

FMEA를 활용한 철골공사 작업지연요인의 중요도에 관한 연구

A Study on the Priority Analysis of Work Delay Factors in Steel-frame Work using FMEA

이 현 철*

Lee, Hyun-Chul

이 재 홍**

Lee, Jae-Hong

고 성 석***

Go, Seong-Seok

요 약

철골구조의 확산과 보편화에 따른 건설산업의 대형화, 복잡화 추세에 따라 건설 프로젝트의 수행 과정 중 수반되는 작업 지연과 같은 불확실성 리스크 요소는 프로젝트의 공기증가, 비용상승, 품질저하로 이어지며 프로젝트의 성패에 영향을 미치는 중요한 관리요소로 간주되고 있다. 이에 전체 프로젝트의 완성도에 영향을 미치는 불확실성 요소에 관한 체계적인 관리방안이 요구되고 있으며, 건설 프로젝트 수행시 발생가능한 작업지연요인을 분석하고 이를 관리하는 것은 건설사업의 확실성을 높일 뿐만 아니라 경쟁력을 높이는 방법이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 작업지연요인의 효율적인 관리를 위해서는 각 항목간 정량적 분석방법에 의한 우선순위를 산정하여 해당 공정별로 중점 관리하는 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 철골공사를 대상으로 공정별 작업지연요인을 파악하고, FMEA를 활용한 작업지연요인별 중요도의 정량적 수치화를 통하여 작업지연요인을 효과적으로 제거하고 관리할 수 있도록 공정별 코드화한 중점관리항목을 제시함으로써 효과적 관리 및 작업지연 예방을 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

키워드 : 철골공사, 작업지연요인, FMEA(Failure Mode Effect Analysis), RPN(Risk Priority Number), 중점관리항목

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건설공사 작업지연(Work delay)은 예기치 못한 환경 및 변화 등으로 인하여 전체 프로젝트의 일부분이 확장되거나 실행되지 않는 것을 의미하며, 건설공사의 특수성과 불확실성에 따른 변수들의 영향도가 크다. 이러한 프로젝트의 수행과정 중 수반되는 작업지연과 같은 불확실성 리스크 요소는 프로젝트의 공기증가, 비용상승, 품질저하로 이어지며 프로젝트의 성패에 영향을 미치는 중요한 관리요소로 간주되고 있다. 이에 전체 프로젝트의 완성도에 영향을 미치는 불확실성 요소에 관한 체계적인 관리방안이 요구되고 있으며, 건설 프로젝트 수행 시 발생가능한

작업지연요인을 분석하고 이를 관리하는 것은 건설사업의 확실성을 높일 뿐만 아니라 경쟁력을 높이는 방법이라 할 수 있다. 그러나 현재까지의 작업지연과 관련한 연구는 작업지연 발생원인의 범주 및 관리 분류체계에만 국한되어 있어 작업지연요인의 공정별 코드화한 중점관리항목에 대한 연구는 없는 실정이다.

최근 건축물들의 형태가 고층화, 복잡화, 전문화를 추구하게 되면서 초고층빌딩뿐만 아니라 학교, 아파트, 주택 등에 이르기까지 철골구조의 사용이 보편화·일반화되어 있다. 이러한 철골공사의 경우 전체 공사비 중 차지하는 비중이 높고 설계의 잘못이나 자재/장비 미반입 등과 같은 작업지연이 발생할 경우 후속 공정 및 전체 프로젝트의 공기에 미치는 영향이 크기 때문에 이에 대한 철저한 관리방안이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 철골공사 공종을 대상으로 프로젝트의 효율성과 경쟁력 향상을 위하여 공정별 발생 가능한 작업지연 요인들을 도출하고, 도출된 지연요인의 정량적 수치에 의한 중요도를 분석·산정하여 발생시 영향도가 큰 작업지연요소에 대하여 중점적으로 요인을 제거하고 관리할 수 있는 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

* 일반회원, 전남대학교 박사과정, 건축과학기술연구소 연구원
liger78@naver.com

** 일반회원, 순천대학교 건축학부 조교수, 건축사
ljha@sunchon.ac.kr

*** 종신회원, 전남대학교 건축학부 교수, 공학박사(교신저자)
ssgo@jnu.ac.kr

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 철골공사 공종을 대상으로 공정관리 항목 중 중점적으로 관리해야 할 작업지연요소를 도출하기 위하여 철골공사의 착공전 단계, 공장가공 단계, 현장시공 단계의 내화피복까지로 연구 범주를 한정하였다.

연구방법으로는 철골공사 공정별 작업지연요소를 분류, 선정, 코드화하여 국내 철골공사 관련 근로자를 대상으로 설문조사한 후, 시스템이나 장치 등의 고장요인 적출기법으로 적용되는 고장모드영향분석(FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) 기법을 활용하여 발생빈도 및 치명도, 영향도를 동시에 고려한 작업지연요소간 중요도(우선순위)를 산정함으로써 중요 작업지연요소를 평가·도출하여 철골공사 진행시 작업지연 예방을 위한 중점 관리 항목을 제시하는 순으로 진행하였다.

본 연구의 전체적인 흐름 및 방법은 그림 1과 같다.

- 1) 국내외 철골공사 작업지연 관련 연구고찰을 통해 지금까지 도출되었던 작업지연 원인을 파악하고 전문가의 검수를 통해 작업지연요인을 최종 선정한다.
- 2) 선정된 철골공사 작업지연요인들을 바탕으로 건축직 실무자 설문 및 인터뷰를 실시하고 결과를 분석한다.
- 3) 각 공정별 작업지연 주요 요인들의 빈도, 치명도, 영향도 조사·분석을 통해 그 우선순위(RPN: Risk Priority Number, 이하 RPN)를 도출한다.
- 4) 도출된 RPN값에 따른 공정별 중점관리항목 리스트를 제시한다.

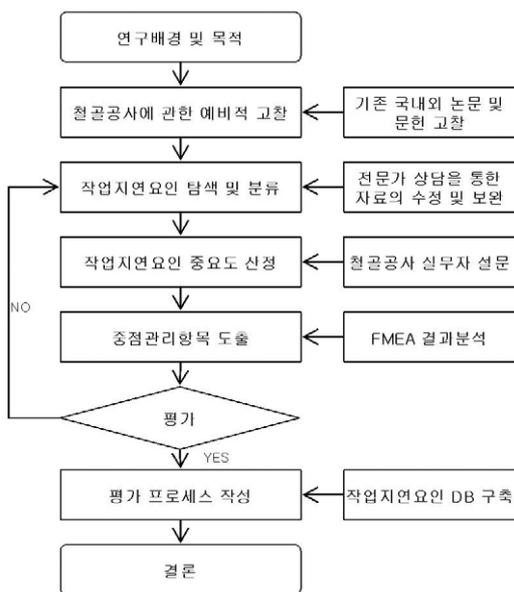


그림 1. 연구의 흐름도

2. 예비적 고찰

2.1 철골공사 공정분류

철골공사 공정은 크게 나누어 착공전 단계, 공장가공 단계, 현장시공 단계로 분류할 수 있으며, 이에 따른 각 협력업체, 시공사, 발주처/감리의 공정내용 및 순서는 다음 그림 2와 같다(윤유상, 2005).¹⁾

착공전 단계는 설계도를 바탕으로 시공계획 및 시공 상세도를 작성하는 단계를 말하며, 공장가공 단계는 설계 단계에서 작성

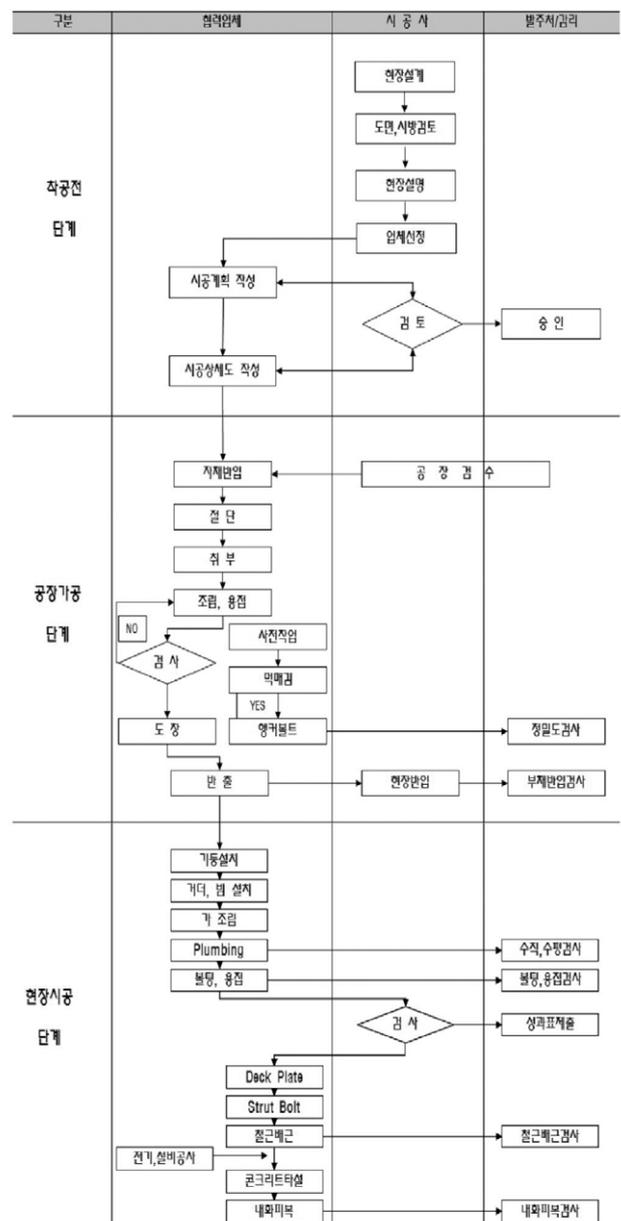


그림 2. 철골공사 공정분류 및 내용

1) 윤유상, '건설공사의 공정리스크 관리시스템 개발', 경원대 대학원 박사

된 설계도와 시방서를 토대로 철골시공도(Shop Drawing)를 작성하며, 작성된 Shop Drawing을 바탕으로 입고된 재료를 금매김, 절단, 구멍뚫기, 가용접, 본용접의 순서를 거쳐 각각의 부재로 만드는 일련의 과정이다. 현장시공 단계는 공장가공 단계에서 완성된 각각의 부재를 수송단계를 거쳐 조립도에 준해 고력볼트접합 또는 용접접합으로 조립하는 단계로 앵커볼트의 매립에서 세우기, 고쳐 세우기를 거쳐 본조임 검사 이후 후속공정으로 인도하기까지의 전 과정을 의미한다.

2.2 작업지연요소

건설공사 작업지연요소는 해당 분야 및 공정별 세부 단위작업의 유기적 연결이 차단되는 상황으로 해석할 수 있으며, 프로젝트를 구성하는 각각의 공정 및 관리, 투입요소가 전체 작업지연의 범주에 해당된다고 볼 수 있다.

표 1. 작업지연의 범주별 원인

범주	지연 원인
엔지니어링 (Engineering)	<ul style="list-style-type: none"> • 부정확한 도면(Inaccurate drawings) • 불완전한 도면(Incomplete drawings) • 지연된 엔지니어링 (Late engineering)
장비 (Equipment)	<ul style="list-style-type: none"> • 장비고장(Equipment breakdowns) • 장비조달지연(Equipment delivery) • 부적절한 장비(Improper equipment) • 장비부족(Shortage of equipment)
외부적 요인 (External Delays)	<ul style="list-style-type: none"> • 환경문제(Environmental issues) • 계획된 개시일 보다 늦은 개시(Later than planned start) • 관련법규 변경(Regular changes) • 허가 승인 지연(Permit approval)
노무 (Labor)	<ul style="list-style-type: none"> • 노무인력부족(Craft shortages) • 노동생산성(Labor productivity) • 노무자 파업(Labor strike) • 재작업(Rework)
관리 (Management)	<ul style="list-style-type: none"> • 공법(Construction methods) • 계획보다 많은 작업(More than planned) • 품질보증, 품질관리(Quality assurance, Quality control) • 지나치게 낙관적인 일정(Schedule too optimistic) • 주공정선의 작업 미수행(Not working on critical tasks)
자재 (Material)	<ul style="list-style-type: none"> • 손상된 자재 (Damaged goods) • 부적절한 작업도구 (Improper tools) • 자재 조달 지연 (Material delivery) • 자재 품질 (Material quality)
발주자 (Owner)	<ul style="list-style-type: none"> • 계획변경(change orders) • 설계수정(Design modification) • 부정확한 견적(Inaccurate estimates) • 발주자의 간섭(Owner interference)
하도급 업체 (Subcontractor)	<ul style="list-style-type: none"> • 파산(Bankruptcy) • 하도급업체의 지연(Subcontractor delay) • 하도급업체의 간섭 (Subcontractor interference)
기상 (Weather)	<ul style="list-style-type: none"> • 결빙(Freezing) • 고온, 고습(Heat and humidity) • 강우(Rain) • 강설(Snow)

Yates(1993)는 작업지연의 발생원인 범주를 엔지니어링, 장비, 외부적요인, 노무, 관리, 자재, 발주자, 하도급자, 기상과 같이 9가지로 분류하여, 각 범주별 지연원인 35개 항목을 설정하여 제시하였다(표 1 참조).²⁾

안상현(2007)은 작업지연을 관리하기 위한 분류체계로서 물질, 도구, 제어의 3가지 대분류별 투입요소로 나누고 이에 따른 9가지 중분류 항목과 24가지의 소분류별 지연요소로 나누어 제시하였다(표 2 참조).³⁾

표 2. 작업지연의 분류체계

대분류	중분류	소분류
물질요소	자재	자재불량
		자재부족
		자재조달 지연
	선행작업	선행작업 불량
		선행작업 미완료
		작업공간 불량
작업공간	작업공간 부족	
	작업자 능력	
도구요소	노동	작업자 수 부족
		작업자의 지각
		장비 불량/고장
	장비	장비 수/사용시간 부족
		장비제공 시점 지연
		공구 불량/고장
	공구	공구 수/사용시간 부족
		공구제공 시점 지연
		설계도서
	제어요소	설계도서 결함
설계도서 누락		
작업지시	설계도서 제공시점 지연	
	잘못된 작업지시	
	작업지시 누락	
	허가/승인	작업지시 제공시점 지연
공공서 허가/승인 지연		
감독관 허가/승인 지연		

2.3 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA는 시스템이나 장치 등의 고장요인 적출기법으로서, 시스템을 구성하는 기기 혹은 부품 등에 어떤 고장이 발생하였을 때, 그 고장이 시스템에 미치는 영향 또는 심각성을 분석하여 기기로부터 적출하는 방법이다. 즉, 제품이나 서비스에 있어서 예상 가능한 장비의 모든 고장의 형태가 고객에게 어떤 영향을 미칠 수 있으며, 또한 그러한 고장의 원인이 어디에 내재해 있는지를 조사·평가하고, 해석하여 영향이 큰 고장 모드에 대해서는 적절한 대책을 세워 고장을 미연에 방지하는 기법이다.

2) Yates, J. K. 'Construction Decision Support System for Delay Analysis', Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 1993 119(2) p 226~244

3) 안상현의 2인, '공동주택 공사의 작업지연요소 분석', 한국건설관리학회 논문집, 2007 pp 1621

발생확률과 충격정도의 상관관계를 통해 리스크를 결정하는 일반적인 리스크 분석 방법과는 달리 FMEA 기법은 고장 및 불량에 대한 심각도, 발생빈도, 검출도를 종합적으로 평가함으로써 보다 정량적인 결론을 도출한다. 여기서 심각도란 고장이 발생할 경우 구성품, 하위시스템, 시스템 또는 고객에게 미치는 영향의 심각한 정도를 말하며, 발생빈도란 파악된 원인·메커니즘이 발생할 가능성의 정도를 말한다. 마지막으로 검출도는 잠재적 원인·메커니즘을 양산도면 배포 전에 검출할 가능성으로 정의한다. 이러한 심각도, 발생빈도, 검출도는 각각 1등급에서 10등급으로 차등 평가하며, 이를 평가한 후 세 요소의 곱에 의해서 위험의 우선순위(RPN: Risk Priority Number)를 평가하게 된다.

건설업에서 FMEA는 하자예방 및 안전점검 등에 적용될 수 있으며, 건설업분야 적용시 기대 효과는 다음과 같다(김윤성, 2002).⁴⁾

- 1) 체계적이고 합리적인 공사품질관리를 할 수 있다.
- 2) 하자발생에 대한 책임소재가 명확해진다.
- 3) 품질관리의 측면에서 건설공사의 전체적인 공정의 해석이 용이하다.
- 4) 현장의 엔지니어들의 하자발생을 감소시키거나 결함요소를 발견할 수 있는 능력이 증대된다.
- 5) 공정개선 조치들 간의 우선순위를 결정하여 효율적인 공사수행이 가능하다.
- 6) PL소송에 있어서 기본적인 제출 증거자료로서 FMEA기법이 사용된다.

(1) 평가방법

철골공사 공정계획은 건축구조체를 생산하기 위한 일련의 프로세스 구축 과정이다. 공기초과를 예방하기 위해서는 공정계획 수립 후, 프로젝트 착공전 단계에서 공기를 구성하는 프로세스의 잠재된 위험을 평가하고, 위험이 높은 프로세스 구성요소에 대해서는 위험 저감을 위한 대책을 수립하여야 한다. 이는 프로젝트가 착수된 후에는 계획된 프로세스 구성요소를 교체 또는 변경하기가 쉽지 않고, 추가비용 및 추가공기가 소요되기 때문이다.

(2) 평가척도

일반적으로 FMEA에서는 아주낮음(1점), 낮음(2-3점), 중간(4-6점), 높음(7-8점), 아주높음(9-10점) 척도를 사용한다

4) 김윤성, '건설업에서의 시공 FMEA적용 방안 연구', 한국건설관리학회 논문집, 2002 p 273.

(Pillay and Wang, 2003). 본 연구에서는 점수 산정에 관한 응답자의 혼란을 줄이고 레벨간의 명확한 경계를 규정하고자 5점 척도를 사용하였다. 본 연구에서 제안하는 철골공사 작업지연 잠재위험에 대한 구체적인 평가척도는 다음 표 3과 같다.

표 3. FMEA의 평가척도

척도	내용	레벨	점수
빈도	잠재된 위험의 발생 가능성이 얼마나 높은지 평가하는 것이다.	-발생가능성이 아주 낮다.	1~2
		-발생가능성이 보통이다.	3~4
		-발생가능성이 아주 높다.	5
치명도	잠재된 위험 발생 시, 예상되는 공기초과의 만회 가능성을 추가비용과 연계하여 평가하는 것이다.	-추가비용 없이 만회가 가능하다.	1~2
		-만회를 위해서 소정의 추가비용이 소요된다.	3~4
		-만회를 위해서 상당한 추가비용이 소요된다.	5
영향도	잠재위험 발생 시 발생된 위험이 후속 공정에 주는 영향 정도를 평가하는 것이다.	-후속공정에 미치는 영향이 거의 없다.	1~2
		-후속공정에 미치는 영향이 크지 않다.	3~4
		-후속공정에 미치는 영향이 매우 크다.	5
RPN	RPN은 빈도, 치명도, 영향도 값의 곱이다. 다양한 사례가 수집되면 RPN값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감하기 위한 대책마련의 수위를 조절할 수 있다.		

3. 작업지연요인의 분석과 중요도 산정

3.1 철골공사 공정별 작업지연요인

본 연구에서는 작업지연에 따른 공기초과 위험을 줄이기 위한 목적으로 철골공사 각 공정마다 잠재된 작업지연요소를 도출하기 위하여, 우선적으로 그림 2의 철골공사 공종분류 및 내용과 지금까지 도출되었던 작업지연요인에 관한 문헌을 고찰하였다. 이를 바탕으로 철골공사의 착공전 단계, 공장가공 단계, 현장시공 단계의 내화피복까지를 대상공정으로 하여 국내 대학교수를 비롯한 건축특급기술자 등 철골공사 전문가 10인을 대상으로 델파이기법을 통한 검수를 바탕으로 그 중요도가 미비한 항목들을 제외한 전체 15공정 37가지를 최종 선정하였다. 각 공정별 분류 및 코드화와 작업지연요인 내용은 다음 표 4와 같다.

표 4. 철골공사 공정별 작업지연요인

공정	코드	작업지연요인
도면/시방서	A1	도면/시방서 검토오류
	A2	설계오류/구조적 결함
	A3	수급가능자재 검토오류
업체선정	B1	발주항목 누락
	B2	저가 낙찰
착공전 시공계획 작성	C1	공법선정 오류
	C2	시공순서/공정계획 오류
	C3	가설/장비계획 오류
	C4	인원/자재투입계획 오류
Shop Dwg.	D1	Shop Dwg. 누락/기입 오류
	D2	Shop Dwg. 제출/승인 지연

공정	코드	작업지연요인
공장 가공	자재반입	E1 자재수급의 차질
		E2 불량자재반입/자재관리불량
		E3 자재비 급상승
	사전작업	F1 선 작업 공기지연
		F2 선 작업 정밀도 불량
막매김	G1 막매김 정밀도 불량	
앵커볼트	H1 앵커볼트 선정오류	
검사	I1 불성실한 검사(검사누락)	
	I2 재제작으로 납기지연	
현장 시공	자재 현장반입	J1 적시생산/제작순서 미준수
		J2 오제작 자재반입
	현장설치/조립	K1 앵커볼트 매립위치 불량
		K2 보관미흡으로 자재파손
		K3 자재보관/이동계획 오류
		K4 오제작(산소절단, 과도한 휨)
		K5 작업자 숙련도 부족
		K6 안전후로 작업중단
		K7 오시공으로 인한 재작업
		K8 소음 등으로 인한 민원
	볼팅/용접	L1 용접사 기능부족/원칙 미준수
		L2 볼트자재불량, 취급불량
	데크플레이트	M1 데크선정 오류
	스트리트 볼트	N1 시공불량/재시공으로 인한 콘크리트 타설지연
		N2 철근배근, 결속불량
	내화피복검사	O1 시공 후 탈락(동절기 공사)
		O2 분진/비산으로 작업환경 저하

3.2 설문조사 및 작업지연요인 중요도 산정

본 연구에서는 철골공사 작업지연요인의 중요도 평가·산정을 위하여 광주광역시에 소재한 총 7개의 철골공사 현장을 대상으로 56명의 현장 실무자에게 2007년 7월20부터 8월20일까지 1개월에 걸쳐 설문조사를 실시하였다. 설문조사방식은 1:1 인터뷰 방식을 취하였으며, 사전 그림 2의 철골공사 공중분류 및 내용 소개와 함께 작성된 FMEA 분석을 위한 5점 척도를 사용하여 철골공사 작업지연요인간 정량화된 중요도 값을 도출하였다.

직종별 설문 응답자의 구성은 건축(56%), 설비(18%), 전기(15%), 토목(4%), 기타(7%)로 나타났으며, 이 중 7년 이상의 경력을 가진 응답자는 전체의 53%로써 현장실무경력에 따른 결과

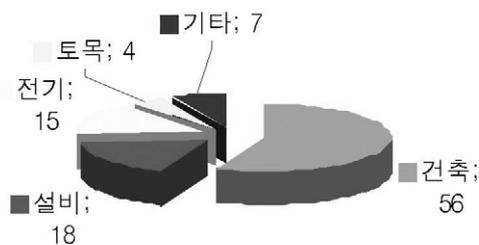


그림 3. 설문응답자 직종분류(%)

값의 신뢰도가 높을 것으로 기대된다. 다음 그림 3은 본 설문조사 응답자의 직종구분 현황을 도식화하여 나타낸 것이다.

다음 표 5는 설문결과를 토대로 철골공사의 공정별 작업지연요인의 중요도 산정값을 정리한 것이다. 각각의 작업지연요인에 해당하는 빈도, 치명도, 영향도는 응답자 전체의 평균값이며, 이 세가지 평가척도를 곱한 값이 RPN 값이다. 전체 항목간 우선순위는 RPN값에 의거하여 결정하였다.

표 5. 철골공사 공정별 작업지연요인 중요도(전체)

공정	코드	작업지연요소	빈도	치명도	영향도	RPN	순위	
공장 전	도면/시방서	A1 도면/시방서 검토오류	3.3	3.4	3.6	40.4	3	
		A2 설계오류/구조적 결함	3.5	3.9	4.1	56.0	1	
		A3 수급가능자재 검토오류	2.2	3.3	3.4	24.7	20	
	업체선정	B1 발주항목 누락	2.5	2.9	3.1	22.5	23	
		B2 저가 낙찰	2.6	3.7	3.4	32.7	8	
	시공계획작성	C1 공법선정 오류	2.4	3.7	3.6	32.0	9	
		C2 시공순서/공정계획 오류	2.9	2.7	3.1	24.3	21	
		C3 가설/장비계획 오류	2.5	3.3	3.3	27.3	14	
		C4 인원/자재투입계획 오류	2.4	2.8	3.0	25.2	18	
	Shop Dwg	D1 Shop Dwg 누락/기입 오류	3.1	3.4	3.5	36.9	6	
		D2 Shop Dwg 제출/승인 지연	2.3	2.8	3.3	21.3	26	
	공장 가공	자재반입	E1 자재수급의 차질	3.4	4.0	4.0	54.4	2
			E2 불량자재반입/자재관리불량	2.7	3.2	3.2	27.6	13
			E3 자재비 급상승	2.4	3.8	3.4	31.0	11
사전작업		F1 선 작업 공기지연	2.4	2.5	2.8	16.8	33	
		F2 선 작업 정밀도 불량	2.3	2.4	2.9	16.0	35	
막매김		G1 막매김 정밀도 불량	2.5	2.7	2.9	19.6	30	
앵커볼트		H1 앵커볼트 선정오류	2.6	2.5	3.0	19.5	31	
검사		I1 불성실한 검사(검사누락)	2.3	3.0	2.7	18.7	32	
		I2 재 제작으로 납기지연	2.3	3.3	3.5	26.6	15	
현장 시공		자재현장반입	J1 적시생산/제작순서 미준수	2.5	3.2	3.6	28.8	12
	J2 오제작 자재반입		2.8	3.5	3.8	37.2	5	
	현장설치/조립	K1 앵커볼트 매립위치 불량	2.3	3.1	3.4	24.3	21	
		K2 보관미흡으로 자재파손	2.1	3.3	2.9	20.0	28	
		K3 자재보관/이동계획 오류	2.2	2.9	3.1	19.8	29	
		K4 오제작(산소절단, 과도한 휨)	2.3	3.2	3.4	25.0	19	
		K5 작업자 숙련도 부족	2.1	2.6	2.5	13.7	37	
		K6 안전후로 작업중단	1.7	2.9	3.3	16.2	34	
		K7 오시공으로 인한 재작업	2.3	3.2	3.5	25.8	16	
		K8 소음 등으로 인한 민원	1.9	3.0	2.7	15.4	36	
	볼팅/용접	L1 용접사 기능부족/원칙 미준수	3.0	3.8	3.5	39.9	4	
		L2 볼트자재불량, 취급불량	2.4	3.0	2.9	20.9	27	
	데크플레이트	M1 데크선정오류	2.4	3.8	3.6	32.8	7	
	스트리트볼트	N1 시공불량/재시공으로 인한 콘크리트 타설지연	2.3	3.6	3.8	31.5	10	
		N2 철근배근, 결속불량	3.0	2.9	3.0	26.1	16	
	내화피복검사	O1 시공 후 탈락(동절기 공사)	2.3	3.0	3.1	21.4	25	
		O2 분진/비산으로 작업환경 저하	2.9	2.7	2.8	21.9	24	

전체 작업지연요인 가운데 A2:설계오류/구조적 결함의 RPN(56.0)이 철골공사의 작업지연에 따른 영향정도가 가장 큰 것으로 분석되었다. 다음으로 E1:자재수급의 차질(RPN 54.4)과 A1:도면/시방서 검토오류(RPN 40.4), L1:용접사 기능부족/원칙 미준수(RPN 39.9), J2:오제작 자재반입(RPN 37.2)순으로 작업지연에 따른 영향정도가 높은 것으로 분석되었다.

철골공사 공정별로 결과를 정리해보면 착공전 단계에서는 A2:설계오류/구조적 결함의 RPN값이 56.0으로 가장 높게 나타났고, 공장가공 단계에서는 E1:자재수급의 차질의 RPN값이 54.4로 가장 높게 나타났다. 현장시공 단계에서는 L1:용접사의 기능부족/원칙미준수의 RPN값이 39.9로 가장 높게 나타났다. 즉, 철골공사의 공정관리에 있어서 사전 설계오류/구조적 결함과 자재수급의 확인, 또한 용접사의 작업능력을 우선적으로 고려하고 검토하여야 할 것으로 판단된다. 또한 설문조사를 통해 도출된 작업지연 주요요인의 분포를 볼 때 매우 다양하게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이는 시공사 책임뿐만 아니라 다른 주체 또는 원인에 의한 작업지연 요인에 대해 사전대책과 계획이 철저히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

각 공정별 작업지연요소의 빈도, 치명도, 영향도 및 RPN값은 다음 그림 4(착공전), 그림 5(공장가공), 그림 6(현장시공)과 같다.

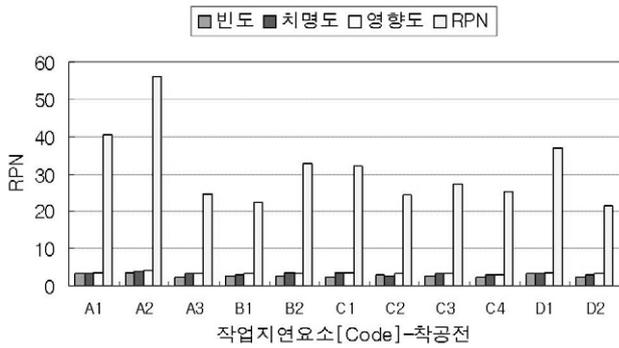


그림 4. 작업지연요인 중요도-착공전(전체)

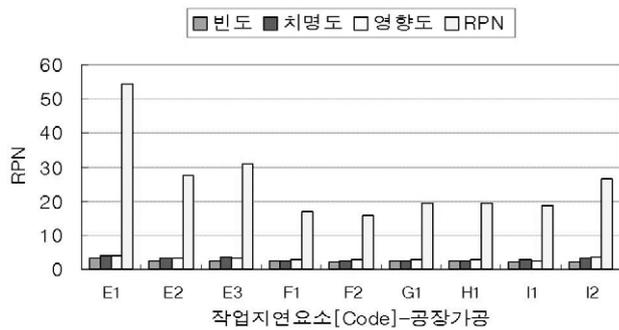


그림 5. 작업지연요인 중요도-공장가공(전체)

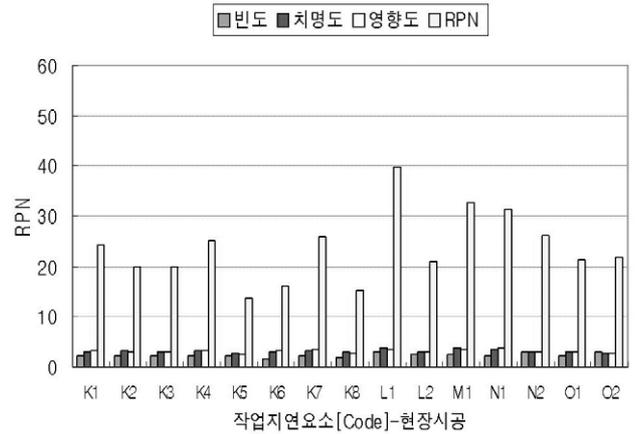


그림 6. 작업지연요인 중요도-현장시공(전체)

철골공사 대공정별 작업지연요인의 중요도 산출 분석결과는 다음 그림 7에서 보는 바와 같이 착공전 단계에서의 항목간 평균 RPN(31.2)이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 도면 및 공법, 가설/장비 등 계획단계에서의 작업지연가능 요소의 검토와 점검이 중요하다는 점을 시사하고 있다고 할 수 있다.

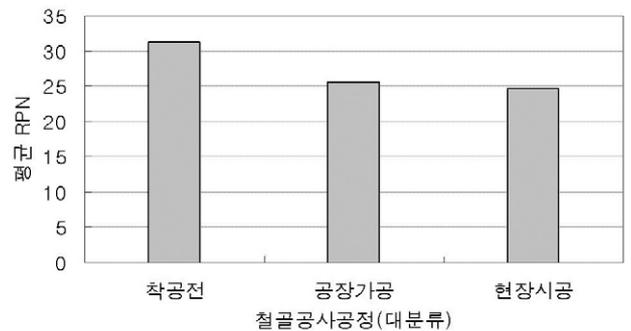


그림 7. 철골공사 공정별 중요도(RPN) - 대분류

다음 그림 8은 철골공사 중분류 공정별 중요도값을 분석한 것으로, 전체 15개 중분류 항목 중 평균 RPN값은 1)도면 및 시방서, 2)자재반입(공장&현장), 3)테크플레이트, 4)볼팅/용접 순으로 분석되었다.

다음 표 6은 작업지연요소에 대한 중요도를 직종별(건축/건축외)로 구분하여 각 항목간 중요도(RPN)를 비교분석한 것이다. 전체 작업지연요소간 우선순위 평가결과는 중요도 상위 10위 이내의 항목을 기준으로 보았을 때 B2:자기낙찰과 E2:불량자재반입/자재관리불량의 항목에서 크게 차이나는 것으로 분석되었으며, 건축직의 경우에는 A2를, 건축외 직종에서는 E1을 각각 가장 중요한 요인으로 평가하였다. 이에 대한 직종별 중요도 상위 10위 항목에 대한 결과는 다음 표 7과 그림 9와 같다.

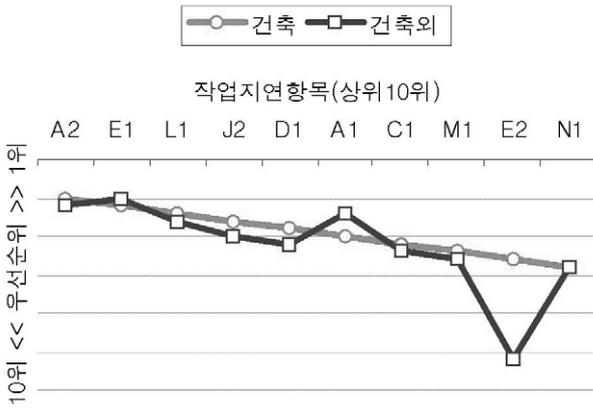


그림 8. 철골공사 공정별 중요도(RPN) - 중분류

표 6 직종별 작업지연요소 중요도(건축/건축외)

공정	코드	작업지연요소	우선순위	
			건축	건축외
착공전	도면/시방서	A1 도면/시방서 검토오류	6	3
		A2 설계오류/구조적 결함	1	2
		A3 수급가능자재 검토오류	25	14
	업체선정	B1 발주항목 누락	19	26
		B2 저가 낙찰	16	5
	시공계획작성	C1 공법선정 오류	7	8
		C2 시공순서/공정계획 오류	21	17
		C3 가설/장비계획 오류	17	12
		C4 인원/자재투입계획 오류	26	29
Shop Dwg	D1 Shop Dwg 누락/기입 오류	5	7	
	D2 Shop Dwg 제출/승인 지연	24	27	
공장 기공	자재반입	E1 자재수급의 차질	2	1
		E2 불량자재반입/자재관리불량	9	21
		E3 자재비 급상승	11	12
	사전작업	F1 선 작업 공기지연	31	34
		F2 선 작업 정밀도 불량	34	31
	먹매김	G1 먹매김 정밀도 불량	17	35
	앵커볼트	H1 앵커볼트 선정오류	27	30
	검사	I1 불성실한 검사(검사누락)	37	22
		I2 재 제작으로 납기지연	13	22
	자재현장반입	J1 적시생산/제작순서 미준수	12	16
J2 오제작 자재반입		4	6	
현장 설치/조립	현장설치/조립	K1 앵커볼트 매립위치 불량	27	11
		K2 보관미흡으로 자재파손	20	37
		K3 자재보관/이동계획 오류	32	19
		K4 오제작(산소절단, 과도한 휨)	22	15
		K5 작업자 숙련도 부족	34	36
		K6 악천후로 작업중단	33	33
		K7 오시공으로 인한 재작업	15	28
		K8 소음 등으로 인한 민원	36	32
	볼팅/용접	L1 용접사 기능부족/원칙 미준수	3	4
		L2 볼트자재불량, 취급불량	30	18
데크 플레이트	M1 데크선정오류	8	9	
	N1 시공불량/재시공으로 인한 콘크리트 타설지연	10	10	
스트리트볼트	N2 철근배근, 결속불량	14	20	
	내화피복검사	O1 시공 후 탈락(중절기 공사)	29	24
O2 분진/비산으로 작업환경 저하		23	25	

표 7. 직종별 중요도 비교분석(우선순위 10위)

공정	작업지연요소	1	2	3	4	5
		6	7	8	9	10
건축	A2	E1	L1	J2	D1	
	A1	C1	M1	E2	N1	
건축외	E1	A2	A1	L1	B2	
	J2	D1	C1	M1	N1	

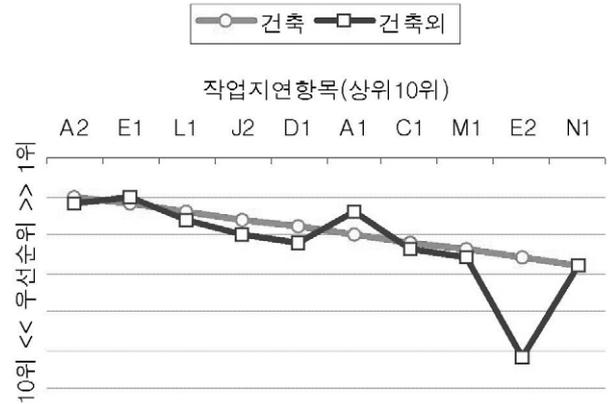


그림 9. 직종별 작업지연요소 우선순위

다음 표 8은 철골공사 작업지연요소를 제거하고 관리하기 위한 중점관리항목 선정에 있어, 보다 신뢰성 높은 결과를 도출하기 위하여 건축직 7년 이상의 설문응답자의 결과만을 대상으로 별도 분석한 것이다.

건축직 7년 이상 전문가의 설문결과에서는 앞선 전체 직렬의 설문결과와 비교하여 A2:설계오류/구조적결함의 RPN값이 61.0으로 RPN값 5가 더 높은 것으로 나타났으며, 철골공사의 작업지연에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 다음으로 J2:오제작자재 반입(RPN 57.3), B2:저가낙찰(RPN 48.0), E1:자재수급의 차질(RPN 46.4), L1:용접사 기능부족/원칙미준수(RPN 40.4) 순으로 나타났다.

표 8. 작업지연요인 중요도(건축7년 이상)

공정	코드	작업지연요소	빈도	치명도	영향도	RPN	순위
착공 전	도면/시방서	A1 도면/시방서 검토오류	3.2	3.2	3.1	31.7	9
		A2 설계오류/구조적 결함	3.3	4.2	4.4	61.0	1
		A3 수급가능자재 검토오류	2.6	4.2	3.3	28.3	13
	업체선정	B1 발주항목 누락	2.3	3.0	2.9	20.1	19
		B2 저가 낙찰	2.8	4.4	3.9	48.0	3
	시공계획작성	C1 공법선정 오류	2.6	3.1	3.3	26.6	14
		C2 시공순서/공정계획 오류	2.4	2.7	2.5	16.3	26
		C3 가설/장비계획 오류	2.4	3.1	3.0	22.3	18
		C4 인원/자재투입계획 오류	2.1	2.8	2.7	15.9	27
	Shop Dwg	D1 Shop Dwg 누락/기입 오류	3.4	3.3	3.1	34.8	7
D2 Shop Dwg 제출/승인 지연		2.4	2.7	2.5	15.6	28	

표 8. 작업지연요인 중요도(건축7년 이상)-계속

공정	코드	작업지연요인	빈도	치명도	영향도	RPN	순위
공장가공	자재반입	E1	2.9	4.1	3.9	46.4	4
		E2	2.6	2.6	2.4	16.4	25
		E3	2.2	4.1	3.3	29.8	10
	사전작업	F1	2.3	2.5	2.5	14.7	31
		F2	2.2	2.6	2.8	16.6	24
	먹매김	G1	2.6	2.9	3.1	23.4	17
	앵커볼트	H1	1.7	2.4	2.3	14.6	32
	검사	I1	2.5	2.8	2.6	18.2	21
		I2	1.7	2.5	2.9	15.3	29
	현장시공	자재현장반입	J1	2.2	2.6	3.3	18.9
J2			3.5	3.9	4.2	57.3	2
현장설치/조립		K1	2.6	3.7	3.5	33.7	8
		K2	2.2	2.4	2.3	12.8	37
		K3	2.2	2.5	2.5	13.7	34
		K4	2.3	2.7	2.8	17.3	23
		K5	2.7	3.1	2.9	24.3	15
		K6	1.6	2.6	2.7	13.4	35
		K7	1.6	3.4	3.2	17.4	22
		K8	2.2	2.5	2.3	15.0	30
볼팅/용접		L1	2.8	3.9	3.7	40.4	5
		L2	2.1	2.4	2.5	13.1	36
데크플레이트		M1	2.4	3.9	3.9	36.5	6
스트리트볼트		N1	2.3	3.7	3.3	28.1	12
		N2	2.6	3.5	3.2	29.1	11
내화피복검사		O1	2.6	3.1	2.9	23.4	16
		O2	2.2	2.4	2.3	13.9	33

표 9. 중요도 비교분석(전체/건축 7년 이상)

공정	1					2					3					4					5							
	6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18			
작업지연요인	건축	A2	E1	A1	L1	J2	D1	M1	B2	C1	N1																	
	건축 7년 이상	A2	J2	B2	E1	L1																						
		M1	D1a	K1	A1	E3																						

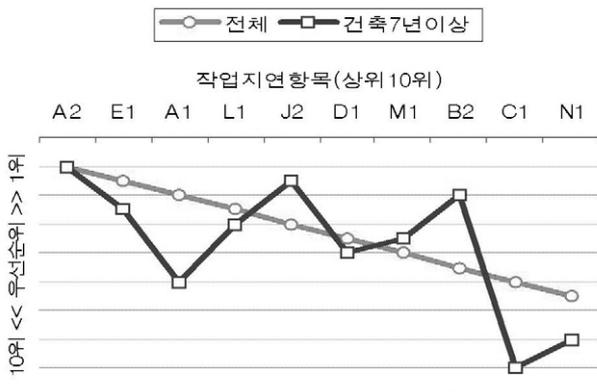


그림 10. 작업지연요소 우선순위(전체/건축 7년 이상)

위의 표 9와 그림 10은 중요도 상위 10위 이내의 작업지연요소를 전체 설문응답자 대비 건축 7년 이상의 고경력자의 설문조사결과와 비교하여 나타낸 것이다. RPN을 고려한 우선순위 10위권 이내의 중요관리 항목을 비교해 보면 전체 직렬과 건축 직렬과의 작업지연요인의 항목에 있어 순위의 변동은 있으나 그 편차가 크지 않음을 보여주고 있다.

위의 결과에서 보는 바와 같이 실무경험이 높은 고경력 전문가일수록 자재 및 장비, 업체선정, 노무 등에 높은 비중을 두고 있는 것을 알 수 있다. 이는 실제 실무현장에 있어서는 자재 및 장비의 잘못/오류가 빈번히 일어나고 있음을 시사하고 있는 것으로 설계오류와 더불어 공사계획 수립시 자재 및 노무, 장비에 대한 철저한 계획과 효율적인 대책마련이 시급함을 알 수 있다. 또한 철골공사에서 설계정보의 오류/누락은 전체 생산단계에 있어서 후속단계인 견적 발주, 공장제작, 운송, 철골 세우기에 미치는 영향이 크므로 프로젝트의 초기단계에서 철골공사 실무자의 지식과 경험을 최대한 설계에 반영하여 설계변경을 최소화하고 잉여분의 자재가 발생하지 않도록 하여야 한다. 또한 설계오류 및 구조적결함 분석에 앞서 철골공사 설계단계에서부터 시공성에 대한 검토가 동시에 이루어져야 할 것이다.

다음 그림 11~13은 건축 7년 이상 전문가를 대상으로 한 철골공사 작업지연요소간 빈도, 치명도, 영향도에 따른 중요도값을 공정별로 분류하여 별도로 분석한 것이다. 각 단계별 중요도 분석 결과 착공전 단계에서는 A2:설계오류/구조적결함(RPN 61.0), 공장가공 단계에서는 E1:자재수급의 차질(RPN 46.4), 현장시공 단계에서는 J2:오제작자재 반입(RPN 57.3)이 각 공정에서 가장 중요한 영향요인으로 분석되었다.

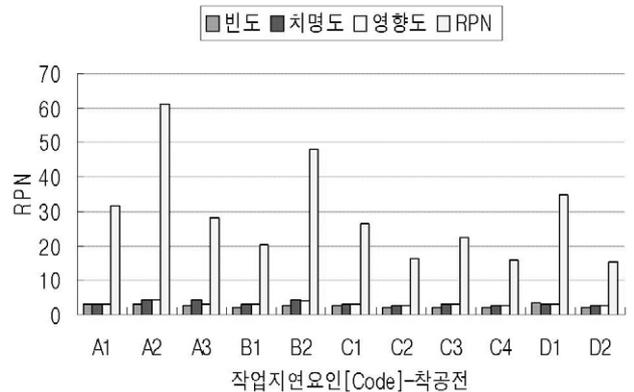


그림 11. 작업지연요인 중요도-착공전(건축 7년 이상)

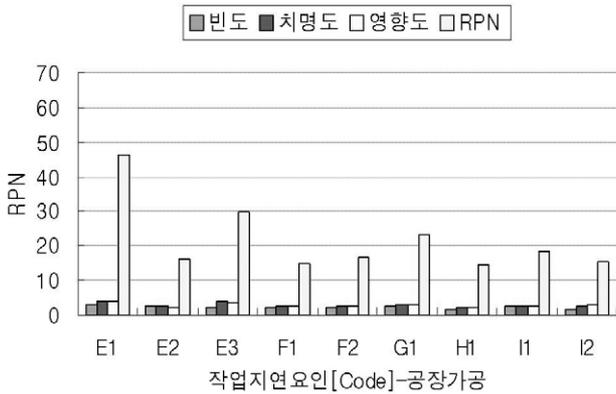


그림 12. 작업지연요인 중요도-공장가공(건축7년 이상)

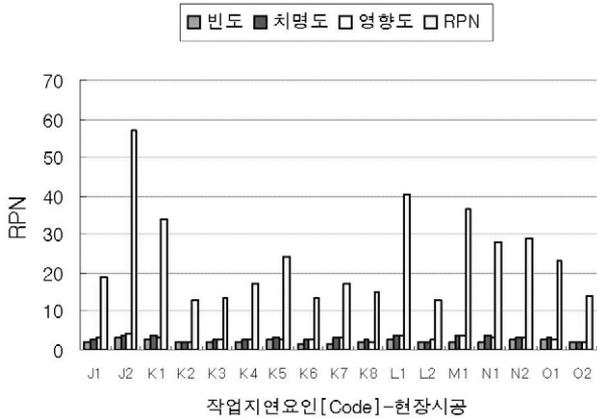


그림 13. 작업지연요인 중요도-현장시공(건축7년 이상)

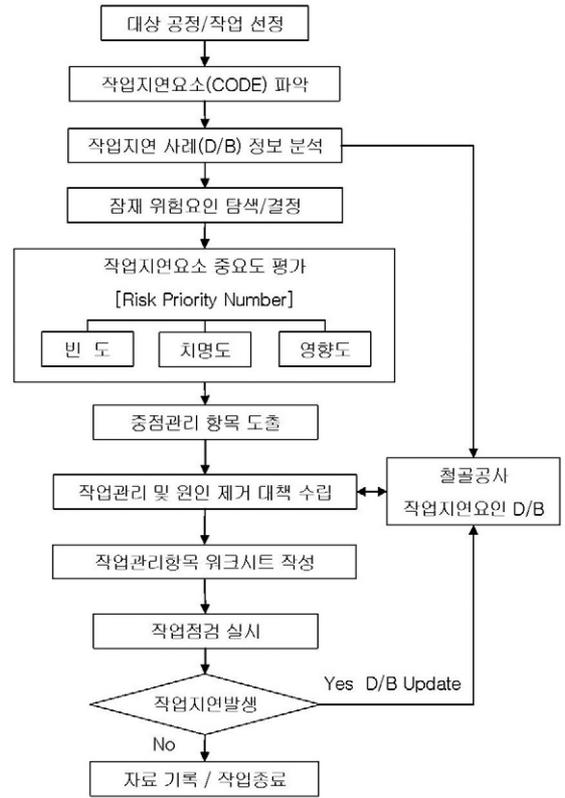


그림 14. 철골공사 작업지연요인 평가/관리 프로세스

그림 14는 본 FMEA를 활용한 철골공사 작업지연요인의 평가에 의해 도출된 중점작업관리 항목의 선정에 따른 대상 공정 및 작업별 작업지연 평가/관리 프로세스를 나타낸 것이다.

우선 대상 공정 및 작업을 선정한 후, 해당 작업지연요인 코드를 파악하여 철골공사 작업지연 D/B를 통해 사례정보를 분석한다. 이후 잠재된 작업지연인자를 탐색, 결정하고 빈도, 치명도, 영향도를 고려한 작업지연 중요도(RPN) 평가를 실시한 이후 중점작업관리항목을 도출하고 이에 적합한 작업관리 및 원인 제거를 위한 워크시트를 작성한다. RPN값이 높은 요인에 대해서는 RPN값을 저감시키기 위한 공정계획 및 작업계획을 수립한다. 작업점검 실시 이후 작업지연이 발생하였을 경우 사전에 수립한 대책에 대한 문제점 및 오류를 재검토하여 작업지연요인 D/B에 지속적으로 업데이트한다. 철골공사 작업지연요인 D/B는 향후 작업지연을 예방하기 위하여 자재, 장비, 공법별로 관련된 관리요인의 종류와 용이성 정도를 평가하여 공정계획 수립 시, 현장의 여건에 보다 적합한 자재, 장비 및 공법의 적용을 가능하게 하여 작업지연을 미연에 방지하며, 프로젝트 착수 후에는 적용

된 자재, 장비 및 공법의 취약 요인을 선별하여 관리를 집중함으로써 작업지연을 예방하는 정보제공의 역할을 수행하게 된다.

4. 결론 및 향후과제

작업지연은 건설사업에 있어서 확실성을 저하시키는 주요 원인 중의 하나이며, 이러한 작업지연요소를 관리하는 것은 건설사업의 확실성을 높일 뿐만 아니라 경쟁력을 높이는 방법이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 FMEA를 활용한 작업지연요인별 중요도의 수치화를 통하여, 작업지연요인을 효과적으로 제거하고 관리할 수 있도록 중점관리항목을 제시함과 동시에 이러한 중점관리항목의 효과적 관리 및 작업지연 예방을 위한 작업지연요인의 평가프로세스를 구축하고자 하였다.

본 연구에서 진행한 작업지연요인 도출과 공정별 작업지연요인 중요도를 요약하면 다음과 같다.

1) 철골공사 전체 작업지연요인 중요도 평가 결과 A2:설계유류/구조적 결함(RPN 56.0)이 작업지연에 따른 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 다음으로 E1:자재수급의 차질(RPN 54.4)과 A1:도면/시방서 검토오류(RPN 40.4), L1:용접사 기능부족/원칙미준수(RPN 39.9), J2:오제작 자재반입(RPN 37.2)순으로 작업지연에 따른 영향정도가 높은 것으로 분석되었

다. 즉, 이들 항목이 철골공사시 작업지연을 예방하기 위한 중점 관리항목이라 할 수 있다.

2) 철골공사의 단계별 중요도 평가결과 착공전 단계에서는 A2:설계오류/구조적 결함(RPN 56.0), 공장가공 단계에서는 E1:자재수급의 차질(RPN 54.4), 현장시공 단계에서는 L1:용접사의 기능부족/원칙미준수(RPN 39.9)가 각 단계별 중요도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 즉, 철골공사의 공정관리에 있어서 사전 설계오류/구조적결함과 자재수급의 확인, 또한 용접사의 작업능력을 우선적으로 고려하고 검토하여야 할 것으로 판단된다.

3) 철골공사 대공정별 작업지연요인의 중요도 산출 분석결과 착공전 단계에서의 항목간 평균 RPN(31.2)이 가장 높은 것으로 분석되었고, 중분류 공정별 중요도값 분석결과, 전체 15개 중분류 항목 중 평균 RPN값은 1)도면 및 시방서, 2)자재반입(공장&현장), 3)테크플레이트, 4)볼팅/용접 순으로 분석되었다. 즉, 도면 및 공법, 가설/장비 등 계획단계와 자재반입 단계에서의 작업지연가능 요소의 검토와 점검이 필요하다.

4) 직종별(건축/건축외) 작업지연요소에 대한 중요도(RPN) 비교분석 결과, 전체 작업지연요소간 우선순위는 중요도 상위 10위 이내의 항목을 기준으로 B2:저가낙찰과 E2:불량자재반입/자재관리불량의 항목에서 크게 차이나는 것으로 분석되었으며, 건축직의 경우에는 A2를, 건축외 직종에서는 E1을 각각 가장 중요한 요인으로 평가하였다.

5) 건축직 7년 이상 전문가의 설문분석결과 A2:설계오류/구조적 결함의 RPN값이 61.0으로 철골공사의 작업지연에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 다음으로 J2:오제작자재 반입(RPN 57.3), B2:저가낙찰(RPN 48.0), E1:자재수급의 차질(RPN 46.4), L1:용접사 기능부족/원칙미준수(RPN 40.4) 순으로 분석되었다. 이에 철골공사시 설계단계에서의 오류 및 구조적 결함의 점검과 오제작 자재의 반입유무의 철저한 관리가 요구된다.

6) 실무경험이 높은 고경력 전문가일수록 자재 및 장비, 업체 선정, 노무 등에 높은 비중을 두고 있는 것으로 분석되었으며, 이는 실제 실무현장에 있어서는 자재 및 장비의 잘못된/오류가 빈번히 일어나고 있음을 시사하고 있는 것으로 설계오류와 더불어 공사계획 수립시 자재 및 노무, 장비에 대한 철저한 계획과 효율적인 대책마련이 필요하다.

7) 설계정보의 오류/누락은 전체 생산단계에 있어서 후속단계인 견적 발주, 공장제작, 운송, 철골 세우기에 미치는 영향이 크므로 프로젝트의 초기단계에서 철골공사 실무자의 지식과 경험을 최대한 설계에 반영하여 설계변경을 최소화하고 잉여분의 자

재가 발생하지 않도록 하여야 하며, 설계오류 및 구조적결함 분석에 앞서 철골공사 설계단계에서부터 시공성에 대한 검토가 동시에 이루어져야 한다.

본 연구는 평가자의 능력에 따라 RPN값의 우선순위가 달라질 수 있다는 한계가 있다. 이는 평가척도에 대한 구체적인 기준을 마련하고, 유사 프로젝트 자료 활용 및 작업지연 요인 Date Base를 구축 활용한다면 보완될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 광주지역 총 7개 철골공사 현장을 대상으로 실시되었기 때문에 앞으로 더 많은 수의 현장을 대상으로 보다 객관적인 작업지연 요인 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 이러한 작업지연 요인의 세부적 분석을 위한 실질적인 D/B 프로그램의 개발 및 체계화된 절차와 기술 개발도 더불어 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

“이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)”

“이 논문은 2008년 전남대학교 건축과학기술연구소 및 바이오하우징연구소의 지원을 받아 수행된 연구임”

참고 문헌

1. 구자민의 1인, 생산성을 고려한 건설공사 공기지연 분석방법, 대한건축학회 논문집, 2004
2. 김영재 외 3인, 건설공사 동시발생 공기지연 분석방법, 대한건축학회 논문집, 2004
3. 김윤성, 건설업에서의 시공 FMEA적용 방안 연구, 한국건설관리학회 논문집, 2002 p 273
4. 안재봉 외 1인, 경제적 철골제작 설치 및 공기단축 사례분석 연구, 한국건설관리학회 논문집, 2004
5. 방성원 외 3인, 현장조사를 통한 철골공사 설계프로세스 개선 방안, 한국건축시공학회, 2003
6. 홍영탁 외 3인, FMEA를 이용한 초고층 건축시공 공기영향 요인 평가, 대한건축학회 논문집, 2004
7. 안상현 외 2인, 공동주택 공사의 작업지연요소 분석, 한국건설관리학회 논문집, 2005
8. 대한건축학회, 철골구조, 기문당, 1998
9. 지근창 외 2인, 건설공사의 작업지연 원인분석 프로세스, 한국건설관리학회 논문집, 2006
10. 지근창 외 2인, 건축공사 투입요소에 의한 작업지연 원인분류 체계, 대한건축학회 논문집, 2006
11. 이은석, 일본현장의 철골공사 생산시스템과 철골조립공정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2005
12. 이정호 외 3인, 웹 기반의 공기지연 클레임 분석모형 구축에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2002
13. 유정호 외 2인, 건축공사의 투입요소에 의한 작업지연 원인분류 체계, 대한건축학회 논문집, 2006
14. 주해금 외 2인, 위험관리 중심의 공정관리모델, 한국건설관리학회 논문집, 2005
15. 한종관 외 2인, 시공자 중심의 주요 공종별 공기지연 원인분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2003
16. 홍영탁 외 3인, FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가, 대한건축학회 논문집, 2004

논문제출일: 2008.06.13

심사완료일: 2008.09.05

Abstract

The factors of uncertainty such as work delay could cause many problems, for example, increase of construction cost and terms of work, and the deterioration of quality. Because of these, the uncertainty risk is regarded as an important management factor to obtain the success of construction project. So, the systematic management plan about the uncertainty factors is needed because it plays an important role in the completion of entire project. And also analysis of some factors which can cause the work delay can be one way of improving construction project's certainty and making it competitive. In this reason, we have to make an effort to set a priority based on analysis of quantitatively numerical value about work delay factors to manage them effectively.

Thus, this study aims to suggest the basic data for the effective management and prevention of work delay in steel-frame work which is progressive actively now, along with increasing of demand of high-rise buildings by analyzing each reasons of work delay factors and also by suggesting important management factors that are coded according to each construction work using FMEA method which could give a data about the importance of work delay factors through quantitatively numerical value.

Keywords : Steel-frame work, Work delay, FMEA(Failure Mode Effect Analysis), RPN(Risk Priority Number)