

린 프로세스 기반 아웃리거 시스템의 Set-based Design 적용 방안에 관한 연구

A Study on the Application Methodology of
Set-based Design Approach of Outrigger System based on Lean Process

이 승 일*
Lee, Seung-Il

조 영 상**
Cho, Young-Sang

요 약

린은 고객이 정하는 가치를 정의하고 가치의 흐름에 방해되는 불필요하고 낭비되는 요소를 없애는 과정을 기본으로 하는 경영철학이다. 생산관리에서 출발한 린이라는 경영철학은 건설 산업에서 “린 건설”이라는 이름으로 건설단계에서 시작되었으며 이제는 생산성 향상을 효과적으로 이룰 수 있는 설계단계로의 확장이 필요한 시점이다.

현재 국내의 구조설계업무방식은 순차적 공학 개념의 Point-based Design 방식으로 설계자의 경험과 판단에 의존하여 초기 설계안을 결정하고 이후 상세설계를 진행하는 과정으로 설계업무가 진행되었다. 이에 반해 동시공학 개념의 Set-based Design 방식은 전체 프로젝트 관점에서 낭비요소를 없애고 프로젝트 생산성 향상을 위해 다양한 설계안을 제한된 범위 내에서 바로 선택하지 않고 더 확실한 정보가 나올 때까지 설계안의 선택을 유보하여 합리적이고 경제적인 설계안을 결정하는 린 기반의 설계 프로세스이다.

본 연구에서는 전통적인 구조설계방식에 대해 SBD방식을 도입하고, SBD프로세스의 의사결정기법으로 계층화분석법(AHP)을 적용하여, 후행업무단계들에 대한 사전 고려로 프로젝트 전체 관점에서의 낭비를 최소화하고 생산성을 향상할 수 있는 설계 방법론을 제안하고 하고자 한다. 이를 위해 PBD와 SBD방식에 대한 분석 및 의사결정방안을 모색하였고, 제안된 SBD프로세스의 사례연구를 통해 실무에서의 활용방안을 제시하였다.

키워드 : 린 프로세스, 린 설계, 설계업무, PBD, SBD, 의사결정기법, 계층화분석법, 아웃리거 시스템

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 건설 산업은 프로젝트가 초고층화, 대형화, 복잡화되면서 그에 따른 관리 및 생산성 향상을 위한 노력이 이루어지고 있다. 미국의 경우 근래 40년 동안 농업 산업을 제외한 산업의 경우 2배의 생산성향상을 가진데 비해 건설 산업의 경우 오히려 10%이하의 생산성 감소를 가진 것으로 나타났다¹⁾. 국내의 경우

IMF와 거품경제의 여파로 2000년대 초 건설 생산성이 마이너스 향상률을 보였으나, 2003년부터 2005년까지의 향상률은 미국과 영국을 앞서는 것으로 나타났다²⁾. 이는 근래 린 건설(Lean Construction), PMIS(Project Management Information System), BIM(Building Information Modeling)등의 도입을 통한 건설 산업의 업무 프로세스 전산화 및 정보 자료의 통합관리, 업무 분야 간 협업체계 구축 등을 큰 요인으로 볼 수 있다. 특히 린 건설 방식은 도요타 생산방식을 건설 프로세스에 특성화한 기법으로 전통적인 프로젝트 관리의 한계점을 인식하고 건

* 일반회원, 한양대학교 건축공학과 박사수료, 건축구조기술사, (주)롯데건설CM사업본부 기획팀 과장, lsi89@hanmail.net

** 일반회원, 한양대학교 건축학부 교수, 공학박사(교신저자), ycho@hanyang.ac.kr

1) CIFE(Construction for integrated Facility Engineering)의 연구보고서.

2) 원종성, 이 강(2008). “한국 건설 산업 생산성의 국제경쟁력 분석”, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제4호, pp. 75-83

설 산업에 새로운 생산관리를 적용하는데서 시작되었으며 이러한 ‘린’의 개념은 건설단계에서 설계단계로의 확장이 요구되고 있다. 그러나 현재 전체 프로젝트 관점에서 생산성향상을 가장 효과적이며 크게 가져올 수 있는 설계단계의 경우, 후행의 연관 분야와의 정보교환 및 협업이 부족한 상황이다. 현재 일반적인 구조설계방식의 경우 전통적인 Point-based Design(이하 PBD)방식으로 진행되어 설계자의 경험 및 판단에 의해 설계 초기 몇 가지 설계 대안을 비교하여, 이에 따른 선정안을 확정하고 설계를 진행하는 업무방식으로 이 경우 설계안들에 대한 구조적 성능, 구매, 제작, 공사비, 공기, 시공성 등의 종합적인 평가에 따른 최적안 선정이 어려웠다. 더욱이 최근 건물의 고층화, 비정형화를 추구해가는 과정에서 설계변수의 증가로 인해 이후 공정에서의 많은 피드백이 요구되고 있으며, 이는 설계초기 설계자의 불완전한 이해나 정보의 부족, 후속단계의 미 고려, 설계단계만의 국부적인 최적화 등이 큰 원인이 되는데, 기존의 구조설계 방법인 PBD방식의 경우 단일해 전략³⁾으로 이러한 불확실성에 대한 대처가 양호하지 않다. 이에 비해 린 설계 개념의 집합해 전략⁴⁾인 Set-based Design(이하 SBD)방식은 연관분야와의 협업 및 정보교환을 통해 다양한 설계 대안을 고려함으로써 초기 설계의 불확실성 및 이후 피드백에 의한 반복재수행의 빈도를 줄일 수 있는 가능성을 제시한다.

본 연구에서는 전통적인 구조설계방식에 대해 SBD방식을 도입하고, SBD프로세스의 의사결정기법으로 Analytical Hierarchy Process(이하 AHP)기법을 적용하여, 후행업무단계들에 대한 사전고려로 프로젝트 전체 관점에서의 낭비를 최소화하고 생산성을 향상할 수 있는 설계방법론을 제안하고 최종적으로 실제 해외에서 진행중인 초고층구조물의 아웃리거 설계에 적용하는 케이스스터디를 통해 제안된 SBD기법의 적용방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설프로젝트의 설계단계에서 기존의 전통적인 설계방식인 PBD방식에 대하여 린 설계 개념의 SBD방식을 도입하여 이에 대한 적용방안 및 효용성을 분석한다. SBD프로세스의 의사결정단계에서 AHP기법의 적용방안을 제시하고 최종적으로 실제 프로젝트의 아웃리거 설계에 적용, 분석하여 설계실무에서의 활용방안을 제시한다.

첫째, 린 프로세스, 설계업무방식 및 아웃리거 시스템에 대하

- 3) 단일해 전략: 제한된 범위 내에서 최종안을 선택 후 선택된 안으로 후속 업무를 진행하는 방법.
- 4) 집합해 전략: 실현 가능한 대안들을 지속적으로 유지하여 최종 단계에서 대안을 선택하는 방법.

여 이론적 고찰을 수행하였다.

둘째, 린 프로세스기반의 설계프로세스를 구축 하기위해 PBD 방식과 SBD방식에 대한 분석 및 설계적용방안을 모색하였고, SBD수행 과정에서 AHP를 도입하여 이에 대한 적용방안을 제시 하였다.

셋째, 제안된 SBD 프로세스를 실제 프로젝트의 아웃리거 시스템설계에 적용하는 사례연구를 실시하였다.

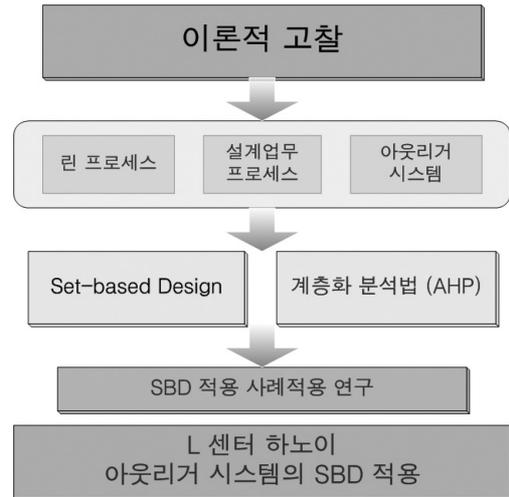


그림1. 연구과정 및 절차

2. 이론적 고찰

2.1 린 프로세스 (Lean Process)

린(Lean)은 고객이 정하는 가치를 정의하고 가치의 흐름에 방해되는 모든 것을 줄이고 없애는 과정을 기본으로 하는 경영철학이다. 생산관리에서 출발한 린이라는 경영철학이 건설 산업에 적용하는 것은 1990년대 초반에 “린 건설”이라는 이름으로 시작되었다.

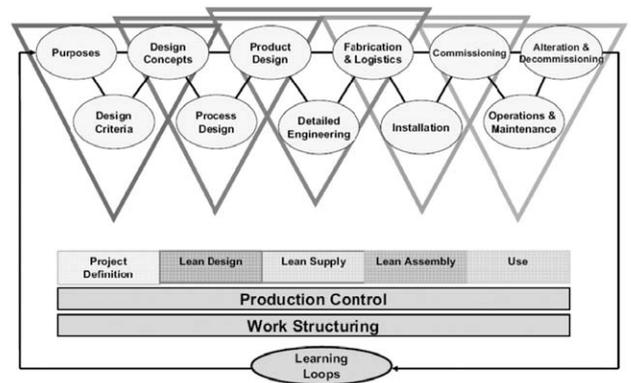


그림 2. Lean Project Delivery System⁵⁾

린 건설은 전통적인 프로젝트 관리방식의 한계점을 인식하고 건설 산업에 새로운 생산 관리방식을 적용하려는 데서 시작되었다. 그림 2는 LPDS(Lean Project Delivery System)의 도표를 보여준다.

전통적인 프로젝트와 린 프로젝트 수행방식간의 주요한 차이점 중의 하나는 업무단계별 관계와 각 단계에 있는 참여자들 간의 관계부분이다. 그림 2의 삼각형간의 중복되는 부분은 이러한 연관관계를 나타낸다. 린 설계는 가치 개념 및 기준에 대한 조율을 기반으로 기능적 시스템의 수준에서의 생산물을 산출할 수 있고, 이를 통한 전체 프로세스 설계를 발전시킬 수 있다.

2.2 린 설계 (Lean Design)

‘린’이라는 개념은 최근 건설단계에서 설계 단계로 확장되고 있다. 린 원칙이 건설단계에 어떻게 적용되는지에 대한 많은 연구가 이루어졌지만 설계 단계에서의 연구 및 실무적용은 미미한 실정이다. 해외의 경우 린 개념의 SBD 프로세스 적용 사례로는 미국 벨뷰 어린이 병원 프로젝트 등 소수 적용 사례가 있으나 국내의 경우는 이에 대한 도입 및 연구가 진행 중이다. 비록 린 설계에 대한 개념적인 논의는 기존연구에서 발견할 수 있으나 어떻게 린 개념이 실제 사례의 설계 단계에 적용되는지에 대해 연구된 사례는 매우 적다.

전통적인 설계 관리는 설계는 빨리 끝내고 일련의 대안으로 선택의 범위를 좁히려는 경향이 있으며, 이 경우 한 사람의 전문가에 의해 결정된 설계가 연관 업무와 마찰을 빚을 수 있으므로 이러한 결정은 후행업무가 진행됨에 따라 재작업을 요하기도 하고 혼란을 야기할 수도 있다⁵⁾. set based 전략은 린 설계에서 이용되는데, 상호협조적인 전문가들이 현재 고려중인 일련의 대안들에 대하여 제한된 범위 내에서 바로 최선안을 선택하지 않고 더 확실한 정보가 나올 때까지 대안의 선택을 유보한다⁶⁾.

2.3 설계업무 프로세스

설계업무는 대부분의 문제가 상호 의존도를 가지고 선, 후행 업무 간 정보교환을 통해 수행되기 때문에 반복 재수행은 불가피하다. 최근 건물의 고층화, 비정형화를 추구해 가는 과정에서 설계 변수의 증가로 후 공정에서의 더욱 잦은 피드백이 요구된

다. 이는 설계 초기 설계자의 불완전한 이해나 정보의 부족 등이 원인이 되는데, 기존의 단일해 전략으로는 이러한 불확실성에 대한 대처가 어려운 경우가 많다. 이에 집합해 전략은 다양한 설계 대안을 고려함으로써 초기설계의 불확실성에 기인한 향후 피드백 및 이에 따른 반복 재수행의 빈도를 줄이는 가능성을 제시한다. 설계 업무 프로세스 간 오버랩에 의한 리드타임⁷⁾단축은 각 단계별 업무에 할당되는 시간을 줄이는 것이 아니라 효과적인 분업을 통해 업무 간 상호의존도를 최소화하고 동시에 병렬적으로 업무를 진행함으로써 리드타임을 단축시키는 시스템적 전략이다. 병렬적 업무진행은 그 단계의 설계를 마친 설계자들이 다음 단계가 실행되는 동안 다른 부문을 진행함으로써 업무의 전체적인 효율을 높일 수 있다. 또한 업무의 각 단계마다 철저한 재검토를 통해 반복 업무의 발생률을 줄임으로써 전 공정을 완료하는 시간을 효과적으로 단축시킨다.

오버랩은 단위 업무간의 상호의존도에 의해 결정되며 합리적인 업무수행을 위하여 단위업무 사이의 관계를 고려한 효과적인 오버랩이 필요하다. 단일 업무사이의 관계는 그림 3과 같이 의존적 업무, 독립적 업무, 상호 의존 업무의 3가지로 분류할 수 있다.

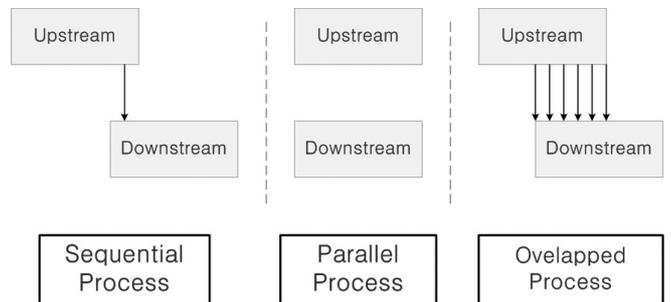


그림 3. 단위 업무간의 상호 의존도

2.4 아웃리거 시스템

아웃리거는 초고층 건축물에서 강성이 큰 벽체나 트러스형태로 내부 코어와 외부 기둥을 수평방향으로 연결하는 구조로서 이는 코어에 집중되는 인장력 및 압축력을 외부골조의 기둥으로 분산시켜 전도 모멘트를 감소하는 방식으로 횡강성을 증가시킨다. 일반적으로 아웃리거 시스템은 코어, 아웃리거, 외부기둥으로 구성된다. 횡강성이 큰 수평 캔틸레버 보와 캡 트러스 또는 벨트 트러스에 의해 외부기둥을 코어와 하나로 묶음으로써 순수 캔틸레버로 거동하는 코어의 전도 모멘트를 감소시키고, 감소된

5) Glenn Ballard(2000). “Lean Project Delivery System” Lean Construction Institute: Research Agenda. <http://www.leanconstruction.org/lpds.htm>

6) 김용우, 김광호(2008). “린 건설 관리 방식의 공사 전 설계 진행에 관한 연구”, 한국의료복지시설학회지, 제14권 제4호, pp. 48

7) 리드타임: 설계 업무의 시작에서 마지막 까지 소요시간.

모멘트를 인장, 압축의 우력으로 코어외부의 기둥으로 전달하여
 횡강성을 증가 시킨다.

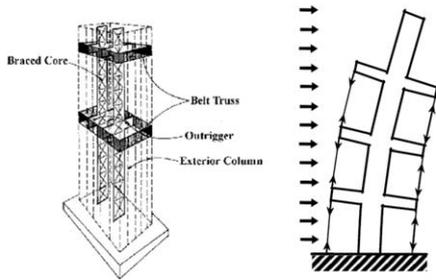


그림 4. 아웃리거 구조시스템

3. SBD 방법론

3.1 SBD 적용 방법

3.1.1 기존방식 분석(PBD)

전통적인 설계 프로세스는 설계 초기에 하나의 설계안을 정한 후 기본설계, 실시설계 등을 순차적으로 진행하는 단일해 기반의 연속 공정(Point-based Serial Engineering)이었다. 이는 각 단계의 전문성이나 정보 전달이 용이하지 않아서 설계과정에서 빈번한 재설계의 발생과 함께, 서로 분리된 조직에서 직렬적으로 운영되는 방식으로 인해 초기에 발생한 설계 오류가 공사 과정에서 나타남으로 공사가 시간을 지연시키기도 한다. 또한 각 분야에서 설계 정보의 부족으로 과도한 수정작업이 요구 될 수 있으며, 설계단계에서 생산과 관련된 정보의 고려가 어렵다.

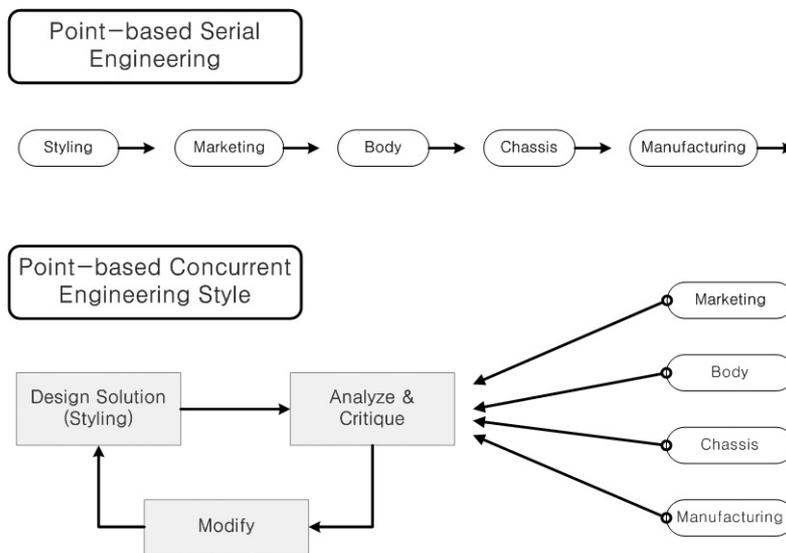


그림 5. Point-based Design Approach

3.1.2 SBD 적용 프로세스

SBD의 가장 큰 특징은 그림 6과 같이 설계 초기에 다양한 설계 대안을 설계자, 엔지니어, 제작자가 동시에 고려하는 것으로, 이는 설계초기에 다양한 설계 대안을 반영함으로써 설계오류에 의한 후 공정에서의 반복, 재작업을 일정 부분 극복할 수 있다.

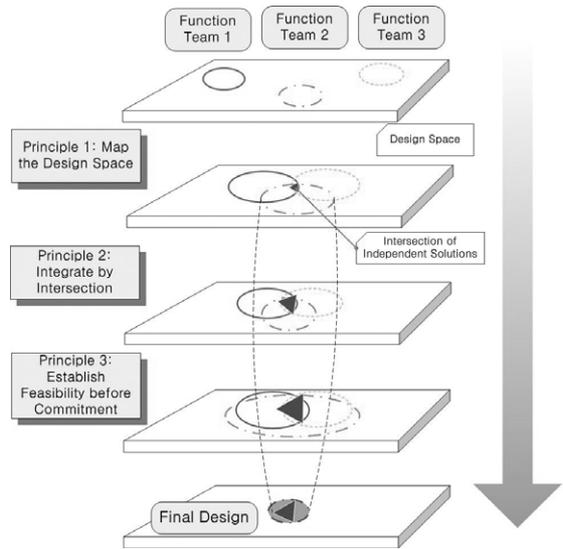


그림 6. Set-based Design Approach

또한 SBD는 설계과정에서 다음과 같은 장점들이 있다. 첫째 설계 대안을 확정 짓지 않고 결정을 보류시켜 설계가 진행됨에 따라 필요한 정보와 지식을 습득하게 함으로써 불확실성을 줄인

다. 둘째 설계진행에 따라 다양한 대안들을 비교하고 우열을 가려 제거함으로써 최종적으로 가장 적합하다고 판단되는 대안을 남길 수 있다. 셋째 설계진행 과정을 시뮬레이션을 통해 통합적으로 고려하여 설계를 진행하는 동시공학의 시스템적 접근 방법과도 적절하게 접목 된다. 넷째 설계자의 학습능력을 증진시켜 반복되는 실패를 피하고 타 분야와의 적절한 협업을 유도해 낼 수 있다.

3.2 의사결정기법 적용방법

3.2.1 의사결정기법 선정

의사결정기법(Decision Making Process)이란 평가기준이 다수인 경우, 각 기준 하에서 선택대상으로 고려하고 있는 다수 대안들의 선호도를 각각 측정하고, 이를 종합하여 최선의 대안을 선택하고자 하는 과정을 말한다. 의사결정에서 평가기준들이 상충관계에 있는 경우, 모든 평가기준들의 절충관계(trade-off)를 고려하여 최적의 대안을 찾는 것은 현실적으로 어려우며, 평가자의 선호도를 객관적으로 측정하는 것도 쉽지 않은 문제이다.

본 연구에서는 SBD 과정의 의사결정기법 선정을 위해 표1과 같이 4가지 의사결정기법의 특징과 장·단점을 비교하였다. AHP와 Choosing By Advantages(CBA)의 경우 집단 의사결정을 위해 널리 사용되는 기법이며, 특히 AHP는 인간의 의사 결정시 두뇌가 단계적, 위계적 분석과정을 활용 한다는 사실에 착안하여 Thomas L. Saaty에 의해 개발되었으며 현존하는 의사결정기법 중 가장 광범위하게 인정을 받아 널리 활용되고 있는 기법중 하나로 본 연구의 의사결정기법으로 선정하였다.

표 1. 의사결정기법 비교(Parrish, 2009)

Factors	Analytic Hierarchy Process	Choosing By Advantages	Multi-attribute Utility Theory	Robust Decision-Making
Designed for group decision-making	Yes	Yes	No	Yes
Support incomplete information	No	Yes	Yes	Yes
Clear vocabulary	Yes	Yes	Yes	Yes
Easy to use	No	Yes	No	Yes
Generates alternatives	Yes	Yes	Yes	Yes
High level of abstraction	No	No	Yes	No
Commercially used	Yes	Yes	Yes	No
Software package	Yes	No	No	Yes

3.2.2 계층화 분석법(AHP) 산정방법

AHP는 사람이 문제를 해결할 때 계층적 구조의 설정, 상대적 중요도의 설정, 논리적 일관성 유지의 원칙을 따른다는 점을 착안하여 개발되었다. AHP는 의사결정에 대한 일관성을 평가하고 결과에 대해서 일관성이 없을 경우 계속적으로 수정될 수 있

는 적응성이 강한 모형으로서 의사결정자는 문제 계층에 있는 요소를 늘릴 수도 있고 판단을 바꿀 수도 있다.

AHP 기법 산정방법은 크게 계층구조의 설계와 평가의 두 단계로 구성되며 이는 다시 다음과 같은 다섯 단계로 구분할 수 있다.

1단계: 계층구조의 구성

평가항목을 주변여건, 기준, 대안으로 구분하여 의사결정의 계층(Decision Hierarchy)을 만든다.

2단계: 계층 내 쌍대비교

대안별 상대적 가중치를 계층별 쌍대비교 행렬을 통해 작성하며 척도는 일반적으로 1에서 9까지의 값을 가진다.

3단계: 상대적 중요도 계산

쌍대비교를 통해 각 요소간의 상대적 중요도를 측정하고 그 결과를 종합하여 요소들 간의 상대적 가중치를 계산하는 과정이다.

4단계: 일관성 검증

전문가 집단이 주관적으로 판단한 요소간의 중요도강도가 얼마나 일관성 있게 응답되었는가를 알기 위해서 일치성 분석이 필요하며 아래와 같은 단계로 수행된다.

첫째, 최대고유치(principal Eigenvalue) λ_{max} 를 구한다.

$$[A] \times [W] = [Y] \dots (1)$$

$$(Y1/W1 + Y2/W2 + \dots + Yn/Wn)/n = \lambda_{max}$$

둘째, λ_{max} 를 이용하여 일치성지수(Consistency Index: CI)를 구한다.

$$CI = \lambda_{max} - n / (n - 1) \dots (2)$$

$$\lambda_{max} \geq n \text{ (단, } n = \text{행렬의 차원)}$$

셋째, 최종적으로 일치성지수 CI를 무작위일관성지수와 비교를 통해 일치성비율(Consistency Ratio: CR)을 산정하며, 통상 CR이 10%이하이면 양호하게 응답한 것으로 간주된다.

5단계: 가중치의 통합 및 평가

목표에 따른 대안들에 대한 전체의 선호도를 산정하는 단계로 상위계층에 있는 모든 요소들과 관련된 어느 한 수준에 있는 요소들의 모든 선호도를 합산하여 얻어진다.

4. 사례적용연구

4.1 적용 프로젝트 개요

L센터 하노이는 Fast Track 방식으로 현재 설계와 공사가 병행하여 진행되는 RC구조의 초고층 프로젝트로, 공사비 및 공기에 큰 영향을 미치는 아웃리거 시스템을 본 연구의 사례적용 부분으로 선정하였다.

표 2. 프로젝트 개요

프로젝트 명	L센터 하노이	
프로젝트 위치	베트남 하노이	
프로젝트 개요	규모	지하5층/ 지상65층 (최고높이258.25M)
	용도	백화점, 사무실, 호텔 및 부대시설
	구조형식	철근콘크리트구조, 철골 철근콘크리트구조
	횡력저항시스템	코어월 + 아웃리거 + 플랫슬래브 유효보

타워의 구조는 콘크리트코어월과 두께 250mm 내외의 플랫슬래브로 구성되어 있으며 약 9m의 간격으로 배치된 원형기둥으로 지지되는 방식이다. 횡력 저항시스템은 RC코어월과 아웃리거, 플랫슬래브유효보로 구성되어 있다. 지배적인 횡력은 길이방향의 경우 지진하중, 단변방향의 경우 풍하중에 의해 결정되었으며, 횡력에 대한 지지 및 과도한 변위를 방지하기 위하여 32층과 지붕층에 아웃리거 배치를 고려하였다.

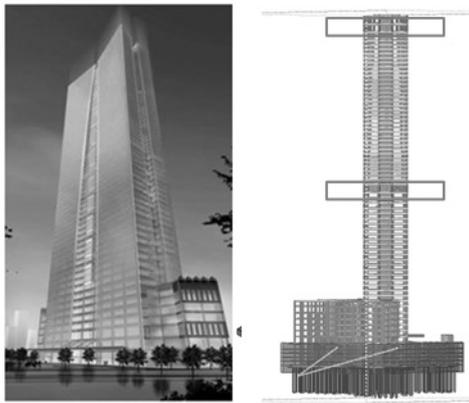


그림 7. L센터 하노이 아웃리거 설치부

4.2 Set-based Design의 적용

4.2.1 설계대안 구성

아웃리거 시스템대안은 아래와 같이 3가지로 구성되었다. 아웃리거 시스템 결정에 대한 Set-based Design의 설계안은 각 분야별 경력 12년 이상인 설계자, 구조 엔지니어, 시공자, CM(이하 관계 기술자)의 검토와 협의를 통해 표3과 같이 총 3개의 안으로 구성되었다.

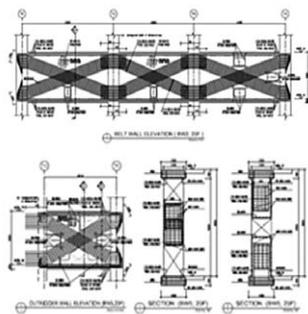


그림 8 (a). ALT-1 아웃리거 월+벨트 월

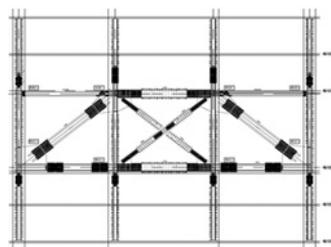


그림 8 (b). ALT-2 아웃리거 트러스

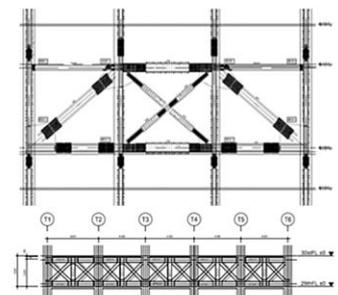


그림 8 (c). ALT-3 아웃리거 트러스+벨트 트러스

그림 8. 아웃리거 시스템별 설계대안

표 3. 아웃리거 시스템 설계대안

설계안	ALT-1	ALT-2	ALT-3
아웃리거 시스템	아웃리거 월 + 벨트 월	아웃리거 트러스	아웃리거 트러스 + 벨트 트러스
설치 위치	32층 / 지붕층	32층 / 지붕층	32층

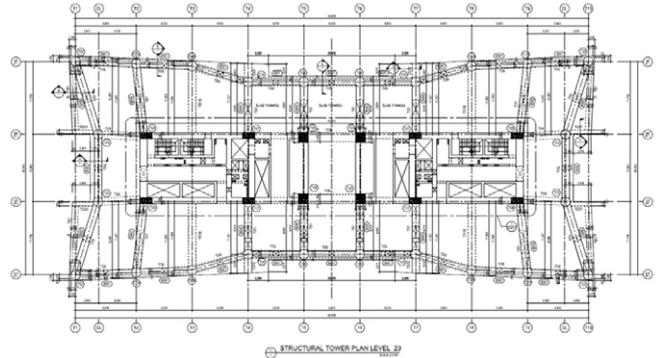


그림 9 (a). 32층 아웃리거 설치층 평면도

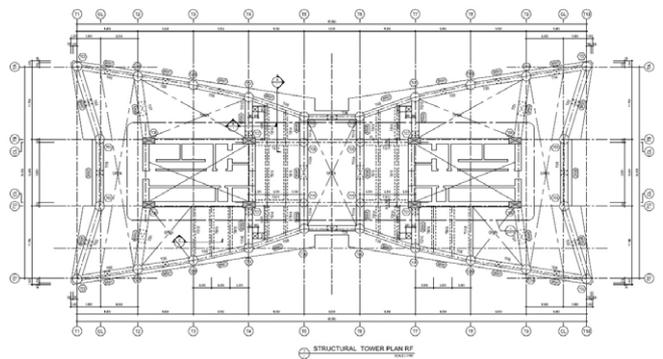


그림 9 (b). 지붕층 아웃리거 설치층 평면도

그림 9. 아웃리거 설치층 평면도

4.2.2 구조해석 및 부재설계

앞에서 이루어진 3가지의 설계 대안은 관계 기술자인 구조 엔지니어에 의해 그림10과 같이 ETABs 환경에서 전체 건물에 대

한 해석이 진행되었고, 이에 따른 아웃리저의 부재설계가 각각 수행하였다.

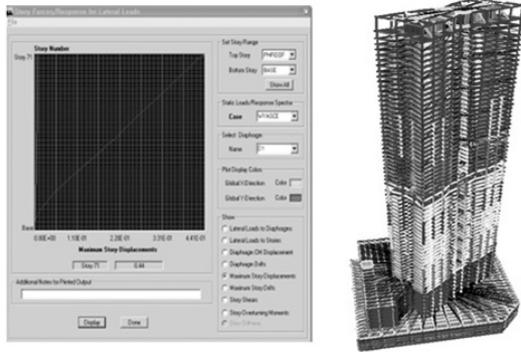


그림 10. 구조해석 및 횡변위 평가

4.3 계층화분석

4.3.1 AHP 분석

AHP분석은 관계기술자의 분야별 기술 검토와 협의를 통해 진행되었다.



그림 11. AHP 분석과정

4.3.2 AHP 평가기준 및 계층화 구성

아웃리저 시스템 선정의 AHP분석을 위한 평가기준은 관계기술자의 검토에 의해 레벨 1과 레벨 2로 구성되었다.

표 4. 각 레벨 별 세부항목

레벨 1	레벨 2	세부항목
구조 안정성	횡력 저항	풍하중 작용 시 사용성 확보를 위한 성능기준으로 최대변위를 H/450(건물 최고높이/450)이하가 되도록 하는 횡력저항 성능을 비교한다.
	컬럼 쇼트닝	수직하중의 작용에 의해 기둥과 코어벽체에 수직변위가 발생하고, 수직 부재간의 변위차이에 따라 아웃리저에는 부가적인 변위와 응력이 발생하게 된다. 이에 따라 아웃리저에 발생하는 구조적 안전성을 비교한다.
경제성	자재비	공사를 위한 자재비의 대소를 비교한다.
	노무비	공사를 위한 노무비의 대소를 비교한다.
시공성	콘크리트 타설	콘크리트 타설의 난이도를 비교한다.
	접합부 난이도	기둥과 아웃리저, 코어벽체와 아웃리저의 접합부 시공 난이도를 비교한다.
현장 공기	자재 수급	자재수급의 용이성을 비교한다.
	현장 공기	시공을 위해 필요한 공기를 비교한다.

표4와 그림 12는 4단계 레벨의 계층구조로 AHP 평가기준과 세부평가 항목을 나타낸다. 레벨 1은 동등 레벨인 구조안정성 (Structural Safety), 경제성(Economical Efficiency), 시공성 (Constructability), 공기(Term of Work)로 구성되었고, 레벨2는 레벨1의 세부항목으로 횡력저항, 컬럼쇼트닝, 자재비, 노무비, 콘크리트 타설, 접합부 난이도, 자재수급, 현장공기로 구성되었다.

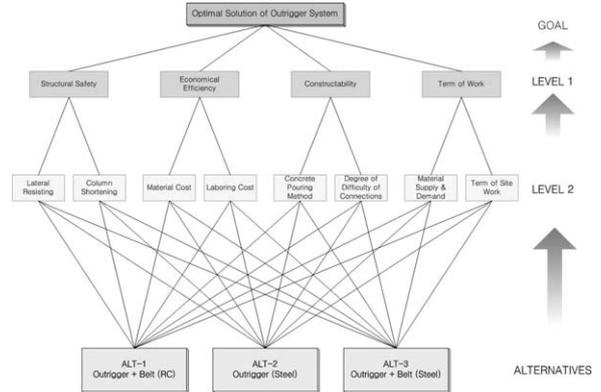


그림 12. 4단 계층 AHP-아웃리저 시스템 선정구조

4.3.3 평가기준별 쌍대비교

평가기준별 중요도강도의 산정을 위해 기준별 쌍대비교를 수행 하였다. 쌍대비교는 표 5와 같이 관계기술자에 의해 수행되었으며, 각각 수행된 쌍대비교는 기하평균 되어 하나의 값으로 산정되었다.

표 5. 쌍대비교 및 중요도 강도

	A	B	C	D	E	F	G	H	P. V.
A. 횡력 저항	1	0.91	0.26	0.12	0.18	0.28	0.16	0.11	0.03
B. 컬럼 쇼트닝	1.1	1	0.32	0.21	0.35	0.58	0.35	0.23	0.04
C. 자재비	3.79	3.11	1	1.22	1.48	2.33	1.32	0.85	0.2
D. 노무비	8.28	4.75	0.82	1	1.75	2.4	1.53	0.98	0.17
E. 콘크리트타설	5.59	2.86	0.68	0.57	1	1.23	0.7	0.54	0.12
F. 접합부 난이도	3.56	1.71	0.43	0.42	0.81	1	0.7	0.45	0.09
G. 자재수급	6.26	2.86	0.76	0.65	1.42	1.43	1	0.6	0.14
H. 현장공기	9	4.33	1.17	1.02	1.86	2.21	1.67	1	0.21

4.3.4 중요도강도 및 일관성지수 산정

앞에서 이루어진 쌍대비교를 통해 얻은 항목별 중요도강도는 표5와 같이 현장공기(0.21), 자재비(0.2), 노무비(0.17), 자재수급 (0.14), 콘크리트 타설(0.12), 접합부 난이도(0.09), 컬럼쇼트닝 (0.04), 횡력저항(0.03)순으로 평가되었다.

일치성지수 CI는 0.0162로 산정되었고, 무작위일관성지수 (1.14)와의 비교 시 일치성비율(CR)= 0.0142로 관련기술자의 평가는 매우 양호한 것으로 나타났다.

4.3.5 설계대안 별 선호도평가

설계대안의 평가항목별 선호도는 표6과 같이 평가 되었다. 횡력저항 항목의 대안별 선호도는 ALT-1 아웃리거 시스템의 경우 아웃리거월과 함께 벨트월의 작용으로 횡력저항에 가장 유리하여 가장 큰 선호도(0.43)로 평가되었으며, 현장공기 항목의 경우 시공성등의 양호로 ALT-2가 가장 높은 선호도로 나타났다. 대안별 선호도평가는 표 6과 같이 각각의 평가항목별 선호도를 복합적으로 고려하여 대안별 최종 선호도를 도출하였다.

표 6. 평가항목 별 복합선호도 평가

대안	횡력 저항	컬럼 소 트닝	자재비	노무비	콘크리트 타설	접합부 나이도	자재 수급	현장 공기	Weight
	0.03	0.04	0.17	0.20	0.12	0.28	0.16	0.11	
ALT-1	0.43	0.09	0.43	0.43	0.16	0.07	0.5	0.23	0.32
ALT-2	0.29	0.45	0.29	0.29	0.76	0.47	0.25	0.48	0.40
ALT-3	0.29	0.45	0.29	0.29	0.08	0.47	0.25	0.29	0.28
									1.00

4.3.6 최종안 결정

AHP기반의 SBD 수행 결과에 따라 ALT-2가 가장 적합한 설계안으로 평가 되었다. 이에 따라 최종 설계안은 ALT-2로 결정하여 진행하고, 본 연구의 제약 조건으로써, 현장상황, 자재수급의 용이성, 자재비, 노무비등의 변동을 고려하여 ALT-1과 ALT-3의 설계안은 지속적으로 유지하여 주변 여건의 변동 시 변경된 평가기준을 재분석하고 적용함에 따라 신속한 대처를 가능토록 한다.

5. 결론

본 연구에서는 전통적인 구조설계방식에 대해 SBD방식을 적용하여, 후해업무단계들에 대한 사전고려로 프로젝트 전체관점에서의 낭비를 최소화하고 생산성을 향상할 수 있는 설계방법론을 제안하였다. 이를 위해 먼저 린 프로세스, 설계업무방식 및 아웃리거 시스템에 대하여 이론적 고찰을 수행하였고, 린 프로세스기반의 설계프로세스를 적용하기 위해 PBD방식과 SBD방식에 대한 분석 및 설계적용방안을 모색하였다. SBD수행 과정의 핵심부이라 할 수 있는 의사결정부분에서는 다기준의사결정기법인 AHP기법을 도입하여 이에 대한 적용방안을 제시 하였다. 마지막으로 제안된 SBD 프로세스를 실제 프로젝트의 아웃리거 시스템 설계에 적용하는 사례연구를 실시하였다.

이상의 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) SBD 프로세스는 린 설계방식으로 관련 전문가들의 지식공유와 함께 제한된 범위에서 설계안을 바로 선택하지 않고 더 확

실한 정보가 나올 때까지 대안선택을 유보하는 방식으로 린 기반의 설계를 가능하게 한다.

2) SBD 프로세스는 특정 프로젝트에 속한 각 업무분야 간의 시간적, 의사 결정적, 경제적 면에서 동시에 고려할 수 있는 작업환경을 구축할 수 있다. 이는 초기설계 단계에서 협업을 통해 프로젝트 전 생애주기 관점에서의 생산성 향상을 가능하게 한다.

3) SBD을 적용한 사례연구를 통해 아웃리거 시스템 대안의 선정 시 구조안정성 외에 경제성, 시공성, 공기를 추가적인 평가 기준으로 적용하여 AHP분석을 수행하였으며, 이를 통해 기존의 PBD 방식에서 고려하기 어려운 복합적 평가가 가능하였다.

4) PBD방식의 설계 시 고려하기 어려운 평가항목별 중요도 정도 및 전체 평가항목의 종합적인 고려는, SBD 적용 시 중요도강도 및 복합선호도평가를 통해 반영이 가능하였다.

5) SBD기반 사례적용 연구를 통해 아웃리거 시스템의 최적 설계안 평가 및 이후 변동요인에 대한 신속한 대처방안의 마련이 가능하였으며, 이를 통해 실무에서의 적용가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 SBD프로세스 중 의사결정 단계에서 AHP를 적용하였다. 그러나 SBD수행과정 중 보다 효율적이고 합리적인 의사결정을 위해서는 다른 의사결정기법에 대한 비교 및 적용에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

김용우, 김광호(2008). “린 건설 관리 방식의 공사 전 설계 진행에 관한연구”, 한국의료복지시설학회지, 제14권 제4호, pp. 47~54

김대용(2007). “효율적 설계프로세스 관리를 위한 린 기반의 개념적 모델 제시”, 대한건축학회 논문집, 제23권 제4호, pp. 121~129

이동운, 김영수(2003). “Fuzzy AHP 기법을 이용한 건설공사의 코스트 리스크 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제19권 제14호, pp. 169~176

배대원(2007). “SOM 알고리즘을 고려한 보강판의 Set-based Design”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 조선해양공학과

이상민(2010). “Flat-Plate 시스템의 연쇄붕괴 성능평가에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 건축환경공학과

배준서(2010). “구조 BIM 환경에서 Set-based 설계방법론을 적용한 플랫 플레이트의 철근배근 설계”, 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 건축환경공학과

이승일, 권남하, 조영상(2010). “BIM기반 골조공사의 시공성분석 업무 적용사례에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제

10권 제5호, pp. 45~54

Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K(2007). "BIM Handbook—A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors", John Wiley & Sons, Inc.

Paul M. Teicholz(2003). "Why Construction Industry Productivity is Declining", ENR: Engineering News Record, May 12

Kristen Danielle Parrish(2009). "Applying a Set-based Design Approach to Reinforcing Steel Design", Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley

John-Michael Wong, Kristen Parrish(2007). "Communication and Process Simulation of Set-based Design for Concrete Reinforcement.", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 2057~2065

Durward K Sobek II, Allen C Ward, Jeffrey K Liker(1999). "Toyota's Principles of Set-based Concurrent Engineering", Sloan Management Review, pp. 67~83

Thomas L. Saaty(2008). "Decision Making with the Analytical Hierarchy Process", International Journal of Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp. 83~98

Thomas L. Saaty(1990). "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process", European Journal of Operational Research 48, pp. 9~26

Glenn Ballard(2000). "Lean Project Delivery System™", Lean Construction Institute: Research Agenda

논문제출일: 2011.01.14
 논문심사일: 2011.01.24
 심사완료일: 2011.04.18

Abstract

Lean concept is management philosophy that defines a customer's value and eliminates wasteful and impeditive factors. Management philosophy of Lean in the construction industry is referred to as "Lean Construction". Now this concept has expanded to achieve effective productivity during the design phase.

Currently the norm of the domestic design process has been Point-based Design(PBD). It involves selecting a single structurally-feasible design option early and then refining that single design as more information becomes available throughout the design process. This single design is then re-worked until a solution is found that is feasible for all parties. On the contrary, Set-based Design(SBD) is based on lean processes to eliminate waste and improve project productivity. It focuses on keeping the design space as open as long as possible, to allow "sub-design" to advance and not labeling them as secondary in importance. Preserving the maximum number of feasible designs as long as possible reduces the likelihood that rework will be necessary and allows all project participants to utilize their unique expertise to make the project successful.

This study proposes that the design methodology of minimizing waste and increasing productivity through SBD of AHP, one of the decision making process so as to compare PBD with SBD and tries to find decision making process and then suggest that application methodology through performs case study of SBD process.

Keywords : *Lean Process, Lean Design, Design Process, Point-based Design, Set-based Design, Decision Making Process, Analytical Hierarchy Process, Outrigger System*