

린 기법의 BIM 기반 설계조율 프로세스 접목

- 설비전기 설계조율 프로세스 재설계 사례연구 -

Application of Lean Theory to BIM-Based Coordination

- A Case Study on Process Re-Engineering of MEP Coordination -

장 세 준*

Jang, Se-Jun*

Smart Construction Team, Hyundai Engineering and Construction, Jongro-gu, Seoul, 03058, Korea

Abstract

This paper provides theoretical deformation of lean concept and its application for usage of building information modeling (BIM) process. Recently, much research is focused on application of lean concept for more efficient usage of BIM. The lean theory and its basic function and feature is based on manufacturing industry. The manufacturing process can be improved by process re-engineering steps of lean concept which consist of the steps of value, value stream, flow, pull, perfection. However manufacturing process and construction process has different characteristics. Due to the differences, five steps of the traditional lean's process re-engineering can't be directly applied to the BIM based engineering process. In order to solve this problem, we conduct analysis on the characteristics of the manufacturing process and BIM based engineering. We propose modified and expanded concept of lean for process re-engineering and the modified theory was applied to the mechanical, electrical and plumbing (MEP) coordination process. Through the proposed 8 steps of methodology, 2D based process was changed to integrated and using BIM based MEP coordination process. In addition, the results showed the potentiality of cost reduction and process improvement. The results of this study can be a foundation for the theoretical combination of lean and a variety part of construction engineering process.

Keywords : BIM, lean, process re-engineering, MEP coordination

1. 서 론

1.1 연구의 배경

BIM은 빠른 속도로 전파되고 있으며 많은 성공사례가 제시되고 있다. 2012년 Smart Market Report에 따르면 한국의 58%의 프로젝트 참여자가 BIM을 활용한다[1]. 또한, 시공에 참여하는 68%는 BIM을 활용한다고 조사되었다. 하지만 BIM을 활용한다는 것이 2D 기반의 업무 프로세스가

BIM 프로세스로 완벽하게 대체되었음을 의미하는 것은 아니다. 예를 들면 92%의 사용자는 BIM을 프리젠테이션의 보조 도구로 활용 한다고 응답했으며, 반면에 단지 39%의 조직만이 BIM을 활용한 shop drawing (이하 샵드로잉) 프로세스에 BIM을 활용한다고 응답했다. 샵드로잉에 BIM을 활용하는 과정 및 조직이 2D 기반 프로세스가 BIM 프로세스로 대체된 것은 아니다. 기계실과 같은 일부 복잡한 구간에만 활용하는 경우가 있으며 이러한 경우도 간섭해결을 위해 아웃소싱 회사들을 활용하는 경우도 포함되어 있다. 그 예로, 2016년 Building Smart Korea(빌딩스마트협회)에 등록된 한국 내 BIM 수행 실적에서 1위부터 5위까지 상위에 랭크 된 회사 중 4개 사가 설계 및 시공 조직 등에 참여하는 기존의 조직이 아닌 BIM 아웃소싱을 전문적으로 수행하는 회사이다[2]. 이러한 조직적인 분리로 인하여 BIM의 효과가

Received : November 20, 2017

Revision received : November 29, 2017

Accepted : January 16, 2018

* Corresponding author: Jang, Se-Jun

[Tel: 82-31-280-7525, E-mail: kcosm2@naver.com]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

감소되기도 한다. Dossick and Neff[3]은 다수의 프로젝트에서 BIM에 의한 물리적 모델의 통합은 이루어진 반면에 프로세스와 조직의 통합은 이루어지지 못했음을 지적하기도 하였다.

저자가 포함되어있던 조직은 ENR Global Ranking 30 위권에 속한 한국의 시공사였다. BIM에 대한 요구가 증대되고 효과에 대한 기대들이 있던 상황이라 여러 시범 프로젝트를 통하여 BIM을 도입하였다. BIM 시범적용 프로젝트에서는 기존의 설계 및 시공조직들의 BIM 활용 능력이 부족하기 때문에 BIM 모델링을 전문적으로 수행하는 아웃소싱 회사들을 활용하였다.

이러한 조직적 구도에서, 전문 아웃소싱 회사가 수행하는 BIM 모델을 통해서 주요간섭 검토나 시각화에 따른 참여자들의 이해 향상 등의 도움을 얻을 수 있었다. 하지만 기존 조직의 활동들과 중복작업이 발생하였다. 기존 시공협력사 또한 샵드로잉 과정에서 도면상의 문제를 해결해 나갔으며, BIM 아웃소싱 회사 또한 도면상의 문제를 BIM을 활용하여 제거해 나갔다. 두 그룹이 주요 업무들이 중복되었기 때문에 기존 방식에 비해서 인력들에서 추가적으로 투입되었으며, 이 두 가지 프로세스로 진행되는 design coordination (이하 설계조율) 과정은 다음과 같은 문제점이 발견되었다.

- BIM 모델링 이후 2D 샵드로잉을 작성할 경우: BIM 모델링의 작성이 지연될 경우 샵드로잉 작업이 지연됨. 간섭이 다수발생 할 경우 샵드로잉 작업자의 작업 중단됨. 설계변경에 대한 대처 기간이 지연됨
- 2D 샵드로잉 작업 이후 BIM Model을 활용하여 오류를 검토할 경우: 샵드로잉을 검증하는데 걸리는 시간이 길어져 시공도면의 추출이 늦어짐. 현장 상황의 변경에 따른 대처가 늦음.
- 병행할 경우: 서로 다른 설계조율 결과가 발생

위와 같은 문제의 발생에 따라서 저자가 속한 시공사에서는 시공단계 설계조율 과정과 BIM 작업과 2D 샵드로잉 작업을 분리하여 수행하는 것이 아니라, 통합된 BIM 기반의 3D 샵드로잉 및 설계조율 프로세스로 변경하는 작업을 계획하였다. 본 연구는 이러한 프로세스 변경 과정에서의 lean의 이론적 확장을 다루고 있으며, BIM이라는 도구의 활용을 위한 조직 간의 프로세스의 변화를 제공한다.

최근의 많은 사례에서는 BIM의 효율적인 활용을 위한 개

념으로 lean의 접목이 활발히 이루어지고 있다. Sacks et al.[4]는 BIM 기반의 작업관리 시스템을 개발하기 위해 lean의 transparency(이하 투명화)의 개념을 도입하였으며, Khanzode[5]는 BIM 기반 업무의 스케줄 조정을 위하여 lean의 last planner system (이하 최종생산자 계획 기법)의 개념을 도입하였다. 또한, Lee[6]과 Dave et al.[7]은 보다 광범위한 lean의 개념에서 부가가치 극대화, 프로세스 낭비 제거 등을 목적으로 BIM 프로세스와 접목을 시도하였다.

본 논문에서는 일체화된 프로세스로의 변화를 위한, 기존 생산 과정에 대한 분석 및 진단, 새로운 프로세스로의 전환 과정을 포함하는 lean의 process re-engineering (이하 프로세스 재설계) 기능에 초점을 맞추었다.

1.2 연구의 목적 및 방법

많은 분야에서 BIM에 lean의 개념의 접목된 성공사례를 제시한다. 하지만 BIM의 적용, 그리고 그와 관련된 기술과 기법의 조합만으로 프로세스가 원활히 변경되는 것은 아니다. 실제로 Ohno[8]은 프로세스 개선을 수행함에 있어서 일체화된 프로세스를 만들어내는 것을 강조하였지만 BIM을 접목한 많은 사례에 기존 프로세스와 BIM 기반 프로세스의 분리현상이 발견된다.

본 연구에서는 BIM의 확산 시기인 한국 내에서 주로 발견되었던 업무 2원화의 문제점을 해결하고 BIM 관련 기술의 조합이 일체화된 프로세스로 자리 잡도록 해결방안을 제시하고자 하였다. 전통적으로 제조업에서 lean을 활용하는 프로세스 재설계 과정을 value, value stream, flow, pull, perfection의 과정을 BIM 환경에 맞게 변형하였다[9]. 그 과정에서 제조업과는 다른 건설업의 환경 및 BIM 업무 환경의 특징을 반영하였다. 제조업에서의 lean의 개념을 효율적으로 건설에 적용하기 위해선 적절한 변형과 수정이 필요하기 때문이다[10]. 본 연구에서는 lean의 프로세스 재설계 5 단계를 기반으로 건설 BIM 활용 프로세스에 적합하도록 8단계로 변형 및 확장한 lean and BIM based process innovation method(이하 LBPI 방법론)을 제안한다. 또한 설비전기 설계조율 프로세스에 적용하여 검증하고자 하였다. 이러한 과정을 통하여 근본적인 lean의 목적인 프로세스 재설계 관점에서 lean 활용 방법론을 제시하고 BIM 프로세스로 개선을 위한 가이드라인을 제시하고자 했다.

2. 기존연구 고찰

2.1 Lean 기법의 프로세스 개선 방법

Lean의 개념은 Toyota Production System(이하 TPS)으로부터 유래하였다. TPS는 1973년 발생한 석유파동을 배경으로 시작되었으며, 경기불황으로 인하여 보다 빠르게 많은 양을 생산하는 것에 초점을 맞춘 대량생산 시스템에서 다품종 소량생산 시스템으로의 변화를 다룬다. 다품종 소량생산 시스템으로의 변화는 생산과정의 개선 방식에 대한 관점의 변화가 필요했다. Ford가 추진한 대량생산 목적의 프로세스 효율화 방식의 경우, 각 단위 작업의 속도를 높이는 것에 집중하였으며 표준화, 작업 공구의 개선, 막힘없는 생산을 위한 큰 자재 적재 공간 등이 강조되었다. 이에 반하여 다품종 소량생산 목적의 TPS에서는 개별 작업의 속도를 높이기보다는 waste(이하 낭비)를 줄이는 것에 초점을 맞춘 생산 방식 효율화 방식을 강조하였다. Lean의 프로세스 개선 과정에서는 공장 레이아웃의 변경, 인력의 배치, 정보 전달체계의 변경, 각 활동들을 정의하는 개념의 변화를 포함하는 전체적인 생산 프로세스의 개선을 다룬다[8].

Toyota에서 시작된 lean의 혁신의 개념은 제조업의 다양한 분야에 전파되어 생산과정에서 낭비를 철저히 배제시키는 이론으로 정립되게 되었다. Womack and Jones[9]는 제조업에서 프로세스 재설계 과정을 보다 체계화하여 앞서 언급한 대로 value, value stream, flow, pull, perfection의 다섯 단계로 정의하였다. 이 개념은 다시 건설의 과정에 전파되어 국제 린 건설 협회(Lean Construction Institute)에서도 차용을 하였다[11].

Womack and Jones[9]가 제시한 다섯 가지 lean의 단계는 다음과 같다. Value 단계는 고객이 원하는 가치는 무엇인가에 대해서 다시 분석하는 단계이다. 이 단계에서는 기존의 생산활동을 활동을 value-adding-activity(이하 부가가치활동)와 non-value-adding(이하 비 부가가치활동)로 분리하는 것에서 시작된다[8]. 즉, 기존 시각에서 벗어나 하나의 작업을 다시 세부적으로 분류하고 그 안에 포함된 비 부가가치활동을 찾아내어 낭비로 분류하는 것에서 시작한다. Value stream 단계는 생산에 소요되는 재료의 흐름과 가치 생성의 흐름을 분석하는 단계이다. Value stream 과정을 통하여 생산의 시작에서부터 소비자에게 인도되는 과정까지의 물리적 변화과정을 시각화하는 것이 가능하다. Liker and Meier[12]와 Womack and Jones[9]는 이러한

분석 과정에서 공장의 레이아웃의 형상을 도식화하는 것을 시도하였다. Flow 단계는 공장 레이아웃에서의 물리적 생산 흐름의 변경을 시도하며 장비 배치 및 인력의 업무 동선을 수정해나가면서 새로운 생산의 흐름을 만들어 낸다. Womack and Jones[9]는 공장의 레이아웃과 사람의 인력 배치를 다루는 각 단위 공정작업라인(cell)을 그의 형태나 口의 형태 등으로 변경하는 과정을 진행하였다. Pull 과정은 각 공정에서의 생산의 신호를 받아들이는 단계이다[8]. 일반적인 제조업의 생산 신호는 선행 공정의 완성이다. Lean은 이러한 생산의 신호를 변화시켜 최종 소비자의 수요에서 직전 단계의 생산자에게 전달된다. Perfection 단계는 끊임없는 개선을 위한 분석의 단계이며, 변경된 프로세스를 진단하고 그 효율성을 입증하는 단계이다[11].

위와 같은 단계로 미루어 판단하면 lean의 가지고 있는 기본적인 속성은 특정 기법의 형태가 아닌 기존 프로세스를 분석하고 개선하는 통합적인 프로세스 개선의 도구이다. 이러한 의미로 인하여 Ohno[8]과 Womack and Jones[9]는 lean의 과정을 근본적인 생산 방식의 변화라고 하였다.

2.2 BIM과 Lean의 상호작용

건설혁신에 있어서 BIM과 lean은 상보관계(in complementary relation)에 있다고 보고, 효과적으로 BIM과 lean을 활용하여 낭비를 최소화하는 방안에 대한 많은 연구가 있었다 [6,13,14,15]. 이와 관련하여 현재까지 논의되었던 주요 개념 및 같다.

Eastman et al.[16]은 BIM의 기능을 활용하여 물리적으로 존재하는 설계상의 간섭사항에 대하여 발견하고 제거할 수 있기 때문에 lean의 개념에서의 낭비를 제거하였다고 서술하였다. Eastman et al.[16]은 ‘BIM enhance lean process’의 개념을 기술하였는데, 이것은 lean에서 추구하는 낭비의 제거에 대한 부분을 BIM이 실현할 수 있으며 기존 프로세스를 강화시킬 수 있음을 제시한 것이다.

Sacks et al.[13]은 건설 현장에서의 각 공종간의 작업 간섭문제를 해결하기 위하여 BIM의 3차원 시각화 기능을 활용한 시공협력사 작업현황 공유 시스템 프로토타입을 제안하였다. 이 시스템에서의 정보의 입력은 lean 개념에서의 pull (이하 당김 계획)의 개념이 활용되었다. 기존의 당김 계획의 개념이 생산에 대한 정보가 최종 소비자에 의해서 역으로 전달됨을 의미했다면 Sacks et al.[13]은 이를 도입하여 시공협력사에 의한 공정계획 및 작업관리의 개념을 도

입하고 공사 참여자 스스로가 정보를 입력할 수 있도록 시스템을 개발했다.

Khanzode[5]는 BIM과 lean의 시너지 효과를 분석하기 위해서 BIM을 적용한 현장과 BIM과 lean을 함께 적용한 현장에 대해서 비교를 하였다. Lean을 적용한 현장으로 분류하는 판단 근거는 당김 계획 기법, 최종생산자 계획 기법 등의 일정관리 개념이 적용되었는가의 여부였다. 분석 결과, BIM을 적용한 현장에 비하여 BIM을 적용함과 동시에 lean의 특정 기법이 적용되었을 경우 BIM 적용의 전반적인 효율성을 더 높일 수 있다는 결과를 얻었다.

Dave et al.[7]은 'Implementation Lean in Construction' 보고서에서 lean 개념을 기반으로 BIM을 적용하는 가이드라인을 제시하였다. 이 가이드라인에서 주로 제시된 것은 선진 건설사에서 수행하였던 주요 BIM 활용 기법의 예시였다. Target value design(목표금액 기반 설계)이나 간섭검토 등 프로젝트 수행의 초기 단계에서부터 시공단계에 이르는 동안의 BIM을 활용하는 기법에 대해서 제시하고 있다. 이 보고서에서 제시하는 lean의 개념은 BIM을 적용함으로써 인해서 기존에 발생하는 낭비를 제거할 수 있다는 포괄적인 개념이다.

이 밖에도 Moud[17]은 설계단계에서 BIM과 lean의 시너지효과를 분석하기 위해서 기존의 현장 사례들을 분석하였다. 프로젝트 참여자 인터뷰 결과, 많은 인력들이 BIM의 활용에 의한 lean 개념의 실현을 이해하고 있었으나 구체적인 원리나 과정을 설명하지 못했다. 이에 따라, Moud는 일반적인 낭비 제거의 개념에서 나아가, 보다 체계적인 접근방식의 lean 접목에 대한 논의가 필요함을 강조하기도 했다.

2.3 기존 BIM과 Lean 접목 연구의 한계점

위에서 살펴본 바와 같이, 제조업에서 제시되었던 lean의 개념과 현재 BIM 고 있는 lean의 개념은 서로 다른 관점의 차이가 존재한다. 제조업에서의 lean의 개념은 프로세스 재설계 과정의 전체 프레임워크(framework)에 대해서 다루고 있지만 건설 산업에서 논의되고 있는 lean의 경우 낭비 제거의 포괄적인 의미로 사용되거나 일부 기법을 접목하는 경우가 대부분이다.

BIM은 기존의 2D 도면 기반의 설계와 건설 프로세스를 대체하는 3차원 정보기반의 새로운 도구이며 건설 프로세스이다. 따라서 BIM의 도입을 위해서는 전체 참여 주체의 새로운 도구의 수용과 함께 프로세스의 변경 과정이 이루어져야 한다[16].

이에 따라서, 본 연구에서는 lean의 개념을 활용하여 BIM 프로세스를 재설계하는 방법론을 제시하고자 했다. Lean의 개념을 건설 엔지니어링 프로세스에 적용하기 위해서는 적절한 변형과 수정이 필요하다[10]. 이를 해결하기 위해, 본 연구는 건설 산업의 특징을 반영한 lean의 이론적 변형을 시도한다.

3. 건설에 적합한 Lean 기법 제안 (LBPI)

3.1 제조업과 건설업의 차이 분석

연구에서 제안하는 LBPI 방법론은 건설업의 특성을 반영하여, 제조업에서의 프로세스 재설계 5 단계에서 3단계를 더한 8단계로 구성했다. LBPI 방법론은 제조업과 건설업의 차이점에 따른 문제를 해결하고자 했으며 다음의 제약사항을 해결하고자 했다.

(1) 제조업의 고객과는 다르게 건설 엔지니어링 프로세스의 후속 고객은 시공에 참여하는 전문 엔지니어라고 할 수 있다. 따라서 activity (이하 활동)에 대한 변형된 가치 판단 기준 및 분류 방식이 필요하다. (2) 제조업은 고정된 생산 공정과 공장의 레이아웃이 존재하기 때문에 물리적 공간을 축소하여 나타낸 다이어그램을 기반으로 프로세스를 변경해 나간다. 이와 달리 건설 엔지니어링 프로세스는 물리적 시각 화할 수 있는 고정된 생산 레이아웃이 존재 하지 않는다. 즉, 기존 업무 프로세스에 대한 활동을 도식화 하고 분석할 수 있는 방법이 필요하다. (3) 건설 엔지니어링 단계에서 당김 계획 방식을 적용하려면 정보요청은 최종사용자가 아닌 시공자에 의해서 발생해야 한다. (4) 제조업과 다르게 건설 프로젝트는 동일 환경 내에서 같은 건물이 생성되는 과정을 그대로 반복하지 못하는 유일성의 특징을 가지고 있다. 따라서 건설에서는 변경된 생산과정을 기존 생산과정과 1:1로 비교하는 것이 불가능하다. 프로세스의 효율성을 판단할 수 있는 기준이 요구된다.

3.2 LBPI Step 1: 활동 도식화

제조업에서는 생산 라인에 따라서 생산 과정을 도식화할 수 있다. 하지만 건설업에서 공간 중심으로 생산 과정을 표현하게 되면, 한 공정이 여러 공간을 움직이면서 이루어지고, 또한 다양한 여러 공정이 같은 공간에서 생산을 진행하기 때문에 공간적으로 생산의 흐름을 표현하기가 쉽지 않다. 또한, BIM 기반 엔지니어링 프로세스는 물리적인 공간에서

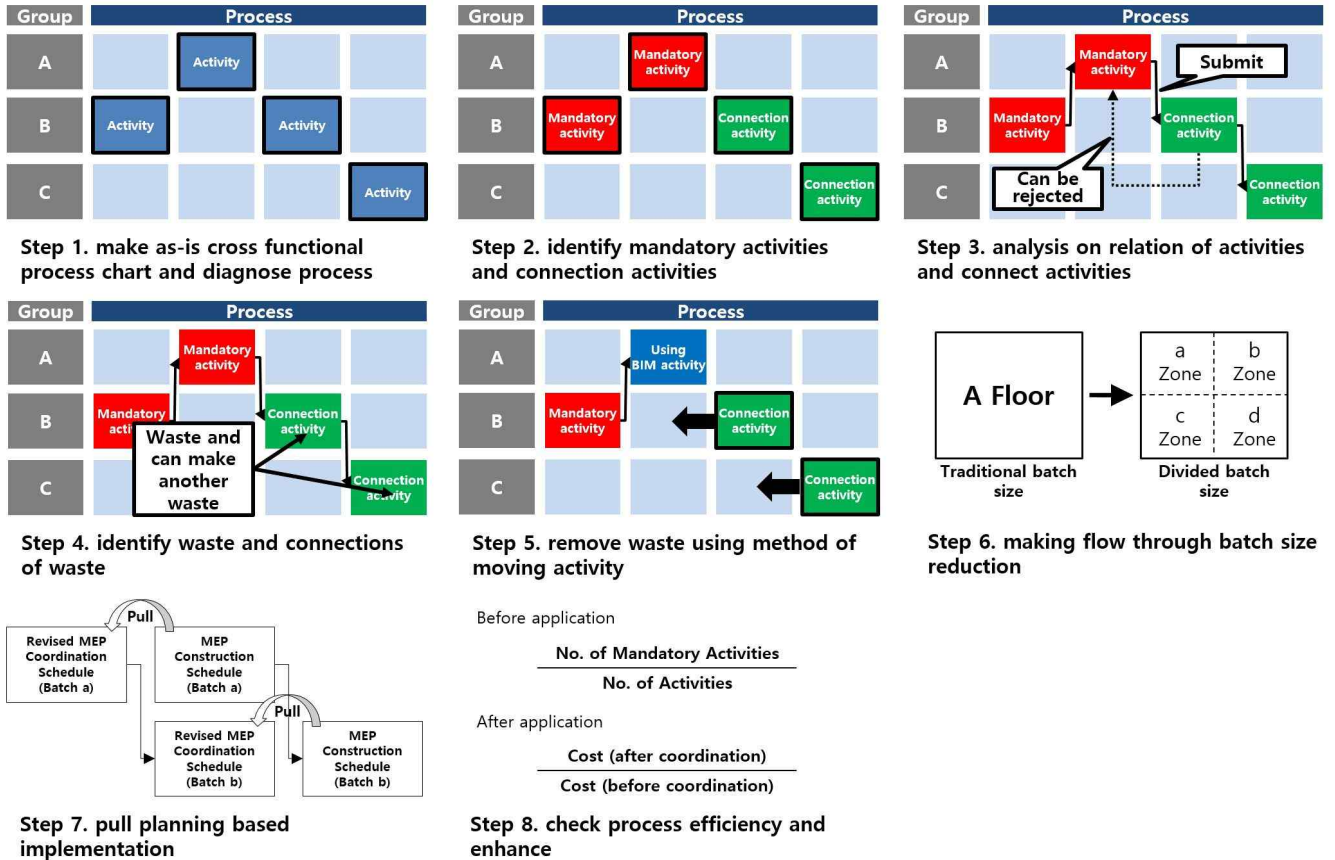


Figure 1. Step of LBPI method for process re-engineering

의 생산과정이 아닌 각 공정 간의 정보의 흐름, 즉 공정 시작, 검토, 승인 등과 같이 의사소통이나 서류를 통하여 업무를 진행하는 것이 일반적이다. 따라서 이러한 차이점을 극복하기 위해서 제조업에서의 물리적 공간 표현을 대체할 수 있는 다양한 프로세스 모델링 기법의 적용이 시도되고 있다 [18,19].

LBPI 방법론에서는 다양한 조직의 활동을 표현하기 위한 cross functional process chart(이하 조직공정분석 차트)를 활용하여 각 조직의 작업을 분리하여 표현하였다. 또한, 제조업에서 공정의 시간에 따른 선후행 관계를 나타내는 것과 유사하게 시간의 흐름에 따라 나타나는 활동을 나열하였다. 이러한 분석을 통하여 각 활동이 수행되는 순서와 참여자들의 역할, 도구 등을 분석하고자 하였다.

3.3 LBPI Step 2: 활동 분류

또 다른 제조업의 lean 적용 초기 과정의 하나는 생산 활동을 분석을 통해, 각 활동을 제품의 물리적인 생산에 직

접적인 기여를 하는 활동과 그렇지 않은 활동을 분류하는 것이다[11]. 이러한 분류기준은 물리적 제품의 변화를 수반하지 않는 BIM 기반 엔지니어링 활동 전체를 비 부가가치 활동으로 분류시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 BIM 설계조율 프로세스 활동 중 시공에 필수적인 활동을 분류할 수 있는 새로운 활동 분류 체계가 필요하다고 판단하였다.

LBPI 방법론에서는 기존 제조업의 활동 분류기준을 대체하는 방법으로, 각 활동을 mandatory activity(이하 필수 활동)와 connecting activity(이하 연결 활동)로 나누었다. 필수 활동이란 BIM 기반의 엔지니어링의 결과물에 직접적인 기여를 하는 데이터 입력 및 수정 활동이거나 시공 과정 이전에 거치지 않으면 시공이 불가능한 작업으로 정의했다. 과거의 문헌을 살펴보다도 Tatum and Korman[20]은 coordination 과정에서 CAD를 활용하여 각 건물 요소들의 상세화 및 재배치하는 작업이 중점사항임을 기술하였다. 연결 활동이란 필수 활동에 속하지 않으며 데이터의 입력

및 수정작업이 없는 정보의 검토나 승인, 전달 작업이다. Value engineering (이하 VE) 과정은 물리적 전자도면을 생성하지는 않지만 고객의 만족을 높이는 과정이며 필수 활동으로 분류했다. Womack and Jones[9] 역시 마찬가지로 고객의 요구를 만족시키지 못하는 활동을 낭비로 지정하기도 하였다.

3.4 LBPI Step 3: 활동 관계 파악

제조업은 value stream 단계에서 공장의 레이아웃을 따라 제품이 생성되는 물리적인 과정을 관찰하고 묘사하는 과정을 통하여 가치 생성 과정을 분석한다. 건설 엔지니어링 프로세스의 경우, 명확하게 정의된 생산과정의 관계가 존재하지 않는다.

LBPI 방법론에서는 필수 활동과 연결 활동의 관계를 분석하고 표현하는 과정을 거친다. 이를 통해서 도면이나 BIM 파일의 전달경로 분석 및 프로세스 관찰을 통해서 활동의 연결 관계를 파악한다. 또한 작성된 연결 관계의 특징을 규명한다. 그 예는 단순 파일 전달과정인지 승인과정인지에 의한 규명 등이다. 승인과정과 같은 유형의 관계는 승인 거절에 의한 재작업을 가능하게 하는 요소이다. 실선으로 표시된 화살표는 직접적인 연관관계를 나타내고 점선으로 표시된 화살표는 상황에 수 있음을 나타낸다.

3.5 LBPI Step 4: 낭비 및 낭비 간의 연결고리 파악

또한 일정한 흐름에 따라 공정이 진행되는 제조업의 생산 과정과는 다르게 건설의 과정은 다양한 조직들이 동시에 건설 현장에서 얽혀있는 것으로 묘사되기도 한다[4]. Sacks et al.[4]는 이러한 과정에서의 다양한 낭비가 연관되어 발생하며 건설 참여 조직의 직면하게 되는 리스크를 지적하였다. 또한 건설 과정에서 리스크를 제거하기 위하여 업무간의 논리적 연결의 중요성을 강조하였다. LBPI 방법론에서는 프로세스 상에서 활동 간의 관계뿐만 아니라 낭비 발생의 선후행 관계를 분석하여 기존 프로세스에 대한 분석을 실시하고자 하였다. 분석된 낭비의 관계에서 선행되는 낭비 제거에 초점을 맞추어 업무 프로세스 개선 과정의 효율성을 도모하였다.

3.6 LBPI Step 5: 활동 조정

Flow 단계에서 Ohno[8]과 Womack and Jones[9]는 프로세스를 수정해 나가기 위하여 장비나 선반, 작업자의 위치

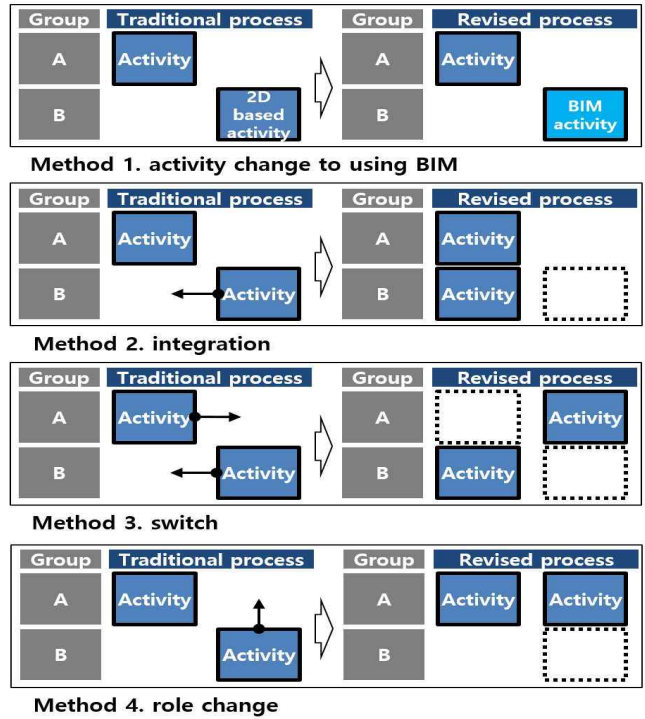


Figure 2. Type of moving activity

를 변화시켰으며 동시에 작업자가 담당하는 역할의 변화를 주었다. Womack and Jones[9]는 작업자의 위치와 생산의 라인에 대한 변화를 revise cell(작업자 및 장비 위치 변경)이라고 표현하였다. 작업자 및 장비 위치 변경 과정을 통해서 각 공정의 흐름의 변화를 시도하며, 시간적으로 변화시킨 물리적인 레이아웃에 대한 검토를 통해서 프로세스 개선을 진행한다.

LBPI 방법론에서는 제조업에서 물리적인 레이아웃을 대체하는 조직공정분석 차트에서 활동 위치의 조정(moving activity)을 통하여, 제조업의 공장에서 작업자의 배치를 수정하고 담당하는 역할을 변경하는 revise cell 과정을 대신하고자 하였다. 조직공정분석 차트 상에서의 활동의 위치를 조정하여 활동의 변화와 수행단계, 참여자의 역할을 수정하는 과정을 진행한다. Figure 2는 활동 위치 조정의 4가지 방법을 보여준다.

- 방법 1. BIM 활동으로 변경 (activity change to using BIM): 기존 2D 기반의 문서작업의 형태를 BIM 기반의 활동으로 변경한다. 도구의 변경에 해당하므로 다른 method 보다 선행한다.
- 방법 2. 병합 (integration): 기존의 단계적인 작업의

수행을 동시에 작업하는 것이 가능한 경우 활용. 단계적으로 수행되는 활동을 통합한다.

- 방법 3. 순서 전환 (switch): 각기 다른 주체에 의해서 수행되는 2가지 활동의 순서를 변경한다. 선행되는 활동을 먼저 수행하는 것보다 활동의 순서를 변경했을 경우 낭비가 감소될 것으로 예상될 경우 활용한다.
- 방법 4. 역할 변경 (role change): 특정 작업을 수행하는 주체를 변경한다.

3.7 LBPI Step 6: Batch Size 조정

제조업의 lean의 과정은 batch-and-queue(작업 및 대기)의 반복으로 인해서 발생하는 재고(stock)와 이로 인한 손실을 제거하기 위해, 단위 작업 생산량에 대한 조절하는 단계를 거친다[8]. 각 단계에서의 인력이 담당하는 업무의 양을 규정하고 분배하여 특정 공종에서의 과부하가 걸리지 않도록 한다. 제조업의 경우는 반복된 생산 공정을 가지고 있는 특성상 기존의 생산 소요 시간 정보를 바탕으로 각 인력의 담당업무 범위를 조절하는 것이 가능하다. 제조업과 다른 건설 프로젝트의 특징인 유일성으로 인하여 기존 생산성 데이터를 기반으로 작업의 단위를 조정하는 것이 어렵다. 또한 설비전기 설계조율 등의 엔지니어링 프로세스는 동시에 다양한 조직이 참여되기 때문에, 함께 참여하는 각 공종별 참여자의 엔지니어링 속도를 고려해야 한다.

LBPI 방법론에서는 프로젝트 참여자들의 인터뷰를 통하여 각 건축물의 부위별 작업 단위(이하 batch size)를 결정한다. Batch size는 모델링 및 설계조율 미팅 1회의 단위로 적절인가에 대한 논의를 통해서 결정한다. 기본적인 단위는 1개 층이나, 복잡한 설비전기요소가 있어 1회 논의를 통해서 설계조율이 불가능할 경우 더 작은 단위로 분할한다.

3.8 LBPI Step 7: 당김 계획에 따른 일정관리

Pull 단계에서 제조업의 생산에 대한 신호는 소비자의 판매 요청에서 시작된다[9]. 또한 소비자에서 시작된 생산에 대한 요청 신호는 최종 생산 단계에서 초기 생산 단계로 거꾸로 전달되게 된다. 건설 엔지니어링 과정의 경우는 생산에 대한 신호가 후속 공정인 시공 과정에 의해서 발생한다.

LBPI 방법론에서는 건설 엔지니어링 1단위 생산 신호의 흐름을 현장의 시공 엔지니어의 샵드로잉 요청에 의해서 전달되는 것으로 판단한다.



Figure 3. Case project (R&D center)

3.9 LBPI Step 8: 프로세스 효율성 검토

건설업에서는 각기 다른 프로젝트를 수행한다는 유일성의 특징으로 인하여 동일한 상태에서 효율성을 비교하는 것은 불가능하다[21].

LBPI 방법론은 프로세스의 효율성 여부를 판단하기 위하여 프로세스 적용 이전 단계에서는 전체 활동 대비, 연결 활동의 감소를 측정한다. 또한 프로세스 적용 이후, 같은 설계를 대상으로 BIM 기반 엔지니어링 전후의 간섭 및 공사비 예측비용의 비교를 통하여 프로세스의 효과를 측정한다.

4. LBPI 방법론 적용 Case Study

4.1 Case Study 개요

설비전기 설계조율의 변화 과정을 진행한 대상 프로젝트는 한국 IT 기업의 R&D Center이며 서울 경기도에 위치한 103만 달러의 복합 업무시설이다(Figure 3). 프로젝트 조달 방식은 설계 시공 분리 방식이며 VE에 의한 원가 절감액은 발주자와 시공사가 50:50으로 공유하는 계약이 이루어졌다. 이 업무시설은 지하에 영화관, 체육시설, 사우나가 존재하며 지상층에 사무공간이 존재한다. 건축물은 지하 5층, 지상 12층이며 2개의 타워로 구성되어 최상층에서 결합되는 구조이다. 건축물의 공간 프로그램이 다양하다는 특성이 있어서 BIM 기반의 설비전기 설계조율이 프로세스의 적용이 효율적일 것으로 판단되었다.

4.2 프로세스 개선 Step 1: 활동 도식화

기존 2D 방식에서의 설비전기 설계조율 과정의 조직적인 특징과 프로세스의 특징을 분석하고자 하였다. 한국에서는 시공사와 발주자 사이에 법적으로 건축물의 자재 선정이나 시공 방법, 품질 등을 검토하는 CM 및 감리자가 존재한다. CM 및 감리자는 설계조율 과정에서 발주자의 검토 이전에

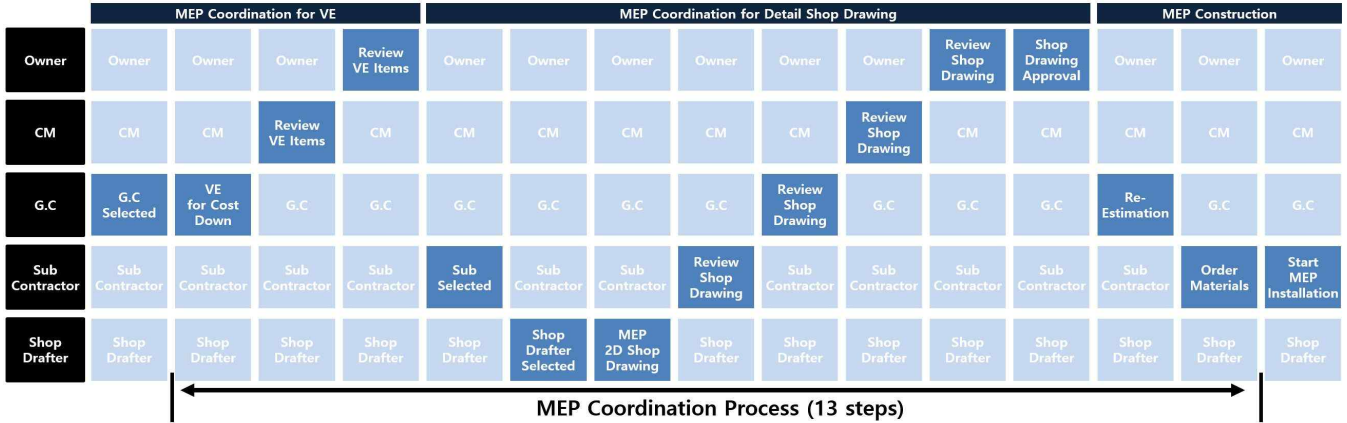


Figure 4. Activity diagramming using cross functional process chart

시공과 관련된 전반의 문서를 검토한다. 시공협력사는 시공사의 하도급 계약을 받아 시공을 실시하며 실시설계 도면을 기반으로 샵드로잉을 생산한다. 본 프로젝트에서는 샵드로잉 전문 그룹이 참여하였으며 설비전기 전문지식을 가지고 있으며 BIM 소프트웨어를 운영할 수 있는 인력을 선정하였다. LBPI 방법론에 따라 참여 조직에 대한 정보를 기반으로 조직공정분석 차트를 작성한 결과 기존의 프로세스는 2D CAD를 기반으로 각 공종별 요소를 겹쳐보는 방법에 의해서 이루어진다. 기존 설비전기 설계조율 프로세스는 총 13단계로 구성이 되어있었다(Figure 4).

4.3 프로세스 개선 Step 2: 활동 분류

각 조직의 활동의 나열 이후, 필수 활동과 연결 활동의 분류를 진행하였다. 제조업의 시각에서는 낭비로 분류될 수 있는 사항을, LBPI method의 방법론을 활용하여 건설 엔지니어링에 필수적인 활동으로 분류할 수 있었다. 이 밖에도 활동이 존재하지 않을 경우 시공 작업이 불가능한 계약 관련 활동과 자재조달과 관련된 활동이 필수 활동으로 분류되었다.

4.4 프로세스 개선 Step 3: 활동 관계 파악

다음 단계로의 활동 간의 관계를 파악하였다. 활동 순차적 진행은 화살표로 표시하였으며 활동이 다시 후퇴할 수 있는 경우는 점선으로 표시하였다(Figure 5). 전체적인 필수 활동의 진행과정만 살펴보면 시공사가 선정된 이후, 설계의 주요 부분에 대한 VE 과정을 진행한다. 주요 VE를 진행한 이후 시공협력사가 선정되고 시공협력사를 지원하는 샵드로잉 조직이 선정된다. 이후 상세 2D 샵드로잉을 진행한 이후,

자재를 주문하고 시공 작업이 진행된다.

이러한 과정에서 몇몇의 필수 활동은 연결 활동을 수반하였다. 예를 들어 필수 활동인 ‘VE for cost down’ 활동이 진행된 이후에 CM과 발주자가 실시하는 연결 활동인 ‘review VE item’ activity가 진행되었다. ‘review VE item’ 활동에 의한 승인절차가 마무리되어야 다음 단계로 진입이 가능하며 CM이나 발주처는 제안된 VE 대안에 대해서 각자의 관점 및 판단에 따라 승인을 할 수 있지만 거절을 할 수도 있다. 거절된 VE 대안은 다시 시공사에 의해서 수정되며 같은 승인과정을 반복하게 된다. 이러한 피드백 루프(feedback loop) 형태는 ‘MEP 2D shop drawing’ 활동 또한 동일하게 나타난다. 또한, 시공사에 의한 ‘VE for cost down’ 활동 이후에 CM 및 발주처에 의해서 승인이 된 사항이라 할지라도 시공협력사의 ‘2D shop drawing’ 활동을 거치면서 다시 검토된다. 실제 시공을 실시하는 시공협력사 및 샵드로잉 작성자가 상세한 샵드로잉을 진행하는 과정에서 이미 진행된 VE 대안이 시공에 적합하지 않음을 발견하고 이전 단계로 복귀되는 재작업이 발생할 수 있었다.

4.5 프로세스 개선 Step 4: 낭비 및 낭비 간의 연결고리 파악

활동 분류와 활동 간의 관계 파악을 통하여 분석된 첫 번째 문제점은 설계조율의 단계와 승인절차가 복잡하다는 것이다. 예를 들어 한 부위의 샵드로잉이 작성된 이후 연속하여 시공협력사, 시공사, CM, 발주자의 승인을 거치는 과정이 이루어진다. 또한, 하나의 작업 단위(batch)가 승인 받기 위한 단계가 복잡하며 승인단계에서 불합리성이 발견되면

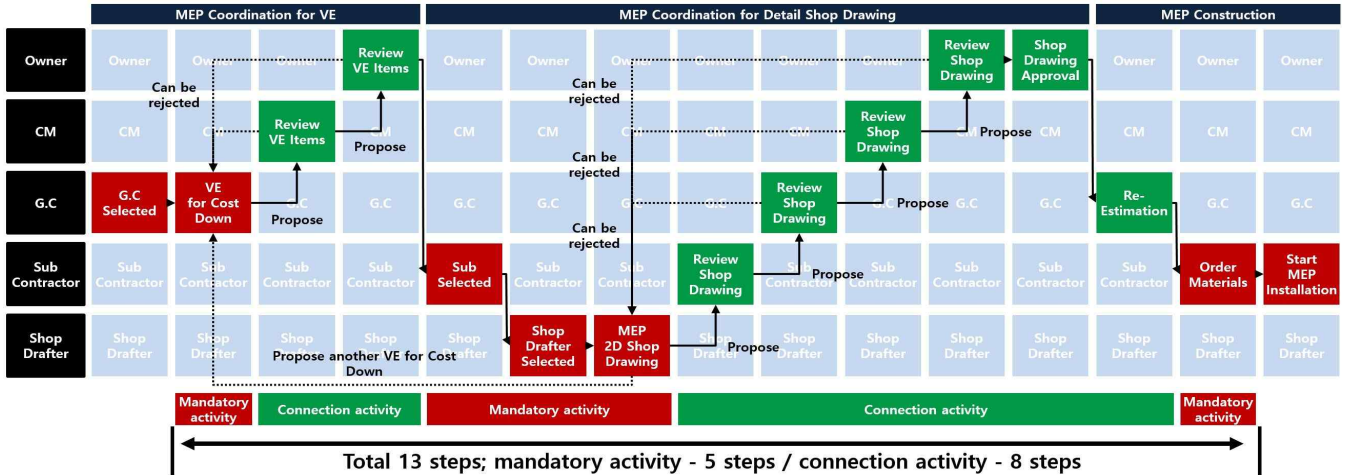


Figure 5. Diagnose the relationship between activities

다시 재작업을 할 수 있다. 실제 인터뷰 결과 이러한 승인 단계에서는 2주에서 3주 정도의 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 2D 기반의 설계조율 과정 자체의 비효율성 및 오류의 발생 가능성이 높았다. 마지막으로 설비전기 설계 조율의 진행과정을 전반적으로 살펴보면 각 활동이 진행되는 단계에서 협업이 이루어지는 형태가 아니라 1개의 단계에 1개의 활동이 존재하는 형태임을 알 수 있다. 예를 들어 ‘VE for cost down’ 과 ‘MEP 2D shop drawing’ process는 협업에 의해 도출되는 형태가 아니라 단일 참여자에 의해 진행된 이후 검토를 받는 형태로 진행된다. 이러한 프로세스에서는 시공사나 샵드로잉 작성자의 역량에 의해 성과물의 품질이 결정될 수 있으며 보다 우수한 VE 결과나 품질을 확보하기 위해서는 협업의 과정이 포함되어야 할 것으로 판단되었다.

4.6 프로세스 개선 Step 5: 활동 조정

조직활동분석 차트 상에서 활동위치를 조정하여 프로세스를 변경해나갔다. LBPI 방법론이 기본적으로 BIM 활용 프로세스로의 전환을 다루고 있기 때문에 방법 1(BIM 활동으로 변경) 항목에 해당하는 ‘change activity’를 활용한 2D 기반의 활동을 BIM 기반의 활동으로 변경하였다(Figure 6). 두 번째는 하나의 필수 활동을 수행하기 위한 연결 활동(승인과정 등) 과다의 문제를 해결하기 위하여 방법 2(병합)의 ‘integration activity’를 사용하여 검토 과정을 통합하였다. 즉 단계별로 수행되던 VE와 샵드로잉의 검토 과정을 BIM 기반 통합검토회의로 병합하였다.

방법 3(순서 전환)은 VE 과정의 진행 이후에 시공협력사 및 샵드로잉 작성자가 후속으로 참여함에 따른 재작업의 발생 가능성을 제거하고자 하였다. 시공협력사는 직접 시공을 수행하는 주체이기 때문에 시공사나 CM이나 발주자가 제시한 주요 변경사항에 대해서 예상하지 못한 시공성 검토의견을 제시하거나 다른 시공 대안을 건의할 수 있다. 이로 인하여 기존의 VE 작업의 수행 내용이 다시 변경될 수 있는 불확실성을 가지고 있었다. 시공협력사와 샵드로잉 작업자 선정 활동을 VE 단계 이전으로 이동하였다.

방법 4(역할 변경)는 ‘re-estimation’ 활동의 역할을 변경하는 것에 활용하였다. 기존 프로세스에서는 승인된 샵드로잉을 기반으로 시공사가 다시 물량을 산출하고 견적을 수행하는 과정이 필요했었다. 이미 방법1에 의해서 BIM을 활용한 자동물량산출(Automated Cost Estimation)로 변경된 활동을 방법 4(역할 변경)인 ‘role change’를 활용하여 자동물량산출의 주체를 시공협력사(sub contractor)로 변경하였다. 시공협력사는 각 공종별 샵드로잉과 동시에 BIM을 통한 물량은 원가 데이터베이스와 연계되어 주요 물량의 자동 물량산출이 가능하도록 하였다.

4.7 프로세스 개선 Step 6: Batch Size 조정

설비전기 설계조율에 참여하는 조직들의 의사를 반영하기 위하여 시공사, 시공협력사, 샵드로잉 작성자와의 인터뷰를 진행하였으며 batch size 결정을 위한 다음의 사항을 도출하였다. (1) BIM 기반 설계조율을 위하여 각 공종의 샵드로잉 작성자가 작성하는 모델의 단위는 기본적으로 도면의 단

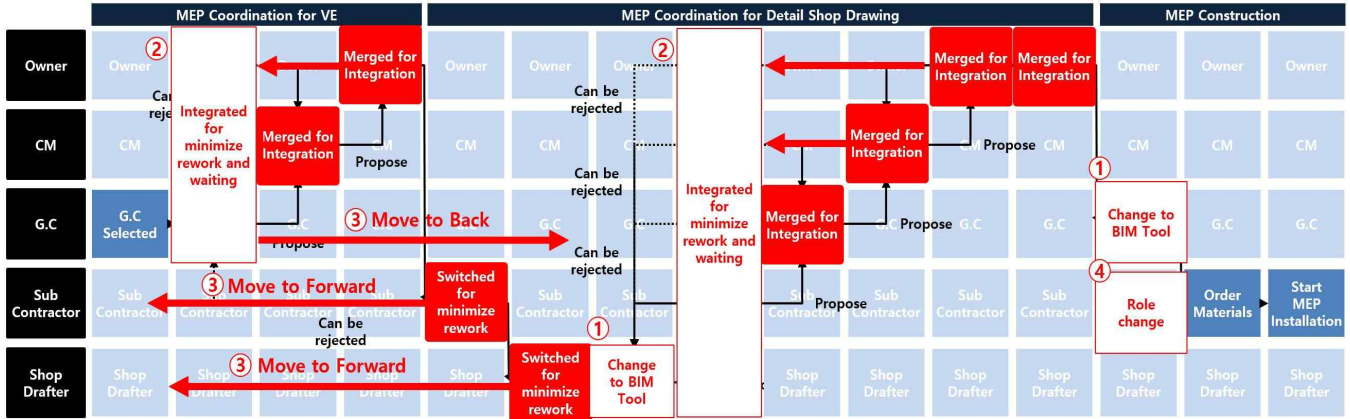


Figure 6. Activity moving for coordination process improvement

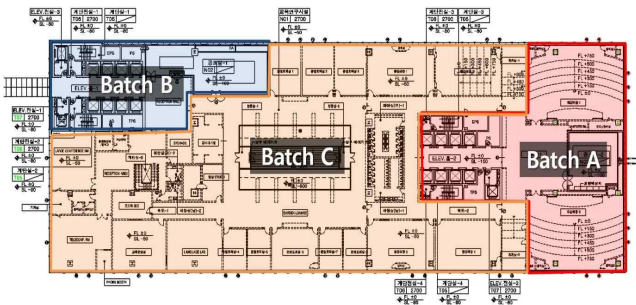


Figure 7. Case of batch sizing for MEP coordination

위와 같고, 일반적으로 샵드로잉의 작업 효율성을 위해서 층별로 batch size를 줄이는 것이 일반적이다. (2) 1개 층의 설비전기 요소의 복잡성이 높아서 샵드로잉의 작성시간이 길어질 경우 샵드로잉 작성자를 제외한 기타 조직의 대기시간이 길어질 수 있다. (3) 1개 층의 batch size를 줄이고자 할 경우, 설비전기 시스템의 연속성을 고려하여야 샵드로잉 작업 및 검토 단계에서의 효율성을 높일 수 있다.

위의 사항을 검토하여, 기본적으로 각 층으로 batch를 분리하였고 일부 층에 대하여 설비전기의 기능의 유사성에 따라 batch를 다시 쪼개는 작업을 진행하였다. 그 예로 12층의 batch size를 나누는 과정에서는 물리적인 면적을 기준으로 분리하는 것이 아니라 각 실의 기능에 따라서 분리하였다. Figure 7은 사례 대상 건물의 12층을 3부분의 batch로 분리한 사례이다. Batch A의 경우는 계단식 강당으로 설비전기 요소는 동일한 패턴으로 설계되어 있으며 Batch B는 공조실과 기계실이 위치하게 된다. Batch C는 일반적인 사무공간들의 집합이며 동일한 성능 기준을 만족하는 설비전기 요소가 존재하게 된다. 그 결과 샵드로잉 작성자는

한 번에 작업하기에 용이한 범위로 batch를 줄이는 동시에 통합검토회의에서도 각 batch의 시스템적 요소는 연관성을 가지고 있기 때문에 회의 진행 시 논의의 연관성을 가질 수 있을 것으로 판단하였다.

4.8 프로세스 개선 Step 7: 당김 계획 기반 일정관리

설비전기 설계조율 프로세스를 운영함에 있어, 시공자의 생산 신호에 따라서 역으로 설계조율 마감 시점을 결정하였다. 예를 들어서 5F의 설비전기 공사 시작시점이 1달 이후라고 한다면 이에 따라서 자재조달 기간을 고려하여 설계조율 완료 시점을 2주 이후로 설정했으며, 모델링 완료 시점은 1주 이후로 설정했다. 최종생산자인 시공협력사의 조율된 도서 요청에 따라서 설계조율 과정의 일정을 역으로 설정한 것이다.

4.9 프로세스 개선 Step 8: 프로세스 효율성 검토

사전 프로세스 개선 도중 인터뷰 결과에 의하면, 기존 설비전기 설계조율 프로세스를 거치면서 원가절감을 추구하지만 간섭을 최소화하는 과정에서 조인트 부속의 증가로 인하여 최종적인 결과물은 1~3%의 원가가 상승하는 결과를 가진다. 변경된 프로세스를 기반으로 설비전기 설계조율을 실시한 결과 공종별로 비용 상승과 비용 하락이 분포하고 있었으나 전체적인 비용에서는 1.5%의 비용절감이 가능하였다.

총 설비전기 설계조율의 단계는 기존에는 13단계에서 LBPI 방법론을 활용하여 프로세스를 개선한 이후 8 단계로 감소하였다(Figure 8). 또한 기존에는 총 13단계 중 필수 단계가 5단계였으며 연결 단계가 8단계로 나타났다. (필수 활동의 단계 수)/(전체 활동 단계 수)를 계산한 결과 기존에

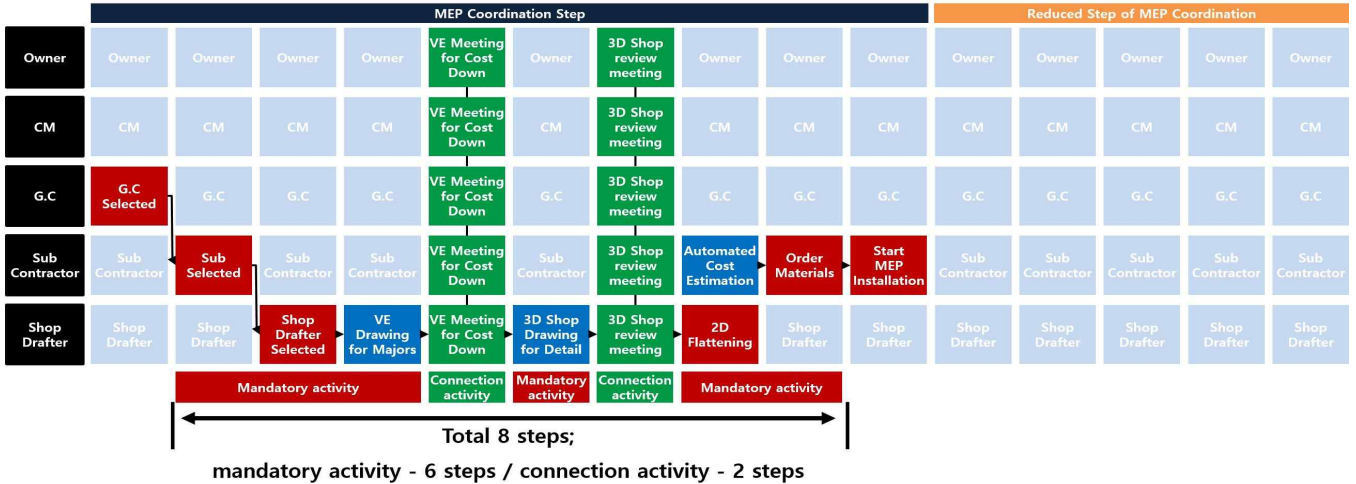


Figure 8. Improved MEP coordination process

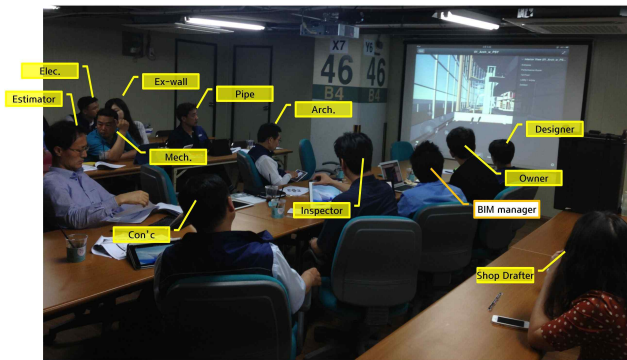


Figure 9. BIM based coordination meeting in case study

는 5/13이었다. LBPI 방법론을 활용하여 개선한 결과 총 8단계 중 필수 단계가 6단계로 나타났다. 따라서 (필수 활동의 단계 수)/(전체 활동 단계 수)는 6/8으로 나타났다. 필수 활동이 차지하는 비율은 기존의 38.4%에서 75.0%로 증가하였다. 기존의 프로세스에서 보다 간소화된 프로세스로 변경이 되었으며 부가가치활동 및 낭비의 관점에서도 프로세스에서의 비 부가가치활동을 제거하고 보다 효율적으로 변경되었다고 판단되었다.

5. 토의 및 결론

5.1 Case Study 결과 토의

LBPI 방법론을 통하여 변경된 설비전기 설계조율 프로세스는 개별 활동들이 BIM을 활용하는 활동으로 변경되었을 뿐만 동시에 이를 수행하는 인력의 역할도 변화되었다. 또

한, 샵드로잉의 오류 가능성을 제거하는 동시에, 프로세스를 지연시키는 것으로 예상되었던 승인절차를 축소하였다. 실제 현장 적용 결과에서 또한 도면상의 주요 오류를 제거하는 동시에 승인과정을 대체하는 BIM 기반 통합검토회의를 실시할 수 있었으며 이는 프로세스 과정에서의 대기 시간을 줄일 수 있는 것으로 예상되었다. 이것은 Turner 등의 해외 건설사에서 제시된 바 있는 통합BIM회의(BIG Room Meeting)과 같은 유사한 개념이라 할 수 있다[17]. Figure 9는 case study에서 이루어진 BIM 기반 통합검토회의의 모습을 나타낸다.

Case study의 결과는 본 연구에서 제시한 LBPI 방법론이 기존 프로세스를 일체화된 BIM 기반 설비전기 설계조율 프로세스로 변경하는 데 활용될 수 있음을 제시한다. 또한, case study에서 개선된 프로세스를 적용한 결과는 1.5% 원가절감이 발생했다.

하지만 원가절감 효과는 LBPI 방법론의 적용에 의한 것인지, 아니면 다른 영향에 의해서 발생했을 영향을 엄격하게 통제하지는 못했다. 시공사나 시공협력사의 엔지니어의 역량이나 프로젝트의 난이도 등 다른 프로젝트 요소의 영향을 받았을 가능성이 존재한다. 또한 본 연구에서는 case study의 결과 도출을 설계조율에 의한 BIM 모델 변경 전과 후를 비교한 것이며 원가변동 과정을 상세히 기술하지 못했다.

6. 결 론

Lean의 개념은 과거 자재조달의 적시성을 강조하는 'Just

in Time' 과 반복적인 공정계획에서의 'Tact Scheduling' 의 기법으로 건설에 주로 적용되었다. 최근에는 BIM의 활용과 함께 접목되어 낭비를 최소화할 수 있는 기법으로 다시 논의가 확산되고 있다. 하지만 기존 연구에서는 제조업과 건설 프로세스의 차이에 대한 분석 없이, 단순히 낭비를 제거할 수 있다는 개념으로 사용하거나 일부 기법을 차용하는 경우가 많았다. 본 연구는 제조업과 건설 프로세스의 분석을 기반으로 lean의 이론적 확장에 초점을 맞추고자 하였다.

본 연구는 제조업 lean의 프로세스 재설계 과정의 전체 프레임워크(framework)를 유지한 상태에서 건설 환경 및 건설 엔지니어링 환경에 적합하도록 변경하였다. 기존의 BIM과 lean에 대한 연구들은 BIM을 활용하고 있다는 전제 하에 보다 효율적으로 현업에 접목하기 위한 목적은 둔다면 LBPI 방법론은 2D 기반의 프로세스를 진단하고 조직의 역할과 활동 단계를 변경해나감에 BIM 기반 프로세스로 변경해나가는 과정을 다루고 있다. LBPI 방법론을 적용한 결과 제조업 lean의 중점사항이기도 하였던 일체화된 프로세스를 만들 수 있었다.

본 연구의 결과는 완벽한 과학적 통제에 의해 도출되지 못했다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 의미를 가진다. 첫 째, LBPI 방법론은 BIM 설계조율 프로세스를 변형하는 프레임워크(framework)로 활용될 수 있다. 기존 BIM을 활용하는 방식은 해외나 타사를 벤치마킹하는 형태로 프로세스를 도입해 활용되며, 일부 프로젝트에서는 프로세스에 대한 명확한 진단 없이 2원화되어 사용되는 경우가 발생한다. LBPI 방법론은 프로세스 평가와 분석의 도구로 활용될 수 있으며 향후 보다 다양한 접목을 통해 프로세스를 개선할 수 있는 가능성을 제공한다. 둘째, 본 연구에서 제시한 LBPI 방법론을 도출하는 과정은 건설 산업에서의 lean을 보다 체계화한다. 기존 BIM과 함께 활용되는 lean의 개념은 낭비를 제거할 수 있다는 개념으로 지나치게 확장되어 활용되거나, 특정 개념의 lean이 한정적으로 접목되는 경우가 나타난다. 본 연구는 프로세스 재설계의 관점에서 변형된 lean의 개념은 건설 프로세스의 특징을 반영하여 프로세스 재설계 관점에서 lean이 활동될 수 있도록 지원한다.

향후 본 연구의 결과가 BIM 설계조율 프로세스 외의 다양한 건설 참여자가 포함되는 일체화된 BIM 프로세스를 만들어 나가는 것에 기여할 수 있으리라 기대한다.

요 약

이 논문은 프로세스 재설계 관점에서의 린(lean) 개념의 이론적 변형과 BIM 프로세스 개선 사례를 제시한다. 최근에는 BIM을보다 효율적으로 사용하기위해 린 개념을 접목하는 연구들이 증가하고 있다. 린 이론과 성격과 기능은 제조업을 기반으로 하며 제조업에서의 프로세스는 린 개념의 프로세스 재설계 과정에 의해서 변형된 하나 프로세스로 개선된다. 하지만 제조 공정과 건설 공정은 다른 특성을 가지고 있다. 두 산업의 서로 다른 차이점으로 인해 전통적인 린의 프로세스 재설계 기능의 5 단계에는 이론적으로 BIM 프로세스에 그대로 적용하기에는 어려운 단계들이 포함되어 있다. 본 연구는 부분적으로 적용되는 린 개념의 접목을 해결하기 위해 제조 공정 및 BIM 프로세스의 특징을 분석했다. 이를 통해 이론적으로 린의 프로세스 재설계 단계를 수정하고 확장했다. 변형된 프로세스 재설계 단계는 설비전기 설계조율 프로세스에 적용했다. 본 연구에서 제안한 8단계의 프로세스 재설계 단계를 통해 일체화된 BIM 프로세스로 변형할 수 있었다. 또한 사례연구 결과는 공정 단계의 감소 및 비용 절감의 가능성을 나타냈다. 본 연구의 결과는 BIM 프로세스 뿐만 아니라 다양한 프로세스에 접목될 수 있는 린 개념의 이론적 기초가 될 수 있다.

키워드 : BIM, 린, 프로세스 재설계, 전기설비 설계조율

References

1. Lee G, Lee JW, Smart Market Report: The Business Value of BIM in South Korea, 1st ed, Bedford: McGraw Hill Construction; 2012. 60 p.
2. Build Smart Korea, BIM Services Performance Information [Internet]. [updated 2017 Jan 1; cited 2017 Jan 24]. Available from: <http://www.buildingsmart.or.kr>
3. Dossick C, Neff G. Organizational divisions in BIM-enabled commercial construction. *Journal of construction engineering and management*. 2010 Apr;136(4):459-67.
4. Sacks R, Radosavljevic M, Barak R, Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*. 2010 Feb;19(5):641-55.
5. Khanzode A. An integrated virtual design and construction and lean (IVL) method for the coordination of mechanical, Electrical

-
- and plumbing (MEP) systems [Dissertation]. [California (USA)]: Stanford University. 2011. 285 p.
6. Lee YC, BIM enabled lean construction faster, easier, better, and less expensive project delivery [Internet]. Available from: file:///C:/Users/Administrator/Downloads/BIM-LEAN%20.pdf
 7. Dave B, Koskela L, Kiviniemi A, Owen R, Tzortzopoulos P. Implementing lean in construction. London: CIRIA, 2013, Report No. C725.
 8. Ohno T. Toyota production system: Beyond large-scale production, CRC Press, 1988, 176 p.
 9. Womack J, Jones D. Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation, simon & schuster UK, 2013, 400 p.
 10. Mao X, Zhang X. Construction process reengineering by integrating lean principles and computer simulation techniques, Journal of construction engineering and management. 2008 May;134(5):371–81.
 11. Koskela L. Application of the new production philosophy to construction, California: Stanford University; 1992 Sep. 81p. Report No: CIFE Technical Report #72
 12. Liker J, Meier D. The toyota way fieldbook, McGraw Hill Professional; 2005, 288p
 13. Sacks R, Koskela L, Dave BA, Owen R. Interaction of lean and building information modeling in construction, Journal of construction engineering and management. 2010 Sep;136(9): 968–80.
 14. Arayici Y, Coates P, Koskela L, Kagioglou M, Usher C, O'Reilly K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. Automation in Construction, 2011 Oct;20(2):189–95.
 15. Agbulos, A., Mohamed, Y., Al-Hussein, M., AbouRizk, S., Roesch, J. Application of Lean Concepts and Simulation Analysis to Improve Efficiency of Drainage Operations Maintenance Crews. Journal of Construction Engineering and Management, 2006 Mar; 132(3):291–299.
 16. Eastman CM, Teicholz P, Sacks R, Liston K, BIM handbook, 2nd rev. ed, John Wiley & Sons; 2008, 640 p
 17. Moud H. Integrating BIM and lean in the design phase [master's thesis]. [Sweden]: Chalmers University; 2013. 40 p.
 18. Lee G, Kim JH. Parallel vs. sequential cascading MEP coordination strategies: A pharmaceutical building case study. Automation in Construction, 2014 Apr;43:170–9.
 19. Khanzode A. An integrated, virtual design and construction and lean (IVL) Method for Coordination of MEP, California: Stanford University; 2010 Feb, 35 p. Report No.: CIFE Technical Report #TR187.
 20. Tatum CB, Korman TM. Coordinating building systems: Process and knowledge. Journal of Architectural Engineering. 2000 Dec;6(4):116–21.
 21. Salem O, Solomon J, Genaidy A, Minkarah I. Lean construction: From theory to implementation, Journal of Management in Engineering. 2006 Oct;22(4):168–75.