JKICS 2. 1. 021~027
June 30, 2019

DOI https://doi.org/10.20931/JKICS.2019.2.1.021 ISSN 2635-4780

HI-BEAM 공법 적용 시 안전성 및 경제성 분석 연구

김설민[1] · 손기영*

[1]울산대학교 건축공학부

Safety and Economic Analysis by Applying HI-BEAM Technology

Kim, sul min[1], Son, Kiyoung*

[1]School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea

Abstract : Hybrid & Integrated Beam (HI-BEAM), one of the composite systems, appears to have the advantage of high rigidity of reinforced concrete structures and long span of steel structures. In addition, because HI-BEAM makes the ends of beams from reinforced concrete, it is able to construct ideal composite construction method for effectively joining with reinforced concrete columns and can produce high-quality concrete structures without completing them in the field. Existing studies on the HI-BEAM method are mostly studies on structural aspects or epidemiological characteristics, or studies on the productivity and cost analysis of different structures through case studies, and analysis of actual construction methods is based on actual construction sites. In this study, the economic feasibility of the HI-BEAM method is verified by comparing the productivity and construction costs of the RC-BEAM method (RC-BEAM) method and the HI-BEAM method.

Keywords : HI-Beam Method, Composite Structure, Precast Concrete Method, Economic Analysis, Safety Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내의 건설시장은 고급 기능인력 및 현장 노무인력의 부족으로 인건비 상승 등과 같은 현장관리상 문제점과 건설시장의 개방에 따른 선진외국의 경제적이고 합리적인 기술 및 공법과 경쟁해야 하는 어려운 현실에 직면하고 있다. 따라서 국내외 건설시장은 경쟁력을 확보하기 위하여 효율적이고 경제적인 공법의 사용이 절실한 실정이다. 기존의 철근콘크리트구조는 비교적 경제적이지만 현장에서 숙련공이 요구되고, 작업공정이 다소 비효율적이다. 그리고 철골구조는 공기단축의 효과가 있지만, 공사비 측면에서 비경제적이다.

* Corresponding author: Son, Kiyoung, School of Architectural Engineering, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 44610, Korea
E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr
Received April 28, 2019 accepted June 7, 2019

이와 같은 기존공법의 단점을 극복하고자 다양한 복합구조 시스템이 개발되고 있다. 복합구조 시스템은 철근콘크리트와 철골구조형식을 단독으로 사용하지 않고, 각각의 재료특성을 충분히 발휘하도록 구성되어 있어 기존의 구조 형식에서 얻지 못했던 우수한 성능을 기대할 수 있다. 보의 장스팬화가 가능한 철골의 장점과 높은 강성 및 수직부재로서의 적절한 성능을 가진 철근콘크리트를 혼용하여 효율적인 구조시스템을 완성한다.

복합구조 시스템 중 하나인 Hybrid & Integrated Beam (이하 "HI-BEAM")은 단부는 철근콘크리트, 중앙부는 철골조로 구성되어 장스팬 확보라는 장점을 가진 복합구조 보이다. 또한 HI-BEAM은 보의 단부를 철근콘크리트로 제작하기 때문에 철근콘크리트 기둥과 효과적으로 접합할 수 있는 이상적인 복합구조 공법을 구축할 수 있을뿐더러 철근콘크리트 구조부위를 현장에서 완성하지 않고 PC화가 가능하기 때문에 현장 내에서 공기단축, 콘크리트 고품질화, 인건비 절약 등과 같은 2차 효과도 기대할 수 있다.

HI-BEAM 공법에 관한 기존 연구는 구조적인 측면이나 역학적 특성에 관한 연구가 대부분으로, 실제 같은 건설현장을 토대로 각 공법에 대한 분석이 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 공법 중 가장 많이 적용되고 있는 철근콘크리트구조(이하 "RC-BEAM") 공법과 HI-BEAM 공법의 안전성 및 경제성을 비교 및 분석하고자 한다. 상기와 같은 배경으로 수행될 본 연구의 구체적인 목적을 정리하면 다음과 같다.

(1) 동일 건축물(설계개요 및 설계하중 동일)을 토대로 RC-BEAM과 HI-BEAM의 구조설계
(2) RC-BEAM과 HI-BEAM의 작업생산성 및 공사비 분석
(3) HI-BEAM 공법의 경제성 확인

1.2 연구의 범위 및 방법

RC-BEAM과 HI-BEAM의 생산성 및 공사비를 분석하는 본 연구는 아래 <Fig. 1>과 같은 절차에 따라 진행되었다.

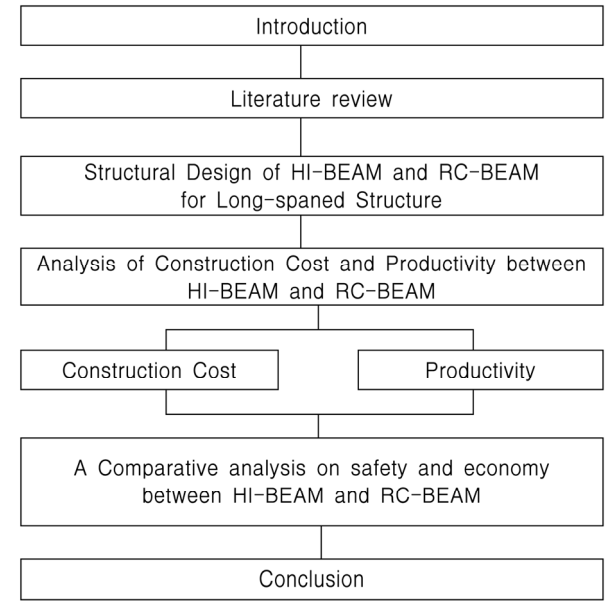


Fig. 1. Methodology

2. 이론적 고찰

2.1 HI-BEAM (Hybrid & Integrated Beam)

2.1.1 개요

건축물을 구성하는 대표적인 재료로는 철골과 철근콘크리트가 사용되고 있으며 철골은 가볍고 장스팬에 용이하고, 철근콘크리트는 압축력과 강성에 유리한 구조적 특징이 있다. HI-BEAM은 이러한 철골과 철근콘크리트의 특성을 살려 두 재료를 결합(Hybrid)하여 일체화(Integrated)시킨 복합보(Hybrid & Integrated Beam)로서 보의 양단부에는 RC 기둥과의 일체성 확보를 위해 철근콘크리트로, 보의 중앙부는 장스팬에 유리한 강재보로 구성되어 있다.

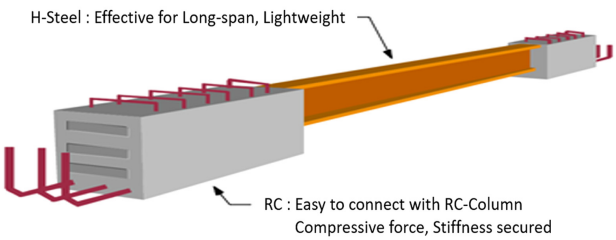


Fig. 2. HI-BEAM concept

2.1.2 부위별 특성 및 장단점

부위별 특성의 경우, 보-기둥접합부는 콘크리트 현장 타설함으로 철골조, SRC조와 같은 복잡합 접합을 생략하고, RC조와 동일한 강접골조로서의 접합성능을 발휘한다. 또한, HI-BEAM 단부는 큰 전단력과 모멘트가 작용하는 구간에 철근콘크리트를 사용함으로서 저비용으로 큰 내력을 갖도록 하였으며, 단부의 강성이 증가되어 처짐 및 진동에 대해서도 유리하다. 특히, HI-BEAM 중앙부는 작용력이 작고 또한 정모멘트 구간으로서 슬래브와의 합성효과를 고려할 수 있으므로 철골조에 비하여 소단면의 강재보를 사용한다. 또한 RC조에 비하여 부재가 경량화되어 자중이 감소하며, 장스팬화가 가능하다.

이러한 HI-BEAM의 장점은 첫째, 중앙부 철골보의 역학적 특성에 의해 12~25 m까지 대경간 확보 가능하다. 둘째, 부재의 공장생산과 현장설치라는 공법의 특성상 공기단축 가능 또한 현장 투입인력이 70% 감소됨에 따라 근원적인 안전성 확보가 가능하다. 셋째, 현장시공 시 가설재 사용이 절감되고 폐기물 발생이 감소된다. 그러나 아래와 같은 단점이 있는 것으로 나타난다. 첫째, 단부가 PC로 구성되어 있어 부재 운반시 단부의 단면적 증가로 인해 일회 운송량이 제한됨으로 운송비가 비교적 고가이다. 또한, 경간이 짧은 건물에는 위의 사항이 공사비 증가의 요인으로 발생하므로 공법적용이 제한적이다.

3. RC공법과 HI-BEAM공법의 구조설계

3.1 프로젝트 선정

본 연구에서는 동일한 조건의 현장에 다양한 골조공법을 동시에 시공할 수 없는 현실적 제약조건을 감안하여 대상사례를 설정하여 구조설계를 하고자 한다. 동일한 스팬을 가진 대상 현장으로 설정하여 가상 설계한 조건으로 구조를 검토하여 생산성과 공사비를 비교 및 분석하고자 한다.

아래 <Fig. 3>은 프로젝트 대상인 울산지역 건축물로 장스팬을 가진 아쿠아리움 건축물 한 개의 층을 나타낸 것이다. <Fig. 3>에서 보는 바와 같이 프로젝트 건축물은 X1열 (15.5 m). Y1열 (11. 5m)로 장스팬을 필요로 하는 구조로 구성되어 있다. <Table 1>은 해당 프로젝트 개요를 나타낸 것이다.

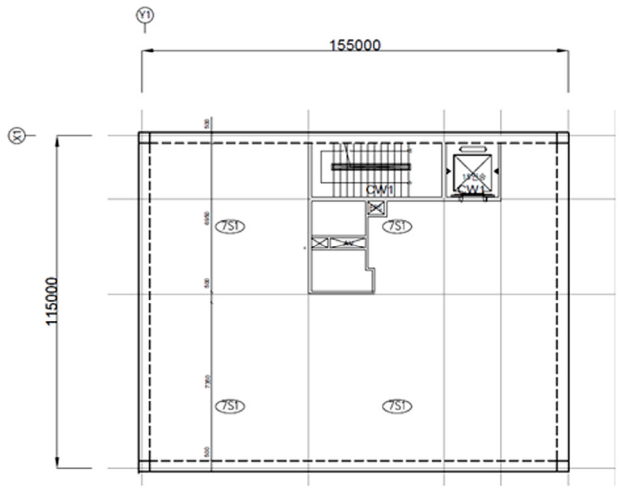


Fig. 3. Case drawing

Table 1. Project Overview

Classification	Content	Classification	Content
Site Location	Ulsan, Nam-Gu	Building Coverage Ratio	67%
Site Area	493.4㎡	Floor Space Index	395%
Building Area	302.1㎡	Gross Floor Area	1950㎡

3.2 안전성 검토

본 장에서는 프로젝트에 대한 HI-BEAM 구조설계를 실시하였다. 적용 건물의 설계하중 및 설계조건은 <Table 2>, <Table 3>과 같다. <Table 3>에서 f_y는 H형강, f_{yr}는 주철근, f_{ys} 는 전단철근의 인장강도를 나타낸다. 하중조합은 [1.2D+1.6L]을 사용하였다.

Table 2. Project Overview

Dead Load		Live Load	
SLAB	6000Pa	Roof Live Load	4000Pa
Floor Finishing	6000Pa		

Table 3. Design Condition

Condition			
f_y	400 Mpa	f_{yr}	400 Mpa
f_{ys}	400 Mpa	f_{ck}	24 Mpa
$E_c = 8500 * \sqrt[3]{24+4} = (2.581*10^4)$ MPa			
$w = (2.08*10^4)*2.875 = 59.8$ kN/m			

3.3 설계 결과

3.3.1 HI-BEAM 구조설계 결과

다음의 <Table 4>는 X1열(경간 15.5 m)의 HI-BEAM 구조설계 결과를 나타낸 것이다.

Table 4. Structural Design Results of HI-BEAM X1 Column

Classification	Content
Beam Section	500 x 910
Steel Section	H 448x119x8x12
Main Bar	D22 - 5ea + D22 - 5ea
Stud Shear Connector	Φ19 STUD_6ea
Pure RC Section Shear Reinforcement	2leg-D10 @150 =3ea
Steel reclaimation Section Shear Reinforcement	2leg-D10 @300 =6ea

다음의 <Table 5>는 Y1열(경간 11.5 m)의 HI-BEAM 구조설계 결과를 나타낸 것이다.

Table 5. Structural Design Results of HI-BEAM Y1 Column

Classification	Content
Beam Section	500 x 910
Steel Section	H 448 x 119 x 8 x 12
Main Bar	D22 - 4ea + D22 - 4ea
Stud Shear Connector	Φ19 STUD_6ea
Pure RC Section Shear Reinforcement	2leg-D10 @150 = 3ea
Steel reclaimation Section Shear Reinforcement	2leg-D10 @600 = 3ea

3.3.2 RC-BEAM 구조설계 결과

다음의 <Table 6>는 X1열(경간 15.5 m)의 RC-BEAM 구조설계 결과를 나타낸 것이다.

Table 6. Structural Design Results of HI-BEAM X1 Column

Classification	Content
Beam Section	500 x 910
Main Bar	D22 - 5ea + D22 - 5ea
Shear Reinforcement	2leg-D10 @150

다음의 <Table 7>은 X1열(경간 15.5 m)의 RC-BEAM 구조설계 결과를 나타낸 것이다.

Table 7. Structural Design Results of HI-BEAM X1 Column

Classification	Content
Beam Section	500 x 910
Main Bar	D22 - 4ea + D22 - 4ea
Shear Reinforcement	2leg-D10 @150

3.3.3 구조도면

다음의 <Fig. 4>는 X1열(경간 15.5 m)의 HI-BEAM 구조도면을 나타낸 것이다.

다음의 <Fig. 5>는 Y1열(경간 11.5 m)의 HI-BEAM 구조도면을 나타낸 것이다.

다음의 <Fig. 6>은 X1열(경간 15.5 m)의 RC-BEAM 구조도

면을 나타낸 것이다.

다음의 <Fig. 7>은 Y1열(경간 11.5 m)의 RC-BEAM 구조도 면을 나타낸 것이다.

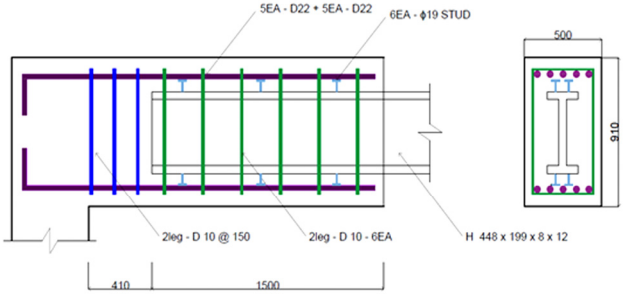


Fig. 4. HI-BEAM X1 Column Structure Drawing

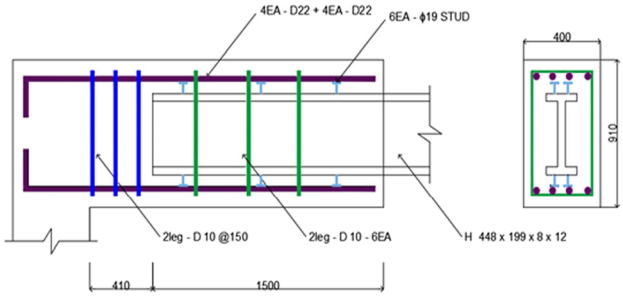


Fig. 5. HI-BEAM Y1 Column Structure Drawing

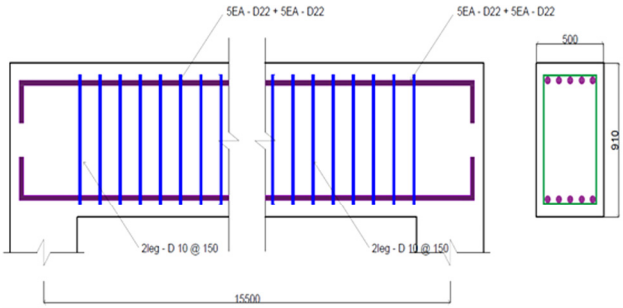


Fig. 6. RC-BEAM X1 Column Structure Drawing

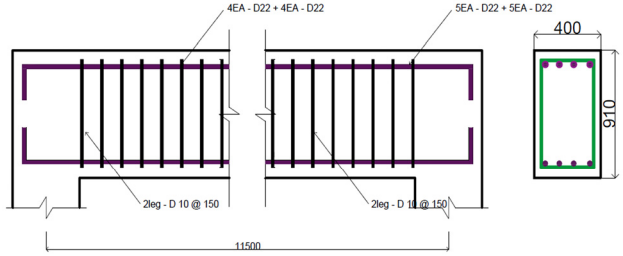


Fig. 7. RC-BEAM Y1 Column Structure Drawing

4. 경제성 분석

4.1 구조설계를 통한 각 공법의 물량산출

구조설계를 통하여 각 공법 적용 시 소요 물량을 산출하였다. 모든 공정에 대한 물량 파악은 BEAM의 구조를 다루는 본 연구와는 관계가 적다고 판단하여 한 층에 대한 골조공사(beam에 한정한다.)에 따른 소요물량만을 산출하였다. HI-BEAM공법은 PC부재임을 감안하여 보의 운송을 위한 기계장비의 물량을 포함하였다. 그 결과는 아래의 <Table 8>과 같다. <Table 9>는 RC-BEAM의 물량산출 결과를 나타낸다.

Table 8. HI-BEAM Quantity Estimation

Classification	Design quantity	Production Quantity (Purchase Quantity)
25-18-150 Read Mixed concrete	6.26 m^3	6.26 m^3
Plywood Form 3 times	34.68 m^2	34.68 m^2
H10	370.72 m	0.214 ton
H22	240.48 m	0.753 ton
H-Steel	48.72 m	0.967 ton
Stud-Bolt	-	24 EA

Table 9. RC-BEAM Quantity Estimation

Classification	Design quantity	Production Quantity (Purchase Quantity)
25-18-150 Read Mixed concrete	21.33 m^3	21.33 m^3
Plywood Form 3 times	116.62 m^2	116.62 m^2
H10	1,893.04 m	1.092 ton
H22	526.89 m	1.650 ton

4.2 물량산출을 통한 각 공법의 공사비 비교분석

건설업에서 공사에 소요되는 공사비용은 건설인력, 즉 노무자의 인건비나 사용장비의 가격, 사용자재의 가격, 기타 현장에서 발생 가능한 많은 문제와 공사기간과 공사지역, 공사규모에 따라 많은 차이를 보인다. 이에 아래와 같이 진행한다.

1) 본 연구에서는 울산지역 대상, 2018년 표준품셈을 기준으로 공사비를 산출한다.
2) 또한 공법의 비교 분석을 보다 정확하게 하기 위하여 레미콘, 거푸집, 철근의 조립 방식 등을 통일화한다.
3) 물량산출과 동일하게 한 층에 대한 골조공사(beam에 한정한다.)에 따른 공사비만을 산출한다.

4.2.1 HI-BEAM 공사비 산출

HI-BEAM의 공사비 내역서를 나타낸 표는 다음과 같다. <Table 10>은 HI-BEAM에 대한 H형강, 레미콘, STUD 볼트, 내화피복, 단부 거푸집, 이형철근, 철근공, 양중기, 운송차량경비 및 노무비의 항목에 대한 각 품목별 재료비, 노무비, 경비의 합을 나타낸 것이다. 레미콘 품목에는 재료 콘크리트와 타설에 관한 경비, 노무비가 모두 포함되어 있다.

Table 10. HI-BEAM Construction Cost Statement

Product	Standard	Measure	Cost (Thousands)
H-Beam (SM400A)	450*200*9*14	TON	2,430
Stud Bolt	Φ19 *85	EA	7.8
Remicon	25-18-150	m^3	336
Fireproofing Mortar	SK32	m^2	485
Plywood Form	3회	m^2	1,591
Deformed Bar	D-10 SD30A	TON	142
Deformed Bar	D-22 SD30A	TON	650
Rebar Manufacturing and Assembling	Simple	TON	535
Crane (tracked)	10TON (0.29 M3)	HR	53
Truck-tractor and Trailer	20TON	HR	147
Total			6,377

Table 11. Analysis of HI-BEAM material costs, labour costs and expenses

Classification	Cost (Thousands)
Material Cost	4,371
Labor Cost	1,977
Expense	402
Etc	1,579
Total cost	8,329

보는 바와 같이 HI-BEAM의 총 공사 원가금액은 8백3십2만9천원으로 산출되었다. 기타는 일반관리비 (재+노+경)*6%, 이윤 (노+경+일)*15%, 부가가치세 (총원가)*10%의 제비율을 적용하여 총 공사금액을 산출하였다.

4.2.2 RC-BEAM 공사비 산출

<Table 12>는 RC-BEAM에 대한 레미콘, 거푸집, 이형철근, 철근공 항목에 대한 각 품목별 재료비, 노무비, 경비의 합을 나타낸 것이다. 레미콘 품목에는 재료 콘크리트와 타설에 관한 경비, 노무비가 모두 포함되어 있다.

Table 12. RC-BEAM Construction Cost Statement

Product	Standard	Measure	Cost(Thousands)
Remicon	25-18-150	m^3	1,305
Plywood Form	3	m^2	5,350
Deformed Bar	D-10 SD30A	TON	1,300
Deformed Bar	D-22 SD30A	TON	665
Rebar Manufacturing and Assembling	Simple	TON	1,518
Total			10,138

<Table 13>과 같이, RC-BEAM의 총 공사 원가금액은 1천4백2십만7천원으로 산출되었다. 제비율은 HI-BEAM과 동일하다.

Table 13. Analysis of RC-BEAM material costs, labour costs and expenses

Classification	Cost (Thousands)
Material Cost	4,557
Labor Cost	5,979
Expense	620
Etc	3,051
Total cost	14,207

4.2.3 각 공법의 공사비 비교 분석

본 장에서는 각 공법 간 공사비를 비교하여 그 차이를 알아봄으로써 공사비 절감을 위한 공법선택에 있어서 HI-BEAM의 경제성에 대한 합리적인 판단 근거를 제공함을 그 목적으로 한다.

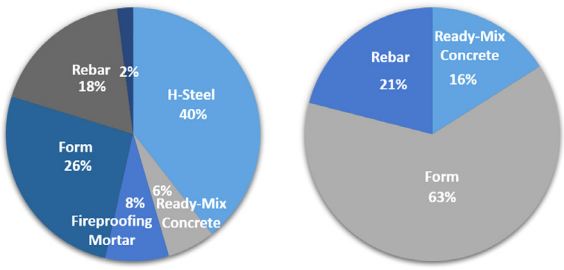
Table 14. Analysis of materials, labour and expenses by construction method

Classification (Thousands)	HI-BEAM	RC-BEAM	Extra Cost	Reduction Ratio
Material Cost	4,371	4,557	186	4%
Labor Cost	1,977	5,979	4,002	67%
Expense	402	620	218	35%
Etc	1,579	3,051	1,472	48%
Total cost	8,329	14,207	5,878	41%

Table 15. Ratio of materials, labour, and expenses by construction method

Classification	Material Cost	Labor Cost	Expense	Etc
HI-BEAM	52%	24%	5%	19%
RC-BEAM	32%	42%	4%	21%

위 <Table 14>, <Table 15>와 같이 HI-BEAM 공법은 RC-BEAM 공법에 대비 재료비는 4%, 노무비는 67%, 경비는 35%, 총공사비는 41%의 경제성을 보여준다. 재료비면에서는 별 반 차이를 보이지 않았지만, 노무비와 경비면에서 큰 절감효과를 보였다. HI-BEAM은 노무비가 차지하는 비율이 24%인 반면, RC-BEAM 에서는 노무비가 42%를 차지한다. HI-BEAM의 노무비 합계는 1,976,763원으로 RC의 노무비 5,979,578원 보다 4,002,815원 더 저렴하다. 각 공법별 재료비 차지 비율을 그래프로 정리하면 다음과 같다.



(a) HI-BEAM (b) RC-BEAM

Fig. 8. Ratio of charge for material cost b

HI-BEAM은 H형강이 차지하는 비율이 39%로 가장 높은 반면, RC-BEAM은 거푸집이 차지하는 비율이 63%로 가장 높다. HI-BEAM 의 거푸집 비용은 1,591,256원으로 RC의 거푸집 비용인 5,350,991원보다 3,759,735원 더 저렴하다.

4.3 각 공법의 생산성 비교 분석

일반적인 개념으로 볼 때 생산성이란 소비된 노동단위에 대하여 완성된 작업단위를 말한다. 또 건설업에서 소비된 노동단위란 해당 공사를 수행하기 위해 투입 된 인력을 의미한다. 따라서 소비된 노동단위 대비 완성된 작업단위가 높다면 높은 생산성을 가진 공법이라 여길 수 있다.

본 연구에서는 각 공법별로 시공된 건물의 생산성 비교는 일정한 시간동안 어느 정도의 작업단위를 수행할 수 있는지를 파악하기 위한 것으로, 이는 작업자의 노동단위를 통해 소요품을 추정함으로써 가능하다. 따라서 본 연구에서 HI-BEAM과 RC-BEAM의 생산성 비교는 현장필요물량에서 각 공정당 노동단위(2인/d, 8h/d기준)을 나눔으로서 산출되어지는 각각의 공정 당 공기 비교를 통하여 나타내었다. 각 공법의 공기산출 결과는 다음과 같다.

Table 16. Results of construction period calculation for HI-BEAM

Process	Required Construction Period (days)
Beam Lifting	1
Beam and Column Reinforcing Bar Joint	1
Jointed Concrete Formwork and Curing	7
Total	9

HI-BEAM 부재의 운송기간은 PC부재의 특성상 공기에 영향을 주는 요인이 아니므로 공기산출 목록에서 제외하였다.

Table 17. Results of construction period calculation for RC-BEAM

Process	Required Construction Period (days)
Beam reinforcement	2
Beam Form Install	7
Beam Concrete Formwork	2
Beam Curing	7
Total	18

HI-BEAM과 RC-BEAM의 공기산출 결과 공장생산 및 현장양중 하는 HI-BEAM은 현장타설 및 양생하는 RC-BEAM 대비 9일의 공기절감을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 골조공사에서 기존공법(RC-BEAM)과 복합화공법(HI-BEAM)의 안전성과 경제성을 비교하는 것을 목적으로 진행되었다. 이를 위하여 각 공법의 이론적 고찰 및 구조설계, 물량산출, 공사비 및 생산성 비교분석을 실시하였다.

공사비 측면에서 각 공법의 총 공사비는 HI-BEAM 8,329,000원, RC-BEAM 14,207,000원으로 산출되었다. 이는 HI-BEAM이 RC-BEAM 대비 5,878,000원 절감되어 41% 경제적이라고 분석된다. 재료비 차지 항목을 보았을 때 HI-BEAM은 H형강이 차지하는 비율이 39%로 가장 높은 반면, RC-BEAM은 거푸집이 차지하는 비율이 63%로 가장 높은 것으로 분석되었다. 재료비 중 HI-BEAM 의 거푸집 비용은 1,591,256원으로 RC의 거푸집 비용인 5,350,991원보다 3,759,735원 더 저렴하다는 결과가 나왔다.

생산성 측면에서 HI-BEAM은 9일, RC-BEAM은 18일로 HI-BEAM은 RC-BEAM 대비 9일 공기단축이 가능하며, 이는 50%의 공기단축 효과를 보인다. 결론적으로 본 연구에서 HI-BEAM과 RC-BEAM의 공사비 및 생산성 비교 분석한 결과는 다음과 같다. HI-BEAM은 RC-BEAM 대비 장스팬을 필요로 하는 공사 시 PC생산으로 거푸집 등 가설자재의 대폭적인 절감과, 기계화 시공에 의하여 기존의 RC-BEAM에 비해 경제적인 시공과, 공기단축이 가능하다. 본 연구는 위와 같은 경제성 분석을 활용하여 HI-BEAM공법 사용 시 대체안으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

This research was supported by a grant (NRF-2017R1C1B1003386) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

References

Lee, Y. H. (1998). “Development and Performance Evaluation of Hybrid Structure with HI-Beams.” Ministry of Construction and Transportation New Technology Designation, 133.

Park, O. K. (2003), “Comparative Analysis on the Productivity and Cost of Composite Construction Methods th Construction Structure Work -Focused on Method of Construction of RC-building, S-building, HI-Beam, and LC-Frame,” Master Thesis, Chung-Ang University, Seoul, Korea.

Lee, D. R. (1998). “The Advantage of HI-Beam Method and Its Field Application.” Journal of Architecture Institute of Korea, 42(12), pp. 36-45.

요약 : 현재 건축물의 높이가 높아지고 우리나라 가구 형태가 개인 주택에서 아파트로 변화함에 따라 타워크레인의 사용 횟수는 계속해서 증가하고 있다. 그러나 이처럼 증가하는 타워크레인 사용 횟수에 반해 우리나라 타워크레인 관련 정책은 매우 미비한 실정이다. 특히 타워크레인과 관련된 사고의 원인 중 가장 큰 비중을 차지하는 타워크레인 연식에 대한 기준은 그 설정 근거가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점에 주목하여 타워크레인의 보다 신뢰성 있는 타워크레인의 연식을 설정하는 연구를 진행한다. 이를 위해 본 연구에서는 기존 연구에서 사용했던 사례와 영국 타워크레인 기준을 바탕으로 사용 연식을 설정한다.

키워드 : 타워크레인, 사용 수명, 사이클 타임, 타워크레인 사고