

원자력발전소 건설현장의 철근콘크리트 공종 생산성 및 영향요인 분석

Reinforced-Concrete Works Productivity and Influence Factor Analysis on Nuclear-Power-Plant Project

허 영 기 임 진 호 김 경 옥 안 영 철 오 재 훈*

Huh, Young-Ki Lim, Jin-Ho Kim, Kyoung-Uk Ahn, Young-Chul Oh, Jae-Hun*
Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan, 609-735, Korea

Abstract

Nuclear power plant projects are being increased all over the world. The construction of nuclear power plants needs huge money and time, which makes conducting a detailed analysis of productivity through the whole process. Reinforced-concrete works productivity field data was collected for more than one year and analyzed from a nuclear-power-plant project in Korea. The productivities of formwork, rebar-work, and concrete pouring were 0.54 m²/man·day, 0.06 ton/man·day, 1.98 m³/man·day, respectively. Moreover, it is revealed that 'Day of the Week' is a driver of the formwork activity and 'Overtime' is for all of the three. The results will be a great interest of industry personnel estimating time and cost of a new nuclear power plant.

Keywords : productivity analysis, productivity factor, nuclear power plant, reinforced concrete work

1. 서 론

1.1 연구의 목적

원자력의 위험성에도 불구하고 천연자원고갈과 건설경기의 침체 등의 문제로 인해 국내·외 원자력발전소 건설이 지속적으로 추진되고 있다. 원자력 발전소를 포함한 세계 플랜트시장 규모는 약 1조 6,000억 달러로 이중 석유·가스 및 발전 등 에너지분야 플랜트시장이 전체의 65%를 차지하며, 국제입찰시장은 7,300억 달러에 이르는 것으로 보고되고 있다.

2011년 한국의 원자력 산업은 아랍에미리트(UAE) 원자

력 발전사업 프로젝트를 400억달러(약47조원)규모로 수주하였으며, 향후 해외 원자력 건설시장에서의 국가 경쟁력강화에 큰 교두부가 될 것으로 예상된다. 국내기술력은 선진국에 비해 약 81%정도로 낮은 수준임에도 불구하고 원자력 발전소 건설뿐만 아니라 다양한 플랜트분야에서 수주를 활발하게 진행하고 있다. 하지만 최근 수요기반의 축소와 경쟁의 격화, 건설산업의 각 부문별 진입장벽 해소에 따른 신규기업의 진입증가, 투명성 및 사회인식 변화에 따른 발주자들의 교섭력증대 등은 기존 건설산업의 구조와 핵심 경쟁력요소를 변화시키고 있다.

이러한 이유로 국가에서는 국내 플랜트건설 경쟁력강화를 위해 기술력강화, 인력양성, 사업관리능력 향상 등에 많은 연구개발을 지원하고 있다. 그러나, 플랜트 현장은 경험과 정보력 부족으로 인해 실제 현장에 적용하는데 어려운 점이 많다. 특히 원자력 발전소와 같은 특수플랜트 건설은 천문학적인 금액이 투입됨으로 보다 철저한 공정 및 원가 관리가 필수라고 할 수 있다.

Received : February 25, 2014

Revision received : April 23, 2014

Accepted : May 8, 2014

* Corresponding author : Oh, Jae Hun

[Tel: 82-51-510-7353, E-mail: hoony14@nate.com]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

특히, 플랜트건설에서 건축이 차지하는 비중은 기계, 전기설비에 비해 상대적으로 낮아 건축부분에 관한 원가관리 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내 원자력발전소 건설현장의 철근콘크리트 공종을 대상으로 생산성을 측정하고, 현장에 영향을 줄 수 있는 요인들을 대상으로 생산성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석을 실시하여 향후 특수플랜트 사업의 원가 및 공정관리의 기초자료로 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 국내에서 건설 중인 S원자력 발전소 건설현장의 보조건물을 대상으로 하여 약 9개월(2011년8월~2012년6월)간의 현장방문 및 자료수집 등을 통하여 생산성을 측정 하였다. 또한, 전문가와의 면담을 통하여 특수플랜트 건설현장에서 생산성에 영향을 줄 수 있는 요인들을 선정하고 회귀분석과 ANOVA를 이용하여 영향요인에 대한 통계적 분석을 실시하였으며, 그 연구의 방법은 아래 Figure 1과 같다.

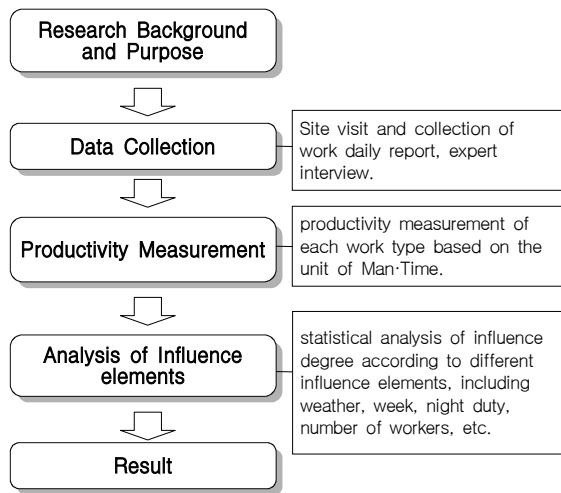


Figure 1. Research procedure

2. 플랜트관련 주요 연구 현황

국내의 플랜트 건설 관련연구를 살펴보면, 주로 시스템설계를 중심으로 한 기술적 문제해결 및 국내·외 시장규모와 진출방안에 대한 내용이 주를 이루고 있으며 생산성과 관련된 연구는 매우 미미한 실정이다(Table 1).

Cho[1]은 2002년 영광 5호기의 경험을 토대로 원자력

발전소의 시공관리 방법을 통해 생산성 향상을 위한 방법을 연구하고, 그 적용 결과 현저한 공기단축 및 비용절감 효과가 있었던 것으로 발표하였다.

Lee[2]는 원전 건설사업 관리의 효율성을 높이기 위한 이전의 이론적 관리기법이 실용적 한계를 벗어나지 못하는 점을 지적하고, 극복방안으로 생산성 향상과 국제 경쟁력 확보를 위한 정보시스템 구축의 필요성을 제기하였다.

Table 1. Plant relevant research trends

Classification	Researcher (year)	Research Content
Plan	Kang [3]	Survey of various danger elements of the phase EPC which belongs to the phases of plant construction industry and analysis of occurrence rate and influence degree of danger elements through survey.
	Moon [4]	Module and appropriate construction time was calculated and algorithm was proposed which were both based on standard construction mode of overseas gas plant construction.
	Kim [5]	Analysis of domestic and foreign cases of plant construction and DB plan of domestic and foreign plant project was proposed through interview.
Design	Koo [6]	Issue of standard code and necessity of improvement plan were both proposed which were for plant design.
	Construction	Lee [7]
Cho [1]		Productivity improvement method was proposed on the foundation of experience of NO.5 Glory Machine.
Kim [8]		Modularization of necessary construction knowledge of plant construction and application of from systematic method to practical system
Entire	Lee [2]	Productivity improvement through overcoming the theoretical management skill and proposal of necessity of information system for ensuring international competition ability.
	Han [9]	Evaluation of the importance degree of industry management's element which are classified by EPC phase of LNG plant field.
	Won [10]	Analysis of life cycle of plant project, including schematization, design, preparation and business process. In addition, construction plan of knowledge management system was also proposed.
Education Program	Yun [11]	As the center of domestic architectural engineering, the current situation of plant education was surveyed and direction of plant education was proposed.
	Park [12]	Education course development which is for fostering experts was carried out in order to get enlargement of domestic and foreign plant market.

특수 플랜트건설현장은 일반적인 플랜트현장과 달리 보다 체계적인 원가관리가 요구되지만 이에 필요한 생산성 관련 연구가 없어, 공종별로 생산성을 측정하고 영향요인을 분석하는 구체적인 연구가 시급하다.

3. 대상 분석 및 생산성의 정의

3.1 S현장의 개요

현재 건설중인 S원자력 발전소 건설현장은 2007년 9월에 착공을 하였으며, 2014년 9월에 준공 예정에 있으며, 개요는 Table 2와 같다.

Table 2. Outline & Layout of site S

Classification	Contents
Date of Primary Plan Established	2001.2.24
Type	Pressurized Light Water Reactor(1400MW×2)
Total Construction Cost	USD 5,760,000,000
Floor Area	1,737,788 m ²

3.2 생산성 측정 및 영향요인 선정

3.2.1 생산성의 정의

S현장 시공생산성을 분석하고자 ‘작업 인·시간 생산성’을 측정단위로 정의하고, 생산량(Output)은 작업물량(m², Ton, m³)을 기준으로 하였으며 투입량(Input)은 하루 동안 현장에 투입된 인원을 기준으로 하였다. 하루는 오전, 오후 동안 작업시간을 기준으로 9시간 정의하며, 야간작업일 경우 2시간을 추가로 포함하고 각 공종별 작업반장은 투입인원 수에서 제외 하였다.

$$\text{작업 인·시간 생산성} = \frac{\text{총 생산량}}{\text{총 투입공수} \cdot \text{1일(인·일)}} \quad \text{--- (1)}$$

3.2.2 영향요인 선정

전문가들과의 면담을 통하여 현장에서 생산성에 영향을 줄 수 있는 요인들을 선정 하였으며, 수집할 수 있는 자료 내에서 분석할 수 있는 영향요인으로는 날씨, 요일, 야간 작업 유무, 작업인원, 작업조, 작업물량으로 파악되었다 (Table 3).

Table 3. Key elements of productivity influence selection

Candidate Drivers	Definition
Data from Meteorological Administration	Cloud amount is above 6 and below 6
Weather	Weather data from the site work report Clean day, cloudy day and rainy day
Day of the Week	Divided by week, from Monday to Sunday
Overtime	Divided by whether there is a night duty or not according to the work report
No. of Worker	Number of total workers per unit day
No. of Crew	Number of total crews per unit day
Work Amount	Total work amount (m ² , Ton, m ³) per unit day

4. 생산성 측정 및 품셈과의 비교분석

4.1 생산성 측정결과

현장 실사를 통해 수집된 자료를 근거로 S현장의 ‘작업 인·시간 생산성’을 산출하였다. 형틀, 철근, 콘크리트 타설 등 세 개 공종을 대상으로 하였으며, 이상치를 제거하고 분석에 사용된 생산성 자료는 각각 169, 179, 53개 이다. 그 결과 형틀공, 철근공, 콘크리트공의 인·시간 생산성의 평균은 각각 0.54(m²/man·time), 0.06(t/man·time), 1.98(m³/man·time)로 나타났다(Figure 2, Table 4).

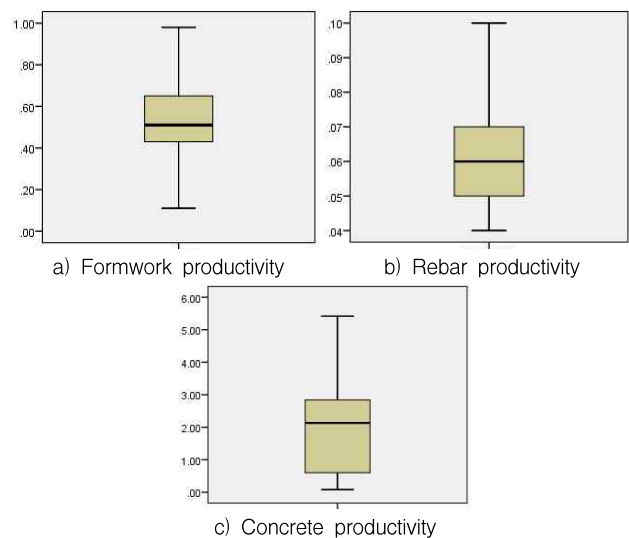


Figure 2. Box diagram of labour · time productivity

Table 4. Work labour · time productivity of site S

Classification	N	Average	Standard Deviations	Standard Error	Min	Max
Formwork Worker (m ² /man·time)	169	0.5418	0.16745	0.1288	0.11	0.98
Rebar-Worker (t/man·time)	179	0.0621	0.01318	0.00099	0.04	0.10
Concrete Pouring (m ³ /man·time)	53	1.9817	1.34600	0.18489	0.08	5.42

4.2 생산성 품셈과의 비교

산출된 ‘작업 인 · 시간 생산성’ 과 작업조 생산성의 수준을 분석하기 위하여 표준품셈에서 제시하고 있는 생산성과 비교를 실시하였다. 표준품셈에서 도출한 생산성 수치는 전문가의견 및 실사내용을 참고하여 Table 5와 같은 기준을 근거로 하였다.

Table 5. Calculation basis of quota productivity for productivity comparison

Work type	Estimating Standards(2013)
Form-work	Under the standard of formwork and euro form are applied by a scale of 1 to 9, extra 10% is attached
Rebar	Under the standard of the number of rebar workers of complicated process and assembly
Concrete	Under the standard of concrete pump truck’s pipe cast and tunnel cast are applied by a scale of 7 to 3

품셈과 비교를 위하여 분석한 단위(Work Amount/Man · Time)를 품셈기준(Man · Day/Work Amount)으로 산출한 결과 형틀공은 2.31, 철근공 1.93, 콘크리트공 0.63으로 나타났으며, 이는 품셈 기준대비 각각 130%, 56%, 108% 수준으로 분석되었다(Table 6).

형틀 및 콘크리트 공종의 생산성은 품질관리가 철저하게 이루어지는 현장의 특성 때문에 품셈 기준보다 높은 결과가 나온 것으로 판단된다. 철근 공종의 경우는 품셈대비 약 50% 정도의 인력만이 투입되는 것으로 분석되었다. 이는, 플랜트 공종의 경우 투입되는 철근의 단위당 무게가 일반 건축물에 비해 매우 큼에 인한 것으로 판단된다.

Table 6. Productivity & quota comparison of site S

	Average productivity of Site S based on estimating standard	Estimating Standard	Comparing with estimating standard
Formwork worker	2.31(man·day/10 m ²)	1.77(man·day/10 m ²)	130%
Rebar worker	1.93(man·day/t)	3.43(man·day/t)	56%
Concrete worker	0.63(Mman·day/10 m ³)	0.586(man·day/10 m ³)	108%

5. 영향요인 분석

생산성에 영향을 미치는 요인들의 분석은 형틀, 철근, 콘크리트 공종별로 앞서 선정된 7가지 요인들에 대하여 상관분석을 실시한 후 의미있는 요인들에 대하여 회귀분석과 ANOVA분석을 실시하였다. 본 논문에서는 모든 영향요인 중 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 판단되는 요인들만에 대하여 기술 하였다.

5.1 형틀공종의 영향요인 분석

5.1.1 요일

요일별에 따른 형틀공종의 ‘작업 인 · 시간 생산성’ 에 대한 ANOVA분석 결과 유의확률이 0.007로 유의수준(0.05) 보다 낮아 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Figure 3, Table 7).

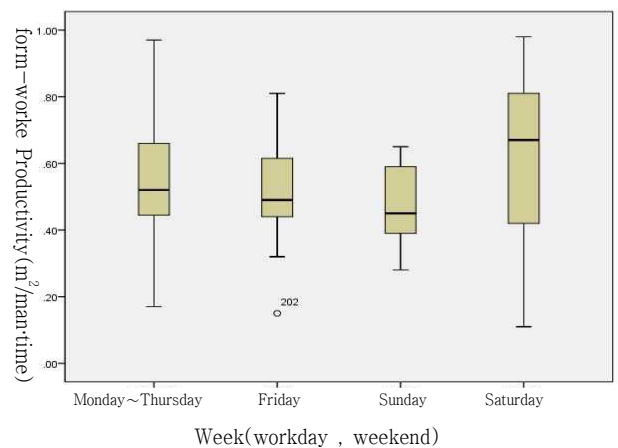


Figure 3. Box diagram of work labour-time productivity according to week

Table 7. Work productivity ANOVA according to week

	multiply	Freedom degree	Average multiply	F	Benefit rate
Between group	0.333	3	0.111	4.189	0.007
Within group	4.377	165	0.027		
Total	4.711	168			

5.1.2 야간작업 유무

야간작업 유무에 따른 ‘작업 인 · 시간 생산성’의 ANOVA 분석 결과 유의확률이 0.000으로 유의수준(0.05)보다 낮아 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Figure 4, Table 8).

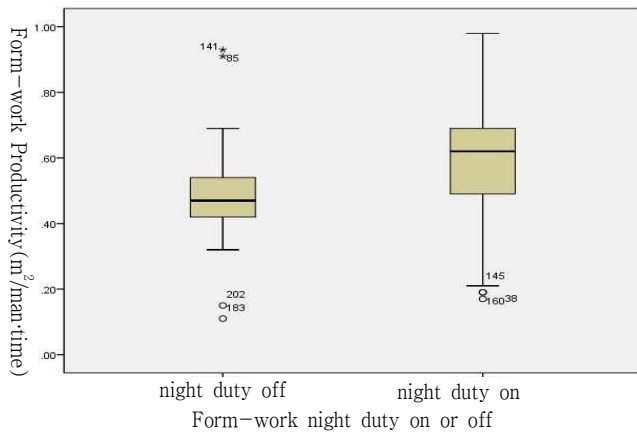


Figure 4. Work productivity ANOVA according to existence or in-existence of night duty

Table 8. Work productivity ANOVA according to night duty

	multiply	Freedom degree	Average multiply	F	Benefit rate
Between group	0.637	1	0.637	26.114	0.000
Within group	4.074	167	0.024		
Total	4.711	168			

5.2 철근공종의 영향요인 분석

5.2.1 야간작업 유무

야간작업 유무에 따른 철근공종의 ‘작업 인 · 시간 생산성’에 대한 ANOVA분석 결과 유의확률이 0.001로 유의수준(0.05)보다 낮아 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Figure 5, Table 9).

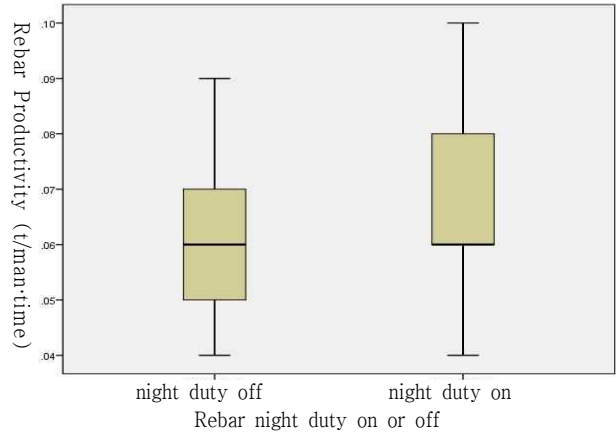


Figure 5. Box diagram of work labour-time productivity according to existence or in-existence of night duty

Table 9. Work productivity ANOVA according to night duty

	multiply	Freedom degree	Average multiply	F	Benefit rate
Between group	0.002	1	0.002	12.213	0.001
Within group	0.029	177	0.000		
Total	0.031	178			

5.3 콘크리트공종의 영향요인 분석

5.3.1 야간작업 유무

야간작업 유무에 따른 콘크리트공종의 ‘작업 인 · 시간 생산성’에 대한 ANOVA분석 결과 유의확률이 0.026으로 유의수준(0.05)보다 낮아 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Figure 6, Table 10).

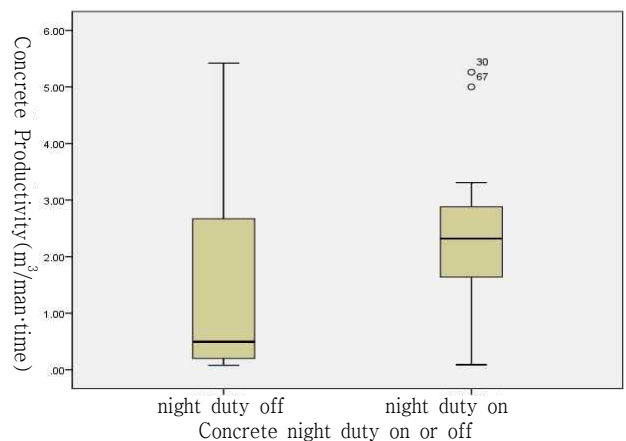


Figure 6. Box diagram of work labour-time productivity according to existence or in-existence of night duty

Table 10. Work productivity ANOVA according to night duty

	multiply	Freedom degree	Average multiply	F	Benefit rate
Between group	8.823	1	8.823	5.270	0.026
Within group	85.386	51	1.674		
Total	94.209	52			

5.3.2 콘크리트 물량

콘크리트 물량에 대한 회귀분석 결과 결정계수(R2)는 0.466이며 유의확률이 0.000으로서 ‘작업 인 · 시간 생산성’에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Figure 7, Table 11).

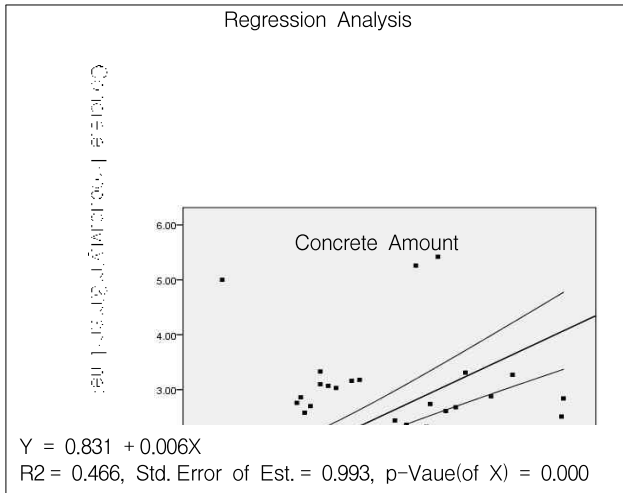


Figure 7. Work labour · time productivity regression analysis according to concrete amount

Table 11. Work labour·time productivity ANOVA according to concrete amount

	Multiply	Freedom degree	Average multiply	F	Benefit rate
Regression model	43.887	1	43.887	44.479	0.000
Residual return	50.322	51	0.987		
Total	94.209	52			

5.4 영향요인 분석 결과

각 공종별로 상관성 분석을 통해 의미 있는 영향요인들에 대하여 통계 분석을 실시한 결과 형틀공종에서는 요일과 야간작업 유무, 철근공종에서는 야간작업 유무, 콘크리트공

종에서는 야간작업 유무와 콘크리트 물량이 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 12).

Table 12. Analysis result of key influence elements classified by engineering

Activity	Factors	Affect Degree	Statistical Method Employed
Form-work	Weather	Cloud Amount Standard	X ANOVA
		Spot Weather	X ANOVA
	Day of the Week	◎ ANOVA	
	Overtime	◎ ANOVA	
	No. of Worker	- Regression Analysis	
	No. of Crew	X Regression Analysis	
Rebar-work	Weather	Cloud Amount Standard	X ANOVA
		Spot Weather	X ANOVA
	Day of the Week	X ANOVA	
	Overtime	◎ ANOVA	
	No. of Worker	X Regression Analysis	
	No. of Crew	X Regression Analysis	
Concrete pouring	Weather	Cloud Amount Standard	X ANOVA
		Spot Weather	X ANOVA
	Day of the Week	X ANOVA	
	Overtime	◎ ANOVA	
	No. of Worker	- Regression Analysis	
	No. of Crew	- Regression Analysis	
Work Amount			○ Regression Analysis

◎ : Statistically is significant
○ : Affect to a certain extent
X : Not affect

6. 결 론

특수플랜트 현장의 생산성 측정과 영향요인 분석을 위하여 최근 건설 중에 있는 S현장의 실측자료를 토대로 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 평균생산성은 형틀공종 0.54(m²/man · time), 철근공종 0.06 (t/man · time), 콘크리트공종 1.98(m³/man · time)로 나타났다.

- 2) 품셈과의 비교를 위해 품셈기준 단위로 환산 후 비교 분석을 한 결과, 형틀공중 130%, 철근공중 56%, 콘크리트공중 108%로 나타났으며; 형틀과 콘크리트의 경우 철저한 품질관리 때문에 보다 많은 인원이 필요하며, 철근공중의 경우 플랜트현장의 특성상 무거운 철근무게로 인해 적은 작업인원이 투입되는 결과가 나온 것으로 판단된다.
- 3) 전문가 면담을 통하여 생산성에 영향을 줄 것으로 예상되는 요인들을 선정한 후 통계분석을 실시한 결과, 형틀공중에서는 요일과 야간작업 유무, 철근공중에서는 야간작업 유무, 콘크리트공중에서는 야간작업 유무와 콘크리트 물량이 통계적으로 유의하여 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 특수 플랜트 건설현장 자료를 수집하여 생산성을 측정하고 생산성에 영향을 미치는 직접적인 요인들을 도출하였다. 향후 직접적인 영향요인들 외에 작업의 난이도, 설계변경, 작업조건 등과 같은 보다 구체적인 요인들이 생산성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석이 필요하다.

요 약

특수 플랜트 건설은 타 건설사업보다 체계적인 원가 및 공정관리가 요구되지만 이를 위해 반드시 필요한 현장 생산성을 구체적으로 분석한 연구는 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 국내에서 건설중인 특수 플랜트 현장의 철근콘크리트공중을 형틀, 철근, 콘크리트로 나누어 생산성을 측정하고 생산성에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

생산성 측정결과 형틀공중 $0.54(\text{m}^3/\text{man} \cdot \text{time})$, 철근공중 $0.06(\text{t}/\text{man} \cdot \text{time})$, 콘크리트공중 $1.98(\text{m}^3/\text{man} \cdot \text{time})$ 로 나타났다. 영향요인으로는 형틀공중은 요일과 야간작업 유무, 철근공중은 야간작업 유무, 콘크리트공중은 야간작업 유무와 콘크리트 물량이 통계적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

키워드 : 생산성, 영향요인, 원자력발전소, 철근콘크리트 공중

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2011-0028987).

References

1. Cho YS, Improving Productivity by Effective Construction Management of Atomic Power Station, Journal of the Korea Institute of Construction Management, 2002 Jun;10(2):9-13.
2. Lee UB, Moon BS, Establishment of Information System for Improving Construction Productivity of Nuclear Power Stations, Journal of the Korea Atomic Industrial Forum, 2000 Dec;214(12):32-8.
3. Kang HU, Min BJ, Kim YS, A Study on the Influence Analysis of Management list for Overseas Plant Construction Projects Risk Factors, Journal of the Korea Institute of Construction Management, 2010 Nov;261(7): 333-4.
4. Moon SU, Park SC, Kwon KN, Approximate Estimating of Plant Construction Duration Using a Standard Schedule Model, Journal of the Korea Institute of Construction Management, 2009 Mar;48(2):26-33.
5. Kim SS, You YH, Cho CY, Son JH, A Study on Measures for Structuring Overseas Plant Database Through the Analysis of Awarded Overseas Plant Orders, Proceeding of the Korea Institute of Construction Management; 2007 Nov 8-9; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Management; 2007, p. 234-8.
6. Koo BH, Kim TH, Application System Improvement of the Codes and Standards for Plant Design, Journal of the Korea Institute of Construction Management, 2007 Aug;38(4):81-9.
7. Lee SH, Kim SK, Lee JB, Han CH, Proposal for Developed Procurement and Material management System On Using Previous System Analysis in Plant Engineering, Proceeding of the Korea Institute of Construction Management; 2006 Nov 11; Suwon, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Management; 2006, p. 204-9.
8. Kim UJ, A Knowledge-based Approach to Plant Construction Process Planning, Journal of the Korea Intelligent Information System Society, 2001 Jun;7(1): 81-95.
9. Han JG, Chin KH, Park HP, Elicitation Project Management Factors and Evaluation of its Weight to Ensure LNG Plant Success, Proceeding of the Korea Institute of Building

-
- Construction; 2010 May 14; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2010. p. 85-9.
10. Won SY, Lee JB, Han CH, Analysis of the Pre-construction Process for Overseas LNG Plant Projects, *Journal of the Korea Institute of Construction Management*, 2009 Dec;38(6):151-9.
 11. Yun SH, Lee SJ, Ock JH, The Analysis of Domestic Plant Engineering Curriculums Based on Architecture Engineering, *Proceeding of the Korea Institute of Construction Management*; 2011 Nov 11; Seoul, Korea, Seoul (Korea); Korea Institute of Construction Management; 2011. p. 31-4.
 12. Park ES, Jang KS, Koh SW, Lee TS. A Study on Development of Plant Educational Contents For Training the Plant Experts in the Abroad Construction Market, *Proceeding of the Korea Institute of Construction Management*; 2007 Nov 8-9; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Management; 2007. p. 695-8.
 13. Song CB, Hong SH, Lee DU. The Operating Rate of Build Labor of Construction Business Fluctuation and Analysis on Productivity, *Journal of the Korea Institute of Architecture*, 2010 May;259(5):141-9.
 14. Son JU, Yoon JS, Baek JH, A Study on Construction Productivity Measurement Method, *Journal of the Korea Institute of Architecture*, 2003 Oct;180(10):101-8.