

건축공사 공정중심의 변이관리에 관한 연구

A Study on Variation Control in Building Construction Process

오 상 준* · 서 상 욱**

Oh, Sang-Jun · Suh, Sang-Wook

요 약

건설산업은 타산업에 비해 불확실성이 크게 존재하고, 작업간에 상호 의존성이 강한 산업으로, 불확실성에 의해 발생하는 변이는 건설산업의 생산성 감소를 가져온다. 불확실성에 의한 변이의 대처방안으로 변이관리 및 연구의 필요성이 절실히 요구되고 있으나, 아직까지 국내에선 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 건설산업에서 변이의 원인 및 유형을 분석하고 그에 대한 대안으로 변이관리 기구 및 기법을 정립에 있다. 변이관리를 위한 방법으로, 우선 국내 건설현장에서의 변이관리 실태를 조사하였으며, 이를 토대로 변이관리 모델을 제안하였다. 변이관리 모델은 변이관리 기구를 통한 첫 번째 접근과 변이관리 기법을 통한 두 번째 접근 방식으로 제안하였고, 변이발생 시기에 따른 접근으로 변이의 발생 전과 발생 시, 발생 후로 변이관리의 상태를 분류하였다. 또한 변이관리에 적용되는 변이관리 기법으로 쉴딩(shielding)과 디커플링(decoupling) 두 가지를 사용하였다.

변이관리 기구 및 기법의 적용은 국내 건설산업에서 생산성과 신뢰도(reliability) 향상을 증대시키는 중요한 요소이며, 변이관리 모델을 이용한 변이관리는 국내 건설산업의 새로운 방향을 제안한다.

키워드 : 변이관리(Variation Control), 쉴딩(shielding), 디커플링(decoupling)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

생산성 증진이라는 목표는 여러 산업에서 오랫동안 연구 되어온 영역으로, 건설산업에서도 중요한 부분으로 연구되고 있으며, 특히 변이관리는 생산성 증진에 직결되는 중요한 영역으로 관리되고 있는 실정이다.

새로운 환경 중에 하나라고 할 수 있는 영역은 지금 까지는 도외시 되어왔던 연구에 시작이며, 이러한 영역에서 변이(variation)조절이라는 부분은 각 나라의 건설산업에 새로운 연구 영역으로 자리 매김하고 있다. 특히 건설 생산시스템의 증진을 위한 방법으로, 생산과정에서의 변이관리에 많은 관심이 고조되고 있다. 새로운 건설 개념으로 소개되는 협의회로서, 1993년에 결성된 단체인 국제 린 건설 협의회(IGLC: International Group for Lean Construction)는 건설산업에

효율성을 극대화하기 위한 방안으로 변이관리의 중요성을 제안했다. 린 건설학회(Lean Construction)의 창설자인 Howell (1999) 말을 인용하여 린 건설 목적을 살펴보자면, “린 건설의 우선적인 목표는 건설생산 역학의 이해와 자원의 조달과 생산 사슬에서의 상호 의존성(dependency)과 변이의 영향을 이해하는 것”이라고 표현하여 건설산업에서 변이의 중요성을 강조하고 있다.

국내 건설산업에서는 건축공사의 변이에 대한 연구가 미흡한 실정으로, 건축공사의 낭비요소가 증가되고, 생산성 감소가 발생되고 있는 실정이다. 변이관리, 즉 낭비 요소에 절감익 건설 산업을 부흥시키는 원동력이라 생각하고, 변이관리와 낭비요소 제거라는 개념에 적합한 린¹⁾ 사고(Lean Thinking)를 제시하며, 이에 부합되는 변이관리 방법²⁾으로 변이관리 기구 및 변이

1) 린(Lean)이란 단어의 사전적인 의미를 살펴보자면, ‘기름기 또는 군살이 없는’이라는 뜻의 형용사로 프로세스의 낭비와 재고를 줄여, 지속적인 개선을 이루고자 하는 개념을 말한다.

2) 변이관리 방법에는 유형적인 도구로 사용된 기구와 무형적인 전략을 이용한 기법으로 나누어진다.

* 학생회원, 경원대학교 대학원 건축학과 석사과정

** 중신회원, 경원대학교 건축학과 교수, 공학박사

관리 기법의 국내 건설 적용을 검토해 본다. 따라서 본 연구에서는 건축공사의 변이관리 방법을 연구 대상으로 설정한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건설산업에서 생산성 증진을 위한 연구 방법은 다양하게 제시된다. 본 논문의 공정 개선을 위한 변이관리의 방법 및 순서는 다음과 같다.

- (1) 건축 생산 시스템과 변이에 대한 고찰을 한다.
- (2) 변이 유형과 관리 기법을 조사해 본다.
- (3) 변이관리 방법으로 변이관리 기구 및 기법에 대한 개념을 정립한다.
- (4) 변이관리의 타산업 적용 사례 및 해외 건설 적용 사례를 분석한다.
- (5) 국내 현장 관리자와의 면담을 통해 실태 조사 및 분석을 한다.
- (6) 건설산업에서 변이관리를 위한 변이관리 모델을 제시한다.
- (7) 사례 연구를 실시하여 공정중심의 변이관리 국내 적용 방향을 제시한다.

2. 예비적고찰

린 생산 시스템은 종래의 수공업 생산방법, 대량 생산방법과는 다른 형태의 생산 방법으로, 기존 생산 방식에 장점만을 결합시킨 시스템이다. 이는 기존에 제안되었던, 포드 생산의 흐름 생산 방법을 모체로 하는 새로운 형태의 시스템을 의미한다. 도요다 생산시스템(TPS)의 핵심 개념인 낭비(waste or Muda)³⁾의 최소화와 생산 효율성 배가에 목적을 두고 있다.

린 원리(Lean principle)는 최소 인력과 최소의 장비를 가지고 최소한의 공간에서 가장 짧은 시간에 보다 많은 작업을 실행한다는 의미로 (1) 가치의 명확화(specify value), (2) 가치의 흐름(value stream), (3) 흐름 생산(flow), (4) 당김 생산(pull-type system), (5) 완성의 추구(perfection)의 5가지 기본 원리를 가진다.

2.1 변이에 대한 고찰

변이에 대한 정의는 시스템에 내재(implicit) 되어있거나 시스템의 외부에 외재(explicit) 되어있는 불확실성으로 인하여 산출물이 계획했던 일정한 범위를 벗어나는 현상을 의미한다.⁴⁾

Taguchi and Clausing(1990)은 프로세스 상에서 발생하는

변이에 대한 유형을 분류하였다. 분류는 허용오차한도 이내에 존재하는 낮은 변이를 나타내는 그림1의 그림 A와 목적 가치에서 높은 변이를 나타내는 그림1의 그림 B에서 보여준다.

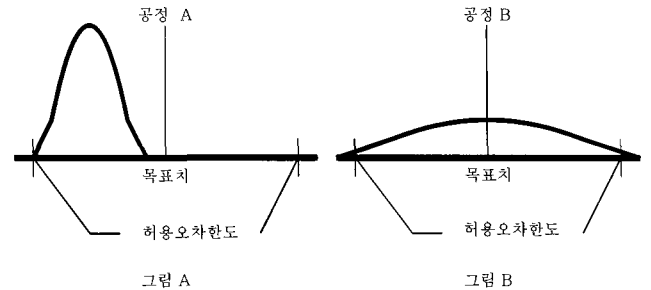


그림 1. 공정 변이의 2가지 타입의 유형

Joiner and Gaudard(1990)는 변이의 원인별 기본 유형 그림2와 같이 4가지로 제시하였다. 변이의 유형별 분류로서 일반원인 변이(Common Cause Variation), 특별원인 변이(Special Cause Variation), 조작 변이(Tempering), 구조원인 변이(Structural Cause Variation)로 구분하였다.

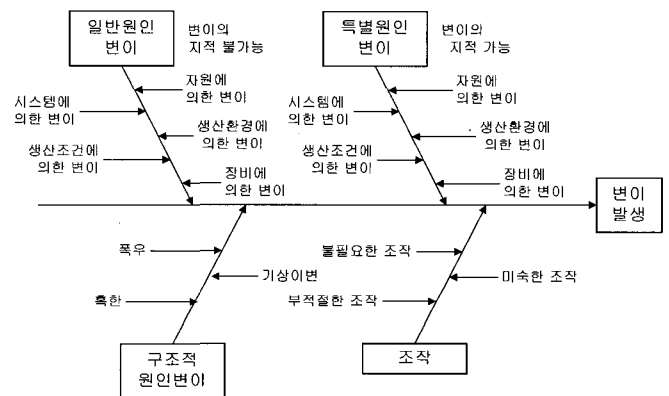


그림 2. 변이 원인의 특성요인도

변이의 원인별 4가지 유형을 적용하자면, 현장에서 콘크리트 타설 직후 남게 되는 소량의 레미콘 잔량은 일반원인 변이라 할 수 있고, 물량의 잘못된 계산으로 인해 콘크리트 부족이 발생하거나 다량이 남게 되어 처리 문제가 발생하는 경우를 특별원인 변이의 예라고 할 수 있다. 또한 타설 작업 중 비에 의해 타설이 중지되거나 갑작스런 폭우에 대처하지 못하는 경우를 특별원인에 대한 미숙한 조작 변이, 동절기나 혹서기에 콘크리트 타설 및 양생 관리에 별도의 조치가 필요한 것은 구조원인 변이라 할 수 있다.⁵⁾

휴먼에러(human error)는 가장 큰 변이의 원인으로 볼 수 있으며, <표 1>⁶⁾에서는 실수의 원리와 행동, 그리고 실수들을

3) Any activity that consumes resources but creates no value.

4) 김창덕, 건설생산 시스템의 새 지평, 건축, 2000, 3

5) 삼성건설, 토요다생산방식과 린건설의 이해, 2001. 5. 10.

피하기 위한 사전 방안을 아래와 같이 10개 항목으로 제시, 분류하고 있다.

표 1. 휴먼 에러(human error)의 원인과 대책

원 인	대 안
건망증(forgetfulness)	사전에 운영자에게 경고, 정기적 작업 간격 체크
잘못된 이해로 인한 실수 (errors due to misunderstanding)	훈련, 진행의 체크, 진행 작업의 표준화
확인 실수(errors in identification)	훈련
비숙련자에 의한 실수 (error made by amateurs)	능숙한 건설 작업의 표준화
고의의 실수(wilful errors)	기본적인 교육과 체험
부주의한 실수(inadvertent errors)	주의, 훈련, 작업 표준화
지연에 의한 실수 (errors due to slowness)	숙련된 건축, 작업 표준화
표준의 부족으로 인한 실수 (errors due to lack of standards)	작업 표준화, 작업 교육
뜻하지 않은 실수(surprise errors)	생산 관리, 작업 표준화
계획적인 실수(intentional errors)	기초적인 교육, 훈련

2.2 건설산업에서의 변이 분류

본 논문에서는 변이 분류를 건설산업의 영향 요소에 의한 4가지로 나누어 제안하고자 한다. 공정, 품질, 안전, 환경은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며, 건설산업 전반에 걸친 영향 요소라고 할 수 있다. 첫 번째 영향 요소 분류 중 공정적 요소는 프로세스 상호간이나 프로세스의 내부에 존재하는 변이로 인한 낭비를 방지하는 요소로서 분류이다. 두 번째 안전적 요소는 건설 안전에 전반적으로 영향을 미치는 안전 요소에 대한 분류이다. 세 번째 품질적 요소는 완성품에 있어 품질의 변이차가 크게 나지 않도록 하기 위해 제안된 분류이며, 마지막으로 네 번째

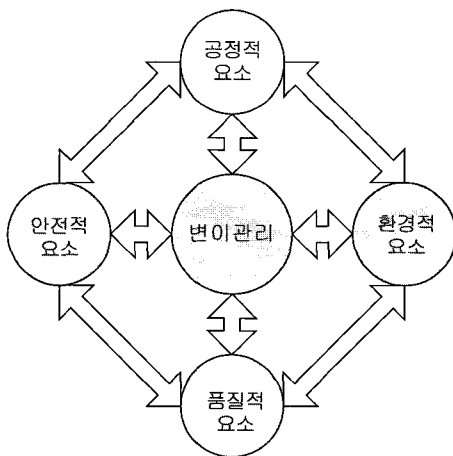


그림 3. 건설 산업에서 변이의 분류

환경적 요소는 공사장 주변 또는 공사장 내에서 발생하는 환경적 변이에 대한 분석이다. 예를들어 공사 진행 시 공사현장에서 발생하는 먼지로 인한 민원의 발생은 환경적 변이에 해당되는 문제이다. 다음 <그림 3>은 건설 산업에서 분류한 4가지 변이이다.

2.3 기존의 변이관리 기법

프로세스 상에서의 변이관리는 크게 프로세스 내부 변이관리와 프로세스간 변이관리로 구분되며, 프로세스 내부 변이관리란 프로세스 생산에 영향을 미치는 프로세스 내부요인에 대해서 관리하는 것이며, 프로세스간 변이관리란 해당 프로세스에 영향을 미치는 다른 프로세스와의 관계, 즉 상호 의존성을 관리하는 것이다. 첫 번째 제안인 프로세스 내부 변이관리는 일반적으로 변이 발생 원인을 특성에 따라 분류하고, 분류된 원인 별로 특성에 따른 적절한 관리 방법을 수립하여 변이를 분석하고 대응책을 제시하는 절차로 구성되며, 변이의 원인별 4가지 유형에 관한 사항으로 관리방법을 수립하기 위한 하나의 방법이다. 두 번째 프로세스간 변이관리는 실딩과 디커플링 2가지 방법으로 나누어진다.

(1) 실딩

실딩이란 불확실성을 하위 단계에 전파하지 않기 위한 의사결정, 정보 등의 차폐 전략을 의미한다. 이는 스크리닝(screening)⁷⁾하고는 다른 의미로, 실딩은 제품 생산에 있어 불확실성으로 인한 변이를 막아 주는 역할을 한다.

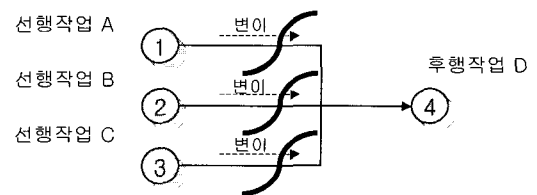


그림 4. 실딩(Shielding)

<그림 4>는 선행 작업 A, B, C에서 후행작업 D로 진행되는 작업을 보여주고 있으며, 실딩이라는 기법의 사용으로 불확실성에 기인한 변이의 영향을 사전에 방지해 주는 역할을 나타내고 있다.

즉, 실딩은 확실성(certainty), 신뢰성(reliability), 투명성(transparency)을 작업 환경에서 확보하는 과정이다. 관리 측면과 실 작업 측면에서의 실딩은 불확실성을 고려하게 해주고,

6) NKS(Nikkan Kogyo Shimbun,1987)

7) 선행 단계에서 후행 단계로 필요한 정보만을 골라 하위단계로 전파한다는 개념.

실 작업 측면에 있어 작업에 방해되는 장애물을 제거해 주는 역할을 한다. 이러한 결과는 건축공사 현장의 작업 환경을 더 안정적으로 만들며, 계획 시스템의 결점을 명확하게 확인시켜주기 때문에 실질적인 작업에 대한 부분적인 조절을 가능하게 하고 기능을 향상시킨다.

(2) 디커플링

디커플링은 생산과정에서의 병목구간(bottleneck)으로 인한 효율성저하를 막기 위해 생산사슬고리를 끊어서 공정을 재설계한다는 개념으로 사용된다. 즉 작업 프로세스 상에서 변이로 인한 병목 구간 발생 시, 이를 복수개의 프로세스로 병행·대체하여 변이의 전이를 방지하는 하나의 기법이다. <그림 5>는 공정 계획상에서의 디커플링을 보여준다.

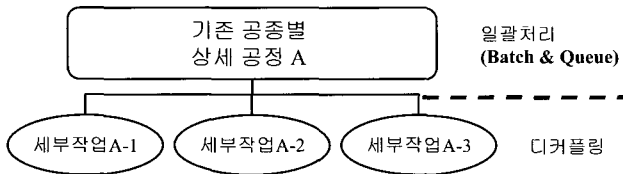


그림 5. 기존 공정 계획의 디커플링

2.4 변이관리 기구

변이관리 기구(Poka-Yoke)⁸⁾란 용어는 타산업에서 품질보증을 하기 위한 방법으로, 초기에 품질관리의 도구로 전기적이고 기계적인 기구를 만든데에 기인한다. 이러한 변이관리 기구는 Poka-Yoke 또는 foolproof, mistake-proof, fail-safe devices, autonomation이라고 부른다.

변이관리 기구의 기능은 기존에 여러 가지 제안에서 살펴 볼 수가 있다. 우선 NKS는(1987) 변이관리 기구의 3가지 기본적인 기능을 “작업 중지(stop process), 제어(correct), 경고(alert the operator)”로 설정하였다. 작업 프로세스에 낭비가 발생하거나 또는 변이에 의한 불량 발생 할 때 자동으로 생산라인을 중지시키는 기능에 작업 중지와 잘못된 프로세스를 잡아 주는 제어, 그리고 이러한 문제를 작업자에게 알리는 경고의 기능을 제안하였다. 이후 Beauregard(1997)는 지각 감지라는 센서 기능을 추가로 제안하여 변이관리 기구에 기능은 “제어(control), 정지(shutdown), 경고(warning), 지각 감지(sensory alert)”의 4가지로 구성되었다.

8) NKS(1987)에서는 “Poka-Yoke란 용어를 일본 단어 yokeru와(to avoid)와 poka(inadvert)에서 나왔다.”고 정의하며, 발음상으로 POH-kah YOH-kay라고한다.

<표 2>는 변이관리 기구의 타산업 적용 사례이다.

표 2. 변이관리 기구의 타산업 적용사례

	변이제어기구	원인	문제해결	개념
1	플로피 디스크	디스켓을 거꾸로 삽입	디스켓 거꾸로 삽입 시 튀어온다	제어기능
2	자동차 경고등	사람의 실수	경고등을 이용한 경고 장치	경고기능
3	자동차 잠금장치	운행 중에 문 열림	시속 18마일 초과시 자동잠금장치	제어기능
4	circuit 브레이커	과부하에 의한 문제	과부하시 자동 차단 장치	지각감지기능
5	세면기 overflow	세면기 사용시 물이 넘침	개수 윗면에 작은 구멍으로 해결	제어기능
6	건조기 제어장치	건조기 사용중 손상	문이 열릴 때 자동으로 작동중지장치	중지기능

2.5 국외 건설현장 변이관리 사례

(1) 영국 현장에서의 엘리베이터 사례

영국에서 사용된 변이관리 기구 중 하나로 엘리베이터를 제안한다. 이는 변이관리 장치의 기본적인 기능을 확인할 수 있는 사례로, 사람이 엘리베이터에서 짐을 싣거나 내리는 동안 엘리베이터 플랫폼의 이동을 허락하지 않으며, 엘리베이터 문이 닫혀야만 이동이 가능하다(제어 기능). 과다 하중이 발생하였을 때 경고 기능을 사용하여 과다 하중을 사전에 방지 할 수 있고(경고 기능), 엘리베이터 자체에 이상이 생겼을 때 자동으로 기능을 정지(작업 중지) 시킬 수 있는 사례를 보여준다.

(2) 브라질 건설현장 물 비빔 사례

브라질의 사례는 모르타르 물 비빔으로, 생산에 일정한 품질 유지되어야 하지만 엄격한 제어 없이 경험에 의해서 활동이 수행된다는 것이다. 직접적인 결과로서 모르타르 물비빔은 현장에서 수동으로 실행되며, 직접적인 상태로서 중요한 가치 첨가 활동의 생산성에 영향을 미친다.

(3) 영국과 브라질의 벽돌쌓기 공정

건설산업에서 변이관리 기구의 적용을 가장 잘 나타낼 수 있는 공정인 벽돌쌓기 공정을 사례로, 변이관리 기구의 현장 적용을 검토해본 예이다. 이 사례는 영국과 브라질에서 6가지의 사례 연구를 통해서 이루어졌다. 우선 벽돌쌓기 공정에 초점을 맞추고, 체계적인 관찰을 위해 다양한 방법(비디오 레코딩, 사진술, 작업 추출 견본, flow chart, 인터뷰 등)을 설정하였다.

<표 3> 영국과 브라질의 6가지 사례 분석을 살펴보면, 변이관리 기구가 사용된 사례 1, 6에서 각각 0.33과 0.23으로 높은 생산성을 나타나는 것을 확인할 수가 있다. 공정 효율이라는 측면에서도 역시 변이관리 기구가 사용된 사례 1, 4, 6에서 각각

표 3. 영국과 브라질의 사례 분석

아이템(Item)	case1	case2	case3	case4	case5	case6
국 가	영국	영국	영국	브라질	브라질	브라질
사 진 수	160	176	144	96	160	112
촬영시간	58	36	26	22	31	22
작업조 구성	2:1	3:1	2:1	2:1	2:1	1:1
생산성(A)	0.33	0.21	0.18	0.19	0.29	0.23
평균재고(B)	6.12	3.54	5.30	2.62	10.38	6.34
공정효율(A/B)	0.05	0.06	0.03	0.07	0.03	0.04
블록벽돌 낭비율(%)	1	7	14	3	(a)	(b)
변이관리 기구 전체 사용 수	1	0	0	2	0	2

a) 디자인/설계서에 많은 수의 변화는 낭비 측정을 어렵게 한다.
 b) 서로 다른 단계에서 동시적인 재료의 흐름은 낭비의 측정을 위한 논리적인 제한을 가진다.

0.05, 0.07, 0.04를 나타내고 있어 높은 공정 효율성을 볼 수가 있다. 블록의 낭비율이란 항목에서도 마찬가지로 변이관리 기구가 사용되지 않은 사례에 비하여 현저하게 낮은 낭비율을 확인할 수가 있다.

3. 건축공사에서 변이실태 조사

3.1 실태조사

건설산업에서의 변이관리를 위한 실태조사 목적은, 현재

국내 현장에 변이관리의 개념과 변이관리 상태의 조사를 실시하여 국내 건설 현장에 알맞은 변이관리를 제안하기 위해서이다.

<표 4>는 현재 변이관리의 개념 또는 변이관리 기구가 적용되었다고 판단되는 기구들을 분류하여 변이관리 상태를 조사하였다. 각 영향요소(sector)를 바탕으로 원인 및 그에 따른 기구로 작성하였다.

또한 객관적인 검증을 위해 현장 담당자와의 면담을 통해서 작성하였다. <표 4>에 적용된 변이관리의 대상은 총 21개 항목으로 설정하여 변이분류를 검토하여 보았으며, 각 사례는 실제로 건설현장에서 사용하고 있는 실질적인 사례를 중심으로 작성하였다. 각 영향 요소에 따른 분류는 다음과 같이 “영향 - ◎ : 크다, ○ : 보통, × : 관계 적음”의 기호를 사용하여 각 요소가 미치는 영향을 작성하였다.

3.2 실태분석

사례조사 결과 대부분이 안전적 요소와 품질적 요소에 70%의 많은 영향을 미치는 것으로 확인되어, 기존의 변이관리가 품질 또는 안전적인 요소에 영향을 크게 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 공정적 요소에 미치는 영향은 17%로 나타나 변이 관리 시 공정 프로세스의 연구가 안전, 품질적 요소에 비해 미흡했던 것으로 판단된다.

표 4. 적용된 변이제어기구의 분류

(영향- ◎ : 크다, ○ : 보통, × : 관계 적음)

변이관리기구	원 인	공정	품질	안전	환경
1 배처 플랜트	모르타르 물 배합시 경험에 의존.	○	◎	×	×
2 엘리베이터 장치	과다하중에 의한 경보 및 제어.	×	×	◎	×
3 창문 코킹 작업	작업자의 실수로 창문에 코킹을 빠트림.	×	◎	×	×
4 고장력 볼트	볼트 조임시 일정 강도까지 조이면 자동으로 조임부 잠림	◎	○	×	×
5 철근매기	철근 매기시 일정 강도에 조이기를 하면 끝부분이 잘림.	×	◎	×	×
6 개구부 접근시 경보	현장 위험 요소에 설치.	×	×	◎	×
7 페인트 작업시 색깔부여	초벌-재벌-정벌시 색깔 표시로 작업진행 확인 가능, 건망증으로 인한 실수 방지.	×	◎	×	×
8 코드 설치길이	상부와 하부의 코드 길이가 달라 코드를 꿰을 때 실수 없앴.	×	×	◎	×
9 블록 살두께 표시	블록 살두께에 의한 착오로 시공을 잘못하는 문제를 없앴다.	◎	○	×	×
10 차륜 세척기	공사장 입·출입 차량으로 인한 주위 환경 개선이 가능.	×	×	×	◎
11 장비 후진시 경적	작업자가 사전에 발견하지 못하는 사고 방지를 위한 장치.	×	×	◎	×
12 과하중시 자동정지	과다한 작업하중을 사전에 예방하는 장치.	×	×	◎	×
13 타워크레인 작업 경보	작업자가 크레인에 업로드 작업시 경보로 위험 요소 제거.	×	×	◎	×
14 안전망	기존 안전망작업은 작업자가 건물외곽에 매달려서 설치, 현재 작업장안에서 작업 설치.	×	×	◎	×
15 타워크레인 리밋(limit 장치)	타워크레인 붐이 작업장을 벗어날 때 나는 경보음.	×	×	◎	×
16 이중 스페이서	상부와 하부를 철근을 이중스페이서로 고정해서 처짐 방지.	×	◎	×	×
17 철근색깔	철근을 색깔로 구분(방청-녹색, 수입-빨강, 고강도-노랑).	×	◎	×	×
18 작업복색	색을 구분한 안전조끼를 이용(직종구분) 작업원조절에 용이.	◎	×	×	×
19 폐기물 처리	허가된 업체에 한하여 특수처리된 차에 의해 처리.	×	×	×	◎
20 벽체수직 철근계획	철근을 2개층 분으로 가공하여 절단조립(철근 낭비 제거).	×	◎	×	×
21 현장 분리수거	현장에서 나오는 건축폐기물들을 분류하여 자원의 재사용	×	×	×	◎

이러한 결과는 기존에 변이관리가 단순한 안전관리나 품질관리에 치중된 형태로 건축현장에서 사용되어 왔다는 것을 알 수가 있다. 하지만 변이관리는 단순히 안전과 품질에 국한되지 않은 범위를 의미하며, 변이를 조절함으로써 공사 전체의 공정 프로세스에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 관리하는데 그 목적을 두고 있다.

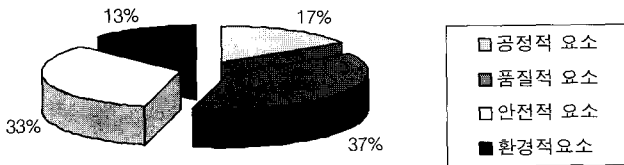


그림 6. 적용 실태 조사 결과

3.3 개선된 변이관리 기법

(1) 실딩

실딩의 개념은 앞서 제시한 것과 같이 불확실성을 하위 단계에 전파하지 않기 위한 의사결정, 정보 등의 차폐 전략을 의미한다. 본 연구에서의 실딩은 의사결정과 정보의 차폐 전략을 가 지던 기존의 작업 중심 실딩에서, 정보 흐름을 중시하는 실딩으로 설정하고, 작업 정보 흐름을 미확정 정보와 확정 정보로 구분한다.

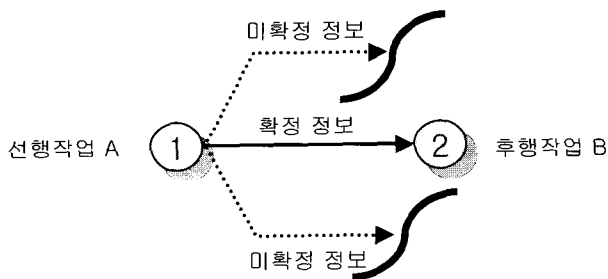


그림 7. 실딩(Shielding)

(2) 디커플링

디커플링의 개념은 작업 프로세스 상에서 변이로 인한 병목 구간 발생 시, 이를 복수개의 프로세스로 병행·대처하여 변이의 전이를 방지하는 하나의 기법을 나타낸다. 기존의 디커플링은 변이 발생 구간을 디커플하여 변이를 관리하는 하나의 전략으로 소개되었으나, 본 연구에서 제시하는 디커플링은 변이 발

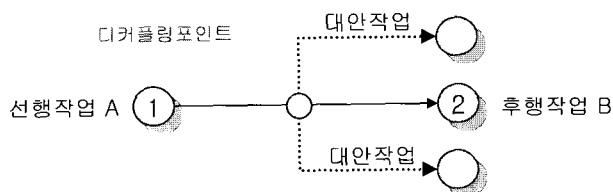


그림 8. 디커플링(Decoupling)

생 선·후행 작업을 디커플링 한다는 전략을 말한다. 즉, 변이 발생구간을 디커플링 하는 것이 아닌 변이 발생 지점 선·후행 작업을 디커플링 포인트로 설정하고, 병행·대처하여 변이를 관리한다는 방법에서 기존의 디커플링 전략과 차이를 가진다.

<그림 8>의 네트워크 공정표는 작업 순서를 나타내고 있으며, 시작 작업인 A 작업에서 마무리 작업인 G 작업으로 구성된다. 점선으로 표시된 D구간은 변이 발생 구간을 의미하며, 디커플링 포인트를 가진 선행작업 A와 후행작업 F에서 디커플링을 제안한다.

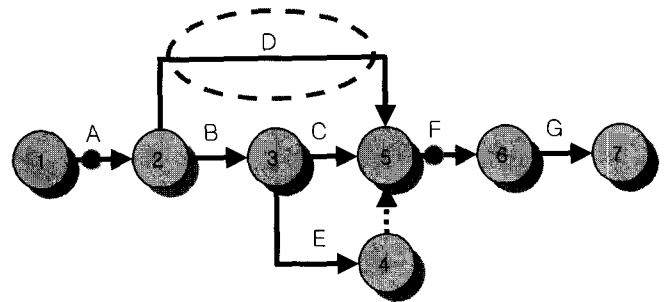


그림 9. 작업 순서

<그림 9>에서는 선행작업 C, E의 작업이 아무리 빨리 끝나더라도 D 작업이 지연된다면 후행작업인 F 작업은 시작 될 수가 없는 순서를 보여준다. 변이를 가지고 있는 D 작업에 대한 변이 관리 방법으로 제시되는 디커플링 대안은 다음과 같이 두 가지로 나타낼 수 있다. D 작업의 선행 작업인 A 작업과 후행작업인 F 작업에서의 디커플링은, D 작업의 선·후행 관계에 있어 변이관리의 상관관계를 제시한다. A, F에 나타난 디커플링 포인트는 네트워크 공정표 상에서 작업이 디커플 되는 지점으로, 변이를 관리하기 위해 복수개의 프로세스 대체지점이다.

<그림 10>은 F 작업의 디커플링 방안으로 D 작업에서 발생하는 변이로 인한 지연시간을 막기 위해서, 후행 작업인 F 작업을 F1과 F2 작업으로 분리한다. 디커플링의 첫 번째 방안으로 C, D, E 작업의 마무리 없이 F 작업이 시작 할 수 있도록 만든 디커플링 사례이다. F1 작업은 D 작업과 관계없이 C, E 작업의

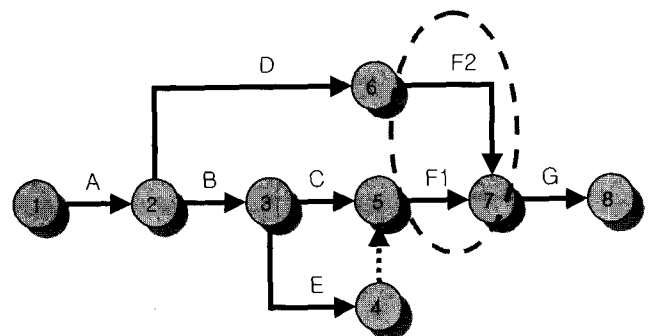


그림 10. 디커플링 방안 A

진행에 따라 실행되는 작업이며, F2 작업 역시 C, E 작업과는 관계없이 D 작업에 따라 실행되는 작업이다.

〈그림 11〉은 D 작업에서 발생하는 변이로 인한 병목을 막을 수 있는 방안으로, D 작업에서 발생한 변이를 방지하기 위해 A 작업을 디커플링 한 기법이다. A 작업을 A1과 A2로 디커플링하여 사전에 변이로 인한 지연시간이 발생한 D 작업을, 다른 작업보다 선행하여 지연시간에 의한 변이를 방지할 수 있다. A 작업을 10일에 걸쳐서 진행한다는 가정하에서, 변이 발생 구간인 D 작업에서 변이로 인한 병목이 발생한다면, 두 번째 방안 B의 전체공정은 지연될 것이다. 하지만 병목 발생구간인 D 작업 전에서 A 작업을 디커플링 한다면 변이로 인한 병목의 발생은 대처가 가능하다.

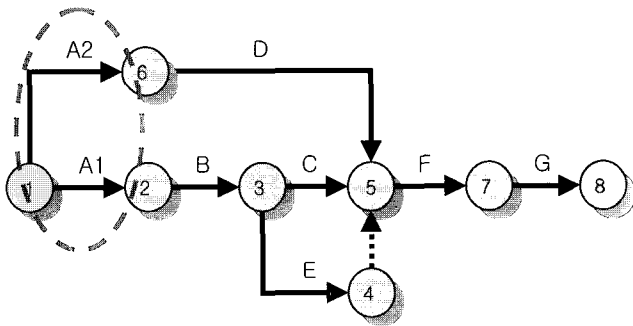


그림 11. 디커플링 방안 B

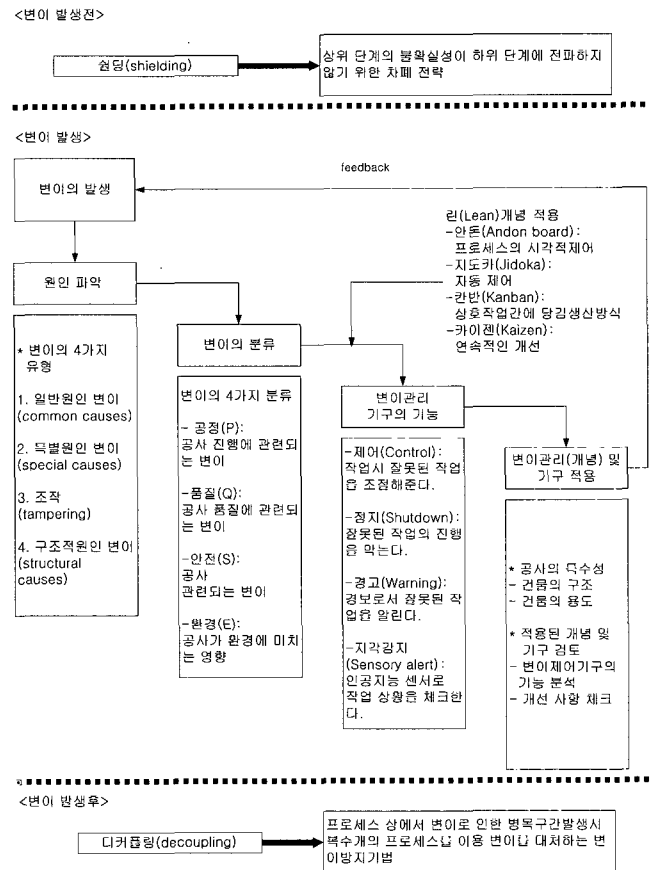


그림 12. 변이관리 모델

4. 공정중심의 변이관리 모델

변이관리를 위한 방법으로 본 연구에서는 변이관리 모델을 제시한다. 변이관리 모델의 첫 번째 접근 방법은 변이관리 기구를 이용한 접근이며, 두 번째 접근 방법은 변이관리 기구로 관리하기 어려운 변이들에 대한 접근 방법인 변이관리 기법을 이용한 방법이다. 또한 변이발생 시점을 나누어서 변이관리를 3 가지 단계로 구분한다. 변이 발생 전과 변이 발생 후, 변이 발생 시로 분류하며, 분류된 단계별로 적용 가능한 변이관리 기구와 기법들을 제안한다. 본 변이관리 모델에서는 실딩은 변이 발생 전의 기법으로 불확실성을 하위 단계에 전파하지 않게 하기 위한 하나의 전략으로 선행작업에서 후행작업으로 변이의 전이를 방지한다. 변이 발생 후에 전략으로는 디커플링을 사용하여 생산과정에서 병목 구간으로 인한 생산성 저하를 막는 공정 재설계의 개념을 적용한다. 이는 상호 의존적인 작업 관계를 디커플링 함으로서 작업간에 생기는 변이를 차단한다는 개념의 기법이다.

〈그림 12〉의 변이관리 모델 중 변이 발생 시에 해당하는 흐름은 다음과 같다. 우선 변이 발생 시에 변이의 유형을 4가지 변

이(일반원인, 특별원인, 조작, 구조원인)로 구분, 원인을 파악하고, 변이관리의 분류를 실시한다. 이후 안돈(Andon board), 지도카(Jidoka), 칸반(Kanban), 카이젠(Kaizen)에 해당되는 린 개념을 건설 산업에 알맞게 적용하고, 변이관리 기구 기능의 체크와 적용을 실시하여 관리한다. 이러한 일련의 과정을 거친 후 변이관리에 적합하지 않은 변이관리 기구는 연속적인 피드백 과정을 거쳐서 재차 적용되는 것이다.

5. 공정중심의 변이관리 모델의 사례 적용

5.1 고장력 볼트의 사례

건축공사에서 변이의 영향 분류를 토대로, 각 영향 요소 중 공정에 가장 많은 영향을 미치는 항목을 찾아본다면, 사례 1, 4, 9, 18, 20까지 5가지 항목이다. 이중에서 4번째 사례(고장력 볼트)를 선정하여 공정적 요소를 분석 및 적용해 보려 한다. 사례 4의 고장력 볼트는 작업상에서 일정한 강도이상이 되면 자동으로 볼트 조임 부분이 떨어져 나가는 것으로 작업 완료 후 볼트 조임부에 대한 추가적인 검사가 필요하지 않게 되는 부분이다.

변이관리 모델에 의한 적용으로 다음과 같은 과정을 가진다. 앞서 제시된 변이의 발생 단계에서 변이를 특별원인변이 분류하

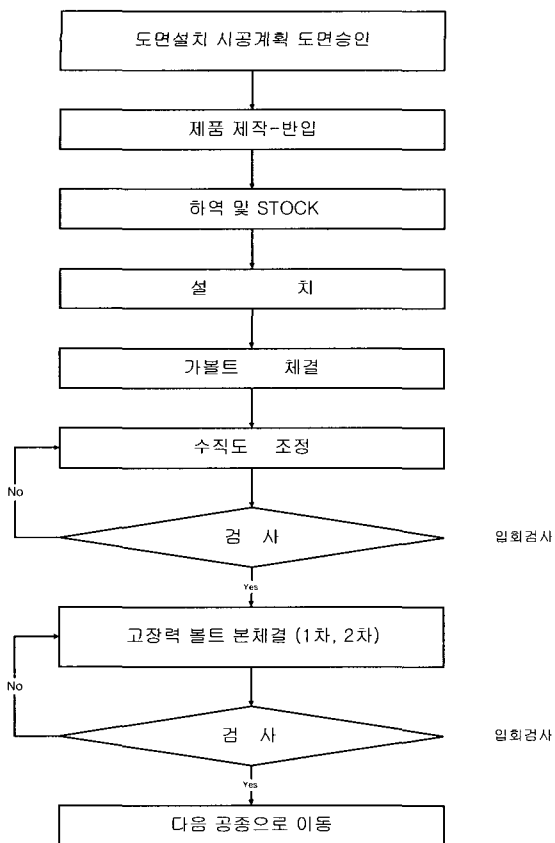


그림 13. 철골(BOLT) FLOW-CHART

고, 공정에 관련되는 요소로 정의한다. 변이관리 기구의 기능 적용으로 제어가 적용되며, 이러한 일련의 과정을 거쳐서 변이관리의 기구가 만들어진다. 여기서의 변이관리 기구는 조임부가 일정 강도 이상 되면 자동으로 떨어져 나가는 고장력 볼트를 말한다.

철골설치 시공계획 도면에서 제품 제작·반입 그리고 고장력 볼트 설치 후 다음 공정으로 이어지는 흐름에서 검사항목이 두 번 시행되는 것을 볼 수 있다. 첫 번째는 가볼트 체결 후 수직도 조정 다음으로 오는 검사와 고장력 볼트 본체결(1차, 2차) 후에 오는 두 번째 검사로 나누어지며, 검사에 합격을 하지 못한 작업은 전 작업으로 다시 돌아가는 흐름을 말한다. 이러한 흐름에서 검사는 두 번 이루어지는데, 고장력 볼트라는 변이관리 기구를 사용하여 한번의 검사를 생략 가능하게 만드는 것이다. 이는 궁극적으로 공정 프로세스의 단축 뿐만아니라 두 번의 검사로 인한 변이의 증가와 비용을 절약 할 수 있는 하나의 사례이다.

5.2 Top-Down 공법 사례

변이관리 모델에서 변이가 발생하는 부분을 파악한 후, 그 구간에서 발생하는 변이에 대한 대처 방법으로 변이발생 후에 대한 사례이다. 변이관리 모델에서 제시하는 변이 발생 전과 변이 발생 후로 나눈 쉐딩과 디커플링 기법의 사용은 건설현장 변이 관리에 적합한 기법으로 본 연구에서는 Top-Down 공법을 사

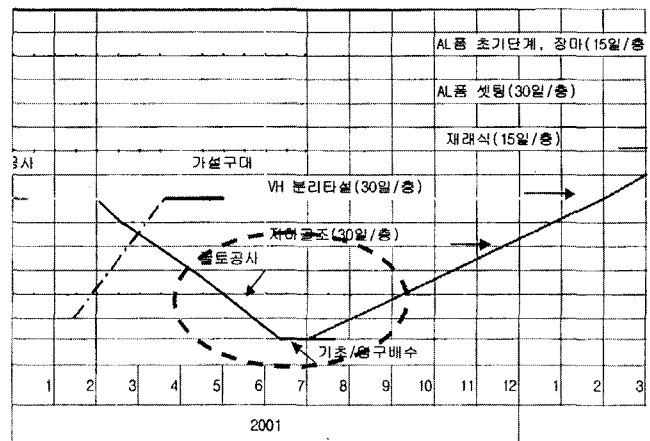


그림 14. G 공사 기초 공사구간 LOB

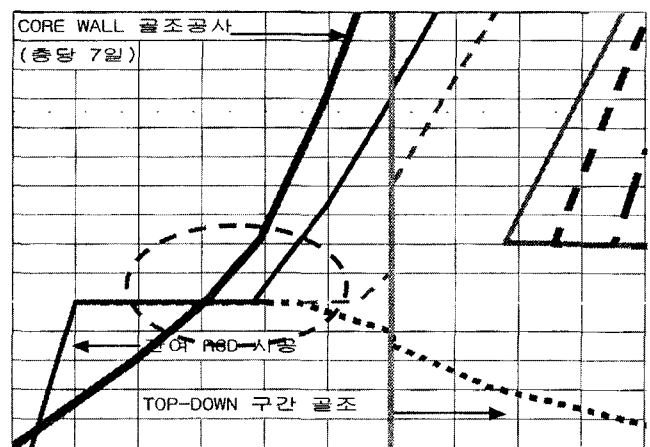


그림 15. A 공사 기초 공사구간 LOB

용한 공사에 적용되어, 작업 선·후행 간에 상호 의존성에 기인한 변이를 제어하는 것에서 확인 할 수 있다. 변이 발생 구간에 대한 변이관리 대안으로 제시되는 작업의 세분화를 통한 병행·대처 기법은 앞서 제시된 쉐딩 기법보다 디커플링 기법에 가까운 기법으로 강한 상호 의존성에 의한 변이관리에 적합한 사례라고 할 수 있다.

〈그림 14〉 G 공사의 기초 공사 구간으로 선행작업과 후행작업의 강한 상호의존을 확인 할 수 있는 LOB이다. 반면에 〈그림 15〉는 선행작업에 의존관계가 G 공사에 비해서 현저히 떨어지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 변이의 발생이 크게 일어나는 부분 중에 하나가 기초공사에 해당하는 부분이다. 기존에 지반에 대한 사전조사가 되었다 하더라도 굴토시 사전 조사된 지반의 조건과는 다른 형태의 지반이 나타난다면, 기초 공사는 어려운 공사가 될 것이며, 그에 따른 작업의 지연이나 대기 시간이 만들어질 것이다. 특히 일반적인 공사로 시행된 G 현장의 공사에 경우, 작업 선·후행 간에 상호 의존성이 뚜렷하게 나타나기 때문에 문제 발생시 공사가 전체적으로 지연된다. 반면에 Top-

down으로 시행된 A 공사 현장의 경우는 G 현장의 경우보다는, 이러한 상태에서 공사를 진행 할 수가 있다. G 공사에 비해서 선·후행 작업간에 상호 의존성이 낮기 때문에 기초공사에 해당되는 굴토공사가 어려운 공사가 될지라도 전체적인 공정에는 크게 영향을 미치지 않는다.

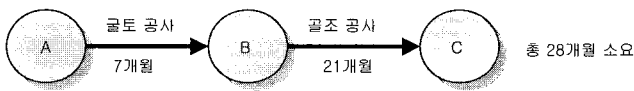


그림 16. G 건축 현장 공정순서

두 공사의 공정표를 통해서 다음과 같은 작업 프로세스가 도출되었다. 각 프로세스는 토공사와 굴토공사를 중심으로 작성하였고, 골조공사 이후의 공사 및 공구별 공사는 <그림 16>에 포함하지 않았다.

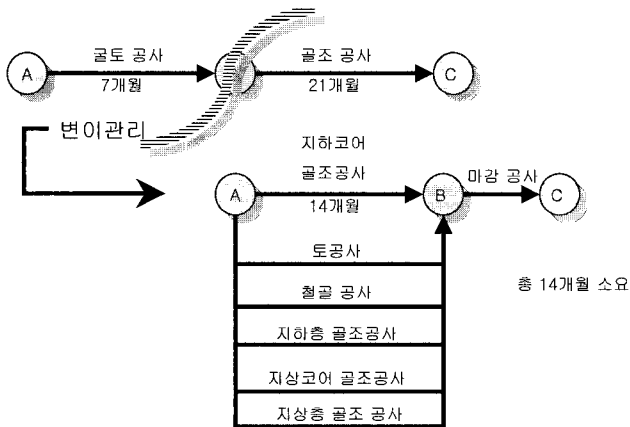


그림 17. A 현장 공사 공정순서

<그림 17>은 굴토공사가 완료된 후에 지하골조공사가 진행되는 G 현장 공사와는 다르게, 굴토공사와 골조공사를 병행·대체한 공정을 나타낸다. 우선 골조공사는 굴토공사가 선행되어야 한다는 점에서 작업간에 상호 의존성이 강하게 작용하였으나, 현장 공정에서는 작업을 굴토공사와 골조공사로 병행·대체하여 공사를 진행 할 수 있게 하였다. 굴토공사와 골조공사는 크게 지하코어 골조공사, 토공사, 철골공사, 지하층 골조공사, 지상코어 골조공사, 지상층 골조공사로 병행·대체되었으며, 변이관리가 적용된 A 현장 공사의 기간은 14개월로 G 현장에서 나타났던 28개월의 절반에 해당하는 공사기간을 확보하게 되었다.

공사 규모에서 추수를 감안하면, G 현장 공사가 37층 A 현장이 23층으로 G 현장이 14층 더 높은걸 확인 할 수 있다. 두 공사 모두 층당 7일 사이클로 공사되었기 때문에 14층에 해당하는 94일 즉 3개월 정도의 공사기간의 차이가 생긴다. 물론 이러한 차이를 빼내더라도 G 현장 공사의 기간은 총 25개월로 변이관리가 된 A 현장에 비해서 공사기간이 현저히 높음을 확인 할

수 있다. 변이관리에 기본적인 사례로 제안된 Top-Down 공법이 적용된 현장에 공사 기간을 비교하여 확인해 본 결과, 변이관리로 인한 영향은 공사기간의 단축에 따른 공기 절감으로 나타나면, 작업간에 상호 의존성을 낮춤으로서 변이관리에 상당한 도움을 준다는 것을 확인 할 수 있었다.

6. 결론 및 향후연구

현재 국내 건설산업에 미치는 변이에 대한 이해와 연구가 부족한 실정이며, 사례 연구의 결과는 국내 건설산업에서 공정 프로세스 상의 변이를 줄이기 위한 변이관리가 미흡하다는 것을 확인했다. 물론 변이관리의 개념이 적용되어 있다 할지라도 개념적인 정리가 되지 않아 지속적인 발전을 이루어 낼 수가 없는 실정이지만, 사례 연구에서 볼 수 있듯이 변이관리가 공정 개선으로서 충분히 제 역할을 할 수 있다고 판단된다.

연구의 주요내용은 다음과 같다.

(1) 현재 국내에서 연구되고 있는 변이관리에 대한 영역은 매우 미흡한 실정이다. 특히, 변이관리가 요구되는 여러 산업 중에서 반복성과 상호 의존성이 상대적으로 크게 나타나는 건설 산업에 있어 변이관리는 매우 생소한 상태이다. 따라서 변이관리의 연구에 선행되어지는 부분으로 불확실성으로부터 관리되어야 하는 변이에 대해 개념을 정립하였다.

(2) 기존 타산업에서는 변이원인에 대한 분류를 일반원인 변이, 특별원인 변이, 조작 변이, 구조원인 변이로 제시하였다. 본 논문에서는 변이 분류에 대한 새로운 분류 방법으로, 건설산업에 영향을 미치는 요소를 제안하여 공정, 품질, 안전, 환경의 4가지 요소로 분류하여 분석하였다.

(3) 다양한 변이관리 방법들 중에서 하나 이상의 기구를 이용한 변이관리 기구의 접근 방법과 변이관리 기구로 관리가 어려운 변이에 대한 접근 방법으로 실딩, 디커플링의 전략을 이용한 변이관리 기법의 접근을 제시하였다. 또한 변이관리 기법을 토대로 변이 발생 전, 변이 발생 시, 변이 발생 후의 3단계 변이관리 시점을 이용한 접근 방식인 변이관리 모델을 제안하였다.

(4) 건설산업에서 생산성 향상을 위한 하나의 방안으로 변이관리 기구의 분석을 실시하여, 변이관리 기구의 적용 흐름도를 도출해 냈다. 변이관리 기구의 개념으로는, 린 개념에서 적용된 개념인 안돈(프로세스의 시각적인 제어), 지도카(자동 제어), 간반(상호작업 간의 당김 생산 방식), 카이젠(연속적인 개선)의 개념을 적용하였다.

(5) 변이관리 기법 중 의사결정과 정보 차폐 전략을 가지는 기존의 실딩 개념을 작업 중심 실딩에서 정보 흐름을 중심하는 실딩으로 변환하고, 작업 정보 흐름을 미확정 정보와 확정 정보로

구분하였다. 또한 디커플링 기법은 변이 발생 구간 선·후행작업을 디커플링 한다는 전략으로, 변이 발생구간을 디커플링 하는 것이 아닌 변이 발생 지점 선·후행 작업을 디커플링 포인트로 설정하고, 병행·대치하여 변이를 관리한다는 방법에서 기존의 디커플링 전략과 차이를 가진다.

(6) 현장 관리자와의 면담으로 작성된 실태조사는 건축공사에서의 변이에 영향 분류를 토대로 현재 국내 건설현장에서 다루어지는 변이관리 기구 및 기법에 대한 조사를 실시하였다. 또한 실태조사를 바탕으로 국내 건설산업에 변이관리의 현상태를 조사·분석하였다.

(7) 변이관리 기구 및 기법을 적용한 사례연구를 통해서 실제 공정 프로세스의 변이관리에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였고, 향후 변이관리의 국내 건축공사에 대한 적용방향을 제시하였다.

향후 연구의 방향으로는 건설산업에 영향을 미치는 공정 프로세스 개선을 위해 다양한 현장 적용이 진행되어야 한다. 또한 건설산업에 영향을 미치는 요소로 분류된 공정 이외의 품질, 안전, 환경에 적합한 변이관리 기구 및 기법이 다양하게 개발하여야 한다. 변이관리 모델을 통한 변이관리 방안도 심층적으로 분석되어야 하며, 변이관리의 활성화를 위한 연구가 다양하게 진행되어야 한다.

참고문헌

1. 김창덕(2000). 건설생산시스템의 새 지평, 건축3월호, 대한건축 학회, 2000.3.
2. 김창덕(2000). 린 건설, 한국건설관리학회, 2000. 9.
3. 서상욱(1994). 건축공사의 최적화 공정계획에 관한 연구, 대한건축학회, 1996.3.
4. 윤희상(2000). 건축 생산 공정의 개선방안, 경원대학교 석사 학위논문.
5. 정선영(2000). 건설 프로세스 상에서 발생하는 낭비요소 관리에 관한 연구, 광운대학교 석사학위 논문.

6. 김찬현(2001). 린 건설 원리에 기초한 건설 생산 공정 분석 모델에 관한 연구, 광운대학교 석사학위 논문.
7. 삼성건설(2001). 토요다 생산방식과 린건설의 이해, 2001.5.
8. Womack and Jones(1996). LEAN THINKING, 1996.
9. Howell(1999). Greory A,Howell, "What is Lean Construction -1999", Proceeding IGLC-7, University of California at Berkeley, USA, 26-28 July 1999.
10. Santos and Powell(1999). Aguinaldo dos Santos and James Powell, "Potential of Poka-yoke devices to reduce variability in construction." proceedings IGLC7, 1999.
11. Joiner and Gaudard(1990), Brian L. Joiner and Marie A. Gaudard, "Variation, Management and W. Edwards Deming," Joiner Associates Incorporated.
12. Taguchi, G. and Clausing,D.(1990). "Robust Quality." Harvard Bus. Rev. January-February, 65-75.
13. Stewart and Grout(2000). Douglas M.Stewart and John R. Grout, The Human Side of Mistake-proofing, 2000.
14. Douglas M.Stewart and John R. Grout(2000), The Human Side of Mistake-proofing, 2000
15. Patrick T.I.Lam, Mohan M.Kumaraswamy, S.Thomas Ng(2001), the multiple roles of specifications in lean construction, IGLC-9.
16. Fl io A. Picchi(2000), Lean Principles and The construction, IGLC-8, 2000
17. NKS-Nikkan Kogyo Shimbun Ltd.(1997). Poka Yoke: improving product quality by preventing defects. Productivity Press.
18. <http://www.nummi.com>
19. <http://www.campbell.berry.edu/faculty/jgrout/pokayoke.shtml>

Abstract

The purpose of this study is to present a way of Variation Control in building construction process. The study suggest a way of the application method of shielding, decoupling concept and also Poka-yoke device to control variation that occurs from uncertainty in construction industry with lots of waste factors.

The main contents of the study are as follows;

- (1) It's suggested strategy to apply shielding, decoupling as variation control technique.
- (2) Current Poka-yoke devices are investigated and analyzed.

As a future research, it is required to study continuously on the more effective application method of Poka-yoke device and on existing examples in domestic construction sites for the process improvement.