

대공간 지붕철골공사 양중공법 선정을 위한 의사결정지원모델

Decision Support Model for Selecting of Lifting Methods for Large Spatial Roof Construction

차 민 수 이 명 도*

Cha, Min-Su Lee, Myung-Do*

Researcher, R&D Institute, Yunwoo Technologies Co., Ltd., Gangnam-Gu, Seoul, 06045, Korea

Abstract

The purpose of this study was to propose a decision support model for selecting a lifting method of large spatial roof construction. First, we deducted influential factors consist of 6 factors and 19 sub-factors through literature reviews and expert's advices. Second, the relative importance of each factor was calculated by Analytic Hierarchy Process. As a result, 'site condition(0.237)' among 6 factors and 'available space of the site(0.118)' among 19 sub-factors were identified as the most important factor for selecting lifting method. In addition, methods and procedures were established for evaluating alternatives of lifting methods for each influential factor. A decision support model was completed by providing the Site Suitability Index(SSI) of each lifting method. Finally, we got advices form experts who were actually in charge of the works for large spatial construction project to validate the model. The model proposed in this study was analyzed to be useful in selecting the lifting method. The findings of this study are expected to support the decision making of on-site managers when they select the lifting method on the beginning of the project.

Keywords : large spatial roof construction, lifting method, decision making model, AHP, site suitable index(SSI)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

대공간 지붕철골공사에서 양중공법은 전체 프로젝트의 공기 및 공사비에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다[1]. 이는 무지주 대공간을 형성해야 하는 공사의 특성상 지붕 구조물의 중량 및 형상이 크고 양중작업이 주공정선에 직접적인 영향을 미치기 때문이다[2]. 따라서 대공간 지붕 철골 공사의 원활한 시공을 위해서는 다양한 현장조건과 시공조건 등을 종합적으로 고려한 합리적인 양중공법의 선정이 필

수적이다.

대공간 지붕철골공사를 위한 양중공법의 선정은 원도급 시공사와 지붕철골공사 전문건설업체가 양중공법 대안들의 경제성 및 안전성 등을 검토하여 최종 결정하고 있다. 특히, 전문가 사전 인터뷰 결과, 공법의 경제성이 공법선정에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다¹⁾. 그러나 경제적인 공법이 최적의 공법으로 귀결되기에는 무리가 있다. 만약 공법선정 과정에서 철저히 검토되어야 할 현장의 다양한 영향요인을 고려하지 못하고 초기투입비용 등 공법의 경제성을 우선하여 공법을 선정할 경우 이는 시공단계에서의 잦은 계획 변경 및 안전사고 발생가능성을 내재하게 되며, 결과적으로 프로젝트 전체의 경제성을 저하시키는 요인이 될 수 있다.

따라서 대공간 지붕공사의 양중공법 선정을 위해서는 현

Received : December 4, 2017

Revision received : December 11, 2017

Accepted : September 10, 2018

* Corresponding author : Lee, Myung-Do

[Tel: 82-70-4875-4101, E-mail: md.lee@yunwoo.co.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1) 대공간 프로젝트의 현장경험이 있는 전문가 4인의 사전 인터뷰 결과를 바탕으로 하였다.

장조건을 포함한 다양한 영향요인에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 한다. 그러나 현재 국내에서는 대공간 프로젝트의 시공사례가 매우 적고 참고할 수 있는 자료가 부족하여 공법 선정을 위한 영향요인이 명확하게 분류되어 있지 않고 체계적인 검토과정조차 정립되어 있지 않은 상황이다.

이에 본 연구에서는 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정을 위한 의사결정지원모델을 제시하고자 한다. 본 연구는 양중공법 선정을 위한 영향요인을 도출하고 이를 기반으로 한 공법대안의 평가방법 및 절차를 제공함으로써 프로젝트 초기 공법선정 과정에서 현장관리자의 의사결정을 지원하는데 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 지붕의 골조를 강구조로 구성하는 대공간 지붕공사를 대상으로 하여 양중공법 선정 지원모델을 제안하였다. 일반적으로 대공간 구조물은 양단지지 트러스의 경우 60m, 캔틸레버의 경우 30m 이상의 스패ンを 가지고 있으며, 막 및 케이블 구조의 경우 5,000㎡ 이상의 지붕면적을 갖는 경우로 정의하고 있다²⁾. 그러나 최근 대공간 구조물의 규모가 점차 대형화되고 있는 점을 고려하여 스패ん 150m, 지붕면적 20,000㎡ 이상의 대형 프로젝트를 대상으로 연구를 수행하였다^{3,4,5)}.

또한 본 연구의 의사결정지원모델은 공법의 경제성 분석 이전 단계³⁾에서 우선적으로 검토되어야 하는 현장의 다양한 영향요인을 바탕으로 양중공법 대안의 현장적합도지수(Site Suitability Index; SSI)를 산정하는 방법과 그 절차를 제공한다. 따라서 현장관리자는 본 모델에서 제공하는 현장적합도지수를 활용하여 공법대안을 선별한 후 공법별 초기 투입비용 및 운영비용 등의 경제성을 종합적으로 검토하여 최종적으로 양중공법을 선정하게 된다.

이를 위한 본 연구의 절차는 다음과 같다. 첫째, 연구수행을 위한 예비적 고찰 단계로 대공간 지붕철골공사의 양중작업 및 공법선정에 관한 선행연구와 대표적인 양중공법에 대한 이론적 고찰을 수행한다. 둘째, 선행연구, 대공간 지붕철골공사 시공계획서 및 건설지를 분석하여 양중공법 선정시

2) 국토교통부 첨단도시개발사업인 ‘차세대 대공간 구조시스템의 설계 및 시공기법 개발(2005.07~2008.08)’의 최종보고서에서 정의한 내용에 기초하였다.

3) 모델의 개발범위는 경제성 검토 이전 단계에서의 공법별 현장적합도지수 제공이며, 영향요인 도출 시 공법의 초기투입비용, 운영비용 등의 경제성 요인은 제외하였다.

고려해야 할 영향요인을 도출한다. 셋째, 계층 분석적 의사결정기법(Analytical Hierarch Process; 이하 AHP)을 활용하여 영향요인에 대한 중요도를 산정한다. 넷째, 도출한 영향요인을 평가지표로 활용하여 공법 대안을 평가할 수 있는 현장적합도지수(SSI)를 제시하고 의사결정지원모델을 구축한다. 마지막으로 구축한 모델이 대공간 현장의 양중공법 선정을 지원하기 위한 합리적인 모델인지에 대해 사례검증 및 전문가 자문을 수행한다.

2. 예비적 고찰

2.1 선행연구 고찰

대공간 지붕철골공사의 양중은 전체 프로젝트의 공기 및 공사비에 많은 영향을 미치며, 이로 인해 양중 전반에 걸쳐 다양한 연구가 수행되어 왔다(Table 1). Jung et al.[6]은 최적의 양중공법 선정을 위한 기초자료 제공을 목적으로 국내·외 대공간 건축물의 사례분석을 수행하였다. 이를 통해 공법별 적용현황을 통계적으로 데이터베이스화하였으나 양중공법 선정을 위한 근본적인 방안제시에는 미흡하였다. Kang[7]은 초고층 공사와의 비교·분석을 통해 대공간 지붕공사의 양중계획 수립을 위한 영향요인을 도출하였다. 또한 Park et al.[1]은 양중계획 수립 시 고려해야 하는 영향요인에 대한 우선순위를 산정하였으며, Kang et al.[2], Park[8]은 사례분석을 통해 양중계획 수립 프로세스를 제시하였다.

Table 1. Summary of literature review

Classification	Authors(Year)	Contents
Review of lifting methods	Jung et al. [6]	Case review of lifting methods on large spatial roof construction
Influential factors of the lifting plan	Kang [7]	Deducted factors for lifting planning by comparing a high-rise building and a large spatial construction
	Park et al. [1]	Deducted priority of influential factors for lifting planning through a evaluation analysis
Lifting planning process	Kang, et al. [2]	Proposed lifting planning model based on the categorization of influential factors
	Park [8]	Proposed lifting planning process model trough the survey analysis

위 연구들은 원자재의 발주 및 입고, 부재의 공장제작 등 양중계획 수립을 위한 영향요인을 광범위하게 제시하고 있다. 하지만 이를 공법선정을 위한 직접적인 영향요인으로 활용하기에는 한계가 있으며, 공법선정을 위한 프로세스에 관한 연구 또한 매우 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정을 위한 직접적인 영향요인을 도출하고 공법선정 프로세스를 제시하고자 한다.

2.2 대공간 지붕철골공사 양중공법

강성구조를 갖는 대공간 지붕철골공사에 있어 일반적으로 알려져 있는 대표적인 양중공법은 벤트 공법, 리프트업 공법 및 슬라이딩 공법이 있다. 다음의 Table 2와 같이 각 공법은 시공경험, 가설구조물, 특수기술 필요여부, 작업위치, 하부 작업 가능여부, 여유공지 필요여부, 타 공종과의 간섭 등 많은 측면에서 차이를 보인다[6,8,9,10,11,12].

Table 2. Comparison of lifting method characteristics

Classification	Bent	Lift-up	Sliding
Construction experiences	High	Moderate	Low
Main temporary structure	Bent	Lifting tower	Sliding structure
Requirement of special techniques	Moderate	High	High
Location of main assembly works	High place	Ground level	Ground level
Interference with ground works	Low	High	Low
Requirement of available spaces	Moderate	High	Very high
Interference with other processes	Moderate	High	Low

2.2.1 벤트(Bent) 공법

대공간 지붕철골공사에서 가장 많이 적용되고 있는 공법으로 지상에서 지붕구조물을 부분적으로 선조립하여 지붕 블록(Block)을 만든 후 기 설치된 가설구조물인 벤트 위에 블록을 양중하여 전체 지붕을 완성해가는 공법이다. 따라서 가설벤트의 설치 및 해체관리가 매우 중요한 공법이며, 지붕 구조물의 규모가 클수록 가설벤트를 위한 가설재 사용량의 증가로 인해 공사비가 증가하는 특성이 있다[8,9]. 아래 Figure 1은 가설벤트를 적용한 현장의 모습이다⁴⁾.

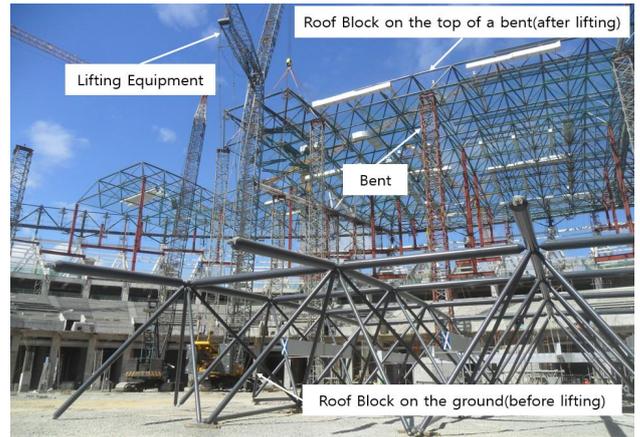


Figure 1. Bent method

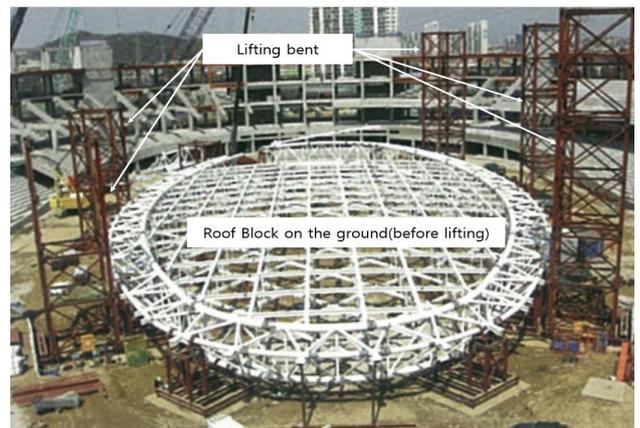


Figure 2. Lift-up method

2.2.2 리프트업(Lift-up) 공법

가설벤트 공법과 비교해 지상에서 지붕구조물과 마감재를 전부 또는 일부분 완성한 후 유압을 이용하여 소정의 위치까지 밀어올린 후 설치하는 공법이다. 리프트업 공법은 지붕구조물의 지상 선조립 블록(Block)을 최대화하는 것으로서 벤트공법에 비해 고소작업이 적어 설치작업 시에 작업자의 안전성을 높일 수 있으며, 부재의 품질검사 업무가 수월하여 품질확보가 용이하다는 장점이 있다. 하지만 초기 계획단계에서부터 리프팅을 고려한 구조설계가 필요하고 리프팅용 특수장비로 인한 추가비용이 발생할 수 있으며, 지붕구조물의 조립, 양중 및 설치가 진행되는 동안에는 하부작업이 불가능하다는 단점이 있다[10,11]. 아래 Figure 2은 리프트업 공법을 적용한 현장의 모습이다⁵⁾.

4) 필리핀아레나 프로젝트의 현장사진 각색

5) 광명동 경륜장 프로젝트 현장사진 각색

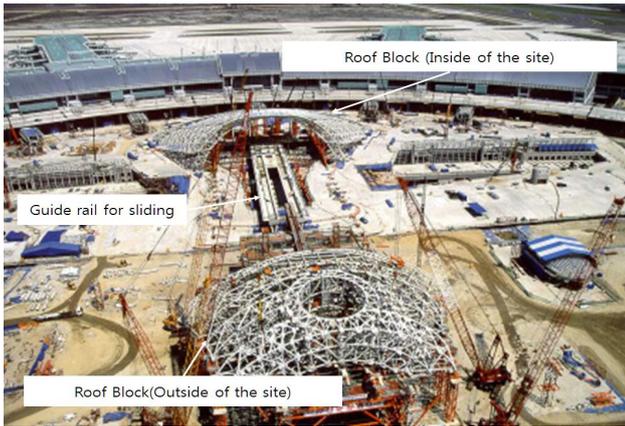


Figure 3. Sliding method

2.2.3 슬라이딩 (Sliding) 공법

슬라이딩 공법은 본 구조물 공사를 위한 작업공간이 협소하거나 지붕공사를 위한 가설공사 및 장비투입이 어려운 경우에 주로 활용하는 공법이다. 지붕구조물을 원래의 위치가 아닌 외부에서 구조물의 전부 또는 일부분을 완성한 후 가이드레일(Guide Rail)과 유압 등을 이용하여 소정의 위치로 수평 이동시킨 후 설치한다. 슬라이딩 공법은 지상의 일정장

소에서 단순반복 작업이 가능하여 시공성 및 품질향상에 유리하고 고소작업량의 감소로 안전성 확보에 유리하다.

하지만 리프트업 공법과 마찬가지로 지붕구조물의 수평이동을 위한 특수기술을 필요로 하며, 이로 인한 추가비용이 발생할 가능성이 있다. 또한 구조물 외부에 여유공간이 부족한 경우에는 적용하기 어려운 공법이다[12]. 아래 Figure 3은 슬라이딩 공법을 적용한 현장의 모습이다⁶⁾.

3. 영향요인 도출 및 중요도 산정

3.1 영향요인 도출

본 장에서는 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정과정에서 중요하게 고려해야 할 영향요인을 도출하였다. 이를 위해 선행연구[7,8]의 양중계획 수립 영향요인을 종합·분석하여 공법선정에 영향을 미치는 요인들을 우선 선별하였다. 이후 국내 건설사가 수행한 대표적인 대공간 프로젝트 3건에 대한 지붕철골공사 시공계획서와 건설지[3,4,5]를 수집하여 실제 공사수행 과정에서 양중공법 선정 시 발생했던 주요

Table 3. Factors for lifting method decision

Category	Factors (6)	Sub-factors (19)	Description	Literature review (13)	Case study (14)
Design and site condition	A. Design	A1. Section type	Section type of roof structure	✓	
		A2. Floor type	Floor plan type of roof structure	✓	
		A3. Maximum height	Maximum height of roof structure	✓	
		A4. Length and width	Length and width of roof structure	✓	
B. Site		B1. Adjacent structure	Interference degree by adjacent structure	✓	✓
		B2. Available space of the site	Degree of available space of the site	✓	✓
		B3. Ground condition	Obstruction and ground condition	✓	
C. Temporary work and equipment operation mgt.		C1. Lifting equipment	Manageability for procurement and technical detail of lifting equipment		✓
		C2. Temporary work and resource	Manageability for temporary work and resource	✓	✓
		C3. Equipment moving route and operation	Manageability for equipment moving route and operation	✓	✓
Operation and management condition	D. Lifting and erection mgt.	D1. Field assembly	Manageability for field assembly	✓	✓
		D2. Installation	Manageability for Installation and joint erection	✓	✓
		D3. Work space	Manageability for work on the high place		✓
		D4. Work interference	Manageability for work interference	✓	✓
E. Quality mgt.		E1. Skilled labor	Manageability for skilled labor		✓
		E2. Construction error	Manageability for construction error and displacement		✓
		E3. Joint connection	Manageability for erection and joint connection	✓	✓
F. Safety mgt.		F1. Labor safety	Manageability for labor safety		✓
		F2. Structural stability	Manageability for structural stability of roof structure		✓

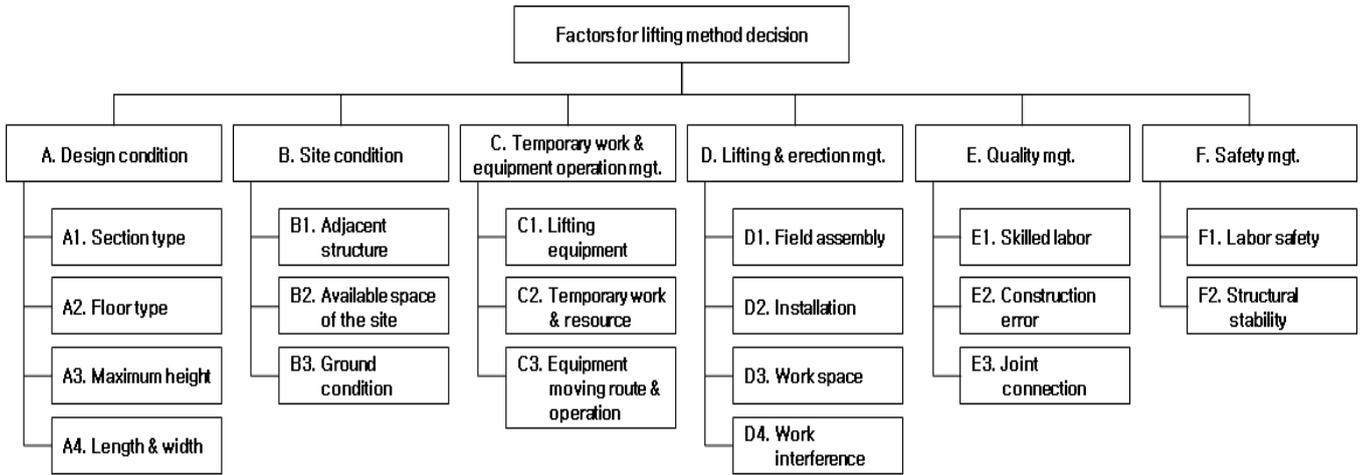


Figure 4. Configuration of hierarchy

이슈사항을 분석함으로써 앞서 선별한 영향요인을 보완하였다. 위의 영향요인 선별 및 보완에 있어 총 3차에 걸친 전문가 집단의 그룹토의 결과를 반영하였으며⁷⁾, 이를 통해 공법 선정에 보다 직접적으로 영향을 미치는 요인을 도출하고자 하였다.

먼저 선행연구에서는 양중계획 수립 절차에 따라 5단계(분절계획, 생산계획, 운반계획, 지조립계획, 양중설치계획)로 구분하여 총 53개의 영향요인을 제시하고 있는 것으로 분석되었다. 제시된 영향요인은 원자재의 발주, 부재의 공장 제작 및 현장반입 등 대공간 프로젝트의 양중계획 수립 시 고려해야 하는 다양한 영향요인을 포함하고 있었다. 따라서 본 연구에서는 선행연구의 양중계획 수립 영향요인 중 공법 선정에 직접적으로 영향을 미치는 요인을 선별하기 위해 1차 전문가 그룹토의(2017년 6월 20일)를 실시하였다. 이를 통해 생산 및 운반계획 수립 영향요인 등과 같이 공법선정에 있어 그 영향이 미미하다고 판단되는 29개의 요인들을 제거하였으며, 나머지 24개 영향요인 중 유사항목을 통합하여 총 13개의 양중공법 선정 영향요인을 선별하였다.

또한 대공간 프로젝트의 지붕철골공사 시공계획서와 건설지에서는 양중공법 선정과정에서 발생한 주요 이슈사항을 종합하여 분석한 결과, 총 14개의 항목들이 중점적으로 검토된 것으로 나타났다. 이 중 선행연구에서 선별한 영향요인과

유사하거나 중복되는 것으로 판단되는 8개 항목을 제외하더라도 6개 항목을 영향요인으로 추가하였다.

위의 과정을 통해 총 19개의 양중공법 선정 영향요인이 최종 도출되었으며, 이를 기반으로 2차 전문가 그룹토의(2017년 10월 17일)를 실시하여 영향요인을 재분류하였다. 그 결과, 대공간 지붕철골공사 양중공법 선정을 위한 영향요인은 크게 설계 및 현장조건과 운영 및 관리조건으로 구분되며 6개의 상위요인과 각 상위요인을 구성하는 총 19개의 하위요인으로 분류되었다(Table 3). 설계조건은 지붕구조물의 형상 및 규모와 관련된 조건이며, 현장조건에는 인접구조물의 유무, 현장 내·외부의 여유공지 및 지반상태 등이 포함된다. 운영 및 관리조건은 공법에 따른 장비운영, 지상선조립, 품질 및 안전과 관련된 요인들이 도출되었다.

3.2 영향요인의 중요도 산정

본 절에서는 도출된 영향요인을 바탕으로 AHP분석을 수행하여 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정을 위한 영향요인의 중요도를 산정하였다. AHP는 두 개의 요인을 쌍대 비교(pairwise comparison)하여 상대적으로 어느 것이 더 중요한지를 비교해가는 의사결정기법으로 복수의 영향요인을 한꺼번에 판단할 때의 오류를 방지함과 동시에 의사결정을 쉽게 내릴 수 있다는 장점이 있다[13]. 영향요인 간 쌍대 비교를 위해서는 항목을 계층으로 구조화하는 것이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 도출된 6개의 상위요인과 19개의 하위요인을 기반으로 다음의 Figure 4와 같이 계층을 구성하였다.

6) 인천국제공항 교통센터 프로젝트 현장사진 각색
 7) 전문가 집단의 그룹토의는 2017년 6월과 10월 2차례에 걸쳐 진행되었으며, 총 10인의 대공간 프로젝트 관련 전문가(원도급 시공사 1인, 지붕철골시공 전문건설업체 1인, 구조엔지니어링 업체 5인, 대학 및 연구소 3인)가 참여하였다.

Table 4. Respondent's occupation fields

Classification	No. of Respondents (persons)
Construction management	4
Roof construction	3
Structural engineering	4
Research	4
Total	15

이후 공법선정 영향요인의 AHP분석을 위해 대공간 프로젝트 관련 경험이 있는 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문지는 6개의 상위요인 간 쌍대비교와 각 상위요인 내 하위요인들 간 쌍대비교를 수행할 수 있도록 구성하였으며, 9점 척도를 활용하였다. 설문지는 총 30부를 발송하여 20부를 회수하였으며, 이중 일관성 비율(CR)⁸⁾이 10%를 초과하여 응답자의 판단에 논리적인 일관성이 결여되었다고 여겨지는 5개의 설문을 제외한 15부의 설문분석 결과를 기하평균으로 종합하여 분석하였다. 최종 15부 설문응답자의 직무분포는 다음의 표와 같다(Table 4).

본 연구에서는 다수의 설문대상자를 확보하는데 어려움이 있었다. 이는 국내 대공간 프로젝트의 시공사례가 부족하여 해당공사를 경험한 전문가의 수가 많지 않기 때문이다. 따라서 본 연구는 설문응답의 질을 높이기 위해 설문 시 연구의 내용, 설문의 목적 및 취지 등을 상세히 설명하고 대공간 지붕공사 및 채택가능한 양중공법대안의 특성을 충분히 파악할 수 있는 설명 자료를 제공하여 설문결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

AHP설문을 통해 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정을 위한 영향요인의 중요도를 분석한 결과는 다음 Table 5와 같다. 분석결과 6개 상위요인의 상대적 중요도는 현장조건(0.237), 양중 및 설치관리(0.215), 안전관리(0.156), 설계조건(0.133), 품질관리(0.130), 가설 및 장비운영(0.128) 순으로 도출되었으며, 현장조건이 양중공법 선정에 있어 가장 중요한 요인으로 나타났다. 위 결과는 대공간 프로젝트의 양중 대상인 지붕구조물 규모가 매우 크고 대형 크레인의 운영을 포함한 양중작업과 관련된 현장조건(0.237)이 전체

Table 5. Weight of the factors by AHP analysis

Category	Normalized Weight						Total Weight	
	Factors	Weight(①)	Rank	Sub-factors	Weight(②)	Rank	Weight(③=①×②)	Rank
Design and site condition	A. Design	0.133	(4)	A1. Section type	0.247	(3)	0.033	(16)
				A2. Floor type	0.294	(2)	0.039	(14)
				A3. Maximum height	0.327	(1)	0.043	(13)
				A4. Length and width	0.132	(4)	0.018	(19)
				Subtotal	1.000		0.133	
	B. Site	0.237	(1)	B1. Adjacent structure	0.279	(2)	0.066	(3)
				B2. Available space of the site	0.497	(1)	0.118	(1)
				B3. Ground condition	0.224	(3)	0.053	(10)
				Subtotal	1.000		0.237	
	Management condition	C. Temporary work and equipment operation mgt.	0.128	(6)	C1. Lifting equipment	0.351	(2)	0.045
C2. Temporary work and resource					0.196	(3)	0.025	(18)
C3. Equipment moving and operation					0.453	(1)	0.058	(7)
Subtotal					1.000		0.128	
D. Lifting and erection mgt.		0.215	(2)	D1. Field assembly	0.170	(4)	0.036	(15)
				D2. Installation	0.305	(1)	0.066	(4)
				D3. Work space	0.281	(2)	0.061	(5)
				D4. Work interference	0.244	(3)	0.052	(11)
Subtotal		1.000		0.215				
E. Quality mgt.		0.130	(5)	E1. Skilled labor	0.172	(3)	0.022	(17)
	E2. Construction errors			0.409	(2)	0.053	(9)	
	E3. Joint connection			0.419	(1)	0.055	(8)	
Subtotal	1.000		0.130					
F. Safety mgt.	0.156	(3)	F1. Labor safety	0.384	(2)	0.060	(6)	
			F2. Structural stability	0.616	(1)	0.096	(2)	
Subtotal	1.000		0.156					

공정에 절대적인 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 또한 상위요인의 상대적 중요도 분석을 통해 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정 시 전문가 집단의 의사결정흐름을 체계화하면 그 결과는 다음과 같다.

우선 대공간 프로젝트마다 다양하게 도출되는 여유공지 및 인접구조물 유무 등의 현장조건을 고려하여 공법대안이 해당현장에 적합한지 검토한다. 이후 공법의 운영 및 관리적 측면을 고려하여 대형 지붕구조물의 양중 및 설치작업의 시공성과 작업공간 등을 고려하여 공법대안을 비교한다. 마지막으로 전체적인 안전관리, 설계조건, 품질관리 및 가설 및 장비운영을 순차적으로 고려하여 해당현장에 적합한 공법을 도출한다.

한편 상위요인을 구성하는 총 19개의 하위요인 중에서는 여유공지(0.118)의 상대적 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다. 사례현장들의 경우 공법선정 시 여유공지의 규모가 작거나 부족한 경우 슬라이딩 공법 등 일부공법은 해당현장에 적용하기 어려워 공법선정과정에서 우선 제외된 것으로 조사되었다. 즉, 위의 중요도 산정 결과는 현장의 의사결정과정에서의 우선순위가 설문에 반영된 결과로 판단된다. 이외에도 안전관리 측면에서 구조물의 안정성(0.096), 현장조건인 인접구조물의 유무(0.066), 양중 및 설치작업의 시공성(0.066)과 작업공간(0.061), 고소작업에 따른 작업자의 안전(0.060) 등의 순으로 중요도가 도출되었다. 반면 설계조건인 장단변부의 길이(0.018), 보강 및 가설자재(0.025), 숙련공의 확보(0.022) 등의 하위요인은 다른 영향요인에 비해 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 분석되었다.

4. 양중공법 선정 의사결정지원모델

4.1 의사결정지원 모델

현장관리자는 다양한 양중공법 대안 중 해당현장에 적합한 공법을 선정하여 대공간 프로젝트를 수행하여야 한다. 즉, 현장에 적합한 양중공법을 선정하기 위해서는 각 공법대안을 체계적으로 평가하고 검토할 수 있는 프로세스 정립이 요구된다. 양중공법 선정의 영향요인 도출, 중요도 분석 그리고 대안평가자를 통한 SSI 산정을 주요 절차로 하는 의사

8) 일반적으로 CR값이 10%이하일 경우 응답의 일관성이 있는 것으로 규정하며, 10%를 초과할 경우에는 일관성이 결여된 것으로 보고 비일관성 요인을 재검토하거나 해당 자료를 분석에서 제외한다.

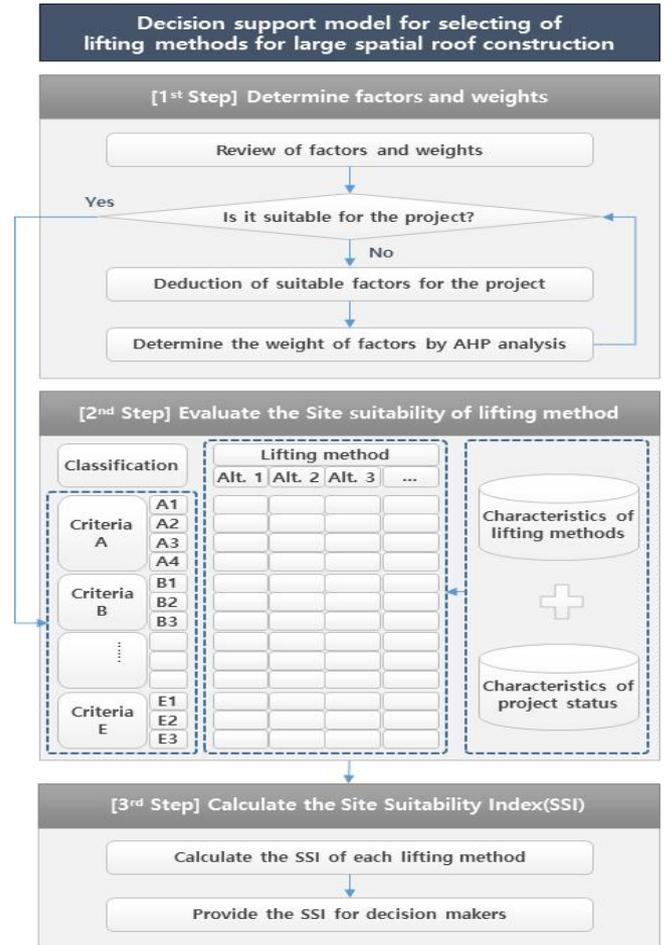


Figure 5. Decision support model

결정지원모델은 다음 Figure 5와 같다.

본 연구에서 제안한 의사결정지원모델의 프로세스는 첫째, 본 연구를 통해 도출한 영향요인이 해당현장의 양중공법 선정에 적합한지 검토한다. 도출한 영향요인이 해당현장에 부적합하다고 판단되는 경우, 해당현장의 특성을 고려하여 영향요인을 수정하고 AHP분석을 통해 영향요인별 상대적 중요도를 다시 산정한다. 둘째, 다수의 평가자로 하여금 도출된 영향요인을 평가지표로 하여 해당현장에 적용하고자 하는 공법대안들에 대한 현장적합도(Site suitability) 평가를 실시한다. 마지막으로 평가결과를 기반으로 공법별 현장적합도지수(SSI)를 산정하여 의사결정자에게 제공하고 모델을 종료한다.

4.2 현장적합도(Site suitability) 평가 방법

현장적합도 평가는 해당 프로젝트의 영향요인을 평가지표로 하여 각 공법대안에 대한 평가를 실시하는 것이다. 이때

평가자는 매우탁월(4점), 탁월(3점), 적합(2점), 보통(1점), 부적합(0점)의 총 5단계 척도를 활용하여 현장에 해당 양중 공법이 얼마나 적합한지를 평가하게 된다. 이때 해당현장에 가장 적합한 양중공법을 평가하고 선정하기 위해서는 해당 프로젝트의 특성, 다양한 현장조건 및 양중공법 대안들에 대한 충분한 사전지식 습득이 필수적이다.

4.3 현장적합도지수(SSI) 산정

본 모델은 현장에서 고려되고 있는 공법 대안들에 대한 현장적합도 평가점수와 각 평가지표별 중요도를 종합한 현장적합도지수인 SSI를 제공한다. 대안 평가자들이 각 공법에 대한 현장적합도를 평가하면 평가지표인 영향요인의 중요도가 고려되어 SSI가 도출된다. 즉 SSI가 높을수록 해당 현장의 특성 및 조건에 가장 적합한 공법이며, 낮을수록 해당현장에 부적합한 공법임을 의미한다. SSI 산정방법은 다음 식 (1)과 같다.

$$\text{양중공법별 현장적합도지수(SSI)} = \sum_{i=1}^n (w_{A_i} \times a_i + w_{B_i} \times b_i + w_{C_i} \times c_i + w_{D_i} \times d_i + w_{E_i} \times e_i + w_{F_i} \times f_i) \quad (1)$$

여기서, n : 각 상위요인의 하위요인 개수

- w_{A_i} : 영향요인 A_i 의 가중치(설계조건)
- a_i : A_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수
- w_{B_i} : 영향요인 B_i 의 가중치(현장조건)
- b_i : B_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수
- w_{C_i} : 영향요인 C_i 의 가중치(가설 및 장비운영)
- c_i : C_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수
- w_{D_i} : 영향요인 D_i 의 가중치(양중 및 설치관리)
- d_i : D_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수
- w_{E_i} : 영향요인 E_i 의 가중치(품질관리)
- e_i : E_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수
- w_{F_i} : 영향요인 F_i 의 가중치(안전관리)
- f_i : F_i 에 대한 해당공법의 현장적합도 평가점수

5. 사례연구

5.1 사례연구 개요

본 연구에서 제시한 모델이 양중공법 선정을 위한 의사결

정에 유효한지를 검토하기 위해 국내 건설사에서 수행한 대공간 프로젝트를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 대상현장은 2015년 완공된 국내 최초의 돔구조물 중량 6,300톤의 대공간 지붕공사를 포함한다. 대상현장의 개요는 아래 Table 6과 같다[5].

Table 6. Summary of case study

Category	Description
Location	Seoul, South Koera
Construction period	2009.02 ~ 2015.09
Building area	29,120㎡
Gross floor area	83,476㎡
Roof area	27,642㎡
Roof length	215m
Roof wide	157m
Hight	67m
Total Roof weight	6,300ton



사례연구는 본 연구의 설문조사에 응답하거나 그룹토의를 수행한 전문가 중 대공간 프로젝트의 양중공법 선정 시 의사결정에 직접 참여했던 원도급 시공사 3인을 대상으로 하였다. 전문가들이 대상현장에 대해 자세히 파악할 수 있도록 프로젝트 개요, 주요 도면 등을 제공하였으며, 양중공법으로는 벤틀 공법, 리프트업 공법 및 슬라이딩 공법이 대안으로 제시되고 있는 것으로 가정하였다.

먼저 영향요인 및 중요도 산정에 있어 본 연구에서 도출된 19개 영향요인 및 그 중요도가 적절한 것으로 판단되었으며, 이를 그대로 적용하여 사례연구를 수행하였다. 이후 대안으로 제시된 3가지 공법에 대해 전문가의 현장적합도 평가가 진행되었으며, 그 결과를 바탕으로 공법별 현장적합도지수인 SSI를 도출하였다.

5.2 사례연구 결과 및 논의

사례현장을 대상으로 본 연구에서 제안한 의사결정모델을 적용하여 공법대안별 현장적합도지수인 SSI를 산정한 결과

는 다음의 Table 7과 같다. 벤투 공법의 경우 SSI가 2.855로 타 공법에 비해 상대적으로 매우 높은 것으로 나타났으며, 이는 벤투 공법이 사례현장의 특성 및 조건에 가장 적합한 공법임을 의미한다. 반면 슬라이딩 공법은 SSI가 1.038로 세 공법대안 중 가장 낮은 것으로 나타나 사례현장에 부적합한 공법으로 나타났다.

사례현장은 실제 도심공사로 인한 현장의 여유공지 부족, 대형 양중장비와 숙련공 수급의 어려움 등의 주된 이유와 품질, 안전 및 비용 측면에서의 최종검토를 통해 벤투공법을 적용하여 공사를 수행하였다. 본 연구에서 구축한 의사결정 지원모델 역시 벤투공법을 사례현장에 가장 적합한 공법으로 제시하고 있으며, 이는 실제 사례현장에 적용된 공법과 일치함을 알 수 있다. 다만 대공간 프로젝트의 수행사례 부족으로 하나의 사례를 통해 구축모델을 검증한 결과라는 한계는 있으나 추후 다양한 사례검증을 통해 유사한 결과를 얻는다면 본 모델의 유효성과 신뢰도 향상이 가능할 것으로 판단된다.

Table 7. Results of a case study

Classification	Alternatives of lifting methods		
	Bent	Lift-up	Sliding
SSI	2.855	1.656	1.038
Rank	1	2	3

또한 사례연구에 참여한 전문가 3인을 대상으로 본 연구에서 구축한 모델의 공법선정방식이 적정한지와 현장활용도에 대해 자문하였다. 자문결과 본 연구에서 도출한 영향요인이 양중공법 선정 영향요인으로 활용되기에 적합한 수준이며 중요도 우선순위 또한 적절한 것으로 나타났다. 또한 SSI를 통한 각 대안의 점수화 절차가 복잡하지 않고 수치적으로 확인할 수 있어 의사결정의 참고자료로 활용이 가능한 것으로 나타났다. 모델의 활용측면에서 보면, 실질적인 모델의 활용 시에는 프로젝트에 참여하는 각 분야전문가가 워크숍 형식으로 한자리에서 의견을 공유하며 모델의 프로세스를 진행하는 것이 보다 효율적일 것이라는 의견이 공통적이었다. 이를 통해 영향요인의 면밀한 검토를 수행하고 보다 더 다양한 사항을 고려하기 위해 요인을 추가할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 영향요인의 중요도 산정을 위한 쌍대 비교에서 9점 척도는 현장관리자가 수행하기에는 어려움이

있을 수 있으므로 척도를 줄여 보다 손쉽게 평가할 수 있게 하는 것이 바람직하다는 의견이 있었다. 마지막으로 모델을 통한 공법별 현장적합도지수와 공법의 초기투입비용 및 운용비용 등 경제성 요인을 통합적으로 검토할 수 있는 추가적인 연구가 필요한 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 대공간 지붕철골공사에서 가장 중요한 의사결정사안 중 하나인 양중공법 선정을 위한 의사결정지원모델을 제안하였다. 본 연구의 결과, 양중공법선정을 위한 영향요인의 도출, 중요도 산정, 현장적합도지수를 활용한 대안평가의 방법 및 절차가 의사결정지원모델로서 유용하게 활용될 수 있는 것으로 파악되었다. 결론적으로, 본 연구에서 제시한 의사결정지원 모델이 현장관리자의 의사결정에 참고 자료로서 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나, 본 연구에서 제안한 모델의 도출결과가 해당현장에 적합한 최적의 양중공법을 의미하는 것은 아니다. 현장관리자는 모델에서 제공한 대안별 점수를 바탕으로 각 공법의 직접적인 투입비용을 포함한 경제성, 현장의 안전성에 대한 종합적인 판단을 통해 최종적으로 공법을 선정해야 할 것이다.

본 연구는 국내 대공간 프로젝트 사례의 부족으로 시공현장 전문가 및 자료 수급에 어려움이 있어 분석자료 및 설문부수가 제한적이었다는 한계가 있다. 향후 추가적인 분석 자료의 수집 및 전문가 자문을 통해 보다 세부적으로 영향요인을 정립할 계획이며, 경제성 및 안전성까지 고려하여 제시할 수 있는 통합형 모델의 구축방안에 대한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

요 약

본 연구는 대공간 지붕철골공사의 양중공법 선정을 위한 의사결정지원모델 제안을 목적으로 한다. 이를 위해 이론적 고찰 및 전문가자문을 통해 6개의 상위요인과 19개의 하위요인으로 구성된 양중공법 선정 영향요인을 도출하였다. 이후 AHP분석을 통해 요인별 상대적 중요도를 산정한 결과, 6개의 상위요인 중 현장조건(0.237), 19개의 하위요인 중 여유공지의 유무(0.118)가 양중공법 선정에 있어 가장 중요한 영향요인으로 도출되었다. 이를 바탕으로 현장관리자가

공법대안을 평가할 수 있는 방법 및 절차를 수립하고 최종적으로 현장적합도지수를 제시해줌으로써 의사결정지원모델을 구축을 완료하였다. 구축모델의 검증을 위해 대공간 현장 경험자를 대상으로 사례분석을 수행한 결과, 제시된 모델이 공법선정에 있어 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과는 프로젝트 초기 공법선정 과정에서 현장 관리자의 의사결정을 지원하는데 활용될 것으로 기대된다.

키워드 : 대공간 건축물, 양중공법, 의사결정지원모델, 계층 분석적 의사결정방법, 현장적합도지수

Acknowledgement

This research was supported by a grant (17AUDP-B100343-03) from Architecture & Urban Development Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Park KH, Kang CU, Lee DJ, Choe MK, A study on priority decision for influential factors of lifting planning in roof system of large span spatial structure, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Jun;13(2):223-32.
2. Kang CU, Park KH, Choe MK, A study on condition analysis of lifting planning for roof system of large span spatial structure, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Nov;27(11):95-102.
3. Daewoo E&C, Gwangmyeong Speedom project construction report II, Seoul: Daewoo E&C; 2006, Chapter 2, Construction; p. 60-225.
4. Hanwha E&C, Philippine arena project construction report, Seoul: Hanwha E&C; 2015, Chapter 3, Construction; p. 126-220.
5. Hyundai Development Company, Gocheok Sky Dome construction report, Seoul: Hyundai Development Company; 2016, Part 2, Construction; p. 184-299.
6. Jung HM, Lee SY, Jee SW, The case study on the erection method of large span structures, *Journal of the Korean Association for Spatial Structure*, 2007 Apr;7(2):97-104.
7. Kang CU, A study on lifting planing for roof system of large span spatial structure [master's thesis], [Daegu (Korea)]: Keimyung University; 2010, 54 p.
8. Park KH, A study on the lifting planning process model for roof system of large span spatial structures [dissertation], [Daegu (Korea)]: Keimyung University; 2012, 160 p.
9. Architectural institute of Japan, Dome structures in Japan: recent advanced in structural engineering, Tokyo: Architectural institute of Japan; 2004, Part 2, Technical data on the modern dome: case study; p. 41-160.
10. Kim CH, Chae WT, Baek KY, Jung HM, Experimental investigation of rotation-up erection for keel truss spatial structures, *Journal of the Korean Association for Spatial Structure*, 2013 Jun;13(2):57-66.
11. Hara K, Structural design of the Osaka Dome, In: Alimchandani CR, Beard AS, Combault J, et al., editors, Long-span and high-rise structures, International association for bridge and structural engineering symposium Kobe; 1998 Sep 2-4; Kobe, Japan, Zurich(Switzerland): ETH Zurich;1998, p. 725-30.
12. Jo YN, Erection of the steel frame structures by sliding method [master's thesis], [Incheon (Korea)]: Inha University; 2002, 63 p.
13. Lee HC, Development of Decision Making Model for Selecting the Soft Foundation Improvement Method Using AHP technique [master's thesis], [Incheon (Korea)]: Inha University; 2007, 63 p.