

다중매트릭스 분석기법을 통한 모듈러 건축의 최적 운송장비 선정 의사결정지원 모델

이현정¹ · 이주성² · 임지택^{3*}

¹한양대학교 일반대학원 건축시스템공학과 석사과정 · ²한양대학교 에리카 건설구조물내구성혁신연구센터 연구교수 · ³한양대학교 에리카 건축학부 교수

Decision Making Model Using Multiple Matrix Analysis for Optimum Transportation Equipment Selection of Modular Construction

Lee, HyunJeong¹, Lee, JooSung², Lim, Jitaek^{3*}

¹Master's Course, Department of Architectural System Engineering, Hanyang University ERICA

²Research Professor, Innovative Durable Building and Infrastructure Research Center, Hanyang University ERICA

³Professor, Department of Architecture and Architectural Engineering, Hanyang University ERICA

Abstract : Modular architecture is very important not only in the design phase but also in the construction planning phase because it affects construction methods and module sizes depending on transport equipment. There are economic risks as well as quality, as there may be defects such as internal interiors or elimination of deadlines during transportation, and structural torsion caused by rainfall and shock. However, there is a lack of objective criteria or data to refer to in determining transport equipment that has a material effect on transport. Accordingly, there is no decision model to determine the optimum transportation equipment for each construction site. Therefore, it is necessary to develop a decision support model that can be compared to the review of transport equipment selection factors. The purpose of this study is to propose the transport equipment impact factors and decision support models for systematic review and objective decision making of each construction plan in the construction of small and medium-sized modulators. The decision model proposed in this study can be used as basic data for transport studies, ensuring objectivity and transparency in the equipment selection process.

Keywords : Multiple Matrix, Modular, Transportation, Decision Making

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업은 타 산업 평균 30% 정도 낮은 생산성을 기록하고 있다. 또한, 1995년부터 2014년까지 전 세계의 제조업 생산성은 연평균 3.6% 성장추세를 보이나, 건설산업은 동일 기간 1% 증가에 그쳤다(Mckinsey, 2014). 특히 한국 건설업의 노동생산성은 선진국의 30% 수준에 불과하다. 건설 산업의 노동생산성이 떨어지는 원인으로는 비숙련 외국인 노동자의 증가에 따른 품질 저하, 건설자동화의 현장적용 미흡 등이 있으며 이에 따라 생산성 성장률은 지속적으로 낮아지

는 추세를 보이고 있다(Park, 2018). 이 밖에도, 지구온난화로 인한 전 세계 이산화탄소 배출저감 압력과 이로 인한 친환경 건설 관련 법, 제도 등이 구비되고 있어, 건설 생산성을 저하시키는 원인으로 작용하고 있다(Kim et al., 2013).

건설 산업에서 생산성을 향상하고, 건설 산업이 직면한 문제해결을 위해 현장중심의 건설에서 탈피한 새로운 건설공법의 적용과 친환경적인 건축시스템의 요구가 증대되고 있으며(Lee et al., 2012). 여러 문제점을 해결 할 방안의 하나로 모듈러 공법의 중요성이 증대되고 있다. 모듈러 방식의 건설 공사는 공장에서 미리 가공이나 조립된 부재를 현장으로 운송해 시공하는 공법으로 이는 모듈러 건축이나 공장제작 건축을 포함한다(Kim, 2011). 모듈러 공법은 단위 모듈을 제작하여 조립하기 때문에 양질의 품질, 공기단축을 통한 생산성의 향상과 자재의 재활용을 통한 자원절약이 가능하다(Kim, 2011).

국내에서도 우수한 품질확보와 빠른 공기를 확보할 수 있

* **Corresponding author:** Lim, Jitaek, Department of Architecture and Architectural Engineering, Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea
E-mail: slarc@hanmail.net

Received September 8, 2019; **revised** September 15, 2020

accepted September 24, 2020

는 장점을 바탕으로 모듈러건축이 확산되어 2000년대 초 부터 현재는 학교, 기숙사, 호텔 등 여러 분야에 적용되어 왔다(Kim & Cho, 2014). 모듈러 건축은 사용 후 해체, 증축 용 용성, 빠른 시공의 요구와 맞물려(Kim & Lee, 2014) 시장이 급속히 확산되었고 2005년 약 180억 원이었던 시장규모가 2012년에는 1200억원으로 증가하였다. 급격한 수요의 증가 와 더불어 모듈러 공사의 해결과제도 함께 대두되었는데 대 표적으로 운송과정 중 내부 인테리어나 마감의 탈락, 강우 및 운송 중 충격에 의한 구조 뒤틀림 등의 하자가 발생하고 있다(Shin & Ahn, 2016).

수출용 모듈러의 경우 전체공사비의 30%는 운송비가 차 지하는 등 매우 큰 비중을 차지하고 있어 운송과정에서 품 질 뿐 아니라 경제적 측면에서도 리스크가 존재한다(국토교 통부, 2013). 국내의 경우, On-site 공사와 모듈러 공법의 직 접공사비 항목별 비중을 보면, RC조의 경우, 전체 공사비 대 비 운반비용이 1.32%, S조는 1.14%를 차지하는 반면, 모듈 러 공법의 경우 전체 공사비 대비 3.27%를 차지하여 On-site 공사 대비 약 2.5~2.9배의 운송비용이 발생한다(MOLIT, 2013).

모듈러 공사는 현장이 아닌 공장에서 제작되기 때문에 반 드시 운송공정이 포함되며, 운송에 따라 공법과 모듈의 크 기 결정에 영향을 미치므로 설계단계뿐 아니라 시공계획단 계에서 매우 중요하다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해서는 각 현장에 최적화된 운송과정의 검토 및 장비의 선정이 매 우 중요하다. 이를 위한 기존의 연구에서는 모듈러 건축의 공정제안을 통해 품질을 높이기 위한 하나의 요소로서의 운 송연구가 주류를 이루었다. 그러나 운송에 관한 연구는 스케 줄 관리 차원에서만 논의되고 있어 운송에 큰 영향을 끼치 는 운송 장비를 의사결정하기에 참고할 객관적 기준이나 자 료가 부족하다(Kim & Lee, 2011). 이에 현장에서는 공사별 최적 운송장비를 결정하기 위한 의사결정모델이 부재한 상 황이다. 또한 기존의 연구로는 모듈러 운송공정마다 다른 요 구사항별 중요도를 고려할 수 없는 한계가 있으므로 운송장 비 선정 영향요인 검토와 비교가 가능한 의사결정지원모델 개발이 필요하다.

본 연구에서는 모듈러 객체 공사에서 시공 계획수립 시 각 공사별로 체계적인 검토와 객관적인 의사결정을 할 수 있도록 운송장비 영향요인과 의사결정지원모델을 제시하고 자 한다. 계획단계에서부터 상세한 조건의 검토를 할 수 있 도록 운송장비 선정 영향요인을 도출하고, 모델이 프로젝트 별 특성을 고려하는지 사례를 통해 살펴보고 의사결정지원 모델을 적용할 수 있는지 검증할 것이다. 모델은 케이스 특 성을 반영할 수 있으며 영향요인 간 중요도를 확인할 수 있 는 다중매트릭스 방법론을 사용했다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구의 목적은 모듈러 객체 공사에서 각 공사별로 체 계적인 검토와 객관적인 의사결정을 할 수 있도록 운송장 비 영향요인과 의사결정지원모델을 제시하는 것이다. 한국 은 모듈러 공법에서 선박이나 철도를 통한 운송보다는 도로 운송이 주로 이루어지고 있으므로 모듈러 공사의 도로운송 시 운송장비의사결정으로 연구의 범위를 한정하였다. 각 현 장에 알맞은 장비결정 시 의사결정자 및 전문가의 의견반영 을 위해 인터뷰를 진행하였으며 응답의 과정이 객관적인 의 사결정이 될 수 있도록 다중매트릭스 형식으로 구성 및 분 석하였다. 다중매트릭스 방법론은 최적의사결정을 위해 주 로 사용되는 분석기법으로, 고려해야하는 요인별로 체계적 인 검토가 가능하고 분석과정이 객관적이며 전문가의 의견 을 반영할 수 있는 장점이 있어 본 연구의 방법론으로 택하 였다.

따라서 연구의 흐름은 다음 <Fig. 1>과 같다. 첫째, 모듈러 공법의 운송 영향요인을 도출하고 영향요인별 세부요인을 정의한다. 둘째, 다중매트릭스로 의사결정모델을 구성하고 모델에 적용해 볼 프로젝트를 분석한다. 셋째, 다중매트릭스 를 바탕으로 영향요인간 비교를 실시하고, 영향요인별 장비 적합도를 도출한다. 이를 통해 케이스의 특성을 반영하며 합 리적인 결과를 도출했는지 살펴보고 의사결정모델이 적용 될 수 있는지 검증한다. 본 연구의 의사결정지원모델이 모듈 러 공사에 적용된다면 계획단계에서 영향요인을 체계적으 로 검토할 수 있고 운송장비 선정의 객관성과 투명성을 확 보할 수 있을 것으로 사료된다.

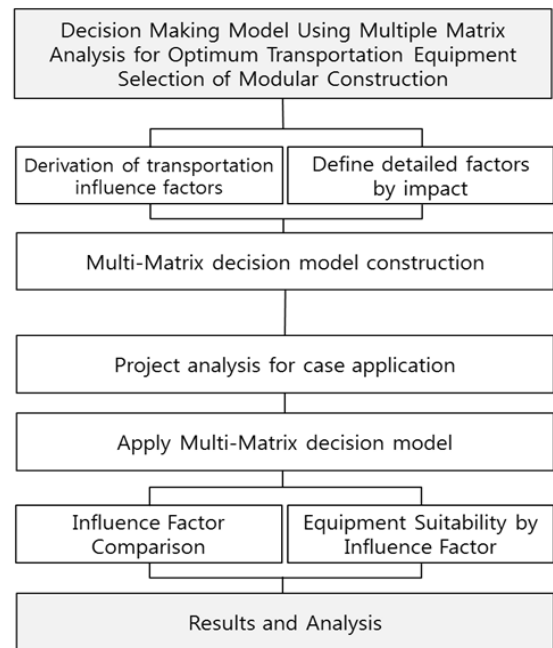


Fig. 1. Research flow chart

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 및 운송장비 연구 고찰

모듈러 건축의 운송 장비 선정에 관한 문제점을 검토하기 위해 국내외 문헌을 조사하였으며 내용은 <Table 1>과 같다. 모듈러 운송관련 지침서 및 시방서 문헌을 살펴보면 Nam et al. (2019)의 연구에서는 모듈러 전문 시방서의 체계를 도출하며 운송 단계를 IDEF 모델로 상세히 제시하였다. 미국의 B2 프로젝트의 지침서에도 운송 프로세스가 절차에 따라 상세히 제시되어있다. 이상의 연구에서는 구체적인 운송장비 선정 방안은 부재하며, 국내 모듈러 건축에 적용하기에는 법적기준이 다른 등의 한계가 있다.

모듈러 건축의 운송 리스크에 관한 연구에서는 Cho et al. (2010)의 연구에서 식스시그마 이용한 모듈러 시스템을 개발하며 운송제약에 관한 내용이 리스크 관리를 위한 항목으로 제시되었다. Lee et al. (2012)의 연구에서는 모듈러 설계 초기단계에서 고려해야할 리스크 요소 중 하나로 운송 검토의 부재를 제시하였다. Kim (2011)의 연구에서는 모듈러 주택시공 시나리오를 개발하며 운송 시 주의사항을 제시하였다. Ying chen (2010)의 연구에 따르면 모듈러 공법을 채택하기 위해 고려하는 요소로 운송의 허가 및 제한을 제시하였다. 이상의 선행연구에서 제시한 연구들의 특징으로는 운송 리스크가 모듈러 품질을 위한 종속요인으로만 검토되고 해결방안 및 운송장비에 관한 체계적인 연구는 부족한 한계가 있다.

모듈러 운송 관리에 관한 문헌을 살펴보면 Lee et al.

(2011)의 연구에서는 모듈러 공법의 효율성 확보를 위해 최적공정을 제안하며 운송공정의 Activity를 제시하였고, Shin and Ahn (2016)의 연구에서는 해외 모듈러 프로젝트를 분석하여 운송 프로세스를 정립하였으나 제시에만 한정되어 있으며, Fred Edmond (2016)의 연구에서는 모듈러 공법의 활성화를 위해 운송제약 관리의 필요성을 도출하였으나 법적제한 제시에 그쳐 운송장비 결정을 위한 의사결정 모델 구축에는 이루지 못하고 있다.

모듈러 운송장비에 관한 연구를 살펴보면 Park et al. (2012)의 연구에서는 모듈러 고정을 위한 추가 장비를 개발하고 방향을 도출하였으나 운송장비에 관한 내용은 트럭과 트레일러가 있다는 현황제시에 그쳐 장비선정 방안이나 공정계획 측면에서는 참고하기에는 한계가 있다.이상의 운송 연구의 한계점으로는, 모듈러 공법에 운송과정이 공정에 반드시 포함되며 운송장비가 중요함을 인식하고 있음에도 불구하고, 공사별 최적 운송장비를 결정하는데 있어서 참고할 수 있는 객관적 기준이나 연구가 부족한 상황이다. 또한 각 공사마다 운송 요구사항의 중요도가 다 다르지만 기존의 연구에서는 운송 시 요구사항의 제시에서만 그쳐 각 공사마다 다른 요구사항별 중요도를 반영할 수 없는 한계가 있다. 현장에서는 운송장비 의사결정 시 케이스의 특성을 고려하기 보다는 실무자의 현장경험에 의한 의사결정이 주로 이루어지고 있어 공기, 공사비, 공사품질에 영향을 미칠 수 있다. 이에 각 공사에 맞는 최적운송장비 선정을 지원할 수 있는 의사결정 지원모델 연구가 필요하다.

Table 1. Literature Review

Division	Paper	Topic and Summary	Limitation
Guidebook/ Specification	Nam et. al. (2019)	modular specifications system was derived and the transport steps were presented in detail as an IDEF model.	There are no specific methods for selecting transport equipment, and there are some limitations to applying them to modular architecture in Korea
	B2 Project	transport processes considering legal/ systematic regulations in U.S are presented in detail.	
Transportation risk	Cho et. al. (2010)	Six sigma-based modulator system was developed and transportation constraints was proposed as a key factors for risk management	Transport is an important factor affecting the quality of the modulator, but not enough to establish a specific solution
	Lee et. al. (2012)	Presented absence of transport planning as one of the risk factors of modular construction project	
	Kim (2011)	Developed the modular house construction scenario and risk factors	
	Ying chen (2010)	Derived the management factors and transport risks for the adoption of modular construction methods	
Transportation management	Lee et al. (2011)	Present optimal process scenarios and detailed work criteria for productivity of modular construction	Established transportation process but limited to presentation and failed to build decision model for transportation equipment decisionEstablished transportation process but limited to presentation and failed to build decision model for transportation equipment decision
	Shin & Ahn (2016)	established the transportation process based on the analysis of overseas cases about modular construction projects	
	Fred E. (2016)	Proposal of transportation constraint risk and management strategies for modular construction productivity	
Transportation equipment	Park et al. (2012)	Developed the equipment for fixing modulator and elicitation of application plan	Additional accessories to be installed in the transportation equipment was not proposed, and the influence factors, due to specific transportation equipment, was not considered

2.2 의사결정모델 연구방법론 고찰

모듈러 공법은 공장 제작된 유닛의 특성 및 크기가 프로젝트별로 상이하므로 프로젝트의 리스크와 제약조건을 파악하여 이와 관련된 영향요인을 체계적으로 고려하는 것이 중요하다.

기존의 연구에서는 주로 모듈러 건축의 프로세스 모델을 구축하는 것을 통해 운송장비의 검토를 간접적으로 시도하였다. 주로 IDEF기능 모델방법론을 이용하였는데, 이는 운송 공정에 필요한 작업순서만을 나타내는 한계점이 있다. 이에 현장에서는 공사별 최적 운송장비를 결정하기 위한 모델이 부재한 상황이다. 또한 기존의 연구로는 각 공사마다 다른 요구사항별 중요도를 고려할 수 없는 한계가 있으므로 운송장비 선정 영향요인 검토와 비교가 가능한 의사결정지원모델 개발이 필요하다.

다중매트릭스 방법론은 영향요인들을 비교하여 중요도를 산정할 수 있는 장점이 있기 때문에 요구사항 나열에 머물렀던 기존연구의 한계점을 보완할 수 있어 본 연구의 의사결정모델로 사용하고자 한다.

기존의 관련 다중매트릭스 연구로는 Lee and Lim (2016)은 다중매트릭스 분석기법을 사용하여 최적 건축공법선정 의사결정지원 모델을 제시하였다. 다중매트릭스를 활용해 공종별 최적 공법을 선정하는데 있어 실무에서 활용이 용이한 범용적인 성격의 모델을 제시하였다. Han et al. (2017)은 대공간 지붕구조물 시공 시 시공 전 단계에서 체계화된 시공 공법 선정을 최적화하고자 하였으며 다중매트릭스를 사용하여 시공공법 선정모델을 만들었다. 이처럼 의사결정 과정의 체계적 검토와 객관성을 확보하려는 연구목적에 적합하므로 다중매트릭스를 의사결정지원모델로 활용하고자 하였다.

가중평균 의사결정 매트릭스는 VE 수행 시 대안 선정을 위한 아이디어 상세평가 단계에서 주로 활용하는 방법으로 평가항목들을 쌍대 비교하여 평가항목별 중요도를 평가하고 이 점수를 합산하여 평가점수를 산출한다. 대안의 평가 점수에 가중치를 곱하여 대안의 총점을 구하고 합계 총점이 가장 높은 대안이 최적대안으로 선정되는 방법이다(Han et al., 2017).

가중평균 의사결정 매트릭스 방법론에서는 점수를 모두 동일하게 부여할 수 있으므로 중복성의 문제가 발생한다. 다중 매트릭스 분석법은 평가항목뿐 아니라 쌍대비교를 활용하여 대안의 평가점수까지 매트릭스 분석을 통해 점수를 산출하게 된다. 다중 매트릭스 분석법은 동일한 점수로 인한 최적대안의 중복 성을 피할 수 있다. 또한 대안 선정 시 작업별 특성 및 현장 조건의 중요도가 다른 점이 고려할 수 있어 다양한 공사마다 적용 가능한 범용적인 장점이 있다. 의사결정지원모델로 활용할 경우 의사결정의 근거가 수리적인 값으로 도출되어 객관적인 평가가 가능하다.

3. 영향요인 도출

3.1 운송 영향요인 도출

모듈러 건축 프로젝트에서의 운송 영향요인이라, 기존의 on-site 건축 프로젝트처럼 현장에서 대부분의 공정이 진행되는 것과 달리, 공장 사전 제작되는 모듈러 객체를 현장으로 운송할 때 영향을 미치는 요인을 의미한다. 즉, 현장과 공장이 이원화된 프로젝트의 경우, on-site 프로젝트와 달리, 해당 객체의 현장 반입 시기, 추가적인 제작 및 운송 비용, 운송에 따른 리스크, 운송된 객체의 현장에서의 양중 및 설치작업 등 많은 조건이 달라지게 된다. 이에 따라, 프로젝트의 비용, 공기, 품질 면에서 최적의 생산성을 도출하기 위해서는 현장으로 반입되는 모듈러 객체에 대한 운송 조건을 다양하게 검토할 필요가 있다. 이에 본 연구는 이러한 운송 영향요인을 도출하고, 프로젝트별 운송 영향요인의 조건에 따른 운송장비를 선정하는 다중 매트릭스 모델을 개발하고자 한다.

다중매트릭스를 실시하기 위해서는 의사결정 시 고려해야 하는 평가항목의 도출이 필요하다. 본 연구에서는 운송에 영향을 끼치는 영향요인이 평가항목이 되므로 이를 위해 모듈러 공사의 운송영향요인 도출이 필요하다. 일반 건축 공사의 운송에 영향을 끼치는 요인을 고찰하기 위해 화물 운송에 관한 기존 연구 및 논문분석을 실시하였다. 문헌고찰 결과 화물 운송 시 대표적으로 고려되는 요소는 운송수단에

Table 2. Influence Factors

Influence Factor	Study										
	Lee et al. (2011)	Lee et al. (2011)	Kim (2011)	Cho et al. (2010)	Lee et al. (2012)	Lee & Kim (2013)	Kim et al. (2015)	Park & Oh (2013)	Choi et al. (2016)	Kim et al. (2009)	
Field conditions		○		○			○	○		○	
Cost of construction			○	○				○		○	
Cargo condition	○	○		○	○	○	○	○		○	
Structure/Safety condition			○	○	○	○	○		○	○	
Process planning condition					○	○	○		○	○	

적합한 입지, 운송비용, 화물의 물리적 속성, 화물의 손실 및 파손리스크, 정시성(신뢰성), 운송시간이 있었으며(Kim et al., 2009), 이를 바탕으로 모듈러 공사의 특성을 고려하여 현장조건, 공사비조건, 화물조건, 안전조건, 공정계획조건으로 다음 <Table 2>와 같이 도출되었다.

모듈러와 연관된 유닛 모듈러, 탈현장, 공장제작형 공사에 관한 문헌을 중심으로 검증하고자 하였다. 각 연구들을 살펴보면 Lee et al. (2011)은 모듈러 공법 효율성확보를 위해 공장제작, 운송, 현장설치의 최적 공정을 제안하였다. Lee et al. (2011)의 연구에서는 군 시설에 효율적인 모듈러 적용을 위한 지침을 제시하며 현장과 모듈크기에 따른 시공제한을 고려하였다. Kim (2011)의 연구에서는 모듈러 주택시공 시나리오를 개발하며 운송 시 주의사항을 제시하였다. Cho et al. (2010)의 연구는 식스시그마 이용한 모듈러 시스템을 개발하며 운송제약에 관한 내용을 요구품질로 제시하였다. Lee et al. (2012)의 연구에서는 모듈러 설계 초기단계에서 고려해야할 품질 저하요소 중 하나로 운송계획검토를 제시하였다. Lee and Kim (2013)의 연구에서는 모듈러의 주택생산시스템 적용을 위해 부족한 기술적 문제점으로 운송환경을 활성화 저해요인으로 제시하였다. Kim et al. (2015)은 모듈러의 조달 및 양중 효율화를 위해 중점 개선 요구사항을 도출하였고 요구사항 중 화물, 공정계획 등의 운송개선요구사항이 포함되었다. Park and Oh (2013)의 연구에서는 공동 주거 모듈러 건축을 위해 운송관련사항을 검토하였다. Choi et al. (2016)은 운송 및 현장설치 영향요인을 분석하여 다이어그램으로 정리하였다.

검토 결과 주로 화물조건과 구조/안전조건이 많이 논의되고 있었으며 일반화물과는 달리 공사비 조건에 관한 요인이 상대적으로 덜 논의되고 있었다. 이는 모듈러 화물의 특성상 장비의 제약조건이 우선시되기 때문인 것으로 보인다. 앞서 선정한 다섯 가지 영향요인 모두 고려되고 있었으며 기타요인은 없어, 도출된 영향요인이 모듈러의 운송장비 선정에 미치는 영향을 전체적으로 고려할 수 있다고 사료된다.

3.2 운송 영향요인별 세부요인 도출

계획단계에서 프로젝트에 영향을 미치는 다양한 요인들을 고려하기 위해 다중매트릭스에서는 평가항목별 중요도를 평가하여 평가점수를 산출하므로 평가항목에 중복지의 의미가 있거나 혼란을 줄 경우 평가점수의 중첩을 초래하기 때문에 세부요인의 도출이 반드시 필요하다. 이에 각 세부요인을 앞서 분석된 문헌고찰을 통해 도출하였다. 도출한 세부요인의 검증을 위해 15명의 5년 이상의 경력을 가진 모듈러 및 시공전문가의 검증을 받았으며 결과는 다음 <Table 2>와 같다. 도출된 세부요인은 모듈러 운송에 영향을 미치는 요소

를 주로 고려하였다.

현장조건에서는 법적인 이동제한, 기상상태, 현장주변 도로사정의 세부요인이 도출되다. 이는 중대형 프리패브 공사는 법적기준을 통과하더라도 현장상황에 따라 회전반경 또는 높이의 제한이 있을 수 있으므로 이를 검토해야한다. 공사비조건에서는 추가되는 부속품, 이동거리, 공사비의 제한이 도출되었다. 프로젝트별로 중대형 프리패브 모듈은 크기와 형상이 다르고, 주로 모듈 1개씩 운송할 수 있으므로 고정방식이 달라짐에 따라 무진동 장치, 고정체인 등의 부속품의 추가가 공사비 조건에 반영된 것으로 보인다. 화물조건에서는 모듈의 폭, 높이, 길이, 중량과 강우대응성이 도출되었고 장비가 운송가능 한 모듈 조건을 검토해야 한다. 구조/안전 조건에서는 모듈의 비틀림 위험, 모듈 파손위험, 인접시설물 보호가 도출되었다. 중대형 프리패브 공사이므로 운송과정 중 부딪힘에 의한 파손이나 전도로 구조/안전에 관련된 이슈가 생길 수 있음이 고려되었다. 공정계획 조건에서는 민원발생, 현장대기시간, 공급관리가 도출되었다. 프리패브 공사에서는 현장설치 공정이 최소화 되는 것을 목적으로 하였으므로 현장에 도착하는 공급관리 및 대기 시간이 공정계획에서 영향요인으로 고려된 것으로 보인다. 아래의 <Table 3>은 이러한 영향요인별 세부요인을 정리한 것이다.

Table 3. Detail Factor

Influence factor	Detail factor
A. Field conditions	A1. Legal restrictions
	A2. Weather conditions
	A3. Road circumstances around the site
B. Cost of construction	B1. Additional accessories
	B2. Distance
	B3. Limited construction cost
C. Cargo condition	C1. Width of module
	C2. Height of module
	C3. Length of module
	C4. Weight of module
	C5. Rainfall response
D. Structure/Safety condition	D1. Module torsion hazard
	D2. Risk of module damage
	D3. Adjacent Facility Protection
E. Process planning condition	E1. Complaint
	E2. Standby time
	E3. Supply management

각 프로젝트의 특성 및 조건에 따라 상기에 나열된 운송 영향요인, 즉, 모듈 객체를 운송하기 위한 조건이 달라질 수 있다고 할 수 있다. 특히, 각 프로젝트별로 설정되는 상기의

요구조건들에 의거하여, 프로젝트 관리자는 모듈객체의 수량, 공정, 품질, 안전 등의 관점에서 운송장비를 선정할 수 있다. 즉, 모듈객체를 운송하기 위한 가용 장비들을 사전 선정하고, 본 연구를 통해 제시하는 다중매트릭스 분석 모델을 통해 상기의 영향요인을 모두 포용하는 최적의 운송장비를 선택할 수 있다.

4. 의사결정모델 구축

다중매트릭스를 활용하여 최적 대안을 도출하는 이론적 과정은 다음과 같다. 매트릭스 방법론은 각 대안에 대해서 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가항목을 결정하고 영향도에 대해 점수를 매긴다. 이 과정에서 영향요인의 중요도가 같음을 전제하므로 현장 및 모듈의 특성에 따라 달라지는 중요도를 반영하지 못한다. 다중매트릭스 의사결정 모델에서는 각 공사 영향요인의 중요도가 상이함을 적용하고자 영향요인끼리 쌍대비교로 평가하여 가중치를 산출한다. 평가 후 가중치 산출 계산은 다음과 같다.

가중치 산출: 선별된 영향요인들을 매트릭스 분석을 이용하여 쌍대비교를 통해 가중치를 산출한다. 각 요인별 쌍대비교를 통해 중요도가 동일하면 1점, 더 중요하면 2점을 부여하여 총합계를 '1'로 변환했을 때의 평가 값을 가중치(w)로 이용한다. 영향요인1의 가중치를 계산하는 수식의 예시는 다음 식 (1)과 같다.

$$w_i = \frac{ES_1}{\sum_{i=1}^n ES_i} \quad (1)$$

w_i : Weight of influence factor 1,

ES_i : Evaluation Score of Affecting Factors

i : Influence factor, $i = 1 \sim n$

각 영향요인별로 대안 간 적합성을 평가하기 위해 쌍대비교를 통해 점수를 부여하여 적합도를 산출한다. 적합도 산출: 적합성 평가가 동등할 경우 1점, 더 적합할 경우 2점을 부여하여 총 합계를 '1'로 변환했을 때의 값을 적합도(GF)로 이용한다. 영향요인1에 대한 대안1의 적합도를 계산하는 수식의 예시는 다음 식 (2)과 같다.

$$GF_1 = \frac{ES_1}{\sum_{i=1}^n ES_i} \quad (2)$$

GF_1 : Goodness of Fit1,

ES_i : Evaluation Score of Goodness of fit

i : Influence factor, $i = 1 \sim n$

통합적합도 산출: 최종대안을 선정하기 위하여 영향요인의 가중치를 대입한 통합적합도를 산출한다. 통합적합도 지수가 가장 높은 값이 최적의 대안으로 선정된다. 대안장비별 통합적합도의 산출 수식은 다음 식 (3)과 같다.

$$IGF = \sum_{i,j=1}^n (w_i \times GF_j) \quad (3)$$

IGF : Integrated Goodness of Fit

w_i : Weight of influencing factors

GF_j : Fitness of alternative equipment

위와 같은 과정을 통해 다음 <Fig. 2>와 같이 모델을 제시하였다. 먼저 의사결정을 해야 하는 공사를 선정하고 공사의 특성을 분석한다. 분석은 운송장비 선정 영향요인에 해당하는 정보와 현장정보 특성을 포함한다. 의사결정자는 분석된 특성을 바탕으로 영향요인 매트릭스 평가를 실시하여 각 영향요인 별 가중치를 도출한다. 영향요인별 대안 장비의 매트릭스 평가를 실시하여 영향요인별 대안적합도를 도출한다. 가중치와 적합도를 곱해 통합적합도를 산출한다. 대안별 통합적합도를 비교하여 가장 점수가 높은 장비를 최적운송장비 대안으로 도출하여 의사결정을 지원하게 된다.

요약하자면, 주어진 프로젝트 특성정보를 기반으로 전문가 인터뷰를 통하여 해당 프로젝트에서 중시해야 하는 운송 영향요인들을 도출하고, 이를 기반으로 다양한 영향요인을 종합적으로 포괄하여 최적의 운송장비를 도출할 수 있는 것이 다중매트릭스 모델이라고 할 수 있다.

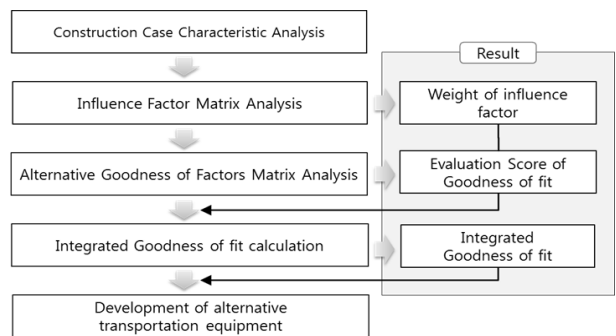


Fig. 2. Optimal Transport Equipment Decision Support Model

5. 사례연구

본 연구에서는 현장의 운송장비 선정 시 체계적 의사결정과 객관성을 위해 의사결정지원모델을 만들었으며 이를 실제 공사에서 적용할 수 있는지 검토하기 위해 운송 선행조건은 같지만 현장과 프로젝트의 성격이 다른 두 가지 모듈러 공사를 사례로 선정하였다. 의사결정 시 운송해야 하는 거리와 법적허가는 동일하게 두고 현장조건과 설계된 모듈의

조건을 상이하게 두었다. 이는 차이점에 따라 가중치 및 적합도 값이 달라지는 것을 확인하고자 하였다. 사례를 모델에 적용하기 위해서는 프로젝트의 특성 및 조건과 운송될 모듈을 파악할 필요가 있으므로 대상 프로젝트를 분석하였고 구체적인 내용은 아래 <Table 4>, <Table 5>와 같다.

Table 4. Case Picture



Table 5. Case Information

Division \ Case	Remodeling-Envelopment	New construction-Dormitory
Site	Remodeling	New construction
Design	Glass, PV, ESS, etc. Exterior to Module	Center of gravity deflection
Freight (m*m*m)	Height 2.2 Length 6 Width 0.9	Height 3.3 Length 9 Width 3
Weight (ton)	About 3ton	About 25ton
Location	Junggye-dong, Nowon-gu, Seoul	
Number	60	
Course (km)	178km (Daejeon-Seoul)	
Weight Limitation (ton)	40t	
Size Limitation (m*m*m)	Height 4.3 Length 19 Width 3.2	

주요 특성으로는 스마트 외피는 이중외피시스템으로, 리모델링을 위해 공장 제작되고 현장에 운송하여 외벽에 설치되는 프로젝트이다. 프로젝트의 특징으로는 유닛의 크기가 타 모듈러 건축에 사용되는 유닛에 비해 크지 않으며, 유리 및 PV, ESS 등이 모듈 외부에 노출되어 있어 파손의 리스크가 있다. 현장은 리모델링 공사이므로 준공된 지 오래된 아파트의 세대 앞까지 운송하여야 하고 이때 기 주차된 차량 등 간섭요소가 다수 존재한다.

기숙사는 거주형 모듈건축으로, 신축을 위해 공장 제작되고 현장에 운송하여 구조물에 적용되는 프로젝트이다. 프로젝트의 특징으로는 유닛의 크기가 운송 시 법적 한계까지

크고, 하중이 크며 한쪽으로 편심 되어있어 뒤틀림의 리스크가 존재한다. 현장은 신축 공사이며 가설 공사로 정리된 진입로이므로 간섭 요소는 없지만 현장 노면이 고르지 못한 특징이 있다.

공통점으로는 현장의 위치 및 개수, 경로가 동일하고 이에 경로상의 법적 중량 및 허가 크기가 동일하다. 차이점은 현장의 상태와 화물의 크기, 설계상의 특징과 하중이 상이하여 운송 시 주의해야 하는 점에서 확연한 차이를 보인다.

5.1 다중매트릭스 결과

시공 및 모듈러 분야의 경력 5년 이상의 전문가 15인을 대상으로 의사결정자의 입장에서 모델검증을 위한 설문을 진행하였다. 대안장비는 모듈러 시공에서 가장 보편적으로 이용되는 장비인 카고, 트레일러, 워바디 3가지의 장비로 선정하였으며 추후 분석을 통해 통합적합도가 가장 큰 장비로 결정하고자 하였다.

설문에는 프로젝트의 기본정보를 제공하여 의사결정 사전에 필요한 정보를 제공하였고, 쌍대비교를 해야 하는 대상을 양쪽에 두고 더 적합하거나 중요한 쪽으로 표시를 할 수 있도록 구성하였다. 첫 번째는 영향요인 간 쌍대비교, 두 번째는 영향요인별 대안 적합성 비교로 쌍대비교를 두 번 진행하였다. 결과는 영향요인에 따라서 가중치가, 대안별로 영향요인 적합도가 도출 되었고 이를 활용하여 통합적합도가 계산된다. 수집된 설문의 결과를 종합하여 다중매트릭스를 실시한 결과를 분석하였다.

5.2 영향요인 가중치

영향요인 가중치에서 리모델링 외피 공사의 주요 영향요인은 구조/안전조건과 공사비조건으로 나타났다. 구조/안전조건은 0.3으로 계산 되었는데 여기에는 세부요인 모듈 비틀림 위험, 모듈 파손 위험, 인접시설물 보호가 있고 공사 특성상 외부에 노출된 자재가 많은 점이 중요하게 판단되어 값에 반영된 것으로 사료된다. 또한 공사비조건은 가중치 0.2667로 계산되었는데 여기 세부요인 중 공사비제한에서 공사 특성상 공사비가 제한된 리모델링 공사인 점이 중요하게 작용한 것으로 사료된다. 현장 조건도 가중치 0.225로 결과 값이 높았는데, 세부 요인 중 현장주변 도로사정에서 진입해야하는 현장이 도로가 좁고 장애물이 많은 아파트단지의 특성이 반영된 것으로 사료된다. 모듈의 크기와 하중이 작고 이에 따라 속도를 빠르게 낼 수 있어 화물조건과 공정 계획 조건은 중요하지 않아 낮은 가중치를 보였다.

기숙사 신축 공사에서는 공사의 주요 영향요인은 화물조건과 현장조건으로 나타났다. 현장조건은 가중치 0.236로 계산되었는데 여기에는 세부요인 법적이동제한에서 모듈의

크기가 운송하는데 있어 법적인계까지 큰 점이 중요하게 판단되어 값에 반영 된 것으로 사료된다. 화물조건은 가중치 0.263으로 계산되었는데 여기에는 세부요인인 모듈의 폭, 높이, 길이, 중량, 강우대응이 있고 모듈의 크기에 맞춰 운송할 수 있는 장비의 한계가 있기 때문에 값에 반영 된 것으로 사료된다. 각 프로젝트의 영향요인 가중치 결과는 <Table 6>과 같다.

Table 6. Influencer Weighted Results

Influence factor / Project	Field conditions	Cost of construction	Cargo condition	Structure /Safety condition	Process planning condition
Re-Envelopment	0.225	0.2667	0.1583	0.3	0.05
New-Dormitory	0.236	0.168	0.263	0.172	0.159

5.3 영향요인별 대안 적합도

영향요인별 대안적합도 결과는 다음 <Table 7>과 같다. 영향요인별 대안 적합도에서, 리모델링외피에서는 가중치가 제일 높았던 구조/안전조건에서 윈바디가 0.4의 값으로 가장 적합도가 높았다. 비슷하게 가중치가 높았던 공사비조건과 현장조건에서는 카고트럭이 0.5556과 0.4111로 높은 적합도를 보였다. 비교적 가중치가 낮았던 화물조건에서는 저상트레일러가 0.3667로 가장 높은 값을 보였다. 제일 가중치가 낮았던 공정계획조건에서는 윈바디가 0.4444로 제일 적합하다고 나타났다.

신축기숙사에서는 영향요인 가중치가 높았던 화물조건과 현장조건에서 저상트레일러가 각각 0.5606와 0.4242으로 가장 적합도가 높았다. 가중치가 비슷한 값을 보인 나머지 영향요인을 살펴보면 구조/안전조건과 공정계획조건에서는 윈바디가 0.4412와 0.3667로 가장 적합도가 높았다. 공사비 조건에서는 카고트럭이 0.4058로 가장 적합도가 높았다.

Table 7. Alternative GOF result by influence factor

Project / Equipment / Influence Factor	Remodeling-Envelopment			New construction-Dormitory		
	Cargo truck	low-phase trailer	Wing body	Cargo truck	low-phase trailer	Wing body
Field conditions	0.4111	0.3667	0.2222	0.303	0.4242	0.2727
Cargo condition	0.3222	0.3667	0.3111	0.3182	0.5606	0.1212
Structure/Safety condition	0.2667	0.3333	0.4	0.1912	0.3676	0.4412
Cost of construction	0.5556	0.2111	0.2333	0.4058	0.2029	0.3913
Process planning condition	0.2667	0.2889	0.4444	0.3222	0.3111	0.3667

영향요인별 대안 적합도 결과, 값은 다르지만 영향요인별 적합한 장비는 비슷하게 나타남을 알 수 있었으며 <Table

4>와 같다. 영향요인별 적합도가 가장 높은 개수를 살펴보면 리모델링 외피 프로젝트에서는 윈바디와 카고트럭이 2개씩, 신축기숙사 프로젝트에서는 저상트레일러와 윈바디가 2개씩 나타났다. 윈바디가 두 프로젝트에서 동일하게 2개씩 영향요인별 적합도가 높게 나타났지만 통합적합도 결과에서는 윈바디는 선정되지 않아 영향요인 가중치가 유의미하게 적용되었다고 사료된다.

5.4 통합적합도 결과

통합적합도 산출 결과는 다음 <Table 8>과 같다. 리모델링 외피 프로젝트에서는 통합적합도 0.385로 카고트럭이 가장 적합한 것으로 결과가 도출되었다. 가중치가 현장 조건과 공사비 조건 또한 구조/안전조건만큼 가중치가 컸기 때문에 하나의 영향요인만 만족한 윈바디 보다는 카고트럭이 점수가 더 높았다.

신축기숙사 프로젝트에서는 저상트레일러가 통합적합도 0.3952로 가장 적합한 것으로 결과가 도출되었다. 제일 높은 영향요인인 화물 조건과 현장 조건 두 가지 모두 저상트레일러가 높은 적합도를 보여 통합적합도에서 가장 점수가 높게 나타났다. 스마트 외피와는 달리 가중치가 높았던 영향요인에서 비슷한 의사결정이 이루어져 통합적합도가 스마트 외피보다 높은 값을 보였다.

Table 8. Integrated GOF results

Project / Equipment / Influence Factor	Remodeling-Envelopment			New construction-Dormitory		
	Cargo truck	low-phase trailer	Wing body	Cargo truck	low-phase trailer	Wing body
Field conditions	0.0925	0.0825	0.05	0.0716	0.1003	0.0645
Cost of construction	0.051	0.0581	0.0493	0.0839	0.1478	0.032
Cargo condition	0.08	0.1	0.12	0.033	0.0635	0.0762
Structure/Safety condition	0.1481	0.0563	0.0622	0.0682	0.0341	0.0658
Process planning condition	0.0133	0.0144	0.0222	0.0513	0.0495	0.0583
Integrated	0.385	0.3113	0.3037	0.308	0.3952	0.2968
Result	Cargo Truck			Low-Phase Trailer		

영향요인 가중치 선정 과정에서 화물 조건의 대안 별 적합도는 두 가지 공사 모두 저상트레일러가 값이 높았지만 화물조건 가중치의 값에서 리모델링외피는 가중치가 낮았고, 신축기숙사에서는 가중치가 높았다. 공사비 조건에서도 두 가지 공사 모두 카고트럭의 적합도 값이 높았지만 공사비 조건 가중치의 값에서 리모델링 외피는 높았고 신축기숙사는 가중치가 낮았다. 비록 영향요인별 대안 적합도결과가 비슷하여도 영향요인 가중치의 차이로 장비가 다르게 결정

되었음을 알 수 있다. 이는 의사결정 지원모델이 프로젝트의 특성을 반영하여 결과가 도출됨을 알 수 있었으므로 모듈러 공법에 적용이 가능하다 사료된다.

의사결정 지원모델을 사용한 결과, 리모델링외피에서는 카고트럭이, 신축기숙사에서는 저상트레일러가 최적장비로 도출되었다. 리모델링외피에서는 모듈의 크기가 크지 않아 비교적 장비의 선택이 자유롭고 화물의 법적제한에 걸리지 않아 간섭요소가 많았던 현장조건과 공사비조건이 비교적 중요하게 고려된 것으로 보이며 이는 현장조건 영향요인 가중치에서 살펴볼 수 있었다. 신축기숙사에서는 모듈의 크기가 커 운송이 가능한 장비가 한정적이므로 공사비조건에서는 자유롭지 못했고 화물조건을 중요하게 고려한 것으로 보이며 이는 화물조건과 공사비조건 가중치에서 살펴볼 수 있었다. 따라서 모듈의 크기가 상대적으로 작은 경우에는 경제성과 현장조건을 고려한 카고트럭을 사용하는 것이 효율적이며, 법적 허용치까지 크기가 커지는 구조물 모듈의 경우에는 이동할 수 있는 조건을 고려한 트레일러를 사용하는 것이 효율적임을 알 수 있었다.

의사결정자들의 경험론적으로 결정해오던 장비는 두 공사 모두 저상트레일러였다. 리모델링 외피공사에서는 구조/안전조건에 대한 중요도가 높다고 생각한 의사결정자들이 저상트레일러로 결정하려고 했었으나, 의사결정지원 모델 결과 구조/안전조건 가중치와 적합도를 합친 결과보다 다른 영향요인의 가중치와 적합도를 합친 결과가 더 큰 영향력을 발휘하여 카고트럭으로 도출됨을 알 수 있었다. 공사비 조건에서 카고트럭의 운임비는 22만원, 저상트레일러 35만원, 왕바디 25만원으로 의사결정지원모델을 활용하여 약40% 정도의 절감을 할 수 있었다. 신축기숙사 공사에서는 동일한 결과를 도출하였지만 체계적인 영향요인의 검토와 적합도를 수리적으로 확인할 수 있어 의사결정의 객관성을 확보하였다고 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 운송계획의 체계적 검토와 객관적인 의사결정을 위해 운송장비 영향요인과 의사결정 지원모델을 제시하였다. 운송장비 선정에 영향을 끼치는 요인을 도출하기 위해 문헌 분석과 전문가 인터뷰를 진행하였고 이를 통해 총 5개의 영향요인과 영향요인별 세부요인을 도출하였다. 다중매트릭스를 이용하여 의사결정 지원모델을 구축하였고 두 가지 사례에 의사결정 지원모델을 적용하여 영향요인의 쌍대비교와 영향요인별 대안의 적합도 쌍대비교를 실시했다. 대안장비는 카고트럭, 저상트레일러, 왕바디로 제시하였으며 결과는 리모델링외피는 카고트럭이 선정되었고 신축

기숙사 프로젝트는 저상트레일러가 선정되었다. 반면, 왕바디의 경우, 화물조건 면에서 모듈러 객체의 사이즈 및 하중 스펙을 허용하기 까다로운 조건과 함께, 적재 수량 및 고정 문제로 인하여 운송에 적합하지 않다고 평가되었다.

현장조건이 까다로웠던 스마트외피 프로젝트는 제일 높은 가중치는 구조안전 조건 이었으나 그 다음으로 높은 가중치인 현장조건과 공사비조건에서 카고트럭이 적합도가 높게 평가되었다. 모듈의 크기가 매우 컸던 기숙사 모듈러 프로젝트의 제일 높은 가중치는 화물조건이었고 저상트레일러가 높게 평가되었다. 의사결정 모델이 각 프로젝트의 특성을 반영하는지 화물조건 영향요인에서 두 가지 프로젝트 모두 저상트레일러가 높았지만 영향요인 가중치가 달라 결과가 달라졌음을 확인하여 검증하였다.

기존 타 연구에서는 스케줄 관리로서의 운송, 또는 안전에서의 운송에 관한 연구를 진행하였다. 그러나 이는 실무에서 품질에 큰 영향을 미치는 운송장비는 모두 하나로 가정하고 진행된 연구로 다양한 장비 선택의 참고자료로서 한계점을 가졌다. 본 연구에서는 기존에 체계적으로 논의되지 않던 모듈러 공사의 운송장비를 대상으로 의사결정시 참고할 모델을 구축하여 의사결정 지원모델의 기초를 마련한 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 제시한 의사결정 모델은 평가과정을 수리적으로 확인할 수 있어 현장에서 전문가의 경험으로만 의지하던 대안장비 선정과정의 객관성과 투명성을 확보할 수 있는 점에서 의의가 있다.

본 연구의 한계는 사례검증에서 실제 공사를 바탕으로 하였으나 가상프로젝트를 활용하였고, 사례의 수가 제한적인 점이다. 모듈러 운송영향요인이 각 프로젝트에서 영향을 받는 요인을 선택하여 활용할 수 있도록 세부요인의 더 다양한 정의와 다수의 사례검증을 위해 향후 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구의 결과는 모듈러 공사 운송장비의 의사결정 모델의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20AUDP-B100336-07).

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2019R1I1A1A0106320712)

References

Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2013). "Development and Demonstration of Removable and

- Reusable Modular Building Technology, Proposal Name of Main R&D : Development of High-rise Modular Building Technologies.” *Land Infrastructure and Transport R&D Report*.
- Boafo, F.E., Kim, J.H., and Kim, J.T. (2016). “Performance of Modular Prefabricated Architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways.” *Sustainability*, 1(8), p. 558.
- Cho, B.H., Lee, J.S., and Cha, H.S. (2010). “Development of a Modular Building System for the BOQ Using Six-sigma.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 11(6), pp. 89-99.
- Choi, W.G., Park, M.S., Hyun, H.S., and Lee, H.S. (2016). “Transportation and Site Erection Effect Factors Analysis for Modular Construction Process Planning.” *Proceeding of Conference on Architectural Institute of Korea*, 36(1), pp. 369-370.
- Han, J.H., Lee, J.S., and Ahn, Y.H. (2017). “A Decision Support Model using Multiple Matrix Analysis for the Selection of Erection Method in Large Roof Structure Construction.” *Journal of Korea Facility Management Association*, 12(2), pp. 99-107.
- Huang, K., Wu, S., and Wang, M. (2005). “Study on the storage and transportation optimization of prefabrication factory.” *ISARC 2005*.
- Kim, C.S., Lee, J.Y., and Jung, G.H. (2008). “A Study on Intercity Freight Mode Choice Modelling.” *Research Report*, The Korea Transport Institute.
- Kim, G.T., Kim, T.Y., and Jun, Y.H. (2015). “Development of manual framework for unit modular construction method.” *Proceeding of Conference on The Korean Institute of Construction*, 15(2), pp. 198-199.
- Kim, G.T., and Lee, Y.H. (2011). “Economic Feasibility Study on the Unit Modular Fabrication Method According to the Life Cycle Costing Methodology.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 27(12), pp. 207-214.
- Kim, J.H., and Cho, B.H. (2014). “Case Studies of Residential Modular Buildings.” *Architecture, Architectural Institute of Korea*, 58(5), pp. 51-55.
- Lee, J.S., and Lim, M.G. (2016). “Decision Making Model using Multiple Matrix Analysis for Optimum Construction Method Selection.” *Journal of The Korean Institute of Construction*, 16(4), pp. 331-339.
- Kim, J.Y., and Lee, J.G. (2014). “A Basic Study on the Application of Modular Construction - Focused on the Analysis of Case Study.” *Journal of the Korean Housing Association*, 25(4), pp. 39-46.
- Kim, K.T. (2011). “A Feasibility Analysis on a Modular House Construction for Urban Type Living Housing.” *Proceeding of Conference on Architectural Institute of Korea*, 31(1), pp. 155-156.
- Kim, T.W., Jung, J.H., and Lee, H.G. (2013). “An Analysis on Expenses of Modular Method for the Urban-type Housing.” *Proceeding of Korean Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 235-236.
- Lee, D.H., and Kim, G.T. (2013). “A fundamental study for applying of Unit modular housing production system in the domestic.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(5), pp. 3-11.
- Lee, G.B., Kim, K.R., Shin, D.W., and Cha, H.S. (2011). “A Proposal for Optimizing Unit Modular System Process to Improve Efficiency in Off-site Manufacture, Transportation and On-site Installation.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(6), pp. 14-21.
- Lee, J.C., Kang, Y.D., Kang, H.S., and Kim, B.S. (2011). “A Study on Planning Guidance of a Modular BOQ Construction Applied to a Military Facility Using a Case Study.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 27(4), pp. 87-94.
- Lee, K.B., Kim, K.R., Shin, D.W., and Cha, H.S. (2011). “A Proposal for Optimizing Unit Modular System Process to Improve Efficiency in Off-site Manufacture, Transportation and On-site Installation.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 12(6), pp. 14-21.
- Lee, Y.H., Lee, D.H., and Kim, K.T. (2012). “Considerations in the early stage of Designing the Unit Modular Building.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 13(6), pp. 133-142.
- McKinsey Global Institute. (2017). “Reinventing construction : a route to higher productivity.” *McKinsey&Company*.
- Nam, S.H., Park, H.G., and Kim, K.R. (2019). “A Study on Development of Owner’s Standard Specification Structure for Modular Building.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(3), pp. 12-21.
- Park, S.W., and Oh, S.G. (2013). “A study of the modular architecture units for collective habitation - focused on the residence of a single or a couple of persons.” *Proceeding of Conference on Architectural Institute of Korea*, 33(2), pp. 129-130.
- Park, S.Y., Kim, G.T., Park, N.C., and Jung, I.S. (2012). “Study of Improved Transporting Methods on Unit Module.” *Proceeding of Conference on The Korean Institute of Construction*, 12(2), pp. 243-244.
- Shin, H.K., and Ahn, Y.H. (2016). “A Study on Module Transport Process for Modular Construction.”

Proceeding of Conference on Architectural Institute of Korea, 36(1), pp. 417-418.

YingChen, Gül E.Okudan, David R.Riley. (2010). "Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings." *Automation in Construction*, 19(2), pp. 235-244.

요약 : 모듈러 공사는 현장이 아닌 공장에서 제작되기 때문에 반드시 운송공정이 포함되며, 운송장비에 따라 공법과 모듈의 크기 결정에 영향을 미치므로 설계단계뿐 아니라 시공계획단계에서 매우 중요하다. 그러나 운송에 관한 연구는 스케줄 관리 차원에서만 논의되고 있어 운송에 큰 영향을 끼치는 운송 장비를 의사결정하기에 참고할 객관적 기준이나 자료가 부족하다. 본 연구에서는 모듈러 객체 공사에서 시공 계획수립 시 각 공사별 체계적 검토와 객관적 의사결정을 할 수 있도록 운송장비 영향요인과 의사결정지원모델을 제시하였다. 운송장비 선정에 영향을 끼치는 요인을 도출하기 위해 문헌 분석과 전문가 인터뷰를 진행하였고 이를 통해 총 5개의 영향요인과 영향요인별 세부요인을 도출하였다. 다중매트릭스를 이용하여 의사결정 지원모델을 구축하였고 두 가지 사례에 의사결정 지원모델을 적용하여 영향요인의 쌍대비교와 영향요인별 대안의 적합도 쌍대비교를 실시했다. 본 연구에서 제시한 의사결정 모델은 평가과정을 수리적으로 확인할 수 있어 현장에서 장비 선정과정의 객관성과 투명성을 확보하고 운송연구의 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 다중매트릭스, 모듈러, 운송, 의사결정모델, 사물인터넷
