



## LNG 플랜트 프로젝트의 기본설계 평가방법에 관한 연구

박종화 · †조대명\*

한양대학교 기술경영전문대학원 박사과정, \*한양대학교 기술경영전문대학원 교수  
(2016년 3월 9일 접수, 2016년 4월 18일 수정, 2016년 6월 21일 채택)

### Decision Methodology for LNG Plant FEED Evaluation using Analytic Hierarchy Process

Jong-Hwa Park · †Dae-Myeong Cho\*

Graduate School of Technology and Innovation Management,

\*Hanyang University 222, Wangshimni-ro Seongdong-gu, Seoul 133791, Korea

(Received March 9, 2016; Revised April 18, 2016; Accepted June 21, 2016)

#### 요약

그린 청정에너지인 LNG는 1969년 상업 생산을 시작한 이래로, 지속적인 수요증가로 LNG 플랜트 산업은 성장 일로에 있으며, 많은 투자가 이루어지고 있다. LNG 플랜트 프로젝트의 진행단계는 타당성 검토 및 개념설계 단계, 기본설계 단계 (FEED, Front End Engineering Design), 그리고 플랜트 건설이 포함되는 상세설계 단계로 나누어진다. 사업투자의 사결정은 기본설계 완료시점과 상세설계의 시작 전에 이루어지는 것이 일반적이다. LNG 플랜트 프로젝트 추진 시, 경제성, 안정성, 생산성, 환경영향, 기술과급효과, 운전 및 정비 등 고려하여야 할 요인이 매우 다양하다. 아직까지 국내에서는 LNG 플랜트의 각 설계단계에 대한 효과적인 평가방법이 개발되어 있지 못하며, 다만 소수 경험자의 의견중시, 일부 기술 항목 비교 등 일부 요인에 대하여만 가중치를 부여하는 방법이 이용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 LNG 플랜트 기본설계에 대한 평가를 통하여 상세설계단계로의 원활한 사업이행을 위한 평가방법론을 제안 및 분석하고자 하였다. 본 연구에서 제안하는, 기본설계 평가를 위한 영향변수인, 평가요소 및 세부요소 항목들에 대한 가중치 값의 설정 및 가중치 값들의 일관성 검증과정, 등급 배수 방법의 추가 적용하는 평가 방법론은, 다양한 산업분야에 실용적인 가이드라인이 될 것이다.

**Abstract** - In this study, evaluation method for LNG plant FEED is suggested and its validity is confirmed using a well-known decision making technique of Analytic Hierarchy Process (AHP). It is a pairwise comparison technique which can be used when multiple options must be considered for a single decision making problem. In order to develop an objective decision methodology, various decision parameters, sub-parameters as well as the concept of scale of assessment were introduced, and its consistency among these parameters was also checked by calculating the consistency index (C.I.). The methodology suggested in this article will contribute in evaluation of LNG plant FEED with less bias and subjectivity associated with the decision making procedure.

**Key words** : LNG, Energy, Plant Engineering, FEED, AHP

†Corresponding author: dmjo@hanyang.ac.kr

Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

LNG 플랜트 프로젝트의 진행단계는 타당성 검토 및 개념 설계단계 (Conceptual / Feasibility Study), 기본설계 단계 (FEED, Front End Engineering Design), 마지막으로 플랜트 건설이 포함되는 상세 설계단계 (EPC, Engineering, Procurement and Construction)로 나누어진다. 최종투자 의사결정 (FID, Final Investment Decision)은 기본설계 완료시점과 상세설계의 시작 전에 이루어지는 것이 일반적이다.

LNG 플랜트 프로젝트의 설계과정에서는, 경제성, 안정성, 생산성, 환경영향, 기술과급효과, 운전 및 정비 등 고려하여야 할 요인이 매우 다양하여, 의사결정 후 사업을 추진하는 기업 경영에 막대한 영향을 미치게 된다. 즉, LNG 플랜트 사업 추진 시 투자 목적을 위한 전반적인 요인을 고려하지 않고 특정 요인의 중요성만을 강조하여 의사결정을 하는 경우, 막대한 자금이 투입되는 LNG 플랜트의 사업 추진 목적을 달성할 수 없게 되며 궁극적으로 막대한 경제적 손실을 초래하게 된다.

아직까지 국내에서는 LNG 플랜트의 사업추진을 위한 효과적인 의사결정기법이 개발되어 있지 못하며, 다만 소수 경험자의 의견중시, 일부 기술 항목 비교 등 일부 요인에 대하여만 가중치를 부여하는 방법이 이용되고 있는 실정이다. 합리적인 LNG 플랜트의 평가를 위해서는 전체적인 평가요인에 대한 종합적인 분석방법을 통한 통합된 의사결정기법이 필요하다.

LNG의 주요 수입국중의 하나인 우리나라는 천연가스 액화 플랜트 산업에 대한 기술 경쟁력이 약한 실정으로, 조속히 LNG 플랜트 산업분야의 기술 경쟁력을 확보하는 것이 급선무라고 할 수 있다. 또한, LNG 자원 개발 사업을 포함한 LNG플랜트 산업에 대한 합리적인 평가방법을 연구하여, 자원투자 및 기술경쟁력을 강화하여 해외 자원의 지속적인 확보를 통한 안정적인 청정 에너지원의 확보가 절실한 실정이다[1].

본 연구에서는, 다음과 같이 계층구조 의사결정 방법인 AHP (Analytic Hierarchy Process)를 활용하여 LNG플랜트 설계단계 중에서 기본설계에 대한 평가방법을 도출하고 분석 연구하였다. 먼저, LNG 플랜트 건설이 완료되어 상업 생산중인 LNG 플랜트의 투자비 동향 분석 검토를 통하여, 프로젝트 당 투자비 및 LNG생산 당 투자비를 살펴보았다. [2] LNG 플랜트의 특성과 주요 구성 설비 및 장치들의 설계 기술항목에 대한 기술체계를 도출하고, 계층 구조 의사결정 방법인 AHP를 활용하여 LNG 플랜트를 구성하는 구성요소들에 대한 기술 평가 항목들의 가중치 설정 및 일관성 확인과정을 하였을 뿐만 아니라, 등급배수 값의

적용이라는 LNG 프로젝트 기본설계에 대한 종합적인 평가기준 모델을 제안 하였다.

해외 LNG 플랜트 사업에 투자 및 프로젝트를 추진하는 경우에, 복수의 프로젝트 안건을 비교하여 최우선 순위를 결정하는 의사결정 과정은 프로젝트를 추진하는 사업주만이 아니라, 프로젝트의 설계를 담당하는 회사에 있어서도 반드시 필요한 과정이다. 단일 프로젝트 안건이라도, 복수의 프로젝트 안건과 같이, LNG 플랜트 구성 내용에 따른 상세 항목들의 비교평가를 통한 합리적인 의사결정이 필요한데, 본 논문이 제안하는 평가항목들과 의사결정방법론을 활용하면 실용적인 가이드라인이 될 것이다.

## II. LNG 플랜트 특성

### 2.1. LNG 플랜트의 투자비 동향

가스의 탐사, 채굴, 수송, 액화설비 등의 기술 발달로 LNG의 생산은 LNG 플랜트의 규모 확대에 의한 규모 경제의 실현이 지속되고 있는 추세이기는 하나, 투자 설비들의 가격상승 또한 동시 진행되고 있는 상황이다.[2]

Fig.1에 나타난 것과 같이, LNG 플랜트의 장치구성의 복잡한 변화 및 건설되는 국가의 지리적인 상황 변화에 의한 건설기간 및 운전비용의 차이로 인하여, 일

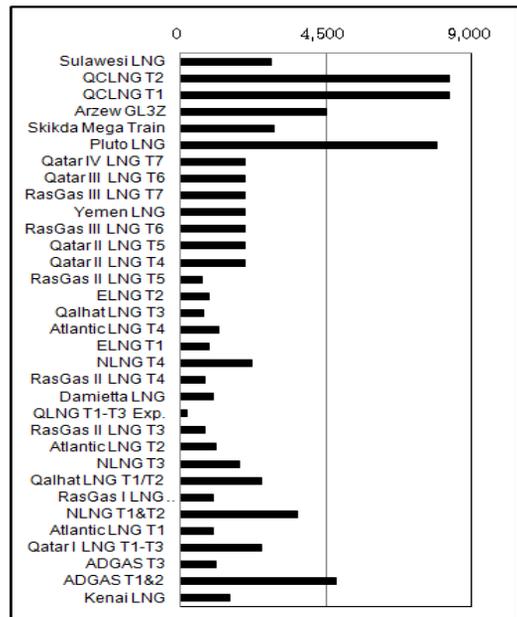


Fig. 1. CAPEX for Major LNG Plants (US Mil\$.) [2]

률적인 투자비의 산출 평가가 어렵다. LNG 플랜트의 투자비에 차이가 생기는 것은, 원료인 천연가스의 성분이 지역적 특성에 따라 다르게 되는데, 이러한 성분 차이로 인하여 LNG 플랜트의 필요 구성 장치가 달라지는 점과, LNG 플랜트의 건설 지역에 따른 국가별 건설비 및 운송비용 등, 환경차이에 따른 가격변동이 차이가 있기 때문이며, 이러한 복합적 요인들이 LNG 플랜트의 객관적인 평가를 어렵게 하고 있다.

**2.2. LNG 플랜트 프로젝트의 진행과정**

LNG 플랜트 프로젝트의 진행단계는, 사업추진의 타당성을 검토하는 타당성 검토 및 개념설계 단계 (Conceptual / Feasibility Study), LNG플랜트를 구성하는 주요 구성설비의 기본설계와 건설비 산출을 목적으로 하는 기본설계 단계 (FEED, Front End Engineering Design), 그리고 사업비 확정과 플랜트 건설이 포함되는 상세설계 단계 (EPC, Engineering, Procurement and Construction)로 나누어 진다. LNG 플랜트 건설을 위한 상세설계 단계로 진입을 위한 최종투자 의사결정 (FID, Final Investment Decision)은 기본설계 완료시점과 상세설계의 시작 전에 이루어지는 것이 일반적이다.

개념설계단계에서는 플랜트 규모결정을 통한 사업의 타당성에 중점을 두고, 기본설계단계에서는 LNG 플랜트의 주요 구성설비의 결정과 구성설비들의 Licensor의 확정을 위한 검토 작업을 실시하며, 약 10~15%정도의 오차범위로 사업비를 추산하여, 사업주가 상세설계단계의 진행을 위한 최종의사결정을 위한 기초자료로 활용된다. 건설을 포함하는 상세설계 단계에서는 기본설계 단계에서 확정된 주요 구성설비의 발주 및 공사를 통한 플랜트의 완공에 주안점을 두게 된다. 사업투자자의 최종 투자 의사결정 (FID, Final Investment Decision)은 상세설계를 실행하기 전에 실시되는데, 기본설계 성과물인 주요 구성설비에 대한 기술적 사항, 예상 사업 투자비, 건설공사 및 장래의 플랜트 확장 계획 등은, 상세설계 단계로 진입하게 되면, 건설공사가 진행되기 때문에, 변경사항이 발생할 시 사업비의 변동 및 LNG생산 일정 등에 막대한 영향을 주기 때문에 기본설계 과정에 대한 평가는 상당히 중요한 과정이 된다.

**2.3. LNG 플랜트의 주요 구성 공정 및 설비**

가스전에서 채굴된 천연가스는 메탄가스를 주성분으로 하는 다양한 성분들의 혼합가스로 이루어져 있다. LNG 플랜트는 이러한 혼합가스인 천연가스로부터 주성분인 메탄 이외의 불필요한 성분들을 순차적으로 분리하는 설비들을 설치하여, 최종적으로 LNG

**Table 1.** Main attached equipments for LNG plant

| Equipment          | Components separated/eliminated                             | Process dependent effect                   |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Preprocessing      | Heavy material                                              | Improving overall plant running efficiency |
| Acid gas treatment | CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S, H <sub>2</sub> O, Hg | Liquefaction process stabilization         |
| Liquefaction       | N <sub>2</sub>                                              | Natural gas phase change to liquid state   |
| LNG Storage        | -                                                           | Keeping produced LNG on preservation       |
| others             | -                                                           | LNG shipment, Utility supply               |

의 주성분인 메탄가스의 함유량은 90% 이상이며, 액체상태의 온도가 -162 도인 LNG를 생산하는 화공 플랜트 이다. LNG플랜트를 구성하는 주요 공정설비는 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.[7-9]

LNG 플랜트에서, LNG의 생산을 방해하는 가스 성분으로는, 이산화탄소, 황화수소, 수은, 질소, 중질분, 수분 등을 들 수 있는데, 이와 같은 성분들은 LNG의 생산에 치명적인 방해가 되므로, 다양한 설비들을 추가 설치하여 분리 제거하여야 하는데, 불필요 성분들의 제거설비만이 아니라, 천연가스를 LNG상태의 액체로 변화시키기 위한 각종 설비들이 필요하게 되며, 액화된 LNG를 저장하는 저장설비 및 LNG를 출하하기 위한 선박 접안시설의 토목설비도 필요하게 된다.

**III. 선행연구**

국내 플랜트 산업은 상세설계 단계인 EPC (Engineering, Procurement and Construction)를 주 영역으로 하여 사업 확장을 하여 왔는데, 이는 상세설계의 수주 금액이 다른 설계 단계에 비하여 크기 때문이었다. 현재는 국제적으로 유가의 변동성이 커짐에 따라, 사업주가 신규 플랜트 발주를 신중하게 진행하게 되면서, 종합 EPC 건설사간의 수주 경쟁이 치열해지고 있는 상태이다. 이에 상세설계 단계인 EPC 산업만으로는 사업 확장이 어려워지면서 기본설계 영역으로의 신규 진출을 확대하고 있는 실정이다. 2.2.의 LNG 플랜트 프로젝트의 각 설계단계 마다, 사업주는 후속 단계 진행을 결정하기 위한 의사결정이 필요하게 되는데, 의사결정의 중요자료는 각 설계 단계의 결과를 바탕으로 평가 업무를 진행하게 된다. LNG 플랜트 산업

은 기본설계 업무를 2개 이상의 회사가 동시 진행하는 경우가 많아, 기본설계의 평가는 보다 중요해진다. 지금까지는 LNG 플랜트 기본설계를 평가 하고자 하는 경우, 사업주 담당자와 기본설계 담당자간의 협의 과정을 거치지만, 담당자의 성향에 따른 임의적인 비교 평가 항목 설정을 통한 평가를 진행하면서, 의견분쟁 발생 시는 사업주와 의견교환을 통한 문제 해결방식이 의사결정 방법의 주류를 이루었다. 그러나, 상기 언급한 의사결정 방법들은, 소수의 담당자에 의한 LNG 플랜트의 편협적인 정보 수집 결과를 바탕으로 한 의사결정이 되기 쉽고, 다수의 종합적인 의견보다는 소수의 경험자의 의견을 중시하게 되어 비합리적인 의사결정이 이루어지게 되는 단점이 있다. 기본설계분야에 대한 선행연구는 요소 기술에 대한 연구가 주류를 이루었고, 평가 방법론에 대한 연구는 미비한 실정이었다.

본 연구에서 제안하고자 하는 기본설계 평가 모델의 계층구조 및 가중치와 등급 배수를 이용한 방법론은 다 기준 의사결정기법을 근간으로 하고 있다. T.L. Satty에 의하여 개발된 계층 구조를 활용한다 기준의 사결정 방법론인 AHP (Analytic Hierarchy Process)는 대안 간의 선택의 상황에서 그 선호 정도를 계량적으로 나타내는 동시에, 해당 의사결정 체계의 일관성 정도를 계량적으로 파악 가능한 방법론이기 때문에 여러 분야에 유용하게 적용되고 있다.[11] 초기의 AHP는 각 평가기준의 대제 안 간의 평가를 쌍대비교에 의하여 시행하는 상대 평가법 (Relative Measurement)이 주류를 이루었는데, 이 방법은 대제 안이 추가되었을 때, 다시 한 번 쌍대비교를 해야만 한다는 것과 대체안의 순위가 역전되는 경우가 발생한다는 점, 그리고 대체안의 수가 많아질수록 쌍대비교의 수가 늘어남에 따라 막대한 시간이 소요되고, 정합성 (C.I)이 나빠진다는 단점이 있다. 이러한 불합리성을 해소하기 위하여, T.L. Satty는 절대 평가법 (Absolute Measurement)을 제창하게 되었다. [12, 13]

이 절대 평가법은 평가기준에 대한 각 대체안의 평가를 쌍대비교 (Relative Measurement)가 아닌 절대평가 (Absolute Measurement)를 실시한다는 것이 장점이다. 즉, 각 평가기준에 관해서 각 대체안의 쌍대비교를 실시하는 것이 아니라, 각 평가기준에 관해서 절대평가수준을 설정하며, 개개의 평가기준에 따라서 평가수준이 달라도 좋다는 것이다 [5, 6]. 본 논문에서 이용된 AHP방법론은 절대비교법을 활용하였으며, 각 평가 기준 사이의 가중치는 설계 및 사업비 추산이라는 업무 성격을 고려하여 가중치 수치 설정을 하였다.

IV. 기본설계 평가 모델 및 검증

LNG플랜트 기본설계에 대한 객관적인 평가를 위해서는, 직접적인 건설 투자비뿐만이 아니라, 운전 경비, LNG 생산량 및 LNG 플랜트 건설에 필요한 부지면적 등, 다양한 평가 요소들을 평가항목으로 선정하여야 한다. 또한, 선정된 평가 요소 항목들은 상세한 세부요소 별로 분류하는 과정을 통하여, 평가 요소 및 세부요소 간의 계층 분류 체계를 결정하는 과정이 필요하게 된다. 이는 계층 구조 다 기준 의사결정 방법인 AHP를 활용하기 위하여 반드시 필요한 과정이다.[3]

본 연구의 평가 모델은, 평가항목 분류를 상위계층의 8종류 평가요소와 각 평가요소의 하위 계층구조가 되는 39가지의 세부요소의 구성되는 2층 구조로 이루어져 있는데, Fig.2에 계층구조를 나타내었다. 이러한 2층 구조로 된 8종류의 평가요소와 39종류의 세부요소 및 각 세부요소 별 등급배수 등을 고려하면 114 종류의 평가 항목의 설정과 같은 의미를 가진다. 이와 같은 평가 모델을 활용하여 단일 또는 복수 기본설계의 LNG 플랜트 기본설계의 평가가 가능하도록 하였다.

기본설계 평가 항목은 사업비가 되는 경제적인 측면, LNG 플랜트의 소요부지와 운송 등을 고려한 건설의 측면, LNG 플랜트의 수명 및 플랜트 소요부지 등의 확장성의 측면과 LNG 플랜트의 구성 장치들의 조합과 관련된 기술적인 측면의 4 가지 평가요소를 감안하여, 경제, 건설, 확장 및 기술을 4가지의 큰 축으로 하였다. 단, 기술적인 측면의 평가 요소에 있어서는, LNG 플랜트의 건설비에 영향을 미치는 주요 항목이고, 그 내부 구성이 복잡하고, 기술 조합의 변화가 심하다는 점들을 고려하여야 한다. LNG플랜트를 구성하는 주

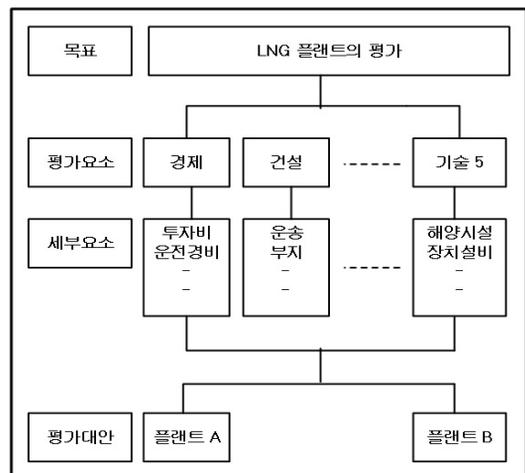


Fig. 2. Hierarchy diagram for LNG Plant FEED

**Table 2.** Decision parameters used in this study

| Item | Parameters                               | weights |
|------|------------------------------------------|---------|
| A    | Economics                                | 0.25    |
| B    | Constructability                         | 0.25    |
| C    | Expansion                                | 0.10    |
| D    | Technical 1<br>(Pre-treatment System)    | 0.05    |
| E    | Technical 2<br>(Acid Gas Removal System) | 0.05    |
| F    | Technical 3<br>(LNG Liquefaction)        | 0.15    |
| G    | Technical 4 (LNG Storage)                | 0.05    |
| H    | Technical 5<br>(Offsite & Utilities)     | 0.10    |

요 구성 공정기술을, 전처리 공정 기술, 산성가스 분리 공정 기술, LNG액화공정 기술, LNG저장설비 기술, 유틸리티 및 LNG운반서 접안설비 기술 등으로 상세하게 구분하여, 최종적으로는 총 8 종류 평가요소를 기준으로 하였다.

평가모델의 상위 계층이 되는 평가요소 8 종류의 각각의 가중치는 Table 2에 나타내었다. 가중치는 수치를 설정한 후에, 각 가중치의 일관성 지수인 C.I. (Consistency Index)의 결과 값을 바탕으로 하여 가중치 간의 일관성 검증을 하였다.

평가모델의 하위계층이 되는 39종류의 세부요소는 각각의 평가요소 별로, 4에서 6 종류의 항목으로 세분화하여, 평가요소와 동일한 방법으로, 가중치는 수치를 설정한 후에, 각 가중치의 일관성 지수인 CI (Consistency Index)의 결과 값을 바탕으로 하여 가중치 간의 일관성 검증을 한 것이 Table 3에 나타낸 세부요소의 분류체계표이다.

각 평가요소 및 세부요소의 가중치 설정만으로는 객관적인 평가대안을 결정하는 것이 어려운데, 이는 평가요소와 세부요소만으로 평가 대안을 결정지을 경우, 평가대안들 간의 변별력이 낮아지기 때문이다.

본 연구에서는 변별력을 높이기 위하여 각 평가항목들의 세부요소에 추가적으로 3 종류의 등급 구분을 설정하였다, 등급구분에는 1 배수, 2 배수, 3 배수 값을 적용하였다. 예를 들면, 초기 투자비의 경우, 3가지의 평가 대안 중에 가장 높은 투자비를 필요로 하는 평가 대안의 경우에는 100%로 기준을 삼아 1 배수를 하고, 90% ~ 100%인 경우에는 2 배수, 90% 이하인 경우에는 3 배수로 하여, 같은 평가요소 및 세부요소에 대한 변별력을 높이도록 하였다.

1, 2, 3배수의 차이가 적용되는 등급배수 분류는 경

**Table 3.** Decision sub-parameters used in this study

| Item | Sub-parameters | weights                          |      |
|------|----------------|----------------------------------|------|
| A    | A1             | CAPEX                            | 0.30 |
|      | A2             | OPEX                             | 0.20 |
|      | A3             | LNG Quality                      | 0.10 |
|      | A4             | Feed Gas Composition             | 0.10 |
|      | A5             | Operability/<br>Maintainability  | 0.20 |
|      | A6             | LNG Production Rate              | 0.10 |
| B    | B1             | Logistics                        | 0.30 |
|      | B2             | Area Required                    | 0.10 |
|      | B3             | Safety                           | 0.40 |
|      | B4             | Environmental Condition          | 0.20 |
| C    | C1             | Plant Life Cycle                 | 0.30 |
|      | C2             | Feed Gas maximized               | 0.20 |
|      | C3             | LNG production maximized         | 0.20 |
|      | C4             | Expandability                    | 0.30 |
| D    | D1             | Type of Slug-catcher             | 0.20 |
|      | D2             | Hydrocarbon Condensate Treatment | 0.20 |
|      | D3             | Number of Compressor             | 0.30 |
|      | D4             | Number of Equipments             | 0.20 |
|      | D5             | Type of Utilities                | 0.10 |
| E    | E1             | Number of Column                 | 0.30 |
|      | E2             | Loss of Solution                 | 0.15 |
|      | E3             | Life cycle of Catalyst           | 0.15 |
|      | E4             | Number of Equipments             | 0.20 |
|      | E5             | Type of Utilities                | 0.20 |
| F    | F1             | Type of Main Heat Exchanger      | 0.10 |
|      | F2             | Number of Compressor             | 0.20 |
|      | F3             | Type of Refrigerant              | 0.30 |
|      | F4             | Number of Refrigerant Cycle      | 0.30 |
|      | F5             | Refrigerant procurement          | 0.10 |
| G    | G1             | Type of LNG Tank                 | 0.20 |
|      | G2             | Number of LNG Tank               | 0.20 |
|      | G3             | Utility Storage Tank             | 0.30 |
|      | G4             | Number of Equipments             | 0.20 |
|      | G5             | Type of Utilities                | 0.10 |
| H    | H1             | Utility procurement              | 0.15 |
|      | H2             | Flare Stack                      | 0.15 |
|      | H3             | Marine Facility                  | 0.30 |
|      | H4             | Number of Equipments             | 0.20 |
|      | H5             | Type of Utilities                | 0.10 |

**Table 4.** Scale of assessment values

| Item | Scale of assessment |                         |              |
|------|---------------------|-------------------------|--------------|
|      | 1                   | 2                       | 3            |
| A1   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| A2   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| A3   | < 90 %              | 100 ~ 90 %              | 100%         |
| A4   | Methane <90%        | 90<, <95%               | Methane >95% |
| A5   | Complex             | Medium                  | Simple       |
| A6   | Small               | Medium                  | Large        |
| B1   | Bad                 | Medium                  | Good         |
| B2   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| B3   | Low                 | Medium                  | High         |
| B4   | Not considered      | Medium                  | Considered   |
| C1   | < 90 %              | 100 ~ 90 %              | 100%         |
| C2   | < 90 %              | 100 ~ 90 %              | 100%         |
| C3   | < 90 %              | 100 ~ 90 %              | 100%         |
| C4   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| D1   | Finger type         | Vessel Type             | Unnecessary  |
| D2   | Complexity          | Simple                  | Unnecessary  |
| D3   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| D4   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| D5   | Heating & Cooling   | Heating/Cooling         | Unnecessary  |
| E1   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| E2   | Small               | Medium                  | Large        |
| E3   | < 3years            | 3 ~ 5years              | > 5 years    |
| E4   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| E5   | Heating & Cooling   | Heating/Cooling         | Unnecessary  |
| F1   | Rounded             | Combination             | PFHE         |
| F2   | Compression         | Compression + Expansion | Unnecessary  |
| F3   | Pure                | Pure+Mixed              | Mixed        |
| F4   | 3                   | 2                       | 1            |
| F5   | Imported            | Combination             | Domestically |
| G1   | Single Type         | Double Type             | Full Type    |
| G2   | > 2                 | 2                       | 1            |
| G3   | Necessity           | small portion           | Unnecessary  |
| G4   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| G5   | Heating & Cooling   | Heating/Cooling         | Unnecessary  |
| H1   | Impossible          | Combination             | Possible     |
| H2   | Necessity           | small portion           | Unnecessary  |
| H3   | Necessity           | small portion           | Unnecessary  |
| H4   | 100%                | 100 ~ 90 %              | < 90 %       |
| H5   | Heating & Cooling   | Heating/Cooling         | Unnecessary  |

**Table 5.** Consistency index calculation results

| Item  | N | $\lambda_{max}$ | R.I  | C.R   | C.I check |            |
|-------|---|-----------------|------|-------|-----------|------------|
| A-H   | 8 | 8.05            | 1.41 | 0.005 | 0.007     | Consistent |
| A1-A6 | 6 | 6.02            | 1.24 | 0.003 | 0.004     | Consistent |
| B1-B4 | 4 | 4.02            | 0.90 | 0.009 | 0.008     | Consistent |
| C1-C4 | 4 | 4.07            | 0.90 | 0.024 | 0.022     | Consistent |
| D1-D5 | 5 | 5.06            | 1.12 | 0.012 | 0.014     | Consistent |
| E1-E5 | 5 | 5.08            | 1.12 | 0.018 | 0.020     | Consistent |
| F1-F5 | 5 | 5.02            | 1.19 | 0.004 | 0.004     | Consistent |
| G1-G5 | 5 | 5.06            | 1.12 | 0.012 | 0.014     | Consistent |
| H1-H5 | 5 | 5.10            | 1.12 | 0.023 | 0.026     | Consistent |

제와 건설관련 비율지수 및 기술관련 주요 설비의 종류 및 성능지수로 117종류로 세분화하는 효과가 있다. 이들 등급배수 항목들은 주관적 개입이 어려운 기술적 요소 계산 결과물들로 상위의 평가요소 및 하위 세부요소 그룹의 객관성 유지의 근거 자료가 된다.

본 연구에서 설정된 평가요소 및 세부요소에 대한 검증은 가중치 설정 값에 대한 일관성 지수의 계산을 통하여 확정하였다.

AHP 행렬로 고유치를 계산하면, 최대 고유치를 얻을 수 있으며, 일관성 지수인 C.I. (Consistency Index)의 계산 결과 값이 0.1 이하이면 일관성을 가지고 있다는 의미가 된다.[5-6]

8종류 평가요소 및 39종류 세부요소에 대한, 일관성 비율(C.I.)은 결과는 0.1 이하의 값이 나와, 평가요소 및 세부요소의 가중치 설정 값에 대한 일관성이 검증되었다.

본 연구에서 제안하는, LNG 플랜트의 기본설계 평가 모델은 2층의 구조를 가지는 8종류의 평가요소와 39종류의 세부요소, 이에 더하여 각 세부요소 별로 3종류의 등급을 가지게 되는 117가지의 분류 등급 항목을 이용한 평가방법론으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{평가결과} = \sum [\text{평가 및 세부요소 가중치} \times \text{등급배수값}]$$

## V. 결론

본 연구에서는 LNG 플랜트 기본설계 평가 방법의 제안이라는 주제에 한정하여, LNG 플랜트 기본설계에서 상세설계 단계로 진행하기 위한 평가모델과 관련된 평가 방법론의 적용에 평가요소 및 세부요소 항목들을 설정하고 가중치를 설정한 후, 평가항목 상호간의 일관성을 검증하는 방식을 택하였고, 평가 요소간의 변별력을 높이기 위하여, 추가로 등급별 배수 값

을 적용하는 방식을 더하여, 객관성을 유지하고자 하였다.

본 연구에서는 LNG 플랜트 기본설계 평가 방법의 제안이라는 주제에 한정하였으나, 이 연구에서 제안한 평가 방법론을 활용하면, 세부 기술 요소 항목의 추가 등의 변화에 따른 응용이 가능하다.

한계점 및 향후 연구방향으로는, 다른 플랜트 산업 분야 등에도 추가적인 평가요소, 세부요소 및 등급배수 내용들의 항목조정 및 각 요소간의 가중치 및 등급배수 값의 설정 등의 프로젝트 실적을 기반으로 하여 경험적 기준 정립이 이루어진다면, 다양한 산업 분야에서 유용한 실증적인 가이드라인이 될 것이다.

### 사용기호

- AHP : Analytic Hierarchy Process
- C.I. : Consistency Index
- C.R. : Consistency Rate
- EPC : Engineering, Procurement and Construction
- FEED: Front End Engineering Design
- FID : Final Investment Decision
- LNG : Liquefied Natural Gas
- n : Number of elements/parameters
- R.I. : Random Index (C.I. / C.R.)
- $\lambda_{max}$  : Maximum eigenvalue

### REFERENCES

[1] YG Lee, "Implication of World LNG Markets", Energy economic Institute vol.3 No. 2, pp.167-191. (2004)

[2] International Gas Union (2015), World LNG Report-2015 Edition

[3] Saaty, T. L., "A Scaling Method of Priorities in Hierarchical Structures", Journal of Mathematical Psychology, vol.15, No.3 1997, pp.234- 281

[4] Saaty, T. L., "Modeling Unstructured Decision Problems - The Theory of Analytical Hierarchies", Mathematic and Computers in Simulation, vol.20, No.3, 1978, pp.147~158

[5] Saaty, T.L., International journal of services sciences, 1(1): pp. 83-98. (2008)

[6] Saaty, T. L., "How to make a Decision : The Analytic Hierarchy Process", Interfaces, vol.24, No.6, NOV.-Dec. 1994, pp.19~43

[7] Castillo, L., et al. The XIX international gas con-

vention, Venezuela. (2010)

[8] Bashiri, A. and L. Fatehnejad, International Gas Union. (2006)

[9] Ott, C.M.R., M. J.; Trautmann, S. R.; Krishnamurthy, G., Gastech 2014. (2014)

[10] Jensen, R. E., " An Alternative Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure", Journal of Mathematical Psychology, vol.28, No.3, 1984, pp.317~332

[11] Vargas, L. G., (1990), "An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications", European Journal of Operational Research, vol.48

[12] YS Park, "Decision methodology by using AHP", Kyowoo (2012)

[13] K.E, O.T, "Strategic decision making by AHP", Chungnam (2012)