

중점 안전관리 항목 도출을 위한 FMEA활용 방안

-철골 공사 사례를 중심으로-

A Study of FMEA for Selecting Priority Safety Unit

-focusing on the cases of steel frame work-

박찬종* 송지원* 유정호** 김창덕**
Park, Chan-Jong Song, Ji-Won Ryu, Jung-Ho Kim, Chang-Duk

요약

건설재해는 반복재해가 빈번하게 일어나고 재해 발생 시 대부분이 중대재해이므로 안전관리에 더욱더 철저해야만 한다. 하지만 우리나라 건설 산업에서 안전관리 시스템은 관리기법이나 사고예방을 위한 구체적이고 기술적인 수단은 빈곤하며 단순하고 과학적이지 못하다. 이러한 건설 산업에서 안전관리 부분에서 FMEA를 이용하여 안전관리 중점대상 선정 및 중요도의 수치화를 통하여 안전관리 대상에 대한 관리 체계를 확립하기 위한 과학적이고 체계적인 방안에 대하여 연구하였으며 산업안전관리공단의 중대재해 사례를 통하여 실제 사례를 보여주었다.

키워드: FMEA, 중대재해, 철골공사, 중점관리 항목

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 산업은 총 취업자 수 대비 산업재해의 비율이 높은 재해다발산업으로서, 건설재해예방은 국가적 당면과제로 등장한지 오래이다. 최근에는 건설공사의 추세도 고층화, 복잡화, 대규모화하고 건설입지의 확장에 따른 공사제약조건 증가 등의, 재해의 위험성은 계속 증가하고 있다.

그러나 일부 대형 건설 회사를 제외한 대부분의 건설업체는 안전관리 실무능력이 부족하며 현장의 실질적 시공 기능을 담당하고 있는 전문건설업체의 경우는 더욱 열악한 실정에 있다. 이는 규제 위주의 대책으로 안전대책의 종합성이 결여되고 있으며, 관리기법이나 사고예방을 위한 구체적이고 기술적인 수단은 빈곤한 실정으로서, 근본적인 건설 안전에 관한 제반 정보나 지식은 제대로 활용되지 못하고 있기 때문이라 할 수 있다.²⁾

기존 연구에서는 재해 저감을 위한 대책으로 안전정보 시스템의 개발이나 체크리스트 개선과 같은 기존 데이터 분석만을 하고 있을 뿐, 현실적인 실용방안에 대해서는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 효과적인 안전관리 대책을 위해 좀 더 현실적인 방안으로, 산업안전관리공단의 중대재해사례 중에 철골공사를 중심으로 데이터를 추출 분류하고, 중점 안전관리 항목을 도출하여 보다 현실적이고 신뢰성 있는 관리방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법과 범위

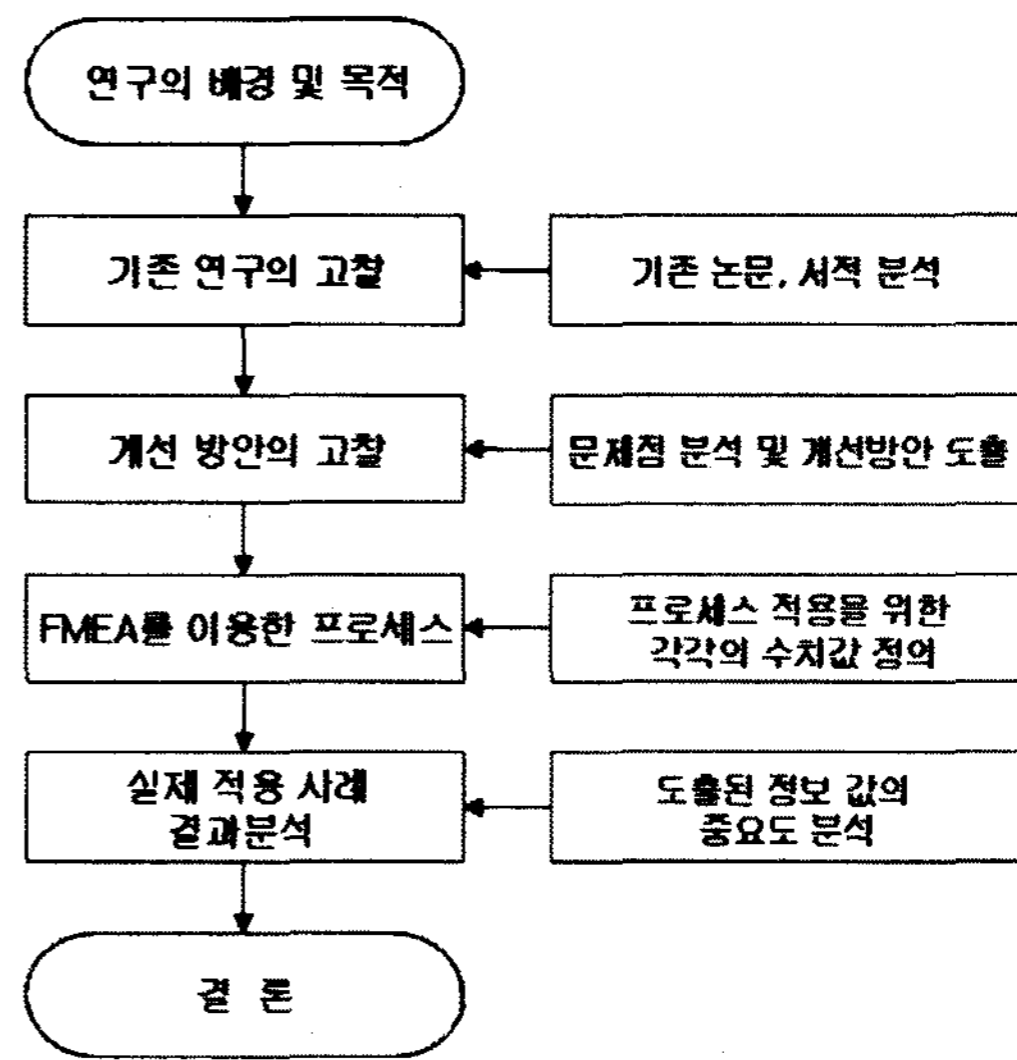


그림 1. 연구의 흐름

본 연구에서는 안전관리에서 중점적으로 관리해야 할 작업을 도출하기 위하여 FMEA³⁾를 활용하여 작업 중 중요 위험 요소를 도출해내어 중점관리 하는 방법을 제시하고자 한다. 먼저 FMEA를 적용하여 어떻게 중점 관리요소를 도출하는지를 보여주고, 실제로 사용되는 예를 보여주기 위해 산업안전관리공단의 중대재해 자료 중 철골공사의 재해사

* 광운대학교 건축학부 학사과정

** 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2) 정경하 외, 건설공사의 안전정보 시스템 실태 및 효율적인 개선 방안, 2004

3) FMEA는 상향식(bottom up) 신뢰성 분석방법으로 전체 시스템의 고장이 제품에 미치는 영향을 조사하는 방법으로 잠재적 고장 모드를 찾아내고 이와 같은 고장이 발생하였을 경우 임무달성에 미치는 영향을 검토하여 평가하고, 영향이 큰 고장모드에 대하여는 적절한 대책을 세워 고장의 미연 방지를 꾀하는 방법이다.

례를 중심으로 FMEA를 활용하여 중점관리 대상을 도출해 보았다.

2. 기존 연구의 고찰

2.1 기존 연구의 내용

안전관리 체계를 개선하기 위한 연구는 몇 가지가 이루어져 있다. 한동일(2005)은 건설공사에서 안전점검 현황과 발전 방안에 관해 연구를 하였고, 홍정석(2004)은 안전관리의 성공요인을 분석해 안전관리 활동을 개선하는 연구를 하였다. 고성석(2005)은 재해 사례와 위험도 지수를 활용하여 건축공사 안전정보 시스템을 개발하였다.

안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구로는 양용철(2004)이 안전관리 체크리스트 개선과 공정관리와의 연계 운영 방법을 연구하였고, 정영훈(2004)은 재해 다발공정인 철골공사의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구를 하였다.

김동춘(2001)은 건설공사에서 재해정보 분석을 위한 사고발생 분류체계의 방안을 제시하였다.

2.2 기존 연구의 개선방향

기존 논문들에는 안전관리 체계를 개선하기 위한 많은 노력들이 있어왔고, 체크리스트에 대한 연구는 많이 진행되어 있으나 리스크 인지를 위한 체크리스트가 대부분이었다. 실질적이고 현실적이며 재해의 중요도에 따른 객관적 근거가 부족할뿐더러 단일화 된 값을 제시하여 중요도의 정확도가 떨어지고 실제로 활용하는데 신뢰성을 갖게 하지 못하였다. 이 연구에서는 FMEA를 활용하여 작업 중 위험요소에 대한 신뢰성 있는 기준을 제시하고 중요도에 대한 수치화로 인하여 한눈에 중점관리 요소를 파악함으로써 좀 더 과학적인 관리방안을 제시하고자 한다.

3. FMEA 활용방안

3.1 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA는 시스템의 구성요소인 프로세스 각각의 요소에서 실패(Failure)가 발생했을 경우 전체 시스템에 미치는 영향 또는 심각성을 평가하는 기법이다.(Stamatis, 1997)

건설 안전관리에서도 FMEA를 적용하면 이점을 기대할 수 있다. 건설재해의 경우 일반적으로 예전의 발생하였던 재해가 반복되는 경우가 많으며 사고를 고장으로 생각한다면, 프로세스의 적용이 용이하다. 각 공정상의 프로세스 구성요소에 결함이 존재하면, 작업 중 사고의 발생의 확률은 당연히 높아지게 마련이다. 따라서 사전에 공정상에 잠재된 중요한 결함을 FMEA를 이용하여 확인한다면 사고 발생의 가능성을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기존의 단순한 항목체크만의 안전관리가 아니라 분석을 통하여 위험작업 및 요

소가 큰 작업에 대한 중점관리를 통하여 재해를 미연에 방지할 수 있다.

본 연구에서는 안전관리에 FMEA를 도입함으로써 공사의 위험요소에 대한 평가뿐만 아니라 공사완료 후 조치 내용 및 변경사항을 적용하여 문제 발생의 가능성을 줄일 수 있도록 사용하였다. 따라서 본 연구에서 우선순위는 위험이 발생할 수 있는 가능성(발생빈도), 위험 발생 시 피해정도(발생강도), 위험 발생 시 공사에 영향을 끼치는 정도(치명도)를 곱해서 구한다.

3.2 평가방법 및 평가 척도

(1) 평가 방법

안전 점검은 공사 시작 전 재해를 예방하기 위해 하는 활동이다. 재해예방을 위해서는 시공 전 단계에서 잠재된 위험을 평가하고, 위험프로세스 구성요소에 대해서는 위험저감을 위한 대책을 수립하여야 한다. 안전사고라는 것은 미리 인지하고 있어도 일어날 수 있기 때문에 사전에 충분한 대책을 수립하지 않으면 공사에 큰 영향을 줄뿐만 아니라 인적, 물적으로 큰 피해를 일으킬 수 있기 때문이다. 재해 영향 요인에 대한 평가는 안전 담당자가 각 공정별 잠재된 위험에 관해서는 FMEA시트를 이용하여 각 요소별 위험요소에 대하여 확인할 수 있도록 한다. 건설재해는 동일한 재해의 발생 빈도가 높기 때문에 위험요소가 큰 부분에 대하여 중점적인 관리가 필요하다.

(2) 평가척도

일반적으로 FMEA에서 사용하는 빈도, 강도, 영향도는 본 연구에 적용하기에는 무리가 있으므로 건설재해 평가에 기준이 될 만한 공정별 재해요인에 대한 평가도는 발생빈도, 발생강도, 치명도를 사용하여 평가한다. 빈도, 강도, 치명도의 평가 척도는 노동부의 건설업종 위험도 평가 작성방법(안)⁴⁾중 위험도 계산 및 평가방법(예시)을 참조하여 적용하였다. 본 연구에서 제안하는 재해 위험에 대한 구체적인 평가척도는 다음과 같다.

① 발생빈도

발생빈도는 잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 높은지를 평가하는 것이다. 빈도의 평가 척도는 표 1과 같다.

표 1. 발생 빈도

강도 구분	강도 수준	내용
가능성 거의 없음	1	10년 1회 정도 발생할 경우
가능성 낮음	2	3년 1회 정도 발생할 경우
가능성 있음	3	1년 1회 정도 발생할 경우
가능성 높음	4	1개월 1회 정도 발생할 경우
빈번함	5	1일 1회 정도 발생할 경우

② 발생강도

4) 노사가 함께하는 위험성평가 길라잡이 2006. 3. 노동부

발생강도는 재해 발생시, 예상되는 인적피해에 관해 평가하는 것이다. 건설재해는 발생 시에 물적 피해보다는 인적피해에 대해 더욱 중요시하기 때문에 인적피해에 관하여 중점적으로 관리할 필요가 있다. 인적피해의 분류기준은 산업안전관리공단의 재해통계 수치를 참조하여 분류하였다. 강도의 평가 척도는 표 2와 같다.

표 2. 발생강도

강도 구분	강도 수준	내용
영향 없음	1	재해로 인한 인적손실이 없는 경우
재해로 인한 근로손실	2	일주일 이내의 요양이 필요
재해로 인한 근로손실	3	8일 ~ 28일 이내의 요양이 필요
재해로 인한 근로손실	4	29일 ~ 180일 이내의 요양이 필요
재해로 인한 근로손실	5	6개월 이상의 요양이 필요
중대재해	6	사망 또는 노동력 상실재해를 가져오는 치명적인 재해인 경우

③ 치명도

치명도는 재해 발생시, 발생한 재해로 인하여 공사의 진척에 영향을 주는 정도를 평가한다. 재해발생 시 강도는 작더라도 공사 진행에 큰 영향을 미치는 요인은 중점 관리되어야 한다. 치명도의 평가 척도는 표 3과 같다.

표 3. 치명도

치명도 구분	치명도 수준	내용
무시할 수 있는 수준	1	현재 상태로 계속작업가능
상당한 위험	2	위험이 없으면 작업을 계속하되, 위험감소활동을 실시하여야 함
허용불가	3	즉시 작업을 중지하여야함

④ RPN

RPN은 발생빈도, 발생강도, 치명도 값의 곱이다. RPN 값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감하기 위한 대책마련 노력이 필요하며 RPN값을 도출함으로써 중점관리 대상의 신뢰성을 확보하고 잠재된 위험값을 수치화하여 정량적으로 확인할 수 있다.

3.3 FMEA를 활용한 평가프로세스

그림 2은 본 연구에서 제안하는 FMEA를 활용한 프로세스를 도식한 그림이다.

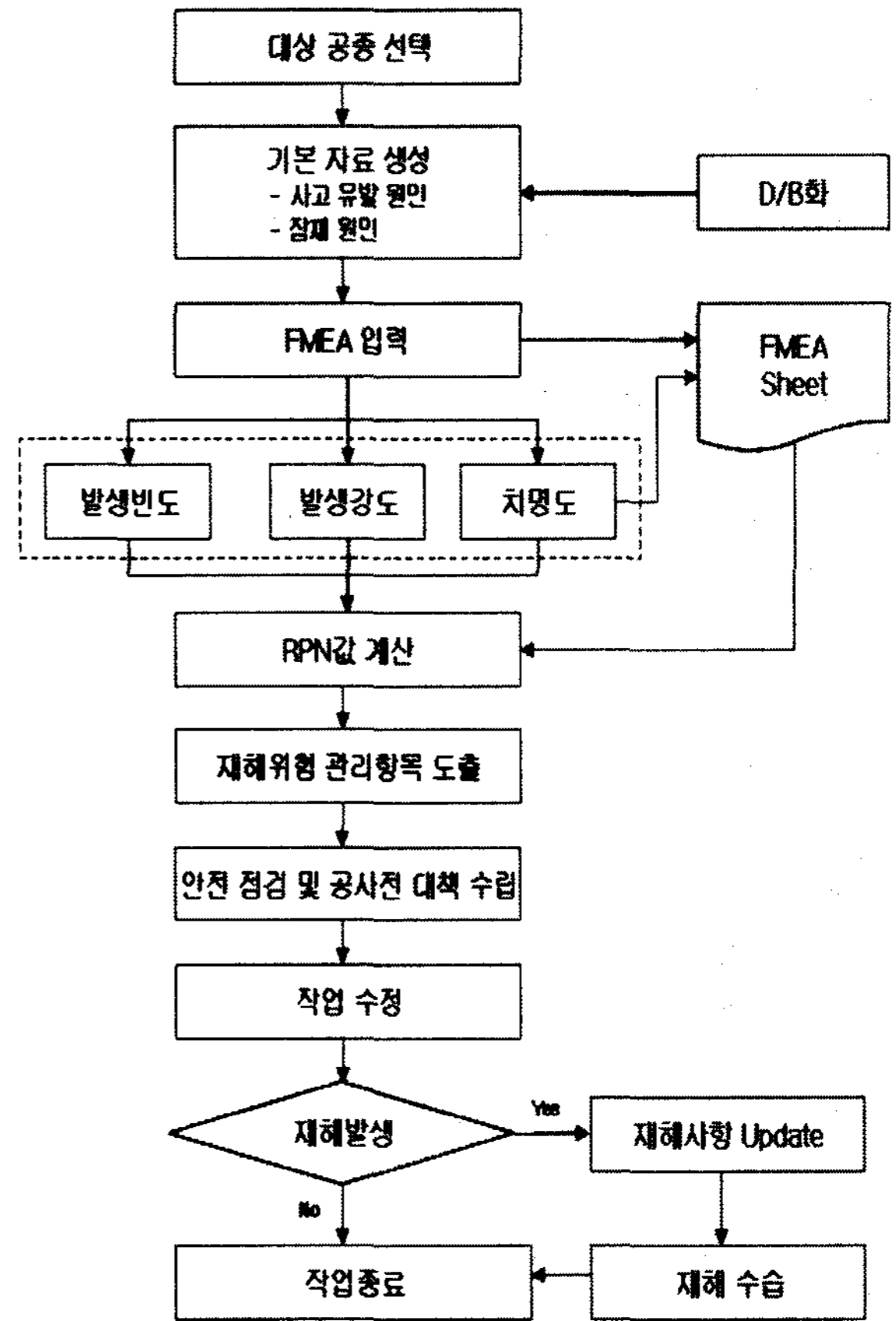


그림 2. FMEA를 활용한 관리 프로세스

FMEA를 적용하는 목적은 재해 영향요인을 평가하고 평가한 내용의 신뢰도를 검증하는데 있다. FMEA의 활용 순서 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 공사수행 전 대상 공종을 선정한다.
- (2) 선정된 작업 리스트에 사고 유발 원인 및 잠재적 위험을 도출해 낸다. 이 때 사용자에게 따라 기존의 D/B 준비되어 있는 경우에는 기존자료를 이용하여 좀 더 쉽게 각 요소를 도출 할 수 있겠다.
- (3) 생성된 기본 자료를 바탕으로 FMEA시트를 작성한다.
- (4) 각각의 작업별 재해발생의 발생빈도, 발생강도, 치명도를 평가한다.
- (4) RPN을 값을 도출한 후, RPN값이 높은 요인은 재해가 일어날 확률이 높은 요소이므로 중점 관리하여 재해 발생 방지를 위해 노력 한다.
- (5) 재해 위험 중점 관리항목을 도출한 후 재해요인에 대해 충분한 사전대책을 세운다.
- (6) 작업 완료 후 재해가 발생하였을 경우 재해사항을 update 하여 이후의 작업 시 사용 할 수 있도록 한다.

그림 3은 FMEA를 적용하기 위한 시트의 기본 틀을 구

성해 보았다.

4.2 철골공사 중 FMEA시트 작성 예

그림 3. FMEA 시트의 예

4. 철골공사에서 FMEA적용 사례

4.1 사례 연구 개요

본 연구에서는 FMEA의 실제 적용을 위해 건설 공사 중 중대재해가 가장 많이 일어나는 공사 중 하나인 철골 공사를 선정, 산업안전관리공단의 건설재해 자료를 분석하였다. 철골 공사를 공사 위치별로 분류한 결과 보 작업 시에 29.3%(46건)을 기록하여 가장 많은 재해가 일어난 것으로 나타났으며, 그 다음이 가설설비에서 19.1%(24건), 기둥 12.1%(19건), 지붕 10.8%(15건) 순으로 나타났다. 또 보 작업을 인양, 이동, 설치 3가지로 분류하고 이중 보 작업 중 이동시에 일어난 재해를 대상으로 하였다.

그림 4은 실제로 FMEA 시트를 작성한 예이다. 그림 3에 나오는 숫자 ①-⑥에 대한 세부 내용에 대한 각각의 작성 순서의 세부내용은 다음과 같다,

- ① 산업안전 관리 공단의 기존의 사례분석을 통하여 철골 공사를 공정별 작업으로 분류한 후 보의 이동 작업을 예를 들어 작성한다.
- ② 보의 이동작업 중의 사고유발 원인에 대해 파악하고 잠재적인 위험 요소에 대해 도출하여 각각의 유발 원인과 잠재적 위험에 대하여 작성한다.
- ③ 각 위험요소별 발생빈도, 발생강도, 치명도를 3.2의 평가척도를 기준으로 하여 각각의 값을 평가한다.
- ④ 발생빈도, 발생강도, 치명도를 곱하여 RPN값을 산출하고 RPN 값이 높은 순서대로 정렬하여 보의 이동작업 중에 중점적으로 관리 되어할 위험요소들을 확인한다.
- ⑤ 각각의 위험요소에 대한 예방 대책을 작성하고 안전관리 활동을 시행한다. RPN값이 높은 요소에 대해서는 중점적으로 관리하여 안전사고를 사전에 방지하도록 한다.
- ⑥ 작업완료 후 기존의 시트를 활용하여 새로 도출된 사고 유발 원인이나 잠재적 위험들을 적용하여 조치 후에 빈도, 강도, 영향도 수치를 평가하여 새로운 RPN값을 도출해 낸다. 새로운 자료는 데이터베이스 자료로 활용 할 수 있게 자료의 저장 및 갱신한다.

위의 예시는 산업관리공단의 중대재해 사례를 기초로 하여 도출된 자료이므로 중대재해 사례 자체가 인적피해가 사망인 경우를 다루고 있어서 발생강도 및 치명도가 높은

작업번호	작업명	② 사고유발 원인	② 잠재적 위험	③ 발생빈도	③ 발생강도	③ 치명도	④ RPN	⑤ 재해 예방 대책
C5	보의 이동작업	근로자 안전의식 결여 관리감독 소홀 추락방지망 미설치 안전대 미착용 추락방지용 방망 불량 안전대 부착설비 미설치 작업장의 위험요인 파악 미흡 작업통로 미설치 작업방편 미설치 작업통제 및 신호방법 불량 개인보호구 미지급, 미착용	안전사고로 인한 인적피해 폭한적 사고 발생 우려 추락사고 작업중 추락사고 추락사고 작업중 추락사고 작업중 추락사고 작업중 추락사고 이동중 추락사고 작업지연 및 사고발생 우려 작업중 상해 및 사망	4 3 3 3 2 2 2 2 2 1 1	4 4 3 4 4 4 4 4 4 4 4	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	48 36 36 36 24 24 24 24 24 12 9	근로자 교육시간 준수 및 교육 철저 책임 감독관 지정 및 작업장 순찰 실시 설치장소 확인 및 설치여부 확인 안전대 착용 철저 추락방지용 방망을 매층 중간에 설치 실제 장소 순찰 및 확인 담당자에 의한 작업장 사전정리 및 관리 규정된 사항에 맞게 적합하게 설치 감독 규정된 사항에 맞게 적합하게 설치 감독 작업통제 및 신호체계 확립 신규 및 기존 작업자 개인보호구 수시 확인

그림 4. 철골공정 중 보의 이동작업의 FMEA 시트의 예

수치로 나타나기 때문에 RPN값이 대체적으로 높게 나타났다. FMEA 시트를 활용하여 인적 사망사고인 중대재해 사고뿐만 아니라 상황에 따라 상해 및 물적 피해에 관한 사항 또한 적용 시킬 수 있다.

4.3 철골공사 보 이동작업의 분석결과

보의 이동작업 중의 사고 유발 원인 및 잠재적 위험요소 및 잠재적 위험을 분석해 본 결과 근로자의 안전의식 결여가 RPN값이 48로 가장 큰 위험 요소로 나타났고, 관리감독 소홀, 추락 방지망 미설치, 안전대 미착용이 RPN값이 36으로 나타났다. 위의 4가지 항목은 다른 요소들 보다 상대적으로 RPN값이 높은 작업이므로 이는 작업 중 중점적으로 관리해야할 필요성 있다는 것을 RPN값을 통해 수치적으로 알 수 있다.

5. 결론

건설업은 타 산업에 비해 강도율이 높고 사고 발생 시 대형사고로 연결될 가능성도 높으며 피해규모가 크고 치명적이다. 또한 중대재해는 반복적으로 같은 공종에서 일어나는 반복재해이다. 그러므로 사고를 사전에 예방하고 관리하는 체계적인 시스템의 확보가 필요하므로 기존의 체크리스트의 단순한 항목점검의 수준이 아닌 체계적이고 과학적인 안전관리 시스템이 필요하다.

본 연구에서 철골공정의 재해요소 및 대책을 분석하고 FMEA시트를 활용한 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 산업안전관리 공단의 2740개의 중대재해사례를 분석하여 그 중 철골공사의 재해 형태를 재해발생빈도, 재해 발생 형태, 재해발생 대책 등으로 분석한 결과 특정한 요소에서 재해발생, 반복 재해 등 예전 사고 사례가 안전 관리 시 중요한 대상이 된다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 건설업에서 재해예방에 필요한 정보원은 많으나 집약되지 않고 개별로 분산되어 있어 건설작업 수행과정과 연계되어 활용의 어려움이 있어, 실제 FMEA시트에 활용하기 위해 정보를 집약하는 작업을 거쳤다.
- (3) 산업안전관리공단의 중대재해 사례를 기준으로 FMEA

시트를 작성하여 RPN값을 도출해 본 결과 작업 중 위험 요소에 따라 중요도 값이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 중요도가 높은 요소에 중점적 관리가 필요함을 알 수 있었다.

(4) FMEA를 활용한 안전관리 시스템을 사용하여 작업 시 점검사항 및 중요도 신뢰성 평가를 하였고, 결과물을 통해 기존의 점검요소적인 제한적 활동에서 보다 능동적이고 발전적인 관리 시스템을 제안하였다.

본 연구를 진행함에 있어 기존의 재해 사례 분석을 토대로 하여 철골공사 안전관리에 대해 FMEA시트를 적용하여 관리를 할 수 있는 시스템을 만들어보았다. 건설 재해는 특정한 작업에서만 일어나는 것이 아니라 건설공사 전체적으로 많은 위험요소들을 가지고 있다. 그러므로 철골공사 뿐만 아니라 다른 공정에서도 FMEA를 적용하여 전체적인 안전관리 통합 시스템 구축에 관한 연구가 되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 고성식, 송 혁, 이한민(2005). 재해사례와 위험도 지수를 활용한 건축공사 안전정보 시스템 개발.
2. 김동춘, 김화중(2001). 철골공사 중대재해 분석을 통한 위험 평가 방법에 관한 연구.
3. 김동춘, 김화중(2001). 건설공사 재해정보 분석을 위한 고 발생 분류체계의 방안.
4. 김윤성(2002). 건설업에서의 시공FMEA적용 방안 연구.
5. 양용철, 최훈, 김재준(2004). 건설공사 안전사고 예방을 위한 안전관리 체크리스트 개선과 공정관리와의 연계 운영 방법.
6. 이상용(2005) 형설출판사. 신뢰성공학.
7. 한국산업안전공단(1992~2006.4) 건설 중대재해 사례와 대책.
8. 한동일, 윤대권, 정재영(2005). 건설공사 안전점검 현황과 발전 방안에 관한 연구
9. 홍영탁, 유정호, 임경호, 이현수(2004). FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가
10. 홍정석, 배대권, 김재준(2005). 건설현장 안전관리 성공요인 분석을 통한 안전관리 활동 개선방안.
11. 홍현석, 여성진, 정영훈, 김창덕(2004). 철골공사 재해다발 공정의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구.

Abstract

For advanced construction safety, there frequently are repeated accident. Most of them are serious disasters which are continually concerned. But technical method of Safety organizations for construction project is still short, simple and unscientific. We suggest FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) process on the safety management. The purpose of study is an establishment of safety system focused on scientific method by selecting priority unit and by figuring importance.

Keywords : FMEA, BEAM, PRIORITY SAFETY UNIT