

운반하중의 확률분포를 활용한 유닛모듈 운반용 고정장치 개발

박남천¹, 김석^{*}, 김균태¹

¹한국건설기술연구원, 건설정책연구소

The Development of Fixing Equipment of the Unit Module Using the Probability Distribution of Transporting Load

Nam-Cheon Park¹, Seok Kim^{*}, Kyoong-Tai Kim¹

¹Construction Policy Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 조립식 주택은 기존 RC공법과 달리 사전에 전체공사의 약 60-80%를 유닛모듈 형태로 공장 제작하고, 차량을 이용하여 현장까지 운반 후 각 모듈을 결속하여 시공한다. 조립식 주택은 공장제작을 통한 급속시공이 가능한 장점이 있지만, 모듈을 현장까지 운반하는 과정에서 모듈 탈락의 우려가 있으며, 이로 인한 모듈의 변형 및 외장재의 파손이 발생할 수 있다. 본 연구는 기존의 모듈운반 고정장치의 문제점을 분석하고 개선된 고정장치를 제안하였다. 고정장치 개선안을 도출하기 위해 고정장치에 가해지는 운반하중을 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 분석하고, 비선형 유한요소 해석을 통한 구조적 성능을 검증하였다. 유닛모듈의 하중분포는 통계분석을 통해 3개 유사하중 그룹으로 구분되며, 극단값 분포(Extreme Value Distribution)와 가장 유사한 하중분포를 가진 것으로 분석되었다. 통계분석 및 몬테카를로 시뮬레이션을 통해, 운반하중의 최대값(28.9kN) 및 95% 신뢰도 범위 내 하중값(-1.22~9.5kN)을 계산하였다. 비선형 구조해석 결과는 본 연구에서 제시한 고정장치 개선안이 한계하중 35.3kN까지 파괴가 일어나지 않았으며, 95% 신뢰도 범위 내 하중에서도 충분히 견디는 강성을 지니고 있음을 보여주고 있다.

Abstract Prefabricated houses are fabricated at the factory for approximately 60 to 80% of the entire construction process, and assembled in the field. In the process of transporting and lifting, internal and external finishes of the unit module are concerned about damages. The purpose of this study is to improve the fixing equipment by analyzing load behavior. The improved fixing equipment would minimize the deformation of internal and external finishes. In order to develop the improved fixing equipment, transporting load on the fixing equipment is analyzed using Monte Carlo simulations, and structural performance is verified by the non-linear finite element analysis. Statistical analysis shows load distribution of unit module is similar with extreme value distribution. Based on the statistical analysis and Monte Carlo simulation, the maximum transporting load is 28.9kN and 95% confidence interval of transporting load is -1.22kN to 9.5kN. The nonlinear structural analysis shows improved fixing equipment is not destructed to the limit load of 35.3kN and withstands the load-bearing in the 95% confidence interval of transporting load.

Key Words : Fixing Equipment, Prefabricated House, Probability Distribution, Transporting Load, Unit Module

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

조립식 주택은 공사현장의 하부기초를 공사하는 동안

공장에서 유닛 모듈을 제작하고, 공사현장으로 운반하여 사전에 제작된 유닛모듈을 현장에서 조립·접합에 의한 시공을 한다. 최근 들어 국내 조립식 주택의 수요는 1992년 이래로 공업화건축이 도입되면서 점차 시장을

본 연구 국토교통부 주거환경 연구사업의 연구비지원(과제번호 13-AUPP-C068789-01-000000)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Seok Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-995-0847 email: kimseok@kict.re.kr

Received March 23, 2015

Revised (1st May 7, 2015, 2nd June 10, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

확대해 나가고 있다[1]. 하지만, 조립식 주택의 특성상 유닛 모듈을 조립·접합하여야 하는데, 전용 공구의 부재로 조립 작업의 효율성이 떨어지고 있다. 이로 인하여 조립식 주택의 조립 효율과 작업자 안전이 충분히 고려되지 못하고 있다[2].

조립식 주택은 기존 RC공법과 달리 사전에 전체공사의 약 60-80%를 유닛모듈 형태로 공장 제작하고, 차량으로 운반 후 현장에서 조립 공정에 의한 시공을 한다. 하지만 유닛모듈의 내·외장 마감재, 창호, 기계, 전기, 설비 등을 사전에 공장제작 후 현장으로 운반하는 과정 및 현장 조립을 위한 양중 하는 과정에서 내·외장 마감재의 하자 및 파손 발생빈도가 높다[3]. 따라서 차량 운반 시 유닛 모듈 내·외장 마감재의 손상을 방지하기 위해서 차량 운반용 고정 장치를 대상으로 운반하중에 관한 연구가 필요하다[4]. 이에 본 연구의 목적은 차량 운반 시 유닛모듈 내·외장 마감재 변형을 최소화하기 위해서 차량 운반용 고정 장치를 개선하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 조립식 주택 건설을 위해서 유닛모듈을 차량으로 운반할 때 사용되는 운반용 고정 장치를 대상으로 한다.

전통적으로 새로운 장치나 구조체의 개발을 위해 대상이 되는 장치의 구조적 안전성을 검증하기 위한 방법으로 유한요소해석이 많이 사용되고 있다[5,6,7]. 최근에는 Monte Carlo Simulation 등의 시뮬레이션을 이용하여 구조적 안전성의 불확실성을 반영한 신뢰성 기반 구조분석이 이루어지고 있다[8,9,10].

본 연구는 기존 연구에서 사용했던 유한요소해석을 통해 개발장치의 구조적 안전성을 검토하였으며, Monte Carlo Simulation을 통한 신뢰성 기반 구조분석을 실시하였다. 다만, 기존 연구들과 달리 구조물 안전에 영향을 미치는 불확실한 하중에 대하여 통계분석을 실시하여 가장 근접한 하중분포를 도출하였으며, 이 하중분포를 기반으로 불확실성을 검토하였다.

본 연구는 운반 고정장치 개선을 위해서 첫째, 조립식 주택의 유닛모듈 운반 장비의 현황을 조사하고, 문제점을 도출한다. 둘째, 차량 운반 시 유닛모듈 체결 부위별 운반하중 분포의 상관관계를 조사하고, 유닛모듈 운반하중에 가장 적합한 확률분포를 도출하여 차량 운반용 고정 장치에 적용하는 운반 하중을 분석한다. 셋째, 유닛모

듈 운반하중을 고려한 운반용 고정 장치의 구조해석 모델을 분석하고, 구조성능을 반영한 운반용 고정장치 개선을 제시한다.

2. 유닛모듈 차량 운반용 고정장치

2.1 유닛모듈 운반용 고정장치 현황

유닛모듈 차량 운반용 고정 장치는 공장에서 제작된 유닛모듈을 공사현장으로 운반할 때, 화물차와 유닛모듈을 고정시키는 역할을 한다. 따라서 차량 운송 중 흔들림이나 요철 구간 통과로 인한 충격 등으로부터 유닛 모듈 구조체 및 내·외장 마감재 손상을 방지할 수 있다.

현행 차량 운반용 고정 장치는 화물차 개인 소유자가 운반의 편의를 위해서 일반 화물 차량에 고정블럭을 용접하는 등 개별적으로 설치하여 사용하고 있다. 하지만 화물차에 유닛 모듈을 상차 후 일반 화물과 동일하게 로프, 그물망, 천막 등을 이용하여 결속을 하고 있기 때문에 유닛모듈의 내·외장 마감재에 손상을 주고 있다. 특히, 사전 공장제작으로 유닛 모듈의 공업화율이 높아질수록 내·외장 마감재 작업의 완성도가 높아지면서, 차량운반 시 유닛모듈 내·외장 마감재가 손상될 우려가 높아지고 있다[3].

2.2 유닛 모듈 운반용 고정장치의 문제점

기존에 사용하고 있는 유닛모듈 운반용 고정장치는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 (a)는 기존에 사용되고 있는 운반용 고정 장치이며, Fig1의 (b)는 차량에 상차 후 유닛 모듈의 접합부 홀에 체결된 모습이다.



Fig. 1. Fixing equipment of existing for transporting the unit module

기존 고정 장치는 화물차량 소유자가 Fig. 1과 같이

강봉을 가공하고 사클을 활용하여 직접 제작하여 사용하고 있다. 강봉은 Fig1의 (a)와 같이 70도 각도로 구부리고 강봉 끝단에 나사를 용접한 형태로서 나사와 사클을 연결하여 관절을 이루고 있다.

운반용 고정장치의 체결방법은 70도 각도로 구부러진 부분을 유닛모듈의 볼트 홈에 끼우고, 사클에 와이어 로프를 걸어서 화물차에 체결하고 있다. 하지만 기존 고정장치는 안전성 측면에서 여러 문제점이 예상된다. 첫째, 강봉을 70도 각도로 꺾었다고는 하나 장시간의 진동 및 강한 충격에 의해 볼트홀에서 이탈하는 현상이 있을 수 있으며, 이럴 경우 유닛모듈의 파손 및 인명피해 등이 예상된다. 둘째, 사클의 체결부위는 폭이 좁아서 와이어 형태의 로프는 용이하나 밴드형 벨트 체결 시에는 밴드 폭에 따라 체결이 어려울 수 있다. 셋째, 기존 고정장치는 운반하중의 분석 없이 현장경험을 통해 임의로 제작되어졌기 때문에 구조적 안전성이 검증되지 않은 단점을 지니고 있다.

3. 확률분포를 활용한 유닛모듈의 운반하중 분석

3.1 유닛모듈의 운반하중 분석 방향

본 연구는 유닛모듈을 차량 운반 시 운반하중 분포의 상관관계를 분석하기 위해서 선행 연구[11]에서 수집된 유닛모듈 운반실험에서 계측된 운반 하중 측정값을 활용하였다.

유닛모듈 운반하중 분석은 Fig. 2와 같이 유닛모듈 하단에 좌측면 4개, 우측면 4개 계측센서에서 측정된 값을 사용하였다.

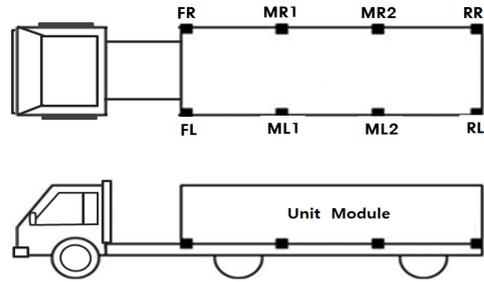


Fig. 2. Current state of measurement region on the transporting load of the unit module

유닛 모듈 운반하중은 차량 운반 시 유닛모듈에 작용하는 하중을 계측하기 위하여 각 계측부위에 작용하는 하중을 2초 간격으로 약 2,000건씩 계측하고, 전체 8개 계측부위에 약 16,000건의 데이터를 분석하였다.

3.2 유닛모듈 운반하중의 상관관계 분석

유닛모듈 운반하중은 차량 운행 실험데이터를 기반으로 상관관계를 분석하였다. 분석 결과, 유닛 모듈 운반하중은 Table1과 같이 계측부위별 유사한 특성을 갖는 계측지점을 Front (FR, FL), Middle1 (MR1, ML1), Middle2 (MR2, ML2), Rear(RR, RL)의 4개 부위로 구분하여 그룹화 하였다. 4개 부위 그룹은 유닛모듈 하부에 작용하는 각 계측부위별 하중 분포에서 양의 선형 연관성이 있는 것으로 나타났으며, 결과 값은 $\alpha=0.01$ 로 통계적으로 유의하게 나타났다.

유닛모듈 운반하중은 그룹화 된 4개의 체결 부위 구분이 적정한지 여부를 검증하기 위해서 Fig. 3과 같이 분산 분석을 활용해서 유닛모듈 운반 하중의 평균값을 살펴보았다.

Table 1. A correlation analysis on the transporting load of the unit module Connection region

Division	The right side				The left side			
	FR	MR1	MR2	RR	FL	ML1	ML2	RL
The right side	FR	1.000						
	MR1	0.987	1.000					
	MR2	0.871	0.908	1.000				
	RR	0.968	0.963	0.812	1.000			
The left side	FL	0.911	0.878	0.665	0.938	1.000		
	ML1	0.976	0.967	0.814	0.981	0.950	1.000	
	ML2	0.940	0.958	0.886	0.932	0.837	0.947	1.000
	RL	0.933	0.949	0.830	0.954	0.898	0.969	0.950

Front : FR, FL / Middle 1 : MR1, ML1 / Middle 2 : MR2, ML2 / Rear : RR, RL

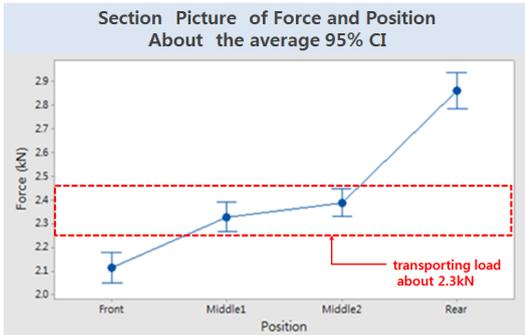


Fig. 3. Average value on transporting load when carrying by vehicle of the unit module

운반하중 평균값은 Front 2.11kN, Middle1 2.33kN, Middle2 2.39kN, Rear 2.86kN으로 나타났다. 특히, Middle1과 Middle2의 95% 신뢰구간에서 Middle1은 2.33kN, Middle2는 2.39kN로 평균의 차이가 약 0.06kN으로 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 작용하는 하중은 평균 약 2.36kN으로 거의 유사하게 나타났다.

유닛모듈 운반하중은 Front, Middle1, Middle2, Rear 4개 그룹을 대상으로 각 그룹간 평균값 차이가 유의적으로 존재하는지 파악하기 위해서 Fig. 4와 같이 Games-Howell에 의한 사후검증(Post Hoc Test)을 실시하였다.

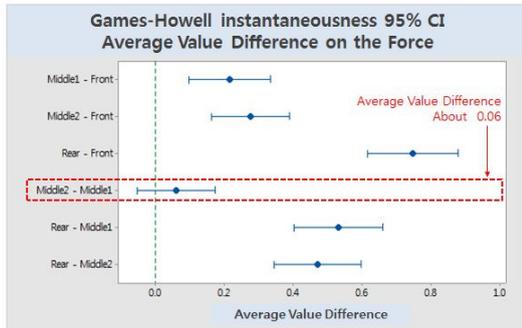


Fig. 4. Average value difference of transporting load on the unit module Connection region

사후검증은 Front (FR, FL), Middle1 (MR1, ML1), Middle2 (MR2, ML2), Rear (RR, RL)의 4개 그룹을 Games-Howell 쌍별 비교를 하였으며, Fig.4와 같이 Middle1(MR1, ML1)과 Middle2 (MR2, ML2)의 쌍별 비교에서 95% 신뢰구간이 -0.053과 0.17로 평균의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, Middle1과 Middle2에 작용하는 하중의 평균차이가 0에 가까운 값

을 나타내기 때문에 거의 유사하다고 할 수 있다. 따라서 유닛모듈의 하중분포는 Fig.4의 분석 결과를 종합하여 Front (FR, FL), Middle (MR1, BL1, BR2, BL2), Rear (RR, RL) 3개 그룹으로 구분하였다.

3.3 유닛모듈 운반하중의 확률분포

본 장에서는 유닛 모듈 운반 하중의 분포 적합도를 측정하고, 유닛모듈 차량 운반 시 유닛모듈 고정 장치에 전달되는 운반하중이 어떤 분포로 작용하는지 분석하였다.

앞 절에서 언급한 바와 같이 유닛모듈 운반하중의 상관관계 분석은 선행연구에서 차량운행 실험 데이터를 기반으로 수행하였다. 차량운행 실험의 경우, 일정구간을 2회 반복하여 얻어진 데이터 값이기 때문에 추가적인 차량운행 실험을 통한 데이터 확보에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 차량운행을 통한 추가실험의 한계상황을 고려해서 시뮬레이션 분석을 통한 모의실험으로 대체하여 추가실험을 보완하였다.

시뮬레이션 분석을 통한 모의실험은 가장 적합한 확률 분포를 적용하였을 때 개연성이 높은 데이터 값을 얻을 수 있기 때문에 확률분포 적합도 측정이 수반되어야 한다. 따라서 본 장에서는 유닛 모듈 운반 하중에 가장 적합한 확률분포를 도출하기 위해서 극단값 분포 (Extreme Value Distribution), 와이블 분포(Weibull Distribution), 정규 분포(Normal Distribution)를 활용하여 분포 적합도를 측정하였다.

유닛 모듈 운반하중의 분포 적합도는 Fig.5, Fig.6, Fig.7과 같이 Front, Middle, Rear 3개 그룹을 각각 극단값 분포(Extreme Value Distribution), 와이블 분포(Weibull Distribution), 정규 분포(Normal Distribution)를 활용하여 적합도 검정통계량을 측정하였다[12].

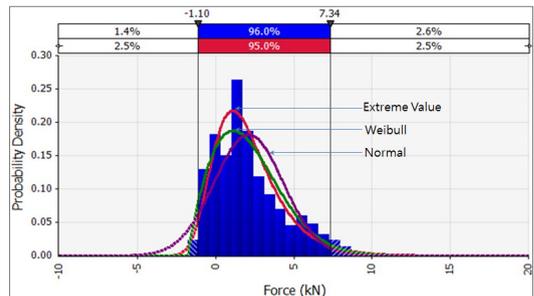


Fig. 5. Goodness of fit on the distribution of transporting load of the unit module(Front)

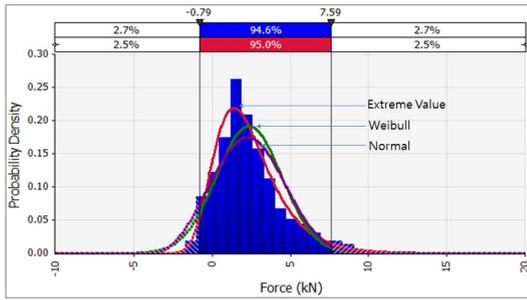


Fig. 6. Goodness of fit on the distribution of transporting load of the unit module(Middle)

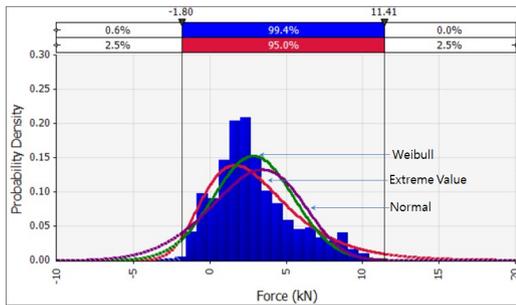


Fig. 7. Goodness of fit on the distribution of transporting load of the unit module(Rear)

Fig.5, Fig.6, Fig.7에서 막대그래프는 유닛모듈 운반하중 분포를 나타내고, 곡선그래프는 극단값 분포(Extreme

Value Distribution), 와이블 분포(Weibull Distribution), 정규 분포(Normal Distribution)를 각각 나타낸다. 즉 Fig.5, Fig.6, Fig.7에서 유닛모듈 운반하중 분포를 나타내는 막대그래프와 가장 유사한 형태의 곡선그래프를 파악하기 위해서 적합도 검정통계량 측정값을 Table 2와 같이 정리하였다.

Table 2. Verification statistics on goodness of fit of transporting load on the unit module

Division	Front	Middle	Rear
Extreme Value Distribution	14.3422	11.4110	63.7340
Normal Distribution	83.3361	117.7529	65.6286
Weibull Distribution	17.7474	123.2218	121.2998

유닛 모듈 운반하중의 적합도 검정통계량 측정 결과, 유닛 모듈 운반하중에 가장 적합한 분포는 각 계측부위별 측정값이 가장 작은 분포를 나타낸다. 따라서 가장 작은 측정값을 가지는 분포는 극단값 분포에서 Front 14.3422, Middle 11.4110, Rear 63.7340 로 나타났다. 따라서 Front, Middle, Rear 3개 그룹에서 막대 그래프와 적합도가 가장 높게 나타난 분포 곡선은 극단값 분포(Extreme Value Distribution)인 것을 확인하였다.

극단값 분포의 추정된 모수는 Table 3과 같이 위치모수(location parameter)는 Front(1.1101), Middle(1.4045), Rear(1.6639)로 나타났고, 척도모수(scale parameter)는 Front(1.6933, Middle(1.6823), Rear(2.6516)로 나타났다.

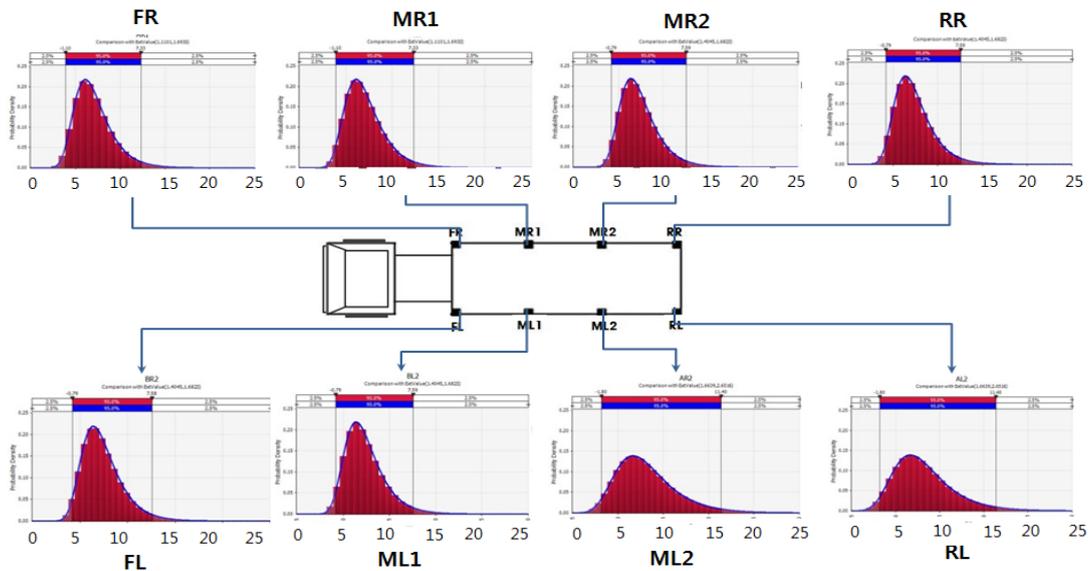


Fig. 8. Result of Monte Carlo Simulation on the transporting load of the fixing equipment for transporting the unit module

Table 3. Parametric Estimation of Extreme Value Distribution

Division	Front	Middle	Rear
Location Parameter	1.1101	1.4045	1.6639
Scale Parameter)	1.6933	1.6823	2.6516

따라서 유닛모듈 운반용 고정 장치에 작용하는 운반 하중을 검증하기 위해서 Fig.8과 같이 극단값 분포 (Extreme Value Distribution)를 적용한 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 수행하였다.

몬테카를로 시뮬레이션에 의한 모의실험 횟수는 10,000번 수행하였으며, 실험 결과, 유닛모듈 운반하중은 Front(FR, FL), Middle(MR1, ML1, MR2, ML2), Rear(RR, RL) 3개 그룹으로 도출되었다. 시뮬레이션 상세 통계량은 Table4와 같이 계측부위별 하중분포를 나타냈으며, 신뢰도 95%구간에서 하중 범위는 Front (-0.749, 6.136), Middle (-0.442, 6.400), Rear (-1.216, 9.540)으로 나타났다.

Table 4. Simulation Detailed Statistics

Division	Min	Max	Mean	5% Per.	95% Per.
FR	-2.664	20.920	2.088	-0.748	6.138
MR1	-2.376	17.962	2.375	-0.442	6.399
MR2	-2.473	16.907	2.375	-0.442	6.398
RR	-4.562	26.126	3.194	-1.246	9.540
FL	-2.742	16.907	2.087	-0.749	6.136
ML1	-2.375	18.480	2.375	-0.442	6.398
ML2	-2.471	18.753	2.376	-0.442	6.400
RL	-4.851	28.951	3.194	-1.246	9.539

4. 운반하중을 고려한 유닛모듈 고정 장치 개발

4.1 유닛모듈 운반용 고정장치의 개선 방향

유닛모듈 운반용 고정 장치의 개선 방향은 2장에서 언급한 문제점을 고려하여 차량 운송중에 진동이나 충동에 의한 이탈 현상이 없어야 한다. 그리고 차량 운반을 위해서 유닛모듈에 운반용 고정 장치를 체결할 때 벨트나 로프 모두를 사용할 수 있는 범용성을 가진 디자인 형태가 되어야 한다. 또한 차량 운반 시 유닛모듈 체결 부위별 작용하중과 응력에 관한 하중거동 분석을 고려하여 구조안전성이 검증되어야 한다.

4.2 운반하중을 고려한 분리형 고정장치 개선

유닛모듈 운반용 고정장치는 차량 운반 시 장시간 진동 및 외부충격으로 작용하중 방향 변화에 영향을 받는다. 기존의 일체형 고정장치는 강봉을 구부린 형태로 볼트홀에 구부린 부분을 단순히 걸어두는 형태로 지속적인 진동이나 갑작스런 하중변화로 인해 강봉이 빠질 우려가 있다.

따라서 유닛모듈 운반용 고정장치 개선안은 차량 이동시 운반하중을 고려하여 작용하중의 방향 변화에 대응이 가능하도록 분리형으로 개선하였다. 본 연구에서 제안한 분리형 고정장치는 Fig.9와 같이 고정블록과 아답터 블록으로 구성되어 있으며, 고정블록을 볼트홀의 위쪽에서 아래쪽으로 끼우고 아답터 블록을 아래쪽에서 걸어주어, 하중에 변화에 따른 이탈현상을 최소화하였다.

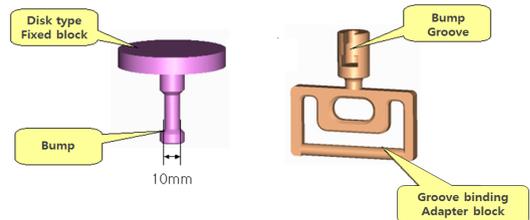


Fig. 9. Detailed concept on fixing equipment for transporting the unit module

Table 5. A Comparative on separation phenomenon by change of direction of transporting load

Division	Disk type fixed block (Item 1)	Cylinder type fixed block (Item 2)
Direction change of transporting load (before)		
Direction change of transporting load (After)		
Fixed block		
Adapter block		

하지만 유닛 모듈을 화물차량에 상차하여 벨트체결 테스트를 한 결과, Table5 (1안)과 같이 운반하중 방향전환에 따라 원관형 고정블록의 기울어짐 현상이 나타났다. 이에 Table5 (2안)과 같이 고정 블록 형태를 원기둥형 고정블록으로 변형하여 운반하중 방향전환에 유연하게 대응하도록 개선하였다.

따라서 유닛모듈 운반용 고정장치는 Fig.10과 같이 원기둥 형태의 고정블록으로 변형하여 다양한 각도의 작용하중 방향에 대응 가능하도록 하고, 아답터 블록을 범용성 디자인 형태로 개선하여 벨트, 로프 모두를 사용할 수 있도록 하였다.

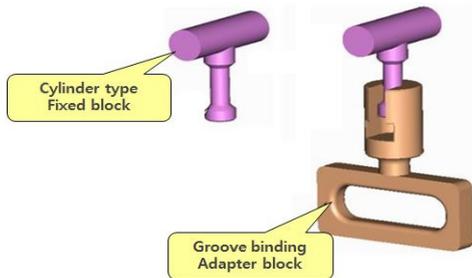


Fig. 10. Detailed concept on fixing equipment for transporting the unit module (final item)

4.3 비선형 구조해석을 통한 성능검증

본 장에서는 기존 고정장치의 문제점을 보완한 유닛 모듈 운반용 고정장치 개선안을 대상으로 구조적 안전성을 검증하기 위해서 고정장치에 대한 비선형 유한요소 해석을 통해 하중 거동을 분석하였다[13].

구조해석은 기존 고정장치(일체형)와 고정장치 개선안(분리형)에 대해 구조해석을 실시하였다. 고정 장치에 사용된 강재는 SS41 Steel로 설정하고, SS41 Steel에 대한 기계적 물성치는 Table 6과 같이 적용하였다. 해석조건은 Half 모델을 사용하고 응력 변형을 곡선은 Bi-Linear로 가정하였다.

Table 6. Mechanical property of SS41

Division	Value
Yield strength (f_y)	235 MPa
Tensile strength (f_u)	400 MPa
Deformation rate (ϵ_u)	0.1
Coefficient of elasticity (E)	210,000 MPa
Poisson's ratio. (ν)	0.3

Fig.11은 구조해석을 위한 경계조건 및 하중재하 방법을 나타낸다. Fig.11 (a)에서 하중은 사철의 30mm 범위 위에 고르게 사선방향으로 작용하는 것으로 가정하였다. 이때 볼트홀에 걸리는 강봉에는 반력이 작용하게 되며, Line A에는 수직방향으로, Line B에는 수평방향으로 경계조건을 적용하였다. Fig.11 (b)에서 하중은 30mm 범위 위에 고르게 45도 사선방향으로 작용하는 것으로 가정하였다. 고정블록과 아답터 블록이 만나는 부분은 surface-to-surface contact로 가정하여 분석을 수행하였다.

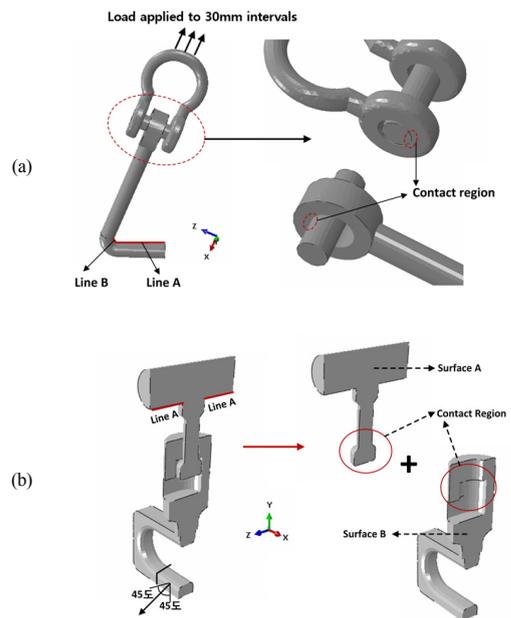


Fig. 11. Boundary conditions and Loads of the analysis model

기존 일체형 고정장치의 구조해석 결과는 강봉이 구부러진 부위에서 초기 하중에 따른 응력이 집중되었고, 작용하중이 약 15kN에서 강성이 저하되었다. 특히 한계 하중이 25.1kN을 작용할 때는 구조물 상의 응력분포가 Fig.12 (a)와 같이 한지 부분을 포함한 고정장치 전반에 걸쳐 고르게 항복이 일어났으며, 하중이 작용하는 부위에서 측정된 하중과 변위의 관계는 Fig.12 (b)와 같이 나타났다.

개선된 분리형 고정장치의 구조해석 결과는 고정블록과 결합블록이 만나는 지점에서 초기 하중에 따른 응력이 집중되었고, 작용하중이 약 25kN에서 강성이 저하

되었다. 특히, 한계 하중이 35.3kN 이상 작용할 때는 구조물 상의 응력분포는 Fig.13 (a)와 같이 결합블록 하단과 고정블록 돌기부분에 응력이 집중되면서 항복이 일어났으며, 하중이 작용하는 부위에서 측정된 하중과 변위의 관계는 Fig.13 (b)와 같이 나타났다.

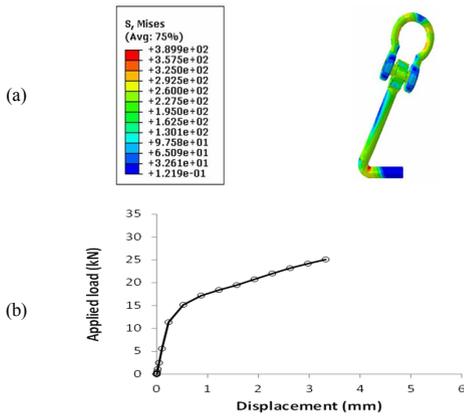


Fig. 12. Stress distribution and displacement diagram of the current fixing equipment

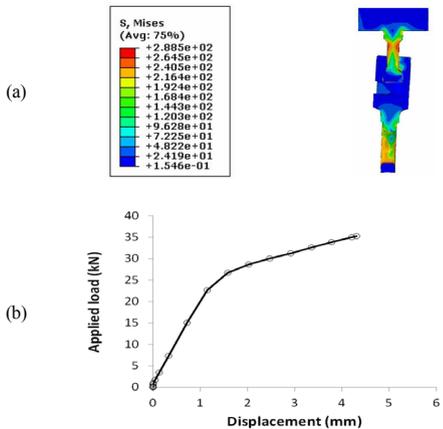


Fig. 13. Stress distribution and displacement diagram of the improved fixing equipment

따라서 본 연구를 통해서 개선된 분리형 고정장치의 구조해석 결과, 고정장치 개선안은 한계하중 35.3kN까지 파괴가 일어나지 않았음을 확인하였다. 이는 3장에서 몬테카를로 시뮬레이션을 통해서 신뢰도 95%구간의 하중범위(-1.216, 9.540)를 충분히 견뎌내는 강성을 지니고 있음을 의미한다. 뿐만 아니라 발생 최대하중인 28.151kN 에서도 견딜 수 있는 안전성을 보장하고 있다.

5. 결론

본 연구는 조립식 주택 건설을 위해서 유닛모듈을 차량으로 운반할 때 사용되는 운반용 고정 장치를 대상으로 유닛모듈 내·외장 마감재 변형을 최소화하기 위해서 차량 운반용 고정 장치를 개선하였다. 고정장치 개선을 위해, 유한요소해석을 통한 구조적 안전성을 검증하였으며, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 불확실성을 검토하였다. 기존의 연구와는 달리, 통계분석을 이용하여 구조물에 영향을 미치는 하중의 근접 하중분포를 도출하여 이를 적용하였다.

먼저 형태적인 측면에서, 개선된 고정장치는 고정블록과 아답터 블록으로 구성되어 있어, 기존 고정장치의 볼트형 이탈현상을 최소화 하였으며, 아답터 블록을 범용성 디자인 형태로 개선하여 벨트와 로프 모두 체결이 가능하도록 하였다.

하중의 불확실성 측면에서, 차량 운반용 고정장치 개선안은 선행연구에서 계측된 운반 하중측정값을 바탕으로 통계적 기법을 이용하여 운반하중의 분포가 극단값 하중의 형태를 띠고 있음을 밝혔다. 차량 운행을 통한 추가실험의 어려움을 고려해서, 도출된 확률분포를 바탕으로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 신뢰도 95%에서의 하중분포를 산출하였다.

구조적 안전성 측면에서, 도출된 하중분포의 신뢰도 구간은 운반고정장치 개선안의 구조해석 결과와 비교하였다. 운반고정장치 개선안은 35.3kN까지 파괴가 일어나지 않음을 구조해석을 통해 확인하였으며, 이는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 도출한 신뢰도 구간 95%의 하중분포를 충분히 견딜수 있는 강성을 가진 것으로 나타났다.

본 연구에서 제안한 운반고정장치 개선안은 현장에서 임시로 사용하고 있던 공구의 문제점을 보완함으로써 조립식 주택의 모듈운반시 발생하는 유닛모듈 내외장 마감재 변형 및 파괴 개선에 기여할 것으로 예상된다.

References

- [1] I. W. Ryu, S. G. Park, "A Study of the Revitalization Plan on the Industrialization in Building Systems for Development of the Special Construction Industry" ; Korea Research Institute for Construction Policy, pp. 7-15, 2011.

[2] S. Kim, K. T. Kim, N. C. Park, "Development of Fixing Equipment for Delivering a Prefabricated Housing Unit" ; Proc. of Korea Institute of Construction Engineering and Management, pp.287-288, November, 2014.

[3] K. T. Kim, M. J. Che, N. C. Park, S. Y. Park, "Development of Construction Technologies for One Day Housing" ; Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, pp.22-27, 2013.

[4] N. C. Park, K. T. Kim, S. Kim, "Correlation Analysis of a Working Load in Transporting Unit Modules" ; Proc. of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, October, 2014.

[5] K. J. Shin, S. H. Lee, H. D. Lee, "Analysis and Test for Turn-buckle of Capacity for measuring Tensile Force" ; Korean Society of Steel Construction, Vol 23, no. 6, pp715-724, 2011.

[6] K. S. Roh, S. R. Lee, J. Y. Kang, "Finite Element Analysis of the Gangway of a Korea High Speed Train" ; Proc. of the Korean Society for Railway, pp222-229, Spring, 2001.

[7] W. J. Hwang, Y. S. Haam, S. T. Kwon, H. M. Hur, E. S. Chun, "The Structural Analysis of Bogie for High Speed Freight Car" ; Proc. of the Korean Society for Railway, pp217-221, Spring, 2001.

[8] H. B. Park, S. K. Lee, S. C. Yang, J. C. Kim, "Statistical Comparison Analysis based on Monte Carlo Simulation between PSD random analysis and it's Equivalent Static Analysis for Analysis Equipment" ; Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp114-121, Spring, 2008.

[9] D. W. Park, W. Y. Moon, "The Reliability-Based Design Optimization for the Military Communication Equipment considering the Design Uncertainty" ; Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp504-509, Fall, 2011.

[10] S. Lee, M. H. Jang, J. K. Kim, J. W. Moon, I. G. Kim, "Reliability and Sensitivity Analysis for Laminated Composite Plate Using Response Surface Method" ; The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol A(37), no. 4, pp461-466, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.4.461>

[11] K. T. Kim, I. S. Jeong, N. C. Park, S. Y. Park, "Development of Construction Technologies for One Day Housing" ; Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, pp.93-98, 2012.

[12] N. C. Park, K. T. Kim, S. Kim, "Estimation of the Probability Distribution Model on the Load of Transport of the Unit Module" ; Vol 14, no. 2, pp220-221, 2014.

[13] S. Kim, K. T. Kim, N. C. Park, "Analysis of Load Behavior of the Fixing Equipment for Modular Units" ; Proc. of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, October, 2014.

박 남 천(Nam-Cheon Park)

[정회원]



- 2007년 8월 : 국민대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구원

<관심분야>
건설관리, VE

김 석 (Seok Kim)

[정회원]



- 2006년 8월 : 중앙대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 12월 : Texas A&M Univ. Dept. of Civil Eng. (Ph.D.)
- 2012년 1월 ~ 2012년 6월 : POSCO E&C Manager
- 2012년 7월 ~ 2012년 12월 : 중앙대학교 연구교수
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>
건설관리, 건설자동화, 의사결정

김 균 태(Kim-Kyoon Tai)

[정회원]



- 1995년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1995년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원
- 2006년 6월 ~ 현재 : 한국건설VE연구원 이사

<관심분야>
건설관리, 건축시공, 건설자동화