

플랜트 공사 모듈러 공법 적용 의사결정을 위한 연구 - 모듈러 공법의 장·단점 및 적용 장벽에 대한 고찰 -

박찬영¹ · 김현진¹ · 원진우¹ · 장우식¹ · 한승헌*

¹연세대학교 토목환경공학과

A Study for Selecting Modular Construction Method - Focus on Benefits and Barriers of Modular Method -

Park, Chan-Young¹, Kim Hyunjin¹, Won, Jin Woo¹, Jang, Woosik¹, Han, Seung-Heon*

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University

Abstract : Recently, The importance of modular construction method has increased by market environmental change. However, it's application in the actual project is restricted due to the lack of understanding of modularization and the absence of utilization system. To overcome this problem, this study propose the decision-making model for selecting modular or conventional (stick-built) construction method at early stage. First the needs of modular method in plant project is derived and the benefits and barriers of modular construction are analyzed through literature review. Based on this analysis, 6 decision-making factors covered project and modular characteristics are derived and the decision-making model is developed. Finally, 12 actual overseas project cases is evaluated by this model for verifying its applicability. This proposed model can provide the guideline to select the construction method in early stage for successful execution of plant project.

Keywords : Modular Construction, Benefits and Barriers of Modular, Decision-Making

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내·외의 건설 산업은 인프라, 주택, 빌딩 및 산업시설 등 여러 공종별로 성장과 침체를 반복하여 왔으나 최근 개발도상국을 중심으로 한 신규 건설 투자와 새로운 에너지원의 개발 및 해양(Off-shore)을 포함한 극지 개발 등으로 인하여 시장으로 옮겨가고 있는 상황이다. 특히 생산성 향상의 필요성과 함께 시장 환경 변화에 따른 극·오지 공사 수행의 필요성으로 인하여 플랜트 프로젝트에서의 모듈러 공법 적용이 확대 추세에 있다. 그러나 모듈러에 대한 실질적인 이해부족과 관련 시스템의 부재로 실제 프로젝트의 모듈러 공법 적용은 어려운 상황이다. 특히, 사업의 초기단계에 건설공법의 결

정이 이뤄지기 때문에 신시장에 대한 프로젝트의 수행 경험과 정보가 부족한 국내 건설기업들에게 모듈러 공법의 의사결정은 아직 어려운 과제로 남아있다. 따라서 본 연구에서는 (1) 건설 산업의 변화 추세의 하나로 최근 건설 산업의 주요 시장으로 인식되고 있는 플랜트 EPC 프로젝트에서 모듈러 공법의 필요성을 확인하고, (2) 모듈러 적용으로 인한 이점(Benefits)과 신공법 적용의 확대를 가로막는 장벽(Barriers)에 대한 분석을 기반으로, (3) 모듈러 특성을 고려한 의사결정 인자를 도출하여 모듈러 공법의 적용을 위한 의사결정 모델을 개발 하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

모듈러 공법 의사결정 모델을 개발하기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다(Fig. 1). 첫 번째로 관련 문헌을 분석하여 모듈러 공법의 필요성을 확인하고자 하였다. 두 번째로 모듈러 적용의 이점과 장벽에 대한 분석을 실시하였고, 이를 바탕으로 총 6개의 모듈러 공법 의사결정인자를 도출하였다. 이 6개의 인자는 프로젝트 및 모듈러 공법의 특성과 사업 초기단계 가용데이터를 고려하여 도출하였으며, 이를 통해

* Corresponding author: Han, Seung-Heon, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749 Korea
E-mail: shh6018@yonsei.ac.kr
Received November 23, 2015; revised April 6, 2016
accepted April 21, 2016

의사결정 모델을 개발하였다. 마지막으로 기 수행된 12개의 해외 플랜트 프로젝트를 대상으로 사례 분석을 진행하였으며, 이 결과를 바탕으로 모듈러 의사결정 모델 검증 및 적절성을 검토하였다.

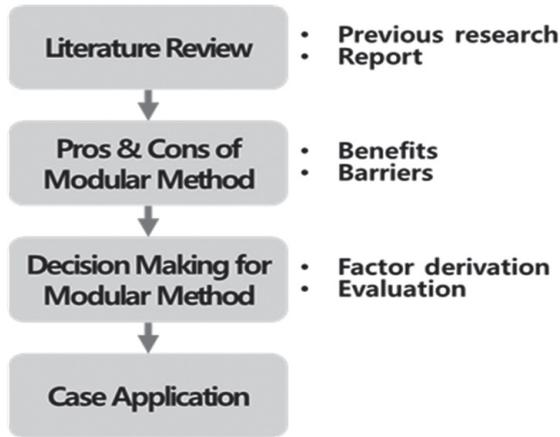


Fig. 1. Research Procedure

2. 기존 연구문헌 고찰

본 연구에서는 모듈러 공법의 필요성과 장단점을 분석하고, 플랜트 프로젝트 관점의 모듈러 공법 적용 의사결정 모델을 개발하기 위해 모듈러 공법 관련 국내·외 연구문헌 및 보고서에 대한 문헌고찰을 실시하였다.

2.1 모듈러 공법(Modular Construction)

모듈은 일련의 원격지(Off-Site)조립의 과정으로 이루어진 생산물을 말하며, 보통 시설물의 운송이 가능한 최대의 단위 또는 부분으로 모든 구조적 요소들과 마감재 그리고 공정상 필요한 부분품들로 구성된다. 이러한 모듈들은 사전 제작되거나 조립된 부분품들로 이루어지며 주로 공사 현장으로부터 먼 곳에서 만들어진다(Tatum et al., 1987). 모듈러 공법은 일반적으로 공장에서 장착되고 설비의 주요 구조적인 요소로서 현장에 전달되는 입체 또는 부피를 가지는 단위로 시공되는 방식을 말하며(Gibb & Pendlebury, 2005) 많은 인력과 장비들로 뭉치는 공사 현장으로부터 제어가 용이하고 생산성이 우수한 환경의 공장(Shop)으로 작업을 이동시키는 역할을 한다(Lapp & Golay, 1997). 현장에서 대부분의 시공이 이루어지는 기존의 현장 시공방식(On-Site, Stick-Built)과 달리 모듈러 공법은 플랜트 모듈을 공장에서 미리 제작(Pre-Fabrication)한 후 현장으로 이동(Transportation) 및 설치(Installation)의 과정을 거친다. 이에 따라 설계, 구매, 시공 3단계로 구분되던 기존의 현장 시공방식의 수행단계가 설계, 구매, 시공 및 제작(Fabrication), 운송(Transportation) 그리고 설치(Installation)의 5단계로 바뀌게 된다. 이때, 현장 외

부 공간에서의 모듈 사전 제작, 현장으로의 운송 및 설치와 같은 과정들이 모듈러 공법을 기존의 현장 시공 방식과 구분하는 요소이다(Li et al., 2013).

2.2 모듈러 공법의 특성과 장·단점

모듈러 공법의 특성과 장·단점을 파악하는 것은 모듈러 공법의 적용과 확대를 목표로 하고 있는 건설 산업의 관점에서 동기 부여와 방향성 제시라는 측면에서 매우 중요한 과정이다. 모듈러 공법은 건설 기업의 경쟁력 확보와 수익 향상이라는 양 측면에서 생산성을 향상 시켜 프로젝트 기간을 단축하는 획기적인 방식으로 대두되어 왔으며, 건설 프로젝트에서 모듈러 공법의 적용을 확대하고자 하는 많은 노력이 진행되어 왔다. 모듈러 공법은 시공성 향상 측면에서 공기를 단축시키는 방법이며, 설계와 시공 과정에서 기존 방식 대비 절감되는 비용은 15% 정도에 이르는 등 공기 단축 뿐 아니라 비용 절감 측면에서 매우 효과적인 공법이다(Tatum et al., 1987; Rogan et al., 2000; Lapp & Golay, 1997; Hwang et al., 2014; Kim et al., 2014). 특히 모듈러 공법의 적용은 설계와 시공 과정에서 일정 관리와 리소스 활용에 대한 접근 방식의 다양성(Variety)과 유연성(Flexibility)을 통해 프로젝트의 공기 단축과 비용 절감 효과를 극대화 할 수 있다(Alshayeb, 2011). 또한 모듈러 공법은 석유화학 및 Oil & Gas 플랜트 프로젝트에 적용 가능한 실용적이고 경제적인 건설 기술이며, 플랜트 프로젝트 특성에 따라 제한된 현장 공간, 불리하고 용환경과 높은 임금, 현지 노동력의 낮은 수준, 원격지의 현장 그리고 열악한 자연 환경 등의 상황에서 모듈러 공법의 이점이 더욱 극대화된다(Zaheer & Ronald, 2012). 그러나 모듈러 공법의 적용 및 확대를 저해하는 장벽이 있어 실제 프로젝트에서 모듈러 공법을 적용하기는 쉽지 않다. 모듈러 공법의 적용의 제한요인과 장벽으로 제작비용의 증가와 운송 수단을 기반으로 하는 크기의 제한 그리고 CAM (Computer Aided Manufacture)의 비유연성 등이 있다(Schoenhom, 2012). 특히, 신기술의 적용을 가로막는 다양한 요인들 중 비용과 관련한 요인이 가장 중요하게 인식되고 있으며 이러한 장벽은 Contractor 보다는 Client가, 중소기업 보다는 대기업에서, 그리고 신기술 적용의 경험이 있는 경우 덜 심각하게 받아들이고 있다는 연구 결과를 도출하였다(Rahman, 2013).

2.3 모듈러 프로젝트의 의사 결정

건설 프로젝트를 수행함에 있어 가장 중요한 관심사는 최단의 공기와 최소의 비용, 그리고 최선의 품질 수준을 달성하는 것이다. 이러한 관점에서 프로젝트 초기 단계에 프로젝트 특성과 수행 환경에 적합한 프로젝트 시공 방식을 결정하는 것은 성과 향상에 매우 중요한 요인으로 작용한다. 특히 기존의 시공방식과 대비하여 현장 이외에 모듈 제작과 운송

과 같은 별도의 프로세스가 추가되는 모듈러 공법은 의사 결정 과정의 과정에서 기존의 방식에서 보다 더 많은 고려사항과 치밀한 예측이 이루어지게 된다. 따라서 개별적인 프로젝트의 특성과 환경 조건을 고려함에 있어 모듈러 공법이 가지는 전형적인 특성을 명확하게 이해하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 기존에는 프로젝트 상품 특성에 따라 모듈러 의사 결정 요인을 도출하는 다양한 연구가 진행되었다. 석유화학 플랜트와 발전 플랜트 건설 프로젝트 관점에서 모듈러 공법의 적용 여부를 결정하기 위하여 프로젝트 성과에 대한 영향 요인을 7개 분류로 구분하여, 지식 기반 시스템을 활용한 타당성 분석 방법을 제시하였다(Murtaza et al., 1993). Azhar et al. (2012)은 상업용 건물 시공에 적합한 공법선정을 위한 핵심 의사 결정 요인을 13가지로 분류하여 각각에 대한 고려 사항들을 3점척도로 평가하여 실제 프로젝트에서 의사결정 과정에 도움이 되도록 가이드를 제시하였다. 한편 Elnaas et al. (2014)은 주택 건설 프로젝트에서 시공전략으로써 프로젝트 초기 단계에 OSM (Off-site Manufacturing)을 선택하는 과정의 핵심 의사결정 요인을 기술, 경제, 환경, 조직, 사회적 관점의 5가지 동인(Drivers)으로 나누어 도출하였다. Choi & James (2014)는 CII (Construction Industry Institute) Report (2013)에서 열거한 21개 핵심성공요인에 대한 평균적인 달성확률과 각 핵심성공요인별 달성 정도와 시기 등을 분석하여 달성 난이도가 높은 사항에 대한 초기 관리로 모듈러 적용 성과를 향상시키는 방안을 제시하였다. 문헌 고찰 결과 기존에 수행되었던 대부분의 연구들은 모듈러 프로젝트의 성과에 초점을 두고 진행되었던 반면, 플랜트 프로젝트 특성에 기반한 의사결정 관련 연구는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 모듈러 적용으로 인한 이점과 신공법 적용의 확대를 가로막는 장벽에 대한 이해를 바탕으로 플랜트 프로젝트 관점의 모듈러 적용을 위한 의사결정 모델을 개발하고자 한다.

3. 모듈러 공법의 필요성과 장 · 단점

3.1 모듈러 공법 필요성

3.1.1 생산성 향상

최근 국내기업이 해외건설, 특히 플랜트 시장에서의 수주 확대 및 질적성장을 목표로 하고 있는 상황에서 공기의 준수와 수익성의 확보를 위한 노동생산성의 향상은 매우 중요한 요인으로 대두되고 있다. EU KLEMS Growth and Productivity Accounts가 발표한 자료에 따르면 GVA (Gross Value Add)/work hour 기준 한국 건설업의 노동생산성(Labor Productivity)은 1995년을 100으로 봤을 때 2007년 125로 조사 되어 완만한 상승추세를 보이고는 있으나 타 산업, 특히 가파른 상승추세를 보이는 제조업과 비교하면 과거

대비 큰 발전을 이루지 못하고 있다. 선진국인 미국의 경우에도 건설업은 제조업의 절반에도 못 미치는 노동 생산성 수준을 보이고 있으며, 특히 건설 노동인력의 인건비가 지속적으로 상승하여 투입비용 대비 부가가치의 생산력은 감소하고 있는 추세를 보인다. 열악한 현장 작업에서 비롯된 생산성 저하와 인건비 상승과 같은 문제들을 극복하기 위해서 자동화, 기계화된 제작 장비와 숙련된 노동력 활용이 가능하며, 불가항력적인 환경 요인으로부터 비교적 자유로운 모듈러 공법의 적용을 적극적으로 고려해야 할 필요성이 있다.

3.1.2 상품 · 시장의 변화

최근 유가의 하락으로 산유국을 중심으로 한 신규 투자의 부진과 전 세계적인 불황에 기인한 석유화학 제품의 수요 감소 등으로 인하여 플랜트 시장의 주된 흐름이 중동지역의 원유정제(Refinery) 및 해양(Off-Shore) 플랜트에서 액화천연가스 및 특정 석유화학 플랜트 등의 타 분야로 이동하고 있다. 특히, 액화천연가스시장과 셰일가스·오일샌드 등 비전통 에너지 시장 및 일부 석유화학 플랜트 시장이 점차 커지고 있는 추세이다. 해양의 액화천연가스 채굴을 위한 해상 플랫폼의 상부 플랜트(Topside)나 채굴된 가스를 육상으로 운반하는 해저 파이프라인의 시공에 모듈러 공법은 필수적인 주요 기술로서 다루어진다. 이와 같은 해양시설(Offshore facilities)은 물론이고 캐나다, 베네수엘라 등을 중심으로 한 오일샌드의 생산 환경 역시 극·오지 공사의 전형적인 특성을 가지고 있어 프로젝트의 수익성 확보를 위하여 현장 시공을 최소화 하는 모듈러 공법의 필요성이 더욱 대두되고 있다.

3.1.3 발주자의 요구

자원의 채굴 및 판매의 손익이 유가에 의해 좌우되는 비전통 에너지의 특성에 따라 발주자들은 짧은 기간 내에 투자비의 회수와 수익의 확보를 원하고 있다. 특히 세계 오일샌드의 약 81%의 매장량을 보유하고 있는 캐나다 앨버타는 모듈러 공법에 대한 실제 공사 가능일수가 매우 부족한 환경에서 더 짧은 공기 내에 플랜트를 완공하기 위해 현장 시공을 최소화하고 현장 작업과 병행하여 공장(Fabrication Shop)작업이 가능한 모듈러 공법에 대한 발주자의 요구가 증대되고 있다.

3.2 모듈러 공법 적용의 이점 및 장벽

모듈러 공법은 많은 이점들을 가지고 있지만 설계, 산업, 문화, 사회 경제, 금융 분야와 같은 내·외부적인 장애요인들로부터 도전을 받게 된다(Li et al., 2013). 따라서 모듈러 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위해서 모듈러 공법의 이점과 이를 방해하는 장애요인에 대한 정확한 이해가 필요하다.

3.2.1 이점

글로벌 금융위기와 유가 하락 등에 의한 발주량 감소로 수

주 경쟁이 치열해지고 있는 상황에서 모듈러 공법을 단순히 이를 극복하기 위한 대안적인 신기술로 인식하기에는 프로젝트 성공에 직결되는 이점이 매우 많다. 호주의 글로벌 전문 건설기업인 Worley Parsons는 모듈러 공법의 이점으로 향상된 안전성, 현장과 공장의 병렬작업에 따른 공기단축, 현장 작업의 최소화, 현장 인력 소요의 감소, 현장 숙소 비용의 절감, 공장의 높은 생산성, 날씨와 관련된 공사 지연의 최소화, 인력 조달시장의 확대, 제어 가능한 공간에서의 작업에 따른 품질의 향상, 인허가의 유리함, 현장 환경오염의 감소, 단순화된 기초 작업, 현장 리스크의 감소 등을 꼽았다.

1) 비용측면의 이점

모듈러 공법은 날씨 등 주변 환경의 영향을 받게 되는 현장 시공 작업(Man-Hours)을 유리한 환경의 공장작업으로 전환 시킴으로 비용적 이점을 가져온다. Table 1. 은 모듈러 공법의 적용에 따른 비용 상승요인과 하락 요인을 정리한 것이다. 모듈러 공법의 특성에 따라 프로젝트 초기 단계에 불충분한 데이터를 활용한 설계가 진행되어야 하므로 초기 설계의 양적 증가와 모듈 공법에서 추가되는 운송과 설치단계의 비용 등이 비용 상승 요인으로 작용한다. 그러나 현장 작업시간의 감소, 생산성의 향상과 같은 비용 하락 요인의 효과가 상승 요인의 효과보다 더 크기 때문에 전체공사비용의 절감을 기대할 수 있다.

Table 1. Cost benefits of modularization

Increasing Factors	Decreasing Factors
Steel frame cost Transportation cost Module installation cost Design cost	Utilization of fabrication shop worker Improvement of productivity (Weather, Flexible workforce, Site accessibility) Reduction of indirect cost by materials decrease and duration shortening Positive NPV(Net Present Value)

2) 일정측면의 이점

모듈러 공법은 현장 시공을 최소화하고 이를 양호한 환경의 공장으로 이전시킴으로써 작업 가능한 시간을 최대화 하고, 관리자의 통제 하에서 숙련된 작업자에 의해 공장작업이 수행되기 때문에 시공 오류나 재작업의 위험성을 감소시킨다. 또한 넓어진 현장 작업 공간에서 다른 공정과의 간섭(interface)이 최소화된 상태로 병렬 작업이 가능하여 물리적인 작업 시간의 감소와 함께 생산성 향상으로 인한 공기 단축 효과를 얻을 수 있다. 이외에도 모듈러 공법의 공장 제작 프로세스의 표준화와 반복 작업 수행, 모듈 유닛의 조기 설계확정 등을 통해 공기 단축 효과를 얻을 수 있다. Fig 2. 는 현장 조성과 기초 공사 기간 중에 Off-Site(공장)에서 병렬적으로 이루어지는 구조물의 제작으로 인한 전체 공사기간의 단축 효과를 보여주고 있다.

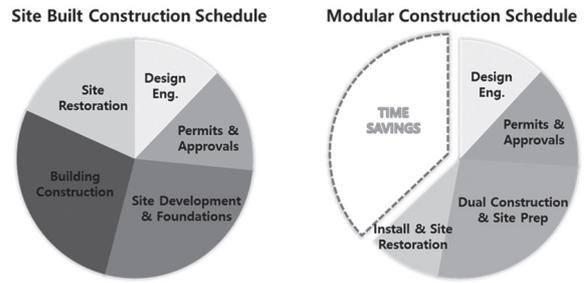


Fig. 2. Time saving of modular construction (Permanent modular construction, 2013)

3) 안전측면의 이점

최근 30년간 고용노동부의 건설업자와 제조업자의 사망률 통계를 분석하면, 외부환경에 영향을 받는 현장(Site) 작업이 주로 진행되는 건설업의 작업자들의 사망률이 일반적으로 안전한 공장 내 작업이 대부분인 제조업자의 사망률보다 더 높은 것을 확인할 수 있다(Fig. 3). 이러한 결과는 공장작업이 현장작업에 비해 외부환경의 불확실성으로부터 자유로워 상대적으로 안전한 환경이 조성되기 때문이다.

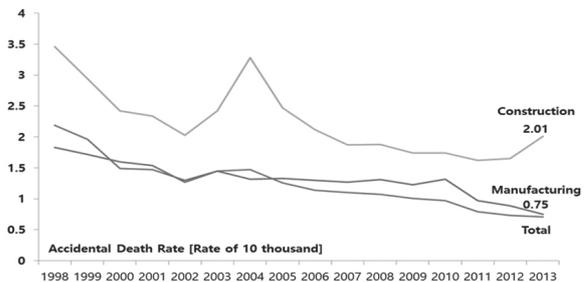


Fig. 3. Comparison of accident rate between construction and manufacturing (Ministry of employment and labor, 2014)

모듈러 공법은 급변하는 열악한 날씨와 낙하, 화상, 감전 등의 위험한 작업이 빈번한 현장에서의 작업이 최소화되고 양호한 환경의 공장작업이 증가함에 따라 시공 과정의 안전성 확보가 가능하다.

3.2.2 장벽

모듈화의 필요성과 다양한 이점에도 불구하고 실제 플랜트 프로젝트에서 모듈러 공법을 적용하기는 쉽지 않다. 이는 모듈러 공법의 적용 및 확대를 저해하는 장벽이 존재하기 때문이다. 최근까지 이러한 장벽에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으나 모듈화를 통하여 얻을 수 있는 이점들과 장벽들은 거의 모든 연구들에서 비슷한 결과들만을 도출하고 있다. 건설 비즈니스 영역의 의사결정자들은 보다 실질적인 질문에 관심을 가지고 있으며, 이는 플랜트 건설 프로젝트에서 모듈러 공법의 적용 범위, 목표성과 달성을 방해하는 요인, 핵심관리요인 등에 관한 것이다. 적절한 적용 범위를 선정해야 하는 이

유는 모듈러 공법 적용이 앞서 언급한 이점에 상응하는 장애물(Barrier)을 가지고 있기 때문이다. Lapp and Golay (1997)은 모듈러 공법의 적용이 프로젝트의 초기 비용을 증가시키는 결과를 낳을 것이라고 지적하였다. 이는 모듈러 제작을 위하여 정해진 기간 내에 일정 설계 수준에 도달하기 위하여 초기 설계 단계에 많은 비용을 투입해야 하기 때문이다. 이와 같은 비용적 제약 외에도 CII (2013)은 모듈러 공법 적용의 장벽으로써 설계/제작 및 조달/물류 및 운송/설치/전문성 및 문화적 제약 등을 꼽고 있다. 이와 같은 제약조건 모듈러 공법 적용의 확대를 방해하는 장애 요인이면서 동시에 프로젝트 수행 시에는 다양한 리스크를 촉발하는 주된 원인으로 작용한다. 예를 들어 설계적 제약조건이 가지는 속성을 살펴보면 재래의 현장 시공 중심의 프로젝트에 비하여 초기단계에서 더 면밀한 기획작업을 요구하며 제작된 모듈의 선적과 운송, 현장 설치 등에 대한 더 많은 기술적 고려사항들을 필요로 한다. 여기에서 참여자들 간의 적절한 시간에 이루어지는 정확한 정보의 교환이 부족한 경우 모듈에 설치되는 기기의 오류나 재작업으로 인한 제작 납기의 지연, 운송 장비나 환경에 대한 설계 반영 미흡으로 인한 모듈 구조물의 파손 등과 같은 치명적인 결과를 초래할 수 있다.

3.2.3 모듈러 공법의 장 · 단점

앞에서 분석한 이점과 장벽들을 기반으로 모듈러 공법의 장 · 단점을 도출하였으며, 공사비, 일정, 품질, 운송, 현장시공, 리스크 총 6가지 측면으로 구분하여 Table 2와 같이 정리하였다. 공사비 측면에서 모듈러 공법의 적용은 제작장에서 생산성 향상 및 현장 시공 일정 감소를 통한 전체공사비와 품질 및 감독비용 감소 측면에서 장점을 가지고 있다. 그러나 기존 방식에 비해 초기 단계의 설계비용 및 일정이 증가하게 되며, 운송 및 특수 설치비용 역시 큰 폭으로 증가하게 된다. 일정 측면에서는 현장 시공분 감소로 인한 현장 공사 작업 시간이 감소하게 되며, 현장 작업 일정에 따른 불필요한 간접비 발생을 줄일 수 있다. 반면에 공정 간 선 · 후행 관계의 명확성 및 상호연관성이 높아져, 스케줄 계획이 매우 복잡해지는 측면이 있다. 품질 측면에서는 통제 가능한 환경에서 작업이 이루어지기 때문에 품질 관리가 용이하며, 전문 지식의 적용이 비교적 용이한 측면이 있다. 운송 측면에서는 현장으로 운송되는 자재 및 장비의 총량이 감소하여 야적장 확보 등 현장 관리가 용이하다는 장점이 있으나, 구매 · 조달 프로세스는 더욱 복잡해지게 되며, 특별한 운송 방식을 필요로 하여 비용 역시 크게 증가하게 된다. 현장시공 측면에서는 작업 공간 및 야적 공간이 최소로 필요하게 되며, 인력 부족 등의 문제가 감소한다는 장점이 있으나, 설치를 위한 전문 인력이 요구된다. 리스크 측면에서는 현장 작업의 불확실성 및 그로 인한 리스크가 감소하지만, 운송 및 설치 작업에서 새로운 리스

크들이 존재하게 된다. 다음 장에서는 위에서 살펴본 모듈러 공법의 장점 및 단점에 영향을 주는 프로젝트 특성 및 모듈러 공법의 특성에 대한 고려를 통해 의사결정 요인을 도출하고자 한다.

Table 2. Pros and cons of modular method

	Pros	Cons
Cost	Decrease of Construction cost Decrease of Quality and supervision cost	Increase of preliminary design and cost schedule Increase of special Material cost Increase of transportation and installation cost
Schedule	Decrease of installation time Miss-outs minimize	Decrease of Space efficiency benefit Complicated schedule Increase of interdependence
Quality	Controllable environment Availability of expertise increment	-
Logistics	Decrease of delivery material Controllable site	Complicated delivery Increase of dependence of transportation
Onsite Work	Minimization of required space Decrease of labor problem	Required installation workers
Risk	Decrease of site risk Predictable work	Increase of transportation & installation risk

4. 의사결정 모델 개발 및 검증

플랜트 프로젝트를 수행하는데 있어서 적절한 시공방식의 선택은 프로젝트의 최종성과에 직접적으로 영향을 미친다. 일반적으로 플랜트 건설 프로젝트에서 모듈러 공법 적용의 동인(Drivers)으로 접근이 어려운 현장, 인력 및 기자재 등 자원조달의 어려움, 극한의 날씨, 숙련된 노동력의 부족, 인프라 환경, 계약 조건, 강성 노조의 존재, 높은 인건비, 짧은 공기와 안전 환경 그리고 지역 사회의 영향 등을 들 수 있다. 이는 결국 사업 초기 단계에서 얻을 수 있는 개략적인 정보만을 가지고 시공방식의 결정이 이루어져야함을 말한다. 현재 사업초기단계의 건설공법 결정은 대부분 경험이나 주관적 판단에 의해 이뤄진다. 또한 앞 장에서 보았듯이, 플랜트 프로젝트에서 모듈러 공법의 적용은 많은 이점을 가지고 오는 반면 이와 상반되는 장벽들이 존재하기 때문에 이를 고려하지 않은 모듈러 적용은 역효과를 가지고 올 수 있다. 특히 신시장의 프로젝트의 수행 경험과 정보가 부족한 국내 건설기업들의 실정 상 모듈러 공법의 적용은 더욱 어렵게 받아들여지고 있으며, 같은 공종이라 할지라도 프로젝트의 특성에 따라 효과가 달라지기 때문에 모듈러 공법 선택에 신중한 의사결정이 필요하다.

4.1 모듈러 공법 의사결정 요인 도출

성공적인 모듈러 공법의 수행을 위해서는 모듈러 공법을

적용함으로써 얻는 장점은 최대화하고 단점은 최소화하는 방향으로 사업 수행이 진행되어야 하며, 이러한 모듈러 공법의 특성이 프로젝트 특성과 함께 사업초기에 반영되어 의사결정이 진행되어야 한다.

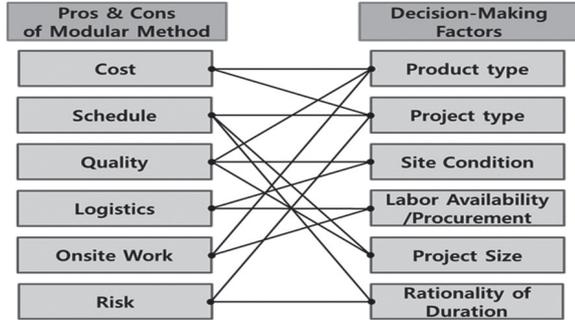


Fig. 5. Relationship between pros & cons of modular method and decision-making factors

앞서 분석한 모듈러 공법의 장·단점을 기반으로 사업 초기 단계에 적용한 정보를 고려하여 총 6개의 모듈러 공법 의사결정 요인을 도출하였다(Fig. 5). 도출된 6개의 의사결정 요인은 상품 종류, 사업 형태, 현장 여건/환경, 인력/조달, 사업규모, 공기합리성으로 구성된다. 상품별 특성에 따라 모듈의 설계, 모듈화 비율, 필요 기자재, 전체적인 공사의 난이도 등이 변화하며 이는 전체프로젝트의 비용과 일정에 영향을 미친다. 결국 상품의 종류에 따라 비용과 일정 측면에서 모듈러 공법 적용의 고려가 필요하다. 고도화 및 확장사업은 신규 사업과 달리 공사일정, 현장 공간, 작업 간 간섭 등이 최소화되어 공사가 진행되어야 한다. 결국 사업 유형관점에서는 모듈러 공법의 적용은 일정과 현장시공의 이점을 극대화하는 방향으로 고려되어야 한다. 현장 여건/환경 측면에서는 극한의 환경은 현장인력 비용의 증가, 작업가능시간의 한계 등으로 모듈러 공법의 필요성을 증가시킨다. 결국 모듈러 공법의 적용은 비용과 품질, 현장 시공 감소 측면의 이점을 통해 이러한 어려움을 극복 할 수 있게 한다. 인력/조달 측면에서는 극한지 혹은 격오지에서 프로젝트가 수행될 때, 현장 인력이나 자재 등 자원 조달의 어려움이 상대적으로 증가하여 모듈러 공사의 필요성이 높아진다. 사업규모 측면에서는 프로젝트의 규모가 커지고 복잡성이 증가할수록 모듈러 공법 적용을 통한 공정간 동시 수행으로 공기, 품질 측면의 효과를 극대화할 수 있다. 마지막으로 공기합리성 측면에서는 프로젝트 공기의 요구 수준이タイト할수록 모듈러 공법 적용은 현장과 공장의 병렬시공으로 인한 공기단축의 효과를 극대화하여 결국 일정과 리스크 측면에 영향을 준다.

4.2 모듈러 공법 의사결정 모델

본 논문의 모듈러 공법 의사결정 모델은 앞서 도출한 총 6가지 요인을 의사결정 모델의 변수로 사용하여 각각의 변수

들을 평가하고 이를 정량화하여 모듈러 적합도 점수를 제시한다. 제시된 모듈러 적합도 점수를 통해 모듈러 공법의 적용 여부 의사결정을 지원하게 된다. 의사결정 모델의 변수로 사용되는 6가지의 요인을 통해 프로젝트 특성 및 모듈러 공법의 특성을 반영하였다. 각 요인들은 사업초기 단계에서 가용할 수 있는 정보수준을 고려하여 Table 3과 같이 평가기준을 설정하였다. 모듈러 공법 의사결정을 위하여 각 요인은 사업수행 이전에 전문가에 의해 평가 받게 된다. 평가 방식은 초기 단계 가용 정보의 정확성 및 신뢰성 수준을 반영하여 3점 리커트 척도를 활용하였다. 각 요인에 대한 점수를 합산한 총점이 높을수록 모듈러 공법 적용이 적합한 프로젝트임을 의미한다.

Table 3. Decision making factor & evaluation standard based on the characteristics of modular

Factor	Evaluation Standard	
Product Type	Oil/Gas	3
	Power	2
	Environmental / Water-treatment	1
Project Type	Advanced	3
	Extension	2
	New business	1
Site Condition	High/Low Temperature	3
	Normal Temperature	2
	Optimum Temperature	1
Labor availability /Procurement	Low Accessibility	3
	Medium Accessibility	2
	High Accessibility	1
Project size	Large	3
	Medium	2
	Small	1
Rationality of Duration	Minimum	3
	Normal	2
	Maximum	1

4.3 모듈러 공법 의사결정 모델 적용

모듈러 공법 의사결정 요인과 모델을 검증하기 위해, 국내 건설 업체가 수행했던 12개의 해외 플랜트 프로젝트를 대상으로 사례적용을 실시하였다(Table 4). 해당 프로젝트는 모두 기존 방식(Stick-Built)을 통해 완료 되었으나, 본 연구에서 제시된 의사결정 요인과 평가기준을 이용하여 사례분석을 실시하였다. 사례검증을 통해 확인하고자 하는 목표는 크게 (1) 적용 공법의 적합성, (2) 적합성에 따른 수익률 편차 두 가지이다. 위의 두 가지 사항을 확인하기 위하여 본 연구에서는 선정된 12개 프로젝트를 직접 수행한 평균 경력 17년의 전문가 3인을 대상으로 모듈러 공법 의사결정 요인에 대한 평가를 실시하였으며, 평가점수와 해당 프로젝트의 수익률을 이용하여 비교 분석이 이루어졌다. 분석결과 총 12개 중 4개

Table 4. Project application results

No.	Country	Product	Project Type	Site Condition	Labor/Procurement	Project Size	Duration	Recommendation
1	Kuwait	Environmental / Watertreatment	New	Optimum	High	Medium	Maximum	Stick-Built
2	Thailand	Petro-Chemical	New	Normal	High	Small	Maximum	
3	Thailand	Petro-Chemical	New	Normal	High	Medium	Maximum	
4	Thailand	Oil/Gas	New	Normal	High	Medium	Maximum	
5	Qatar	Oil/Gas	New	Optimum	High	Medium	Maximum	
6	Oman	Petro-Chemical	New	Normal	Medium	Medium	Normal	
7	Saudi	Environmental / Watertreatment	New	High/Low	High	Medium	Maximum	
8	Qatar	Power	New	Optimum	High	Large	Maximum	
9	Qatar	Oil/Gas	New	Optimum	Low	Medium	Minimum	Modular
10	Oman	Petro-Chemical	New	Normal	Low	Large	Minimum	
11	Saudi	Petro-Chemical	New	High/Low	High	Large	Maximum	
12	Saudi	Petro-Chemical	New	High/Low	Medium	Small	Normal	

의 프로젝트에 모듈러 방식 적용이 더 적합한 것으로 확인되었다. 또한, 기존 방식이 추천된(추천/수행방식이 같은) 프로젝트에(총 8개) 비해, 모듈러 방식이 추천된(추천/수행 방식이 다른) 프로젝트들의(총 4개) 평균수익률이 15% 정도 낮게 나타났다. Table 5와 같은 분석 결과를 토대로 본 연구에서는 적용된 공법의 적합성에 따라 해당 프로젝트 수익률이 차이가 나는 것을 확인 할 수 있었으며, 결론적으로 프로젝트 특성에 맞는 공법 선정이 프로젝트 성과에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Analysis results of decision-making model

Case	Model Application Result		Yield to Average (be compared with Stick-built)	
	Modular	Stick-built	modular	Stick-built
12 Projects	4	8	0.85	1

5. 결론

본 연구는 시장 환경 변화에 따라 해외 플랜트 프로젝트 시장에서의 모듈러 공법의 필요성이 증가하고 있는 상황에서 사업 초기단계에 프로젝트 건설 공법의 결정을 지원할 수 있는 의사결정 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위해 관련 문헌 분석을 진행하여 모듈러공법의 장·단점을 분석하였고 이를 토대로 사업초기단계에 얻을 수 있는 의사결정 인자 6개를 도출하여, 의사결정 모델을 개발하였다. 이후 12건의 기 수행된 프로젝트의 사례검증을 실시함으로 의사결정 모델의 적절성을 확인하였다. 제시된 모델은 모듈러 적용으로 인한 이점(Benefits)과 적용의 확대를 가로막는 장벽(Barriers)에 대한 이해를 바탕으로 프로젝트 및 모듈러 특성을 구분하고 이를 의사결정에 반영하였다는 점에서 의의가 있다. 또한, 기존에

부족했던 EPC 건설기업의 전략적인 측면에서 모듈러 공법의 의사결정에 대한 연구를 수행하였다. 그러나, 본 연구는 다음과 같은 한계점 역시 지니고 있다.

첫째, 본 모델의 검증에 사용한 프로젝트 사례의 건설공법이 모두 기존 방식(Stick-built)으로 수행되었으며, 그 수 또한 부족하여 통계적 신뢰성을 확보하는 수준의 연구가 진행되지 못하였다. 후속 연구에서는 모듈러 방식으로 수행된 해외 프로젝트 사례의 추가를 통해 요인 및 평가 방식의 적정성 등 신뢰성 확보가 필요하다. 둘째, 프로젝트의 성과가 온전히 시공방식(Stick-Built or Modular)에 의한 영향만으로 결정되는 것은 아니며, 따라서 본 연구에서 사례검증으로 제시한 수익률의 편차 역시 다른 요인들에 의해 변화할 수 있다. 추후 연구에서는 이러한 영향을 줄이기 위한 독립성 확보가 우선되어야 할 것이다. 마지막으로 동일한 상황과 조건 속에서 모듈러 방식과 기존 방식(Stick-built)을 비교하여야하나 현실적인 한계로 가정을 통한 수익률의 비교 분석을 통해 검증이 이루어졌다. 이러한 한계를 극복하기 위해 차후 연구에서는 수익률 이외에도 다른 성과항목들을 추가로 비교하여 모델의 타당성 확보를 위한 노력이 필요할 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제시하고 있는 의사결정 모델은 사업 초기 단계에서 가지고 모듈러 적용 가능성을 1차적으로 평가하였다는 점에서 기획 단계에서 플랜트 프로젝트의 모듈러 공법 적용을 고려하는 하나의 도구로서 활용이 가능할 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2015R1A2A1A09007327).

References

- Azhar, S., Lukkad, M., and Ahmad, I. (2012). "Modular v. stick-built construction: Identification of critical decision-making factors." In Proceedings of the 48th Annual Conference of Associated Schools of Construction, Birmingham, UK.
- Choi, J. O., and O'Connor, J. T. (2014). "Modularization Critical Success Factors Accomplishment: Learning from Case Studies." *Proceeding of Construction Research Congress 2014 : Construction in a Global Network*, ASCE, pp. 1636-1645.
- Construction Industry Institute (CII). (2013). "SPC", 47th ASC Annual International Conference Proceedings.
- Elnaas, H., Gidado, K., and Ashton, P. (2014). "Factors and drivers effecting the decision of using off-site manufacturing (OSM) systems in house building industry." *Journal of Engineering Project and Production Management*, 4(1), pp. 51-58.
- Gibb, A. and Pendlebury M. (2005). *Glossary of Terms. Buildoffsite: Prompting Construction offsite*, London.
- Hwang, J., Choi, S., Lee, J., and Kim, Y. (2014). "Development of Bill Service Framework for Modular Housing Construction" *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(5), pp. 138-146.
- Joseph M. Schoenborn (2012). "A Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to design innovation for modular construction." Thesis of M,S. VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE.
- Kim, D., Lee, J., Kim, J., and Kim, J. (2014). "Marketing Strategy and Influential Factors based on the Attribute of Unit Modular System." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(1), pp. 78-86.
- Lapp, C. W., and Golay, M. W. (1997). "Modular design and construction techniques for nuclear power plants." *Nuclear Engineering and Design*, 172(3), pp. 327-349.
- Li, H. X., Al-Hussein, M., Lei, Z., and Ajweh, Z. (2013). "Risk identification and assessment of modular construction utilizing fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and simulation." *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(12), pp. 1184-1195.
- Mohammed Jawad Alshayeb (2011). "Lean Production Using Modular Construction Study of The ABC Company's Projects." Thesis of M.S. The University of Kansas.
- Murtaza, M. B., Fisher, D. J., and Skibniewski, M. J. (1993). "Knowledge-based approach to modular construction decision support." *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(1), pp. 115-130.
- Rahman, M. M. (2013). "Barriers of Implementing Modern Methods of Construction." *Journal of Management in Engineering*, 30(1), pp. 69-77.
- Rogan, A. L., Lawson, R. M., and Bates-Brkljac, N. (2000). "Value and benefits assessment of modular construction." The Steel Construction Institute, Ascot.
- Tatum, C. B., Vanegas, J.A., and Williams, J. M. (1987). "Constructability Improvement using Prefabrication" Pre-assembly and Modularization, Technical Report 297, Austin: Construction Industry Institute.
- Zaheer I. Malik, and Ronald D. KEY (2012). *Modularization*, Linde BOC Process Plants LLC.

요약 : 최근 생산성 향상의 필요성과 함께 시장 환경 변화에 따른 극오지 및 격오지 공사 수행의 필요성으로 인하여 플랜트 프로젝트에서의 모듈러 공법 적용이 확대 추세에 있다. 그러나 모듈러에 대한 실질적인 이해부족과 관련 시스템의 부재로 실제 프로젝트의 모듈러 공법 적용은 어려운 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 사업 초기단계에 프로젝트의 시공 방식(Stick-Built, Modular) 결정을 지원할 수 있는 의사결정 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위해 모듈러 적용의 이점과 장벽에 대한 분석을 실시하였고, 프로젝트 및 모듈러 공법의 특성과 사업초기단계 가용데이터를 고려하여 총 6개의 모듈러 공법 의사결정인자를 이용하는 의사결정 지원 모델을 개발하였다. 본 연구에서 제시하고 있는 의사결정 모델은 사업 초기 단계에서 가지고 모듈러 적용 가능성을 1차적으로 평가하였다는 점에서 기획 단계에서 플랜트 프로젝트의 모듈러 공법 적용을 고려하는 하나의 도구로써 활용이 가능할 것이라 판단된다.

키워드 : 모듈러 공법, 모듈러 공법의 장·단점, 의사결정