

# FMEA기법을 통한 초고층 금속 커튼월 공사의 품질 결함 중요도 분석

## A Study on the Priority Analysis of Ultra-high building Steel Curtainwall Work using FMEA

장인혁\*      유정호\*\*

Jang, In-Hyuk, Yu, Jung-Ho

### 요 약

건설산업의 대형화, 초고층화에 따른 커튼월 공사의 확산과 보편화에 따라 건설 프로젝트의 수행과정 중 수반되는 커튼월 공사의 품질결함과 같은 불확실성 리스크 요소는 프로젝트의 공기증가, 비용상승으로 이어지며 프로젝트의 성패에 영향을 미치는 중요한 관리요소로 간주되고 있습니다. 초고층 프로젝트 커튼월 공사 수행시, 공정지연 및 공사비용 초에 미치는 커튼월 공사 품질 하자 요인은 분석하고 이를 관리하는 것은 건설사업의 확실성을 높일 뿐만 아니라 경쟁력을 높이는 방법이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 품질 결함 요인의 효율적인 관리를 위해서는 각 항목간 정량적 분석방법에 의한 우선순위를 산정하여 해당 결함별로 중점관리하는 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 커튼월 공사를 대상으로 프로젝트 전 단계의 품질 결함 요인을 파악하고, FMEA를 활용한 품질결함 요인 중요도의 정량적 수치화를 통하여 결함 요인을 효과적으로 제거하고 관리할 수 있도록 중점관리항목을 제시함으로써 원활한 공사를 위한 기초적 자료를 제공하였다.

키워드 : 초고층, 커튼월공사, 품질결함 요인, FMEA

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 해외뿐만 아니라 국내에도 신축되고 있는 건축물은 대형화, 복잡화, 초고층화 되고 해당지역 랜드마크(Land Mark)적인 상징물로 자리매김하고 있다. 이러한 초고층 건물 외장공법에는 공기단축 및 시공의 단순화를 위해 커튼월 공사가 가장 많이 사용되며 비용 측면, 전체 프로젝트 비용의 약10~15%를 차지하여 타 공종에 비하여 상대적으로 공사비 비율이 높고 공정 관리 측면에서도 주 공종(Critical Path)상에 위치하고 있다. 그렇기 때문에 커튼월 공사관리는 전체 프로젝트의 성사와 이익에 큰 영향을 미치고 있다.

또한 건설 프로젝트는 어느 산업 분야보다 리스크가 내재되어 있어 건설사업과정에서 발생하는 불확실한 요인을 예측하고 미리 대처함으로써 프로젝트의 성과와 시대가치를 최대화하고자 한다. 특히 초고층건축물과 같은 대형프로젝트에 커튼월 공사에서는 최소의 공기와 원가가 요구되기

때문에 일반 프로젝트에 비해 다양한 품질 결함 요인을 내포하고 있다. 하지만 공사참여자들이 품질 결함 관리의 중요성에 대해 공감하고 있음에도 불구하고 건설 현장에서 효율적인 품질 결함 관리가 이루어지지 못한 것은 공사 참여자들이 경험과 직관에 의존하여 관리하고 있기 때문이며 품질 결함에 대한 체계적인 사전예측과 관리 프로세스가 필요하다.

따라서 본 연구는 초고층 커튼월 공사의 설계부터 시공까지의 전 단계의 품질 결함 요인의 중요도와 발생빈도를 확인, 분석하여 각각의 단계에서의 결함 인자를 전문가의 의견을 거쳐 도출해내고 그에 따른 대응방안을 수립하여 결함 발생에 따른 커튼월 품질 하자를 최소화하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초고층 커튼월 공사의 설계부터 시공까지 전 단계에서 발생한 품질 결함 요인들을 기존 문헌 고찰 및 인터뷰를 통해 파악하고, 커튼월 공사의 품질 결함이 전체 프로젝트의 품질관리에 얼마나 영향을 미치는지 FMEA기법을 사용하여 정량화 시키고자 한다. 본 연구의 주요 내용과 수행방법은 다음과 같다.

\* 광운대학교 건축공학과 학사과정

\*\* 광운대학교 건축공학과 교수

(1) 관련 문헌 주사를 통해 건설업의 결함 및 결함 관리에 대한 조사 및 분석을 실시하였다

(2) 국내외 관련 문헌조사 등을 통해 초고층 커튼월 공사와 관련된 연구 경향에 대해 조사, 분석하였다.

(3) 기존 문헌 분석을 통하여 FMEA기법을 본 연구에 적용함으로써 얻을 수 있는 기대효과를 분석하였다

(4) 문헌분석을 통해 초고층 커튼월 공사의 설계, 조달 및 시공 프로세스와 초고층 커튼월 공사의 품질에 영향을 미치는 결함 요인에 대해 조사하였다

(5) (4)의 프로세스 및 품질 결함 요인에 대하여 국내외 초고층 커튼월 공사 전문가들의 검토를 통하여 수정, 보완하여 결함 분류 체계를 확립하였다.

(6) FMEA 기법을 이용한 결함 요인 평가와 프로세스를 제시하고 평가 방법 및 척도를 정의하였다.

(7) 초고층 커튼월 공사의 품질 결함 요인이 프로젝트 전체의 품질하자에 미치는 영향을 분석하고 핵심 품질 결함 요인을 도출하였다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 연구 고찰

#### 2.1.1 초고층 건축물 커튼월

‘건축법 시행령 제 2조 18’에 의하면 초고층 건물은 높이 200m 이상 또는 50층 이상인 건축물(고층 건축물-120m 이상 또는 30층 이상인 건축물)을 말한다. 초고층건축물은 마천루(摩天樓)라고도 일컬으며, 세계의 대도시들은 도시 경쟁력 강화, 도시 이미지 향상 및 경제 활성화 등을 위하여 랜드마크로서 초고층건축물 건설을 활발히 진행 중이다. 국내 대표적인 건물로는 롯데타워(666m, 지상123층/지하6층), 동북아무역센터(305m, 지상68층/지하3층)이 있으며, 현재 해운대LCT더샵(411m, 101층/지하4층), 여의도 PARC.1(333m, 69층/지하 7층) 이 시공 중이다.

#### 2.1.2 품질 결함

전통적인 OR(Operations Research) 이론에 의하면 결함(Risk)는 의사결정의 몇몇 요소들이 가변적이지만 그 변화의 정도가 알려진 상황으로 정의된다. 현재까지 여러 연구 문헌을 통하여 표현된 품질 결함의 정의가 미흡한 실정이며, 커튼월 공사와 관련된 품질 결함에 대한 개념도 새로이 정립할 필요가 있어 본 연구에서의 품질 결함 정의는 다음과 같다.

품질 결함(Quality Risk)란 제조업을 포함한 건설산업 분야 등에서 추진되고 있는 여러 가지 프로젝트의 규모와 특성, 품질준수의 요건과 기준, 제작기술 및 관리 조직의 구성 그리고 법적제한 사항, 제작기술 및 관리조직의 구성,

그리고 법적 제한 사항, 자금조달 여부 등의 사전 검토 부족과 작업관리 경험의 부족 등으로 인하여 요구되는 목표 품질에 부정적인 영향을 미쳐서 나타난 상황이나 예측된 결과로 이어진 사건을 말한다.

#### 2.1.3 초고층 커튼월 공사의 품질 결함

초고층 커튼월 공사의 품질 결함은 커튼월 공사의 설계 단계에서부터 계약, 공사 착공 전 단계 및 공장 제작 그리고 현장 설치 단계에 이르기 까지 공사 수행 전 과정에 잠재되어 있는 여러 요인들로 인해 발생하는 각종 품질 하자나 품질 부적합, 재시공과 같이 해당 공사의 공사기간이나 공사 비용 등의 나쁜 영향을 미칠 수 있는 결과로서 그 발생 가능성은 불확실 하지만 발생 시의 파급 효과는 어느정도 예측가능한 상황으로 정의 할 수 있다.

초고층 커튼월 공사의 품질 결함은 커튼월 공사의 설계 단계에서부터 계약, 공사 착공 전 단계 및 공장 제작 그리고 현장 설치 단계에 이르기 까지 공사 수행 전 과정에 잠재되어 있는 여러 요인들로 인해 발생하는 각종 품질 하자나 품질 부적합, 재시공과 같이 해당 공사의 공사기간이나 공사 비용 등의 나쁜 영향을 미칠 수 있는 결과로서 그 발생 가능성은 불확실 하지만 발생 시의 파급 효과는 어느정도 예측가능한 상황으로 정의 할 수 있다.

### 2.2 초고층 커튼월 공사에서의 FMEA 적용의의

FMEA기법은 제조업에서 발생가능성이 있는 하자 형태를 사전에 파악하고 고객에게 미칠 고장 발생 요인을 우선 순위별로 제거하기 위해 사용되는 기법이다. 현장 엔지니어들의 직접적인 경험을 체계적으로 정리할 수 있는 방법을 제시하고자 하는데 목적이 있다. 이 기법은 주로 제조공정에서 고객의 요구사항을 만족하는데 결림돌이 될 수 있는 고장(불량)형태를 모두 명시하여 영향도를 평가하고, 특정한 원인에 대한 위험 요소를 추정하여 고장 발생의 원인을 제거하기 위한 관리 방법이다. 또한, 공정의 개선을 위해 조치 내용의 우선순위를 정하고 지속적으로 유지관리를 위해 관리항목을 도출하여 관리한다(정지덕 2011) 이러한 FMEA기법은 전설분야에서 결함이 발생할 수 있는 할 수 있는 피해정도(영향도)의 범위를 파악함으로써 분석 및 적용이 가능하다(이현철 2009). 또한 품질 등의 관리를 위한 수단으로 활용될 수 있는데 효율적인 공사수행을 위한 핵심적인 개선조치를 실행할 수 있는 요인의 파악이 가능하고, 대형 프로젝트를 수행하기 이전에 내재된 위험요소에 대한 평가를 통해 공사의 품질개선의 큰 도움이 될 수 있다.

따라서, FMEA 기법은 품질하자를 초래하는 다양한 원인에 대한 품질 결함을 하자 발생빈도와 영향도로 구분하여 정

량적 평가가 가능하며, 이를 통해 품질하자를 유발하는 핵심 결합 요인 선정이 가능하다.

### 3. FMEA를 활용한 위험도 평가 방안

제품의 잠재된 위험요인에 의해 고장이 발생할 수 있는 빈도, 치명도, 영향도를 평가하여 세 요소의 곱을 통하여 위험의 우선순위를 평가하는 방법이다. FMEA는 일반적으로 제조업에서 제품의 잠재된 결함을 평가하기 위해 사용되고 있으며, 본 연구에서는 프로젝트 전 단계를 대상으로 품질결함을 평가하기 때문에 일반적인 FMEA기법을 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 일반적인 FMEA에서 제품의 고장이 발견될 가능성을 평가하는 검출도 대신 재해가 발생하였을 경우 공사진행에 영향을 미치는 정도를 평가하는 검출도 대신 품질결함이 발생하였을 경우 공사 진행에 영향을 미치는 정도를 평가하는 평가척도로 사용한다. 빈도, 치명도, 영향도의 평가 척도는 노동부의 건설업종 평가 작성방법 중 '위험도 계산 및 평가 방법'을 참조하여 적용하였다. 본 연구에서 제안하는 재해 위험에 대한 구체적인 평가 척도는 다음과 같다

#### (1) 빈도

빈도는 잠재된 위험의 발생가능성이 얼마나 높은지를 평가하는 것이다. 빈도의 평가 척도는 <표 1>과 같다.

|          |                   |          |     |
|----------|-------------------|----------|-----|
| 발생 빈도    | 잠재된 위험요인이 발생하는 빈도 | . 거의 없다. | 1   |
|          |                   | . 낮다.    | 2-3 |
|          |                   | . 보통이다.  | 4-5 |
|          |                   | . 높다.    | 6-7 |
|          |                   | . 아주 높다. | 8-9 |
| . 필연적이다. | 10                |          |     |

<표 1>

#### (2) 영향도

영향도는 결함 발생시, 발생된 결함으로 인하여 해당 건물의 품질에 있어 영향을 주는 정도를 평가한다. 또한 커튼월 공사의 품질 결함시에는 누수, 기밀, 결로 등의 큰 문제가 될 수 있다. 결함 발생 시 강도는 작더라도 공사 품질 측면에 큰 영향을 미치는 요인은 중점관리 되어야한다. 영향도의 평가척도는 표2와같다.

|              |                                      |                  |     |
|--------------|--------------------------------------|------------------|-----|
| 영향도          | 커튼월 공사 품질 결함 요인이 공사전반 품질에 영향을 끼치는 정도 | . 조치하지 않아도 문제없다. | 1   |
|              |                                      | . 낮다.            | 2-3 |
|              |                                      | . 보통이다.          | 4-5 |
|              |                                      | . 크다.            | 6-7 |
|              |                                      | . 매우 크다.         | 8-9 |
| . 필히 조치해야한다. | 10                                   |                  |     |

<표 2>

#### (3) 치명도

발생강도는 품질 결함 발생시, 예상되는 공기지연, 공사금액 상승에 관해 평가하는 것이다. 결함 발생시, 후속공종 및 자재 공급 등의 다양한 원인으로 하자 보수를 위한 시

간과 공사 금액 상승의 피해가 되기 때문에 중점적으로 관리할 필요가 있다. 발생 강도의 평가척도는 표3와 같다.

|                 |                                |                |
|-----------------|--------------------------------|----------------|
| 치명도             | 품질 결함을 만회하기 위한 공사기간 및 비용 상승 정도 | . 발생없이 만회가능하다. |
|                 |                                | . 낮다.          |
|                 |                                | . 보통이다.        |
|                 |                                | . 크다.          |
|                 |                                | . 매우 크다.       |
| . 만회 가능성이 희박하다. |                                |                |

<표 3>

#### (4) RPN(Risk Priority Number)

RPN은 발생빈도, 영향도, 치명도 값의 곱으로 위험 우선순위를 나타내는 값이다. RPN값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감하기 위한 대책마련노력이 필요하며 RPN값을 도출함으로써 중점관리 대상의 신의성을 확보하고 잠재된 위험값을 수치화 하여 정량적으로 확인할 수 있다.

### 3.2 평가 방법

품질 결함이라는 것은 미리 인지하고 있어도 외기조건, 작업자의 작업 불량 등 다양한 변수로 발생할 수 있기 때문에 충분한 원인 분석을 하지않으면 공사 전체의 품질 뿐만 아니라 공기 지연, 공사금액 상승 등 큰 피해를 일으킬 수 있다. 품질 결함의 원인에 대한 평가는 품질관리 담당자 및 해당공종의 담당자가 발생빈도(O), 위험 발생시 건물 전체의 품질에 영향을 끼치는 정도(영향도), 위험 발생시 공사지연, 공사금액 상승 정도(치명도)를 평가한 후 이를 곱한 RPN값을 계산한다. 각 작업별 위험요소에 대한 RPN값이 높을수록 위험한 요소이므로 중점적으로 관리하도록한다.

### 3.3 FMEA를 활용한 평가 프로세스

FMEA를 적용하는 목적은 작업별 위험요소의 중요도를 평가하고 순위에 따라 우선적 품질관리하는 데 있다. FMEA의 활용 순서 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 계획된 작업의 작업 수행 전 FMEA의 품질결함 분류하여 시트작성을 준비한다.
- (2) 계획된 작업의 분류된 품질 결함의 세부적인원인을 도출한다. 이때 기존 참고 문헌이 있는 경우에는 기존 자료를 이용하여 좀 더 쉽게 각 요소를 정리할 수 있다.
- (3) 전문가와 기존자료를 바탕으로 품질결함 관련FMEA 분류체계를 작성한다.
- (4) 초고층 커튼월 공사 품질 결함 원인 요소관련FMEA 분류체계 빈도, 치명도, 영향도를 평가, RPN값을 도출한다.
- (5) RPN값이 높은 결함요인에 대해 충분한 사전대책을 세우고, 중점관리하여 재해 발생 방지를 위해 노력한다.

#### 4. 설문 조사 및 품질 결함 요인 중요도 선정

본 연구에서는 작업지연 및 공사비용 초과 위험을 줄이기 위한 목적으로 커튼월 공사의 잠재된 작업 결함 요소를 도출하기 위하여, 설계부터 시공까지의 단계에서 위험 요인을 분류하였다. 이러한 분류체계는 커튼월 공사의 품질 결함에 관한 문헌 고찰과 함께 커튼월 공사의 전문가에게 문의하여 작성하였으며 크게 설계, 공장 제작시, 현장시공시에 발생하는 문제점으로 분류하였다.

##### 4.1 설문 조사 및 품질 결함 요인 중요도 선정

본 절에서는 초고층 커튼월 공사의 리스크 요인이 공기 지연과 공사비 초과에 미치는 영향 정도에 대한 설문조사를 FMEA기법을 이용하여 분석하였다. 표 4에 기재된 빈도, 영향도, 치명도는 응답자 전체의 평균값이며, RPN은 응답자 각각의 RPN을 산출한 뒤 이에 대한 평균값을 산출하였다.

| 초고층 커튼월 공사의 품질 결함 요인 분류 체계        |     | 빈도  | 영향도 | 치명도 | RPN | 중요도<br>분류 |    |
|-----------------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----------|----|
| <b>A00. 설계단계 발생하는 문제점</b>         |     |   |     |     |     |           |    |
| A10. 설계시                          | A11 | 스탠드오프 구간 온도차폭로 인한 결로                                  | 35  | 6   | 7.4 | 155.40    | 7  |
|                                   | A12 | 프린셜 핵부재(카운터박스부위), 달리인 실내면 결로                          | 45  | 6.7 | 5.1 | 244.22    | 2  |
|                                   | A13 | 실내 유리면 결로발생   | 25  | 8   | 9.6 | 192.00    | 6  |
|                                   | A14 | 알루미늄 시트, 스탠드오프 윈드네 Cold Bridge                        | 36  | 6.4 | 5.5 | 195.84    | 5  |
|                                   | A15 | 골조와 커튼월의 접합부 누수(단열)                                   | 35  | 8.9 | 7.5 | 233.63    | 4  |
|                                   | A16 | 유리코팅유리의 열계  | 45  | 6.3 | 5.4 | 238.14    | 3  |
|                                   | A18 | 유리 ROLLER WAVE  | 13  | 8.1 | 7.1 | 74.76     | 18 |
| <b>B00. 원자재 및 공장 제작시 발생하는 문제점</b> |     |   |     |     |     |           |    |
| B10. 원자재 제작시                      | B11 | 일류미늄 입출 불량  | 8   | 3.1 | 2.3 | 57.04     | 20 |
|                                   | B12 | ALUM. FRAME 표면 이물질로 인한 도장 불량                          | 6.7 | 2.3 | 2.2 | 33.90     | 25 |
|                                   | B13 | 폴리우레탄(Polyurethane) 충전 불량                             | 4.6 | 4.5 | 5.4 | 111.78    | 12 |
|                                   | B14 | 복층 유리 단차 및 부수계 노출                                     | 2.2 | 4.7 | 5.6 | 57.90     | 19 |
| B20. 공장 제작시                       | B21 | Frame 가공 및 제작 불량                                      | 4.4 | 2.5 | 2.1 | 23.10     | 28 |
|                                   | B22 | EDGE GASKET 제작 및 설치 불량                                | 2.5 | 4.1 | 4.4 | 45.10     | 24 |
|                                   | B23 | 2축형 구조살판트 내장 및 접착불량                                   | 1.4 | 4.5 | 3.3 | 20.79     | 31 |
|                                   | B24 | 핵자를 용접처리 불량(용접길이 미확보, 용접부 처리 미흡)                      | 7.6 | 6.3 | 2.4 | 114.97    | 11 |
|                                   | B25 | EDGE BLUSHING 현상(살판트와 접합물질이 화학적 반응을 일으킴)              | 1.4 | 5.1 | 3.1 | 22.13     | 30 |
|                                   | B26 | 복층 유리 간섭의 제작 및 생산관리 불량                                | 1.3 | 4.1 | 4.7 | 25.05     | 29 |
| <b>C00. 현장시공시 발생하는 문제점</b>        |     |   |     |     |     |           |    |
| C10. 현장시공시 (구조계 측면)               | C11 | 현장 가공에 의한 Bracket 단면적 축소                              | 5.1 | 3.6 | 5.1 | 93.64     | 15 |
|                                   | C12 | 설계 오류 및 변경으로 인한 Anchor, Kicker, Fastener 설치 부적합       | 5.4 | 3.4 | 4.1 | 75.28     | 17 |
|                                   | C13 | 골조 시공오차에 의한 Anchor, Kicker, Fastener 설치 부적합           | 7.1 | 2.4 | 3   | 51.12     | 21 |
|                                   | C14 | Embedded Anchor와 Bracket 연결부 시공상태 부적합                 | 5.4 | 3.7 | 2.4 | 47.95     | 22 |
|                                   | C15 | Anchor, Kicker, Fastener부 용접처리 누락(용접결함 및 길이부족, 이음재사용) | 8.7 | 5.6 | 2.8 | 136.42    | 8  |
|                                   | C16 | 확장형 Anchor 직각도 및 용접 길이, Bolt 길이 부족                    | 2.5 | 5.1 | 3.7 | 47.18     | 23 |
| C20. 현장시공시 (기타)                   | C21 | 프린셜 조인트를 통한 누수  | 2.1 | 7.8 | 8.1 | 132.68    | 9  |
|                                   | C22 | 골레이징 여압타 부위를 통한 누수                                    | 2.3 | 6.8 | 7.5 | 117.30    | 10 |
|                                   | C23 | 달리인(수직재)과 프린셜(수평재)의 접합부에서 누수 발생                       | 3.4 | 4.5 | 6.8 | 104.04    | 13 |
|                                   | C24 | 조인트 살판트 두께미달로 인한 내부누수                                 | 2.6 | 3.6 | 3.1 | 29.62     | 27 |
|                                   | C25 | 유니트 시스템 연도열 물리미트를 통한 누수                               | 3.1 | 4.1 | 7.5 | 95.33     | 14 |
|                                   | C26 | 스틸 프레임 단열 미흡으로 인한 열로 발생                               | 2.5 | 5.1 | 2.3 | 29.33     | 26 |
|                                   | C27 | 다내설 물 상일상태 부착(1)단열재 고정용 Foil 테일 훼손에 의한 단열재 노출 및 유수노   | 6.4 | 3.1 | 3.9 | 77.38     | 16 |
|                                   | C31 | 일주 후 대량한 응인(기동 축소현상 등)로 인한 유리 파손, 및 강화 유리 치과          | 5.1 | 7.1 | 6.7 | 242.61    | 2  |

< 표 4 >

#### 5. 결론

본 연구의 중요도 분석을 통해 중점적으로 관리해야 하는 커튼월 공사 품질 결함 요인은 다음과 같다

##### (1) 단계별 위험우선 순위(RPN)분석

RPN이 가장 높은 단계는 'A00 : 건축설계 단계'로, 내재되어 있는 리스크 요인들의 발생 빈도가 상대적으로 낮음에도 불구하고 공기지연, 공사비용 상승에 대한 치명도가 가장 높아 우선적으로 관리되어야 하는 단계임을 알 수 있다. 또한 후행단계로 갈수록 RPN이 점진적으로 낮아지고 있어 설계단계부터 우선적으로 리스크요인을 저감시켜야 함을 알 수 있다.

##### (2) 결함 종류 별 위험우선순위(RPN)분석

초고층 공사의 결로, 누수, 변위로 인한 유리깨짐 등 다양한 결함 중 누수의 RPN이 가장 높게 측정되었다. 누수 결함에 내재되어있는 문제점들이 빈도수가 가장 높게 나왔으며 영향도, 치명도가 가장 크게 조사되었다. 따라서 누수 관련 결함 등을 중점적으로 관리하여야함을 알 수 있다.

#### 참고문헌

윤석민 (2015). FMEA기법을 이용한 설계시공일괄방식 주요 클레임 요인 도출  
 김홍현(2006). FMEA기법을 활용한 크레인 관련 중대 재해의 정량적 분석에 관한 연구  
 이유미(2011), FMEA 기법을 이용한 초고층 커튼월 공사의 공기지연 관련 핵심 리스크 요인 분석  
 홍영탁(2004), FMEA 기법을 이용한 건축시공의 공기영향 요인 평가  
 이현철(2009), FMEA를 활용한 철골공사 작업지연 요인의 중요도에 관한 연구  
 유정호(2008), FMEA를 활용한 중점안전관리 항목 도출방안  
 오차돈(2012), FMEA기법을 활용한 공동주택 골조공사의 건설실패 핵심관리 요인