을 미치는 상호 피드백 관계를 확인할 수 있다. 즉, 기술이 안정적이면 기반 구축이 확대되고 그렇게 기반구조가 잘 구축되면 결국 기술의 안정성이 높아질 것이라고 해석할 수 있다. 그리고 ‘생산비용 절감’은 ‘기술 인프라’를 구축하는 것보다 ‘실현 가능성’을 높이는 데 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술의 클러스터 가중치 행렬의 요소 가중치 행렬을 보면, ‘안정성’의 경우 ‘실현가능성’과 ‘기술 인프라’에 미치는 영향이 0.094, 0.084로 크지만 전체적으로 편차가 크지 않음을 알 수 있다. 또한 다른기술에 기여하는 것이 클수록 기술 거래를 통한 기술료 수입이 증가함을 알 수 있다. 마지막으로 ‘수익성’의 경우, ‘생산비용 절감’이 ‘실현가능성’에 미치는 영향이 0.298로 크다. 즉, 생산비용의 감소는 사업의 경제성을 고려하였을 때 기술의 실현 가능성이 커질 수 있다고 해석할 수 있다.

마지막으로 개발생산의 요소 가중치를 보면 ‘안정성’은 ‘기술 인프라’에 0.307로서 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 이것은 물리탐사 기술을 제외한 기술들에서 비슷한 결과인데, 물리탐사 기술에서도 그 값이 작지 않다는 것을 볼 때, 가스하이드레이트 개발 사업의 기술들은 기술이 안정적인수록 인프라를 잘 구축한다고 해석할 수 있다. 그리고 다른기술에 기여하는 것을 통해 기술료 수입이 발생할 수 있음도 확인할 수 있다. ‘안정성’으로부터 가장 큰 영향을 받는 ‘기술 인프라’는 역으로 ‘안정성’에 비슷한 값인 0.318로 큰 영향을 미치면서 피드백 관계를 형성하고, 뿐만 아니라 ‘실현가능성’에도 0.392로 가장 큰 영향을 미친다. ‘생산비용 절감’은 ‘실현가능성’과 ‘기술 인프라’에 각각 미치는 영향이 0.372, 0.291로서 가중치 값으로는 큰 차이가 없지만 ‘실현가능성’에 다소 큰 영향을 미치고 있다.

3. 극한 가중치 도출 및 기술향상도의 평가

다음으로는 도출된 가중치 행렬을 바탕으로 극한 가중치를 계산하여 가스하이드레이트 기술향상도 모형을 구축하고, 대안을 평가하였다. ANP 기법을 적용한 가스하이드레이트 기술별 각 속성의 극한 가중치는 다음의 <표 6>과 같이 나타난다. 대안을 제외한 클러스터간의 쌍대비교와 요소간의 쌍대비교를 이용하여 가중 이전의 초기 초행렬(Unweighted Supermatrix)을 구할 수 있고, 쌍대비교를 통해 구한 초기 초행렬에서 각 열의 합을 구하고 합을 다시 1로 만드는 과정을 통해 가중된 초행렬(Weighted Supermatrix)을 구할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐, 초행렬의 극한(Limiting)을 구하면 수렴된 수치를 얻을 수 있고 <표 6>과 같은 극한 가중치를 구할 수 있다. 또한 극한 행렬에서 구한 가중치로부터 합이 1이 되도록 정규화(Normalized)하여 함께 나타났다.

<표 6> 기술별 속성의 극한 가중치 비교

속 성		물리탐사		지질지화학		심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해		개발생산	
		극한 가중치	정규화 가중치	극한 가중치	정규화 가중치	극한 가중치	정규화 가중치	극한 가중치	정규화 가중치
신뢰성	기술의 안정성	0.032	0.119	0.035	0.226	0.050	0.213	0.063	0.163
	실현가능성	0.054	0.200	0.059	0.381	0.069	0.294	0.139	0.360
이용 가능성	기술 인프라	0.050	0.185	0.034	0.219	0.029	0.123	0.076	0.197
	다른 기술에 기여	0.041	0.152	0.010	0.065	0.028	0.119	0.040	0.104
수익성	생산비용 절감	0.040	0.148	0.013	0.084	0.026	0.111	0.035	0.091
	기술료 수입증가	0.053	0.196	0.004	0.026	0.033	0.140	0.033	0.085
합 계			1		1		1		1

모든 기술에서 ‘실현 가능성’이 가장 높은 가중치를 보이고 있다. 가스하이드레이트 개발 기술의 경우 현재 2단계를 거쳐 3단계에서 시험 생산을 목표로 하고 있음을 고려하였을 때, 기술이 실제로 개발될 수 있을지에 대한 ‘실현 가능성’이 가장 중요하게 고려되고 있음을 알 수 있다.

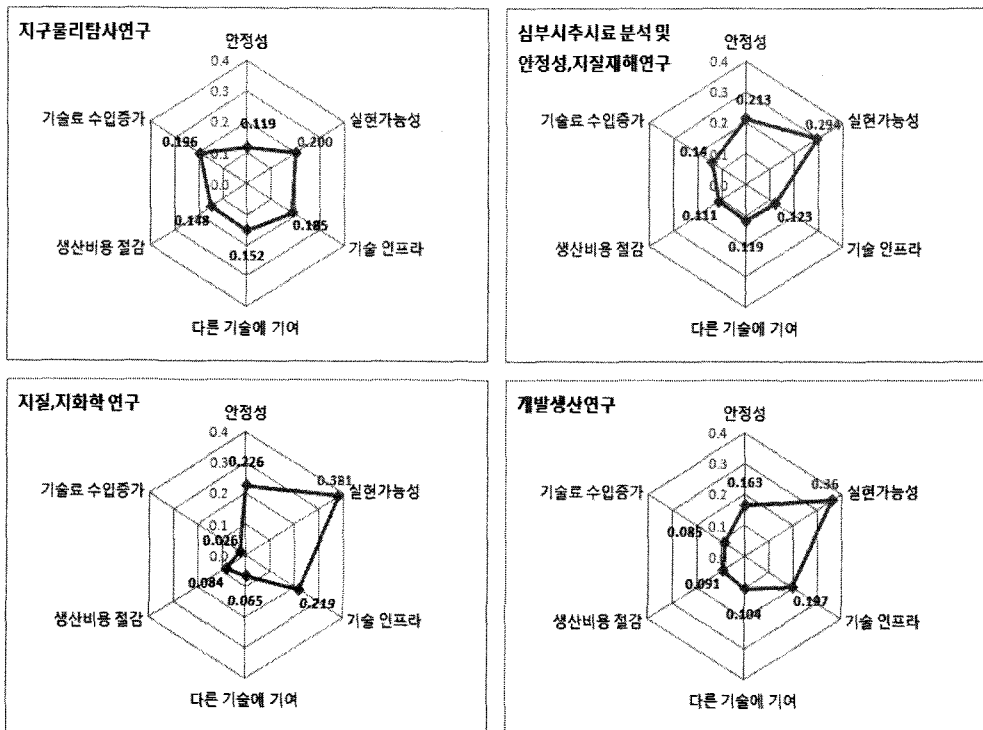
물리탐사 기술을 제외한 나머지 지질·지화학, 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해, 개발생산 세 가지 기술은 모두 ‘실현 가능성’ 가중치가 가장 크고, 그 다음으로는 ‘기술의 안정성’과 ‘기술 인프라’가 높게 평가되었다. 지질·지화학 기술과 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술은 ‘기술의 안정성’이 2위, ‘기술 인프라’가 3위로 평가되었고, 개발생산 기술의 경우에는 ‘기술 인프라’가 2위, ‘기술의 안정성’이 3위로 평가되었다. 이것은 앞의 가중치 산정에서도 설명하였듯이 개발생산이 기술의 특성 상 이용가능성에 좀 더 비중을 두기 때문이라고 생각된다. 그리고 이 세 가지 기술은 수익성이 낮게 평가되었다. 즉 ‘기술의 신뢰성’과 ‘이용가능성’이 높

게 평가된 것을 통해 가스하이드레이트 개발사업이 국가 연구개발 사업으로 사업의 수익성보다는 기술의 확보 및 가스하이드레이트 개발 자체에 목적을 두고 있다는 것을 확인할 수 있다.

그러나 물리탐사 기술의 경우 이러한 해석과 다른 결과를 보이고 있다. 물리탐사 기술에서는 물론 '실현 가능성'이 가장 높게 평가되었지만, 2위와 3위 및 최하위인 6위의 순위가 다른 세 기술들과 다른 결과를 보인다. 이 기술에서 2위는 '기술료 수입증가'이고 '생산비용 절감' 역시 높게 평가됨으로써 다른 기술에 비해 '수익성'이 중요하게 고려되고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과는 기술의 특성으로 설명할 수 있다. 지질·지화학, 안정성·지질재해, 개발생산 기술의 경우 물리탐사 기술과 비교했을 때 아직 기술이 안정적으로 확보가 되지 않고 가스하이드레이트 개발을 위한 신기술의 범주에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 기술이 얼마나 안정적이고 신뢰할 만한지, 그리고 이용 가능한지가 중요한 속성이 된다. 그러나 물리탐사 기술의 경우, 새로운 기술이라기보다는 기존에 석유나 가스 개발 사업의 기술이 많이 활용되어 비교적 현재 안정적으로 확보가 되어 있는 기술이다. 그렇기 때문에 정보를 얻거나 실제로 가스하이드레이트를 탐사하는 '실현가능성'이 가장 중요하게 평가되고 '안정성'이 가장 낮게 평가된 것이다.

물론 기술이 어느 정도 확보가 되어 있기 때문에 '실현가능성'의 가중치 값도 다른 기술에



(그림 3) 기술별 극한 가중치

비해 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다. 따라서 물리탐사 기술에서 ‘수익성’이 높게 나온 이유는 ‘수익성’을 중요하게 고려했다고 하기 보다는 전체적으로 가중치 편차가 크지 않고 또한 ‘기술의 안정성’이 낮게 평가됨으로써 상대적으로 ‘수익성’의 가중치가 높게 나왔다고 볼 수 있다.

물리탐사 기술과 다른 기술의 차이에 대한 앞의 설명은 다음의 (그림 3)에서도 확인할 수 있다. 즉, 기술적으로 어느 정도 안정적인 단계에 있는 물리탐사 기술에서는 기술향상도에 영향을 미치는 속성의 가중치가 모두 0.1~0.2의 사이에 있으며 1위와 6위의 차이도 0.1 미만으로 각 속성 별 가중치의 편차가 크지 않고 비슷한 중요도를 보이고 있다. 그러나 지질·지화학, 안정성 및 지질재해, 개발생산 기술의 경우에는 가장 높은 가중치와 가장 낮은 가중치의 차이가 약 0.2 이상으로 속성 별로 가중치의 차이가 큼을 확인할 수 있다.

앞에서 정립한 기술가치평가 모형을 바탕으로 평가대상인 기술향상도의 평가를 실시하였다 (표 7). 물리탐사와 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술에서 기술향상도가 0~100% 향상된 것으로 분석되었고, 지질·지화학과 개발생산 기술에서는 200~300%의 기술향상도가 향상된 것으로 나타났다.

〈표 7〉 기술별 기술향상도의 극한 가중치 비교

기술향상도 (%)	물리탐사	지질·지화학	심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해	개발생산
0~100	0.424	0.363	0.391	0.238
101~200	0.217	0.113	0.241	0.316
201~300	0.359	0.524	0.369	0.445

물리탐사 기술의 경우 앞의 속성 가중치에서 설명하였듯이 유사한 에너지 분야에서 어느 정도 안정적으로 확보가 되어 있는 기술이다. 따라서 가스하이드레이트 개발 사업의 초기 단계에서 기술의 수준이 높기 때문에 기술의 향상도가 낮게 평가된 것이다.

심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술은 0~100%와 201~300%의 가중치가 비슷하게 계산되었다. 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술은 요소간의 가중치 편차가 물리탐사 기술다음으로 작은 것으로 분석되었다. 심부시추시료 분석 기술 역시 다른 두 기술에 비해 석유나 가스전의 시추 기술을 바탕으로 어느 정도 확보되어 있는 분야이다. 따라서 기술 향상의 비교기준이 되는 사업 초기 기술수준이 낮지 않음을 의미한다. 따라서 기술이 0~100% 향상되었다는 대안이 가장 높게 평가된 것이고, 그것과 비슷하게 201~300% 역시 높게 평가된 것이다.

지질·지화학과 개발생산에서는 기술이 201~300% 향상된 것으로 평가되었고 2위와의 가중치 차이가 크기 때문에 가스하이드레이트 사업으로 기술이 크게 향상되었다고 할 수 있다.

결국 새로운 기술에 속하는 가스하이드레이트 개발생산 기술의 경우 기술향상도가 0%에서 300%까지 순차적으로 큰 차이를 보이며 평가되었고, 지질·지화학 기술에서는 기술향상도의 0%와 300%의 차이가 개발생산보다는 작지만 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해 기술보다는 크게 평가된 것이다.

이와 같은 기술향상도 평가 결과는 기술향상도 평가에서는 평가대상 기술의 초기 기술 수준이 중요하게 작용함을 의미한다.

V. 결 론

본 연구에서는 연구개발 사업에서 기술가치평가의 중요성 및 필요성을 인식하며, ANP 기법을 적용하여 연구개발 사업으로 추진되고 있는 가스하이드레이트 개발 사업의 기술향상도를 평가하였다. ANP를 방법론을 이용하여 기술가치평가를 실시하는 것은 평가 요인간의 상호 종속성을 고려하여 기술가치평가를 수행 할 수 있다는 큰 장점을 가진다.

ANP 기법을 적용한 가스하이드레이트 개발사업의 기술향상도 평가는 각 기술별·물리탐사, 지질·지화학, 심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해, 개발생산·로 수행되었다. 기술향상도를 평가하기 위해 기술 분야 별 전문가를 대상으로 자문 및 설문을 수행하였으며, 설문 결과를 바탕으로 속성을 도출하였다. 또한 기술향상도에 영향을 미치는 여러 속성들을 상위속성(클러스터)과 하위속성(요소)으로 구분하여 각 클러스터와 요소 간 상호 종속성 및 피드백 관계를 고려한 네트워크 구조도를 도출할 수 있었다. 네트워크 구조도에서 보여지는 상호 관계는 ANP 분석을 통해 도출된 가중치 행렬에서 확인할 수 있었으며, 상호 관계를 설명할 수 있는 가중치 행렬 결과로부터 기술향상도 평가에 ANP 기법을 적용한 당위성을 확인할 수 있었다.

기술향상도 평가의 실증분석 결과, 모든 기술에서 실현 가능성이 가장 높게 평가되었다. 이것은 가스하이드레이트 사업이 새로운 자원을 발굴하고 그것의 생산을 위한 모델 및 기술을 개발하는 사업이기 때문에 그 기술이 실제로 개발될 수 있을지 즉, 실현 가능한지의 여부가 중요할 것이라는 가정을 확인하게 해준 결과였다.

또한 속성의 극한 가중치 산정 결과 및 기술향상도 평가에서는 사업 수행 전 기술의 수준에 따라 영향을 받는 것으로 분석되었다. 즉, 기존에 석유나 가스전에서 활용되었던 기술을 바탕으로 어느 정도 안정적 기술이 확보된 물리탐사, 심부시추 시료 분석 기술의 경우 다른 기술에 비해 안정성이 상대적으로 낮게 평가되었고, 전체적으로 가중치의 편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 기술향상도 역시 현재의 높은 기술 수준을 감안하여 다른 기술에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다. 반면에 가스하이드레이트 사업을 위하여 새로 개발 중인 지질·지화학과

개발생산의 경우 기술향상도가 201~300%로 높게 평가되었고 속성의 가중치 역시 기술의 신뢰성 및 이용가능성이 중요하게 평가되었다.

본 연구는 연구개발사업의 기술가치평가에 ANP를 적용하여 ANP 기법의 연구범위를 넓히는데 기여하였다. 또한 실증분석 대상인 가스하이드레이트 연구개발사업의 기술향상도 평가 결과는 향후 가스하이드레이트 개발 기술의 내부 평가 지표 혹은 가스하이드레이트 연구개발사업의 기술 포트폴리오 구성에 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 지식경제부에서 후원하고 한국지질자원연구원에서 수행한 “가스하이드레이트 개발 추진대책 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 과학기술부 (2005), 이산화탄소 저감 및 처리기술개발 정책연구/기술개발 파급효과 분석, 서울: 과학기술부
- 김홍배, 이창우 (2009), “ANP 기법을 이용한 지역효용측정과 지역간 인구이동에 관한연구”, 『대한국토·도시계획학회지』, 44(7):61-70.
- 수자원의 지속적 확보기술개발사업단 (2006), 수자원 및 기술 가치 평가 시스템 구축, 서울: 수자원의 지속적 확보기술개발사업단.
- 안승구 (2000), 기술가치평가제도의 추진현황과 향후 발전방향. 『STEPI 과학기술정책지』, 10(1).
- 이시우 (2006), “국가 R&D 사업의 가치평가 적용사례에서 나타나는 문제점에 관한 연구”, 충남대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이영찬, 정민용 (2002), “연구개발 평가를 위한 ANP 모형”, 『한국산업경영시스템학회지』, 25(5):67-75.
- 이영한, 오영진 (2010), “네트워크 분석과정을 이용한 환경물류의 의사결정 요인에 대한 연구”, 『한국경영과학회』, 27(1):1-16.
- 지식경제부 (2010), “신·재생에너지산업 발전전략”, 보도자료(2010.10.13).
- 최승안 (2006), “수자원부문 기술연구의 가치평가”, 『수자원발언대』, 39(7):91-97.
- 한국과학기술정보연구원 (2002), 「기술가치평가 연구」, 서울: 한국과학기술정보연구원.

한국기술거래소 (2002), 「업종별 기술가치평가 기본모델 구축사업 제 2권: 기술·기업가치평가 기본모형」서울: 한국기술거래소.

Boer, F. P. (1999), *The valuation of technology: Business and financial issues in R&D*, John Wiley & Sons.

Capon, N. and Glazer, R. (1987), "Marketing and technology: A strategic consignment", *Journal of Marketing*, 51(1):1-14.

Huang, C. C, Chu, P. Y. and Chiang, Y. H. (2008), "A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection", *The International Journal of Management Science*, 36(6):1038-1052.

Shin, C. O., Yoo, S. H. and Kwak, S. J. (2007), "Applying the AHP to evaluation of the national nuclear R&D projects : The case of Korea", *Progress in Nuclear Energy*, 49(5):375-384.

Thomas L. Saaty (1996), *Decision making with dependence and feedback : The analytic network process : The organization and prioritization of complexity*, Pittsburgh, RWS Publications.

부 록

- 쌍대 비교 행렬의 일관성(CI) 지수

〈표 8〉 일관성지수(CI)-물리탐사

구 분	클러스터 → 클러스터					
	신뢰성(A-1)		이용가능성(A-2)		수익성(A-3)	
CI	0.0059		0.0705		0.0000	
구 분	요소 → 요소					
	기술의 안정성(B-1)	기술의 안정성(B-2)	기술 인프라(B-3)	다른 기술에 기여(B-4)	생산비용 절감(B-5)	
CI	0.1273	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
구 분	요소 → 대안					
	기술의 안정성(C-1)	기술 인프라(C-2)	다른기술에 기여(C-3)	실현 가능성(C-4)	기술료 수입증가(C-5)	생산비용 절감(C-6)
CI	0.0081	0.1097	0.0002	0.0905	0.0036	0.1036

〈표 9〉 일관성지수(CI)-지질·지화학

구 분	클러스터 → 클러스터					
	신뢰성(A-1)		이용가능성(A-2)		수익성(A-3)	
CI	0.2178		0.1133		0.0000	
구 분	요소 → 요소					
	기술의 안정성 (B-1)	기술의 안정성 (B-2)	기술 인프라 (B-3)	다른 기술에 기여 (B-4)	생산비용 절감 (B-5)	
CI	0.0678	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
구 분	요소 → 대안					
	기술의 안정성 (C-1)	기술 인프라 (C-2)	다른기술에 기여 (C-3)	실현 가능성 (C-4)	기술료 수입증가 (C-5)	생산비용 절감 (C-6)
CI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 10〉 일관성지수(CI)-심부시추시료 분석 및 안정성·지질재해

구 분	클러스터 → 클러스터					
	신뢰성(A-1)		이용가능성(A-2)		수익성(A-3)	
CI	0.0545		0.0514		0.0000	
구 분	요소 → 요소					
	기술의 안정성 (B-1)	기술의 안정성 (B-2)	기술 인프라 (B-3)	다른 기술에 기여 (B-4)	생산비용 절감 (B-5)	
CI	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
구 분	요소 → 대안					
	기술의 안정성 (C-1)	기술 인프라 (C-2)	다른기술에 기여 (C-3)	실현 가능성 (C-4)	기술료 수입증가 (C-5)	생산비용 절감 (C-6)
CI	0.0066	0.0017	0.0119	0.0000	0.0059	0.0268

〈표 11〉 일관성지수(CI)-개발생산

구 분	클러스터 → 클러스터					
	신뢰성(A-1)		이용가능성(A-2)		수익성(A-3)	
CI	0.0806		0.1719		0.0000	
구 분	요소 → 요소					
	기술의 안정성 (B-1)	기술의 안정성 (B-2)	기술 인프라 (B-3)	다른 기술에 기여 (B-4)	생산비용 절감 (B-5)	
CI	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
구 분	요소 → 대안					
	기술의 안정성 (C-1)	기술 인프라 (C-2)	다른기술에 기여 (C-3)	실현 가능성 (C-4)	기술료 수입증가 (C-5)	생산비용 절감 (C-6)
CI	0.0000	0.0661	0.0009	0.0421	0.0633	0.0038

송승국

서울대학에서 에너지시스템공학부에서 지구환경경제학으로 공학석사 학위를 취득하고 현재 (주)효성에서 재직 중이다. 관심분야는 네트워크 기술혁신, 기술가치평가 등이다.

허은영

미국 펜실베니아주립대학교에서 자원경제학으로 박사학위를 취득하고 현재 서울대학교 공과대학 부교수로 근무 중이다. 주요 연구분야는 에너지경제학, 기술경제학 등이다.

이유아

서울대학교에서 에너지시스템공학부에서 지구환경경제학으로 공학석사 학위를 취득하고 동 대학원에서 박사학위 재학 중이다. 주요 연구분야는 에너지경제학, 기술가치평가 등이다.