

A Study on Criteria of Selecting Heavy Lifting Service Provider Using QFD/AHP

Se-Jung Park* · Seung-Hee Kim* · Woo-Je Kim**†

*Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science and Technology,
**Department of Industrial and Information System Engineering, Seoul National University of Science and Technology

QFD/AHP를 이용한 Heavy Lifting 서비스 업체 선정에 위한 평가지표 개발에 대한 연구

박세정* · 김승희* · 김우제**†

*서울과학기술대학교 IT정책전문대학원

**서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

We propose a method using QFD for design the hierarchical structure of AHP. This method provides definition for each area of House of Quality and design the hierarchical structure of the bottom-up QFD/AHP in which the upper hierarchy is designed through the classification of common characteristics with a focus on the lower hierarchy. Finally, we apply it to the development of an evaluation index for selecting heavy lifting service providers. This study has significance as the first instance of designing the archical structure of AHP after objectively verifying whether MECE condition, the basic requirement for AHP design, is satisfied.

Keywords : QFD, AHP, Heavy Lifting, EPC, MECE

1. 서 론

대형 발전소나 풍력단지, Refinery나 Petrochemical 공사를 중심으로 하는 수많은 대형규모 공사가 수조 원을 넘을 정도로 거대해짐에 따라 공사에 필요한 무거운 자재 수요는 증가하고 더 무겁고 더 큰 자재들이 속속 등장하고 있다.

EPC(Engineering, Procurement, and Construction. 이하 EPC) 업체라 불리는 대형 건설업체들은 단순히 장비를 대여하여 쓰는 것이 아닌 세부적인 엔지니어링을 장비 업체에게 요구하게 되었고 장비 업체들은 무거운 자재를 들어 올려 이동 할 수 있는 엔지니어링 기술을 가지는 것이 필수

요소가 되면서 Heavy Lifting은 전문 인력들만 다룰 수 있는 고도의 전문 분야가 되었다.

그러나 국내 EPC 건설업체들은 중장비 선정 시 기술력과 공사능력을 고려하지 않고 주로 낮은 가격과 경험이나 실적에 시행착오적인 방법을 사용하고 있다. 이러한 적절하지 못한 장비의 선정은 생산성 저하, 공기 지연, 추가비용 발생 등의 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 과학적이지 않은 중장비 선정 및 관리는 체계적인 공사계획 수립까지 어렵게 만드는 요소가 되고 있다.

기존의 중장비에 대한 발표 논문은 중장비의 안정성[5]이나 사망재해 분석연구[3, 7, 12], 중장비 제어 분석에 대한 연구[1, 16] 등이 주를 이루고 있고, 철도, 건물, 시설 등의 분야[9]의 AHP에(계층분석기법: Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)대한 연구가 있다. 그러나 Heavy Lifting을 위한 업체 선정에 대한 논문은 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 건설업체들이 자사에 맞는 Heavy Lifting 서비스 업체를 선정할 때 기존의 가격과 경험이 아닌 과학적 평가지표 모형을 제공하고자 한다. 이와 관련하여 품질기능전개(QFD : Quality Function Deployment, 이하 QFD) 방법론을 활용한 새로운 평가지표 설계 방법을 제안함으로써 AHP 계층구조 설계 시 객관성을 높일 수 있는 대안을 제시하고자 한다.

2. 문헌 연구

2.1 Heavy Lifting 관련 연구

Heavy Lifting에 연관된 기존의 연구는 크게 Crane 같은 중장비의 안정성과 사망재해 실태, 장비의 생산성과 기술평가방법 개발로 구분할 수 있고 장비 선정에 관련된 연구로 나눌 수 있다.

장비의 안정성과 사망재해 실태에 대한 기존의 연구로는 크레인 사망 실태와 안전대책[3], 인간-기계 시스템 모델에 의한 크레인 사망재해 분석[17], 타워 크레인의 안정성 검토 TOOL 개발[5], 크레인 사고예방을 위한 관련 국제규격의 인간공학적 평가 및 비교[12], Signalman Action Analysis for Container Crane Controlling[1] 등이 있다.

장비의 생산성과 기술평가 방법 개발 분야는 카운터 웨이트를 이용한 크레인의 에너지 절감 및 성능개선 방안 연구[7], 시뮬레이션 기반의 타워크레인 설치 생산성 분석[10], 자동화 장치장 크레인의 실시간 작업 계획 최적화[16], 건설업체의 시공능력 평가방법 개발에 대한 연구[22] 등이 있다.

장비나 업체 선정에 대한 기존의 연구로는 적격건설업체 선정을 위한 입찰참가자격 사전평가방법 개선에 관한 연구[6], 정부계약공사 업체 선정방법이 공사품질에 미치는 영향에 관한 실증연구[11], Resource Allocation Problem for a Quay Cranes and Berths Scheduling by Hybrid Evolutionary Algorithm[21] 등이 있다.

이처럼 장비나 건설업체 선정에 대한 기존의 연구는 국내 외로 활발히 이루어져 왔으나, Heavy Lifting이라는 특정 분야의 업체선정 평가지표를 제안한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 이러한 연구들은 대부분 대규모 플랜트 공사가 아닌 일반 건설 공사를 대상으로 이루어져 왔으며, 플랜트 공사에 맞는 Heavy Lifting 업체 선정이라는 연구가 필요하다고 사료된다.

2.2 QFD에 의한 계층구조설계

QFD의 기본 개념은 고객의 요구사항을 품질에 대한 고객

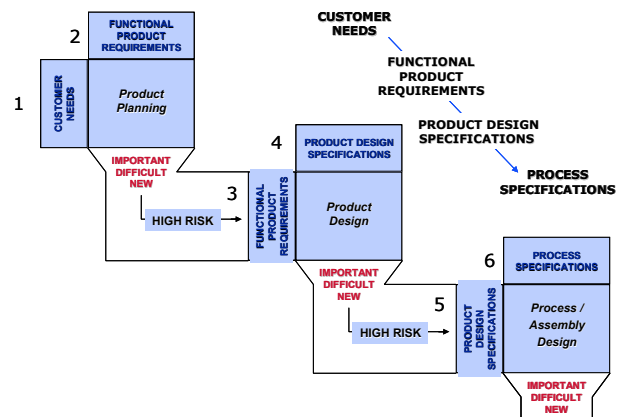
의 요구사항으로 처리함으로써 설계 특성들의 상호관계를 파악하여 이를 계층구조로 설계하는 것이다[14]. QFD는 1972년 일본 미쓰비시 중공업의 고베 조선소에서 원양어선 제작 시 소비자의 요구사항을 설계 과정에서 동시에 고려하기 위한 수단으로 시작된 기법으로, 제품과 서비스의 품질을 통해 고객 만족도를 향상시킬 목적[19]으로 만들어졌다. 고객의 요구사항을 파악하고 그 요구사항을 우선 순위화 하며, 경쟁기업과 비교함으로써 경쟁적 우위를 확보하기 위한 최적의 방법을 도출해 나가는 것이다[4].

Bicknell[2]은 QFD를 “고객의 요구사항을 객관적이고 계량화된 방식을 사용하여 측정 가능하고 명확히 규명할 수 있는 제품과 프로세스 요인으로 변환시켜주는 시스템적 접근방식”이라고 정의하였다. 이러한 품질기능전개 기법의 장점은 고객의 요구를 지속적으로 파악하여 관리할 수 있고, 기업내부로 체계적으로 연관시킬 수 있다는 점이다. 그러므로 기업내부 각 분야에 축적되어 있는 정보를 공유함으로써 모든 정보를 초기에 집중적으로 관리하고 분석할 수 있고, 예상되는 문제를 제품개발 초기에 해결함으로써 비용절감과 제품의 신뢰성을 높일 수 있다[13].

QFD의 기본개념은 고객의 요구사항을 우선 제품의 설계 특성으로 변환하고 이를 다시 부품특성, 공정특성, 그리고 생산을 위한 구체적인 방향으로 변환하는 것이다[7]. 따라서 이를 AHP에 적용할 경우 품질에 대한 고객의 요구사항에 대해 이를 구현하기 위한 설계 특성들의 상호관계를 파악하여 계층구조로 설계하는 것이다[21].

이러한 QFD 기법은 그동안 고객 요구사항에 대한 우선순위나 이를 구현하는 설계 속성들의 중요도 결정을 위해 적용되어 왔다.

그러나 이봉우[18]의 ITS 프로젝트관리자의 핵심역량 연구에서 기존의 연구가 대부분 QFD의 고객요구사항의 중요도 결정을 위한 가중치 계산을 위해 AHP를 적용하던 것과 달리 QFD 기법 자체를 AHP 계층구조설계에 최초로 적용하여 ITS 프로젝트관리자에게 필요한 요구 사항



<Figure 1> QFD Process[21]

의 도출과 이를 구현할 수 있는 역량요소간의 관계를 분석하여 Top-Down 방식으로 계층을 설계하였다. 그러나 도출된 요구사항과 설계속성(특성)간의 관계를 정의하는 것과 요소들 간의 상관관계 분석 및 계층구조 설계에 있어서 강함(◎), 보통(○), 약함(△)단계로 3단계 정성적 척도로 상관관계를 분석함으로써 객관성의 검증이 부족하다는 한계가 있다[21]. 따라서 본 연구에서는 객관성을 높이기 위해 연관 수준이나 연관의 방향(음/양)은 배제하고, 단지 연관 여부만을 평가 한 후 QFD 7점 척도를 활용하여 관계를 검증하는 절차를 수행하여 평가 지표를 확정한다.

2.3 AHP 기법 개요

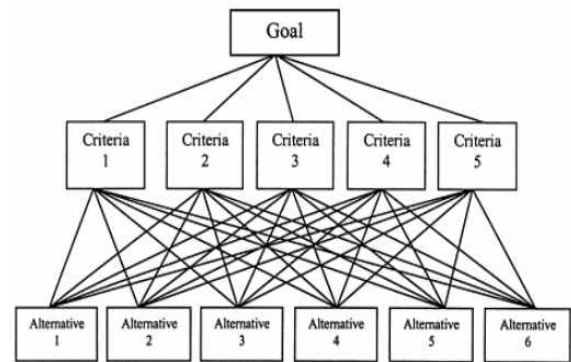
AHP는 1970년대 펜실베이니아 대학의 Thomas L. Saaty 교수에 의해 개발된 기법으로 의사결정 대상 문제에 대해 이를 잘 설명할 수 있는 작은 구성요소들로 문제를 나누고 구성요소들 간의 상호관계를 파악하고 이를 계층적으로 구성하여 문제를 해결하는 다기준 의사결정기법이다[21].

AHP 기법의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 작은 구성요소로 분해하고 이들의 상호관계를 파악하여 구성요소들을 계층화하고 각각의 그룹내 요소들 간의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통한 중요도를 도출한다는 점이다. 이러한 의미에서 AHP 기법 적용에 있어서 가장 중요한 것은 문제를 잘 설명할 수 있는 구성요소, 즉 평가요소들을 ‘어떻게 도출하느냐?’와 평가요소들 상호간의 관계를 잘 파악하여 ‘어떻게 상위 계층으로 구성하느냐?’이다[14]. AHP 기법 적용을 위해 평가요소 도출과 계층구조화는 AHP 기법 적용의 첫 번째 과정으로 의사결정에 필요한 평가요소들 상호간의 관계 설정을 통하여 계층구조화가 완료되면 상위계층에 있는 한 요소의 관점에서 하위계층에 있는 요소들의 상대적 중요도를 쌍대비교(pairwise comparison)하여 최하위 계층에 있는 요소들 간의 가중치를 산정하거나 대안들의 우선순위를 구한다. 이때 평가자의 논리적 오류를 해결하는 일관성 검증을 통하여 논리적 모순을 갖는 쌍대비교 결과는 가중치 산정에서 제외하게 된다[21].

AHP 기법에서는 4가지의 기본공리에 대한 충족을 요구하고 있다. 첫째, 역수성(reciprocal)에 대한 충족이다. 의사결정자는 동일한 계층 내에 있는 2개의 요인을 쌍대비교할 때 A가 B보다 X배 중요하면 B는 A보다 1/X배 중요하다는 것이다. 둘째, 동질성(homogeneity) 충족이다. 중요도는 제한된 범위 내에서 정해진 척도에 의하여 표현되어야 하며, 그러한 중요도에 대한 평가척도는 동일해야 한다. 셋째, 종속성(dependency) 충족이다. 한 계층의 요소들은 상위계층의 요소에 대하여 종속적이며, 동일계층의 요소들 상호간에는 독립성이 확보되어야 한다. 넷째, 기대성(expectation)에 대한 충족이다. 의사결정의 목적에 대한 사항을 하위

계층 구성을 통하여 완전하게 포함하여야 한다[21].

AHP 기법에서는 <Figure 2>에서 보는 바와 같이 해결하고자 하는 문제를 최상위 수준의 의사결정 목적으로부터 중간수준의 평가기준(속성, 하위속성), 최하위 수준의 대안들로 구성되는 계층구조로 설계하여 각 계층의 동일 그룹 내 요소(속성)간의 중요도를 결정하고 이를 종합하여 최선의 대안을 결정하도록 하고 있다[21].



<Figure 2> The Structure of AHP[15]

계층구조설계를 위해서는 상위계층의 목표를 달성하고 잘 설명할 수 있도록 하위계층의 구성요소들을 모두 포함하는 집합적 완결성(CE : collectively exhausted)이 충족되어야 하고, 그러한 구성요소 상호간에는 배타적 독립성(ME : mutually exclusive)이 보장되어야 한다. 집합적 완결성(CE)이란 상위계층에 대하여 종속적인 하위계층의 구성요소들이 의사결정을 위해 필요한 모든 요소들로 완전하게 포함되어야 한다는 것이며, 배타적 독립성(ME)이란 집합적 완결성을 충족하는 하위계층의 구성요소들 상호간에는 상대적인 중요도를 완벽하게 평가할 수 있도록 서로 다른 특성이나 내용적인 측면에서 관련성이 없어야 한다는 것이다[14]. 그러나 AHP 기법 적용을 위한 MECE가 확보되지 않을 경우 의사결정 목적을 달성하기 위한 대안의 평가에 있어서 결과에 대한 객관성과 공정성에 문제가 될 수 있다. 또한 평가 결과의 부정확성으로 인해 올바른 의사결정 지원을 할 수 없기 때문에 MECE 확보는 계층구조설계에 있어서 가장 중요하게 고려해야 할 사항이다[21].

2.4 평가 지표 선정 방법 소개

AHP Top-Down 계층 구조방식에는 공리적 설계(Axiomatic Design), QFD, Bottom-Up 계층 구조방식에는 요인분석(Factor Analysis), 기존연구로부터 공통 속성 도출 및 사상(mapping), 단계적 다중회귀(SMR : Stepwise Multiple Regression)분석 등이 있다[14].

공리적 설계는 기능적 요구사항(functional requirement, FR)들에서 적절한 설계요소(Design Parameters : DP)들로의 사상 과정이 다수 존재하여 여러 개의 해가 나올 수 있으므로 많은 부분이 설계자의 능력에 의존하며 기능적 요구사항의 정확성에 따라 설계결과가 결정되는 특징이 있다[14]. 요인 분석은 연구자가 연구목적에 적합한 결과를 얻기 위해 요인의 수 등 임의로 결정해야 할 사항이 많은 특징을 가지며, Mapping의 경우 기존 연구의 계층구조를 모방하여 계층화하는 것으로 기존 연구의 속성을 모두 도출하고 새로운 계층 속성과 Mapping하여 정당성을 확보하는 특징을 보인다[14]. SMR은 회귀식의 종속변수가 상위계층이 되고 독립변수는 하위계층이 되도록 설계하되, 동일 계층 내 독립변수 중 종속변수에 대한 설명력이 높은 변수만 선정하도록 하여 독립성을 유지한다[14]. 이러한 설계 기법 들은 문제점을 MECE 관점으로 볼 때 다음과 같은 문제점들이 존재한다.

공리적 설계는 요구사항 분석 및 설계자의 능력에 의존적으로 이론적 체계화가 미흡한 상황이고, 요인 분석은 변수 간 MECE 검증 절차 미흡으로 모든 변수가 적용되어 변수의 개수가 많고, 요인에 대한 설명이 불명확할 수 있다[14]. Mapping 방식은 다양한 속성 도출(CE)의 장점은 있으나 계층 내 독립성 유지(ME)의 입증이 어렵고 SMR은 초기 변수 선택이 설계자의 능력에 따라 좌우될 수 있고, 동일 하위계층의 타 그룹 내 변수와의 다중공선성 문제 발생 가능성, 동일 계층의 그룹 수나 각 계층별 변수의 수에 대한 선정 제한 등이 존재한다[14]. 반면 QFD는 평가항목의 상위계층을 분류하고, 분류된 상위계층에 따라 하위계층을 세분화하여 상호 연결시킴으로써 계층화가 명확하고, 상·하위계층 연결의 시각적 형태 제시 및 상호 관계 분석을 통한 통합 방법의 적용이 가능하다[14].

2.5 연구의 틀

Heavy Lifting 업체 선정을 위하여 QFD를 이용한 Bottom-up 방식의 AHP 계층구조 설계 절차는 다음과 같다.

- 1단계 : 평가 요소 도출
기존문헌, 인터뷰, 규정/기준 등 다양한 분야에서 평가 요소 도출
- 2단계 : 독립성 ME 검증 설계
 - ① 도출된 평가 요소를 통한 QFD 지붕 설계
 - ② 독립성 평가 방법 선정
 - 항목 교차점에 연관성 표식 결정
 - 평가 요소 간 연관성 여부 판별을 위한 점수 기준 결정

- 3단계 : 평가 요소 독립성 평가 및 정제
독립성 평가 결과 독립적이지 않으면 평가 요소는 정제 (Grouping and Cleansing)
- 4단계 : 공통 항목 도출
KJ 기법을 통해 평가요소 그룹핑을 통해 공통 항목 도출
- 5단계 : Hierarchy 검증
 - ① 공통항목과 평가요소 간 연관성 설문
 - ② 연관성 산술 평균 산출
 - ③ 연관성 평균값이 평가 중간값 또는 평균값 이상이면 유의미, 그 이하이면 무의미
 - ④ AHP 계층구조 설계를 위한 Group 완성
- 6단계 : 공통항목과 평가요소 항목 Definition 정의
- 7단계 : AHP 계층구조 완성 및 중요도 설문
(공통항목 → 상위계층, 평가요소 → 하위계층)
- 8단계 : 평가항목별 가중치 도출
- 9단계 : 가중치 평가를 통한 평가지표 완성

3. QFD를 활용한 AHP 계층구조 설계

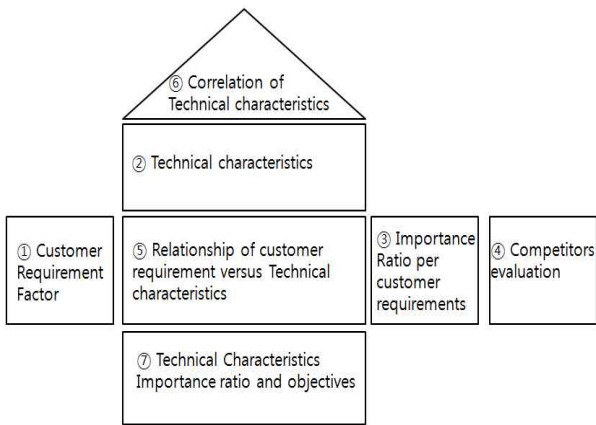
문헌, 인터뷰, 규정이나 지침, 기준 등에서 평가요소로 쓸 수 있는 모든 요소를 도출하여 먼저 요소들에 대한 독립성 검증을 통해 하위 요소를 도출하고, 이를 기반으로 요소 그룹핑을 통해 상위 요소를 도출하여 계층을 설계하는 Bottom up 방식의 AHP 계층구조 설계 시에 QFD를 이용하는 방법을 개발하고자 한다.

3.1 Bottom-Up 방식의 AHP 계층구조 설계를 위한 QFD 적용 개념

QFD의 전체적인 전개방식은 <Figure 3>의 HoQ(House of Quality, 품질의 집)라고 하는 매트릭스 구조에 근거를 둔다.

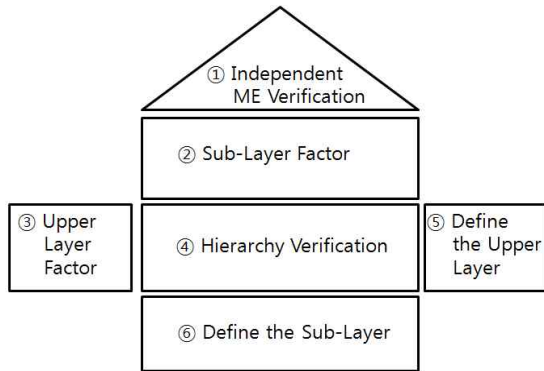
첫 번째로 고객의 요구사항을 나타내는 고객 특성을 고객설문, 시장조사, 인터뷰 등을 통하여 도출하고 이는 상위 요소로서의 역할을 하게 된다.

두 번째로 표준이나 지침서, 기존문헌에 이론적으로 제시된 서비스 혹은 제품의 설계 요구사항 등을 나타내는 기술적 특성을 도출한 뒤 세 번째로 고객의 요구속성에 대한 중요도와 경쟁사 평가에 대한 내용을 명시하여 준다.



<Figure 3> HoQ Configuration

네 번째로 상위 요소가 되는 요구사항과 하위 요소가 되는 기술특성간의 상관관계를 분석함과 동시에 기술특성간의 상호관계도 함께 분석한다.



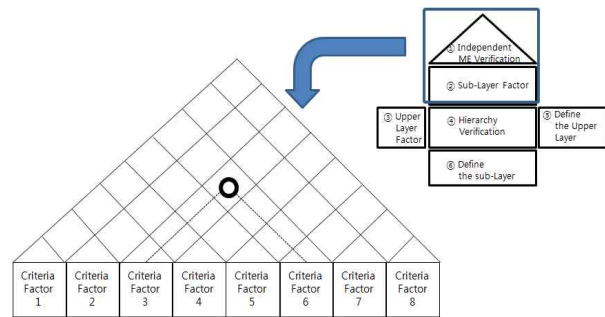
<Figure 4> HoQ Design Model for AHP hierarchy verification

<Figure 4>는 이를 응용한 AHP 계층구조 검증 HoQ 설계 모델이다. Heavy Lifting 분야 중장비 업체 선정 지표 개발의 첫 단계로 집합적 완결성(CE)을 위해 문헌연구·규정/기준·인터뷰 등을 기반으로 도출된 모든 평가지표 요소를 상단에 나열한다. 두 번째로, 모형의 지붕으로부터 평가 요소들로 구성된 하위계층요소(Sub-Layer Factor)의 연관성 조사를 통하여 배타적 독립성(ME)을 검증한다. 세 번째로, 공통항목의 그룹핑을 통해 상위계층 요소(Upper Layer Factor)를 확정한 하위계층요소들과의 연관성 검증을 실시한다. 마지막으로 상위계층 요소의 Definition을 AHP 계층구조의 상위에, 하위계층 요소의 Definition을 AHP 계층구조 하위에 위치시켜 평가지표 개발을 완료한다.

3.1.1 평가지표의 독립성 검증 방법

① 독립 ME 검증영역은 하위계층 요소들에 대한 독립성을 검증하는 역할을 하며 이는 강함(◎), 보통(○), 약함

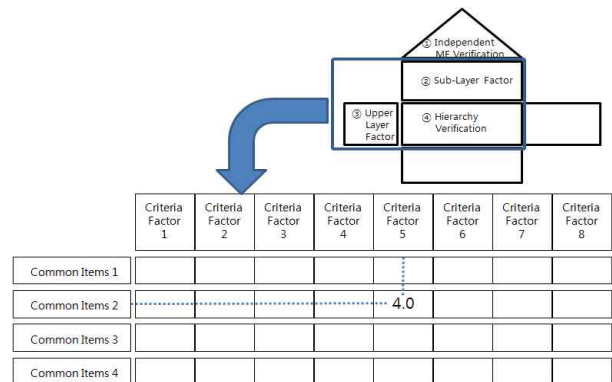
(△) 단계로 3단계 정성적 척도를 이용하는 방법 또는 Satty [20]의 9점 척도 방식처럼 점수척도를 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 연관성 여부만을 검증 방식(○)하는데 사용하였다. 따라서, 연관관계의 정도나 연관관계의 방향(음/양)에 대해서는 고려되지 않는다. ② 하위계층 요소 영역은 문헌, 인터뷰, 규정/기준 등에서 도출한 평가요소들이 위치하며 주로 ① 독립 ME 검증 단계를 통해 각 요소들의 독립성 검증을 하게되므로 함께 역할을 수행한다. 독립성 검증이 끝난 평가요소들은 하위계층 요소로서의 역할을 하게 된다. <Figure 5>는 ① 독립 ME 검증 및 ② 하위계층 요소의 자세한 역할을 보여주고 있다.



<Figure 5> Role of ① Independent ME Verification and ② Sub-Layer Factor

3.1.2 공통항목과 평가요소의 연관관계 검증 방법

③ 공통항목층요소 영역은 도출된 하위계층 요소를 기반으로 KJ 기법 등을 이용하여 그룹핑을 하여 도출된 공통영역들이 위치하는 역할을 한다. ④ Hierarchy 검증은 이렇게 도출된 상위계층 요소들과 하위계층 요소들 간의 연관성 여부를 점수 척도로 표현하여 계층구조 설계를 검증할 수 있다. 본 연구에서는 7점 점수척도를 사용하여 7점(아주 강함), 5점(강함), 4점(보통), 3점(약함), 1점(아주 약함), 연관성 없음(0)으로 연관성 여부를 나타낼 수 있도록 하였다.

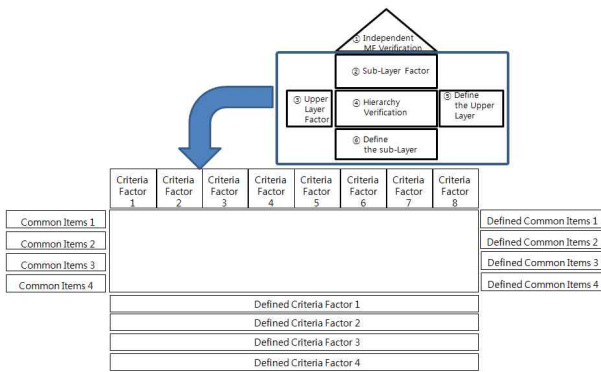


<Figure 6> Role of ③ Upper Layer Factor and ④ Hierarchy Verification

<Figure 6>는 ③ 상위계층 요소 및 ④ Hierarchy 검증의 자세한 역할을 나타내고 있다.

3.1.3 평가지표의 정의

⑤ 상위계층 Definition 및 ⑥ 하위계층 Definition 영역은 상위계층의 각 공통영역과 각각의 하위계층 요소에 대한 정의를 내려주는 역할을 한다. <Figure 7>은 그 역할을 보여주고 있다.



<Figure 7> The Definition of Each of the Common Items and Sub-Layer Factors

본 연구에서는 Heavy Lifting 분야 중장비 업체 선정을 위하여 문헌연구·규정/기준·인터뷰 등을 기반으로 도출된 평가지표 요소를 상단에 나열하고, 모형의 맨 윗부분, 하위계층 요소의 윗부분에서는 하위계층 요소들 간의 연관성 조사를 통하여 배타적 독립성인 ME(Mutually Exclusive)를 검증할 수 있도록 하였다. KJ 기법을 통하여 도출된 공통항목은 새 모형의 좌측에 서술하고, 상위계층 요소 도출의 객관성을 검증하기 위하여 상위 계층요소와 하위 계층요소들 간의 연관성을 검증하고, 상위 계층요소에 대한 각각의 Definition을 우측에, 하위 계층요소에 대한 Definition을 하단에 나열하여 계층 요소의 특성을 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 QFD 모형을 정확하고 세부적인 검증을 위해 계량화하여 점수 척도로 평가할 수 있도록 하고, 전문가 설문을 통해 연관성 여부를 검증하였다. 점수 결과를 기반으로 관계 검증을 통해 AHP 계층구조를 수립할 수 있다.

4. 적용 사례 : Heavy Lifting 서비스 업체 선정

4.1 평가지표 요소 도출

문헌연구(<Table 1>), PQ 사전심사제도(<Table 2>), 인터뷰(<Table 5>)를 통하여 평가 지표 요소를 도출하였다.

<Table 1> Evaluation Criteria Extracted from Previous Research

Evaluation criteria	Research	Classification
equipment Durability, Safety	[21]	heavy equipment (container crane)
Technical Skill	[9]	heavy equipment (Large size special crane) (container crane)
QA/QC, Safety	[5]	heavy equipment (container crane)
Technical Skill, Safety	[22]	heavy equipment (crane)
Safety	[1] [2]	heavy equipment (tower crane), heavy equipment (crane)
Safety, QA/QC	[3]	heavy equipment (crane)
Qualification, Bid amount Construction experience, Financial status, Technical skills	[12]	general construction industry
Management skills, Company experience, Technology Development	[11]	general construction industry

<Table 2> Evaluation Criteria Extracted from PQ

examination standard item	
Currently, the project whether or not to proceed	Ability to mobilize equipment
Ability to mobilize fund	QA(Quality Assurance) /QC(Quality Control)
Ability to design accomplishment	QEHS (Quality/Environment/Health/Safety)
Past experience in performing construction	

<Table 3> Status of Professional interviewees

	sum	career 3~5yr.	career 5~10yr.	career 10~15yr.	career 15~20yr.	career 20~30yr.
the number of persons	20	8	6	4	2	1

Heavy Lifting 서비스 업체 선정을 위한 평가기준을 도출하기 위해 EPC 업체에서 Heavy Lifting/기계 분야를 담당하고 있는 현업에서 종사하고 있는 전문가를 대상으로 인터뷰 형식의 설문을 실시하도록 하였다. 선발된 전문가는 <Table 3>과 같다.

전문가 인터뷰를 통하여 Heavy Lifting을 위한 중장비 업체 선정 시 가장 중요하게 평가하는 요소를 3순위까지 나열하도록 하였다. <Table 4>는 인터뷰 결과를 나타낸 것이다.

<Table 4> Evaluation Criteria Rank and Result

Evaluation Criterion	primacy	second-ranked	third-ranked
Bid amount	10 people	5 people	2 people
Construction experience	2 people	3 people	4 people
Company scale	1 person	1 person	3 people
Pre-qualification and registration	5 people		2 people
Engineering Technology	1 person	3 people	2 people
Equipment supplement	3 people	3 people	
Relationship with client			2 people
Ability to retain and mobilize technicians			1 person
Construction companies and work experience			1 person
On-site support		2 people	
Equipment maintenance		1 person	1 person
Contract performance		1 person	
Field supervision			1 person

전문가 인터뷰 결과 입찰금액, 공사경험, 회사규모, 사전심사 및 등록, 엔지니어링기술, 장비보유, Client와의 관계, 기술자 보유 및 동원능력, 공사업체와의 업무 경험, 현장지원, 장비유지보수, 계약이행, 현장관리의 13개 항목이 도출되었다. 평가요소의 정확도와 요소간의 중복성을 피하기 위해 요소들을 한번 cleansing하는 작업을 실시하고자 도출된 요소들을 바탕으로 1차 인터뷰 인원을 대상으로 업체 선정시 가장 우선적으로 평가하는 요소를 선택하도록 하는 2차 인터뷰를 진행하였다. <Table 5>는 2차 인터뷰의 결과를 나타낸 것이다.

<Table 5> Evaluation Criteria Extracted from Expert Interviews over Two Times

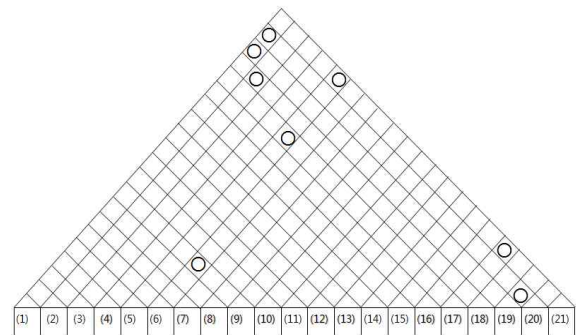
Evaluation Criterion	the number of people
Bid amount	6
Construction experience	2
Pre-qualification and registration	3
Equipment supplement	3
Company scale	1
Engineering Technology	2
On-site support	3
Contract performance	0
Equipment maintenance	0
Field supervision	0
Construction companies and work experience	0
Relationship with client	0
Ability to retain and mobilize technicians	0

2차 인터뷰를 통하여 최종적으로 입찰금액, 공사경험, 사전심사 및 등록, 장비보유현황, 회사규모, 엔지니어링 기술, 현장지원의 7가지 요소를 도출하였다. 결과값이 0은 아무도 선택하지 않았기 때문이며, 평가요소로서 유의하지 않다고 판단하여 제외하였다.

이상의 방법을 통해 평가 요소로써 Safety, Technical Skill, QA/QC, 사전심사 및 등록, 가격, 시공경험, 기술력, 경영능력, 재무상태, 현재 프로젝트 진행 여부, 자금동원능력, 설계수행능력, 과거수행공사경험, 장비동원능력, QEHS, 입찰금액, 공사경험, 장비보유현황, 회사규모, 엔지니어링 기술, 현장지원의 총 21개가 도출되었다.

4.2 QFD를 이용한 Heavy Lifting 서비스 업체 선정 평가지표 1차 검증

도출된 21개 평가지표 요소들 간의 독립성을 검증하기 위하여 QFD의 지붕영역을 적용하여 분석하였다. EPC 건설업체에서 근무하고 있는 Heavy Lifting 분야 전문가 10명에게 설문지 인터뷰를 실시하여 각 요소별 상호 연관성을 분석하고 공통영역 도출에 대한 객관성 검증을 하도록 하였다.



- (1) Construction experience
- (2) Cost/Price
- (3) Company scale
- (4) Pre-qualification and registration
- (5) Engineering Technology
- (6) Equipment supplement
- (7) on-site support
- (8) Ability to mobilize fund
- (9) Ability to mobilize equipment
- (10) Ability to design accomplishment
- (11) QA/QC
- (12) QEHS
- (13) Currently, the project whether or not to proceed
- (14) Safety record
- (15) Financial state
- (16) Management skill
- (17) Technical Skill
- (18) Bid amount
- (19) Construction experience
- (20) Past experience in performing construction
- (21) Technical power

<Figure 8> Verification of the independence of between evaluation elements using QFD

독립성 여부 검증은 점수 척도가 아닌 연관성 여부(○)로 표시하도록 하였다. <Figure 8>은 10명의 전문가들이 평가한 연관성 여부를 모두 합한 결과를 보여주고 있다.

평가 요소 독립성 검증 결과 공사경험, 시공경험, 과거수행 공사경험이 연관성이 있다는 결과에 따라 이들을 ‘공사경험’으로, 입찰금액과 비용/가격은 ‘비용’으로, 장비보유와 장비동원능력은 ‘장비보유 항목’으로, 엔지니어링 기술과 Technical Skill, 기술력은 ‘엔지니어링 기술’로 통합하였다. 따라서 1차 검증 결과 평가 요소는 총 15개로 축소되었다.

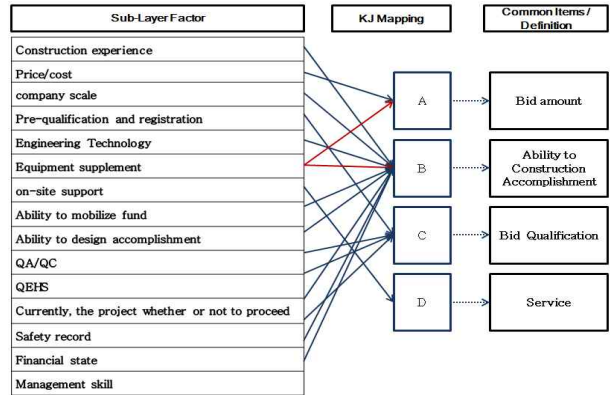
4.3 평가지표 상위계층을 위한 공통영역 도출

공통 영역을 도출하기 위하여 KJ 기법을 사용하여 KJ 기법을 통해 비슷하거나 연관성이 높은 것을 한 곳에 모으고, 각 그룹을 열(column)로 배열하였다.

KJ 기법을 통하여 도출한 요소들을 4영역으로 그룹핑하였고, 이를 입찰가격, 공사수행능력, 입찰자격, 서비스 영역으로 분류하였다. 입찰가격에는 가격, 장비보유 항목이 분류되었고, 공사수행능력에는 공사경험, 회사규모, 엔지니어링 기술, 장비보유, 자금동원능력, 설계수행능력, 현재 프로젝트 수행여부, 재무상태, 경영능력 입찰자격에는 사전등록 및 심사, QA/QC, QEHS, Safety Record로 분류되었다. 마지막으로 서비스 영역은 현장지원만이 분류되었다. 장비보유는 필요 장비의 보유 여부에 따라 입찰가격과 공사수행능력에 모두 연관성이 높기 때문에 양쪽 분류하였는데, QFD 모형을 통한 상관관계 검증 방법으로 확실하게 재분류된다.

4.4 공통항목과 평가지표간의 상관관계 분석

공통항목과 평가지표들 간 연관성 정도를 상세히 분석하기 위하여 QFD를 7점 척도(0: 연관성 없음, 1: 가장 약함, 3점: 약함, 4점: 보통, 5점: 강함, 7점: 아주 강함)로 평가할



<Figure 9> Common Item Extraction Using the KJ Method

수 있도록 계량화하였다. 전혀 연관성이 없다고 판단되는 관계는 0점으로 처리할 수 있도록 하였다. 이로서 4개 공통 평가항목과 15개 평가지표 요소들 간의 관계성을 평가하도록 함으로서 요소들 간의 독립성과 공통평가 항목 도출이 객관성을 충족 하는지 분석하였다. 각 항목과 공통항목과의 연관성이 4점(보통) 이상일 경우 연관성이 있다고 보았다.

<Table 6>의 결과에 근거하여 공통(상위 계층) 항목 및 평가지표(하위 계층)를 정의하면 <Table 7>과 같다.

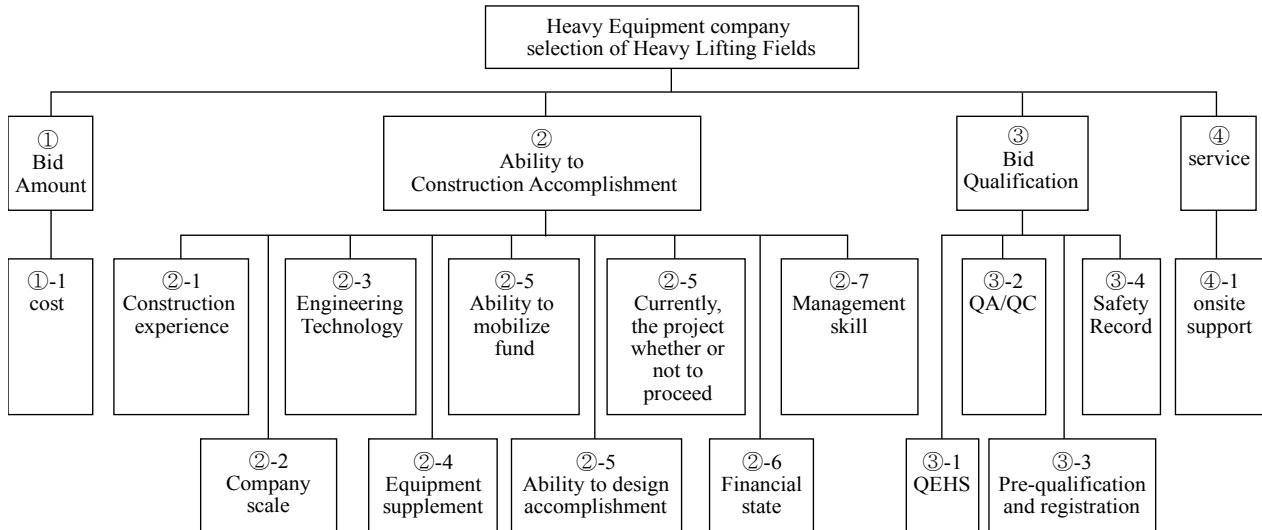
특히 <Figure 9>의 주관적 평가 시 입찰 가격 공통 항목과 공사수행능력 공통 항목 모두에 연관성이 높은 것으로 맵핑되었던 장비보유 평가 요소는 QFD를 활용한 공통항목과 평가지표간 상관관계 분석을 통해 공사수행능력과의 연관성이 5.9로 3.2의 연관성 수치를 보인 입찰 가격 공통 항목보다 훨씬 더 연관됨을 확인할 수 있었다.

4.5 Heavy Lifting 서비스 업체 선정 평가 지표 계층 구조

Heavy Lifting 분야 중장비 업체 선정을 위한 AHP 모델은 2단계로 나누어 구성할 수 있다. 목표(Goal)는 수행공사의

<Table 6> Result of Correlation Verification of Common Item Versus Evaluation Elements

	Pre-qualification and registration			Ability to mobilize fund			Currently, the project whether or not to proceed								
	Construction experience			Engineering Technology			Ability to design accomplishment				Management skill				
	Company scale			Equipment supplement			Safety record				Financial state				
	cost			On-site support			QA/QC				QEHS				
Bid Amount	7	3.8	3.2	2.3	1.5	3.2	3.1	1.4	0.7	1	2	1.6	0.7	1.9	0.8
Ability to Construction Accomplishment	2.3	5	6.8	1.4	1.2	5.2	5.2	4.1	1.1	0.9	4.3	4.1	1.1	4	4
Bid Qualification	1.6	2.8	3.7	7	1.9	2.9	3.2	1.6	4	4.3	2.2	2.4	4.4	3.1	1.5
service	2.6	1.2	2.4	1.2	7	2.2	2.4	1.5	0.5	0.9	0.9	1.1	0.9	1.9	1.7



<Figure 10> Heavy Lifting Service Company AHP Hierarchy

Heavy Lifting 분야 최적의 업체 선정으로 하였으며, 평가 기준(Criteria)는 상위 4개, 하위 15개 계층으로 구성되어 있다. 계층구조는 <Figure 10>과 같다.

5. Heavy Lifting 업체 선정 가중치 평가 및 분석

5.1 Heavy Lifting 서비스 업체 선정 평가지표 가중치 평가 설문

설문은 <Table 8>과 같이 EPC 업체에서 근무하고 있고 Heavy Lifting 업체 선정 수행 경험을 가지고 있는 관리자에게 실시하였다.

총 15명 설문을 통해 일관성비율(CR)을 충족하는 견적담당 소속 10명, Engineering팀 소속 2명, 총괄 사업팀 3명으로 분석하였다.

<Table 8> Information on the Subject of Survey Research

Position	the number of people	Term of duty(average)
estimation	10(10)	7yr.
Engineering	2(1)	5yr.
Master	3(2)	8yr.

() : the number of people that meets the Consistency Ratio.

5.2 Heavy Lifting 서비스 업체 선정 평가 결과 분석

AHP의 적용과 분석을 쉽게 할 수 있도록 해주는 Export Choice를 사용하여 분석하였다.

일관성 검토는 쌍대비교를 실시한 후 전문가들의 논리적 일관성을 검증하기 위해서 일관성 비율(CR)을 검토하였다. 일관성 비율(CR)이 0.1을 초과하는 2명은 제외 시켰으며 0.1 이하로 집계된 13명의 설문지만 분석하였다. 본 연구에서 Export Choice 통하여 구한 일관성비율은 Saaty가 제시한 0.1보다 낮으므로 전문가들이 실시한 쌍대비교는 논리적 일관성을 가지고 있다고 할 수 있다. 최종 계층별 가중치는 <Table 9>와 같다.

각 계층별 중요도 결과를 분석하면, 상위 계층은 공사 수행능력(0.379) > 입찰가격(0.333) > 입찰자격(0.182) > 서비스(0.107) 순으로 중요한 지표로 평가하였다. 상위계층에서는 공사를 아무런 문제없이 소화할 수 있는 능력이 무엇보다도 중요하며 그에 맞는 합당한 입찰가격이 중요하다고 판단하였다. 입찰자격 및 계약 외 서비스는 공사 수행능력과 입찰 가격에 비해 중요성이 높지 않다고 나타나고 있으며 입찰자격을 갖추는 것과 서비스를 잘 한다고 해서 공사수행능력을 갖추고 있는 것은 아니며, 좋은 입찰가격을 제시하는 것이 아니기 때문이라고 판단된다. 반면에 공사수행능력을 갖추고 있는 업체는 입찰자격도 갖추고 있을 확률이 높으며 수행만족도가 높다는 이야기는 곧 서비스의 품질을 위해 노력하는 중장비 업체라는 추측이 따라올 수 있기 때문에, 공사수행능력이 그 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

하위계층에서는 공사 수행 능력과 입찰 자격 그룹은 2차 쌍대비교를 실시하였다.

먼저, 공사수행능력 그룹은 장비보유(0.202) > 공사경험(0.170) > 현 프로젝트 수행여부(0.145) > 엔지니어링 기술(0.112) > 재무상태(0.087) > 설계수행능력(0.086) > 자금동원능력(0.08) > 경영능력(0.062) 순으로 중요도를 나타

<Table 9> AHP Weight and Ranking per Hierarchy Structure

Upper Layer Weight		
Upper Layer	Weight	Ranking
① Bid Amount	0.333	2
② Ability to Construction Accomplishment	0.379	1
③ Bid Qualification	0.182	3
④ service	0.107	4
Sub-layer Weight		
Sub-layer	Weight	Ranking
①-1. cost	0.333	1
②-1. Construction experience	0.170	2
②-2. Company scale	0.054	9
②-3. Engineering Technology	0.112	4
②-4. Equipment supplement	0.202	1
②-5. Ability to mobilize fund	0.082	7
②-6. Ability to design accomplishment	0.086	6
②-7. Currently, the project whether or not to proceed	0.145	3
②-9. Financial state	0.087	5
②-10. Management skill	0.062	8
③-1. QEHS	0.206	4
③-2. QA/QC	0.236	2
③-3. Pre-qualification and registration	0.339	1
③-4. Safety Record	0.219	3
④-1. On-site support	0.107	1

내고 있다. 장비 보유력은 공사수행 시 공기에 맞게 준비된 장비를 공급하고 갑작스러운 문제 발생 시에도 예정에 없던 장비를 공급할 수 있는 능력으로 공사가 차질 없이 진행될 수 있도록 하는 공사수행능력과 직결되어 있다고 할 수 있다. 또한 다양한 공사경험은 공사수행 시 상황과 문제에 유연하게 대처할 수 있는 능력이 있다는 의미로서 또한 공사수행에 중요하게 고려되는 요소이다. 따라서, 공사수행능력은 과거 현재를 통틀어 경험을 바탕으로 장비를 얼마나 다양하게 보유하고 있는지가 필요함을 나타내고 있다.

입찰자격 그룹은 사전심사 및 등록(0.339) > QA/QC(0.236) > Safety Record(0.219) > QEHS(0.206) 순으로 중요하게 나타났다. 여기서 QA/QC, Safety Record, QEHS는 결과값이 별 차이가 없기 때문에 실질적으로 중요도는 거의 비슷하다고 할 수 있다.

전체 평가자들의 평가치를 수치적으로 통합하고 행렬의 역수성을 유지시키기 위하여 기하평균(geometric mean)으로

<Table 10> AHP Result

Evaluation Factor	Weight	Ranking
①-1. Cost	0.117	2
②-1. Construction experience	0.112	3
②-2. Company scale	0.036	15
②-3. Engineering Technology	0.073	5
②-4. Equipment supplement	0.133	1
②-5. Ability to mobilize fund	0.054	9
②-6. Ability to design accomplishment	0.057	7
②-7. Currently, the project whether or not to proceed	0.096	4
②-9. Financial state	0.057	8
②-10. Management skill	0.040	12
③-1. QEHS	0.039	13
③-2. QA/QC	0.044	10
③-3. Pre-qualification and registration	0.064	6
③-4. Safety Record	0.041	11
④-1. On-site support	0.038	14

최종 가중치를 계산하였으며, 그 결과는 <Table 10>과 같다.

최종 지표 중요도는 장비보유(0.133) > 가격(0.117) > 공사경험(0.112) 순으로 중요도가 산정되었다. Heavy Lifting 분야 업체 선정 시에는 가격이나 공사 경험보다 중장비 업체의 장비 보유력이 가장 중요하다는 결론이다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 업체의 장비 보유력은 공사의 성공과 실패를 좌우할 수 있는 중요한 요소이기 때문이다. 가격은 공사에 맞지 않는 저가입찰이 아닌 공사에 합당한 입찰금액 제시가 필요함을 나타내고 있다. 현 프로젝트 수행여부(0.096)나 엔지니어링 기술(0.073)도 그 중요도가 높게 나타났다. 이는 EPC 업체가 중장비 업체 선정 시 개인의 주관적인 경험에 의존하고 저가업체만을 고려하여 업체를 선정하는 것이 아닌 다른 요소들 또한 중요하게 고려해야 하는 요소임을 나타내고 있어 문제 해결에 대한 평가지표 개발을 추진할 필요가 있음을 알 수 있는 결과로 사료된다.

6. 결 론

AHP 기법의 계층구조설계 방법에는 요인분석(Factor Analysis), 기존연구로부터 공통 속성 도출 및 사상(mapping), Stepwise Multiple Linear Regression(SMR), 공리적 설계(Axiomatic Design), Quality Function Deployment(QFD) 등에 의한 방법 적용이 있다. 제시된 방법 중 요인분석과 SMR에 의한 방법들은 유한개의 요소를 바탕으로 수행되므로 선행

연구와 검토 규모에 따라 의사결정 문제가 변경될 수 있다. 반면, QFD와 공리적 설계는 문제의 목적에 따라 이를 충족할 수 있는 하위 평가요소를 창의적으로 선택할 수 있는 장점이 있다. AHP 계층구조설계가 미흡할 경우 의사결정에서 잘못된 결과를 얻을 수 있기 때문에 AHP 계층구조설계는 중요한 부분이며 문제 특성에 따라 각각 적합한 계층구조설계 방법의 적용이 필요하다고 볼 수 있다.

이러한 AHP 계층구조설계 시 QFD의 경우 요구사항의 도출과 도출된 요구사항과 설계속성(특성)간의 관계를 정의하는 것이 중요함에도 이에 대한 방법 개발이 미흡한 실정이고 QFD를 이용한 구조설계 기법은 절차와 방법론이 명시적으로 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 QFD를 이용한 AHP 계층구조설계 방법을 절차적이고 구체적으로 제시하고 AHP 계층구조 설계를 위한 HoQ의 각 영역에 대한 정의를 내리는 한편, 하위 계층을 중심으로 공통 특성에 의한 분류를 통하여 상위계층구조를 형성하는 방법인 Bottom-up 방식으로 QFD를 설계함으로써 보다 완전한 MECE 검증은 수행하였다. 적용 사례로, 공사 수행 업체인 EPC 건설업체 측면에서 수행하는 플랜트 사업 프로젝트에 맞는 Heavy Lifting 서비스 업체 선정에 관한 평가지표 개발에 적용하였다. 지표 요소로 관련규정, 기존 문헌연구, 전문가 인터뷰를 통해 평가지표 항목을 도출하고 이에 대한 QFD를 이용한 AHP 계층구조를 설계하고, 각 평가 항목에 대한 가중치를 도출하였다.

본 연구는 Heavy Lifting 분야 업체 선정 시 고려해야 할 다양한 평가지표 요소를 제시하였으며, 평가지표 요소들 간의 가중치를 통해 중요한 평가지표 요소를 도출하였으며, 중복되지 않고 모든 부분을 포함해야 한다(MECE)는 AHP 기법 활용 원칙에 충실한 QFD 계층설계 방법을 통해 새로운 평가 지표들의 발굴 필요성을 확인시켰다.

특히, 평가요소들 간의 독립성 검증 및 연관성 검증을 단계별로 수행함으로써 하위요소들 간의 독립성과 상위계층 간의 배타성을 보증할 수 있었다.

본 연구는 실무적으로는 Heavy Lifting 업체 선정 시 관행적으로 경험과 가격에 의존하는 상황에서 과학적인 지표개발을 통해 장비보유(0.133), 가격(0.117), 공사경험(0.112) 순으로 중요도를 산출함으로써 해당 부문의 평가 지표 개발의 필요성에 대한 근거를 제시하였다. 또한 평가 지표 개발 방법 연구 측면에서는 QFD를 이용하여 현장 적용성이 높은 Bottom-Up 방식의 평가 지표 개발과 단계별 객관성 검증 설계 기법을 제시함으로써 보다 과학적이고 객관적인 AHP 계층 구조 설계를 가능케 했다는데 큰 의의가 있다.

그러나 Heavy Lifting 업체 선정에 관한 후보 지표군 선정 시보다 광범위한 실무적 상황을 반영하지 못한 점, 다양한 MECE 계층구조 설계 방식 적용을 통한 결과 비교 등은 추가 연구 시 반영해야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This study was financially supported by Seoul National University of Science and Technology.

Reference

- [1] Bae, S.T., Signalman Action Analysis for Container Crane Controlling. *Journal of Korea Multimedia Society*, 2009, Vol. 12, No. 12, p 1728-1735.
- [2] Bicknell, B. and Bicknett, K.D., The Road Map to Repeatable Success; using QFD to Implement Change, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995.
- [3] Gi, D.H. and Kim, W.G., Crane died Status and safety measures. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2005, Vol. 20, No. 1, p 137-142.
- [4] Govers, C.P.M., What and How about Quality function Deployment (QFD). *International Journal of Production Economics*, 1996, Vol. 46, p 575-585.
- [5] Ho, J.K., The Development of Tools Selecting Tower Crane and Reviewing the Safety. *Korean Society for internet Information(Fall)*, 2005, Vol. 6, No. 2, p 811-814.
- [6] Jang, G.H. and Park, C.S., Development of an Enhanced PQ model for contractor qualification. *Architecture Institute of Korea*, 1995, Vol. 15, No. 2, p 667-671.
- [7] Jeon, J.H. and Han, M.Y., A Study on using Counter Weight Technology for a Crane's Energy Saving and Improving performance. *The Korean Society of Mechanical Engineers(Fall)*, 2002, p 1051-1056.
- [8] Jeong, D.K. and Yun, G.B., A Study on Fatigue Life Assessment Procedure for a Container Crane. *Journal of the Korean institute of industrial safety*, 1999, Vol. 14, No. 2, p 11-18.
- [9] Kim, J.S., A study on the High speed Railway Route Selection-Focusing on 4 design tools, 2011. *Seoul Nation University of Science and Technology*, Master's degree Thesis, 2011.
- [10] Kim, Y.S., Cho, J.K., Kim, M.J., Cho, K.M., and Hyun, C.T., A Productivity Analysis of Tower Crane Installation Progress Based on Simulation Technique. *The Korea Institute of Building Construction*, 2010, Vol. 10, No. 2, p 33-40.
- [11] Kim, J.H., Sohn, S.G., and Lee, K.T., Empirical Study on Efficiency Of Government Contract in Korea. *korean journal of management accounting research*, 2011, Vol. 1, No. 1, p 133-154.

- [12] Ko, B.I., Park, J.H., Im, H.G., and Seo, E.H., Compared to the ergonomic evaluation of international relevant standards for crane accident prevention. *The Ergonomics Society of Korea(Fall)*, 2006, p 389-392.
- [13] Lee, B.W., A Study on Core Competences of ITS Project Managers using QFD and AHP. *Seoul Nation University of Science and Technology*, Master's degree Thesis, 2010.
- [14] Lee, H.J., The Development of Evaluation Indicators for the Performance of Defense Core-Technology R&D Projects Using SMR/AHP. *Seoul Nation University of Science and Technology*, 2010, Doctor degree Thesis.
- [15] Masood, A.B., A combined AHP-GP model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*, 2001, Vol. 72, No. 1, p 27-40.
- [16] Ohk, S.M., Park, T.J., and Ryu, K.R, Optimization of the work plan of the real-time automation Jean Ji Jean Crane. *Korea Institute of Intelligent Systems(Fall)*, 2006, p 336-344.
- [17] Park, J.H., Park, T.J., Im, H.G., and Seo, E.H., Analysis of Crane Accidents by Using a Man-Machine System Model. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2007, Vol. 22, No. 2, p 59-66.
- [18] Vaidya, O.S. and Kumar, S., Analytic hierarchy process : An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 169, p 1-29.
- [19] Won, Y.W., Kim, K.Y., and Yun, D.K., Consistency Check of a House of Quality Chart by Limiting Probability Concept and Median Rank. *The Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2010, Vol. 33, No. 3, p 22-29.
- [20] Wu, D., Lin Y., Wang, X., Wang, X., and Shunde G., Algorithm of Crane Selection for Heavy Lifts. *Journal of computing in civil engineering © ASCE*, 2011, p 57-65.
- [21] Yang, Y. and Mitsuo GEN, Resource Allocation Problem for a Quay Cranes and Berths Scheduling by Hybrid Evolutionary Algorithm, 2008, feedback. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, Vol. 180, p 63-75.
- [22] Yun, T.W., Kim, H.Y., and Lee, K.J., A Study on Evaluating Method for the Capability of Construction Firms(Final). *Korea Institute of construction technology*, 1989, Vol. 12, p 1-208.