

린 건설과 연계한 생산성 저하 요인과 Waste 요인과의 상호 관련성 연구

The Study on Correlation Between Factors Decreasing Construction Productivity and Waste Factors with Relation to Lean Construction

박 주 현* · 김 대 영** · 이 학 기***

Park, Joo-Hyun · Kim, Dae-Young · Lee, Hak-Ki

요 약

생산성은 프로젝트를 관리하는데 있어서 효율성을 측정하는 중요한 지표이다. 또한 건설 생산성은 비용 및 일정과 연관성이 있을 뿐만 아니라 프로젝트의 성공 여부와도 관련이 크다. 프로젝트에서 생산성의 중요성에도 불구하고 국내에서의 생산성 관련 연구는 생산성에 대한 기본 개념 및 원칙에 관한 기초적인 연구 없이 정량적인 연구에 집중되어 있으며, 관련 데이터 수도 적은 실정이다. 국내 건설 공사의 생산성을 향상시키기 위해서는 생산성 관리의 정량적인 요인뿐만 아니라, 정성적인 요인까지 관리해야 하며, 저하요인에 따른 체계적이고 세부적인 프로세스 및 기법이 제시되어야 한다. 이에 국내 건설 공사의 생산성 관리에 린 건설을 도입하고자 한다. 본 연구에서는 국내 생산성 저하 요인과 린 건설에서의 Waste 요인과의 상관관계 분석을 통해 국내 건설 공사 현장에서의 Waste 주요 의미를 살펴보고 두 요인간의 상호 관련성을 파악하여, 린 건설의 프로세스 및 기법을 국내 건설 공사 현장에 적용하기 위한 이론적인 근거를 제공하고자 한다.

키워드 : 생산성 저하 요인, 린 건설, 비가치활동

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 생산성(construction productivity)은 건설 공사의 특수성을 반영한 기업의 경영상태 평가 기준 자료 및 프로젝트 운영의 효율을 측정하는 주요 지표로 인식되어져 있다. 건설 생산성 관리는 정량적인 요인과 정성적인 요인에 대한 관리로 구분될 수 있으며, 정량적 요인의 관리는 비용 및 일정과 같이 정량화가 가능한 요인에 대한 생산성 관리를 의미하고, 정성적 요인의 관리는 작업외적 요인 및 환경적 요인 그리고 인적요인과 같이 정량화가 불가능한 요인에 대한 생산성 관리를 의미한다.

국내에서도 프로젝트 운영의 주요 인자로서 건설 생산성을 인식하고는 있지만, 중요성에 대한 개념이 막연하고 생산성에 대한 이해 및 인식을 바탕으로 현장에서 적용 가능한 실질적인 생산성 관리 프로세스가 부재한 실정이다. 또한 생산성 관련 연구

가 일부 수행되고는 있지만, 생산성에 대한 개념정립 및 관련요인 분석에 관한 기초 연구보다 정량적인 요인에 관한 연구가 대부분으로, 생산성에 대한 개념정립 및 요인분석을 바탕으로 하여 정성적인 요인까지 포괄한 생산성 관리 연구는 수행 되지 못하고 있다.

그러나 주요 선진국에서는 보다 나은 생산성 향상을 목적으로 린(lean) 개념을 건설업에 새로운 관리 방법으로 도입하기 시작했고, 린 시스템을 이용한 정량적인 요인뿐만 아니라 정성적인 요인까지 생산성 관리를 수행할 수 있는 프로세스 및 기법을 제시 하고 있다.

국내 건설공사에도 통합적인 생산성 관리를 수행할 수 있는 린 건설 개념이 도입되었지만, 린 관련 연구들은 국내 생산성 관련 연구와 연계되지 못한 채, 린 건설 개념만을 소개하거나, IGLC(International Group of Lean Construction)¹⁾ 및 LCI(Lean Construction Institute)²⁾에서 제시하고 있는 특정

* 학생회원, 동아대 건축공학과, 석사과정

** 일반회원, 경남대 건축공학과, 전임강사, 공학박사

*** 종신회원, 동아대 건축학부, 부교수, 공학박사

1) IGLC(International Group of Lean Construction) : 1993년에 설립된 단체로서 AEC분야(Architect, Engineering, Construction)와 관련한 린 건설 국제 학회이다.

프로세스 및 기법을 소개하는 연구만이 진행되고 있다.

그러므로 이원화된 생산성 관련 연구의 통합 및 린 건설의 국내 현장 도입 가능성을 알아보기 위해, 린에서 생산성 저하 요인으로 분류하고 있는 비가치활동(non value-adding activity or waste - 이하 waste요인이라 함)요인들에 대하여 국내 건설공사 현장에서의 주요 의미를 파악하고 생산성 저하 요인과의 상관관계 여부 및 정도를 검증할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 건설현장에 린 시스템을 도입하기 위한 기초적인 연구로서 국내 건설현장에서 Waste요인에 대한 주요 의미를 파악하고, 두 요인간의 상관관계 분석을 통하여 린 건설 도입 가능성에 대한 이론적인 근거를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

생산성에 영향을 미치는 요인은 공사 진행을 직·간접적으로 방해함으로써 생산성을 저하시키는 저하요인과 현재의 생산성을 보다 더 향상시킬 수 있는 향상요인으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 생산성 저하 요인을 대상으로 하며, 연구의 범위는 국내 건설공사 현장에서의 Waste요인에 대한 주요 의미를 파악한 후 생산성 저하 요인과의 상호관련성을 규명하는 것으로 한정하였다.

그리고 연구의 수행 및 방법은 다음과 같다.

(1) 생산성 저하 요인은 국·내외 문헌자료를 고찰하여 세부요인을 파악하고 분류한다.

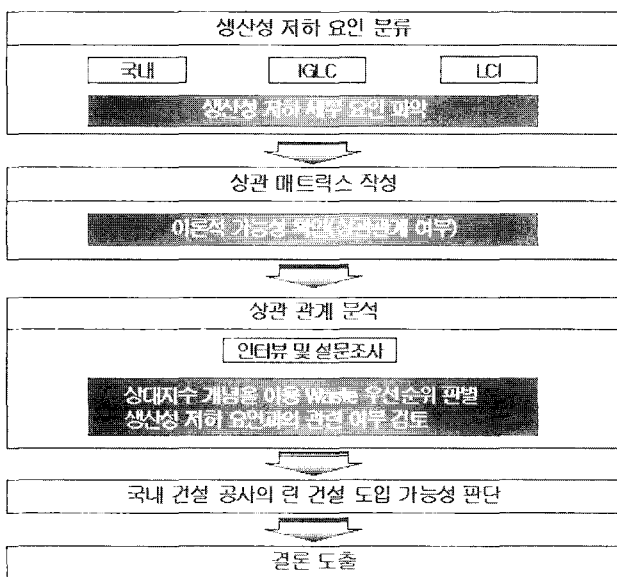


그림 1. 연구의 흐름도

2) LCI(Lean Construction Institute)l : 1997년에 설립된 단체로서 IGLC의 연구분야인 Production Management 분야를 중점 대상으로 하여 생산성 관리 연구를 수행하는 국제 생산성 관리 학회이다.

(2) 국·내외 문헌 고찰을 통해 파악된 생산성 저하 요인 및 Waste 요인에 대한 상관 매트릭스를 작성하여 이론적인 상관관계를 확인한다.

(3) Waste의 정의 및 생산성 저하 요인과의 상관관계 정도를 파악하기 위해서 국내 건설 공사 현장의 공사관리자 및 공무 담당자를 대상으로 직접면담 및 설문조사를 실시한다.

(4) 수집된 자료는 상대지수를 이용하여 Waste의 주요의미를 파악하고, 5점척도법 및 교차분석을 사용하여 두 요인간의 상관관계를 분석한다.

(5) 상기의 결과를 바탕으로 린 시스템의 국내 건설현장 도입 가능성의 이론적 근거를 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 생산성의 정의

생산성이란 생산체계를 통해 생산된 산출물량(output)과 일정기간 동안 생산물(product)을 생산하기 위해 투입된 투입물량(input)의 비로써 정의된다. 즉, 생산성은 특정자원의 효율을 측정하는 것이 아니라 그와 관련된 수많은 요소들의 조합된 효과를 측정하는 것이라고 할 수 있다. 문헌을 통해 살펴본 생산성 정의는 표 1과 같다.

표 1. 생산성의 정의

| 정 의 | 출 처 |
|---|-----------------|
| 물리적인 총 생산성과 각자의 노력으로서의 노동, 투입자본, 원재료, 동력 혹은 경영 등의 투입생산 요소의 하나 혹은 그 이상의 것과의 관계 | 미국국제협력국 (ICA) |
| 산출물을 생산 요소의 하나로 나누어 얻은 값 | 유럽경제협력기구 (OECD) |
| 생산물과 투입된 제요소 중의 하나의 비율 | 국제노동기구 (ILO) |
| 공종별 단위 작업량대 그 작업을 완성시키기 위해 투입된 노동량의 비 | 김예상 |

2.2 린 건설 정의

생산성(productivity)이 특정자원과 관련된 수많은 요소들의

표 2. 린 건설의 정의

| 정 의 | 비 고 |
|---|------|
| 린 건설은 린 이론과 원칙 및 기법에 따라 프로젝트를 관리하는 새로운 형식을 말한다. 생산관리에 있어서 린 건설은 복잡하고, 불확실하며, 단기 프로젝트에 유용하다. | IGLC |
| 린은 기본적으로 프로세스의 낭비와 재고를 줄여, 지속적인 개선을 이루고자 하는 개념이며, 린의 본질은 현장 실무 적용이 가능한 린 생산 시스템 (Lean Production System 이하 LPDS) 이라 할 수 있다. | LCI |

조합된 효과를 측정하고 결과물(output)에 대한 관리 개념이라면, 린은 투입되는 자원(input)에 대한 관리 개념이라 정의 할 수 있다. 린 학회(IGLC 및 LCI)에서의 린 건설 정의는 표 2와 같다.

2.3. 생산성 저하 요인과 Waste 요인

(1) 생산성 저하 요인

생산성 저하 요인은 순조로운 공사 진행을 방해함으로써 생산성을 떨어뜨리는 요인을 의미한다. 생산성 저하 요인에 대한 정의는 표 3과 같다.

표 3. 생산성 저하 요인의 정의

| 정 의 | 비 고 |
|--|-------------|
| 생산성 관리 지표로서 기준생산성(Baseline Productivity)을 제시하고 있다. 즉, 기준 생산성 이하가 되는 생산성 요인이 곧 저하 요인으로 정의한다. | Thomas |
| 현장에서 생산성이 저해 되는 형태를 Traveling, Waiting, Working slowly, Doing ineffective work, Doing rework의 5가지 형태로 구분하였다. | Borcherding |

(2) 린 건설의 Waste 요인

린 건설에서의 Waste는 자재, 노무, 기기설비, 주요자원에 대한 비효율성을 나타내는 척도로써, 자재 손실과 불필요한 작업 진행을 유발하고 추가비용이 부가되지만 생산에 대한 가치는 부가되지 않는다. 즉, Waste는 작업시 발생하는 가치손실로서 정의할 수 있으며, Waste에 대한 주요 정의는 표 4와 같다.

표 4. Waste 정의

| 정 의 | 비 고 |
|--|-----------|
| 비가치활동, 소위 Waste라고 불리는 이러한 행위들은 시간 및 비용, 자원을 투입하지만 실질적인 가치를 발생시키지 못하는 작업행위를 의미한다. | Koskela |
| 비가치활동은 직·간접적인 비용을 발생시키지만 발주자의 관점에서 완성품에 어떠한 가치도 부가하지 못하는 작업 활동에서의 손실을 의미한다. | Formoso |
| 비가치활동은 다음 2가지로 나눌 수 있다. ① Contributory activity : 직접적인 가치(Value)를 부여하지 못하지만, 작업수행 및 업무진행에 있어서의 요구되고 필수적인 작업을 의미한다. ② Unproductive activity : 비생산적인 작업활동을 의미한다. | Ying Zhao |

3. 생산성 저하 요인과 Waste 요인의 분류

3.1 생산성 저하 요인의 분류

본 연구의 생산성 저하 요인 분류는 기존의 연구³⁾를 바탕으로 하여 분류하였으며 그 내용은 표 5와 같다.

3) 김예상, 건설 생산성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 1994 손창백, 건축공사의 생산성 저하요인 분석, 2002

표 5. 생산성 저하 요인의 분류

| | 대분류 | 세부 분류 |
|-----------------|-----------------------|--------------|
| | 생산성 저하요인 | 건설인력 관련 요인 |
| 작업자의 책임감 부족 | | |
| 작업자의 기능(숙련도) 부족 | | |
| 작업자의 동기부여 부족 | | |
| 설계관리 관련 요인 | | 설계도서 미흡(미완성) |
| | | 시공성을 무시한 설계 |
| 공사관리 관련 요인 | | 불합리한 공법 선택 |
| | | 작업간 순서 계획 잘못 |
| | | 작업 일정계획 잘못 |
| | | 작업지시 및 승인 지연 |
| 투입자원 관련 요인 | | 의사소통 미흡 |
| | | 자재소달 지연 |
| 공사성격 및 공사외적 요인 | 장비소달 지연 | |
| | 현장의 불리한 입지조건 | |
| | 소음, 분진, 진동 등 열악한 작업환경 | |
| | 민원발생 | |

3.2 Waste 요인의 분류

본 연구의 Waste요인은 IGLC 및 LCI의 문헌을 고찰하여 분류하였고, Waste를 분류하는 주요 개념은 다음과 같다.

(1) Transformation-Flow-Value(TFV이론)

린 성공을 위한 3대 관리(공정관리, 계약관리, 가치관리)를 의미하는 것으로 전반적인 Waste 분류를 위한 개념이다.

(2) Last Planner Methods(LPM 이론)

생산 통제(production control)에 있어서의 Last Planner Methods를 의미한다. LPM 개념은 TFV개념 중, 작업흐름(flow)과 관련된 Waste를 분류하는 개념이다.

본 연구에서는 전반적인 Waste 분류를 위해 TFV 이론을 기준으로 Waste를 분류하였으며, 그 내용은 표 6과 같다.

표 6. Waste 요인의 분류

| 대분류 | 세부요인 |
|------------------|-------------------------------|
| 작업흐름 (Work Flow) | ① 작업정보(work information)의 부족 |
| | ② 재작업(rework) |
| | ③ 작업장소의 협소 및 작업환경 |
| | ④ 노무능력에 따른 자원(장비, 자재) 및 업무 배당 |
| | ⑤ 공정 간의 선·후 관계 |
| | ⑥ 자연요인 |
| 인적요소 (Human) | ① 의사소통의 부족 |
| | ② 작업참여도(하도업자 참여 여부) |
| | ③ 작업인지도 |
| | ④ 작업자의 자질 적합 여부 |
| | ⑤ 불합리한 작업조 편성 |
| | ⑥ 공사 참여자 사이의 신뢰감 |
| 프로세스 (Process) | ① 검사(inspection) |
| | ② 대기(waiting) |
| | ③ 이동(moving) |
| | ④ 재고(inventory) |

대분류 항목으로 작업흐름(flow), 프로세스(transformation)에 인적요소(human)를 추가하여 3가지로 분류하였다. 대분류에 따른 세부요인으로는 16가지로 기술하였다. 대분류 항목에 인적요소를 추가한 것은 기술이나 기법의 발달로 인한 생산성 향상은 한계점에 이르렀다고 판단되고, 특히, 생산성 관리의 정성적 요소 중, 인적요소를 통제함으로써 생산성 향상을 도모할 수 있기 때문이다.

4. 생산성 저하 요인과 Waste 요인간의 상관관계 분석

4.1 조사 개요

본 연구에서 생산성 저하 요인과 린 건설에서의Waste 요인과의 상관관계 및 Waste의 주요 의미를 파악하기 위해 직접면담 및 설문 조사를 실시하였다.

설문 조사대상자는 전국 도급순위 1~20위 업체의 공사관리자 및 공무담당자를 대상으로 하였다.

조사방법은 우편 및 메일을 통해 조사하였으며, 설문결과에 따른 원인 파악을 위해 건축공사 관리자들을 대상으로 직접 면담 형식인 인터뷰 조사를 실시하였다. 조사 대상자들의 응답 현황은 표 7, 8과 같다.

표 7. 조사 대상자의 직급 분포

| | 응답자수 | 응답비율(%) |
|-----|------|---------|
| 차 장 | 2 | 5 |
| 과 장 | 18 | 45 |
| 대 리 | 11 | 27 |
| 기 사 | 9 | 23 |
| 계 | 40 | 100 |

표 8. 조사 대상자의 경력 분포

| 구 분 | 응답자수 | 응답비율(%) |
|-----------|------|---------|
| 3년 - 5년 | 10 | 25 |
| 6년 - 10년 | 20 | 50 |
| 11년 - 20년 | 9 | 23 |
| 20년 이상 | 1 | 2 |
| 계 | 40 | 100 |

4.2 데이터 검증

모집단의 대표성을 파악하기 위해 수집된 데이터의 분포형태를 비모수검정⁴⁾ 기법인 일표본 검정⁵⁾을 통해 정규성을 검정하였다. 표 9와 같이 일표본 검정(K-S)의 결과, 근사 유의 확률이

4) 비모수검정 : 모집단의 수가 적고, 정규분포의 유무를 확인할 수 없을 때 사용 가능한 검정기법이다.
5) 일표본 검정 : 기대빈도 및 발생빈도를 이용하여 포아송 분포로 정규성을 판단하는 검정 척도

0.00%로 유의확률 1%미만으로 나타나 수집된 데이터의 정규분포를 확인하였다.

이는 수집된 데이터에 의한 요인간의 상관관계 분석 값이 신뢰할 수 있는 자료임을 대변한다.

표 9. 일표본 K-S 검정

| N | | 364 |
|---------|-----|-------|
| 포아송 모수 | 평균 | 18.44 |
| | 절대값 | .212 |
| 최대 근단차 | 양 수 | .212 |
| | 음 수 | -.195 |
| K-S 의 Z | | 4.04 |
| 근사유의확률 | | .00 |

4.3 국내 건설 현장에서의 Waste 요인 정의

표 4에서와 같이 Waste요인은 대분류 항목으로 작업흐름, 인적요소, 프로세스로 분류하였고, 대분류에 따른 세부요인을 작업흐름 6가지 요인, 인적요소 6가지 요인, 프로세스 4가지 요인으로 분류하였다. 상기에서 분류된 Waste 요인에 대한 국내 건설공사 현장에서의 Waste 주요 의미는 상대지수를 이용하여 우선순위를 파악하였고, 그 결과는 아래와 같다.

(1) 작업흐름

작업흐름의 6가지 세부요인은 작업에 관한 정보, 재작업, 작업환경 등이고, 상대지수를 이용해 나타난 우선순위는 표 10에서 보는 바와 같이 작업환경(상대지수 RI⁶⁾ : 2.24), 작업에 관한 정보, 공정간 선·후 관계 순으로 조사되었다. 작업환경 요인이 국내 건설공사 현장에서 주요 의미로 나타난 것은 건설공사의 특수성에 의한 것으로 판단된다. 즉, 대지의 협소로 인한 작업장소의 협소, 불합리한 현장배치 계획 그리고 소음, 분진, 진동에 따른 열악한 작업환경 등을 원인으로 지적하였다. 또한 자연요인을 상위 순위로 응답한 경우에는 공사민원에 따른 작업중지가

표 10. 작업흐름의 정의

| 요인 순위 | 작업흐름 | | | | | |
|-------|-----------|------|------|-----------|-----------|------|
| | 작업에 관한 정보 | 재작업 | 작업환경 | 자원 및 업무배당 | 공정간 선·후관계 | 자연요인 |
| 1 | 11 | 5 | 16 | 0 | 2 | 6 |
| 2 | 4 | 4 | 0 | 13 | 19 | 1 |
| 3 | 7 | 5 | 8 | 6 | 10 | 2 |
| 4 | 4 | 14 | 13 | 9 | 2 | 0 |
| 5 | 8 | 1 | 3 | 12 | 5 | 5 |
| 6 | 6 | 9 | 0 | 1 | 5 | 25 |
| 순위합계 | 132 | 143 | 107 | 146 | 133 | 189 |
| 상대지수 | 1.82 | 1.68 | 2.24 | 1.80 | 1.80 | 1.27 |
| 우선순위 | 2 | 4 | 1 | 5 | 3 | 6 |

6) RI(상대지수) : 세부요인별 우선순위를 파악할 수 있는 분석 기법이며 관련식은 아래와 같다.
RI = (NQ×NR)/SP NQ : 세부항목수, NR : 응답자수, SP : 항목순위합계

원인인 것으로 나타났다. 따라서 시공단계 이전에 대지 및 공사 특수성에 따른 작업계획이 선행되어야 한다.

(2) 인적요소

인적요소의 6가지 세부요인은 의사소통의 부족(G.C, Sub, Designer간), 작업참여도, 작업인지도, 작업자의 자질 등이며, 국내 건설공사 현장에서 인적요소의 주요 의미는 작업인지도, 작업자의 자질, 작업참여도순으로 나타났다.

관리자와 작업자간의 의사소통 및 작업조의 편성 그리고 참여자의 신뢰도라는 요인보다 국내 건설 공사 현장에서는 하도업체 및 작업자의 능력 그리고 작업에 대한 책임감이 가장 중요한 요인으로 지적되었으며, 상위 요인 중에 작업인지도와 작업참여도는 의사소통(관리자와 하도급자간)을 원활히 수행함으로써 사전 제어가 가능한 요인이지만, 국내 건설공사 현장의 수직적인 조직구조로 인해 의사소통이 원활히 이루어지지 못하고 있었다.

따라서 인적요소 Waste 요인에 따른 생산성 관리 대책으로 공사 참여자간의 충분한 의사소통 프로세스 및 인적요소 관리 대책이 필요하다. 인적요소에 대한 국내 건설공사에서의 정의는 표 11와 같다.

표 11. 인적요소의 정의

| 요인 순위 | 인적요소 | | | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|
| | 의사 소통부족 | 작업 참여도 | 작업 인지도 | 작업자의 자질 | 작업조의 편성 | 참여자의 신뢰도 |
| 1 | 7 | 8 | 8 | 11 | 0 | 5 |
| 2 | 4 | 5 | 18 | 10 | 1 | 2 |
| 3 | 5 | 13 | 5 | 6 | 4 | 7 |
| 4 | 8 | 8 | 2 | 10 | 7 | 5 |
| 5 | 6 | 4 | 3 | 3 | 12 | 11 |
| 6 | 10 | 2 | 2 | 0 | 16 | 10 |
| 순위합계 | 52 | 121 | 94 | 104 | 198 | 165 |
| 상대지수 | 1.58 | 1.98 | 2.55 | 2.31 | 1.21 | 1.45 |
| 우선순위 | 4 | 3 | 1 | 2 | 6 | 5 |

(3) 프로세스

프로세스의 4가지 세부요인은 검사, 대기, 이동, 재고로 분류 하였으며, 상대지수를 사용하여 파악된 주요 의미는 표 12에서 보는 바와 같이 검사, 대기, 이동, 재고 순으로 조사되었다.

Waste의 프로세스 세부요인 중, 검사 요인은 건설 공사에서 공사 품질 및 안전을 위한 필수 요인이지만, 국내 건설 현장에서 생산성 저하를 일으키는 주요 원인으로 인식하고 있었다.

7) Design Coordination(설계조정) : 프로젝트의 생산 프로세스에 있어서 waste 요인을 줄이는 것에 의해 불확실성을 최소화 시킬 수 있는 기법으로써, FMEA(실패요인 분석 기법)를 기준으로 공사단계 이전에 설계와 관련된 불확실한 요인을 제거한다.

따라서 국내 건설공사 현장에서 주요 의미로 지적된 검사요인에 대한 생산성 관리 대책으로 린 시스템에서 제안하고 있는 Design Coordination⁷⁾ 프로세스 적용이 필요하다.

표 12. 프로세스의 정의

| 요인 순위 | 프로세스 | | | |
|----------|------|------|------|------|
| | 검사 | 대기 | 이동 | 재고 |
| 1 | 21 | 15 | 3 | 2 |
| 2 | 12 | 14 | 6 | 7 |
| 3 | 4 | 9 | 17 | 8 |
| 4 | 4 | 2 | 12 | 23 |
| 순위합계 | 73 | 78 | 114 | 132 |
| 상대지수 | 1.10 | 1.03 | 0.70 | 0.61 |
| 우선순위 | 1 | 2 | 3 | 4 |

4.4 생산성 저하 요인과 Waste 요인의 이론적 상관관계

국·내외 문헌 고찰 및 린 관련 전문가 면담을 통해 생산성 저하 요인과 Waste 요인간의 상관 매트릭스를 표 13과 같이 작성하였다. Waste 요인으로 분류된 16가지의 세부 요인에 대한 생산성 저하 요인과의 상관관계에 있어 전반적으로 공사관리 관련 요인과 관련성이 있는 것으로 나타났으며 Waste 요인 대분류에 따른 상호 관련 생산성 저하 요인은 다음과 같다.

(1) 작업흐름

작업흐름의 세부 요인별로 살펴보면 작업정보 부족, 재작업 요인의 경우에 설계 및 투입자원 관련 요인, 공정간 선·후 관계의 경우는 공사관리 및 투입자원 관련 세부 요인이 주요 원인인 것으로 나타났다. 작업흐름과의 전반적 관련 요인으로는 공사관리 및 설계관리 그리고 투입자원 관련 요인으로 도출되었다.

(2) 인적요소

인적요소의 경우에는 건설인력 및 공사관리 관련 세부 요인이 주요 원인인 것으로 판단되며, 인적 요소 세부 항목중, 작업 인지도의 경우는 설계도서 미흡에 따른 관리자와의 의사소통 부족이 주요 원인인 것으로 판단된다.

(3) 프로세스

프로세스와 관련해서 공사관리 및 설계관리 관련 세부 요인이 주요 원인인 것으로 판단되며, 특히 대기의 경우는 작업간 일정 및 순서계획의 차질에 의한 자원(인적, 물적)대기를 발생시키기에 불필요한 이동 및 재고로 이어지게 된다.

문헌을 통한 요인간의 이론적 상관관계를 분석한 결과 상호 관련 요인 및 저하 요인의 특성을 파악할 수 있었다. 즉, 생산성 저하 요인의 경우 작업 activity별 단일적 특성을 가지고 있는

반면 Waste 요인의 경우는 프로젝트에 대한 복합적 성격을 가지고 있기에 린 시스템의 국내 도입 가능성을 파악하기 위해서는 국내 건설공사에서의 Waste 세부 요인에 대한 주요 의미를 파악하고 이를 바탕으로 두 요인간의 상관관계 분석이 이루어져야 한다.

상위의 상관 매트릭스는 생산성 저하 요인 및 Waste 요인에 대한 개념 분석이라는 관점에서 유용하지만 린 건설의 국내 도입과 인식 부족으로 인한 근거 제시가 어렵기에 문헌 고찰 및 전문가 면담으로만 작성된 한계를 가지고 있다.

표 13. 상관 매트릭스

| Waste 요인 | 작업흐름 | | | | | 인적요소 | | | | 프로세스 | | | 빈도수 | | |
|-----------|--------------|-----|------|------|---------|------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|-----|------|------|
| | 작업정보 부족 | 재작업 | 작업환경 | 자원배치 | 공정간선후관계 | 자연인 | 의사소통부족 | 작업참여도 | 작업인지도 | 작업자의 자질 | 작업자의 편성 | 참여기간신뢰감 | | 검대이제 | 사기통고 |
| 생산성 저하 요인 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 건설인력 관련요인 | 건설인력 수급 부족 | | | | ○ | | | | | | ○ | | | | 2 |
| | 작업자 책임감 부족 | | | | | | | | | ○ | | | | | 1 |
| | 작업자의 기능 부족 | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | 3 |
| | 작업자동기부여부족 | | | | | | | | | | | ○ | | | 3 |
| | 소 계 | | | | | | | | | | | | | | 9 |
| 공사관리 관련요인 | 불합리한 공법 선택 | | | | | | | | | | ○ | | | | 1 |
| | 작업 순서계획 잘못 | ○ | | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | | | ○ | ○ | 8 |
| | 작업 일정계획 잘못 | | | | ○ | ○ | | | | | ○ | | | ○ | 4 |
| | 작업지시 및 승인 지연 | | | | | | | | | | | | | ○ | 2 |
| | 의사소통 미흡 | ○ | ○ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | 9 |
| | 공기축진 | | | | | | | | | | | ○ | | | 1 |
| | 소 계 | | | | | | | | | | | | | | 20 |
| 설계관리 관련요인 | 설계도서 미흡 | ○ | | | | | | | ○ | ○ | | | ○ | | 4 |
| | 시공성 무시한 설계 | ○ | | | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | 5 |
| | 설계변경 | ○ | ○ | | | | | | | | | | ○ | ○ | 5 |
| | 소 계 | | | | | | | | | | | | | | 14 |
| 투입자원 관련요인 | 자재조달 지연 | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | | | | | | ○ | 5 |
| | 장비조달 지연 | ○ | | | | ○ | ○ | | ○ | | | | | ○ | 5 |
| | 자원결함 | | ○ | | | | | | | | | | | ○ | 2 |
| | 소 계 | | | | | | | | | | | | | | 12 |
| 공사성격 외적요인 | 현장의 입지조건 | | | ○ | | | | | | | ○ | | | | 2 |
| | 작업환경(소음,분진) | | | | | | | | | | | | | | - |
| | 민원발생 | | | | | | ○ | | | | | | | ○ | 2 |
| | 소 계 | | | | | | | | | | | | | | 4 |

4.5 생산성 저하요인과 Waste요인 간의 상관관계

5점 척도 및 교차분석을 사용하여 생산성 저하요인과 Waste 요인 간의 상관관계를 분석하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

(1) 5점 척도를 이용한 상관관계 분석

Waste 요인의 대분류에 따른 세부요인 별로 생산성 저하 요인(표 5참조)과의 상관관계를 파악하기 위해 척도합계를 통한 평균값(Mean)을 측정하였고, Waste 세부 요인별로 생산성 저하 요인의 우선순위를 도출하였다.

① 작업흐름

작업흐름 6가지 세부요인 별로 살펴보면, 작업에 관한 정보와

공정간 선·후 관계의 경우 공사관리 관련 요인이 우선 요인으로 파악되었고, 재작업은 설계관리 관련 요인, 작업환경 및 자원 요인은 공사성격 관련 요인, 자원 및 업무배당은 투입자원 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 나타났다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 전반적인 작업흐름 요인에 있어서 공사관리 관련 요인 및 공사성격 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 조사되었지만, 시공성을 고려한 적절한 설계도 작성이 작업흐름에 큰 영향을 끼치기 때문에 설계관리 관련 요인의 측정값이 상위 요인과 큰 차이를 보이지 않고 있다. 작업흐름과 생산성 저하 요인과의 상관관계 분석은 표 14와 같다.

표 14. 작업흐름 vs. 생산성 저하 요인

| Waste 요인 | 건설 생산성 저하 요인 | 척도합계 | Mean | 우선순위 |
|-----------|--------------|------|------|------|
| 작업에 관한 정보 | 건설인력 관련 요인 | 91 | 2.28 | 3 |
| | 공사관리 관련 요인 | 114 | 2.85 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 96 | 2.40 | 2 |
| | 투입자원 관련 요인 | 37 | 0.93 | 4 |
| | 공사성격 관련 요인 | 24 | 0.60 | 5 |
| 재작업 | 건설인력 관련 요인 | 108 | 2.70 | 2 |
| | 공사관리 관련 요인 | 80 | 2.00 | 3 |
| | 설계관리 관련 요인 | 112 | 2.80 | 1 |
| | 투입자원 관련 요인 | 17 | 0.43 | 5 |
| | 공사성격 관련 요인 | 43 | 1.08 | 4 |
| 작업환경 | 건설인력 관련 요인 | 47 | 1.18 | 3 |
| | 공사관리 관련 요인 | 53 | 1.33 | 2 |
| | 설계관리 관련 요인 | 46 | 1.15 | 4 |
| | 투입자원 관련 요인 | 44 | 1.10 | 5 |
| | 공사성격 관련 요인 | 148 | 3.70 | 1 |
| | 건설인력 관련 요인 | 87 | 2.18 | 3 |
| 자원 및 업무배당 | 공사관리 관련 요인 | 92 | 2.30 | 2 |
| | 설계관리 관련 요인 | 31 | 0.78 | 4 |
| | 투입자원 관련 요인 | 100 | 2.50 | 1 |
| | 공사성격 관련 요인 | 16 | 0.40 | 5 |
| | 건설인력 관련 요인 | 36 | 0.90 | 3 |
| 공정간 선·후관계 | 공사관리 관련 요인 | 140 | 3.50 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 30 | 0.75 | 4 |
| | 투입자원 관련 요인 | 64 | 1.60 | 2 |
| | 공사성격 관련 요인 | 18 | 0.45 | 5 |
| 지연요인 | 건설인력 관련 요인 | 18 | 0.45 | 5 |
| | 공사관리 관련 요인 | 27 | 0.68 | 3 |
| | 설계관리 관련 요인 | 30 | 0.75 | 2 |
| | 투입자원 관련 요인 | 21 | 0.53 | 4 |
| | 공사성격 관련 요인 | 112 | 2.80 | 1 |

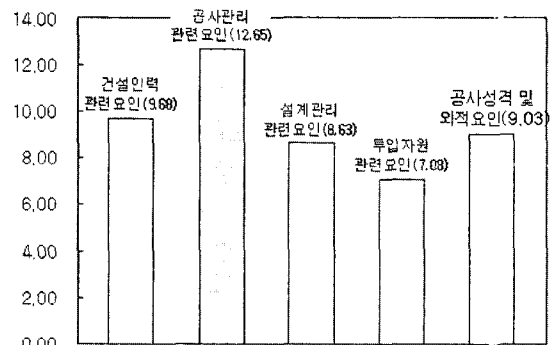


그림 2. 작업흐름 vs. 생산성 저하 요인

② 인적요소

표 15에서 보는 바와 같이 인적요소의 6가지 세부요인 별로 건설 생산성 저하 요인과의 관계를 살펴보면, 의사소통부족과 참여자의 신뢰도에 있어서 공사관리 관련 요인과 관련성이 크다. 작업참여도 및 작업자의 자질 그리고 작업조의 편성에 있어서는 건설인력 관련 요인, 작업인지도에 있어서는 설계관리 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 나타났다. 전반적인 인적요소 요인에 대해서는 건설인력 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 제시

표 15. 인적요소 vs. 생산성 저하 요인

| Waste 요인 | 건설 생산성 저하 요인 | 척도합계 | Mean | 우선순위 |
|----------|--------------|-------|------|------|
| 의사소통부족 | 건설인력 관련 요인 | 68 | 1.70 | 2 |
| | 공사관리 관련 요인 | 117 | 2.93 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 57 | 1.43 | 3 |
| | 투입자원 관련 요인 | 22 | 0.55 | 5 |
| 작업참여도 | 공사성격 관련 요인 | 30 | 0.75 | 4 |
| | 건설인력 관련 요인 | 112 | 2.80 | 1 |
| | 공사관리 관련 요인 | 53 | 1.33 | 2 |
| | 설계관리 관련 요인 | 14 | 0.35 | 5 |
| 작업인지도 | 투입자원 관련 요인 | 27 | 0.68 | 4 |
| | 공사성격 관련 요인 | 44 | 1.10 | 3 |
| | 건설인력 관련 요인 | 94 | 2.35 | 2 |
| | 공사관리 관련 요인 | 70 | 1.75 | 3 |
| 작업자의 자질 | 설계관리 관련 요인 | 97 | 2.43 | 1 |
| | 투입자원 관련 요인 | 18 | 0.45 | 4 |
| | 공사성격 관련 요인 | 9 | 0.23 | 5 |
| | 건설인력 관련 요인 | 114 | 2.85 | 1 |
| 작업조의 편성 | 공사관리 관련 요인 | 57 | 1.43 | 2 |
| | 설계관리 관련 요인 | 14 | 0.35 | 5 |
| | 투입자원 관련 요인 | 20 | 0.50 | 3 |
| | 공사성격 관련 요인 | 16 | 0.40 | 4 |
| 참여자의 신뢰도 | 건설인력 관련 요인 | 65 | 1.63 | 1 |
| | 공사관리 관련 요인 | 53 | 1.33 | 2 |
| | 설계관리 관련 요인 | 16 | 0.40 | 5 |
| | 투입자원 관련 요인 | 24 | 0.60 | 4 |
| 인적요소 | 공사성격 관련 요인 | 42 | 1.05 | 3 |
| | 건설인력 관련 요인 | 58 | 1.45 | 2 |
| | 공사관리 관련 요인 | 109 | 2.73 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 27 | 0.68 | 3 |
| 인적요소 | 투입자원 관련 요인 | 22 | 0.55 | 5 |
| | 공사성격 관련 요인 | 24 | 0.60 | 4 |
| | 건설인력 관련 요인 | 12.78 | | |
| | 공사관리 관련 요인 | 11.48 | | |
| 인적요소 | 설계관리 관련 요인 | 5.63 | | |
| | 투입자원 관련 요인 | 3.33 | | |
| | 공사성격 및 외적요인 | 4.13 | | |
| | 공사성격 관련 요인 | 16 | 0.40 | 4 |

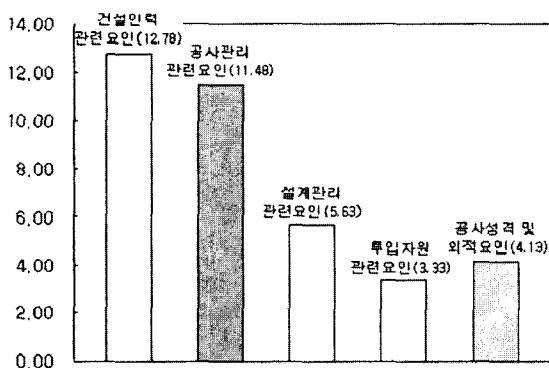


그림 3. 인적요소 vs. 생산성 저하 요인

되었지만, 공사관리 관련 요인과 측정값에서 큰 차이를 보이지 않기 때문에 린 시스템을 도입할 경우, 건설인력 및 공사관리 관련 요인에 대한 생산성 향상을 기대할 수 있다. 생산성 저하 요인과의 전반적인 상관관계는 그림 3과 같다.

③ 프로세스

프로세스 4가지 세부 요인에 대하여, 검사의 경우, 설계관리 관련 요인이 가장 관련성이 큰 것으로 나타났다. 대기 및 이동 그리고 재고의 경우에는 공사관리 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 지적되었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 전반적인 프로세스 요인에 대해서는 공사관리 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 나타났지만, 투입 자원 관련 요인도 대기 및 재고에 큰 영향을 끼치는 것으로 파악되었다. 프로세스와 생산성 저하 요인과의 상관관계 분석은 표 16과 같다.

표 16. 프로세스 vs. 생산성 저하 요인

| Waste 요인 | 건설 생산성 저하 요인 | 척도합계 | Mean | 우선순위 |
|----------------|--------------|------|------|------|
| 검사(Inspection) | 건설인력 관련 요인 | 64 | 1.60 | 2 |
| | 공사관리 관련 요인 | 52 | 1.30 | 4 |
| | 설계관리 관련 요인 | 118 | 2.95 | 1 |
| | 투입자원 관련 요인 | 21 | 1.43 | 3 |
| 대기(Waiting) | 공사성격 관련 요인 | 37 | 0.53 | 5 |
| | 건설인력 관련 요인 | 90 | 0.93 | 5 |
| | 공사관리 관련 요인 | 48 | 2.25 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 88 | 1.20 | 4 |
| 이동(Moving) | 투입자원 관련 요인 | 53 | 1.20 | 2 |
| | 공사성격 관련 요인 | 33 | 1.33 | 3 |
| | 건설인력 관련 요인 | 108 | 0.83 | 5 |
| | 공사관리 관련 요인 | 41 | 2.70 | 1 |
| 재고(Inventory) | 설계관리 관련 요인 | 52 | 1.03 | 4 |
| | 투입자원 관련 요인 | 64 | 1.30 | 3 |
| | 공사성격 관련 요인 | 29 | 1.60 | 2 |
| | 건설인력 관련 요인 | 29 | 0.73 | 4 |
| 프로세스 | 공사관리 관련 요인 | 110 | 2.75 | 1 |
| | 설계관리 관련 요인 | 26 | 0.65 | 5 |
| | 투입자원 관련 요인 | 93 | 2.33 | 2 |
| | 공사성격 관련 요인 | 48 | 1.20 | 3 |

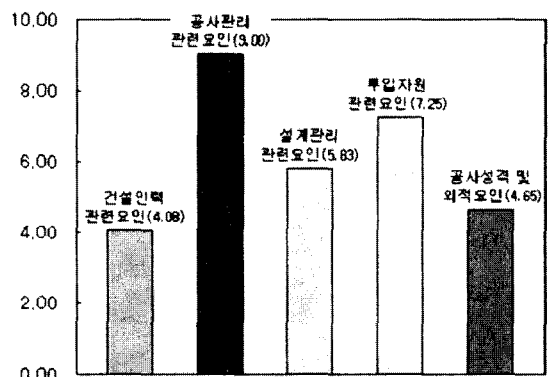


그림 4. 프로세스 vs. 생산성 저하 요인

(2) 교차분석을 이용한 상관관계 분석

린 건설의 Waste 요인과 생산성 저하 요인과의 전반적인 상관성 정도를 평가하기 위해서 통계분석 프로그램인 SPSSWIN 을 사용하여 교차분석을 실시하였다. 교차분석 프로세스는 그림 5와 같다.

① 카이검정(독립성 검증)

국내 건설 생산성 저하 요인에 대한 Waste요인의 카이검정 결과, 두 변수간의 독립성이 검증되었다. 독립성 검정의 의미는 두 요인간의 상관성이 존재한다는 것을 의미하기에 상관관계 분석을 위한 다음단계로써 연관성 검증 단계를 수행 하였다. Waste요인별 카이검정 결과는 표 17과 같다.

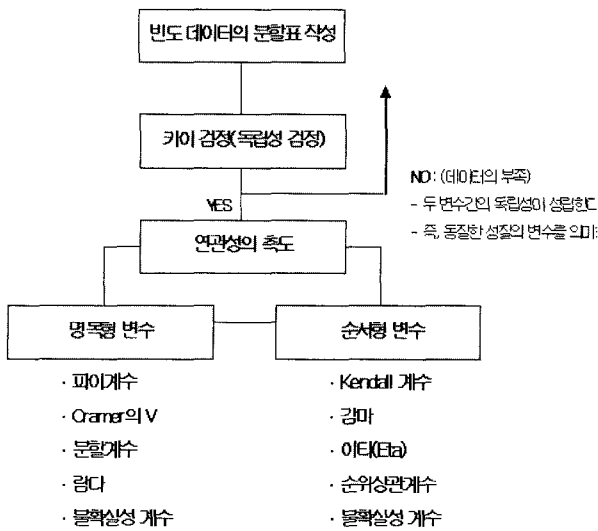


그림 5. 교차분석 프로세스

표 17. 카이검정의 결과

| 구 분 | 카이검정 계수 | 계수값 | 자유도 | 점근유의확률 (양쪽검정) |
|------|---------|---------|-----|---------------|
| 작업흐름 | Pearson | 128,326 | 20 | .001 |
| | 우도비 | 121,912 | 20 | .000 |
| | 유효케이스수 | 364 | | |
| 인적요소 | Pearson | 80,084 | 20 | .002 |
| | 우도비 | 83,839 | 20 | .003 |
| | 유효케이스수 | 322 | | |
| 프로세스 | Pearson | 69,108 | 12 | .001 |
| | 우도비 | 73,049 | 12 | .003 |
| | 유효케이스수 | 232 | | |

② 연관성 척도

설문조사 데이터는 명목척도⁸⁾로써 두 변수간의 상관관계 정도를 파악하기 위해서 파이계수, Cramer V, 그리고 분할계수 기

8) 명목척도(Normal Scale) : 측정대상의 특성을 분류하거나 확인할 목적으로 숫자를 부여하는 척도

법을 사용하여 변수간의 상관관계를 분석하였다. 연관성 척도값은 -1에서 1까지의 범위 안에서 나타나게 되며, 보통 0.5이상이면 연관성이 크다고 판단할 수 있다. 본 연구에서의 연관성 척도값은 생산성 저하 요인에 대하여 작업흐름이 0.594, 인적요인은 0.499, 프로세스는 0.546의 값으로 도출되었다.

따라서 작업흐름과 프로세스는 생산성 저하 요인과 연관성이 큰 것으로 나타났으며, 인적요소는 어느 정도 연관성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 3가지 세부 요인별 근사 유의확률이 유의수준 5%보다 작게 나타나 연관성 척도의 결과값은 유효한 것으로 나타났다. 연관성 척도의 결과는 표 18과 같다.

(3) 종합적 고찰

교차분석을 통한 전반적인 상관관계 분석에 있어 인적 요소와의 상호 관련성은 다른 두 요인보다 낮게 나타났으며, 이는 인적 요소가 생산성 저하 요인 중 건설인력관련 요인 및 공사관리관련 요인과 같은 특정 요인에 편중되었기 때문이다. 그러나 설문 데이터에 의한 상관관계 분석값과 교차분석을 통한 상관관계 분석값을 비교해 볼 때 Waste 요인과 생산성 저하 요인간의 상호 관련성은 큰 것으로 판단된다.

따라서 5점 척도 및 교차분석에 의해 나타난 값은 국내 건설 공사 현장에 린 관련 프로세스 및 기법을 도입하기 위한 이론적 근거로 타당한 것으로 판단된다.

표 18. 연관성 척도의 결과

| 명목척도 vs. 명목척도 | 척도값 | 근사유의 확률 |
|---------------|-----------|---------|
| 작업흐름 | 파이 | .594 |
| | Cramer의 V | .297 |
| | 분할계수 | .511 |
| | 유효케이스 수 | .364 |
| 인적요소 | 파이 | .499 |
| | Cramer의 V | .249 |
| | 분할계수 | .446 |
| | 유효케이스 수 | .322 |
| 프로세스 | 파이 | .546 |
| | Cramer의 V | .315 |
| | 분할계수 | .479 |
| | 유효케이스 수 | .232 |

5. 결론

린 시스템을 국내 건설 현장에 도입하기 위해서 Waste의 주요 의미 및 생산성 저하 요인과의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 작업흐름, 인적요소, 프로세스의 Waste 분류에 따른 국내 건설공사 현장에서의 Waste 주요 의미를 살펴본 결과, 작

업환경, 작업인지도, 검사 요인으로 나타나, 이러한 요인들에 대한 시공단계 이전의 사전제어 대책 및 생산성 관리 대책이 필요하다.

(2) Waste 요인에 대한 생산성 저하 요인과의 이론적인 상관관계를 분석한 결과, 전반적으로 공사관리 관련 요인과 연관성이 큰 것으로 나타났다.

(3) 생산성 저하 요인과 Waste 요인간의 상관관계를 분석한 결과, 작업흐름, 인적요소와 관련해서 공사관리 관련 요인 및 건설인력 관련 요인과 연관성이 큰 것으로 나타났고, 프로세스에 대해서는 공사관리 관련 요인 및 투입자원 관련 요인과 관련성이 큰 것으로 나타났다.

(4) 생산성 저하 요인과 Waste 요인 간의 교차분석 결과, 작업흐름과 프로세스는 생산성 저하 요인과 관련성이 큰 것으로 나타났고, 인적요소는 작업흐름과 프로세스보다 척도값은 낮으나 연관성은 높은 것으로 나타났다.

(5) 상관관계 분석 결과, 생산성 저하 요인과 Waste 요인의 상호 관련성은 밀접한 것으로 분석되었기에 관련 Waste 요인 제거를 위하여 린 시스템 관련 프로세스 및 기법의 국내 도입은 가능한 것으로 판단되며, 프로세스 및 기법을 도입할 경우 국내 건설 프로젝트에서 전반적인 생산성 향상을 기대할 수 있다.

또한 린 관련 프로세스 및 기법 도입은 국내 건설공사의 생산성 관리를 수행하는데 있어 저하 요인에 대한 시스템적 접근 방법을 제시할 뿐만 아니라 정성적 요인에 대한 생산성 관리가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 건설 생산성 향상을 위한 시스템적 접근의 기초적 논문으로서 한계점을 가지고 있다. 즉, 생산성 저하 요인의 세부 요인별로 Waste 요인과의 상관관계 분석이 이루어져야 하지만, 아직 국내 건설 공사 현장 관리자들의 린 건설에 대한 인식 부족으로 인해 생산성 저하 요인의 대분류를 통한 상관관계 분석이 이루어졌다.

따라서 향후 세부요인별 상관관계 분석과 린 건설 관련 프로세스 및 기법의 현장적용 방안에 대한 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김예상, 건설 생산성에 영향을 미치는 요인 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 10권10호, 1994. 10.
2. 손창백, 건축공사의 생산성 저하요인 분석, 대한건축학회 논문집 구조계, 18권12호, 2002. 12
3. 전용덕, 설계변경으로 인한 작업 생산성 손실 산정방법, 대한건축학회논문집 구조계, 18권8호, 2002. 8
4. 류한국, 손실생산성을 고려한 공기지연일수 산정방법, 대한건축학회논문집 구조계, 18권10호, 2002. 10
5. 김찬현, 린 생산 원리를 적용한 건설 생산 공정 개선 모델에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 21권1호, 2001. 4
6. 송승현, Work Sampling 기법을 이용한 IMF전,후 건설현장 생산성 비교 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 1999
7. 문정운, 가치흐름 분석을 통한 건설현장의 낭비제거 방안, 대한건축학회논문집 구조계, 21권1호, 2001. 4
8. Glenn Ballard, "Implementing Lean Construction : Stabilizing Work Flow.", 1997 LCI Conference, pp 101 ~ 110
9. Glenn Ballard, "Improving work flow reliability.", 1999 IGLC-7, pp 275~286
10. Glenn Ballard, "Lean Project Delivery System.", 2000 LCI Research Agenda
11. Daeyoung Kim, "Exploratory Study of Lean Construction : Assesment of Lean Implementation.", 2002, Doctor of Philosophy in The University of Texas at Austin
12. David Riley, Michael Horman, "The effects of design coordination on project uncertainty.", 1997 IGLC-5
13. Paulo Andery, Claudia Vanni, "Failure analysis applied to design optimization.", 1998 IGLC-6