제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발"의 보고서로 제출합니다.

2015. 11. 18.

주관연구기관명 : (주)건우코퍼레이션
주관연구책임자 : 이 중 환
공동연구기관명 : (주)우성디앤씨
공동연구책임자 : 박 영 빈
공동연구기관명 : 유니콘스(주)
공동연구책임자 : 조 효 남

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12첨단도시
D12</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2014. 09. 19~
2015. 11. 18</td><td>단계구분</td><td>3 / 3</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연구과제명</td><td>최상위
과제명</td><td colspan="4">기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단위과제명</td><td colspan="4">위험도평가 기법개발</td></tr>
<tr><td colspan="4">상태평가 및 위험도평가 모듈화</td></tr>
<tr><td>연구책임자</td><td>이 중 환</td><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 45명
내부 : 45명
외부 : 0명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 540,000천원
기업 : 360,000천원
계 : 900,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="2">기업부설연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">㈜건우코퍼레이션
㈜우성디앤씨
유니콘스㈜</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : -　　상대국연구기관명 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">본 연구개발과제에서는 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가 방안을 수립하고 지진 시 인명과 재산의 보호에 문제가 없는 동시에 경제적인 설계 및 내진보강방안이 될 수 있는 합리적인 평가기법을 개발하고자 한다.
따라서, 본 연구에서는 기존 내진성능평가에 구조물 및 설비 시설물에 대하여 위험도 평가와 상태평가를 통하여 실질적인 분석이 되도록 하였다. 또한, 이를 SPARC라는 프로그램으로 구성하여 내진보강에 대한 의사결정을 보다 합리적으로 할 수 있도록 하였다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="4">내진성능평가, 위험도평가, 상태평가, 기존건축물, 열화모델</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">Seismic Performance Assessment, Risk Assessment, Condition Evaluation, Existing Building, Degradation Model</td></tr>
</table>

요 약 문

I. 제 목

기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발

II. 연구개발과제 개요

1. 기존 건축물의 지진시 재해영향을 최소화하고 최적내진 보강을 위한 개선된 내진성능평가 기법의 개발
2. 국내외 지진피해 사례조사 및 분석, 연구 및 기술개발 현황 분석을 통해 개선된 내진성능평가 기법을 검토
3. 기존의 내진성능평가 기법에 위험도 및 상태평가 결과를 반영한 개선된 내진성능평가 기법 제시
4. SPARC 프로그램을 통한 개선된 기법의 검증 및 실용화

III. 연구개발 수행내용 및 결과

1. 내진성능평가, 위험도평가, 상태평가에 대한 연구 수행 전략 및 방법론 개발
2. 열화모델을 근간으로 한 상태평가 기법 연구 개발
 - 열화모델을 이용한 구조물 상태등급 산정
 - 과거 이력데이터 및 전문가 설문을 이용한 부재별 열화모델 개발
 - 열화모델을 통한 건축물 강도저하 예측 결과 도출
3. 위험시나리오 모듈에 따른 위험도 평가 기법 연구 개발
 - 위험요소 분석 및 손상/발생확률 평가
 - 지진재해 위험시나리오 구성
 - 위험성평가 및 위험도 평가 결과 도출
4. 용도별, 규모별, 건축시기별에 따른 내진성능평가
 - 철골구조, 철근콘크리트구조 내진성능평가
5. 세부 모델 정립을 통한 프로그램 개발
 - 상태평가 모듈 개발
 - 위험도평가 모듈 개발
6. SPARC프로그램을 통한 통합 시스템 구성
 - 상태평가, 위험도 평가를 통합한 SPARC프로그램 개발
 - 프로그램을 통한 내진성능평가 실무적용

SUMMARY

I. Subject

Seismic Performance Assessment for Existing Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation

II. R&D Projects Overview

1. Development of improved seismic performance evaluation techniques for minimizing the impact of the earthquake disaster and optimal retrofit existing buildings
2. Review case studies and analysis of earthquake damage at home and abroad , improved through research and technology development status analysis of seismic performance evaluation techniques
3. Improved seismic performance evaluation techniques presented reflecting the risk and status assessment on existing seismic performance evaluation techniques
4. Validation and practical use of the improved technique over the SPARC program

III. R&D contents and results

1. Research on seismic performance assessment, risk assessment and condition evaluation carried out development strategies and methodology
2. Condition Evaluation technique based on degradation model
   - Rating state structures calculated using degradation model
   - Development of member degradation model using for past history data and expert survey
   - Building strength reduction predictions derived through a degradation model
3. Risk Assessment scheme according to Risk scenarios
   - Risk element analysis and damages & probability of occurrence assessment
   - Production of risk scenarios for seismic accidents
   - Draw risk assessment and risk assessment results
4. Seismic performance assessement of the purpose, size, terms of construction
   - Seismic performance assessment of steel structures and RC structures
5. Program development through a detailed module sizing

- Development of condition evaluation module
- Development of risk assessment module

6. Integrated system contents for SPARC program
- Development SPARC program for intergrated condition evaluation and risk assessment
- Seismic performance assessment through a program apply in practice

Contents

Chap.1 Research & Development Projects Overview ····· 3
1.1 Overview ····· 3
1.2 The purpose and necessity of R&D ····· 4
1.3 Earthquakes case studies and analysis ····· 5
1.3.1 Domestic case studies and analysis ····· 5
1.3.2 International case studies and analysis ····· 7
1.4 Status of existing research and technical development ····· 20
1.4.1 Domestic status of existing research ····· 20
1.4.2 International status of existing research ····· 20
1.5 Results of R&D excellence and distinction ····· 21

Chap.2 R&D contents and results ····· 23
2.1 How to perform research ····· 23
2.1.1 Seismic Performance assessment ····· 23
2.1.2 Risk Analysis ····· 50
2.1.3 Condition Evaluation Module ····· 79
2.2 Condition Evaluation technique based on degradation model 87
2.2.1 Degradation model for strength reduction prediction of building ····· 87
2.2.2 Major damage to items ····· 92
2.3 Risk Assessment scheme according to Risk scenarios ····· 93
2.3.1 Risk element analysis ····· 93
2.3.2 Damages and probability of occurrence assessment ····· 97
2.3.3 Production of risk scenarios ····· 106

Chap.3 Results of research and Verification Method ····· 117
3.1 Structures condition evaluation calculated using degradation model ····· 117
3.1.1 Reviewing past history data ····· 117
3.1.2 Expert survey ····· 120
3.1.3 Member degradation model ····· 143
3.2 Results of risk assessment ····· 147
3.2.1 Risk assessment(QRA) ····· 147
3.2.2 Risk assessment(PRA) ····· 152
3.3 Seismic performance assessement of the purpose, size, terms of construction ····· 162
3.3.1 Steel structures ····· 162
3.3.2 RC structures(Large buildings) ····· 168
3.3.3 RC structures(Small and medium sized buildings 1/2) ····· 173
3.3.4 RC structures(Small and medium sized buildings 2/2) ····· 178
3.3.5 RC structures(For verification program) ····· 183
3.3.6 Steel structures(For verification program) ····· 188
3.3.7 Comparison of model results for program verification ····· 193
3.4 Program development through a detailed module sizing ···· 195
3.4.1 Program development ····· 195
3.4.2 Development purpose ····· 195
3.4.3 Program contents ····· 195
3.4.4 Program module contents ····· 196
3.4.5 Integrated system contents ····· 203
3.4.6 Practical application and commercialization plans ····· 204
3.5 Database Update Plan ····· 210

Chap.4 The final results of research and applied results ····· 211

4.1 Yearly research result ····· 211
4.1.1 1~2 years ····· 211
4.1.2 3 years(End year) ····· 212
4.2 The final research results overall ····· 213
4.2.1 Journal publication ····· 213
4.2.2 Program registration ····· 214
4.2.3 Technical cooperation & the proposed directive ····· 214
4.3 Application performance & conjugation plan ····· 215

Chap.5 Research objectives and effects ····· 216
5.1 Research and development purposes ····· 216
5.1.1 Research and development last goal ····· 216
5.1.2 Research and development detail goal and attainment ····· 217
5.2 3rd year R&D goals and benchmarks ····· 228
5.3 Effects R&D purposes goal ····· 230
5.3.1 Effects R&D purposes goal ····· 230
5.3.2 R&D purposes goal excellence and differentiation results ····· 231

Chap.6 Research utilization and further research needs ····· 236
6.1 Research utilization ····· 236
6.1.1 In technics of Research utilization ····· 236
6.1.2 In practice of Research utilization ····· 237
6.2 Further research needs ····· 239
6.2.1 Goal of further reserch needs ····· 239
6.2.2 contents of further reserch needs ····· 239

Supplement. A Research Results ····· 241
A.1 Research results aggregation status ····· 241

A.2 Published papers ····· 242
A.2.1 First year ····· 242
A.2.2 Second year ····· 244
A.2.3 Third year ····· 250
A.3 Technology seminar ····· 256
A.3.1 First year ····· 256
A.3.2 Second year ····· 264
A.3.3 Third year ····· 279

Supplement. B SPARC program source code ····· 296

Supplement. C SPARC program manual ····· 363
C.1 Start of program ····· 363
C.2 Select of program module ····· 363
C.3 Enter basic information ····· 364
C.4 Condition Evaluation ····· 368
C.5 Risk Assessment ····· 370
C.6 Calculation of m factor ····· 376

목 차

제 출 문 ····· 1

보고서 요약서 ····· i

요약문 ····· i

영문 요약서 ····· i

영문 목차 ····· i

국문 목차 ····· i

제1장 연구개발과제 개요 ····· 3

1.1 개요 ····· 3

1.2 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 4

1.3 지진피해 사례 조사 및 분석 ····· 5

1.3.1 국내 피해사례 조사 및 분석 ····· 5

1.3.2 해외 피해사례 조사 및 분석 ····· 7

1.4 기존 연구 현황 및 국내외 기술개발 현황 ····· 20

1.4.1 국내 기존 연구 현황 ····· 20

1.4.2 국외 기존 연구 현황 ····· 20

1.5 연구개발결과 우수성 및 차별성 ····· 21

제2장 연구개발 수행내용 및 결과 ····· 23

2.1 연구수행 전략 및 방법론 ····· 23

2.1.1 내진성능평가 ····· 23

2.1.2 위험도 평가 ····· 50

2.1.3 상태평가 모듈 개발 ····· 79
2.2 열화모델을 근간으로 한 상태평가 기법 연구 ····· 87
2.2.1 건축물의 강도저하 예측을 위한 열화모델 ····· 87
2.2.2 주요 변상항목 도출 ····· 92
2.3 위험시나리오 모듈에 따른 위험도평가 기법 연구 ····· 93
2.3.1 위험요소 분석 ····· 93
2.3.2 손상 및 발생확률 평가 ····· 97
2.3.3 위험시나리오 구성 ····· 106

제3장 연구수행결과 및 검증 방법 ····· 117
3.1 열화모델을 이용한 구조물 상태등급 산정 ····· 117
3.1.1 열화모델 개발 방안 ····· 117
3.1.2 과거 이력 데이터 검토 ····· 119
3.1.3 전문가 설문조사 ····· 122
3.1.4 부재별 열화모델 ····· 145
3.2 위험도평가 결과 ····· 148
3.2.1 위험성평가(QRA) ····· 148
3.2.2 위험도평가(PRA) ····· 153
3.3 용도별, 규모별, 건축시기별에 따른 내진성능평가 결과 ····· 163
3.3.1 철골구조 ····· 163
3.3.2 철근콘크리트구조(대형 규모) ····· 169
3.3.3 철근콘크리트구조(중소형 규모1/2) ····· 174
3.3.4 철근콘크리트구조(중소형 규모2/2) ····· 179
3.3.5 철근콘크리트구조 (프로그램 검증용) ····· 184
3.3.6 강구조(프로그램 검증용) ····· 189
3.3.7 프로그램 검증용 모델의 결과 비교 ····· 194
3.4 세부모듈 정립을 통한 프로그램 개발 연구 ····· 196
3.4.1 프로그램의 개발 ····· 196
3.4.2 개발 목적 ····· 196
3.4.3 프로그램의 구성 ····· 196

3.4.4 프로그램 모듈의 구성 ····· 197
3.4.5 통합 시스템의 구성 ····· 204
3.4.6 실용화 및 사업화 방안 ····· 204
3.5 데이터베이스 보완 방안 ····· 210

제4장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 211

4.1 연도별 연구성과 ····· 211

4.1.1 1~2차년도 ····· 211
4.1.2 3차년도 (최종년도) ····· 212
4.2 최종 연구성과 총괄 ····· 213

4.2.1 학술지 게재 ····· 213
4.2.2 프로그램 등록 ····· 214
4.2.3 기술 제휴 및 지침 제안 ····· 214
4.3 적용실적 및 활용계획 ····· 215

제5장 연구목표 달성 및 효과 ····· 216

5.1 연구개발 목표 ····· 216

5.1.1 연구개발 최종목표 ····· 216
5.1.2 연구개발 세부 목표 및 달성 ····· 217
5.2 년도별 연구개발 목표 성과 기준표 ····· 228

5.1.1 1차년도 성과기준표 ····· 228
5.1.2 2차년도 성과기준표 ····· 228
5.1.3 3차년도 성과기준표 ····· 229
5.3 연구개발 목표달성 효과 ····· 230

5.3.1 연구개발 목표달성 효과 ····· 230
5.3.2 연구개발 목표달성 결과 우수성 및 차별성 ····· 231

제6장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 236

6.1 연구성과의 활용 ····· 236
6.1.1 연구성과의 학술적 활용 ····· 236
6.1.2 연구성과의 실무적 활용 ····· 237
6.2 추가연구 필요성 ····· 239
6.2.1 추가연구 방향 ····· 239
6.2.2 추가연구 내용 ····· 239

부록. A 연구성과 ····· 241
A.1 연구성과 집계 현황 ····· 241
A.2 발표논문 ····· 242
A.2.1 1차년도 ····· 242
A.2.2 2차년도 ····· 244
A.2.3 3차년도 ····· 250
A.3 기술세미나 ····· 256
A.3.1 1차년도 ····· 256
A.3.2 2차년도 ····· 264
A.3.3 3차년도 ····· 279

부록. B SPARC 프로그램 소스코드 ····· 296

부록. C SPARC 프로그램 매뉴얼 ····· 363
C.1 프로그램의 시작 ····· 363
C.2 프로그램 모듈 선택 ····· 363
C.3 기본정보 입력 ····· 364
C.4 상태평가 ····· 368
C.5 위험도평가 ····· 370
C.6 m 계수의 산정 ····· 376

표 차례

<표 1.3.1 전세계적 연간 지진규모별 발생 횟수> ····· 7
<표 1.3.2 미야기현 지진 학교시설물 피해현황> ····· 12
<표 1.3.3 공공시설물 피해현황> ····· 14
<표 2.1.1 국내 내진기준 주요 개정사항> ····· 25
<표 2.1.2 국내 내진설계기준 지진하중의 최소 허용기준> ····· 26
<표 2.1.3 IBC-2000과 IBC-2006 항목 비교> ····· 28
<표 2.1.4 일본 주요지진에 따른 내진설계기준의 변화 요약> ····· 29
<표 2.1.4 일본 주요지진에 따른 내진설계기준의 변화 요약> ····· 30
<표 2.1.5 1단계 평가표> ····· 34
<표 2.1.6 일본 내진성능 평가내용> ····· 39
<표 2.1.7 1차 진단법> ····· 39
<표 2.1.8 2차 진단법> ····· 40
<표 2.1.9 일본의 내진성능 평가방법 정리> ····· 41
<표 2.1.10 국내 내진성능 평가기법 연구> ····· 42
<표 2.1.11 국내 내진성능 평가방법> ····· 43
<표 2.1.12 구조물의 분류> ····· 45
<표 2.1.13 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수> ····· 47
<표 2.1.14 내진등급별 구조물에 요구되는 성능수준> ····· 47
<표 2.1.15 구조부재의 손상상태에 따른 성능수준> ····· 48
<표 2.1.16 지진위험도 산정> ····· 48
<표 2.1.16 지진위험도 산정> ····· 49
<표 2.1.18 미국 지진시 소방시설의 피해사례> ····· 59
<표 2.1.19 비구조재 장치별 피해내용> ····· 60
<표 2.1.20 한신·아와지 대지진 소방시설 피해상황> ····· 61
<표 2.1.21 평가단계별 위험구성> ····· 69
<표 2.1.22 항목별 가중치 상대 중요도> ····· 71
<표 2.1.23 위험등급 산정> ····· 71
<표 2.1.24 확률적 위험도평가(PRA)의 평가단계별 주요 내용> ····· 72
<표 2.1.25 사건수 분석을 위한 Tree Model 예> ····· 75
<표 2.1.26 기존 상태평가 기법의 주요 변상 항목> ····· 79
<표 2.1.27 지진 재해시 영향을 많이 받는 변상 항목> ····· 81
<표 2.1.28 철근콘크리트 구조의 변상항목 중요도> ····· 83
<표 2.1.29 철골 구조의 변상항목 중요도> ····· 83
<표 2.1.30 설비 시설물 체크리스트> ····· 85
<표 2.1.31 장비를 통한 설비 시설물 상태평가> ····· 85

<표 2.2.1 상태지수, 결함지수, 상태등급사이의 관계> ····· 89
<표 2.2.2 열화곡선의 적합성 검토> ····· 91
<표 2.2.3 건축물의 주요 변상 항목> ····· 92
<표 2.3.1 지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건> ····· 93
<표 2.3.2 지진시 비구조재의 위험요소 및 유발사건> ····· 94
<표 2.3.3 지진화재에 영향을 미치는 요소> ····· 95
<표 2.3.4 고베지진 당일 화재면적별 발생건수 비교-출처 :출처 : 신병철, 지진과 위험관리(지진과 화재), 한국화재보험협회 특집, 14-19쪽> ····· 96
<표 2.3.5 주요 불확실변량> ····· 97
<표 2.3.6 누출속도에 따른 고장율> ····· 101
<표 2.3.8 스프링클러 설비의 안전점검분석결과> ····· 102
<표 2.3.9 수배전설비의 안전점검분석결과> ····· 103
<표 2.3.10 가스안전설비의 안전점검분석결과> ····· 104
<표 2.3.11 경년변화에 따른 펌프설비의 불량특성> ····· 104
<표 2.3.9 수배전설비의 안전점검분석결과> ····· 105
<표 2.3.10 설비시설 유무 및 위험요소 여부> ····· 106
<표 3.1.1 열화모델 개발을 위한 데이터 분석 방법> ····· 118
<표 3.1.2 상태등급기반 강도감소 산정 방법론> ····· 118
<표 3.1.3 전문가 설문을 통한 상태등급별 강도감소율> ····· 119
<표 3.1.4 설문 일반사항> ····· 133
<표 3.1.5 부재 결함원인(철골구조-기둥부재)> ····· 134
<표 3.1.6 부재 결함원인(철골구조-보부재)> ····· 134
<표 3.1.7 부재 결함원인(철근콘크리트구조-슬래브부재)> ····· 135
<표 3.1.8 부재 결함원인(철근콘크리트구조-기둥부재)> ····· 135
<표 3.1.9 부재 결함원인(철근콘크리트구조-보부재)> ····· 136
<표 3.1.10 부재 결함원인(철근콘크리트구조-내력벽부재)> ····· 136
<표 3.1.11 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철골구조-기둥부재)> ····· 137
<표 3.1.12 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철골구조-보부재)> ····· 137
<표 3.1.13 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-슬래브부재)> ····· 138
<표 3.1.14 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-기둥부재)> ····· 138
<표 3.1.15 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-보부재)> ····· 139
<표 3.1.16 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-내력벽부재)> ····· 139
<표 3.1.17 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철골구조-기둥부재)> ····· 140
<표 3.1.18 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철골구조-보부재)> ····· 140
<표 3.1.19 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-슬래브부재)> ····· 141
<표 3.1.20 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-기둥부재)> ····· 141
<표 3.1.21 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-보부재)> ····· 142

<표 3.1.22 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-내력벽부재)> …… 142
<표 3.1.23 부재별 상태등급별 강도감소율> …… 143
<표 3.1.24 결함발생 주요위치(철골구조-기둥부재)> …… 143
<표 3.1.25 결함발생 주요위치(철골구조-보부재)> …… 143
<표 3.1.26 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-슬래브부재)> …… 144
<표 3.1.27 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-기둥부재)> …… 144
<표 3.1.28 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-보부재)> …… 144
<표 3.1.29 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-내력벽부재)> …… 144
<표 3.1.30 공용년수에 따른 강도감소율 예측식> …… 147
<표 3.2.1 상대 중요도 산정 기준> …… 148
<표 3.2.2 상대 중요도 산정 기준> …… 148
<표 3.2.3 분야별 가중지수> …… 149
<표 3.2.4 위험항목 세부내용> …… 149
<표 3.2.5 AHP 분석> …… 150
<표 3.2.6 가스설비 위험성지수 분석> …… 150
<표 3.2.7 소방설비 위험성지수 분석> …… 151
<표 3.2.8 전기설비 위험성지수 분석> …… 151
<표 3.2.9 기타설비 위험성지수 분석> …… 151
<표 3.2.10 위험성지수(QRAi) 산정을 통한 위험성평가 결과> …… 152
<표 3.2.2 위험도평가를 위한 화재모델> …… 155
<표 3.2.3 MCS를 통한 모델별 파괴확률> …… 156
<표 3.2.13 MCS를 통한 모델별 파괴확률> …… 158
<표 3.2.14 MCS를 통한 모델별 파괴확률> …… 160
<표 3.2.15 MCS를 통한 모델별 파괴확률> …… 162
<표 3.3.1 대상 시설물 세부사항> …… 163
<표 3.3.2 Case별 내진성능평가 수행> …… 165
<표 3.3.3 Case 1 내진성능평가 결과> …… 166
<표 3.3.4 Case 2 내진성능평가 결과> …… 167
<표 3.3.5 Case 3 내진성능평가 결과> …… 168
<표 3.3.6 대상 시설물 세부사항> …… 169
<표 3.3.7 대상 시설물 세부사항> …… 170
<표 3.3.8 Case 1 내진성능평가 결과> …… 171
<표 3.3.9 Case 2 내진성능평가 결과> …… 172
<표 3.3.10 Case 3 내진성능평가 결과> …… 173
<표 3.3.11 대상 시설물 세부사항> …… 174
<표 3.3.12 대상 시설물 세부사항> …… 175
<표 3.3.13 Case 1 내진성능평가 결과> …… 176

<표 3.3.14 Case 2 내진성능평가 결과> ····· 177
<표 3.3.15 Case 3 내진성능평가 결과> ····· 178
<표 3.3.16 대상 시설물 세부사항> ····· 179
<표 3.3.17 대상 시설물 세부사항> ····· 180
<표 3.3.18 Case 1 내진성능평가 결과> ····· 181
<표 3.3.19 Case 2 내진성능평가 결과> ····· 182
<표 3.3.20 Case 3 내진성능평가 결과> ····· 183
<표 3.3.21 대상 시설물 세부사항> ····· 184
<표 3.3.22 대상 시설물 세부사항> ····· 185
<표 3.3.23 Case 1 내진성능평가 결과> ····· 186
<표 3.3.24 Case 2 내진성능평가 결과> ····· 187
<표 3.3.25 Case 2 내진성능평가 결과> ····· 188
<표 3.3.26 대상 시설물 세부사항> ····· 189
<표 3.3.27 대상 시설물 세부사항> ····· 190
<표 3.3.28 Case 1 내진성능평가 결과> ····· 191
<표 3.3.29 Case 2 내진성능평가 결과> ····· 192
<표 3.3.30 Case 3 내진성능평가 결과> ····· 193
<표 5.1.1 지진 재해시 영향을 많이 받는 변상 항목 정립> ····· 218
<표 5.1.2 철근콘크리트 구조의 변상항목 중요도 정립> ····· 218
<표 5.1.3 철골 구조의 변상항목 중요도 정립> ····· 218
<표 5.1.4 공용년수에 따른 열화모델 예측식> ····· 219
<표 5.1.5 지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건> ····· 220
<표 5.1.6 지진시 비구조재의 위험요소 및 유발사건> ····· 221
<표 5.1.8 주요 불확실변량> ····· 222
<표 5.1.9 설비시설 유무 및 위험요소 여부> ····· 222
<표 5.1.10 위험성지수(QRAi) 산정을 통한 위험성평가 결과> ····· 223
<표 5.2.1 1차년도 성과점검기준표> ····· 228
<표 5.2.1 2차년도 성과점검기준표> ····· 228
<표 5.2.1 3차년도 성과점검기준표> ····· 228
<표 5.2.4 정량적 성과지표 달성도> ····· 229
<표 5.3.1 기존 연구과제 현황 및 분석> ····· 231
<표 5.3.2 기존 주요 연구과제 내용> ····· 231
<표 5.3.3 기존 내진성능평가기법과 본 연구과제 내용> ····· 233
<표 6.1.1 연구성과 학술적, 실무적 활용 방안> ····· 235
<표 6.1.2 연구성과 활용방안을 위한 기술제휴 단계별 계획> ····· 235
<표 6.2.1 추가 연구 방향 및 내용> ····· 237
<표 A.1.1 연구성과 집계현황표> ····· 238

그림 차례

<그림 1.1.1 기존건축물의 개선된 내진성능 평가 개요> ····· 3
<그림 1.3.1 홍성지진 피해사례> ····· 5
<그림 1.3.3 오대산지진 피해사례> ····· 7
<그림 1.3.1 전세계적 최근 10년간 지진발생 추이> ····· 8
<그림 1.3.3 알래스카지진 피해사례> ····· 9
<그림 1.3.5 로마 프리에타지진 피해사례> ····· 11
<그림 1.3.6 고베지진 피해사례> ····· 12
<그림 1.3.7 미야기현지진 피해사례> ····· 13
<그림 1.3.8 니가타현 지진 피해사례> ····· 14
<그림 1.3.9 쓰촨성 지진 피해사례> ····· 15
<그림 1.3.10 라퀼라 지진 피해사례> ····· 16
<그림 1.3.11 크라이스트처치 지진 피해사례> ····· 17
<그림 1.3.12 도후쿠 지진 피해사례> ····· 18
<그림 1.3.13 윈난성 지진 피해사례> ····· 19
<그림 2.1.1 지역별 내진기준 분류(1988)> ····· 24
<그림 2.1.2 미국 지역별 내진설계 기준> ····· 27
<그림 2.1.3 내진성능 평가기준 변경 흐름도> ····· 32
<그림 2.1.4 내진성능 평가 절차> ····· 33
<그림 2.1.5 제 3단계 평가 방법> ····· 36
<그림 2.1.6 유효강성의 계산(FEMA-356)> ····· 36
<그림 2.1.7 성능곡선에 의한 내진성능평가 절차> ····· 37
<그림 2.1.8 일본 내진성능 평가절차> ····· 38
<그림 2.1.9 본 연구의 내진성능 평가방법> ····· 44
<그림 2.1.10 지진에 의한 철근콘크리트 구조의 피해사례> ····· 50
<그림 2.1.11 손상/변형에 의한 철골구조의 위험사례> ····· 51
<그림 2.1.12 스프링클러 손상사례> ····· 52
<그림 2.1.13 스프링클러 손상사례> ····· 53
<그림 2.1.14 수배전설비 손상사례> ····· 54
<그림 2.1.15 수배전설비 손상사례> ····· 55
<그림 2.1.16 지진에 의한 철근콘크리트 구조의 피해사례> ····· 56
<그림 2.1.17 소방설비 파손> ····· 57
<그림 2.1.18 지진에 의한 철골구조의 피해사례> ····· 58
<그림 2.1.19 소방설비 파손> ····· 62
<그림 2.1.20 전선 단락> ····· 63
<그림 2.1.21 비상발전 설비> ····· 64

<그림 2.1.22 소방시설물의 미작동현황> ····· 64
<그림 2.1.23 변압기 고정앵커볼트 시설현황> ····· 65
<그림 2.1.24 고정없이 방진패드위에 시설된 변압기> ····· 65
<그림 2.1.25 제어시스템의 지진피해사진 (피해조사보고서, 일본건축학회, 1998)> ····· 66
<그림 2.1.26 가스폭발 사례> ····· 67
<그림 2.1.27 배관 및 저장설비 파손 사례> ····· 68
<그림 2.1.28 설비기기 배관의 지진피해> ····· 68
<그림 2.1.29 AHP 계층도> ····· 70
<그림 2.1.30 확률적 위험도평가(PRA)의 평가체계> ····· 72
<그림 2.1.31 위험사건 분석 과정> ····· 74
<그림 2.1.32 MCS(Monte Carlo Simulation) 흐름도> ····· 77
<그림 2.1.33 표준 등분포변량 u와 표준 정규변량 x의 관계> ····· 78
<그림 2.1.34 철근콘크리트 구조물의 주요 변상 항목> ····· 79
<그림 2.1.35 철근콘크리트 구조물의 주요 변상 항목> ····· 80
<그림 2.1.36 철골 구조물의 주요 변상 항목> ····· 80
<그림 2.1.37 구조물 공통의 주요 변상 항목> ····· 81
<그림 2.1.38 위험도 평가 및 상태평가의 연계방안 모식도> ····· 86
<그림 2.2.1 건축물의 상태등급의 지수화> ····· 89
<그림 2.3.1 지진 후 화재상황- 출처 : Google(http://www.google.co.kr)> ····· 95
<그림 2.3.2 고베지진 후 화재발생 건수(1월17일-26일)> ····· 96
<그림 2.3.3 하중-저항의 파괴확률 개념도> ····· 97
<그림 2.3.4 구조해석 결과 및 작용력> ····· 98
<그림 2.3.5 설계단면의 저항력> ····· 98
<그림 2.3.6 MCS에 의한 파괴확률 추정> ····· 99
<그림 2.3.7 위험도평가를 위한 주요 부재의 MCS 수행> ····· 99
<그림 2.3.8 부식에 의한 경과시간별 연간손상확률(이진한 외)> ····· 100
<그림 3.1.1 열화모델 개발 알고리즘> ····· 107
<그림 3.1.1 보 부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 120
<그림 3.1.2 기둥 부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 120
<그림 3.1.3 보 부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 121
<그림 3.1.4 기둥 및 벽체 부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 121
<그림 3.1.5 슬래브 부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 122
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 1> ····· 125
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 2> ····· 126
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 3> ····· 127
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 4> ····· 128
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 5> ····· 129

<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 6> ····· 130
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 7> ····· 131
<그림 3.1.6 전문가 설문조사 - 8> ····· 132
<그림 3.1.7 철골구조 - 보부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 146
<그림 3.1.8 철골구조 - 기둥부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 146
<그림 3.1.9 철근콘크리트 - 보부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 147
<그림 3.1.10 철근콘크리트 - 기둥 및 벽체부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 147
<그림 3.1.11 철근콘크리트 - 슬래브부재의 공용연수에 따른 강도감소율> ····· 148
<그림 3.2.1 위험도평가를 위한 기본모델> ····· 155
<그림 3.2.2 위험도평가를 위한 모델> ····· 157
<그림 3.2.3 위험도평가를 위한 모델> ····· 159
<그림 3.2.4 위험도평가를 위한 모델> ····· 161
<그림 3.3.1 해석용 응답스펙트럼> ····· 164
<그림 3.3.2 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 164
<그림 3.3.3 검토에 사용한 지진파 : EL Centro> ····· 165
<그림 3.3.4 Earthquake Response Spectrum> ····· 165
<그림 3.3.5 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 170
<그림 3.3.6 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 175
<그림 3.3.7 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 180
<그림 3.3.8 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 185
<그림 3.3.9 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum> ····· 190
<그림 3.3.10 철근콘크리트구조물의 해석결과> ····· 194
<그림 3.3.11 강구조물의 해석결과> ····· 194
<그림 3.3.12 철근콘크리트구조물의 해석결과> ····· 195
<그림 3.3.13 강구조물의 해석결과> ····· 195
<그림 3.4.1 SPARC 프로그램 구성도> ····· 196
<그림 3.4.2 기본 정보 입력 모듈> ····· 197
<그림 3.4.3 단면 입력 모듈> ····· 198
<그림 3.4.4 상태평가 구성도> ····· 198
<그림 3.4.5 MIDAS 데이터 추출용 시트> ····· 199
<그림 3.4.6 데이터 추출 결과> ····· 200
<그림 3.4.7 상태 평가 모듈> ····· 201
<그림 3.4.8 위험도 평가 구성도> ····· 201
<그림 3.4.9 PRA 모듈> ····· 202
<그림 3.4.10 위험도 시나리오 구성> ····· 203
<그림 3.4.11 m 계수 산정 모듈> ····· 204
<그림 3.4.12 통합 프로그램 모듈 호출 폼> ····· 204

<그림 3.4.13 통합 후 솔루션 내의 상태 평가 모듈> ····· 205
<그림 3.4.14 기본 시나리오 선택 화면> ····· 206
<그림 3.4.15 사용자 시나리오 선택 화면> ····· 206
<그림 3.4.16 QRA 모듈> ····· 207
<그림 3.4.17 프로그램 로그인 화면> ····· 208
<그림 3.4.18 프로그램 자동 업데이트> ····· 208
<그림 3.4.19 DB서버 구축 테스트 화면> ····· 209
<그림 5.1.1 최종 연구목표-개선된 내진성능 평가 개요> ····· 216
<그림 5.1.2 본 연구의 내진성능 평가 기준> ····· 217
<그림 5.1.3 철골구조 > ····· 219
<그림 5.1.4 철근콘크리트구조 > ····· 219
<그림 5.1.5 SPARC 프로그램 구성도> ····· 227
<그림 5.1.6 m 계수 산정 모듈> ····· 227
<그림 5.3.1 고베지진시 도심지 화재사례(1995)> ····· 232
<그림 5.3.2 일본 대지진시 화재사례(2011)> ····· 232
<그림 부록 C.1 SPARC 프로그램 시작화면> ····· 363
<그림 부록 C.2 SPARC 프로그램 선택화면> ····· 363
<그림 부록 C.3 기본정보입력 창> ····· 364
<그림 부록 C.4 정보입력 화면> ····· 364
<그림 부록 C.5 시설물 특성 선택 화면> ····· 365
<그림 부록 C.6 요구 성능 및 지반 정보 선택 화면> ····· 365
<그림 부록 C.7 단면 정보 입력 버튼> ····· 366
<그림 부록 C.8 단면 정보 입력 모듈> ····· 366
<그림 부록 C.9 콘크리트 구조 등급 입력> ····· 367
<그림 부록 C.10 철골 구조 단면 정보 입력> ····· 367
<그림 부록 C.11 기본 정보 입력 버튼> ····· 368
<그림 부록 C.12 상태평가 모듈> ····· 368
<그림 부록 C.13 MIDAS 데이터 추출용 시트> ····· 369
<그림 부록 C.14 위험도평가 모듈> ····· 370
<그림 부록 C.15 기본 시나리오 생성 모듈> ····· 371
<그림 부록 C.16 기본 시나리오 생성 모듈> ····· 372
<그림 부록 C.17 QRA 입력> ····· 373
<그림 부록 C.18 사용자 시나리오 생성> ····· 374
<그림 부록 C.19 MCS 모듈> ····· 375
<그림 부록 C.20 m계수 산정 모듈> ····· 376

제 1 장 연구개발과제 개요

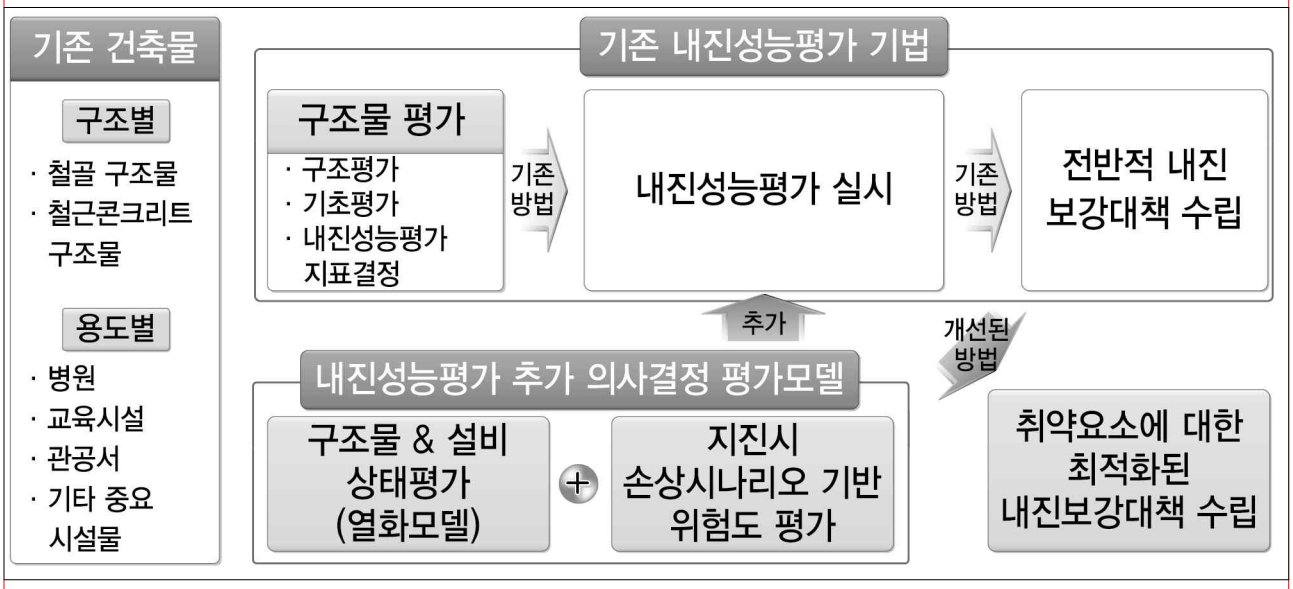
1.1 개요

과학적 지진관측을 시작한 1978년 이후 지진발생이 증가 추세에 있으며, 역사지진 기록 및 전문가에 의하면 우리나라도 지진의 안전지대가 아니라는 견해가 지배적이며, 최근에 발생한 지진 발생횟수 및 지진강도가 증가하고 발생위치의 내륙 근접 등기존의 지진 발생과는 다른 양상을 보이고 있는 실정이다.

특히 대다수의 지진 피해사례를 살펴보더라도 지속적인 지진발생으로 인해 전 지구적으로 막대한 재산 및 인명 피해가 반복적으로 발생하고 있으며, 현재 우리나라의 경우 큰 규모의 지진이 발생하지 않았지만 인접국가의 지진피해 사례를 살펴보았을 때 우리나라도 지진에 대해 잠재위험을 가지고 있는 상황이다. 따라서 국가와 지방자치단체는「지진재해대책법」등 목적에 따라 지진재해로부터 국민의 생명과 재산, 주요 기간시설을 보호하기 위하여 지진과 지진해일의 관측·예방·대비 및 대응, 내진대책과 지진재해를 줄이기 위한 연구 및 기술개발 등에 투자해 왔다.

특히 건축물이 밀집되어 있고 주요 건축물의 집약도가 높은 도심지의 경우, 지진 발생시 노후화된 건축물(병원, 학교, 대형마트, 관공서 등)은 국내 실정상 충분히 내진보강이 이루어지지 않아 지진 재해에 무방비 상태로 노출되어 있는 실정이므로 지진재해에 취약한 약점과 막대한 잠재손실을 가지고 있다고 판단된다. 따라서 국내에 대규모 지진이 발생하였을 때 기존 건축물의 다양한 손상유형에 따라 인명 혹은 재산피해 발생 가능성이 높기 때문에 지진시를 대비한 내진보강이 절실히 필요한 시점이다.

하지만 이러한 내진 보강에 대해 정확한 기준이 없다면 내진 보강에 대한 과다 설계가 될 수 있으므로 지진 발생시 건축물 노후화에 대한 열화모델 기반 현 상태의 적정 평가 및 위험도평가에 의한 다양한 손상 시나리오 고려만이 기존 건축물의 지진시 재해 대책에 대한 최적 내진 보강이 이루어 질수 있다고 판단되며 본 연구는 이러한 실정에 근간을 두어 수행되었다.



<그림 1.1.1 기존건축물의 개선된 내진성능 평가 개요>

1.2 연구개발의 목적 및 필요성

지진재해대책법을 통해 지진재해대응에 대한 지진재해대응체계의 구축, 지진재해 원인조사·분석· 및 피해조사단 구성·운영, 피해시설물의 위험도평가 등을 법제화 하였지만 기존 건축물의 내진성능 보강을 위한 내진성능평가의 정확한 기준이 없는 상황으로 최적화된 지진 재해 대응을 위해서는 적합한 평가기준 등이 개발되어야 한다. 즉, 지진피해에 막대한 손상을 가져올 것으로 예상되는 건축물의 붕괴 위험도에 대한 신속한 내진성능 보강을 위해 새로운 평가기술 마련이 필요하다는 것이며 이에 본 연구에서는 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가 방안을 수립하고 지진 시 인명과 재산의 보호에 문제가 없는 동시에 경제적인 설계 및 내진보강방안이 될 수 있는 합리적인 평가기법을 개발하고자 한다.

이에 본 연구의 3차년도에서는 내진성능평가와 위험도평가, 상태평가의 연계 모듈방안에 대한 구체적 프레임 구성과 이를 바탕으로 한 위험도 및 상태평가의 프로그램 개발 및 적용을 통해 내진성능평가의 새로운 패러다임을 제시하고자 하였다.

(가) 국내외 지진관련 피해 및 연구사례 조사 및 분석

① 국내외 지진피해사례 조사 및 분석을 통한 연구 방향 추가 검토

② 국내외 기술개발 현황 분석을 통한 연구개발 결과의 우수성 및 차별성 검토

(나) 내진성능 평가

① 위험도, 상태평가를 고려한 통합형 평가기법 도출

② 부재 단면별 비선형성 설정(IO, LS, CP의 제안)

(다) 위험도 평가

① 구조물 형식별 위험시나리오 개발

② 발생 시나리오를 바탕으로 위험요소별 변수 정립

(라) 상태평가

① 열화모델기반 상태평가 기법 방법론 연구

② 철골 및 콘크리트구조의 열화모델 업데이트

(마) 프로그램 개발

① 내진성능평가, 위험도평가, 상태평가의 연계방안 수립

② 평가 모듈별 프로그램 구성

③ SPARC 프로그램 개발 및 검증

1.3 지진피해 사례 조사 및 분석

1.3.1 국내 피해사례 조사 및 분석

가. 홍성지진

홍성지진은 홍성군청을 중심으로 반경 500m 내에 피해가 집중되었으며, 공공건물의 경우 학교 9동, 문화원 1동, 우체국 1동 등 11개 동에서 약간 파괴의 피해가 발행하였다.

그 외 유리파손 19동, 할렬 515개소 등의 피해가 발생하였다. 일반건물의 경우 반파 13동, 약간 파괴 30동, 유리파손 45동, 할렬 486개소 등의 피해가 발생하였다. 건물 피해의 양상을 보면 대부분 조적조 형식의 주택, 학교, 공공건물에서 피해가 나타났다. 지진에 대한 개요 및 피해는 다음과 같다.

(1) 진원시 : 1978년 10월 7일 18:21
(2) 진앙 : 충청남도 홍성읍(북위 36.6도, 동경 126.7도)
(3) 규모 : 5
(4) 피해규모
(가) 인명피해 2명
(나) 재산피해 약 4억원
(다) 건축물 파손 100여동
(라) 건축물 13동 반파, 41동 부분파손, 균열 1,00여동



<그림 1.3.1 홍성지진 피해사례>

나. 영월지진

영월지진은 진앙지 북외 37.2도, 동경 128.8도에서 규모 4.5의 지진이 발생하였다. 소규모의 여진이 다섯 차례나 잇따라 발생했고, 전국적으로 지진에 의한 지반진동을 느낄 수 있었다. 지진을 느낄 수 있는 거리는 반경 450km 정도 되었다. 영월군에서 130km 떨어진 대전광역시 석교동과 대흥동을 연결하는 송전시설의 애자가 파손되어 일대 1,600여 가구에 20분간 정전이 발생했고, 전체적으로 지진피해는 주로 벽돌 벽의 균열이거나 벽돌벽과 철근 콘크리트 골조와의 경계에 균열 또는 마감재의 균열 등이 보고되었다.

(1) 진원시 : 1996년 12월 13일 13:10

(2) 진앙 : 강원도 영월 동쪽 약 20km(북위 37.2도, 동경 128.8도)

(3) 규모 : 4.5

(4) 피해규모

(가) 영월 : 건물 내외벽에 균열 발생

(나) 정선 : 건물 외벽 타일 박리, 일부가옥에서 담장 붕괴

다. 오대산지진

오대산 지진의 경우 진앙지역 및 인근지역에서 인명피해는 발생하지 않았으나, 노후 조적조 건축물의 벽체에 균열이 발생하였으며, 조적벽체와 지붕슬래브 간의 분리 및 기와 탈락, 유리창 파손 등이 발생하였다.

오대산 지진의 현장조사 결과 건축물 피해는 벽체의 균열이 많았고, 주로 이음부위에서 발생되었다. 지붕의 경우 기와 탈락, 낙하 되었고, 그 외 유리창 파손, TV, 액자 등 내부 장식물 등이 낙하되는 피해가 발생되었다. 내진설계가 미적용된 구조물이 약 97% 정도이며, 이에 대한 내진보강 규정 및 추진 계획이 미진한 실정으로 나타났다. 지진의 강진 지속시간은 0.6초 정도 매우 짧아 큰 피해는 발생하지 않았으나, 강진 지속 시간이 길었을 경우 저층 조적조 건축물에 큰 피해가 발생할 수 있었던 지진으로 분석된다.

(1) 진원시 : 2007년 1월 20일 20:56

(2) 진앙 : 강원도 평창군 도암면-진부면 경계지역(북위 37.6도, 동경 128.5도)

(3) 규모 : 4.9

(4) 피해규모 : 구조부재 손상 3개소, 다수 비구조 부재 손상 등



<그림 1.3.3 오대산지진 피해사례>

1.3.2 해외 피해사례 조사 및 분석

가. 지진발생 현황

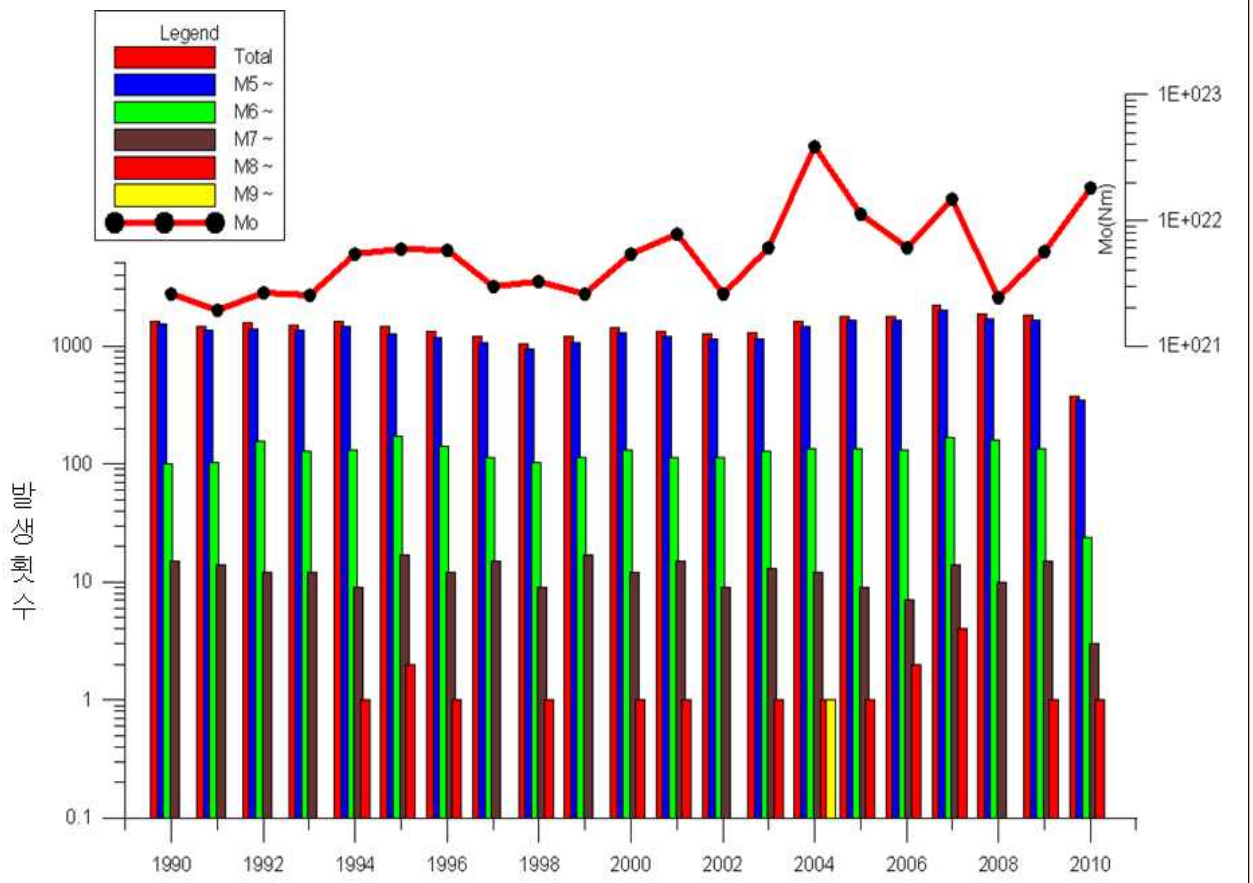
세계적으로 지진은 주로 판경계에서 발생되며, 일반적으로 판의 내부에서는 중소규모의 지진들이 발생하나 대규모 지진이 발생하기도 한다. 우리나라와 인접한 일본은 유라시아판, 북아메리카판, 태평양판 및 필리핀판의 4개의 판의 경계에 위치하고 있어 규모 7.0을 넘는 지진이 자주 발생한다.

지구에서 발생되는 지진은 매년 평균적으로 규모 8.0이상은 1회 정도 발생되며, 규모 7.0~7.9는 17회, 규모 6.0~6.9는 134회, 규모 5.0~5.9의 지진은 1,319회, 규모 4.0~4.9의 지진은 13,000회 정도, 규모 3.0~3.9의 지진은 130,000회 정도 발생되고 있다.

<표 1.3.1 전세계적 연간 지진규모별 발생 횟수>

규모	3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9	6.0~6.9	7.0~7.9	8.0 이상
연간 발생횟수	130,000	13,000	1,319	134	17	1

최근 10년간 전세계적으로는 연간 지진발생 횟수가 약간 많고 작음의 차이는 있으나, 지진발생 추이가 큰 변화가 없다.



<그림 1.3.1 전세계적 최근 10년간 지진발생 추이>

나. 미국 알래스카 지진

공식 사명자가 131명이였으며, 이중 122명이 지진 후 발생한 쓰나미에 의해 사망하였다. 건축물 피해상황은 특히 지진파의 성분이 대부분 장주기 성분이었기 때문에 고층건물의 피해가 크고, 주기가 짧은 조적조 건물은 거의 피해가 없었다.

(1) 발생일시 : 1964년 3월 28일

(2) 진앙지 : 미국 알래스카 앵커리지 동쪽 120km 해저

(3) 규모 : 9.2

(4) 피해규모 : 사망자 131명



<그림 1.3.3 알래스카지진 피해사례>

다. 일본 니가타 지진

니가타현에서 발생한 지진은 인명피해는 비교적 적었으나, 4m 높이의 쓰나미 등으로 도로, 선박, 석유탱크 등이 큰 피해를 입었으며, 지진피해 특징은 강변 주위 매립지에 건설된 철근콘크리트 구조의 아파트가 지반 액상화 현상으로 전도 또는 과도한 침하가 발생하여 큰 피해를 주었다.

(1) 발생일시 : 1964년 6월 16일
(2) 규모 : 7.1
(3) 피해규모 : 인명피해 26명

라. 일본 토카치-오키 지진

하치노헤 지진이라고도 하는 이 지진은 지진파의 특징이 단주기의 파가 지속되고 반복되어 고유 주기가 짧은 철근콘크리트 저층 건축물의 피해가 컸으며, 주요 피해 양상은 접합부 또는 이어치기를 실시한 부분에서 주로 파괴가 발생하였다. 그리고 지진에 의한 화재 발생률이 높아 피해가 확대된 경향이 나타나 화재대책 및 가정용 난방기에 대한 안정성 기준이 강화되었다.

(1) 발생일시 : 1968년 5월 16일
(2) 진앙지 : 일본 아오로미현 동쪽바다
(3) 규모 : 7.9
(4) 피해규모 : 사망자 52명, 부상 330명, 건축물 전파 673동, 반파 약 3,000여동

마. 미국 샌프란시스코 지진

건축물 피해상황은 특히 여러 병원건물에서 많은 피해가 발생하였으며, 많은 공공 건축물의 지상과 지하에서 피해가 발생하였다. 그리고 오래된 건축물은 복구가 불가능 할 정도로 심각한 피해가 발생하였다.

여러 병원 등의 공공건물은 지진 발생시 모두 치료와 신속한 사후 수습을 위해 필요하지만 피해 발생후 적절한 기능을 발휘하지 못해 추가적인 피해가 발생하였는데, 이는 공공건물의 1층은 미관과 용도상 개방된 넓은 공간을 필요로 하게 되어 기둥 수를 줄이고 전단벽을 제거하여 1층 기둥에서 전단파괴가 발생하여 심각한 피해를 초래하였다. 그리고 피해상황 분석결과 해안가 지반에서 피해가 많았으며, 이는 지반의 성질에 따라 고유주기를 가지고 있으며, 이 때문에 응답스펙트럼에서도 그 영향이 다르게 나타나게 됨을 알 수 있었다.

(1) 발생일시 : 1971년 2월 9일
(2) 진앙지 : 미국 남부 캘리포이니아 LA 시내 북쪽 32km 지점
(3) 진원깊이 : 8.4km
(4) 규모 : 6.6
(5) 피해규모 : 사망자 65명, 부상자 2,000명 이상, 피해액 약 5억불

바. 미국 로마 프리에타 지진

이 지진을 통해 내진설계가 제대로 된 구조물과 그렇지 않은 구조물간 지진에 의한 피해의 정도가 극명하게 드러난 대표적인 지진으로 내진설계의 역사적으로 중요한 의미가 있는 지진이라 할 수 있다. 건축물 피해특징은 주로 내진설계가 제대로 되지 않은 저층 목조건물, 조적조 건물 등에서 피해가 주로 발생하였다. 특히 대부분의 피해가 철근보강이 이루어지지 않은 조적조 건축물에서 발생하였으며 대부분 과거에 지어진 건축물이었다.

(1)발생일시 : 1989년 10월 17일
(2) 진앙지 : 미국 남부 캘리포이니아 샌프란시스코 남쪽 산타크루즈 북동쪽 지역
(3) 규모 : 7.1
(4) 피해규모 : 사망자 68명, 피해액 약 7억불, 피해 건축물 23,000여동

사. 미국 노스리지 지진

건축물 피해특징으로는 중층규모의 철골 골조에 심각한 영향을 미쳐 많은 손상을 초래하였다. 이후 철골 접합부 지진거동에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 비연성 철근콘크리트 구조물이 대부분 파괴 되었다.

(1) 발생일시 : 1994년 1월 17일

(2) 진앙지 : 미국 캘리포이니아 노스리지 지역

(3) 규모 : 6.7

(4) 피해규모 : 사망자 57명, 부상자 5,000여명, 피해액 약 200억불



<그림 1.3.5 로마 프리에타지진 피해사례>

아. 일본 고베 지진

고베 대지진은 세계를 경악하게 만든 지진으로써, 인구 350만명이 밀집되어 있는 일본의 고베 및 한신 지역의 바로 밑에서 발생한 내륙 도시직하형 지진이었다. 단층이 횡으로 미끄러져 큰 에너지가 일시에 개방된 타입이다. 이 때문에 지속 시간은 짧은 반면 진폭이 최대 18cm로 사상최대를 기록한 강한 진동이 관측 되었다.

대도시를 직격한 지진이기 때문에 전기, 수도, 가스 등 피해가 광범위하였으며, 신간선, 고속도로, 신교통시스템, 도시간의 교통이 파괴되었고 지하철의 붕괴 및 라이프 라인에 엄청난 피해가 있었다.

(1) 발생일시 : 1995년 1월 17일

(2) 진앙지 : 일본 효고현 담로도 북동 3km(북위 34.36도, 동경 135.03도

(3) 진원깊이 : 약 14.3km

(4) 규모 : 7.2

(5) 피해규모 : 사망자 6000 여명, 재산피해 약 200조원, 건축물 완파 100,000 여동, 반파 107,000 여동, 일부파손 183,400여동



<그림 1.3.6 고베지진 피해사례>

자. 일본 미야기현 지진

(1) 발생일시 : 2003년 5월 26일 18:24

(2) 진앙지명 : 미야기현 외해

(3) 진원깊이 : 약 72km

(4) 규모 : 7.1

(5) 각지의 최대 진도(진도 5강 이상)

<표 1.3.2 미야기현 지진 학교시설물 피해현황>

구 분	시 설 수
계	1,217
국립학교시설	10
공립학교시설	759
사립학교시설	109
사회교육·체육, 문화시설 등	297
문화재 등	42



<그림 1.3.7 미야기현지진 피해사례>

차. 일본 니가타 지진

이 지진은 규모 7.1이며, 최대 진도는 6이다. 이 지역에서 1978년에 발생한 지진 이후의 강한 지진이었다. 이 지진으로 부상자가 174명 발생하였고, 주택 2,427동이 피해를 입었으나, 지진의 규모에 비해 전체 피해는 경미하였다.

진도 6강으로 철근콘크리트 건축물의 직접적인 상부 구조 피해는 적었으나 과거부터 지적되어온 지반의 영향을 크게 받아 연약지반에서는 지반의 변형에 의해 건물의 벼위가 발생하였고, 그 결과 신축이음에 손상이 많이 발생되었다. 본 연구에서 제안하고자 하는 기법을 적용시 상태평가와 위험도를 통해 지진 규모에 따라 적정 보강 위치를 선정할 수 있었을 것으로 판단되며, 이는 단순히 건축 구조물 내외부에 구조물 보강보다 연약지반으로 인한 구조물 손상의 위험도 시나리오가 포함되어야 판단이 가능한 부분이여서 본 피해사례 분석 결과 단순히 구조물의 보강만이 중요한 것이 아니라 건축물 내외적으로 발생 가능한 위험 사건 시나리오를 통해 손상에 대한 대책을 마련할 수 있는 것이라 판단된다. 따라서 일본의 니가타현 지진은 본 연구의 기법 적용을 통해 보수보강의 실효성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

(1) 지진명칭 : 일본 니가타현 주에스 지진
(2) 발생일시 : 2007년 7월 16일 10:13
(3) 진앙지명 : 니가타현 주에스

(4)진원깊이 : 약 17km

(5) 규모 : M 6.8

(6) 피해규모 : 부상자 174명, 주택 2,427동 파손

<표 1.3.3 공공시설물 피해현황>

구 분	시 설 수
계	474
국립학교시설	7
공립학교시설	270
사립학교시설	20
사회교육·체육, 문화시설 등	154
문화재 등	23



<그림 1.3.8 니가타현 지진 피해사례>

카. 중국 쓰촨성 지진

중국 쓰촨성 지진에서는 학교 건축물 7천 여동에서 붕괴가 발생하여 중국 정부에서는 학교 건물 붕괴 원인에 대해 조사를 실시하였으며, 주요 언론에서는 세계 각지의 많은 학교 건물이 지진에 무방비 상태로 노출되어 있다고 보도했다. 이러한 무방비 상태 노출로 인하여 지진때마다 학교 피해는 반복되는 현상이여서 대책을 촉구해야 하는 시점이다. 따라서 본 연구는 건축물 사용 인원이 집중되는 학교와 병원을 대상으로 새로운 지진평가 기법을 제안하고자 한 것이다.

중국 쓰촨성 지진에서 보여주는 바와 같이 대부분의 학교 시설물이 노후화 되어 있고 지속적인 관리가 이루어지지 않아 지진시 취약 구조물이기 때문이다. 본 연구에서 제안하는 기법을 학교와 병원 건축물에 적용하여 정확한 지진영향 여부를 검토하고 차후 보수보강이 정확히 이루어진다면 이러한 지진피해를 줄일 수 있을 것이며 이에 따른 실효성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

(1) 진원시 : 2008년 5월 12일 14:28(현지시각)
(2) 진앙 : 중국 청두(成都) 북서쪽 약 75km 지역 원촨(汶川)현
(3) 진원 : 지표로부터 14km 이내 얕은 지진
(4) 규모 : Ms 8.0, Mw 7.9
(5) 여진 : 본진 발생이후 4개월간 총 27,784회의 여진이 발생
규모 4.0 이상의 강한 여진이 126~234 차례 발생
여진 발생에 따라 12명의 추가적인 인명피해가 발생



<그림 1.3.9 쓰촨성 지진 피해사례>

타. 이탈리아 라퀼라 지진

대표적인 중세 건축양식을 가지고 있는 라퀼라시 소재 문화재 건축물의 대다수가 비보강 조적조 건축물 형식으로 이번 지진발생으로 해당 문화재 건축물의 붕괴를 비롯하여 지붕 및 벽체 등 주요 구조부의 손상으로 인한 커다란 문화적 손실이 발생하였다. 특히 이러한 문화재 건축물의 경우 성당, 관공서 및 각종 공연장으로 사용되고 있으며 대다수 돔 형태의 첨탑에서 주요 피해가 발생하였다. 또한 피해가 발생된 건축물의 경우 내진보강이 적용되지 않아, 국내의 경우에도 일부 문화재 건축물이 조적조 형식으로 되어있는 상황이다. 현재 국내 학교의 경우 조적조 형식의 건물이 많은 수를 차지하고 있어 이러한 피해사례와 같이 지진 발생시 학교 건축물의 피해가 많을 것으로 판단된다. 따라서 조적조 형식의 건축물의 경우 내진보강이 필수적을 적용되어 할 것으로 사료된다.

또한 이탈리아 라퀼라 지진의 경우 지역에 대다수의 학교, 기숙사, 병원 등의 공공건축물의 경우 고전양식에 따라 설계되며 내진설계가 적용되지 않은 건축물에서의 피해가 다수 발생하였다. 이러한 피해 건축물의 경우 내진설계 및 내진보강이 적용되지 않음에 따라 피해 공공 건축물의 대부분은 붕괴되거나 사용할 수 없을 만큼의 손상을 입어 서비스가 중단되었으며 또한 인명피해 역시 발생되었다. 특히 학교 기숙사의 붕괴로 많은 학생들의 인명피해가 발생하였으며 또한 라퀼라 시의 유일한 종합병원도 이번 지진으로 90%가량 붕괴되며 병실을 2개만 운영하며 부상자들이 옥외에서 치료받은 것으로 보고되었다.

(1) 진원시 : 2009. 4. 6 03:32(현지시각)
(2) 진앙 : 이탈리아 로마 북동쪽 90km 아브로초주 라킬라시
(3) 규모/심도 : Mw 6.3 / 8.8km
(4) 피해지역 : 라퀼라시 및 주변 20여개 지역
(5) 여진 : 250여회 이상, 여진으로 추가 피해발생

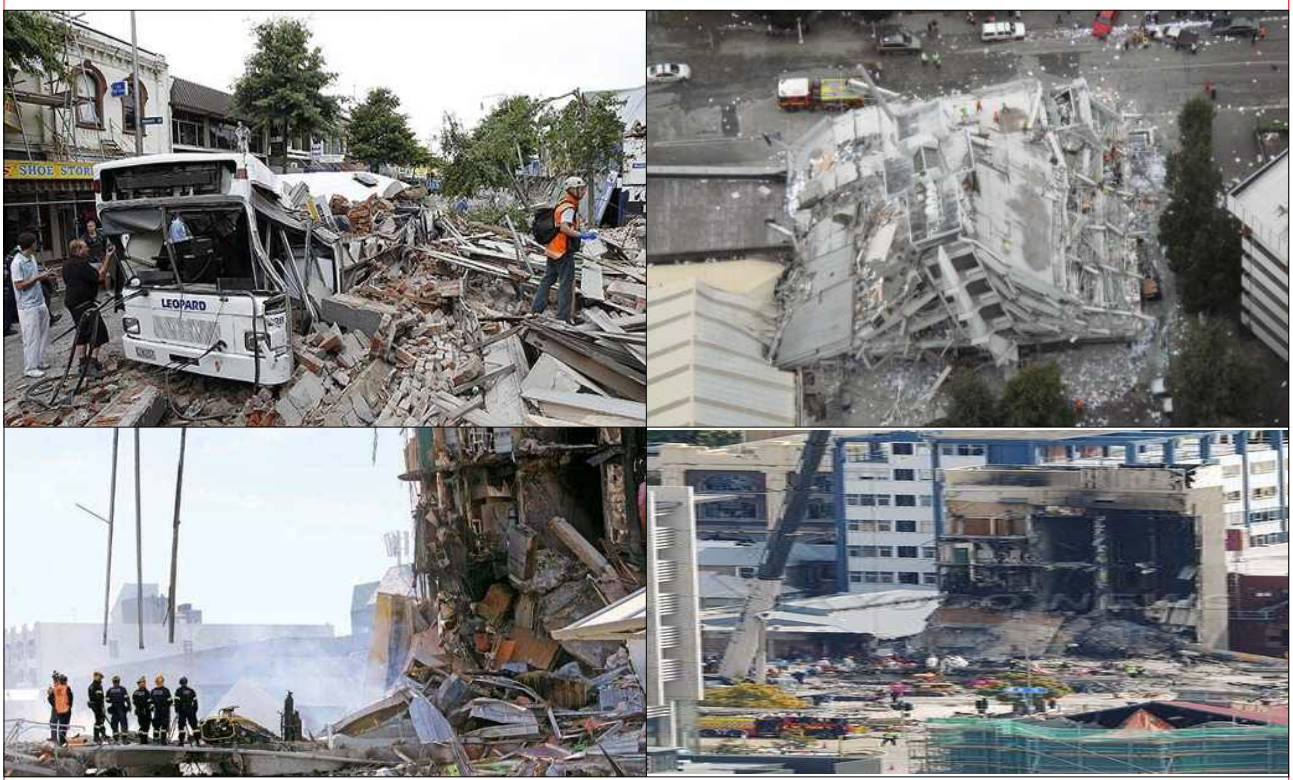


<그림 1.3.10 라퀼라 지진 피해사례>

파. 뉴질랜드 크라이스트처치 지진

크라이스트처치내 건축물의 구조형식의 경우 대부분 목골조+조적조 형태의 건축물이 대다수를 이루고 있으며 시 중심부내에 일부 고층건축물(15층 가량 규모)이 있는 것으로 조사결과 나타났다. 특히 카톨릭 성당 및 일부 학교 건축물에 비보강 조적조 형식의 고건축물이 다수 존재하여 고 건축물에서 많은 피해가 발생 하였다.건축물 주요 피해현황은 대부분 조적조 구조형식의 건축물이 대다수 피해를 받았으며, 대다수 면외방향, 접합부 및 개구부 주변에서의 파괴로 인해 붕괴가 발생하였다. 이 지진에서도 이탈리아 지진과 유사하게 피해사례가 나타났으며, 국내의 경우도 지진시 조적조형식의 학교 건축물에서 피해가 많이 발생될 것으로 판단된다.

(1) 지진명칭 : 2011 Christchurch Earthquake
(2) 진원시 : 2011.2.22 1.:51(현지시각)
(3) 진앙 : 뉴질랜드 캔터베리주 크라이스트처치 남동쪽 10km 지역
(4) 진원 : 지하 4km
(5) 규모 : M6.3(크라이스트처치 진도VIII)
(6) 최대지반가속도 : 2.2g(진앙), 1.88g(도심)
(7) 발생원인 : 태평양판과 호주판의 상호작용으로 발생
(8) 여진 : 본진 M6.3 발생 이후 5분 후 M4.9, 8분후 M5.7 발생
금번 지진의 경우 2010년 9월 4일 발생한 규모 7.1의 2011 캔터베리 지진에 대한 여진으로 추정
과거 수차례 발생 지진에 의한 건물 피로도 증가로 건물 대량 붕괴



<그림 1.3.11 크라이스트처치 지진 피해사례>

하. 일본 도후쿠 지진

규모 9.0의 초대형 지진이 발생하여 최대 40m에 달하는 거대 해일로 많은 사상자가 발생하였다. 천년에 한 번 일어날 빈도의 이 대지진은 최대 40m에 달하는 거대 해일로 많은 사상자가 발생하였다. 이 지진으로 도호쿠 지방과 간토 지방의 대부분은 물론 홋카이도, 주에쓰 지방 및 나가노현 등지에서도 강한 진동이 관측되어 큰 혼란이 일어났다.

(1) 발생일시 : 2011년 3월 11일 14:46
(2) 진앙지명 : 미야기현 센다이 동쪽 179km 해역
(3) 규모 : 9.0
(4) 피해규모 : 사망자 15,689명, 피해자 204,433명



<그림 1.3.12 도후쿠 지진 피해사례>

거. 중국 윈난성 지진

전문가들은 중국 윈난성 지진으로 인한 피해가 막대한 원인으로 3가지 원인에 주목하였다. 우선 진앙의 깊이가 약 12km 정도로 매우 얕은 곳에서 발생하였고, 진앙지의 인구가 1㎢당 265명 정도로 매우 밀집한 지역이며, 마지막으로 가옥 및 건물 등이 가난한 농촌 마을로 흙이나 돌로 만든 집들이 많아 노후화 되어 내진시설이 거의 전무한 실정인 것을 원인으로 꼽았다.

또한 지진의 규모가 6.5로 그 자체로도 강력한 파괴력을 지니고 있어 피해는 더욱 가중되었

다. 아울러 이 지역은 지난 1974년 규모 7.7의 지진이 발생하여 1만5천여명이 사망했고, 2년 전에도 규모 5.7의 지진으로 80여 명이 숨지는 등 피해가 있던 지역이다.

(1) 진원시 : 2014년 8월 3일 16:30(현지시각)
(2) 진앙 : 중국 윈난(雲南)성 자오퉁(昭通)시 루덴(魯甸)현(북위 27.1도, 동경 103.3도)
(3) 진원 : 지표로부터 12km 이내 얕은 지진
(4) 규모 : 6.5(강진)
(5) 여진 : 지진이 쓰촨성 청두·충칭 등 인근 지역으로 확산
(6) 피해규모 : 사망자 617명, 실종자 112명 추산 및 주택 4만 여채 붕괴 및 파손



<그림 1.3.13 윈난성 지진 피해사례>

1.4 기존 연구 현황 및 국내외 기술개발 현황

1.4.1 국내 기존 연구 현황

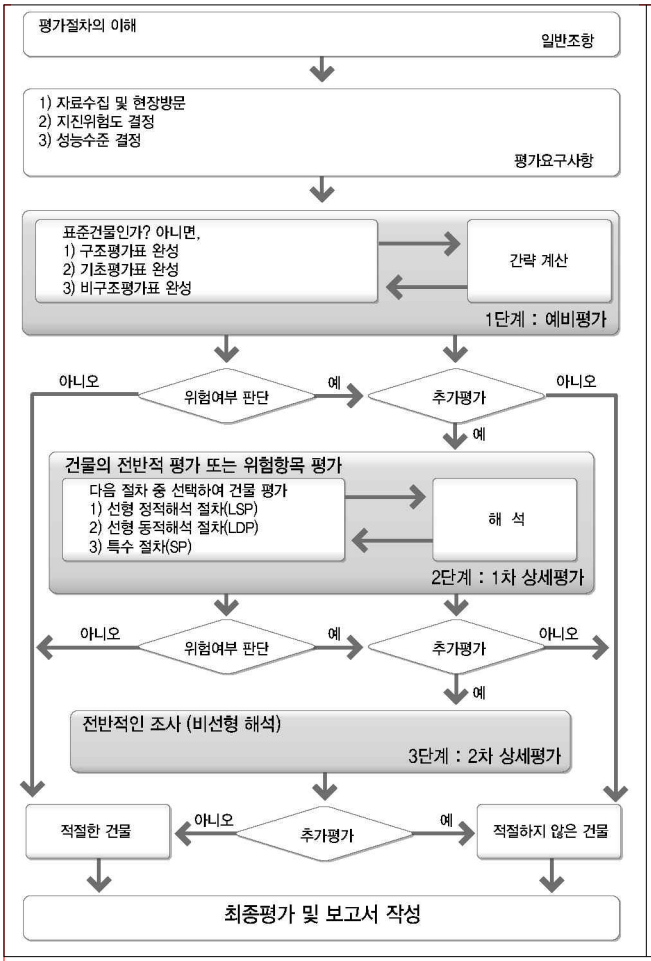
국내의 경우, 건축물의 지진피해 긴급위험도 평가기술개발(1차년도) 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발(국립방재 연구원, 2011.12)에 대한 국내외 지진피해 사례조사 및 구조시스템분석, 평가대상 건축물 선정, 평가기준, 평가결과 분석 활용방안에 대한 연구가 진행되었다. 또한 병원건축의 내진설계에 관한 연구(양희진, 2005.11)에서 병원건축물의 지진피해 사례, 지진의 취약성 및 취약성 평가와 FMEA기법을 이용한 병원프로젝트 설계변경 주요 요인 위험도 분석(정지덕, 2011)이 있다.

그 외에 학교 시설물 내진평가를 위한 정책 제안(이상현, 2010.09), 기존 철근콘크리트 학교 건축물의 내진성능 상세 평가법(이강석, 2011.07), 학교건물에 있어서 비탄성해석 및 비선형 정적해석을 통한 내진성능 평가에 따른 보강 연구(이호 · 권영욱 · 김홍도, 2012.06) 등 학교 시설물에 대한 내진평가에 대한 연구가 수행되어지고 있으며, 건축구조물 붕괴위험도 정량화에 관한 연구 I(손기상, 1994), LCC분석에 의한 고층건물 설비시스템의 대안평가에 관한연구(정종림, 2002), 변위계수법을 활용한 최적내진설계법개발(이현국, 2004), 재해사례와 AHP를 이용한 건축공사 공종별 위험지수에 관한연구(이종빈, 2007), 건축물 내진성능평가에 의한 지진재해관리정보체계 구축(김성상 · 조은래 · 윤정배 · 유환희, 2007), 위험도 기반 건설경영 리스크 평가에 관한 연구(이한철 · 여상구 · 고성석, 2008), 건축물의 화재 위험도 수준평가를 위한 지수 개발에 관한 연구(정의수, 2009), 내진성능평가요령에 따른 4층 RC조 건물의 내진평가(유은종 · 김용준 · 김태진 · 김승진 · 안충원,2011), 3단계 절차를 이용한 비보강 조적조건물의 내진성능평가(김태완 · 민찬기 · 이희만, 2011)가 수행되어 왔다.

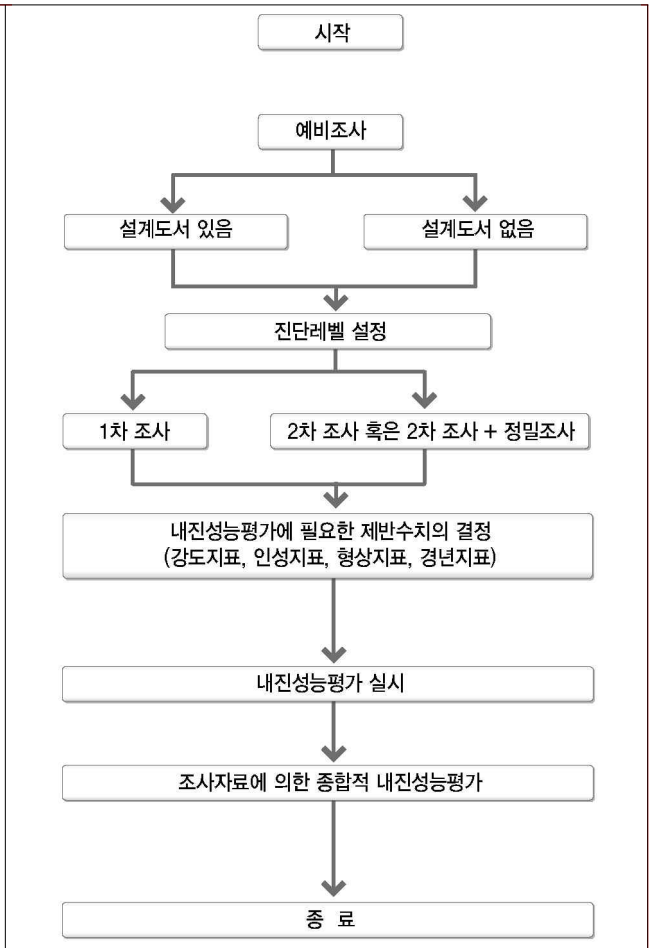
1.4.2 국외 기존 연구 현황

먼저 미국의 내진성능평가에 대한 동향을 분석해보면, 미국의 내진성능 평가기법은 ATC 14, FEMA 178, FEMA 310 및 ASCE/SEI 31-03에서 제안한 내진진단 방법으로 기존 건물 또는 신축 건물의 지진으로 인해 건물의 예상되는 피해정도를 예측하기 위해 사용한다.

또한 일본에서는 여러 구조형식 및 재료로 이루어진 구조물을 하나의 기준에 전부 포함한 미국의 내진 지침과는 달리 구조체를 이루고 있는 각 구성 재료에 의해 서로 다른 형태의 기준을 가지고 있다. 따라서 일본의 내진진단 기준은 철근콘크리트 구조 건물, 철골, 철근콘크리트 구조의 건물, 철골조 건물, 목조 건물에 대해서 서로 다른 개념과 방법에 의해 진단법이 따로 제정되어 있다. 이러한 형식의 내진기준은 각 구성 재료별 구조물의 특징을 최대한 상세히 파악하여 내진진단을 수행할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 각 구조 형식에 대해 서로 다른 형태와 방법에 의해 진단이 진행되므로 내진진단법을 이해하기 어려운 부분이 있다.



<그림 1.4.1 미국의 내진성능 평가 절차>



<그림 1.4.2 일본의 내진성능 평가 절차>

1.5 연구개발결과 우수성 및 차별성

기존 내진성능평가 기법을 개선하기위해 본 연구에서 수행되어 온 “구조물의 위험도 및 상태평가기반 개선된 내진성능평가 기법”은 내진해석 및 보강 방법의 의사결정에 대해 다음과 같은 연구개발결과의 우수성 및 차별성을 나타낸다고 판단된다.

(가) 기존건축물의 개선된 내진성능평가기법

① 위험도 및 상태평가를 고려한 개선된 내진성능평가 기법 개발

기존의 일반적인 내진성능평가 기법을 개선하기 위해 위험도와 상태평가를 고려하여 개선된 내진성능평가 기법을 제시하였다. 이를 통해 구조물 취약부나 노후화에 대한 상태등급 반영과 지진 재해시 위험사건 시나리오별 손상확률을 고려한 내진성능평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한 내진보강 의사결정시 광역적인 보수공법 적용이 아닌 취약부위에 대한 집중 내진 보강을 통해 내진보수보강 관련 비용을 최적화 할 수 있을 것으로 판단된다.

② 내진성능평가 프로그램 개발

개선된 내진성능 평가 기법을 위험도평가와 상태평가 모듈별로 통합 프로그램(SPARC)

을 구성하였고, 용도별/규모별/건축시기별 개선된 내진성능평가를 통해 관련 실무에서 엔지니어가 활용 가능한 프로그램으로 기존 내진성능평가의 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 프로그램을 이용하는 주체가 관련 데이터(손상이력, 추가위험사건 시나리오, 상태평가 결과 등)를 입력 가능하게 제공하고, 향후 이를 데이터베스로 구성하여 관련 연구결과를 업데이트 할 수 있을 것으로 판단된다.

(나) 내진성능평가를 위한 위험도평가기법 개발

① 위험분석을 통한 구조물 형식별 위험시나리오 분석

② 평가대상 시설물의 주요 위험요소에 대한 검토 및 위험지수화를 통한 집중관리대상 선정한다.

③ 위험시나리오 중 중요 위험시나리오를 선정하여 위험사건에 따른 부재의 손상율을 산정한 후 내진성능평가를 위한 구조해석 시 위험시나리오가 발생되는 부재에 적용한다.

(다) 내진성능평가를 위한 상태평가기법 개발

① 열화모델을 이용한 노후 건축물의 상태평가 예측 기법 개발

상태평가 모듈을 통해 공용연수에 따른 구조물의 열화 및 실질적인 구조물의 상태를 반영할 수 있는 상태평가를 통하여 기존 구조물의 상태를 반영한 합리적인 내진성능평가를 수행한다. 또한 상태평가를 실시하지 않는 구조물에 대해서도 열화모델을 통한 노후화 상태의 예측으로 내진성능평가 시 활용성을 가질 수 있다고 판단된다.

② 구조물 및 설비의 상태평가결과의 내진해석 연계 방안 개발

구조물 및 설비의 상태평가를 통해 위험도평가 및 내진성능평가의 분석에 대한 의사결정을 지원함으로써 개선된 내진성능평가에 대한 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘은 상태평가 및 위험도평가 그리고 내진성능평가를 통합할 수 있는 알고리즘으로 이산화되어 있는 각각의 분석을 통합 가능하게 하였다.

제 2 장 연구개발 수행내용 및 결과

2.1 연구수행 전략 및 방법론

2.1.1 내진성능평가

국내의 경우 내진설계가 되어있지 않은 건물들이 많다는 점을 감안하면 특히 예상 발생 지진에 대하여 시설물의 내진안전성을 확보하기 위해서는 먼저 대상 시설물의 내진성능을 정확히 평가하는 것이 중요하다.

국외의 내진성능평가기법의 현황을 살펴보면, 미국의 내진성능평가방법은 ATC 14와 FEMA-310을 통하여 제시되고 있으며, 이 중 비선형 정적해석절차의 문제점을 개선하기 위한 연구결과를 반영한 FEMA 356, 440 및 ATC-55가 제안되어 있다. 이상에서 제안되고 있는 방법들은 기존 시설물 또는 신축 시설물의 지진으로 인한 피해정도 예측을 목적으로 하고 있으며, 구조재료별로는 특한한 규정을 두지 않고 있다.

일본의 경우는 건물의 요구성능수준을 만족시키기 위하여 일본건축방재협회에서 내구 및 내진성능향상 보수·보강시스템 및 시공매뉴얼을 개발하여 사용하고 있다. 일본의 내진성능평가방법은 여러 구조형식 및 시공매뉴얼을 개발하여 사용하고 있다. 일본의 내진성능평가방법은 여러 구조형식 및 재료로 이루어진 건축물을 하나의 기준에 전부 포함하고 있는 미국의 방법과는 달리 대상 시설물을 이루고 있는 각 구성 재료에 의해 서로 다른 형태의 기준을 제시하고 있다는 특징이 있다. 따라서 일본의 내진성능평가방법은 철근콘크리트 건물, 철골·철근콘크리트 건물, 철골조 건물, 목조 건물에 대하여 서로 다른 개념과 방법에 의해 성능평가방법이 따로 제정되어 있다. 이러한 형식의 내진기준은 각 구성 재료별 건물의 특징을 최대한 상세히 파악하여 내진진단을 수행할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 각 구조형식에 대해 서로다른 형태와 방법에 의해 진단이 진행됨으로써, 내진진단법을 이해하기 어렵고 통일성이 결여되어 혼란을 가져올 우려가 있다.

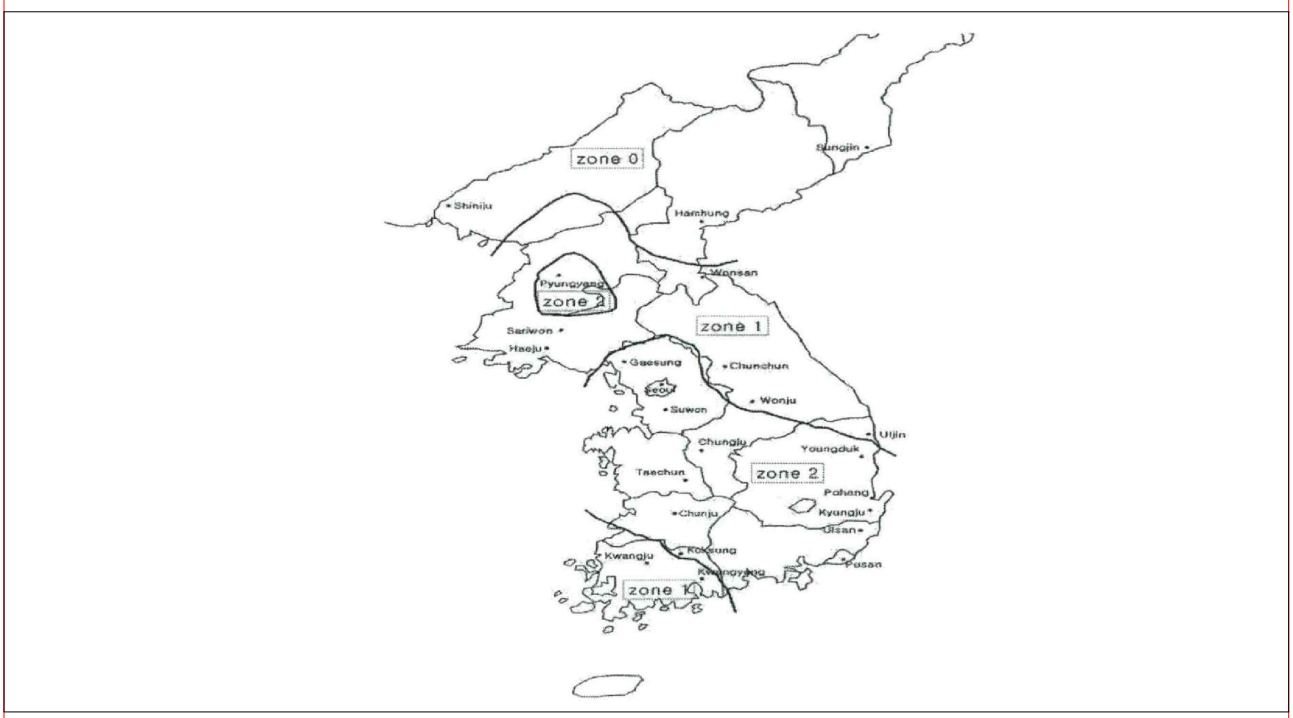
국내에서 기존건축물의 내진성능평가 기법이 연구되기 시작한지 20여년이 지났으며, 그동안 다양한 평가방법이 제안되었다 그러나 제안된 평가방법은 미국이나 일본의 평가방을 도입 및 수정하는 내용이 주가 되어 국내실정에 맞지 않는 부분도 많이 발견되었다. 따라서 국내에서 제안된 기존 건축물의 내진성능 평가기법, 지진피해예측에 근거한 보강건축물의 합리적인 선정방법 및 이들 대상시설물에 적합한 내진보강방법 등의 연구는 아직까지 초보적인 단계라고 할 수 있다. 국내의 내진기준은 신축 건축물들에 적합한 것으로, 내진기준이 정립되기 이전의 건축물들에 대한 평가기법이 여전이 부족한 상태이다. 또한 국내의 평가방법이 연구되기 시작한 초기에 비해서 그동안 국내·외 내진기준이 계속적으로 수정·변경되었으며 또한 시스템 개발에 따른 평가방법도 향상되어 변화의 폭이 매우 증대됨을 알 수 있다.

가. 국내외 내진설계 기준의 변천

(1) 국내 내진설계 기준

국내 내진설계기준은 1962년 건축법 제정시 최초로 구조계산시 지진에 대하여 검토하도록 제시하였으나 구체적 기준은 없었다. 1978년 충남 홍성지진과 1985년 멕시코에서 대규모의 지진이 발생하여 심각한 피해를 입게 되자 국내에서도 지진에 대한 대비의 필요성이 대두되었고, 건설부에서는 대한건축학회에 의뢰하여 건축구조물에 대해 적용할 내진설계기준을 제정하고 1988년부터 최초로 진도 7 이상의 지진에 건물의 안전을 목표로 내진설계를 시행하게 되었다. 이 법규가 마련되기 전인 1986년에는 21층 이상 건축물과 16층 이상 아파트는 내진설계를 해야 한다는 고층 건축물 내진설계지침을 제정하여 매우 제한적으로 내진설계를 적용하였으므로, 1986년 이전에 건설된 아파트나 대부분의 건물은 내진설계가 반영되지 않았다고 볼 수 있어 중규모의 지진 발생시 대부분의 저층 건축물에서는 큰 피해가 예상된다. 그러나 1988년 내진설계기준을 제정할 당시에도 당시의 현실적인 여건을 고려하여 6층 이상 연면적 10,000㎡ 이상에 대해서만 내진설계를 하도록 규정하였다. 내진설계 대상건축물의 범위는 2000년 5층 이상 연면적 5,000㎡ 이상으로 확대되었고, 2005년 3층 이상 연면적 1,000㎡ 이상으로 확대되었다.

2000년에 내진설계기준의 개정에서는 지진구역을 새로 지정하고, 종전에는 15층 이상인 아파트의 경우 5층 이상 14층 이하인 아파트와 동일한 동일한 내진설계기준을 적용하던 것을, 15층 이상인 아파트에 대하여는 5층 이상 14층 이하인 아파트보다 강화된 내진설계기준을 적용하도록 하고, 내진설계기준이 강화되는 숙박시설, 오피스텔 및 기숙사의 범위를 6층 이상에서 5층 이상으로 확대하였다. 이후에도 개정을 거쳐 내진기준 강화 및 내진대상 건축물을 확대하고 있다.



<그림 2.1.1 지역별 내진기준 분류(1988)>

위 그림에서와 같이 1988년 내진기준을 제정할 때 우리나라를 3지역으로 분류하였다.

zone 0 은 지진 위험도가 없는 곳으로 분류된 지역이고, zone 1, 2 는 각각 약진, 중진 지역으로 분류된 지역이다.

현행 내진설계기준(KBC2009)에서는 50년간 발생확률이 2%인 지진, 즉 재현주기 2400년의 지진위험도를 갖는 최대 예상지진을 정의하고 있고 이에 대한 가속도 스펙트럼 값을 제공하고 있다. 설계지진하중(가속도 스펙트럼)은 최대 예상 지진하중의 값에 2/3 감소계수를 적용하여 결정하도록 하고 있다.

개략적인 내진기준의 주요 개정사항은 다음 표와 같다.

<표 2.1.1 국내 내진기준 주요 개정사항>

개정년도	기 준	내 용
1962	건축법 제정	•구조계산시 지진에 대하여 검토하도록 하였으나, 구제적인 기준은 없음
1988	내진기준 최초도입	•내진설계 계산기준을 구체적으로 규정(미국의 ATC 306기준 적용) •6층 이상 건축물에 전면 적용, 아파트 2등급으로 분류, 지진규모 5.0 대비
2000	내진기준 1차 개정	•내진설계기준 부분개정 •5층 이상 건물, 15층 이상 아파트를 특등급으로 상향분류
2005	내진기준 2차 개정	•건축구조설계기준(KBC2005) 제정 •3층 이상 연면적 1,000㎡ 이상, 지진하중 상향 조정, 지진규모 6.2 대비
2009	내진기준 3차 개정	•건축구조(KBC2009) 개정 •상세 지진재해도 채용, 내진설계범주 D에 대한 시스템 제한과 높이 제한 설정

※ 한국시설안전공단의 '기존시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령' 은 평가 지침이므로 첨부하지 않았음

건축구조기준(KBC2009)에서는 내진 설계 범주(Seismic Design categories, SDC)를 내진중요도 그룹과 지진의 세기에 따라서 결정하도록 하고 있다. SDC는 최근 개발된 성능에 기초한 내진설계개념을 기준에 도입한 것이다. SDC가 등급이 올라 갈수록 건물 사용 구조 시스템의 제한, 해석방법, 그리고 설계 및 상세규정이 강회된다. 특히 KBC2009 기준이 기존 기준들에 비하여 크게 발전된 부분은 다양한 구조 시스템을 허용하였고 이에 대한 반응수정계수와 초과강도계수를 마련하였으며 시스템별 높이 제한 사항도 SDC 등급에 따라 마련하였다.

국내 내진설계기준 지진하중의 최소 허용기준은 다음 표와 같다.

<표 2.1.2 국내 내진설계기준 지진하중의 최소 허용기준>

구분	건축물 하중 기준(2000)	건축구조설계기준(2005)	건축구조기준 (2009)	2000에 대한 2005 변경사항
지진응답계수	C ≤ 1.75	Cs ≥ 0.044Sds · IE	Cs ≥ 0.01	-
주기 산정법	T ≤ 1.2Ta	T ≤ 1.2Ta	T ≤ CUTa	-
설계값의 산정	-	Cm = V/Vt	Cm = 0.85V/Vt	-
횡변위 제한	0.010h	0.010h,0.020h	0.010h,0.020h	내진등급에 따라 구분
비정형 구조물	수직, 수평 비정형 검토	수직, 수평 비정형 검토	수직, 수평 비정형 검토	구조물의 강성과 건물 형태의 비정형성을 고려
필로티 구조물	제한사항 없음	특별지진하중 (초과강도계수) 비정형성검토	특별지진하중 (초과강도계수) 비정형성검토	부재크기의 증대 불안정 구조물의 지양
최대 지진하중	500년 재현주기	2400년 재현주기의 2/3	2400년 재현주기의 2/3	33% 증가
지역계수	지현주기 500년 지진위험도의 유효지반 가속도	지현주기 500년 지진위험도의 유효지반 가속도	지현주기 2400년 지진위험도의 최대지진 유효지반 가속도	동일
지반종류	S1, S2, S3, S4	SA, SB, SC, SD, SE	SA, SB, SC, SD, SE	설계 초기 진단과 속도 측정 충실하고 면밀한 지반조사
설계범주	없음	A, B, C, D	A, B, C, D	설계 범주에 따라 구체적 설면방법 제시
내진등급	특, (Ⅰ), (Ⅱ)	특, Ⅰ, Ⅱ	특, Ⅰ, Ⅱ	15층 이상 오피스텔, 3층이상 학교로 강화
설계스펙트럼 가속도	지반 가속도에 근거	건물의 가속도로 표현	건물의 가속도로 표현	단주기 영역, 연약지반 영역의 지진력 증폭 고려

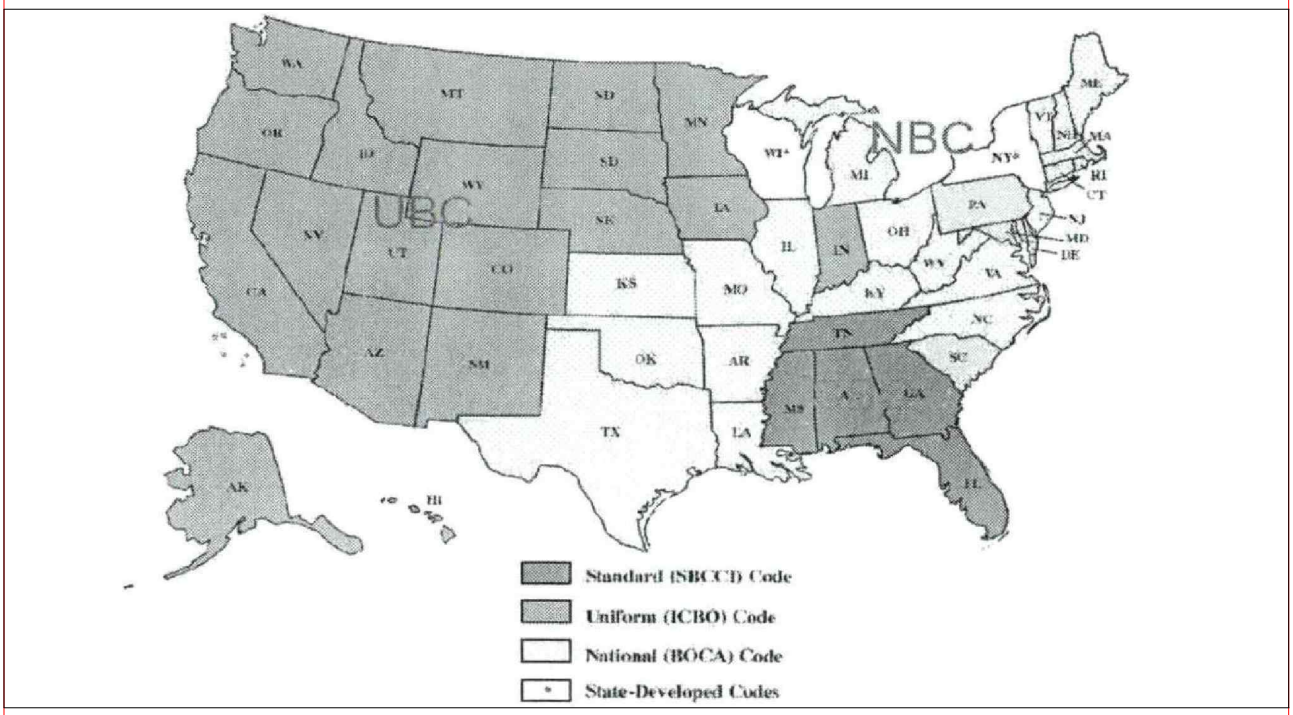
※ 2008, 한상환외, 대한건축학회 논문집

(2) 해외 내진설계 기준

(가) 미국 내진설계기준

미국의 초기 내진설계구준은 SEAOC(Structural Engineers Association of California)에서 1959년 발생한 'Recommended Lateral Force Provisions and Commentary'으로 이후 ATC(Applied Technology Council)를 설립하고 ATC3-06 Report 를 발행하였는데 이는 반응수정계수를 도입한 비탄성거동 기준을 제시하였으며 전세계 내진설계기준 및 IBC의 근간이 되었다.

2000년 이전에는 미국의 대표적인 3개의 설계기준이 각 지역별로 각각 독립적으로 개정 및 발전되어 왔으나, 2000년 이후 IBC로 통합되었다.



<그림 2.1.2 미국 지역별 내진설계 기준>

여기서, ICBO : International Conference of Building Offical(서부지역 중심) ➜ UBC : Uniform Building Code로 발전되었고, BOCA : Building Offical and Code Administrators(동부지역 중심) ➜ NBC : National Building Code 되었으며, SBCCI : southern Building Code Congress International (남부지역 중심) ➜ SBC : Southern Building Code으로 발전되었다.

초기 내진설계기준은 50년간 10% 초과확률(재현주기 475년)에 상응하는 설계지진에 대해서 인명안전을 목표로 하였으나 1989년 발생한 Loma Prieta 지진 이후 단순 인명안전을 목표로 한 내진설계기준에서 설계지진의 수준에 따라 여러 가지의 성능수준을 만족시킬수 있는 내진설계기준으로 전환해야 할 필요성이 제기되었고, 이러한 개념이 IBC-2000에 도입되었다. 특히 IBC(International Building Code)의 설계지진수준은 2500년 재현주기(50년에 2% 초과확률)의 2/3를 사용한다. 또한 설계스펙트럼은 지역계수가 아닌 설계스펙트럼 계수를 통하여 정의하는 등 이전의 기준과 많은 차이를 나타낸다.

<표 2.1.3 IBC-2000과 IBC-2006 항목 비교>

대분류	소분류	내용변경 여부	IBC-2000 관련절	IBC-2006&ASCE 7-05 관련절
내진설계 일반사항	내진설계기본개념	-	IBC 2000 1615.1.2, 1615.1.3	IBC 2006 1613.5.3, 1613.5.4
	지반분류	-	IBC 2000 Table 1615.1.1	IBC 2006 Table1613.5.2
	중요도계수	●	IBC 2000 Table 1604.5	IBC 2006 Table 1604.5 ASCE 7-05 Table 11.5-1
	내진설계범주	-	IBC 2000 1616.3	IBC 2006.1613.5.6
	설계스펙트럼	●	IBC 2000 1615.1.4	ASCE 7-05 11.4.5
지진력 저항 시스템	내력벽시스템		IBC 2000 Table 1617.6	ASCE 7-05 Table 12.2-1
	모멘트골조	●	IBC 2000 Table 1617.6	ASCE 7-05 Table 12.2-1
	건물골조시스템	-	IBC 2000 Table 1617.6	ASCE 7-05 Table 12.2-1
	이중골조시스템	-	IBC 2000 Table 1617.6	ASCE 7-05 Table 12.2-1
	전단벽-골조 상호작용시스템	-	IBC 2000 Table 1617.6	ASCE 7-05 Table 12.2-1
등가정적 해석법	주기산정식	●	IBC 2000 1617.4.2.1	ASCE 7-05 12.8.2.1
	주기상한제한	●	IBC 2000 Table 1617.4.2	ASCE 7-05 Table 12.8-1
	지진응답계수	●	IBC 2000 1617.4.2.1	ASCE 7-05 12.8.1.1
	비틀림동적계수	●	IBC 2000 1617.4.4.4, 1617.4.4.5	ASCE 7-05 12.8.4.2, 12.8.4.3
	전도모멘트	●	IBC 2000 1617.4.5	ASCE 7-05 12.8.5
동적해석법	동적해석보정	●	IBC 2000 1618.7	ASCE 7-05 12.9.4
부재설계	약층 검토	●	IBC 2000 1620.1.3	ASCE 7-05 12.3.3.2
	지진방향 직교성 (SDC D 이상)	●	IBC 2000 1620.3.5	ASCE 7-05 12.5.4

(나) 일본 내진설계기준

일본의 건축물 내진설계는 1995년 고베지진을 계기로 성능규정화에 대응하기 위해 1998년 건축기준법을 개정하였다. 일본은 아직 허용응력설계와 보유수평내력의 확인이라는 2단계 설계를 기본으로 하고 있지만 일본건축학회에서는 건물의 성능기준과 이에 대한 성능검토를 기본으로 하는 극한강도형 지침과 인성보증형 지침을 제시하고 있다. 일본은 과거 많은 지진재해 경험이 있을 때마다 발생한 문제점을 국복하는 과정에서 건축물에 요구되는 기능이나 성능에 대한 내진공학이 발전해 왔으며 그에 따라 내진설계기준도 변화해 왔다. 일본의 주요 지진과 그에 따른 내진설계기준의 변화 요약은 다음 표와 같다.

<표 2.1.4 일본 주요지진에 따른 내진설계기준의 변화 요약>

시 기	제 안	내 용
Nobi 지진 M 8.0(1891)		•벽돌조가 파괴되고, 연약지반에서 지진피해가 컸음 •수평방향의 관성력에 대해 안전성 검토의 필요
1916년	가옥내진구조론 사노도시키의 제안	•등가정적수평력 제안 •동경의 예상진도를 0.3으로 제시 •각 기둥이 분담하는 지진력을 강도에 따라 분배 •설계용 지진력을 수평진도로 표기
1919년	도시계획법, 시가지건축물법	•일본 최초의 건축물에 관한 국가 법률 •6대 도시(동경, 요코하마, 나고야, 쿄토, 오오사카, 고베)에 적용
KAnto 대지진 M 7.9(1923)		•RC조 피해는 불규칙한 평면형과 벽이 적은 구조에서 발생 •반면 RC조의 내진성 및 내화성은 높이 평가
1924년 6월	시가지건축물법 시행규칙 개정	•설계진도 0.1의 도입 •간토지진에 의한 동경의 최대 지반가속도를 0.3 정도로 평가 •구조물의 강체로 가정하여, 진동에 의한 증폭을 무시 •재료강도에 대한 허용응력도의 안전율을 3정도로 고려
1924년 12월	구조강도계산규준 (건축학회)	•연직하중과 지진력에 의한 응력을 조합 •설계용 지진력을 일정한 수평진도 산정 •횡력에 의한 구조물 해석에서 적재하중을 절반까지 저감
1937년 5월	시가지건축물법 시행규칙 개정	•실외 용도를 세분화하여 기둥의 연직력 저감 •RC조에 관해 철근의 인장 허용응력도를 완화
1938년 6월	철근콘크리트 구조계산규준 개정	•설계진도는 탄성체의 경우 0.1보다 크게 사용하도록 지적
제2차 세계대전		•비상시의 재료를 절약하는 설계요구

<표 2.1.4 일본 주요지진에 따른 내진설계기준의 변화 요약>

시 기	제 안	내 용
1941년 12월	건축물의 내진구조요항 (일본학술진흥회)	•지진동 특성으로 지반의 탁월주기가 다르다는 점 •내진성 향상을 위해 건물중량을 경감할 것 •수평강도와 강성을 크게 할 것 •구조계획상 – 잘 정리된 평면으로 할 것 – 내진벽을 균등하게 배치할 것 – 견고한 대지를 선정할 것 •내진계산방법상 – 건물 상부에서 수평진도를 크게 할것 – 지하에서 수평진도를 저감할 것
1942년	전시건축규격작성 위원회 (건축학회)	•설계하중을 크게 하는 반면 재료의 안전율을 작게 하여 건축 재료의 절약을 유도 •설계용 수평진도는 보통 지반에서 0.15, 연약지반에서 0.20
1950년	건축기준법, 건축기준법 시행령 제정	•수평진도 k = 0.2 이상 채용 •탄성거동을 바탕으로 k = 0.2 의 수평력에 대해 탄성변위 내에 있는 강도를 건물에 부여하면 대지진시에도 건물을 보전 가능
Tokachi-oki 지진 M 7.9(1968)		•RC조 피해는 순라멘 구조에서 기둥의 압괴 및 붕괴 •피해원인으로는 지표진도 0.2의 초과가능성, 충분한 잉여강도 부족 등
1971년	건축기준법 시행령 개정	•철근콘크리트의 전단보강근 간격에 관한 개정
1971년 5월	단기 허용응력도설계 (일본건축학회)	•허용전단력의 크기가 극한전단력이 되게끔 개정 •기둥 및 보의 허용전단력 산정식 제안(전단저항 모델 상정)
1977년 4월	내진진단규준, 내진개수지침간행 (일본특수건축안전센터)	•1968년 Tokachi-oki 지진 이후에 건설성, 문부성, 건설회사에서 내진진단 및 보강기술을 각각 개발
Miyagiken-oki 지진 M 7.4		•평면적으로 편심이 큰 건물 피해 •높이방향으로 강성분포가 변하는 건물 피해
1981년	건축기준법 개정	•지반, 건물의 고유주기, 평면 및 입면의 밸런스 등 건물의 동적응답성상에 미치는 영향을 고려 •중소지진/대지진 두 개의 크기에 대해 각각 허용응력도 설계, 보유수평내력의 검토를 하는 2단계 설계법 채용
고베 대지진 M 7.2(1995)		•건물에 작용하는 지진동의 크기와 예상되는 손상정도에 관한 공통인식 부족 •건축물의 성능규정화로 건물의 성능을 건축주와 설계자가 확인하면서 설계

나. 기존 내진성능 평가방법 현황

(1) 개요

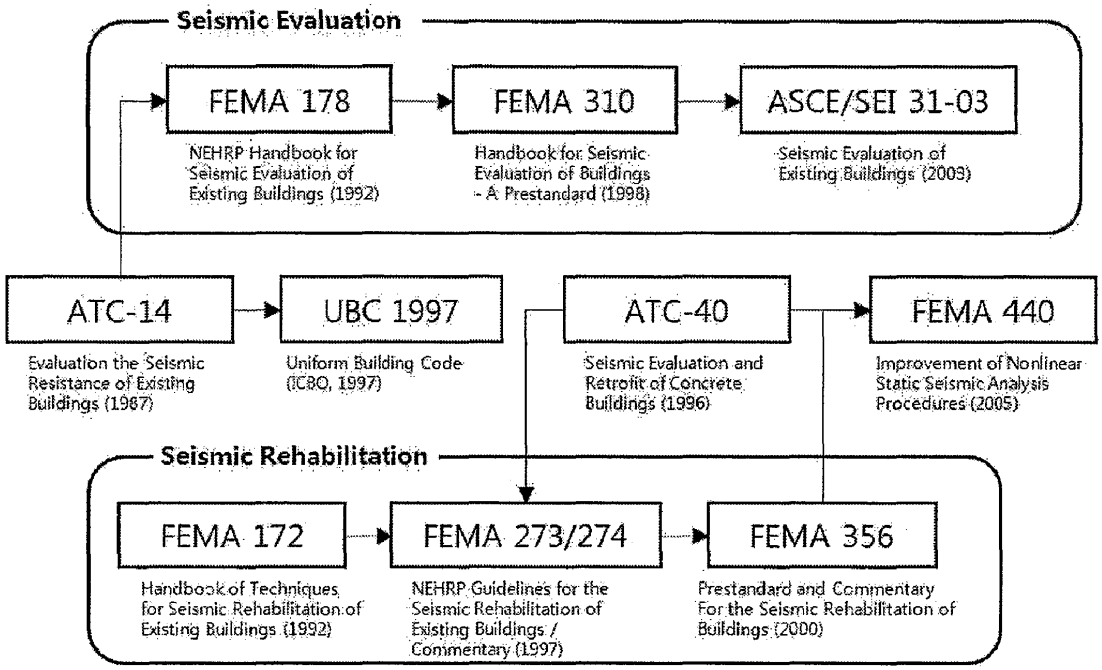
국내의 경우 내진설계가 적용된 건축물의 미비하다는 특성상 예상 발생 지진에 대하여 건물의 내진안정성을 확보하기 위해서는 먼저 대상건물의 내진성능을 정확히 평가하는 것이 중요하다. 국외의 내진성능평가기법의 현황 조사 결과, 미국의 내진성능평가방법은 ATC 14와 FEMA 356, 440 및 ATC-55가 제안되어 있다. 이상에서 제안되고 있는 방법들은 기존건물 또는 신축건물의 지진으로 인한 피해 정도 예측을 목적으로 하고 있으며, 구조재료별로는 특별한 규정을 투고 있지 않고 있다.

일본의 경우는 건물의 요구성능수준을 만족시키기 위하여 일본건축방재협회에서 내구 및 내진성능향상 보수·보강시스템 및 시공매뉴얼을 개방하여 사용하고 있다. 일본의 내진성능평가방법은 여러 구조형식 및 재료로 이루어진 건물을 하나의 기준에 전부 포함하고 있는 미국의 방법과는 달리 건물을 이루고 이루고 있는 각 구성 재료에 의해 서로 다른 형태의 기준을 제시하고 있다는 특징이 있다. 따라서 일본의 내진성능평가방법은 철근콘크리트 건물, 철골·철근콘크리트 건물, 철골조 건물, 목조 건물에 대하여 서로 다른 개념과 방법에 의해 성능평가방법이 따로 제정되어 있다. 이러한 형식의 내진기준은 각 구성 재료별 건물의 특징을 최대한 상세시 파악하여 내진진단을 수행할 수 있는 정점을 가지고 있으나, 각 구조형식에 대해 서로 다른 형태와 방법에 의해 진단이 진행됨으로서 내진진단법을 이해하기 어렵고 통일성이 결여되어 혼란을 가져올 우려가 있다.

국내에서 기존건축물의 내진성능평가 기법이 연구되기 시작한지 약 20년 정도고 되었고 그동안 다양한 평가방법이 제안되었다. 그라나 제안된 평가방법은 미국이나 일본의 평가방법을 도입 및 수정하는 내용이 주가 되어 국내실정에 맞지 않는 부분도 많이 발견되었다. 따라서 국내에서 제안된 기존 건축물의 내진성능 평가기법, 지진피해예측에 근거한 보강건축물의 합리적인 선정방법 및 이들 건축물에 적합한 내진보강방법 등의 연구는 아직까지 초보적인 단계라고 할 수 있다. 국내의 내진기준은 신축 건축물들에 적합한 것으로, 내진기준이 정립되기 이전의 건축물들에 대한 평가기법은 여전히 부족한 상태이다. 또한 국내의 평가방법이 연구되기 시작한 초기에 비해서 구동안 국내외 내진기준이 계속적으로 수정·변경되었으며 또한 컴퓨터에 의한 평가방법도 나날이 발전하는데 주변연건 변화의 폭이 매우 증대되었다.

따라서 본 연구에서 제안할 상태평가와 위험도평가를 적용한 내진성능평가 기법을 제한하는데 밑바탕이 될 내진성능 평가방법의 흐름 및 현황을 분석하고자 한다.

(2) 미국의 내진성능 평가 방법



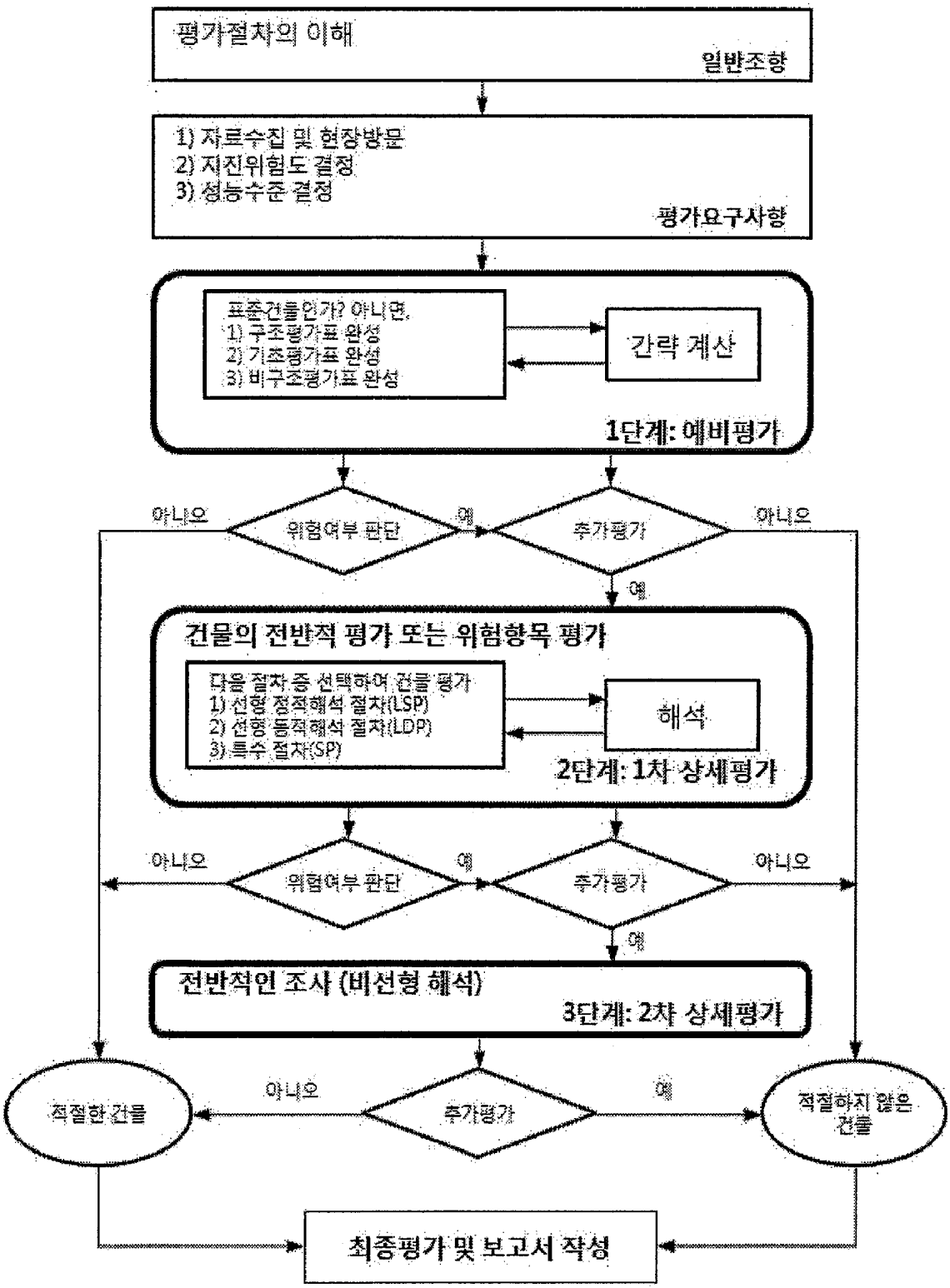
<그림 2.1.3 내진성능 평가기준 변경 흐름도>

(가) 내진성능 평가방법

FEMA 310, ASCE/SEI 31-03 및 FEMA 356에서 제시한 미국의 내진성능 평가방법은 건축물의 예상되는 피해정도를 예측하는 것이 목적이며 구조재료와 관계없이 하나의 기준을 적용한다. 이 평가방법은 제 1단계(예비평가, Screening Phase ; 선별단계), 제 2단계(1차 상세평가, Evaluation Phase ; 평가단계), 제 3단계(2차 상세평가, Detail Evaluation Phase ; 상세평가단계)로 나누어 평가를 실시하며, 이는 다수의 건물을 가능한 단기간에 내진성능을 평가하기 위한 것으로 1단계에서 내진성능을 확인하여, 성능에 문제가 있으면 2단계 및 3단계의 순서로 내진성능을 확인한다.

1단계에서는 구조부재, 비구조부재, 기초로 나누어 항목별 평가표를 통해 평가를 수행하고 적절(compliant), 부적적(non-compliant), 해당사항 없음(not -applicable)으로 구분하여 결정하도록 되어있다. 부적절로 판명된 항목이 있을 경우 2단계에서 선형정적 및 선형동적 해석법을 이용하여 건물 전체 혹은 그 항목에 관한 재평가가 실시되며, 2단계에서도 문제가 있으면 3단계에서 비선형 해석을 실시하여 보다 상세하게 건물의 내진성능을 확인한다. 이러한 정말 해석에서도 부적절하다고 판명된 시스템이나 부재는 적절한 내진항목을 보유하지 않은 것으로 결론 내릴 수 있다.

내진 기준에서 제시한 정도의 지진에 대하여 인명안전을 보장할 정도의 내진성능을 보유하고 있는지 평가하기 위한 절차는 다음과 같다.



<그림 2.1.4 내진성능 평가 절차>

(나) 해석 절차

① 보유성능 ≥ 요구내력

보유성능은 구조재료들에 의한 설계기준에 근거하여 계산될 수 있으며, 요구내력의 계산은 약산법이나 등가정적해석 또는 동적해석에 의하여 각각 계산 될 수 있다.

② 보유성능의 계산

구조재료에 대한 보유성능의 평가는 적정한 기준을 사용하여 계산하는 것이 타당하며, 다른 공인된 방법으로도 부재 보유성능을 계산 할 수 있다.

③ 요구내력의 계산

부재의 요구내력은 약산법, 등가정적해석법, 등적해석법에 따라 결정하도록 되어 있다.

④ 최종평가

해석을 통하여 보유성능 및 요구내력을 평가한 후 결과를 종합하는 평가표를 평가항목 별로 정리하여야 한다. 최소한의 기준을 만족하지 못하는 부재는 상세한 보완평가가 필요하다.

(다) 제 1단계 평가(선별단계)

1단계 평가는 성능이 뛰어난 건물 혹은 잠재적인 결함을 가진 건물을 빠른 시간 내에 선별하기 위한 신속한 평가(rapid evaluation)의 성격을 갖는다. 성능수준과 건물의 지진위험도 및 구조형식에 따라 설계, 시공, 건물의 변경과 관련된 설계도면, 시방서, 구조계산서, 지질보고서, 현장조사 자료 등에 대하여 가능한 많은 자료들을 수집하도록 한다. 1단계 평가가 이루어진 후 대상건물은 주어진 성능수준을 만족하거나 혹은 잠재적인 결함 여부가 판별되며, 잠재적인 결함을 가진 건물의 경우 2단계 혹은 3단계 평가를 통해 정밀한 계산을 수행하게 된다. 1단계 평가를 위해서는 23종의 건물 형태별로 기본평가표가 제시되어 있으며, 여러 구조형식이 혼용되어 하나의 형태로 판단할 수 없는 경우에는 기본평가표로 사용한다. 평가표의 주요 항목은 다음과 같다.

<표 2.1.5 1단계 평가표>

분류	평가항목
건물시스템	•하중경로, 인접건물, 약층(weak story), 연약층(soft story), 형상, 질량, 수직적인 불연속성, 비틀림, 재료의 상태, 부식, 열화, 균열
횡력저항시스템	•모멘트 골조, 전단벽, 가새골조별 여유도(redundancy), 축응력, 전단응력 검토, 배근 상태 등
격막(disphram)	•연속성, 개구부
접합부	•정착, 접합

(라) 제 2단계 평가(평가단계)

① 평가 절차

1단계 평가에서 잠재적 위험을 가지는 것으로 판별된 경우에는 2단계 평가 혹은 3단계 평가로 진행한다. 2단계 평가는 1단계 평가에서 잠재적 위험을 가지는 항목만을 자세히 평가하는 결함 2단계 평가와 건물의 성능을 전반적으로 자세히 평가하는 건물 2단계 평가로구분된다. 대체로 정형의 형태를 가지는 단순한 저층건물은 대개 결함 2단계 평가만으로 2단계 평가가 가능하다.

② 재료강도

2단계 평가에서 재료특성은 1단계 평가에서 사용되는 기본값을 사용할 수 없으며, 평가대상 건물의 시공당시 건축기준이나 시공도면 등의 자료검토와 현장조사뿐만 아니라 구조재료 시험을 통해 건물에 대한 유용한 정보를 얻어 사용해야 한다.

③ 해석법

㉮ 선형동적해석 : 응답스펙트럼법을 통해 구해진 각 모드의 응답은 SRSS(Square Root of Sum of Square)나 CQC(Complete Quadratic Combination) 방법으로 조합 한다.

㉯ 선형정적해석(LSP)과 선형동적해석(LDP) : 이 해석은 요구조건 2단계 해석시 비틀림 효과를 검토하여 비틀림의 효과가 무시할 만큼 충분히 작지 않을 경우 3차원으로 모델링 하여야 한다.

④ 부재

모든 부재는 변형지배 혹은 하중지배로 구분하여 평가방법을 다르게 한다. 변형지배 부재는 비선형거동을 하는 부재로서 이러한 부재는 미리 형상별, 재료별로 정해진 m값(수정계수)을 많고하는지 검토하여 평가한다. 하중지배 부재는 콘크리트 기둥과 같이 전단에 지배되는 부재로서 비선형거동을 일이키기 전에 파괴가 일어나므로 이러한 부재의 평가를 위해서는 주위 부재들로부터 전달되는 최대하중의 크기가 사용된다. 2단계 평가에서 대상건물이 주어진 성능수준을 만족하기 위해서는 모든 하중지배 부재의 부재내력은 주위 부재들로부터 전달되는 최대하중보다 커야하며, 모든 변위지배 부재의 비선형거동은 자신의 연성능력을 넘지 않아야 한다.

⑤ 결함 2단계 평가(deficiency-only tier 2 evaluation)

1차 평가 결과에 따라 결함 2단계 평가를 사용해도 되는 경우 1차 평가 시 평가표의 항목 중 NC(non-compliant)인 항목에 대하여 보다 자세히 평가한다.

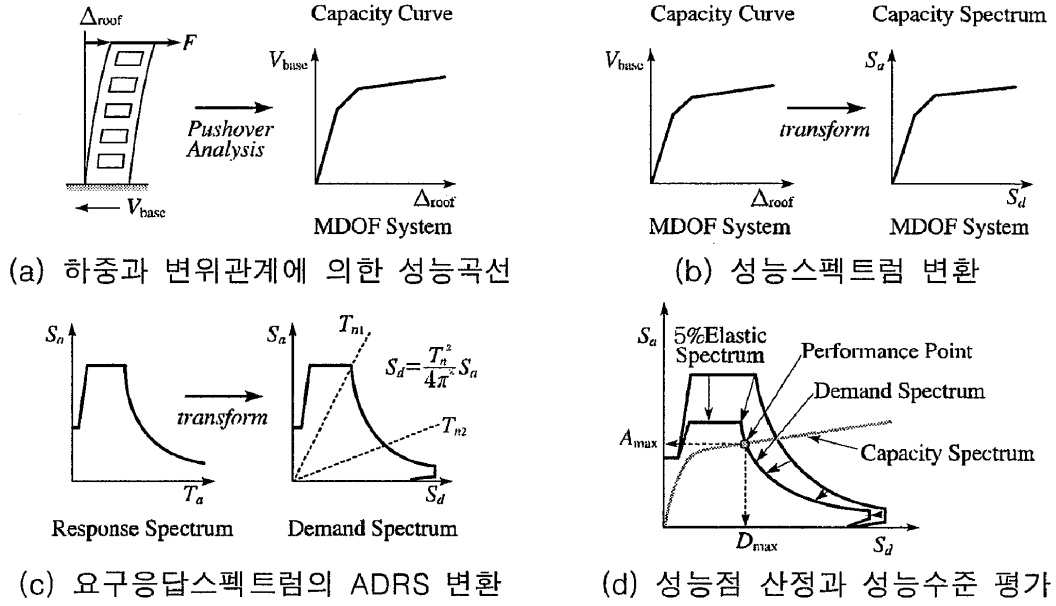
(마) 제 3단계 평가(상세평가단계)

2단계 평가에서도 부적절한 것으로 나타나면 3단계 평가를 진행한다. 경우에 따라서는 1단계 평가 후 3단계 평가가 요구되는 경우도 있다. 3단계 평가에서는 보강설계를 위한 규정 혹은 신축건물을 우한 설계기준을 원용하며 사용하며, 비선형해석 혹은 선형해석일 경우에도 비선형 거동을 직간접적으로 파악할 수 있는 해석기법을 통해 평가한다.

① 성능스펙트럼에 의한 내진성능 평가 절차

㉮ 성능스펙트럼법(Capacity spectrum method, CSM)

- 건물의 항복이후 거동 및 보유내력의 평가, 에너지 소산 및 변위 요구량 파악
- 건물을 구성하는 각 구조요소의 소성화 과정을 순차적으로 평가
- 보수·보강을 통하여 구조성능을 높이고자 할 때 필요한 부재의 경제적인 선정



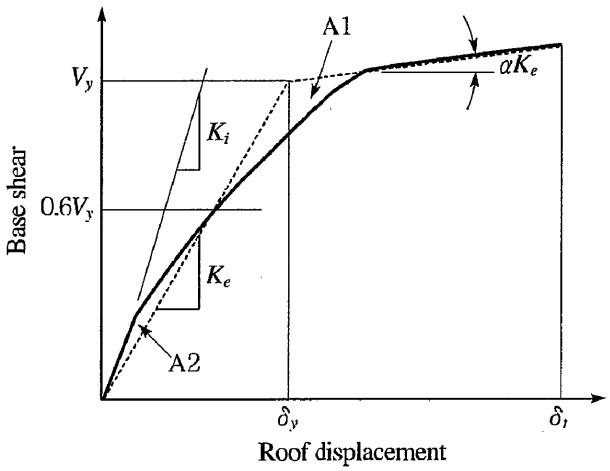
(a) 하중과 변위관계에 의한 성능곡선 (b) 성능스펙트럼 변환

(c) 요구응답스펙트럼의 ADRS 변환 (d) 성능점 산정과 성능수준 평가

<그림 2.1.5 제 3단계 평가 방법>

㉯ 변위계수법(displacement coefficient method, DCM)

- FEMA-356(2000)에서 제시하고 있는 변위계수법은 건물의 응답을 적절한 계수들의 곱으로 간략하게 산정하는 방법이다.



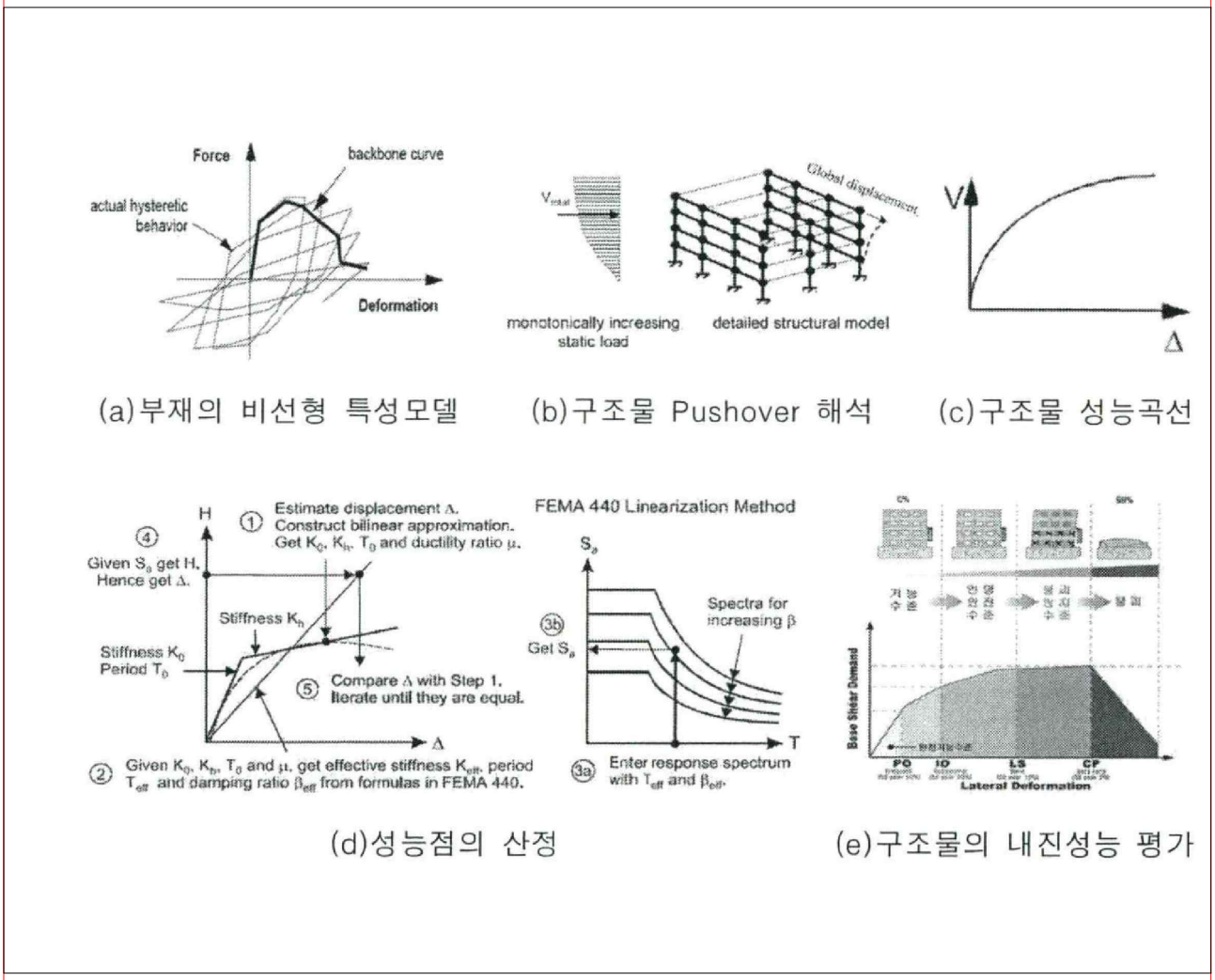
<그림 2.1.6 유효강성의 계산(FEMA-356)>

② 비선형 동적해석에 의한 내진성능 평가

비선형 동적해석은 구조물의 내진성능을 정밀하게 평가하기 위한 기법으로 크게 모드해석법과 시간이력해석법이 있다. 모드해석법은 내진설계에서 구조물의 각 모드에서의 최대 응답을 조합하여 근사적으로 전체 구조물의 응답을 구하는 방법으로 구조물의 모드형상과 지진하중에 대한 응답스펙트럼으로 간단하게 구조물의 동적응답을 구해낼 수 있어 내진설계에서 널리 사용되고 있으나, 선형해석에만 적용할 수 있는 점과 시간에 따른 동적 거동을 고려하지 못하는 단점이 있다.

비선형 동적해석 방법인 시간이력해석법은 재료 및 부재의 비선형 특성과 시간의존적인 특성을 반영하여 구조물의 변위, 속도 및 가속도 응답이력을 구 할 수 있는 가장 정확한 해석방법이다.

성능곡선에 의한 내진성능 평가 절차는 다음과 같다.

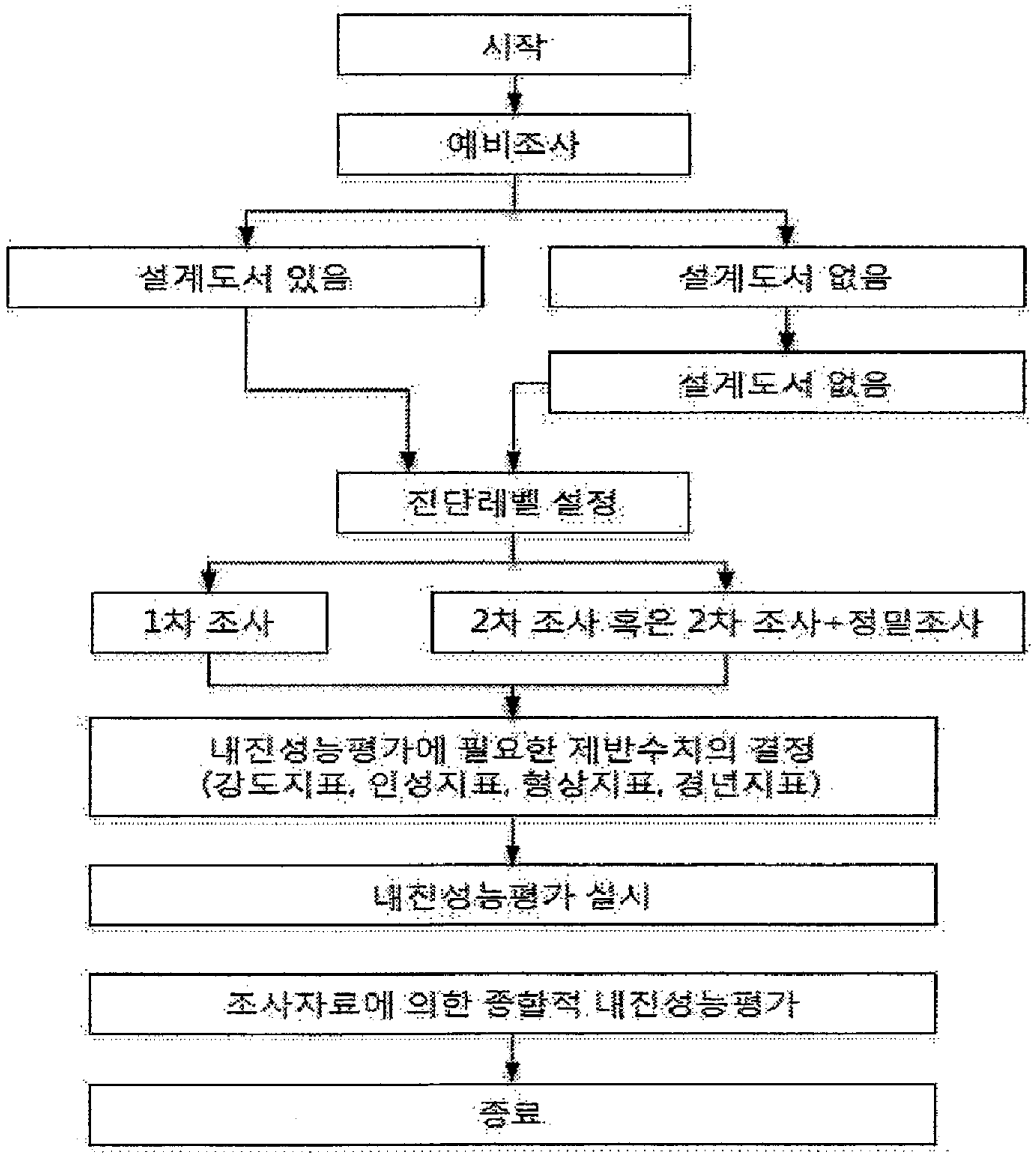


<그림 2.1.7 성능곡선에 의한 내진성능평가 절차>

(3) 일본의 내진성능 평가 방법

(가) 성능평가 개요

일본의 내진성능평가 기법은 여러 구조형식 및 재료로 이루어진 구조물을 하나의 기준에 전부 포함한 미국의 내진 지침과는 달리 구조체를 이루고 잇는 각 구성 재료에 의해 서로 다른 형태의 기준을 가지고 있다. 따라서 일본의 내진진단 기준은 철근콘크리트조 건물, 철골ㆍ철근콘크리트조 건물, 철골조 건물,목조 건물에 대해서 서로 다른 개념과 방법에 의해 진단법이 따로 제정되어 있다. 내진성능 평가 절차는 다음 흐름도와 같다.



<그림 2.1.8 일본 내진성능 평가절차>

일본의 내진성능 평가내용은 다음 표와 같다.

<표 2.1.6 일본 내진성능 평가내용>

조사종별	조사목적	조사항목
예비조사	•진단기준 적용 시 진단레벨 설정	•구조개요, 건물상황 개략
설계도서 없는 경우 조사	•실측에 의한 구조체 치수 및 배근상황 조사	•구조체 치수, 철근 치수, 배근상황등을 진단레벨에 맞게 설정
1차조사	•설계도서와 건물을 바탕으로 제1차 진단용 경년지표 및 향상지표 산출	•원 설계도서와의 차이점, 설비기구 등의 설치상황, 건물의 개요현황등
2차조사	•설계도서와 건물을 바탕으로 제2차, 3차 진단용 형상지표 및 경년지표의 산출 •경년노화에 의한 보수 · 보강의 여부를 조사(육안조사 기본 ; 정밀조사인 콘크리트 강도에 대해서는 코아 채취에 의한 시험실시가 바람직 함)	•원 설계도서와 차이점, 설비 기기 등의 설치상황 •구조 균열, 변형, 변질, 지반 침하, 노후화 상황 등
정밀조사	•제2차, 3차 진단의 정밀도 향상 및 장래의 보강설계에 사용할 데이터 수집을 목적으로 재료강도(콘크리트 및 철근) 및 콘크리트 중성화 깊이 등 조사	•재료의 강도특성, 재료노화 등을 목적과 상황에 따라 조사항목 선정

① 1차 진단법

<표 2.1.7 1차 진단법>

구분	산정식
강도지표(C) 산정	$C_w = \left\{ \frac{\tau_{w1}}{W} \times a_{w1} + \frac{\tau_{w2}}{W} \times a_{w2} + \frac{\tau_{w3}}{W} \times a_{w3} \right\} \frac{F_c}{20}$ $C_c = \frac{\tau_c}{W} \times a_c \times \frac{F_c}{20}$
인성지표(F) 산정	h0/D ≤ 2 인 기둥, F = 0.8 h0/D > 2 인 기둥, f = 1.0 벽체 f = 1.0
보유성능지표(E0) 산정	극단주(h0/D ≤ 2)가 없는 경우 $E_0 = \frac{n+1}{n+i}(C_w + \alpha_1 C_c) \times F_w$ 극단주(h0/D ≤ 2)가 있는 경우 $E_0 = \frac{n+1}{n+i}(C_{sc} + \alpha_2 C_w + \alpha_3 C_c) \times F_{sc}$

② 2차 진단법

<표 2.1.8 2차 진단법>

구분	산정식
강도지표(C) 산정	기둥 : $V_{Mu} = M_u/(h_0/2)$ $M_u = 0.8a_t f_y D + 0.5ND\left(1 - \frac{N}{bDF_c}\right)$ $V_{Su} = \left\{\frac{0.053\ P_t^{0.23}(f_{ck}+180)}{M/(Vd)+0.12} + 2.7\sqrt{P_w f_{wy}} + 0.1\sigma_0\right\} bj$ 벽 : ${}_wV_{Mu} = {}_wM_u/(h_w/2)$ ${}_wM_u = a_g f_y l_w + 0.5\Sigma(a_w f_{wy})l_w + 0.5Nl_w$ ${}_wV_{Su} = \left\{\frac{0.053\ p_{te}^{0.23}(f_{ck}+180)}{M/(Vl)+0.12} + 2.7\sqrt{p_s f_{wy}} + 0.1\sigma_{0e}\right\} b_e j$
인성지표(F) 산정	휨파괴 기둥 : $F=\phi\sqrt{2\mu-1}$ $(F=1.27\sim3.2)$ 휨파괴 벽 : $F=1.0\ ({}_wV_{Su}/{}_wV_M \le 1.2)$, $F=1.0\ ({}_wV_{Su}/{}_wV_M > 1.3)$ 전단파괴 기둥 및 벽 : 1.0 극취성파괴 기둥의 경우 : 0.8
보유성능지표(E0) 산정	두 식중 큰 값 적용 $E_0 = \frac{n+1}{n+i}\sqrt{(C_1\times F_1)^2+(C_2\times F_2)^2+(C_3\times F_3)^2}$ $E_0 = \frac{n+1}{n+i}(C_1+\alpha_2 C_2+\alpha_3 C_3)\times F_1$

③ 3차 진단법

1차 진단법과 2차 진단법에서 고려되지 않았던 보나 슬래브 강성을 고려한다. 이 방법은 내진평가에 수평부재를 고려하는 것을 제외하면 나머지는 2차 진단법과 동일하다. 진단결과 건물의 붕괴형태가 기둥이 보보다 강한 기둥붕괴 선행일 경우 2차 진단법과 동일한 결과가 나오게 되고 반대로 보가 기둥보다 약하면 건물 전체의 강도지표는 낮아지게 되며 변형능력이 큰 보 붕괴형의 파괴형식의 경우는 연성지표가 높게 나오는 경향이 있다.

㉮ 내진성능 평가방법 종합 검토

대상 건축물을 진단할 때는 1차진단부터 순차적으로 하는 것을 원칙으로 한다. 제 1차 진단법은 건축물의 연성능력이 내진성능에 미치는 영향이 극히 작다는 가정 하에 강도성능만으로

건축물의 내진성능을 구하는 방법이고, 제 2차 진단법은 강도·연성능력을 통해 건축물의 내진성능을 구하는 비교적 정확한 방법이다. 제 3차 진단법의 경우에는 보 및 회전벽 등의 영향까지 포함하여 내진성능을 평가한다. 제 3차 진단법에서는 건물의 성능이 1차 또는 2차 진단법 보다 상세하게 검토되며, 그 결과의 신뢰성은 높아진다.

일본의 경우 건물의 내진성능은 점수로 표시되어지며 그 구조 내진지표 값이 클수록 내진성능이 우수하다는 것을 나타낸다. 이 진단법은 일본에서 지금까지 명확한 판단기준이 없었던 건물의 내진성능을 건물의 내력과 변형성능에 의한 에너지 흡수능력으로 점수화되어 그 우열을 점수의 대소로 평가한다는 내진성능의 정량화를 시도한 점이 특징이다.

일본의 내진성능 평가방법을 정리한 것은 다음 표와 같다.

<표 2.1.9 일본의 내진성능 평가방법 정리>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="2">1차 진단</th><th colspan="2">2차 진단</th><th colspan="2">3차 진단</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="8">평가부재</td><td rowspan="8">수직</td><td rowspan="3">극단주(0.8)</td><td rowspan="8">수직</td><td>극단주(0.8)</td><td rowspan="8">수직
&
수평</td><td>극단주(0.8)</td></tr>
<tr><td>전단벽(1.0)</td><td>전단벽(1.0)</td></tr>
<tr><td>휨벽(1.0 ~ 2.0)</td><td>휨벽(1.0 ~ 2.0)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">벽(0.1)</td><td>전단기둥(1.0)</td><td>전단기둥(1.0)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">휨기둥(1.27 ~ 3.2)</td><td>휨기둥(1.27 ~ 3.2)</td></tr>
<tr><td>휨보지배형기둥(3.0)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기둥(1.0)</td><td>전단보지배형기둥(1.5)</td></tr>
<tr><td>회전벽(3.0)</td></tr>
<tr><td colspan="2">수평부재 강성</td><td colspan="2">무한강성으로 가정</td><td colspan="2">무한강성으로 가정</td><td colspan="2">수평부재 강성고려</td></tr>
<tr><td rowspan="2">고려</td><td>대상</td><td colspan="2">단면적</td><td colspan="2">1차진단 + 철근배근</td><td colspan="2">2차진단 + 수평부재의 영향 & 벽체의 회전 영향</td></tr>
<tr><td>종국강도</td><td colspan="2">전단강도</td><td colspan="2">1차진단 + 휨강도</td><td colspan="2">2차진단 + 전단 & 휨 절점강도</td></tr>
</table>

(4) 국내의 내진성능 평가 방법

(가) 내진성능 평가방법 연구 동향

국내의 내진성능 평가기법으로는 현대건설기술연구소와 한양대학교가 공동으로 연구한 '기존 건축물의 내진성능 평가기법(1998)' 을 시작으로 연구가 활발해지기 시작했다. 이 후에 이후 국내의 내진성능 평가에 관한 연구는 다음 표와 같다. 최근 한국시설안전공단을 중심으로 내진성능 평가 및 향상요령이 보완·개정 되었는데, 이 평가방법은 개정된 내진설계기준인 KBC2009의 성능설계법에 따라 내진평가 시 사용할 성능목표수준을 제안하였고 재현주기에 따른 단주기 설계스펙트럼 가속도를 사용하여 내진평가를 수행하도록 제안하였다.(3단계 평가방법을 통해 성능 평가 수행)

<표 2.1.10 국내 내진성능 평가기법 연구>

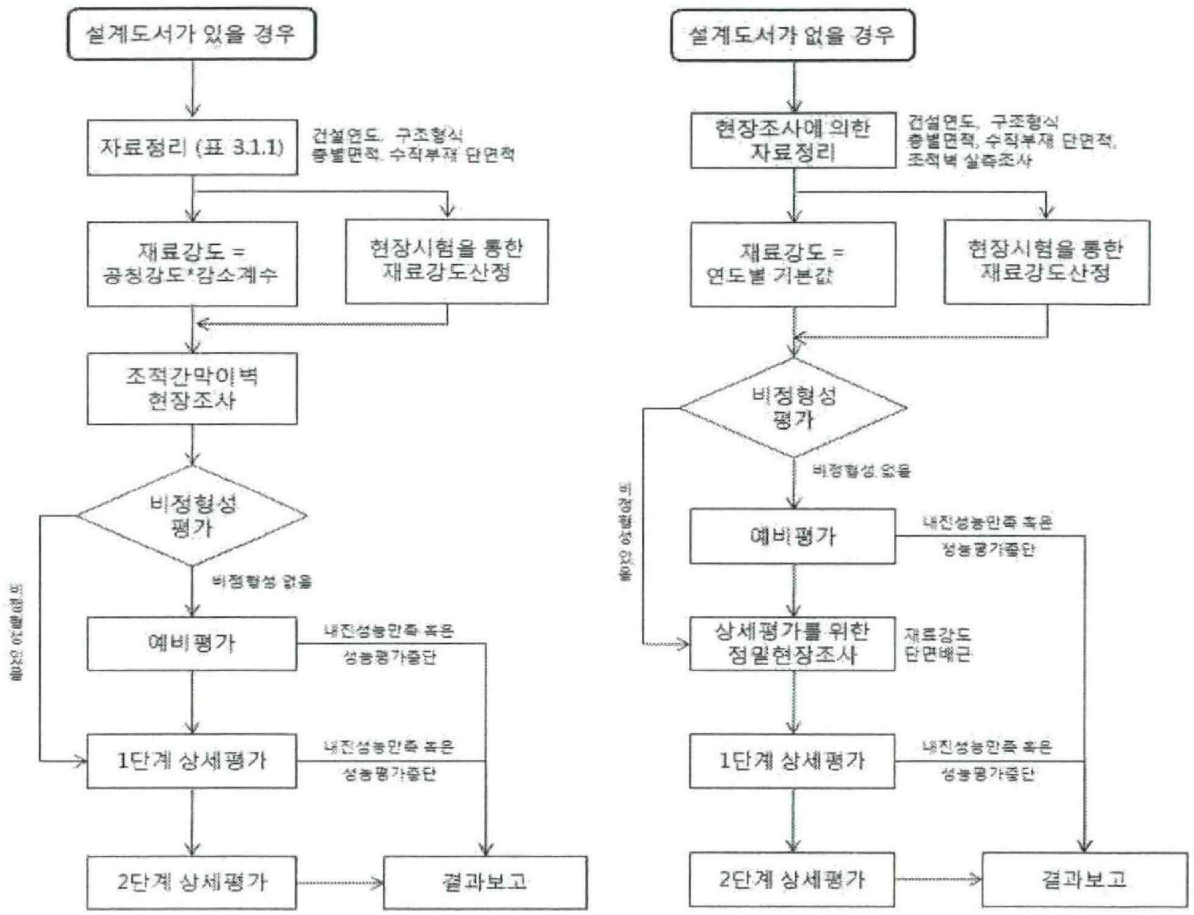
년도	연구자	연구내용
1998	한양대, 현대기술연구소	•기존 건축물의 내진성능 평가기법
2000	서울시립대, 지진방재연구소	•조적조 건축물에 대한 내진성능 평가기법
2001	광운대, 초대형구조시스템연구센터	•한국 철근콘크리트 건물의 내진진단법
2002	광운대	•조적조 건물의 내력도 평가
2002	RIST, 동경대, 동경공업대, 광운대	•구조 내진성능 평가에 관한 기술지침(안)
2002	고려대, 쌍용건설	•우리나라 중저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해예측 및 보수보강기법 연구
2004	한국시설안전공단	•기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령
2008	광운대, 한국시설안전공단	•국내 실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템건축물의 내진성능평가기법 개발
2009	전남대	•저층 철근 콘크리트 건물의 간이 내진성능 평가방법
2011	한국시설안전공단	•기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령 보완 개정

국내의 대표적인 내진성능 평가방법은 다음 표와 같다.

<표 2.1.11 국내 내진성능 평가방법>

구분	제목	기존 건축물의 구조 내진성능평가에 관한 기술지침(안)	국내실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가기법 개발	저층 철근콘크리트 건물의 실용적인 간이 내진성능평가방법 제안	기존 건축물의 내진성능평가 요령의 개정보완
	일시	2002	2008	2009	2011
	연구자	RIST,동경대, 동경공업대, 광운대	광운대, 한국시설안전공단	전남대 이강석교수	한국시설안전공단
평가방법기반		일본 내진진단기준 (2001)	RC조:광운대,초대형구조 시스템 연구센터 보고서(2001) 조적조:RIST등의 기술지침(안)(2002)	일본 내진진단기준 (2001)	예비평가: 한국,일본, 미국자료 상세평가: 미국 FEMA 310, FEMA 356,FEMA 440
평가절차		예비평가 (일본의 1차진단과 2차진단의 중간레벨)	예비평가 (일본의 1차진단과 2차진단의 중간레벨)	예비평가 (기둥 및 벽량에 의한 강도평가)	예비평가: 기둥/벽량에 의한평가 1차 상세평가: LSP,LDP 기반평가 2차 상세평가: NSP에 의한 평가
목표성능수준 고려여부		고려하지않음 (내진판정지표를 경험으로 산정)	고려하지않음 (내진판정지표를 경험으로 산정)	고려하지 않음	성능수준고려 (IO,LS,CP)
재료의 노후화 고려여부		일본 내진진단기준에 따른 재료강도 고려 (현지 조사에 의한 재료강도의 하한값 또는 평균값 사용)	한국에서의 RC조 및 조적조 실험결과를 바탕으로 한 재료강도 고려 (현지 조사에 의한 재료강도의 하한값 또는 평균값 사용)	예비평가 시에는 재료강도가 아닌 응력과 기둥/벽량에 의해 강도를 산정하므로 재료강도를 고려할 필요 없음	재료 보정계수, 강도감소계수 및 년도별 재료값(하한값, 평균값)제시함
평가기준		구조내진지표 및 구조내진판정지표에 의한 평가	구조내진지표 및 구조내진판정지표에 의한 평가	지진피해도별 요구성능 및 요구성능판정지표에 의한 평가 대소관계 결과에 따른 등급결정(12등급)	예비평가: DCR 에 의한 평가 상세평가: 성능수준(IO,LS,CP)의 허용기준에 의한 평가
구조종별		철근콘크리트조, 철골조,조적조	철근콘크리트조, 철골조,조적조	철근콘크리트조	철근콘크리트조, 철골조, 조적조, 철골철근콘크리트조
부재별 평가가능여부		불가능	불가능	불가능	예비평가:불가능 상세평가:가능
평가방법의 복잡성		내력평가식의 다소 복잡함 (일본 1차와 2차의 레벨)	내력평가식의 다소 복잡함 (일본1차와 2차의 레벨)	간편함	1차 및 2차는 프로그램활용이 필수부재별 성능수준 평가로 복잡
예비평가시 RC조 전단벽의 전단응력도 (MPa)	양측기둥 유	0.6	0.6	3	3
	한쪽기둥 유	0.2	0.2	2	2
	기둥 무	0	0	1	1
예비평가시 무보강 조적조의 전단응력도 (MPa)	개구부 무	0.4	0.2	고려하지않음 (RC조만 고려함)	0.2
	개구부 유	0.15	0.1		0.1

(2) 본 연구의 내진성능 평가방법



<그림 2.1.9 본 연구의 내진성능 평가방법>

(가) 본 연구의 내진성능 평가 개요

본 연구의 상태평가 + 위험도평가를 도입한 성능평가 기법은 '한국시설안전공단의 기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령'을 성능평가의 근간으로 하여 연구하였다.

구조물의 분류는 다음 표와 같다.

<표 2.1.12 구조물의 분류>

대분류	소분류
철근콘크리트구조 (RC)	RC모멘트골조
	RC전단벽+모멘트골조
	RC전단벽
철골구조 (S)	철골 모멘트골조
	철골 가새골조
	철골 모멘트골조+RC전단벽
비보강 조적조 (M)	비보강 조적조
철골철근콘크리트조 (SRC)	SRC모멘트골조
	SRC모멘트골조 +RC전단벽

(나) 내진성능 평가기법 연구

① 내진성능 평가절차

㉮ 내진성능 예비평가

대상구조물에 대한 간단한 자료를 토대로 내진성능 상세평가의 필요성을 판단하기 위한 목적으로 실시한다. 예비평가에서는 간단한 자료 및 약산식을 사용하여 산정된 강도를통해 내진성능을 보수적으로 평가한다. 매우 간략화된 약산식을 사용하므로 정형의 구조물만 적용할수 있으며, 예비평가에서 평가결과가 만족하지 못할 경우 내진성능에 문제가 있을 가능성이 높음을 의미하므로 상세평가를 통한 정밀한 평가를 권장한다.

㉯ 1단계 내진성능 상세평가

대상구조물에 대한 탄성해석의 결과를 토대로 주로 부재의 강도측면에서 내진성능을 평가한다. 1단계 내진성능 상세평가에서 평가결과가 만족하지 못할 경우 2단계 내진성능 상세평가를 권장한다.

㉰ 2단계 내진성능 상세평가

대상구조물의 비선형 해석을 원칙으로 하며 부재의 연성도 및 변형 능력을 고려하여 평가한다. 비선형 정적해석을 통해 성능점을 구하고 성능점에서 발생한 부재의 응력 및 변형을 개별부재의 연성도 및 변형능력과 비교하여 검토한다. 성능점을 산정하기 위한 방법으로는 역량스펙트럼법(Capacity Spectrum Method)과 변위계수법(Displacement Coefficient Method) 등을 사용할 수 있다. 또는 구조공학의 원리에 맞는 합리적인 가정을 통해 이 요령에 규정된 방법대신 비선형동적해석이나 다중모드푸시오버해석을 2단계 내진성능 상세평가에 사용할 수도 있다.

내진성능평가절차는 자료정리, 재료강도의 결정, 현장방문을 통한 조적 채움벽 조사, 비정형성평가, 예비평가, 1단계 상세평가, 2단계 상세평가의 순서로 수행된다. 예비평가에서부터 1단계 내진성능상세평가, 2단계 내진성능상세평가의 순서로 수행하는 것이 일반적이나 상위단계의 평가를 바로 수행할 경우 하위단계의 평가절차는 생략할 수도 있다.

상세평가를 위해서는 단면치수와 배근상태 등의 단면특성에 대한 정보가 반드시 필요하다. 설계도서가 없을 경우 현장조사 및 철근탐사기법등을 사용하여 각 단계의 평가에 충분한 정도의 정보를 취득하여야 한다. 설계도서가 있을 경우에도 현장조사를 통해 평면의 용도변경 및 조적벽체의 설치에 대한 조사를 수행하고 상세평가시 이를 반영하여야 한다.

예비평가는 배근상태에 관한 정보가 없을 경우에도 수행할 수 있으나 현장조사를 통해 하중을 저항하는 수직부재의 치수를 조사하여야 한다.

모든 평가단계에서 조적채움벽의 위치 및 치수를 반드시 조사하여야 하며, 상세평가 시 조적채움벽의 효과를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나누어 각각 평가한 후 최종평가결과는 이중 불리한쪽으로 판정한다.

㉱ 재료강도의 결정

내진성능평가를 위한 재료강도는 현장시험, 연도별 기본재료강도, 혹은 설계도서상의 설계기준강도에 사용연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값 중의 하나를 사용한다. 설계도서의 유무에 따른 각 평가단계별 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법은 대상건축물의 요구성능수준에 따라 설계도서가 있는 경우/없는경우 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법와 같이 규정된다.

설계도서의 공칭강도를 사용할 경우 내진성능평가에서는 대상구조물이 설계도서에 따라 시공되었다고 보고 설계도서상의 재료특성에 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수에 따른 사용연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 적용한다. 현장시험을 통해 콘크리트강도 및 조적의 강도를 결정할 경우 그 절차는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침(비파괴 시험법 포함)을 따른다.

경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수는 다음 표와 같다.

<표 2.1.13 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수>

구분		콘크리트 압축강도	조적조 압축강도	조적조 전단강도
경과년수	30년 이상	0.8	0.5	0.7
	20년 이상	0.9	0.6	0.8
	20년 미만 10년 이상	1.0	0.8	0.9
	10년 미만	1.0	1.0	1.0
재료상태	양호	1.0	1.0	1.0
	보통	0.9	0.8	0.85
	불량	0.8	0.5	0.7

㈑ 내진등급별 구조물에 요구되는 성능수준

<표 2.1.14 내진등급별 구조물에 요구되는 성능수준>

성능수준	피해
거주가능	•문제점이 없는 최상의 상태. 평가기준 지진작용시 구조부재의 피해는 무시할 만하며 비구조재에 손상이 있으나 거주에 안전하며 보수와 청소를 통해 기능을 수행할 수 있음.
인명안전	•평가기준 지진 작용시 구조물은 원래 횡강성과 강도를 손실하나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있음. 구조물은 영구변형이 발생. 구조물의 비구조요소에는 심각한 손상이 발생하여 기능을 수행하지 못하며 보수 전 거주는 안전하지 않음. 지진 발생동안 인명안전에 대한 위험은 매우 낮음.
붕괴방지	•평가기준 지진 작용시 구조부재에 큰 피해가 예상됨. 대부분의 구조부재에서도 강도와 강성저하가 크게 일어나지만 수직하중저항시스템의 붕괴는 발생하지 않음. 여진에 의해 붕괴가능성이 있으므로 거주에 적합하지 않음. 구조물의 보수에 의한 기능의 복원이 사실상 어려움.
붕괴	•평가기준 지진작용시 일부 수직하중저항시스템이 연직하중저항능력을 소실하여 부분적인 붕괴 혹은 전면적인 붕괴가 발생함.

㉮ 구조부재의 손상상태에 따른 성능수준

<표 2.1.15 구조부재의 손상상태에 따른 성능수준>

성능수준	피해
거주가능 (Immediate Occupancy level, IO)	•지진 후 구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항 시스템은 지진전의 강성과 강도를 보유하고 있다. •구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 거주가능을 위해 반드시 필요하지는 않다.
인명안전 (Life Safety level, LS)	•구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있다. •구조부재에 영구변형이 있으며 지진력저항시스템의 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 좌굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.
붕괴방지 (Collapse Prevention level, CP)	•구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중저항시스템은 여전히 하중을 지지할 수 있다. •구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

㉯ 지진위험도 산정

<표 2.1.16 지진위험도 산정>

<table>
<tr><td>스펙트럼 가속도</td><td>단주기 스펙트럼 가속도 : $S_{DS}= \frac{2}{3}\times S\times 2.5\times F_S$
주기1초 스펙트럼 가속도 : $S_{D1}= \frac{2}{3}\times S\times F_V$</td></tr>
<tr><td>지진구역 및 지역계수</td><td>
<table>
<tr><th>지진구역</th><th>행정구역</th><th>유효지반가속도 S</th></tr>
<tr><td>1</td><td>지진구역 2를 제외한 전지역</td><td>0.22</td></tr>
<tr><td>2</td><td>강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도</td><td>0.14</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<표 2.1.16 지진위험도 산정>

지반종류

지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도 (m/sec)	표준관입시험 (N치(1))	비배수전단 강도(kPa)
S_A	경암지반	1500 이상	–	–
S_B	보통암지반	760 – 1500		
S_C	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360 – 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사지반	180 – 360	15 – 50	50 – 100
S_E	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50

지반증폭계수

지반증폭계수 Fa

지반종류	지진구역		
	$S_S \leqq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

지반증폭계수 FV

지반종류	지진구역		
	$S_S \leqq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.7	1.6	1.5
S_D	2.4	2.0	1.8
S_E	3.5	3.2	2.8

내진성능 평가기준 지진 응답스펙트럼

평가기준 지진의 응답가속도스펙트럼은 단주기 스펙트럼가속도 SDS와 주기 1초스펙트럼가속도 SD1 으로부터 다음 식에 따라 구한 후 아래 그림과 같이 작성한다.

$$S_a = 0.6\frac{S_{DS}}{T_0}T + S_{DS} \quad (T \leqq T0)$$

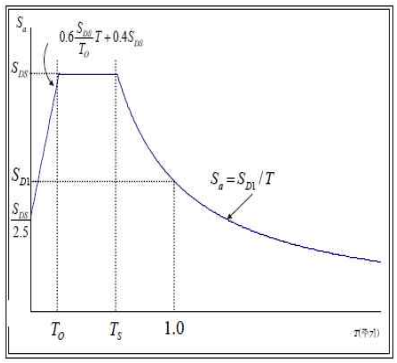
$$S_a = S_{DS} \quad (T0 \leqq T \leqq TS)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T > TS)$$

여기서, T = 주기(초)

$$T_0 = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



설계스펙트럼 가속도(KBC 2009)

2.1.2 위험도 평가

가. 위험사례 조사

(1) 상시

(가) 구조재

① 철근콘크리트 구조물

다음 그림에 구조물 사용중에 발생가능한 부재 및 단면손상에 의한 철근콘크리트구조의 위험사례를 정리하였다.



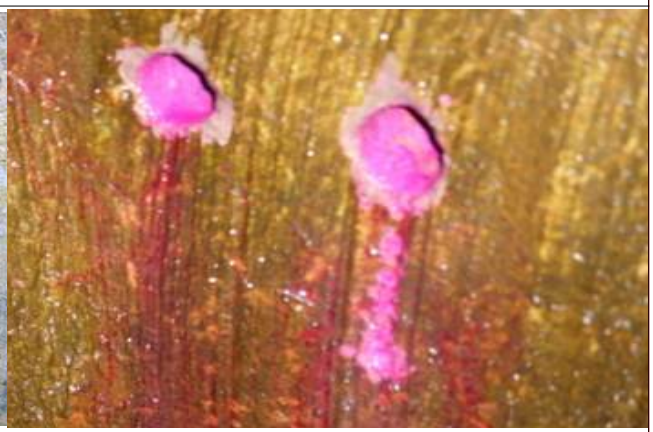
<피복박리로 인한 단면손실>



<시간경과에 따른 강도저하>



<균열에 의한 부재력 손실>



<중성화에 의한 강도저하>



<염해손상에 의한 강도저하>



<백태에 의한 강도저하>

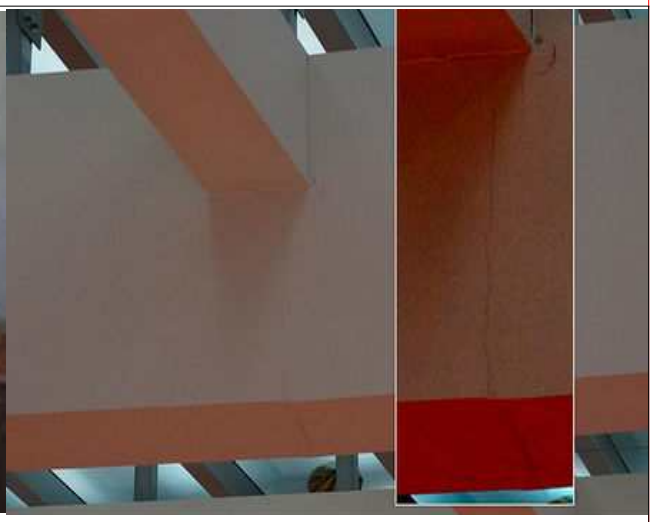
<그림 2.1.10 지진에 의한 철근콘크리트 구조의 피해사례>

② 철골구조물

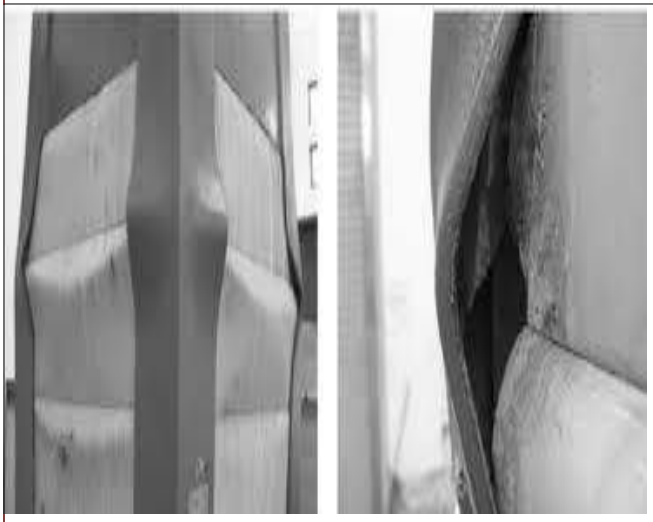
다음 그림에 구조물 사용중에 발생가능한 손상/변형에 의한 철골구조의 위험사례를 정리하였다.



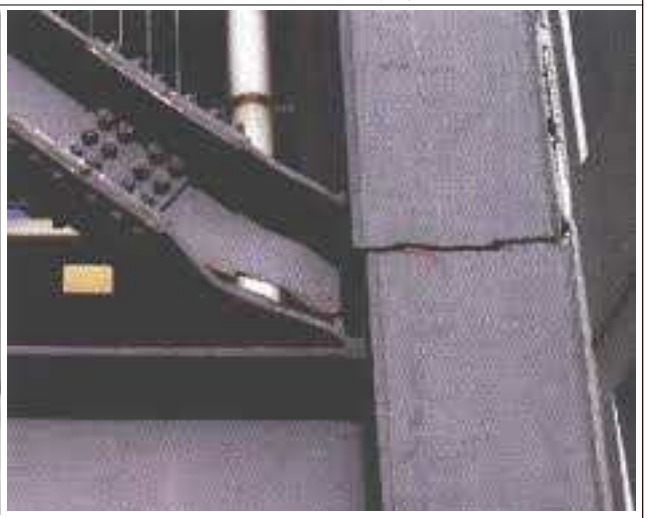
<강재부식으로 인한 단면손실>



<균열로 인한 부재력 손상>



<부재변형에 의한 좌굴위험>



<보강재 좌굴로 인한 주부재 손상>



<볼트 풀림/탈락으로 인한 연결부 손상>



<용접부 결함으로 인한 연결부 손상>

<그림 2.1.11 손상/변형에 의한 철골구조의 위험사례>

(나) 비구조재

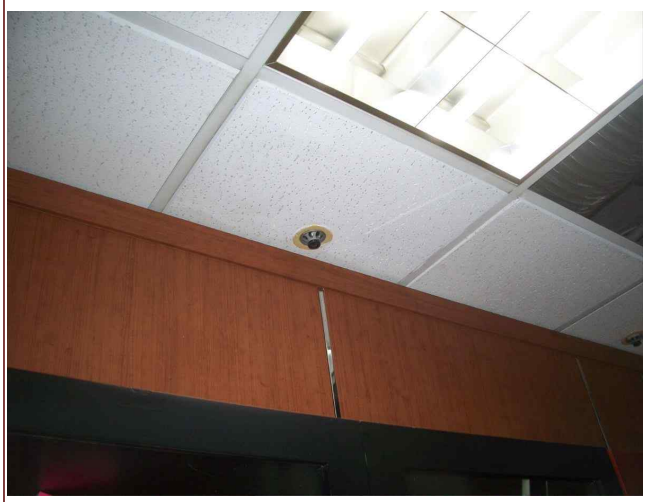
① 스프링클러



<벽체설치에 따른 스프링클러헤드 누락>



<천정시공에 따른 스프링클러헤드 누락>



<칸막이 추가로 인한 헤드의 살수장애>



<헤드와 천정프레임 사이 고정불량, 헤드쳐짐>



<가지배관 접합부 누수>



<배관에서의 동파사례>

<그림 2.1.12 스프링클러 손상사례>

– 출처 : 소방시설 자체점검에 따른 스프링클러설비 동작장애 유형 분석, 정준채, 서울시립대학교, 석사학위논문, 2011



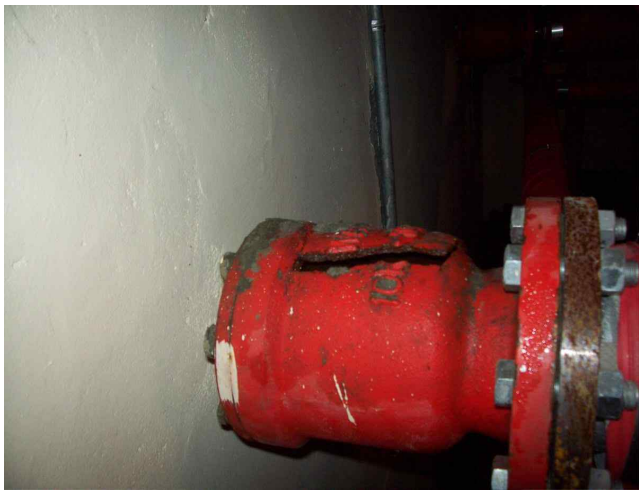
<개폐밸브 부식>



<체크밸브 기능불량>



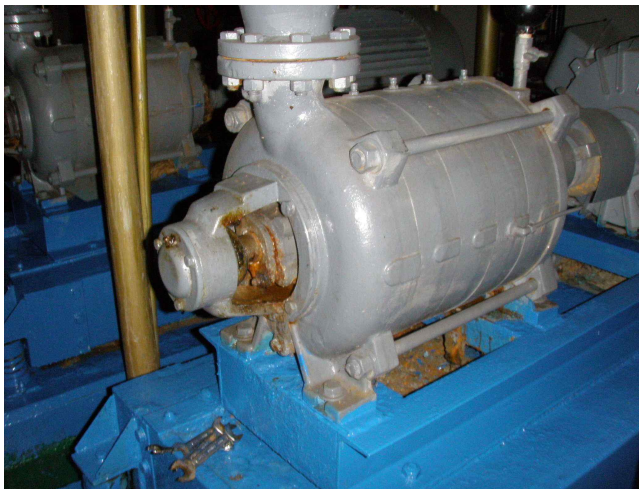
<개폐밸브에서의 동파사례>



<수격에 의한 노후된 수격방지기의 파손사례>



<펌프 흡입측 배관의 후트밸브 부식>



<소방펌프 회전축에서의 누수>

<그림 2.1.13 스프링클러 손상사례>

- 출처 : 소방시설 자체점검에 따른 스프링클러설비 동작장애 유형 분석, 정준채, 서울시립대학교, 석사학위논문, 2011

다음 표에는 안전점검결과에 따른 스프링클러 설비의 주요 불량건수를 조사하여 정리하였으며 매년 20%를 상회하는 고장률이 발생하는 것으로 분석되었다.

<표 2.1.17 안전점검결과 스프링클러 설비의 주요 불량건수>

분 류	2008년도			2009년도		
	설치건수	불량건수	퍼센트(%)	설치건수	불량건수	퍼센트(%)
가압송수장치	10,368	1,008	9.72			
헤드	10,440	1,163	11.14	11,549	1,382	11.97
배관/밸브	41,574	5,395	12.98	46,075	6,753	14.66
기동장치	10,291	7,148	69.46	11,495	9,309	80.98
제어반	-	-	-	11,538	1,346	11.67
합 계	72,673	14,714	20.25	92,156	20,164	21.88

출처 : 한국화재보험협회, 2008/2009 안전점검결과분석, p75.

② 수배전설비



<변전실 Kw-Meter 내부발열에 의한 화재>



<MOF 자체결함에 의한 S상 절연파괴>



<노후에 의한 상시전원변압기 케이블 소손>



<변압기자체결함에의한코일소손>

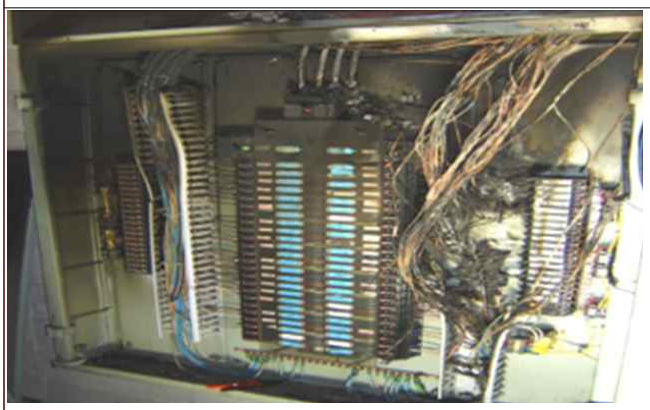
<그림 2.1.14 수배전설비 손상사례>



<A.T.S의 S상 접촉불량으로 소손 화재>



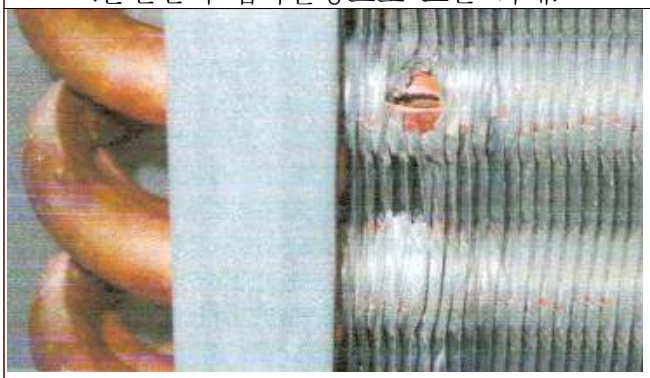
<A.T.S의 S상 접촉불량으로 소손 화재>



<분전반의 접촉불량으로 소손 화재>



<분전반의 접촉불량으로 케이블 화재>



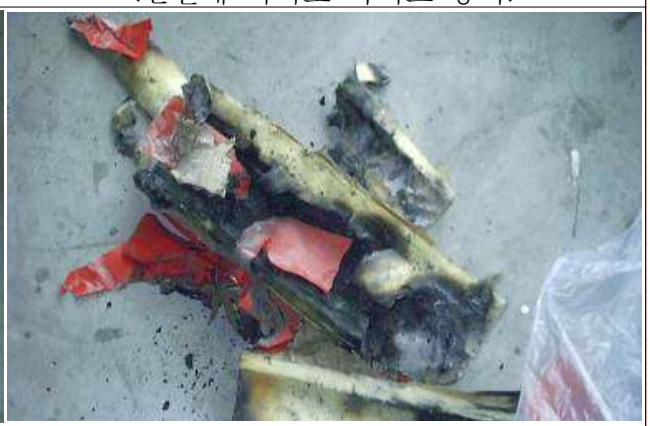
<펌프 흡입측 배관의 후트밸브 부식>



<단열재 미비로 파이프 동파>



<정온전선 이음부 접촉불량으로 열화>



<정온전선 이음부 접촉불량으로 열화>

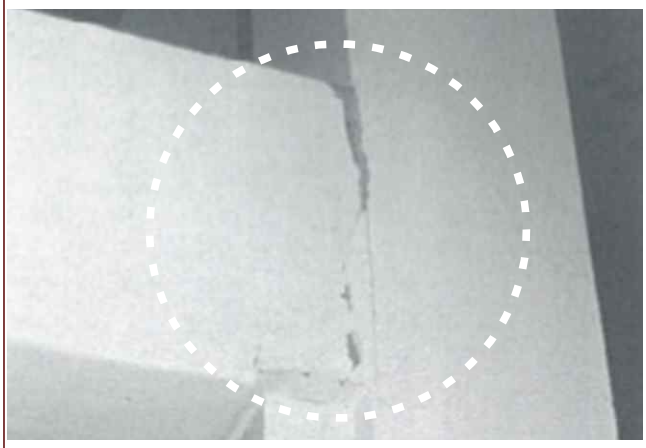
<그림 2.1.15 수배전설비 손상사례>

(2) 지진시

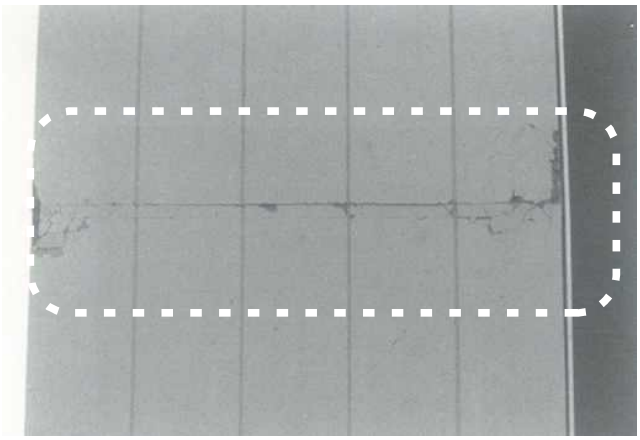
(가) 구조재

① 철근콘크리트 구조물

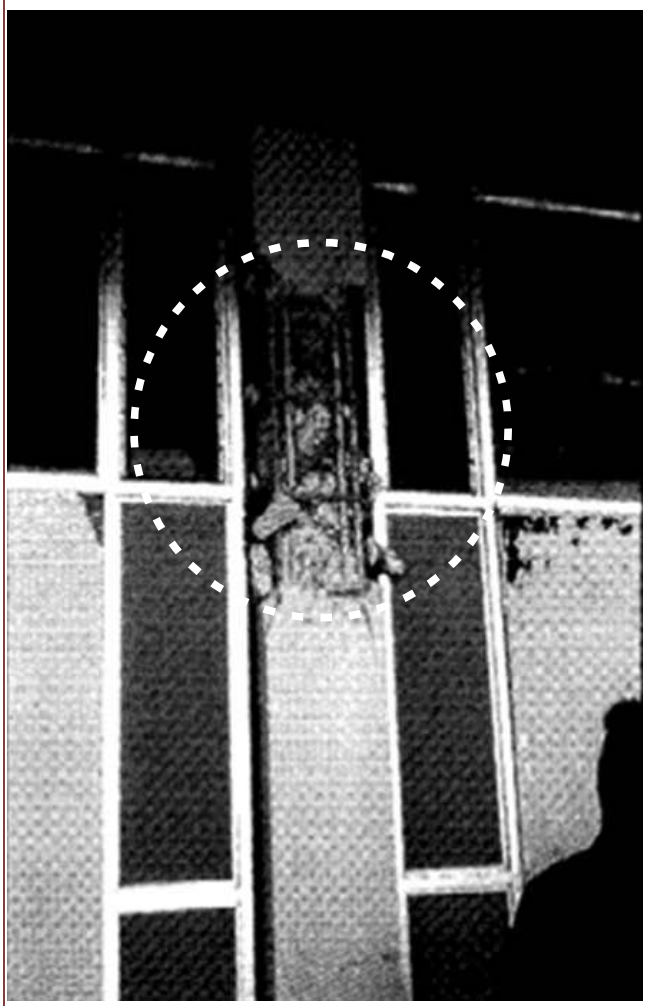
다음 그림에 지진에 의한 철근콘크리트 구조물의 손상사례를 정리하였다.



<프리캐스트보의 균열발생>



<손상된 전단벽>



<기둥 파괴>



<스팬드럴보 손상 및 파괴>

<그림 2.1.16 지진에 의한 철근콘크리트 구조의 피해사례>

- 출처 : 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발, 2011, 국립방재연구원



<기둥부 피복 탈락>



<기둥 및 벽체 피복 탈락>



<주두부 휨압괴>



<기둥의 압괴>



<기둥의 전단파괴>



<기둥의 전단파괴>



<지반침하에 의한 기초 노출 및 수평이동>



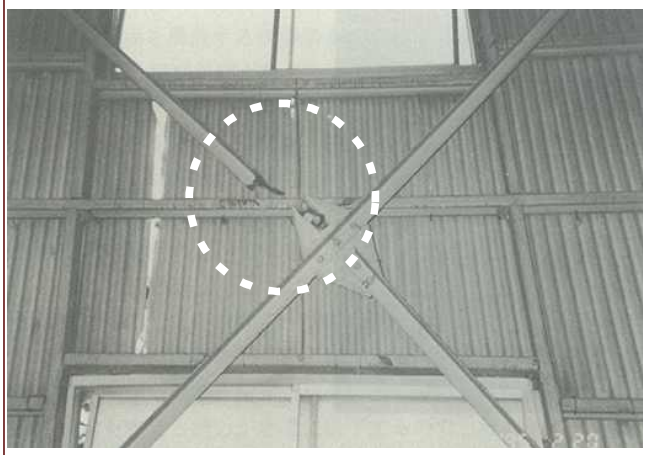
<지반침하에 의한 기초 노출>

<그림 2.1.17 소방설비 파손>

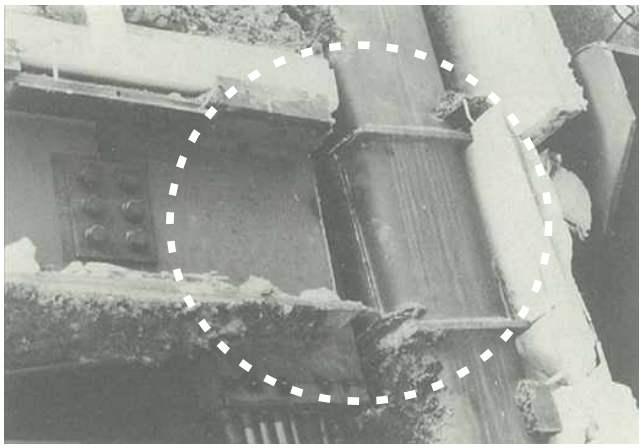
출처 : 이강석, 건축구조물의 피해현황과 지진피해도 구분판정, 한양대학교

② 철골구조물

다음 그림에 지진에 의한 철골구조물의 손상사례를 정리하였다.



<앵글가새의 파단>



<보·단부 용접부 파단>



<철골 구조물에서의 휜 기둥>



<철골기둥의 좌굴>

<그림 2.1.18 지진에 의한 철골구조의 피해사례>

– 출처 : 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발, 2011, 국립방재연구원

(나) 비구조재

지진시 발생하는 피해사례는 구조재에 국한되지 않고 소방, 기계, 전기, 통신설비 등과 같은 비구조재에도 많은 손상/파손이 발생되며, 이러한 피해는 화재, 단전, 단수 등에 따른 2차 피해를 유발하게 된다.

① 국내외 비구조재 피해사례

미국 캘리포니아주 산타크루즈시에서 1989년 10월 17일 발생한 로마프리에타(LomaPrieta)지진에 의해 건물과 같은 구조재뿐 만 아니라 상하수도관, 송전선, 가스관 등 비구조재에 파손 및 큰 손상이 발생하였고 지진과 동시에 화재가 발생하였으며 수도관의 파괴로 물공급이 되지 않아 화재 진압에 큰 문제가 되었다. 또한 많은 스프링클러설비들이 수직직하성분에 의하여 분기관이 상부로 움직이면서 천정으로부터 이탈하여 피해를 입었다.
다음 표에는 미국에서의 지진에 의한 소방시설의 피해를 정리하였다.

<표 2.1.18 미국 지진시 소방시설의 피해사례>

지 진 명	발생연도	피 해 내 용
SanFrancisco	1971	•경보설비에 대한 피해보고는 없음. •스프링클러설비 중 4%가 피해를 입었고, 3%가 누수 일부 행거 또는 브레이스가 파손
MorganHill	1984	•경보설비에 대한 피해보고는 없음. •스프링클러설비의 피해는 파손된 커플링 및 충격에 의한 행거 탈락 등을 포함.
Edgecumbe	1987	•경보설비에 대한 피해보고는 없음. •차동운동 또는 불충분한 받침대에 의해 배관이 파손
Whittier	1987	•경보설비에 대한 피해보고는 없음. •여러 누설된 스프링클러설비의 배관 및 헤드의 작동.
LomaPrietta	1989	•대부분의 소방시설이 피해가 없음. •지진 보강을 한 건물은 작은 구조적 손상만 입음.
Northridge	1994	•경보설비에 대한 피해보고는 없음. •많은 스프링클러 설비가 그대로 남음 •차동운동 또는 불충분한 받침대에 의해 일부 스프링클러설비의 배관이 파손. •부서진 천장에 의해 스프링클러설비의 헤드 피해.

다음 표에는 과거 일본의 대지진에 따른 비구조재의 피해사례를 분석하여 분류하였으며 장치별 피해내용을 정리하였다.

<표 2.1.19 비구조재 장치별 피해내용>

분 류	부 위	피 해 내 용
기기류	가압송수장치	•본체의 이동 •가대의 이동 •자동흡수장치 손상 •푸트밸트 손상 •수조 감소 •부속기기등 탈락손상 •흡입과 플랜지부 누수 •토출측 가요성 이음 손상
	유수검지장치	•알람밸브의손상 •부속기기등의탈락·손상
	제어반	•기동스위치의 손상 •제어반 내부 불량
	경보설비	• 수신기의 기능불량 • 중계기의 기능불량 • 스피커 손상 • 감지기 손상 • 배선 손상
	소화기	• 본체 손상 • 소화약제 방출
	고가수조옥상	• 수조 본체 손상 • 수조이동·전도 • 감수 및 만수의 경보 • 수조내 배관손상
	지상수조(판넬수조)	• 수조 본체 손상 • 수조이동·전도 • 접속배관 손상
	지하수조	• 저유수의 유출 • 접속배관의 손상
	가스용기	• 저장용기의 이동·전도 • 접속배관의 손상
	비상용발전기	• 본체 이동·전도 • 배관의 손상 • 연료탱크의 이동·전도 • 제어반의 이동·전도 • 부속기기(소음기)의 손상
	축전지설비	• 가대의 이동 • 배선의 단선 • 전해액의 유출 • 축전지의 이동·전도·손상 • 전극의 만곡·전지손상 • 과방전·재충전불량
	수변전설비	• 트랜스의이동전도
	수전·배전반	• 배전반·연료탱크의 전도·어긋남·손상 • 제어반 내부의 단선 • 외부전선의 단선·단락
배관 배선	(수평) 옥내배관 ·덕트·전선관	• 배선 손상 • 배관 손상 • 덕트 낙하 • 케이블 낙하 • 나사부 손상
	(수직) 옥내배관 ·덕트·전선관	• 배선 손상
	확장조인트	• 배관 손상
	급수관매설	• 배관 손상 • 배관지지 왜곡
	옥상배관	• 배관 손상 • 옥상수조 설치부의 손상
단말부	수계헤드·기동 밸브	• 스프링클러 헤드 손상 • 감지헤드 손상 • 홈헤드 손상 • 수동기동밸브 탈락·손상 • 밸브본체 손상
	가스계헤드	• 헤드 손상
	옥내소화전	• 소화전함의 손상·개폐불량 • 기동회로 단선 • 호스 산란 • 배관 파단·변형 • 플랜지이음 누수
	옥외소화전	• 소화전함의 손상·개폐불량 • 기동회로 단선 • 접속배선 단락 • 매설배관 손상
	유도등설비	• 본체 탈락·손상
	비상방송설비	• 증폭기의 전도·낙하, 스피커 탈락 • 배선 단락
	연결송수관	• 배관 파단, 송수구 파손

다음 표에는 한신·아와지 대지진 소방시설 피해사례를 분석(신병철, 지진과 위험관리, 한국화재보험협회 특집, 2005. 01, pp.14-19)하여 정리하였으며 분석결과를 보았을 때 화재진압을 위한 소방설비의 손상이 적지 않음을 알 수 있다.

<표 2.1.20 한신·아와지 대지진 소방시설 피해상황>

소 방 시 설	전체개소	손상개소
헤드	138	122
수조	138	75
포, 이산화탄소, 할로겐화합물, 분말소화설비	394	50
자동화재 경보설비	542	109
방송설비	478	61
자가발전설비	444	71
방화문	524	161

② 비구조재별 손상특성 분석

㉮ 소방설비

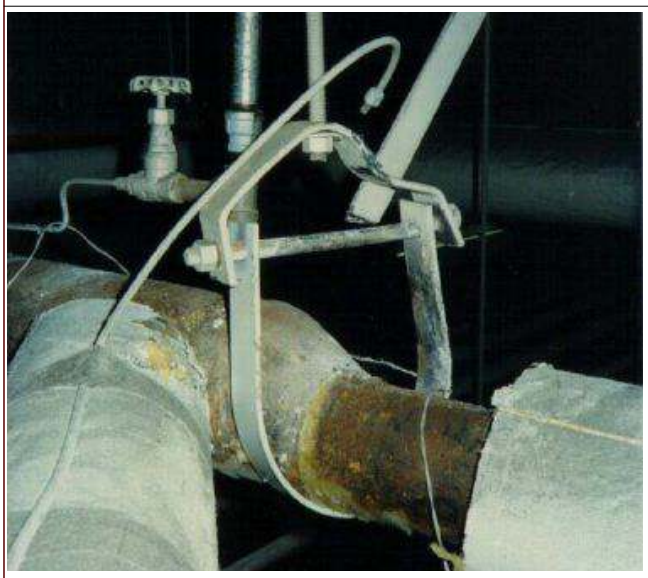
소방설비는 상시 화재진압에 있어 가장 중요한 설비이며 지진 시에도 여러 위험요소에 의해 발생할 수 있는 화재를 최소화하고 구조물 성능을 확보하기 위해 필수적인 설비이다. 따라서 지진시 비구조재에서 다른 어떤 설비보다도 소방설비의 기능이 확보되어야 하지만 아래 그림과 같은 스프링클러 배관 천정부 탈락, 가지관 탈락, 행거파손, 배관 이동으로 인한 파손 등으로 인해 화재 제어기능이 상실로 이어질 수도 있으므로 지진시 중요한 위험요소로서 고려해야 할 것으로 판단된다.



<스프링클러 배관 천정부 탈락>



<가지관 탈락>



<행거파손>



<배관 이동으로 인한 파손>

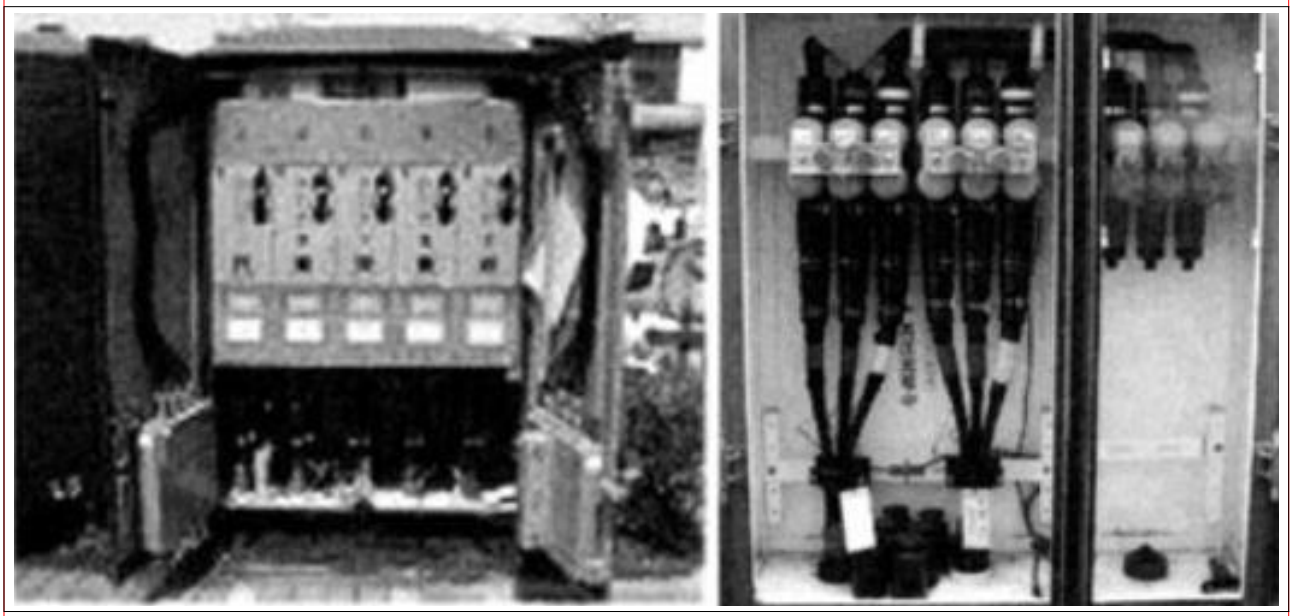
<그림 2.1.19 소방설비 파손>

출처 : 이용익, 자동소화설비의 내진설계에 관한 연구
(경기대학교 건설산업대학원, 석사학위논문, 2013)

㉯ 전기설비

전기설비는 건축물 상시 운용부터 관리, 유지, 보안, 지원 등 여러 가지 측면에서 가장 중요하면서도 필수적인 설비이며 지진 시에도 위험최소화와 피해복구를 위해 기본적으로 공급 및 유지가 지속적으로 요구되는 부분이다. 그 이유는 현재의 대부분의 장비가 전기 공급으로 작동 및 유지되고 있으며 그러한 장비들은 스프링클러와 같이 소화설비는 직접적으로 안전장치의 기능을 목적으로 설치된 경우도 있고, 가스배관과 같이 생활의 편리함을 위해 설치된 목적과 기능이 있으나 반면에 관리소홀이나 지진 등으로 인해 화재나 폭발로 인명이나 건축물에 막대한 피해를 입힐 수도 있기 때문이다.

따라서 전기설비의 안정성은 무엇보다 중요하지만 아래 그림과 같은 전선단락, 누전, 합선 등으로 인해 대규모 화재로 이어질 수 있으며, 재해 발생시 제어설비나 소화설비의 작동불가 및 오작동 등으로 인해 화재에 대한 통제력 상실로 이어질 수도 있으므로 지진시 위험요소로서 고려해야 할 것으로 판단된다.



<그림 2.1.20 전선 단락>

㉰ 비상발전설비

지진과 같은 재해 발생시 단전이 발생되게 되면 비상발전기가 작동해서 각종 설비를 작동해야 하지만 점검 및 유지관리 소홀, 배터리 노후 및 동절기 저온 등으로 인한 비상발전기의 미작동이 발생할 수 있다. 이는 지진시 발생될 수 있는 여러 가지 위험상황에서 화재시 스프링클러 미작동, 제어설비 통제불능, 전기 및 기계설비 작동중단 등을 야기해 구조물 손상과 함께 많은 인명피해를 유발할 수 있다.

비견한 예로 일본의 도쿄전력은 지진시 정전발생 리스크 매니지먼트를 통해 방재대책을 수립하고 있다(월간전기, 2006, 12월호)고 공언하였지만 2011년 3월 11일에 후쿠시마 강진 발생시 원전 급배수설비 및 비상발전기의 미작동 등으로 인해 원자로 멜트다운과 상상을 초월하는 방사능을 유출시켰다.



<비상발전기(설치 예)>

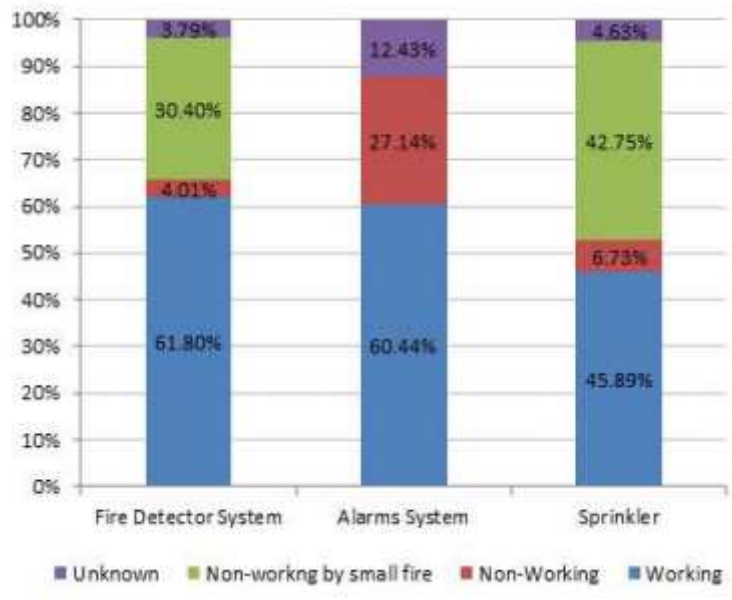


<비상발전기 미작동으로 인한 원전 붕괴>

<그림 2.1.21 비상발전 설비>

또한, 국내에서도 2011년 9월 15일 정전사태 때 60%에 이르는 비상발전기가 작동하지 않은 것으로 추정된다는 지적(월간전기, 2011, 11월호)이 있었으며 전기신문에서 자가용 발전설비에 대한 전기안전공사의 정기검사와 사용전 검사 실적을 분석한 결과 사용 전 검사 부적합호수 216호 중 발전기 부적합은 28건(12.96%), 정기검사 부적합호수 1011호 중 발전기 부적합은 216건(21.36%)으로(전기신문, 2011. 10. 11) 조사되었다.

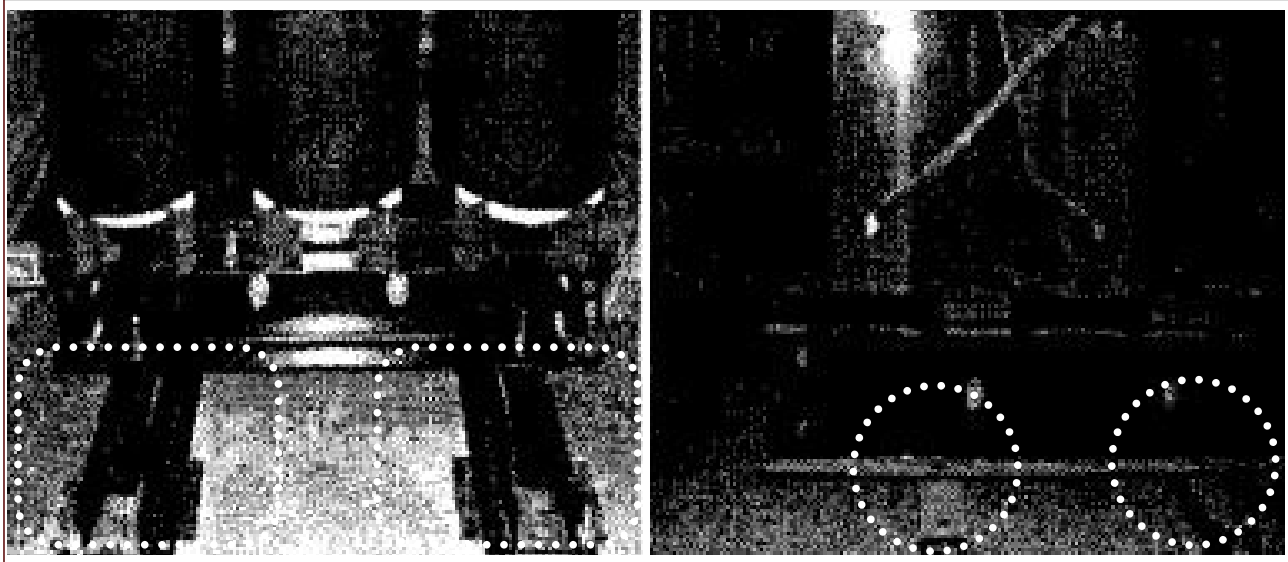
이러한 비상발전기의 미작동에 대한 조사연구가 수행되었으며 다음 그림과 같이 화재진압장비, 경보시스템 및 스프링클러의 작동여부에 대해 조사결과가 정리되어 발표되었다. (노후 건축물 소방설비 실태조사를 통한 고장특성에 관한 연구, 나욱정 외 2명, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011. 7) 따라서, 지진시 위험요소로 비상발전기의 미작동에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 2.1.22 소방시설물의 미작동현황>

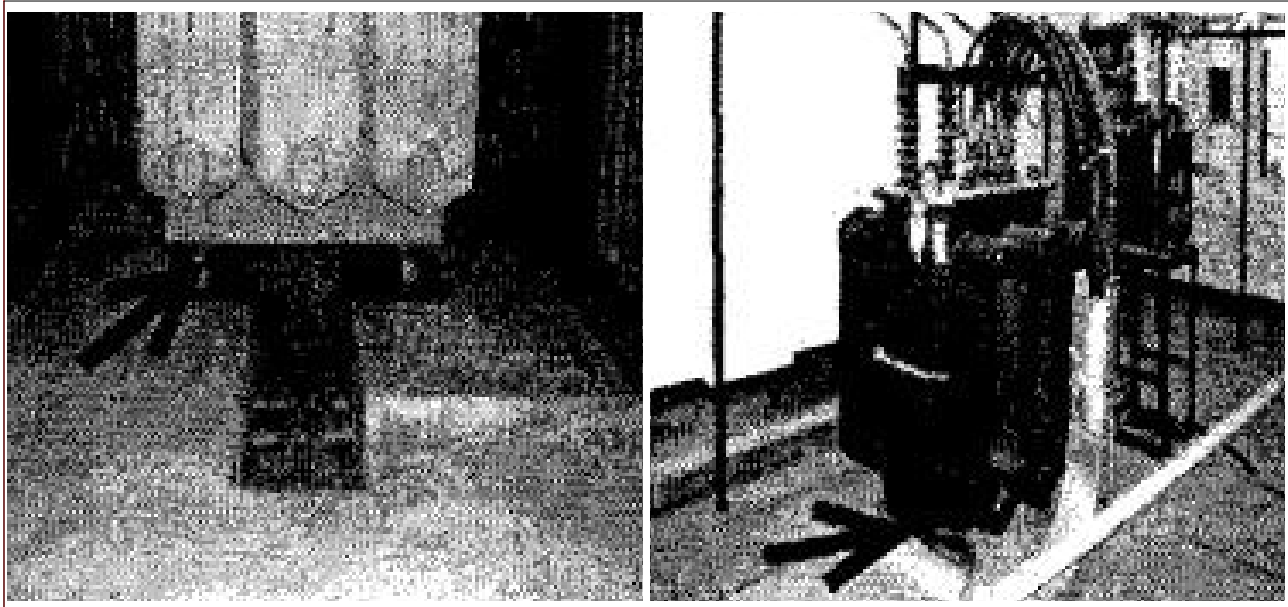
㉮ 수변전설비

건축물 내에 시설되는 수변전실의 설치위치는 크게 지하 공간, 지상 층 이상의 건물 내 그리고 옥상에 설치되며 설비가 지진 발생시에 제시된 지진강도 이하에서는 전도, 추락 등의 문제가 없어야 한다. 그러나, 국내 전기설비 시공현황은 전기설비를 수변전실 또는 일정공간에 설치할 때 설계도면에 제시되지 않는 부분(고정, 낙하방지 등)에 대해서는 시공자의 개념 및 상황에 따라 아래 그림과 같이 시설되고 있는 것으로 기존 연구에서 조사되었으며 지진 시에 설비의 전도, 추락, 이동 등에 대한 대책으로서의 내진설계 부분이 아직 국내 현장에 적용되고 있지 않는 경우가 대부분이고 내진의 개념이 아니고 단지 고정, 부착 정도의 개념으로 설비를 시공하고 있다는 연구결과가 있다(Journal of KIIEE , Vol.22, No.12, pp.150-156).



(a) 일부 앵커볼트 시설 (b) 고정되지 않음

<그림 2.1.23 변압기 고정앵커볼트 시설현황>



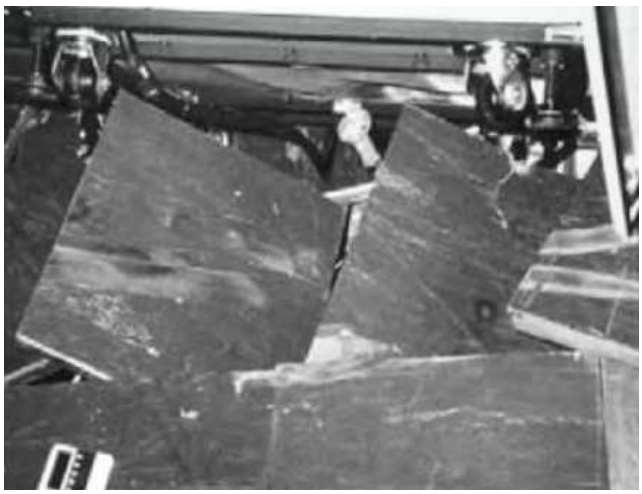
<그림 2.1.24 고정없이 방진패드위에 시설된 변압기>

㈐ 제어설비

건물 내에 주요 설비들을 관리하고 통제하는 제어설비는 비상시 및 재해 시 감시, 통제, 진화, 복구를 위해 반드시 필요한 시설로서 지진시와 발생 후에도 운용이 가능해야 하나 다음 그림과 같이 손상을 입을 수 있다.



<a. CPU전도>



<b. 프리액세스 플로어 파손피해>



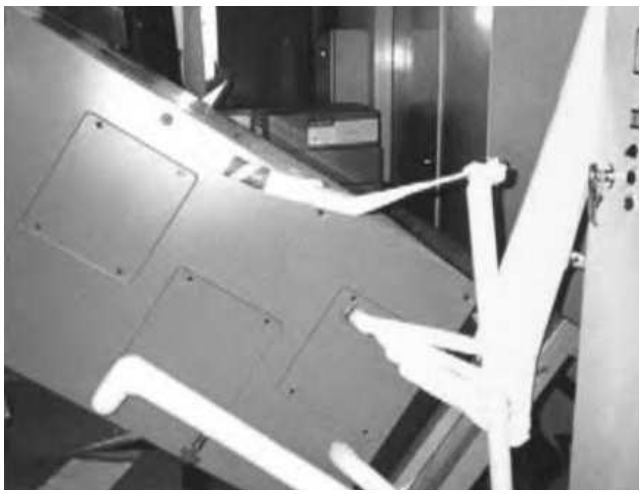
<c. 단말기 낙하>



<d.축전지 전도>



<e.케이블커넥터 파손>



<f.공조기 전도 및 파손>

<그림 2.1.25 제어시스템의 지진피해사진 (피해조사보고서, 일본건축학회, 1998)>

㉮ 가스설비

해외의 지진시 가스설비의 손상 및 위험사례로 미국의 로마프리에타 지진(1989년)시에는 공급지역 전역에서 수요 가구수 310만호 중 약 16만호에 이르는 가구에 대해 가스공급이 정지되었으며 지진 후 2주간 동안 1,094건의 가스누출이 확인되었다. 지진 시 55건 이상의 화재가 발생하였으며 샌프란시스코의 경우 화재의 34% 정도가 가스누출과 연관된 화재로 보고되고 있다. (EERI, Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report, Vol. 6, 1990.),(Scawthorn, C.G., Fire Following Earthquake: Estimates of the Conflagration Risk to Insured Property in Greater Los Angeles and San Francisco, All-Industry Research Advisory Council, Oak Brook, Illinois, 1987.)

또한, 노스리치 지진(1994년)시에는 수요가구의 약 3%에 해당하는 15만 건의 가스공급이 정지되었으며 9,000여 가구 이상은 심각한 건물의 손상으로 인하여 한 달이 넘어서도 가스가 복구되지 않았다. 지진으로 인하여 110개소에서 화재가 발생하였으며, 이 중 50여건은 가스누출과 연관된 화재로 수요가의 부지 내 또는 가옥 내에서의 가스관 파손 등에 의한 화재이다.(EERI, Northridge Earthquake Reconnaissance Report, Vol.1, 1995.),(Scawthorn, C., Fire-Related Aspects of the Northridge Earthquake, NIST-GCR-98-743, National Institute of Standards and Technology, Washington, D.C., 1998.)

일본의 경우 남부 효고현 지진(1995년)시에는 저압관에 피해가 집중되어 피해가 26,000여 개소에 이르며, 가스누출과 전기 스파크에 의한 화재가 500여 개소 이상에서 발생하였고 화재면적도 1km2에 이른다. 피해의 대부분은 각 가정의 인입관, 가정내 관의 나사이음부로 가스누출이 동반되었다.(An EQE Summary Report, January 17, 1995 Kobe Earthquake, EQE International, 1995.),(阪神·淡路大震災に學ぶ, 西ライフライン研究會, 1997.)

국내에서도 지진에 의한 가스폭발은 아니지만 다수의 가스 폭발사고가 있어왔고 지진시에는 발생가능한 수와 규모는 짐작하기 어려울 정도로 커질 것으로 판단되므로 지진시 위험요소로 반드시 고려해야 할 항목이며 이로 인한 구조물 손상과 인명피해를 막기 위한 대책 및 위험도 평가를 통한 사전대응방안을 수립할 필요가 있을 것으로 사료된다.



<그림 2.1.26 가스폭발 사례>

㈏ 배관 및 저장설비

지진에 의한 상수도 배관파이프의 파손은 지진 발생이 빈번한 나라와 지역에서는 빈번히 일어나는 피해로 지진 시 배관파이프의 파열로 단수는 건물피해와 직접적으로 연관이 없을 것으로 생각될 수 있지만 건물 화재시 스프링클러가 작동한다 하더라도 물탱크가 없거나 손상될 경우 상수도 단수는 화재의 초동진압 실패에 따른 화재 지속시간 증가로 건물의 구조안전성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

아래 그림과 같이 지진시 지역상수도 파이프라인의 파손(2009. 11, 미국 캘리포니아)에 따른 단수가 발생할 수도 있으며 건물 내의 물공급용 파이프의 손상에 의한 단수도 발생될 수 있으므로 배관의 손상에 따른 위험요소도 고려되어야 할 것으로 판단된다.



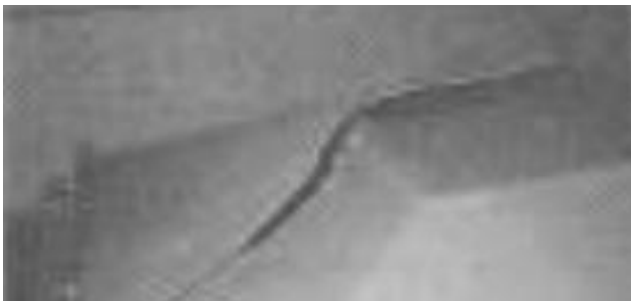
<지진에 의한 상수도 배관 파열>



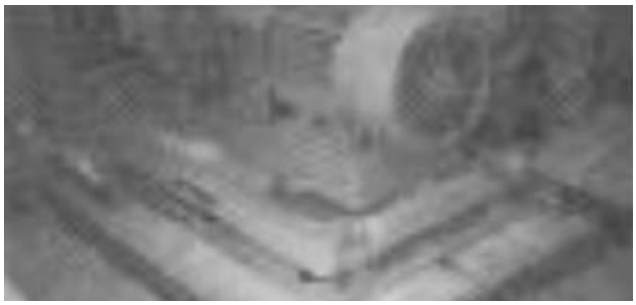
<물탱크의 파손 예>

<그림 2.1.27 배관 및 저장설비 파손 사례>

– 기계 및 기타설비 (설비저널 제34권 제10호, 김철영, 2005. 10)



<a. FRP제 판넬 수조천장판의 피해>



<b. 펌프콘크리트 기초의 이동>



<c. 옥외 우수관경질염화관의 파단>



<d. 배관나사부의 파손>

<그림 2.1.28 설비기기 배관의 지진피해>

나. 정성/정량적 위험성평가

(1) 위험성평가 절차에 따른 내용

<표 2.1.21 평가단계별 위험구성>

평 가 단 계	단 계 별 구 성 내 용
위험요소 규명 (Classification)	•예비조사 – 구조물/전기/기계/가스/제어/소방/상수도 설비 등의 설계 검토 •위험요소 분류 – 구조부재별 분류 – 비구조재인 설비에 내재된 위험요소 및 현장상황 분류
위험경로 모델링 (Modeling)	•유발/발생가능사건 분류 – 사용중 강도 저하 및 지진시 발생가능한 사건에 대한 분류 •위험경로 모델링 – 위험경로에 대한 시나리오 작성
위험도분석 (Analysis)	•분야별/요소별 위험가중치 분석 및 위험등급/위험지수 산정 •예상손실 평가 – 위험경로별 파괴에 따른 경제적 손실에 대한 비용평가
위험요소 관리 (Management)	•위험도에 따른 등급화 및 분류, 집중 관리대상의 특별선정 •위험지수가 큰 부분에 대한 위험요소의 관리 및 대책 수립 •위험성평가에 따른 설계개선 및 예방유지관리 계획

(2) 계층화 분석(AHP)기법에 의한 위험가중치 평가과정

(가) 개요

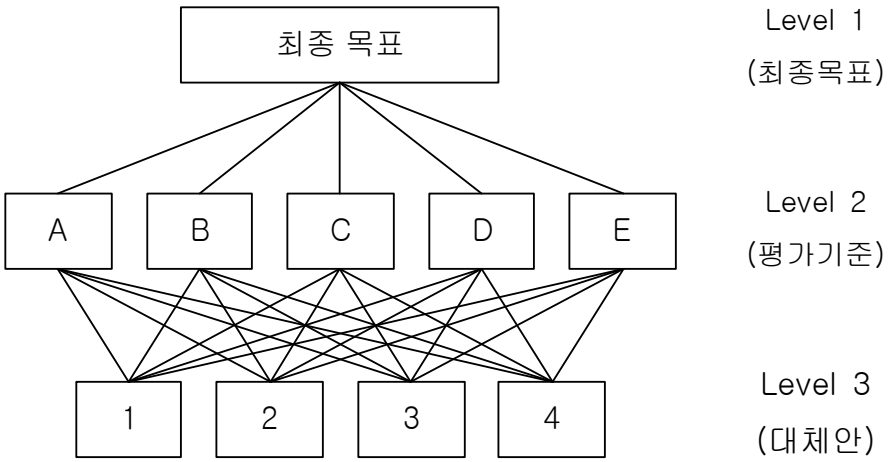
① 의사결정 문제의 의사결정 요소들간의 관계를 분석하여 계층 구조를 형성함(이때 인자의 개수는 5~9개가 적당함)

② 각 계층내의 의사 결정 요소들의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통하여 계층별로 쌍대비교 행렬을 구함

③ 쌍대비교 행렬로부터 각 계층내의 의사결정 요소의 상대적 중요도를 평가(상대적인 중요성을 판단하게 되는데 이를 위하여 1에서 9까지의 숫자 이용)

④ 일관성 정도를 파악(보통 일관성비율의 값은 10% 이내로 이 지수 값이 0.1보다 크게 되면 그 판단은 무작위 한 것으로 간주되어 평가대상에서 제외)

⑤ 각 계층별로 얻어진 요소들의 중요도를 결합하여 대안들 사이의 중요도를 계산하며 AHP의 계층도는 다음과 같다.



<그림 2.1.29 AHP 계층도>

(3) 계층분석의 적용절차

(가) 1단계

① 의사결정 문제의 요소(최종목표, 평가기준, 대체안)들 간의 관계를 계층구조화 하는 단계

(나) 2단계

① 각 계층내의 의사결정 요소들의 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통하여 계층별로 쌍대비교 행렬을 구함

② 특정 계층 내에 있는 요소들의 중요도에 대한 의사 결정자의 선호도를 평가하는 단계

③ 쌍대비교를 위해서 의미 척도를 사용하여 각 요소가 다른 요소에 대한 중요도를 수치로 표시하기 위해 구분

(다) 3단계

① 쌍대비교 행렬로부터 각 계층내의 의사결정 요소의 상대적 중요도를 평가하여 가중치를 구함.

② 전문가 지식의 신뢰도에 대한 평가를 일관성 척도를 이용함.

③ 선택결정기준은 여러 가지 방법이 있지만 보편적으로 기하평균법이 널리 사용.

④ Safety는 경험적으로 일관성비율이 10%이내이면 일관성이 있다고 판단하고, 10%이상이면 일관성이 없다고 판단하여 행렬을 재구성.

(라) 4단계

① 각 계층별로 얻어진 요소들의 중요도를 결합하여 대안들 사이의 중요도를 계산 함.

② 위에서 얻어진 요소들 사이의 중요도와 각 요소에 대한 대안들 간의 중요도를 이용하여 대안들의 총 중요도를 계산.

(4) 위험성평가 산정식 및 평가기준

(가) 위험성 평가식

$$QRA_i = \sum R_i \cdot F_i \quad \text{(식 1)}$$

여기서, R_i = 검토항목별 위험성지수, F_i = 검토항목별 위험성가중치

(나) 위험성지수, R_i

$$R_i = \sum ra_i \cdot fa_i \quad \text{(식 2)}$$

여기서, ra_i = 위험요소별 위험지수 (항목별 등급점수(1-10)로 평가)

fa_i = 위험요소별 가중치 (AHP기법에 의한 가중치 산정)

(다) AHP 방법에 의한 항목별 가중치 산정시 상대 중요도

<표 2.1.22 항목별 가중치 상대 중요도>

중요도	정 의	설 명
1	동 등	•어떤 기준에 대하여 두 항목이 비슷한 위험도를 가진다고 판단됨.
3	약간중요	•한 항목이 다른 항목보다 약간 위험함.
5	중 요	•한 항목이 다른 항목보다 상당히 위험함.
7	매우중요	•한 항목이 다른 항목보다 대단히 위험함.
9	절대중요	•한 항목이 다른 항목보다 절대적으로 위험함.
2, 4, 6, 8	위값들의 중간값	•비교 값이 위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우에 사용함
역 수	-	•첫 번째에 비교하여 두 번째 대안이 우월하다는 것을 반영하기 위한 값
1.1-1.9		•비교요소가 매우 비슷하여 거의 구분할 수 없을 때 사용하는 값

(라) 검토안별 항목 위험성등급 산정 기준

<표 2.1.23 위험등급 산정>

평가등급 : 각 등급은 10단계의 크기로 평가됨			
10	•극히 위험함.	5	•보통임.
9	•매우 위험함.	4	•다소 안전함
8	•상당히 위험함.	3	•상당히 안전함
7	•다소 위험함.	2	•매우 안전함.
6	•미미한 수준임.	1	•극히 안전함.

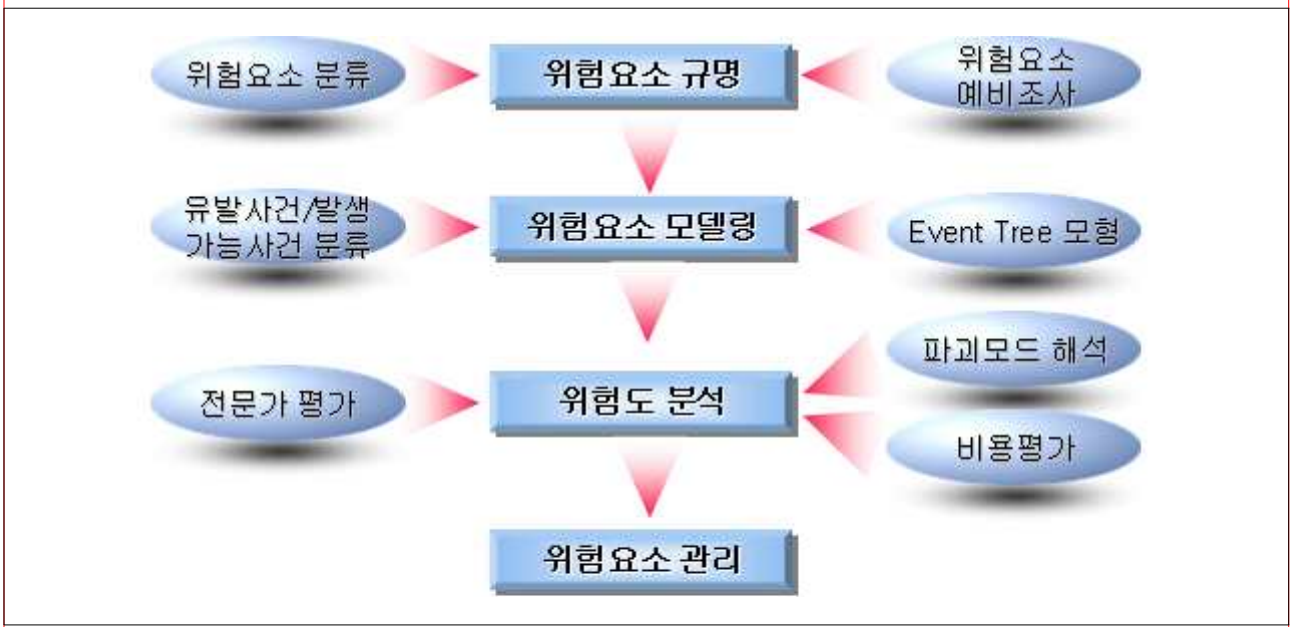
다. 확률적 위험도평가(PRA, Probabilistic Risk Assessment)

(1) 평가 체계

위험도평가를 위한 평가단계별 주요 내용을 아래 표에 정리하였으며 평가체계를 같이 정리될 수 있다.

<표 2.1.24 확률적 위험도평가(PRA)의 평가단계별 주요 내용>

평 가 단 계	단 계 별 구 성 내 용
위험요소 규명 (Classification)	•위험요소 분류 – 부재 및 설비별 분류 – 구조부재 및 비구조부재의 위험요소 분류 및 특징적 분류 •지진시 위험사례조사
위험경로 모델링 (Modeling)	•유발/발생가능사건 분류 – 지진시 발생 가능한 위험사건에 대한 분석 및 분류 •위험경로에 대한 시나리오 작성 및 Event Tree 모형구상 및 작성
위험도분석 (Analysis)	•파괴확률 산정 – Monte-Carlo시뮬레이션을 통해 위험사건에 대한 발생확률 산정 – 위험경로별 파괴확률 산정
위험요소 관리 (Management)	•내진성능평가시 위험요소 고려 – 위험도가 큰 부분에 대한 위험요소와 위험경로를 반영 •내진보강시 위험도평가 결과 고려 – 위험도에 따른 등급화/분류 및 주요 내진성능보강 대상 선정



<그림 2.1.30 확률적 위험도평가(PRA)의 평가체계>

(2) 사건수분석(Event Tree Analysis) 기법

(가) 위험도분석방법에는 파괴모드/효과분석(FMEA : Failure Mode and Effect Analysis), 결함위험분석(FHA : Fault Hazard Analysis), 사건수분석(ETA : Event Tree Analysis)기법 등이 있으나, 본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 사건수 분석기법을 적용하고자 한다.

(3) 분석 개념

(가) 사건수분석(ETA : Event Tree Analysis)은 전통적으로 사용되는 의사결정수(Decision Trees)의 수정된 형태로 사건 결과들의 기록과 사고에서 결과를 조합하는 초기사건과 하위사건들 사이의 상호 인과관계를 정의하는데 정확한 방법을 제공하는 기법

(나) 사건수분석 경로 중 제일 먼저 발생하는 초기사건을 유발사건(Triggering events)이라 하며, 경로의 중간에 초기사건에 이어지는 사건은 발생가능사건(Enabling events)으로 구성됨.

(다) 각각의 경로 끝에 있는 사건은 구성요소의 파괴와 직접 관련이 있으며 실제로 경제적 손실에 직접적인 영향을 줄 수 있는 위험사건임

(라) 또한 어떤 경로의 최종결과로서 나타나는 위험사건이 다른 경로에서는 중간단계로도 나타날 수 있음.

(4) 분석 목적

(가) 초기 사건을 뒤따르는 결함이 있는 사건들을 규명하는 것이며, 이런 사건을 도출해 낼 수 있는 파손사건의 조합을 찾아내는 것

① 시스템의 상호작용과 기능을 위한 시스템 성능을 향상시키는 척도의 검증

② 분석자로 하여금 시스템파괴를 감지하고 감소시키는데 유용한 수단의 규명

③ 시스템의 시험운영과 유지관리 절차에 대한 기본 정보의 획득

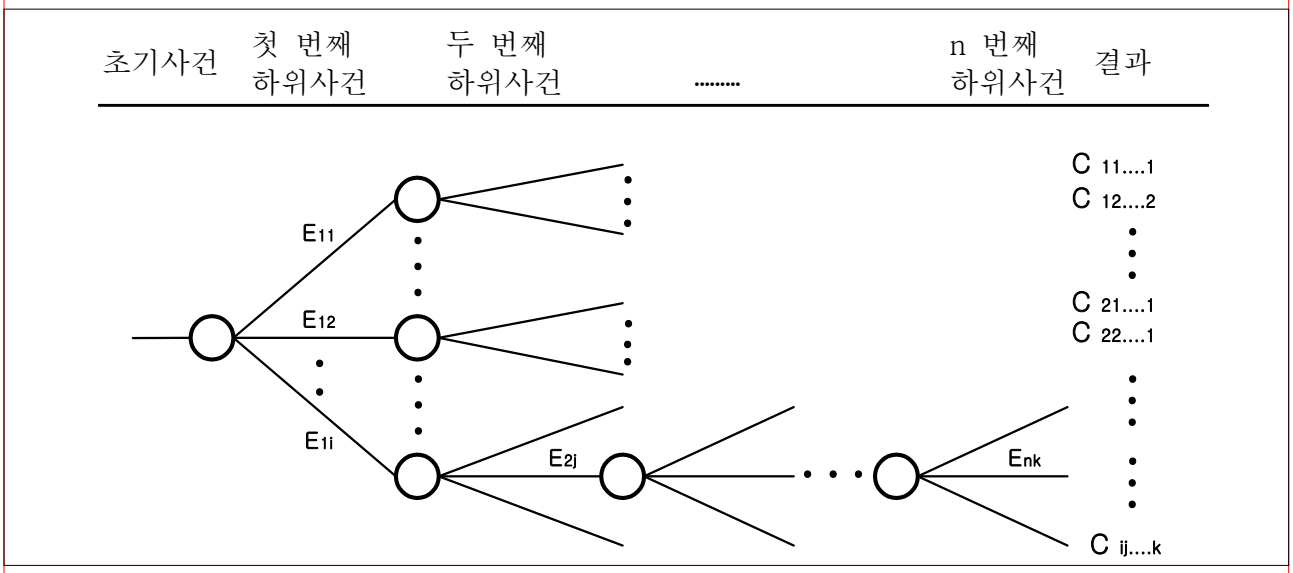
(5) 특징

(가) 일반적으로 발생 가능한 잠재적인 위험사건들은 어떤 초기사건이 발생한 후 이어지는 하위사건들의 발생단계를 거쳐 발생하게 되므로 이러한 과정은 사건수도(Event tree diagram)를 이용함으로써 체계적이며 효과적으로 분석할 수 있다. 따라서 사건수분석은 이러한 개념을 바탕으로 다음과 같은 특징을 가지게 된다.

- 다양한 결과에 영향을 미칠 수 있는 초기사건을 분석하는데 적용
- 초기원인을 강조하고 사건의 초기부터 마지막까지 영향을 줌
- 독립적인 사건이나 동시 발생적인 사건을 다루는데 이용
- 사건의 순서를 기술하는데 가장 효과적
- 초기 사건들로부터 야기되는 내재사건들을 평가하는데 사용

(6) 분석과정

(가) 일반적인 사건수의 구성은 다음 그림에서 보여 지는 초기사건(유발사건)과 이어지는 하위의 발생가능사건, 그리고 이로부터 발생되는 최종 결과들인 $C_{ij\ \ k}$로 이루어져 있다. 특정결과는 초기사건에 연이어 발생하는 하위사건(발생가능사건)에 의존함을 볼 수 있다. 초기사건이 주어진 경우, 그 뒤에 이어지는 몇 개의 "첫 번째 하위 사건들(그림의 E_{1i})" 이 있을 것이다.



<그림 2.1.31 위험사건 분석 과정>

(나) 이러한 하위 사건들은 서로 통계적으로 독립적 즉, 상관관계(Correlation)가 전혀 없다고 가정되는 것이다. 사건수에서 각각의 경로들은 어떤 사건이 발생하였을 경우 연이어 발생할 수 있는 하위 사건으로 구성되는 것이다. 특정 경로의 발생확률은 다음 식과 같이 그 경로에 존재하는 촉발가능사건과 이어지는 모든 하위사건의 확률들을 곱함으로서 간단히 구할 수 있다.

$$P(C_{ij\ \ k}|E) = P(E_{1i}|E)\ P(E_{2j}|E_{1i}E)\ \cdots\ P(E_{nk}|E_{1i}E_{2j}\cdots E)$$

(다) 평가모델의 기본과정 및 제약조건

① 초기사건이 주어진 경우, 그 뒤를 따르는 몇 개의 "첫 번째 하위 사건들" 이 있으며, 이러한 하위 사건들은 명백히 상호 독립적임.

② 중간에 일어나는 사건의 원인들을 명확한 방법으로 묘사하지 못함.

(라) 통계적 독립(Statistically Independent)

① 동일한 표본공간 위에 규정된 사건 A와 B는 $P(A\cap B)=P(A)P(B)$가 성립할 때 두 개의 사건 A와 B는 통계적으로 독립이라고 함.

(마) 사건수 분석의 해석절차

① 1 단계 : 유발가능사건과 발생가능사건의 분류

② 2 단계 : 사건수(Event Tree) 구성

③ 3 단계 : 확률분석기법을 이용하여 각 사건들 경로에 해당하는 발생확률 계산

④ 4 단계 : 발생확률과 경제적 손실을 곱하여 각 경로의 위험지수를 평가

(바) 사건수 분석을 위한 Tree Model

<표 2.1.25 사건수 분석을 위한 Tree Model 예>

유발사건	발 생 가 능 사 건				발생확률	경제적	위험
T9	E15	E16	E17	E20	Pti	손실(Li)	지수
				P(E20)	Pf1	L1	RF1
			P(E17)	1-P(E20)	Pf2	L2	RF2
		P(E16)		P(E20)	Pf3	L3	RF3
			1-P(E17)	1-P(E20)	Pf4	L4	RF4
	P(E15)			P(E20)	Pf5	L5	RF5
			P(E17)	1-P(E20)	Pf6	L6	RF6
		1-P(E16)		P(E20)	Pf7	L7	RF7
			1-P(E17)	1-P(E20)	Pf8	L8	RF8
P(T9)							

(7) MCS(Monte-Carlo Simulation)기법

(가) MCS기법의 정의

MCS(Monte Carlo Simulation) 기법은 확률적 위험도평가를 위한 기본 확률분석기법으로서 불확실성을 갖는 시스템 문제의 각 구성요소들의 변수에 대해 확률적인 특성을 고려할 수 있는 알고리즘이며, 통계적인 데이터로부터 정량적으로 위험도를 추정하기 어려운 경우 관련 과거 자료, 전문가의 경험, 판단 같은 정성적 선험자료를 바탕으로 추정된 통계적 불확실량과 확률적 위험도를 제한된 현장조사, 시험결과를 바탕으로 갱신하여 추정하는 기법이다.

(나) 활용성

불확실성을 다루는 수단으로서의 이 기법은 다양한 위험변량의 확률분포로부터 건설 프로젝트의 확률분포를 얻는데 이용

(다) 이론적 고찰

① MCS기법에 의한 이론적인 구조물 파괴확률 P_f는 다음의 적분 식에 의함.

$$P_f = \int \cdots \int_D f(x_1, x_2, \cdots, x_n)\, dx_1 x_2, \cdots, x_n = \int_D f(x)\, dx$$

여기서, x : 기본 랜덤변량 벡터, f(x) : 랜덤벡터 x의 결합확률 밀도함수

D : 파괴영역

② 시뮬레이션에 의한 수치해석을 위해서 다음과 같은 등가적으로 표현함.

$$P_f = E[I(x)] = \int I[x]\, f(x) dx$$

여기서 I[x]는 파손 지시함수로서 아래와 같은 Binary 성질을 갖는다.

$$I[x] = I[g(x)] = \begin{cases} 1 & \text{만약 } g(x) \le 0 \quad (\text{파괴}) \\ 0 & \text{만약 } g(x) > 0 \quad (\text{안전}) \end{cases}$$

③ 일반적으로 I[x]=1일 경우의 파괴영역의 경계면의 모양이 매우 불규칙하므로 맨위의 적분식을 해석적으로 구하는 일은 극히 어렵다. 따라서 파손확률은 시뮬레이션이나 근사해법으로 구하는 것이 바람직하며 두 번째 식에서의 파손확률 Pf는 지시함수 I(x)의 기대치를 나타내므로 MCS에 의한 파손확률 Pf 는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$P_f = P_f^{MC} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N} I[X_i]$$

여기서, xi : 난수 ui 에 대해 f(x) 로부터 취한 표본치

첨자 MC : MCS 방법으로 구한 추정치, N : 표본의 갯수

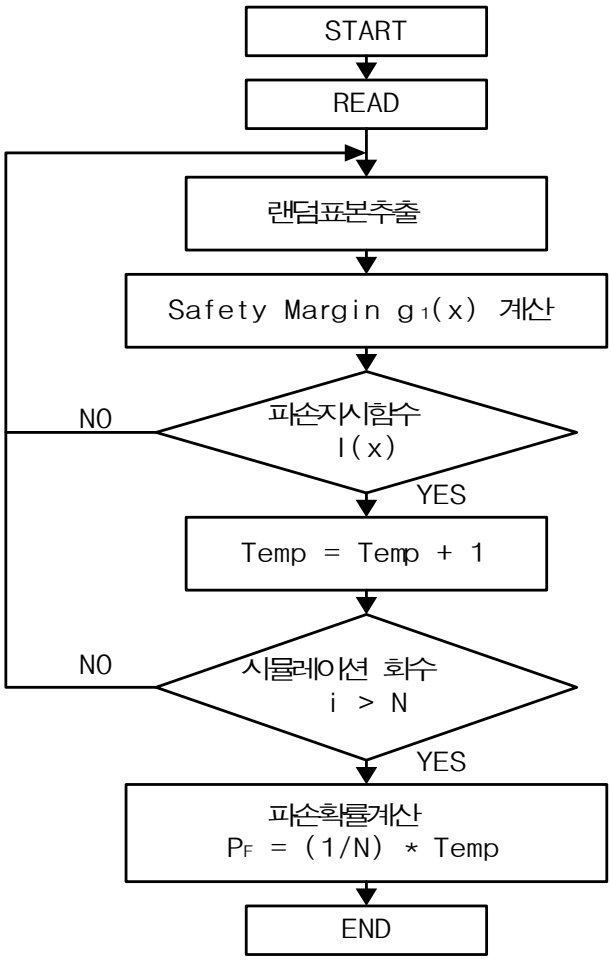
④ MCS기법은 기본확률변수의 밀도함수로부터 직접 표본을 취하여 파손확률을 구하기 때문에 파괴영역에서 표본이 추출될 확률은 계산된 파손확률과 거의 일치

⑤ 표본수 N에 의하여 계산된 파손확률 Pf의 오차(Shooman, 1968) 95%신뢰도

$$\%\ \text{error} = 200 \left[\frac{1-P}{NP} \right]^{\frac{1}{2}}$$

(8) 흐름도

(가) MCS를 통한 파손(발생)확률 산정을 위한 흐름도는 다음 그림과 같다.



<그림 2.1.32 MCS(Monte Carlo Simulation) 흐름도>

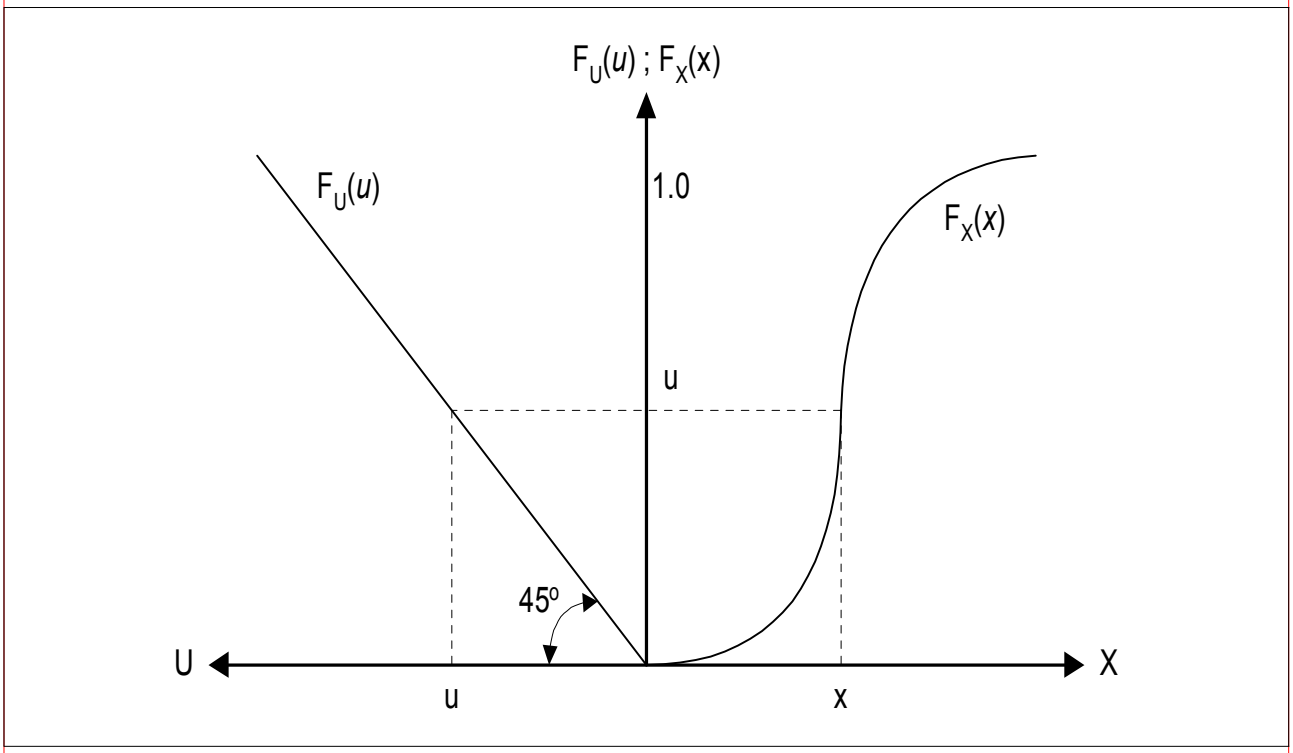
(9) 무작위변수의 발생방법

(가) 무작위변수를 발생시키는 여러 방법 중 역변환법(Inverse Transformation)이 어떤 무작위변수의 CDF의 역변환 $F_X^{-1}(x)$을 해석적으로 구할 수 있는 경우 간편하게 적용.

(나) X를 발생될 연속 무작위변수, FX(x)를 X의 누적분포함수(CDF)라고 할 때 0과 1사이에서 등분포로 하나의 난수 u가 발생될 때 연속무작위변수 X의 값은 다음과 같음.

$X = F_X^{-1}(u)$: 여기서, F_X^{-1}는 무작위변수 X의 누적분포함수의 역변환

(다) 이러한 절차는 필요한 만큼 매번 다른 u값을 가지고 여러 번 반복하게 되고, 이때 u는 전술한 0과 1사이에서 표본 추출된 난수이며 이 값의 CDF도 u와 같아지는($F_U(u) = u$) 표준등분포변수(Standard Uniform Variable)임(다음 그림 참조)



<그림 2.1.33 표준 등분포변량 u와 표준 정규변량 x의 관계>

(라) 특정한 무작위변수의 확률분포의 특성에 맞게 난수를 발생시키기 위해서는 이와 같이 확률분포함수(PDF)의 역변환을 해석적인 함수로서 구할 수 있으면 된다.

2.1.3 상태평가 모듈 개발

기존 상태평가는 구조물의 열화에 따른 변상항목을 점검하고 이를 통해 사후 조치에 해당하는 유지관리계획을 수립하기 위한 행위이다. 구조물의 열화를 일으키는 변상항목은 구조요소와 비구조요소에 다양하게 나타난다. 하지만 이 모든 열화 항목이 지진 재해에 영향을 미치는 것이 아니다. 따라서 본 연구에서는 기존의 상태평가 항목 중 지진에 미치는 영향이 큰 열화인자들을 구별하고, 지진 시 영향을 많이 받는 부재위치를 결정하고 자한다. 이를 통해 지진 재해 시 영향을 미칠 단계별 중요도를 만들어 기존 구조물의 지진재해 영향 평가 시 이를 적용하고자 한다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 지진 재해를 위한 상태평가 항목의 중요도를 부각시킬 수 있으며, 기존 상태평가 기법에서 안전진단을 실시하지 않는 구조물에 대해서는 열화모델을 통해 노후화를 예측할 수 있는 상태평가 모듈을 개발하였다.

가. 기존 상태평가의 주요 변상 항목

기존의 상태평가에서 시행하는 안전점검 항목에 대한 주요 변상항목을 나타내면 다음 표 와 같다. 등급 산정은 각 부재별 및 항목별로 현장조사 및 시험한 결과에 해당하는 대표 값을 산정하여 평가점수를 부여하고, 그 결과를 기준으로 각 항목별 평가등급을 결정한다. 본 연구에서는 다음 표와 같이 구조물에서 나타날 수 있는 주요 변상 항목들을 나열하고 이중 지진 재해시 영향을 급격하게 미치는 변상 항목을 구분하고자 한다.

<표 2.1.26 기존 상태평가 기법의 주요 변상 항목>

구 분	주요 변상 항목
철근콘크리트 구조	강도, 균열, 중성화, 염화물 함유량, 철근부식, 표면노후
철골 구조	강재규격 및 강도, 접합상태, 강재, 부식도, 접합재, 부식도, 내화피복
공통 항목	변위·변형, 수평, 수직 기울기 (처짐 및 부동침하에 의한 구조 및 부재의 기울기)



<강도 저하>



<콘크리트 균열>

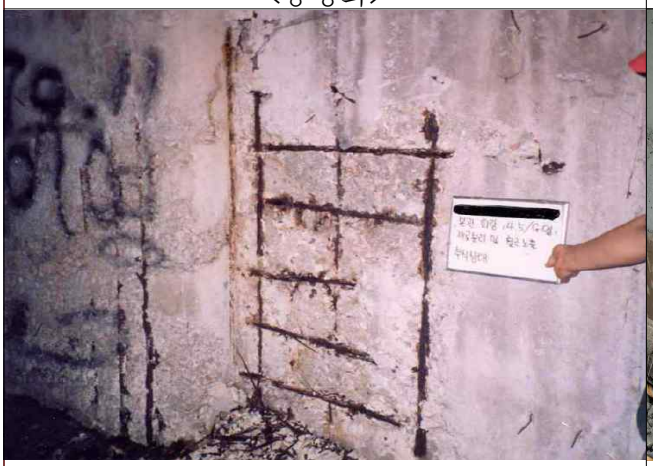
<그림 2.1.34 철근콘크리트 구조물의 주요 변상 항목>



<중성화>



<염해손상>



<철근부식>



<표면노후>

<그림 2.1.35 철근콘크리트 구조물의 주요 변상 항목>



<내화피복>



<강재 부식>



<접합재 부식>



<접합상태 불량>

<그림 2.1.36 철골 구조물의 주요 변상 항목>



<변위 및 변형> <부재의 기울기>

<그림 2.1.37 구조물 공통의 주요 변상 항목>

(1) 내진영향 평가를 위한 변상 항목

기존의 상태평가는 내진 해석 시 고려 가능한 변상항목에 대한 열화를 고려하는 것이 목적이 아니라 상태평가를 실시하는 시점에 구조물 노후화 정도를 판단하여 유지보수 항목을 도출하는 것이 주요 목적이다. 상태평가 결과 얻어지는 변상 항목이 다양하나 실제로 지진 재해에 영향을 미치는 수준과 변상항목은 구분되어야 하며, 주요 변상에 대해 중요도를 설정하고, 열화 정도를 검토 혹은 예측하여 지진재해 영향 시 이를 반영하여야 한다. 본 연구의 목적은 일반 적인 상태평가가 아닌 지진 재해영향에 대한 상태평가 항목과 주요 변상을 도출하는 것이고, 이를 위해 기존 상태평가에서 구조물 형식별 주요한 변상 항목과 내용을 검토하였다.

지진 재해 시 영향을 많이 받는 변상 항목을 검토한 결과는 다음과 같다.

과거 건축물 지진 관련 연구사례를 검토하면 철근 콘크리트 구조의 경우, 노후화로 인한 휨이나 전단균열 진전으로 콘크리트 박락, 철근노출 등의 변상으로 강성이 저하는 되는 것을 우선적으로 고려하였고, 철골구조의 경우 대표적인 손상으로 휨 또는 압축력에 의해 발생하는 변형으로 국부좌굴이나 전체 좌굴을 고려하였다. 이외에 층간 변형으로 인한 구조체의 손상이 지진에 대한 주요 변상 항목이나 이러한 층간 변형은 구조물 유지관리 차원에서 관리 되는 매우 중요한 변상항목 이므로 층간 변형 단계까지 진행된 건축 구조물은 지진 재해영향 뿐만 아니라 단순 사용성 측면에서도 문제가 되기에 본 연구의 현 단계의 상태평가에서 고려하지 않았다. 차후 열화모델을 다양하게 검토하여 다양한 변상을 추가 하고자 한다.

<표 2.1.27 지진 재해시 영향을 많이 받는 변상 항목>

구 분	주요 변상 항목(변상 진전 순서별)
철근콘크리트 구조	휨, 전단 균열 / 콘크리트 박락, 철근노출 / 단면 손실
철골 구조	휨, 압축력에 의한 국부좌굴 / 전체좌굴

이러한 변상 항목에 대한 지진 예상 거동 및 취약 부위를 검토한 결과는 다음과 같다.

(가) 철근콘크리트조 건축물의 지진에 대한 예상 거동

① 기둥 및 보의 휨파괴

② 단주 등 기둥 및 벽체의 전단파괴

③ 기둥 및 보의 부착파괴

④ 보-기둥 접합부 파괴(내진설계가 되지 않는 건축물이 특히 취약)

⑤ 특정 층 붕괴

⑥ 비정형 평면, 단면의 건축물의 변형부 파괴

⑦ 편심에 의한 비틀림 파괴

(나) 철근콘크리트조 건축물의 지진취약부위

① 콘크리트 보의 부서짐

② 콘크리트 기둥의 부서짐

③ 보강 철근의 노출

④ 손상된 피복 접합부

⑤ 균열이 발생된 채움벽

⑥ 기둥 콘크리트의 수직 변형

(다) 철골조 건축물의 지진에 대한 예상 거동

① 기둥, 가새 등 부재의 좌굴, 파단

② 부재 접합부 파괴 : 볼트 파단, 용접부 파단 등

③ 주각부 앵커 파괴

④ 지층의 층 붕괴

(라) 노후된 철골조 건축물의 지진취약부위

① 기둥 피로

② 보-기둥 접합부 피로

③ 기둥 골조의 수직 변형

④ 누수 부위에 녹 발생으로 인한 강재 단면 손실

나. 중요도 산정

앞서 언급한 바와 같이 철근 콘크리트 구조의 대표적인 손상은 균열이다. 균열에는 휨과 전단 균열이 있으며, 미세 균열의 진전에 따라 구조물에 치명적 영향을 미치는 변상이 발생된다. 지진 재해 대비 상태평가시 다음과 같은 상, 중, 하 중요도에 따라 지진 재해 영향 정도와 내용을 다음 표에 나타내었다.

<표 2.1.28 철근콘크리트 구조의 변상항목 중요도>

위험 수준	복구 수준	지진재해 영향	변상 주요 내용
하	낮음	지진재해 영향 미약	육안 확인이 가능한 휨, 전단 균열
중	보통	지진재해 영향 보통	강도 저하
상	높음	지진재해 영향 큼	철근 노출, 콘트리트 압축파괴, 박락 발생

다음으로 철골 구조에 대해 눈으로 확인할 수 있는 철골 부재의 대표적인 손상으로는 압축력에 의해서 부재에 발생하는 국부좌굴과 전체좌굴이 있다. 국부좌굴은 부재단면을 구성하는 판요소가 압축력을 받아서 면외로 변형함에 따라 단면형상이 뒤틀리는 것을 의미하며, 전체 좌굴을 부재가 압축력을 받아서 전체적으로 휘는 현상을 의미한다.

<표 2.1.29 철골 구조의 변상항목 중요도>

위험 수준	복구 수준	지진재해 영향	변상 주요 내용
하	낮음	지진재해 영향 미약	경미한 손상 및 좌굴발생
중	보통	지진재해 영향 보통	강도저하에 영향을 미치는 손상 및 좌굴발생
상	높음	지진재해 영향 큼	중대한 손상 및 좌굴 발생 및 접합부 손상

지금까지 검토된 상태평가 항목 중 지진 재해시 영향을 크게 미칠 수 있는 변상항목에 대하여 철근콘크리트 구조와 철골구조 구조체(보, 기둥)에 대하여 각각의 열화모델을 개발하고자 한다.

다. 설비 시설물의 상태평가

학교와 병원의 경우 설비 시설물이 다양하게 가동 중이므로 설비 사고로 인한 가동 중단 손실은 지진 재해 영향시 구조물이나 인명에게 미치는 영향이 클 것으로 판단된다. 대표적인 설비 항목은 전기설비, 보일러 설비, 가스 설비, 용수 설비, 기계 설비, 전산 설비 등이 있으며, 병원은 특수성을 갖는 설비들이 추가 될 수 있다.

본 연구는 지진 재해시 구조물의 영향을 판단하는 것이므로, 설비 시설물의 손상 파괴가 지진 재해시 구조물에 미치는 영향을 사전에 판단하기 위해 설비 시설물의 상태평가를 실시하고 상태평가 결과 설비 시설물의 교체 반영시 이를 지진 재해영향에는 미고려한다. 만약 상태평가 결과가 설비 시설물에 반영되지 않는다면 지진 재해시 화재, 누수, 낙하로 인해 구조물에 미치는 영향이 클 것 이므로 이는 설비시설물의 위험도 시나리오를 통해 지진 재해 영향 해석시 반영되게끔 하는 것이 본 연구의 목적이다.

우선 설비 시설물의 상태평가를 위해 기존의 여러 문헌을 고찰하였고, 대표적 연구인 박인규(2010년) 연구를 바탕으로 지진 재해에 영향을 미칠 수 있는 대표적인 설비 시설물의 열화요인, 점검 항목, 정밀 진단 방법을 검토 하였다. 이를 통해 향후 설비 시설물의 지진 재해 영향 관련 상태평가 체크리스트 기법을 제시하고 한다.

운전 중인 설비는 사용 환경, 조건 및 회로에 생기는 전기적 단락 등의 복합적인 요인에 의해 열화가 진행되고 있어 설비고장을 정확히 예측하기란 쉽지 않다. 이러한 열화요인은 대표적으로 열적 열화, 전기적 열화, 기계적 열화, 환경적 열화 등이 있다. 설비 고장 예방을 통해 지진재해에 미치는 영향을 최소화 하고자 한다면 설비 별로 열화 특성을 검토하여 열화 징후를 사전에 감지, 보수/교체 조치하는 것이 필요하다.

우선, 각 열화 요인을 살펴보면, 열적 열화는 설비에 열에너지가 가해지면 화학적 물리적 변화가 발생 되고, 과부하, 과열, 전기적 단락에 의해 설비 시설물 손상에 기인하게 된다. 다음으로 전기적 열화요인은 전력 계통에 과다한 전류 및 전압에 의해 재료가 열화 되는 현상으로 주로 절연물의 절연파괴 특성으로 나타난다.

기계적 열화는 사용년수에 따라 재료의 재질이 접촉 마모, 반복적으로 가해지는 피로 현상, 운전에 따른 진동 등에 기인한다. 마지막으로 환경적 열화 요인은 부식, 흡습, 손상, 고착 경화 등이 있다. 이러한 여러 열화 요인들로 인해 설비 시설물이 열화되어 이로 인해 구조물에 미칠 수 있는 영향은 여러 가지 형태가 있으나 대표적인 영향은 화재, 누수, 충격 등이 있다. 화재 발생이나 장기적 누수 현상은 건축물을 구성하는 구조요소의 강도저하를 문제점을 야기 시킬 수 있기 때문이다.

설비 시설 위치별 노후화 정도에 대한 상태평가를 통해 설비 시설물 위험도 평가 시나리오를 작성하기 위하 다음과 같은 체크리스트를 작성할 수 있고, 본 체크리스트를 통해 검토 이상 여부를 판단하여 위험도 시나리오에 반영한다. 체크리스트를 기법은 위험 설비 시설물에 깃발을 다는 역할을 하며, 건축물의 내진 보강시 설비 시설물의 교체를 반영하도록 하고자 함이다. 만약 육안점검 체크리스트를 통해 반영 되지 않은 노후화는 주기적으로 장비를 통한 검사를 통해 설비 시설물의 노후화 위험도 여부를 상태평가 하여야 한다.

대표적인 설비 시설물의 체크리스트는 다음과 같다.

<표 2.1.30 설비 시설물 체크리스트>

구분	체크리스트	평 가
1	•설비 시설물이 교체 권장 수명이 초과 하였는가?	
2	•설비 시설물이 정해진 사용 시간을 초과 하였는가?	
3	•옥외, 고온, 다습 등 특수 환경에 설치되어 있는가?	
4	•설비 시설물의 누유, 부분 파손 등 경미한 손상이 발견 되는가?	
5	•열화로 인한 현상(발열부의 변석, 도장 박리 등)이 없는가?	
6	•설비 시설물의 화재 여부의 가능성이 높은가?	
7	•설비 시설물에서 누수가 발생하고 있는가?	
8	•주기적 관리를 시행하고 있는가?	
9	•내진 및 면진 시설이 설치되어 있는가?	

장비를 통한 설비 시설물의 상태 평가는 다음과 같다.

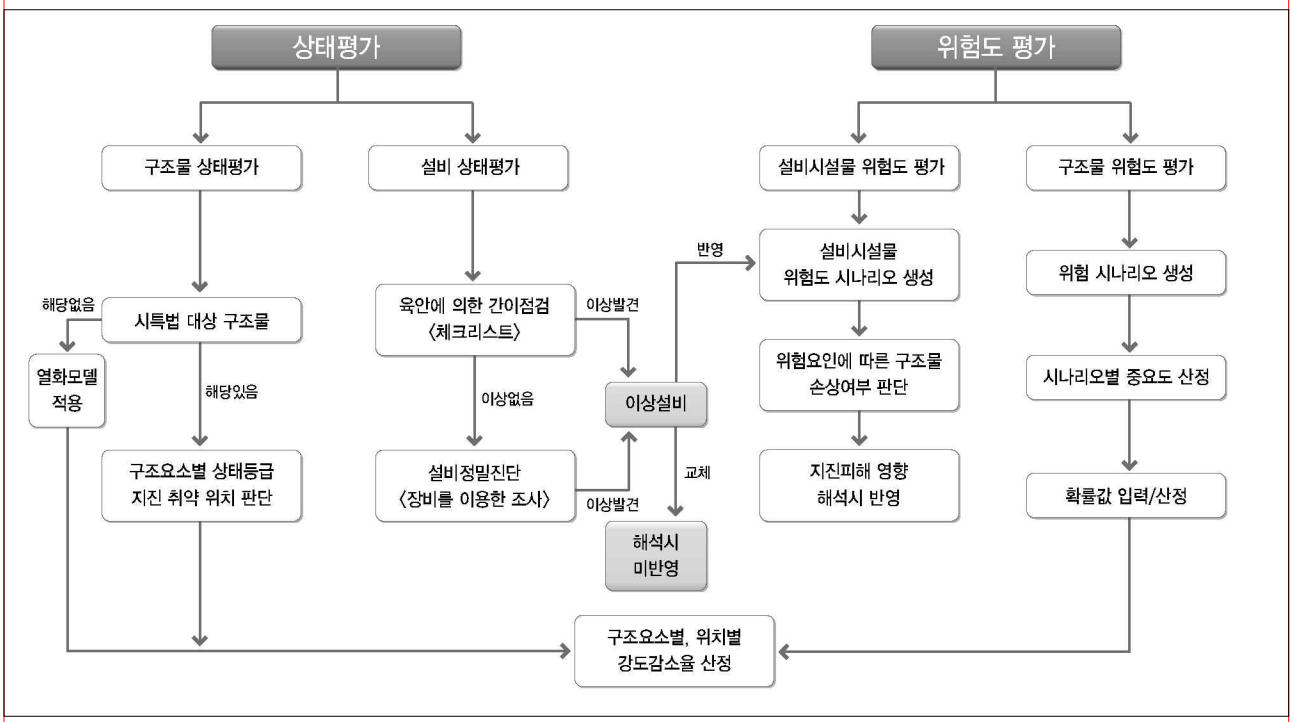
<표 2.1.31 장비를 통한 설비 시설물 상태평가>

구 분	내 용
설비의 비파괴 검사 (방사선 투과 시험)	•설비에 방사선을 투과하여 필름에 상에 용접상태, 피로현상에 의한 균을 등의 결함을 판정
초음파 탐상검사	•빔을 통해 설비 결함의 크기 및 위치, 배관의 두께를 검토하는 방법
자분 탐상검사	•자성체의 설비에 교류 또는 직류로 자화시킨 후 철가루를 뿌려 균열부위에 입자가 모이게 하는 방법
액체침투 탐상검사 (Penetrant Testing)	•침투액을 설비표면에 침투 시킨 후 침투 액을 제거하고 현상액을 도포하여 침투 액이 들어간 균열 부분을 확인하는 방법
음향방출법 (Acoustic Emission Test)	•운전중인 설비의 변형, 균열 및 누설이 진행하며 발생하는 음파를 감지하여 균열 및 피로현상 정도를 파악하는 방법

라. 위험도 및 상태평가 연계방안

앞서 언급한 위험도 평가와 상태평가는 서로 다른 개념의 구조물의 노후 및 위험요인에 대한 평가방법이다. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 개념의 두 기법이 하나의 프로세서 안에서 유기적으로 작용하기 위한 연계방안을 다음 그림과 같이 제안한다.

기존 상태평가 기법은 구조물에 대한 상태평가만 실시하였으나, 본 연구에서는 설비에 대한 상태평가를 실시하여 그 결과를 위험도 평가에 반영하여 지진 발생시 방재 설비 등에 대한 작동 및 기존 설비의 위험성을 판단하기로 한다.



<그림 2.1.38 위험도 평가 및 상태평가의 연계방안 모식도>

2.2 열화모델을 근간으로 한 상태평가 기법 연구

2.2.1 건축물의 강도저하 예측을 위한 열화모델

일반적으로 건축 구조물은 환경적 영향, 하중의 증가 등의 원인에 의해 건축물 사용 기간에 따라 성능의 저하의 원인이 되는 열화가 발생하며, 이러한 구조물 수명에 따른 구조요소의 열화를 나타내는 모델을 열화모델이라 정의할 수 있다. 즉, 수명에 따른 성능의 변화를 나타내는 모델이라 할 수 있으며, 여기서 열화를 나태내는 인자는 구조 성능 측면에서 보면 크게 상태등급, 내하력, 강도 등을 의미한다.

기존의 지진 영향 평가에서는 대부분 구조물의 초기 성능의 감소를 열화모델로 고려하지 않았기에 초기 구조물 건설 후 나타나는 열화에 대한 성능감소를 고려하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 구조물의 현제 상태를 파악할 수 있는 상태평가 이외에 경과년수를 통해 구조물의 현 상태를 파악할 수 있는 열화모델을 제시하여, 지진 영향 평가 시 이를 반영한 분석이 되도록 하고자 한다. 이러한 열화모델의 산정을 위해 경과년수에 따른 구조물의 상태평가 등급을 예측하였고, 시설물 정보관리 종합 시스템(FMS ; Facility Management System), 정밀안전진단보고서와 같은 가용한 과거 이력통계자료나 전문가 의견을 바탕으로 구조물 경과년수에 따른 강도감소율을 산정하였다. 또한 부족한 데이터를 보충하기 위하 건축물 유지관리 업무 관련 전문가 집단외 다양한 분야의 전문가들에게 설문을 실시하여 열화모델 개발을 위한 데이터를 수집하였다.

이러한 강도감소율을 바탕으로 현제 사용 중인 학교나 병원 건축물의 지진 재해 영향 평가 시 구조물의 열화가 반영된 강도를 반영하여 분석을 실시하고, 이를 통해 좀 더 실제와 근접한 지진재해영향 평가를 얻어낼 수 있을 것으로 판단된다.

가. 열화인자

건축물의 생애주기 동안의 열화모델을 예측하는데 있어 성능을 나타내는 여러 인자 중 어떤 항목을 선택할 지 여부는 매우 중요한 엔지니어링 의사결정이다. 본 연구에서는 현재 건축 구조물이 대부분 안전 진단을 통해 유지관리가 시행되고 있다고 보고, 모든 건축물은 현행 설계기준치를 만족한다고 가정하였다. 따라서 건축물의 현 상태평가를 반영한 지진재해영향 평가를 위한 열화모델의 열화인자는 상태평가 값을 바탕으로 지진 재해시 영향을 많이 받는 변상 요인에 대하여 적용하였다. 또한 상태평가 결과 얻어지는 구조물 상태등급을 열화인자로 하여 기존 안전진단 결과를 이용하여 현 구조물의 지진상태 등급을 검토할 수 있고, 진단이 시행되지 않는 구조물에 대해서도 상태등급을 도출 할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 열화 모델 개발 순서

앞에서 설명 하였듯이 구조물의 열화모델을 개발하기 위해서 열화인자를 상태평가를 도입하였고, 상태평가 값을 통해 다음과 같은 순서로 부재의 성능 평가가 이루어 져야 한다. 성능 평가를 위한 자료는 건축 구조물 관련 데이터베이스 또는 점검결과에 의한 경험적 판단, 전문가 의

견에 기초한다.

(1) 부재의 초기성능을 산정(또는 판단)
(2) 부재의 성능저하에 의한 성능이력을 산출
(3) 보수·보강·교체의 유지관리 행위가 적용이 되는 경우 각각의 행위에 대한 성능변화를 고려

상태지수의 경우 대부분의 건축물 구성부재에 적용될 수 있지만 본 연구에서 지진 재해 영향 해석 시 주요 부재는 보와 기둥이기에 이 두 부재에 대해 열화모델을 개발 하고자 한다.

다. 상태평가등급의 성능지수화

현 상태평가 체계에서는 각 건축물의 성능은 A, B 등의 문자로 표시되고, 구성요소는 소문자 a, b 등으로 표시된다. 상태평가 인자가 이산적으로 표현되기 때문에 공용년수에 따른 성능의 대표값을 구하기 위해 각 공용년수마다 발생가능한 상태의 평균을 구하는 등의 방법은 원칙적으로 적용하기 힘들다. 성능인자를 이산적으로 표현하는 현 체계 하에서 평가되는 건축물의 성능을 바탕으로 성능저하모델을 개발하는 것은 불확실성을 가중시킬 수 있으므로 연속적인 상태평가를 가능하도록 하는 새로운 평가체계의 적용이 필요한 실정이다.

이와 같은 제반 문제점을 해결하기 위해 한국시설안전기술공단(2003)에서는 건축물 구조물의 안전점검 및 안전진단 시 책임기술자의 주관적인 견해를 최소화하고, 객관적인 입장에서 구조물의 상태평가를 수행할 수 있도록 결함지수(0 ~ 1)로 표현되는 새로운 평가기준을 제시한 바 있다. 종래의 평가기준은 A, B, C, D, E로 나뉘며 이산화 되어 있기 때문에 각 등급들 간에 상태등급변이에 대한 정량적인 판단이 힘들었던 반면에 결함지수는 0과 1사이의 연속적인 값으로 이루어져 있어 공용년수에 따른 상태등급의 전이를 정량적으로 판단할 수 있다. 그러나 이러한 결함지수는 그래프로 표현하기 힘들기 때문에 본 연구에서는 이를 변환한 성능지수를 이용하였다. 결함지수와 성능지수는 일대일 선형관계를 이루고 있기 때문에 서로변환이 가능하며, 또한 기존에 사용하고 있는 상태등급과도 쉽게 변환이 가능할 것으로 판단된다. 결함지수를 성능지수로 변환하는 식은 시설안전기술공단에서 사용하는 식을 사용하였고, 상태지수, 결함지수, 상태등급사이의 관계는 다음 표에 나타내었다.

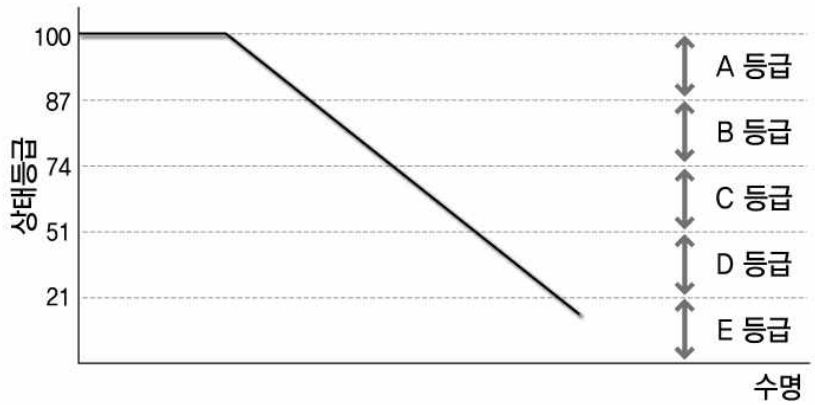
$$PI = (1.0 - DI) \times 100 \qquad \text{(식 2.2.1)}$$

여기서, PI=는 성능지수, DI=는 결함지수

<표 2.2.1 상태지수, 결함지수, 상태등급사이의 관계>

상태지수	결함지수	상태등급
87 〈 PI≤100	0≤ DI 〈0.13	A
74 〈 PI≤87	0.13≤ DI 〈0.26	B
51 〈 PI≤74	0.26≤ DI 〈0.49	C
21 〈 PI≤51	0.49≤ DI 〈0.79	D
PI≤21	0.79≤ DI	E

기준에 따라 FMS, 정밀안전진단 자료 등을 분석하여 열화모델을 산정할 수 있으며, 상태평가 등급 기준에 대한 자세한 내용은 한국시설안전기술공단(2003)에서 제공하는 정보를 따랐다.



<그림 2.2.1 건축물의 상태등급의 지수화>

라. 열화모델을 위한 설문 기법

열화모델 개발을 위해서는 국내의 건축물 유지관리 이력관련 데이터베이스 구축 기간이 짧고, 수집된 데이터의 정도가 낮아 분석을 위해 필요한 자료를 합리적으로 획득하는데 어려움이 있다. 따라서 열화모델 연구에서는 일정한 값을 가정하거나 설문조사를 통해 데이터를 획득하고자 한다. 전문가 설문조사란 사전에 설문지를 준비하고 그 설문에 대한 회답방식을 통해서 회답자의 의견을 알고자 하는 데이터 수집방법을 말한다. 사회과학이나 경제학에서는 모집단에서 무작위로 설문대상자를 뽑는데 비해 특히 공학 분야에서는 일정한 경험이나 지식을 가지고 있는 전문가를 대상으로 설문 대상자를 뽑는 특징을 가지고 있다. 그러나 공학 분야에서 설문조사는 일반적으로 사용되는 데이터 수집 방법이 아니기 때문에 일선 실무자가 그 내용을 알지 못하므로 데이터를 수집 및 처리하는데 있어 비합리적일 수 있다. 즉, 충분한 계획 없이 수행된 설문조사로 양질의 데이터를 수집할 수 없으며, 품질이 좋지 않은 데이터는 어떠한 통계수법을 이용해서 분석하더라도, 소재가 될 데이터가 나쁘기 때문에 분석결과로부터 이끌어내는 결론의 신뢰성은 낮을 수밖에 없다. 설문조사서의 작성에 있어서 설문은 회답자에게 명확하고

알기 쉬운 문장이 되도록 질문 내용의 표현방법에 주의하지 않으면 안 된다.

하나의 설문에 2개 이상의 논점이 포함되어 있는 것을 더블 배럴(double barrel) 설문이라고 한다. 2개 이상의 논점이 포함되면 회답자는 어느 쪽의 논점에 착안할 것인지를 멋대로 판단해 버리므로, 회답결과의 신뢰성이 낮아진다. 특정한 가치관을 포함하는 말을 스테레오타입(stereotype)의 말이라고 한다. 스테레오타입이란 일반적으로 널리 알려져 있는 이미지로서, 스테레오타입의 말을 포함한 설문에서는 그 말로부터 받는 이미지로 회답해 버릴 위험성이 생긴다. 개개의 설문을 체크할 뿐만 아니라 설문의 나열방식도 체크할 필요가 있다. 간단히 답할 수 있는 설문에서 시작하여 점차로 어려운 설문으로 진행하는 것이 일반적이다. 또한 같은 주제의 설문을 연속되도록 늘어놓는 쪽이 회답자는 답하기 쉽다. 설문의 순서에서 주의해야 할 것은 앞의 질문이 뒤의 질문의 해답에 영향을 미치지 않도록 하는 것이다.

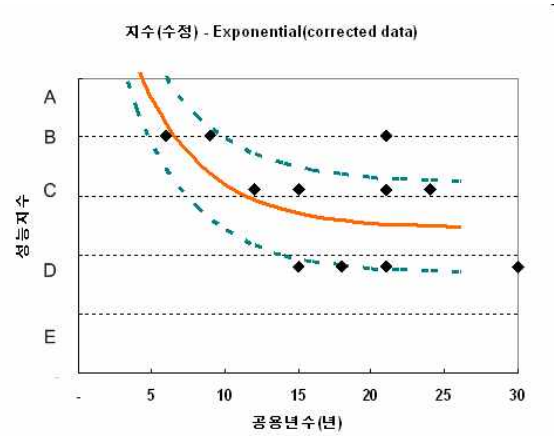
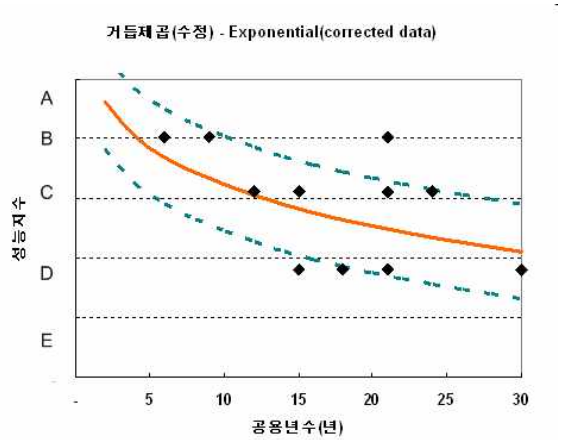
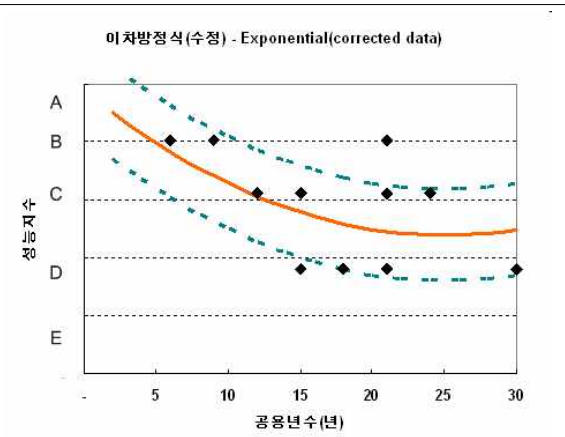
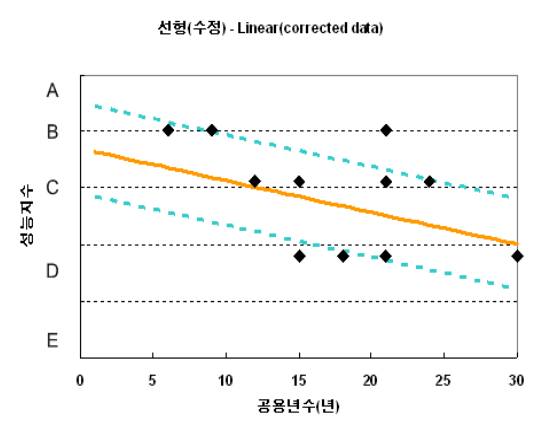
마. 열화 곡선

공용년수별 열화 추정에 적절한 모델을 선정하기 위해 지수곡선, 거듭제곱곡선, 이차곡선, 선형모델 등에 대한 다양한 회귀분석이 가능하다. 다음 표는 과거 이력데이터과 설문조사 결과를 이용한 공용년수별 열화모델 곡선의 다양한 형태를 나타내고 있다.

다음 표에서 볼 수 있듯이, 선형이 아닌 곡선으로 분석을 실시하면 곡선의 형태가 아래로 볼록인 곡선이 되어서 성능지수가 떨어질 때 A등급 상태에서 B등급 상태로 될 때까지 걸리는 시간이 C등급이 D등급으로, D등급이 E등급으로 떨어지는데 걸리는 시간보다 짧다는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 건축물이 노후화되면서 시간이 지날수록 성능지수가 급격히 떨어지는 경우와 상반되는 결과이다. 다음 표와 같은 분포를 나타낸다면 시간이 지날수록 건축물의 성능이 일정한 등급에 수렴한다는 의미이기 때문에 이와 같은 결과도 실제 건축물의 성능변화 양상과 다르다고 할 수 있다. 특히, 이차방정식 곡선의 경우 공용년수 20년 이후의 자료의 결과에 따라 아래로 볼록한 U자형의 모습을 보이기도 한다. 따라서 이러한 오류를 피하기 위해서는 공용년수별 성능지수의 분포를 곡선보다는 선형으로 적합(fitting)시키는 것이 이러한 오류를 최소화할 수 있는 합리적인 방법이라 할 수 있을 것이다.

이렇든 이상적 모델인 이차함수, 지수함수모델이 아닌 선형 모델을 적용해야 하는 원인은 다양한 데이터의 부재로 인해 발생되는 문제 이므로 향후 연구에서는 이력 데이터의 다양한 획득을 통해 열화 곡선을 좀 더 고차식으로 적용하고, 다양한 항목에 대해 열화모델을 개발 하고자 한다.

<표 2.2.2 열화곡선의 적합성 검토>

열화모델	분포곡선
지수모델 $y = A\exp(-x/B) + C$	
거듭제곱모델 $y = A + B\ x^{C}$	
이차곡선모델 $y = Ax^2 + Bx + C$	
선형모델 $y = Ax + B$	

2.2.2 주요 변상항목 도출

건축물의 준공 후 노후, 하중 등에 의한 부재의 손상이 발생한다. 이러한 변상 항목 들에 의하여 구조물의 강도 저하 및 단면 감소가 이루어져 지진이 발생하였을 때 구조물의 기능을 발휘하지 못하고 파괴 및 파손이 이루어 진다.

이러한 변상 항목에 대하여 주요 변상 항목을 알아보면 다음 표와 같이 나타난다.

<표 2.2.3 건축물의 주요 변상 항목>

구 분	변상항목
철골구조	강재부식
	접합볼트 누락, 풀림 및 이완
	용접부 결함
	접합재 부식
	피복재 탈락
	좌굴
	기울기
철근콘크리트구조	균열
	표면박리
	표면백태
	표면박락
	철근노출
	탄산화
	재료분리
	처짐
	누수

2.3 위험시나리오 모듈에 따른 위험도평가 기법 연구

2.3.1 위험요소 분석

건축시설물은 크게 구조재와 비구조재로 구분되며 이때 지진 발생시 발생가능한 위험요소 및 그에 따른 유발사건은 아래와 같이 정리될 수 있다.

가. 구조재

지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건에 대해 아래 표와 같으며, 기둥 및 보를 비롯한 구조부재의 지진시 발생가능한 위험요소에 대해 항목별로 정리하였다. 또한 정리된 내용에서 알 수 있듯이 구조재에서 고려될 수 있는 위험요소는 구조물의 손상과 피해를 유발할 뿐만 아니라 비구조재의 손상 및 파손을 유발하게 되고 그로 인한 화재발생에 따른 구조재의 2차 손상을 야기할 수도 있다. 이러한 이유는 지진수평력에 의한 구조재의 과변형 및 파손에 따른 비구조재의 손상이 그 자체로는 구조물의 손상 및 피해에 직접적으로 영향을 미치지는 않지만, 화재발생시 비구조재의 손상 및 파손 등에 따른 작동불가 및 소화용수 공급불능 등에 따른 초기진압 및 제어불가 상태로 인해 구조재의 손상에 치명적 영향을 미칠 수도 있기 때문이다.

<표 2.3.1 지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건>

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
구조재	기둥	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴 / 구조물 붕괴
			화재발생
			충격하중
	보	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴
			화재발생
			충격하중
	바닥판	바닥판 파손	장비 손상/파손
			배관 손상/파손
	브레이싱	부재파손	주부재 안전성 저하
		좌굴발생	
	접합부	접합부 파손	부분붕괴
			배관 손상/파손
			주부재 안전성 저하

나. 비구조재

비구조재의 경우에도 특정 설비의 손상 및 파손이 설비간 영향을 미쳐서 연쇄적인 손상 및 작동불가를 일으킬 수 있고, 가스배관의 파손과 전기설비의 발화로 화재발생 및 추가적인 악영향을 미치게 되어 구조재에 직접적인 위험사건이 될 수 있음을 직관적으로 알 수 있다. 따라서 단순한 구조해석 및 그에 따른 성능평가가 지진시 발생가능한 재난상황 및 구조물 손상을 합리적으로 반영할 수 없을 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 지진 시 발생가능한 위험요소와 관련된 지진 피해사례 및 내진시설 현황사례 등을 조사하여 위험요소에 따른 발생가능한 위험시나리오를 구성할 수 있도록 하였다.

<표 2.3.2 지진시 비구조재의 위험요소 및 유발사건>

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
비구조재	전기설비	전선단락	소방/제어 설비 불능
			중요시설 정지
		비상발전기 미작동	소방/설비제어 불능
			중요시설 정지
			지진 복구 지연
		수변전설비 전도/고장	충격하중 / 정전지속
		누전 및 합선	정전 / 화재
	기계설비	엘리베이터 및 기계 손상	작동 불능 / 지진복구 지연
			추락 및 화재
	가스설비	가스배관 손상 및 누출	화재 및 폭발, 구조물 손상
		가스탱크 폭발	화재, 구조물 손상/붕괴
	제어설비	제어시스템 작동 불능	소방/설비제어 불능
		제어설비 파손	지진복구 지연
	소방설비	스프링클러 미작동	화재진압 불가
	상수도설비	물탱크 파손/전도	충격하중
			전기/기계설비 손상
		상수도배관 파손	소화시설 작동불가

다. 지진화재

지진시 소규모에서는 큰 문제가 없으나 중·대규모 지진에서는 구조물 손상과 더불어 대형화재가 발생하여 건물 추가붕괴 및 인명손상 등 심각한 2차 피해가 발생할 수 있다. 미국과 일본 등 해외의 대규모 지진에서도 이러한 상황이 발생되고 있으며 다음 그림에는 한신·아와지 지진 후 화재상황에 대한 사례를 정리하였다.



<그림 2.3.1 지진 후 화재상황- 출처 : Google(http://www.google.co.kr)>

다음 표에는 기존 연구에서 지진화재에 영향을 미치는 요소를 정리하였으며(신병철, 지진과 위관리, 한국화재보험협회 특집, 2005. 01, pp.14-19) 내용에서 알 수 있듯이 비구조재에서의 지진시 화재에 대한 위험요소가 많은 것을 알 수 있다.

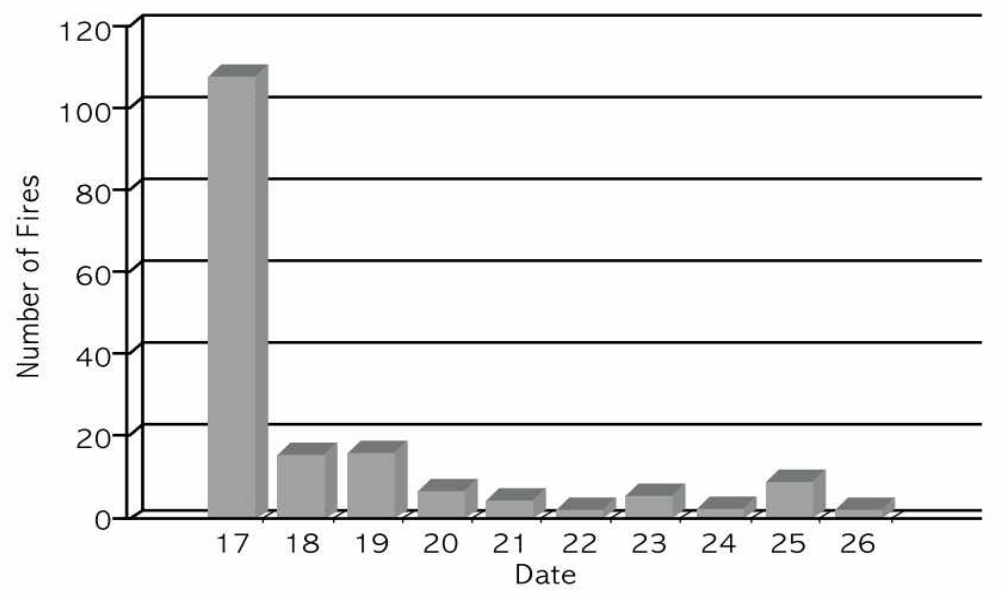
<표 2.3.3 지진화재에 영향을 미치는 요소>

요 인	기본적 위험요소
1. 지진의 영향	•건물손상 •내용물의 이동 •가스 전력설비 및 배관망 등의 파손
2. 점화원	•나화, 고온표면 •보일러 플랜트의 붕괴 •구조적 손상에 의한 단락 •전력선의 탈락
3. 화재의 성립	•연료(내용물) •건물 내 진압설비의 고장 - 스프링클러 : 건물에 연결되는 주 배관 - 가압 : 동력과 실링(이동손상에 의해)
4. 화재확산	•일반적 요인 - 높은 건물밀도 - 주변 방벽이 내화성능을 갖지 못함 •사고 또는 장소의 특성 - 바람(강도와 풍향) - 건축적 조치(Passive measures)의 손상
5. 감지/구획 /소화	•화재발생 위치를 알지 못함 : 경보시스템의 손상 또는 혼선 •소방대 대응의 장애 발생 •배관망 손상에 따른 수압 손실

기존에 일본 지진의 재해분석을 통한 지진과 화재의 연관관계에 대해 연구가 수행된바 있으며 다음 표와 그림에 정리하였다. 이 연구결과로부터 지진에 따른 화재발생이 동반될 수 있으며 지진 당일의 화재발생 가능성이 가장 큰 것을 알 수 있다.

<표 2.3.4 고베지진 당일 화재면적별 발생건수 비교-출처 :출처 : 신병철, 지진과 위험관리(지진과 화재), 한국화재보험협회 특집, 14-19쪽>

화재면적	화재발생 건수	
	1월17일 오전7시	1월17일 밤12시경
1,000m^2 미만	23	60
1,000m^2 이상 ~ 10,000m^2 미만	20	31
10,000m^2 이상	10	14

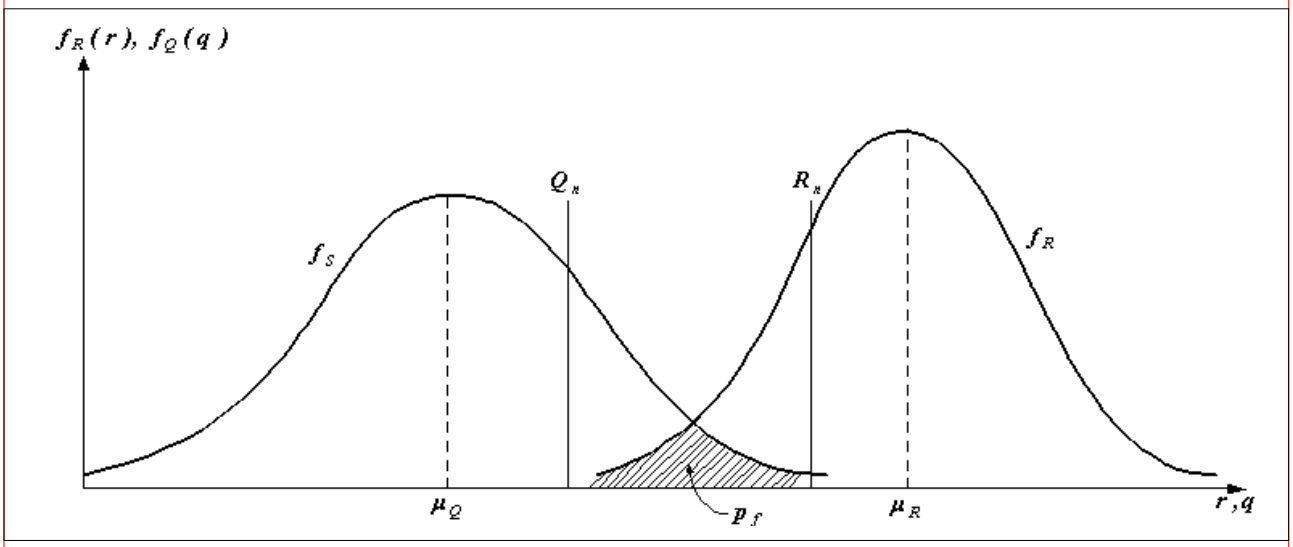


<그림 2.3.2 고베지진 후 화재발생 건수(1월17일-26일)>

2.3.2 손상 및 발생확률 평가

가. 구조재

구조부재의 손상 및 파괴확률을 평가하기 위한 개념도는 아래 그림과 같으며 저항 R과 작용외력 Q가 가지는 평균과 표준편차 등 확률분포 특성에 따라 아래 그림과 같이 분포곡선을 가지게 되며 두 분포곡선이 겹치게 되는 부분에서 파괴가 발생한다. 이때의 발생확률을 산정하기 위해 MCS기법을 사용한 시뮬레이션을 수행하게 된다.



<그림 2.3.3 하중-저항의 파괴확률 개념도>

파괴확률(Pf) 산정을 위한 주요 구조재의 불확실변량을 다음 표에 정리하였다.

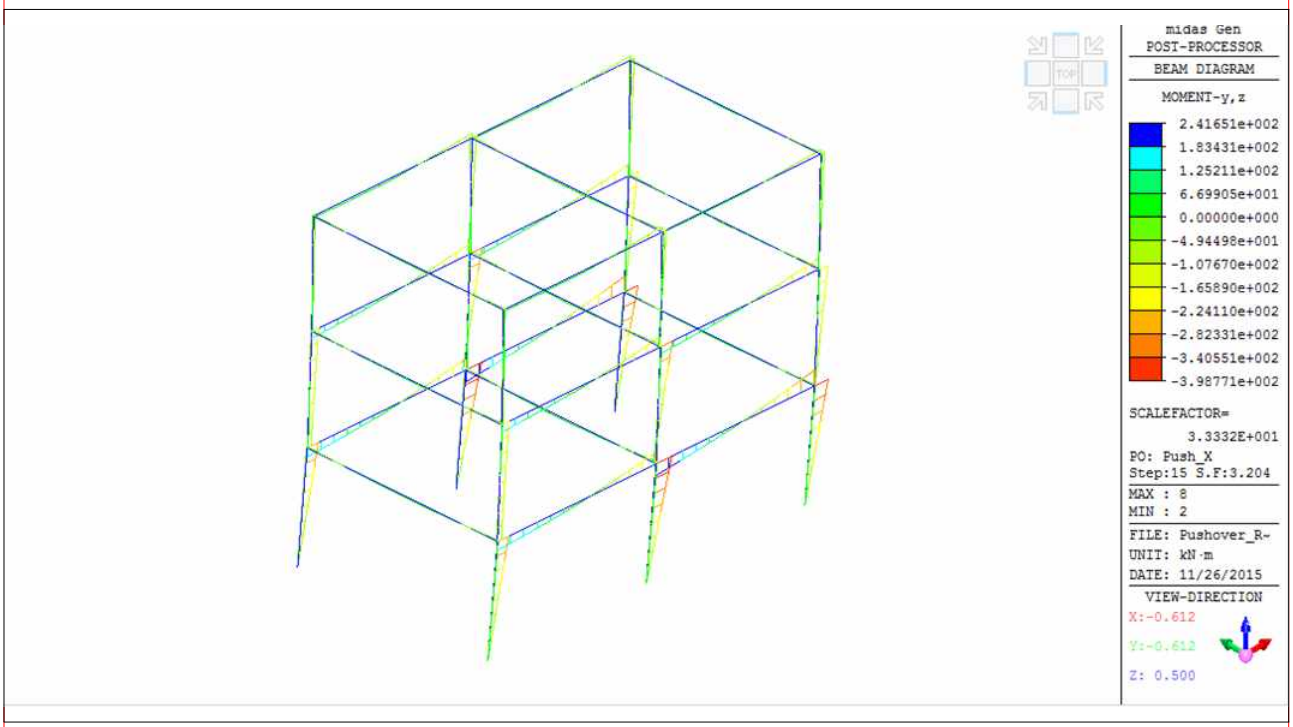
<표 2.3.5 주요 불확실변량>

랜덤변수		공칭비	변동계수	참고문헌
거더 및 보	콘크리트압축강도(fck)	0.928	0.119	Nowak et. al.(1994)
	철근 항복강도(fy)	1.033	0.058	Nowak(1995)
	강재 탄성계수(Es)	1.000	0.060	Tabsh-Nowak(1991)
	텐던 탄성계수(Ep)	1.000	0.060	Tabsh-Nowak(1991)
	작용 축력(N)	1.050	0.100	Nowak(1999)
	작용 휨모멘트(Ms)	1.050	0.100	Nowak(1999)
	작용 전단력(Ss)	1.050	0.100	Nowak(1999)
기 둥	콘크리트압축강도(fck)	0.997	0.098	Nowak et. al.(1994)
	축력(P)	1.050	0.100	Nowak(1999)
활하중		1.24	0.25	Cho, H. N. (1989)

(1) 구조부재의 손상/파괴확률 평가

구조부재의 손상/파괴확률을 산정하는 방법은 부재에 작용하는 작용력과 저항력의 확률특성치에 따른 관계에 따라 추정할 수 있으며, 2.1.2절의 다. 확률적 위험도평가에서 설명한 흐름과 기법에 따라 수행할 수 있다.

일반적으로 부재 작용하는 작용력은 다음과 같이 구조해석 결과로부터 얻을 수 있다.



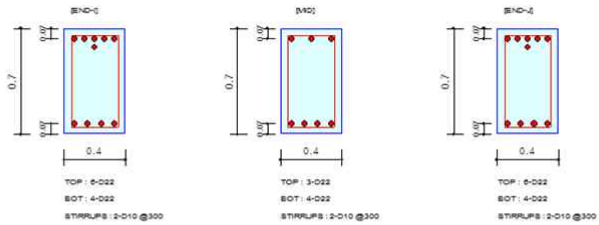
<그림 2.3.4 구조해석 결과 및 작용력>

또한 설계단면의 저항력은 설계Flow에 의한 계산이나 다음과 같이 단면설계프로그램을 통해 산정할 수 있다.

1. Design Information

Design Code	: KCI-USD12	Unit System	: kN, m
Material Data	: fck = 21000, fy = 300000, fys = 300000 KPa		
Section Property	: RC_보 (No : 4)	Beam Span	: 6 m

2. Section Diagram

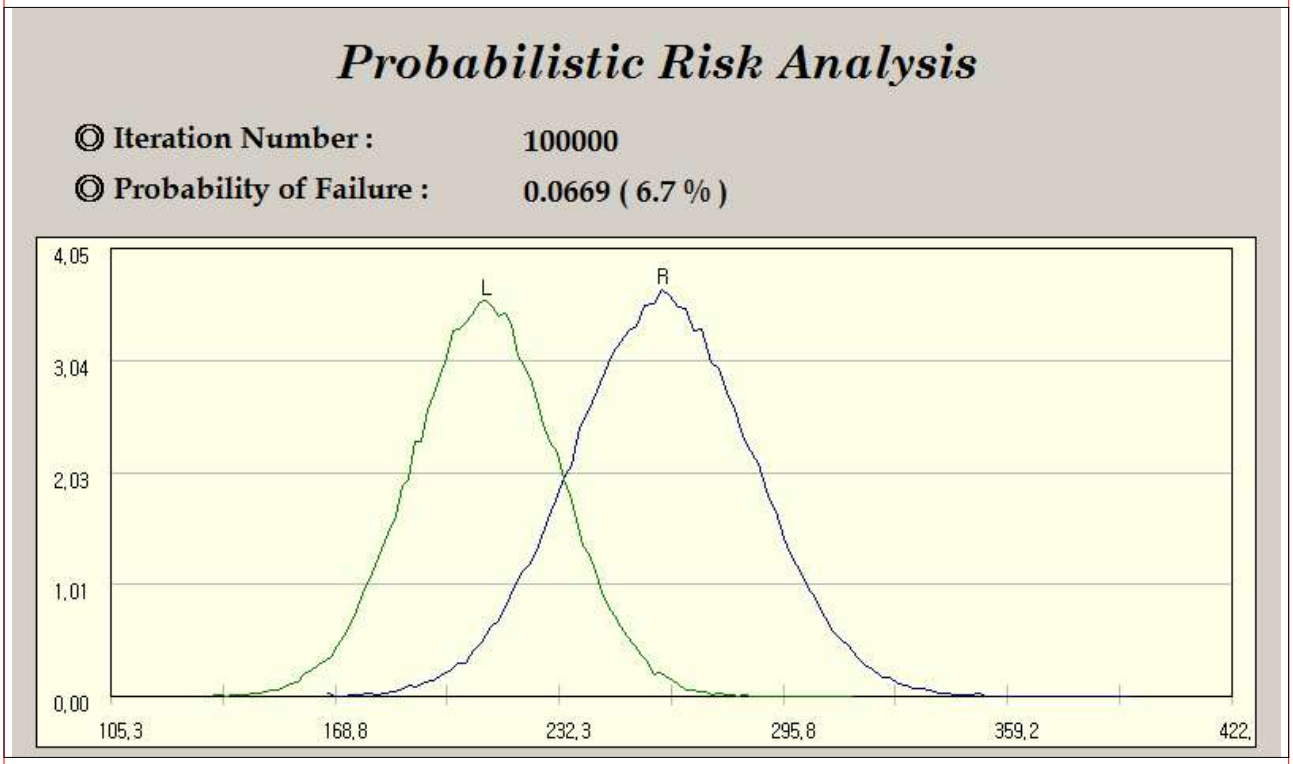


3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	10	15	6
Moment (Mu)	306.14	118.07	306.14
Factored Strength (φMn)	339.57	179.34	339.57
Check Ratio (Mu/φMn)	0.9016	0.6583	0.9016
(+) Load Combination No.	15	10	19
Moment (Mu)	223.78	139.85	223.78
Factored Strength (φMn)	235.91	235.91	235.91
Check Ratio (Mu/φMn)	0.9486	0.5928	0.9486
Required Rebar Top (As_top)	0.0021	0.0010	0.0021
Required Rebar Bot (As_bot)	0.0015	0.0012	0.0015

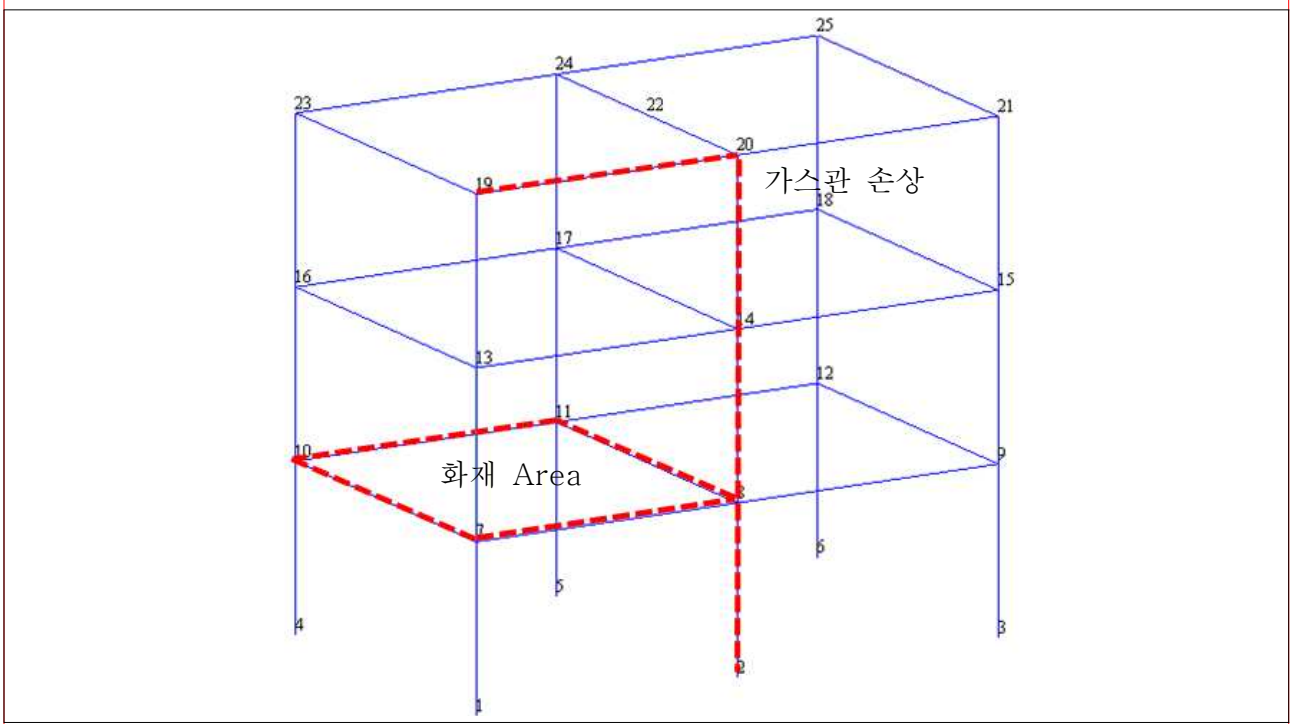
<그림 2.3.5 설계단면의 저항력>

이러한 작용력과 저항력이 가지게 되는 확률특성치(평균, 표준편차 등)를 고려하여 MCS를 통해 손상확률이나 파괴확률을 추정할 수 있으며 다음과 같은 예시를 통해 추정하게 된다.



<그림 2.3.6 MCS에 의한 파괴확률 추정>

이러한 부재의 손상/파괴확률의 추정은 검토해야 할 주요 부재들을 다음과 같이 선정하여 같은 과정을 통해 각각의 부재에 대한 손상/파괴확률을 추정해야 하며, 이러한 프로세스를 통해 대상 시설물의 위험도평가를 위한 손상/파괴확률을 산정하게 된다.



<그림 2.3.7 위험도평가를 위한 주요 부재의 MCS 수행>

나. 비구조재

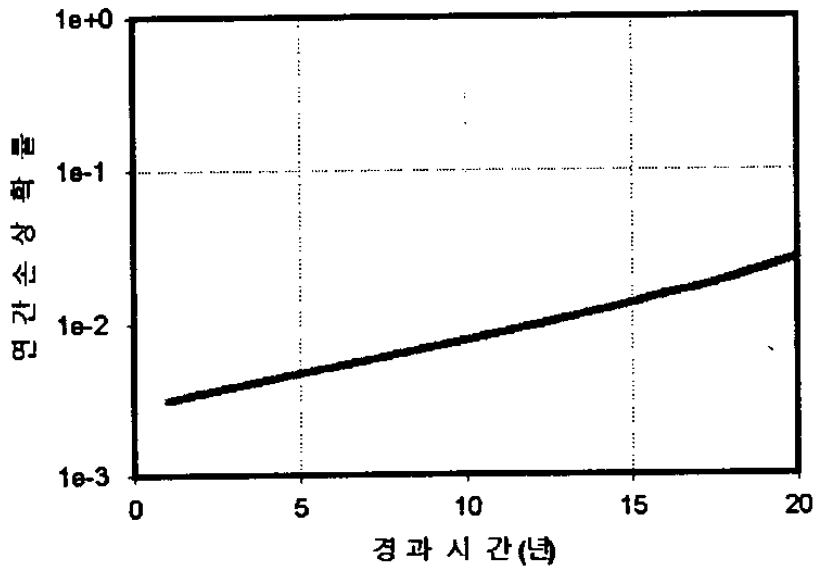
(1) 도시가스배관의 손상확률평가

도시가스 배관에서 위험을 유발할 수 있는 사건과 발생확률에 대한 연구(이진한외 3명, KIGAS Vol.7, No.2, June, 2003)가 수행되었으며 주요 위험요소로 굴착공사, 외부부식, 지반침하, 장치손상, 시공 및 재료원인의 5가지로 분류하였다. 이러한 위험요소 중에 굴착공사는 일시적인 위험요소로 지진시 고려해야 할 대상은 아닌 것으로 판단되며 시공 및 재료원인에 대한 것은 작업자의 실수 등 인적오류에 대한 체계화가 되어 있지 않은 이유로 기존 연구에서 연구범위에 포함하지 않아 본 연구에서도 위험요소에 포함하지 않았다.

따라서 기존 연구결과를 토대로 도시가스 배관의 부식 및 장치손상에 따른 손상확률을 본 연구에 적용하여 위험도평가를 수행할 수 있도록 하였으며 다음과 같다.

(가) 부식에 의한 연간손상확률

다음 그림에는 가스배관의 부식에 의한 경과시간별 연간손상확률을 도식적으로 나타내었다.



<그림 2.3.8 부식에 의한 경과시간별 연간손상확률(이진한 외)>

(나) 장치손상에 의한 연간손상확률

고장율은 유사한 운전조건에서 얻은 자료로부터 얻어지나 체계적인 자료관리가 안되는 경우가 많으므로 획득가능한 데이터베이스로부터 조사되었으며 OREDA의 자료를 준용하는 것으로 제시하였다. OREDA의 볼밸브의 외부 누출을 유발하는 고장율은 2.8×10^{-2}/year로 조사되었으며 OREDA의 데이터는 Offshore에서 운전되기 때문에 진동 등으로 인해 매몰형 밸브보다 고장발생빈도가 높으므로 OREDA의 데이터의 50%를 적용하여 볼밸브의 고장발생빈도는 1.06×10^{-2}/year로 제안하였다.

또한, 현장의 고장율 data가 없을 경우에는 고유고장율 데이터(generic data)를 사용하겠지만 현장특성에 맞는 데이터가 존재한다면 현장데이터(specific data)와 고유고장율 데이터를 결합하여 평균적인 값을 사용하는 것이 바람직하므로 Bayesian추론을 적요한 결합방법(Vinnem, J. E, 1999)으로 다음 식과 같이 고장율을 나타낼 수 있고 이러한 과정을 통해 표 2.3.6와 같이 고장율을 제시하였다.

$$F_{specific} = (Og+Os) / (Eg + Es)$$

여기서,

Og = Generic data에서 number of occurrences

Eg = Generic data에서 number of exposure hour

Og = Specific data에서 number of occurrences

Eg = Specific data에서 number of exposure hour

<표 2.3.6 누출속도에 따른 고장율>

누출속도 구분	고 장 율		
	Generic data	현장 데이타	추정값(Bayesian값)
0.1−1Kg/s	6.7×10^{-3}	4.4×10^{-3}	6.5×10^{-3}
1−10Kg/s	8.1×10^{-4}	0	7.2×10^{-4}
> 10Kg/s	2.7×10^{-4}	0	2.4×10^{-4}

본 연구에서는 현장데이타를 적용한 모델이 아니므로 고유고장율 데이터를 적용하는 것으로 하였다.

(다) 본 연구에서 적용 손상확률

위에서 언급된 기연구된 자료로부터 도시가스배관의 손상확률은 부식 및 장치의 밸브 및 이음손상에 따른 손상율을 고려하여 다음 식과 같이 적용하였다.

$$Rf = Rfc + Rfv + Rfe = 2.57\times10^{-2}/year$$

여기서,

Rf = 손상률

Rfc = 부식 손상율 = 9.0×10^{-3}/year

Rfv = 밸브 손상율 = 1.06×10^{-2}/year

Rfe = 이음 손상율 = 6.7×10^{-3}/year

(2) 스프링클러의 손상확률평가

한국화재보험협회에서 2000년부터 2014년까지 15년간 “안전점검결과분석” 자료를 통한 스프링클러의 양호 및 불량여부에 대한 검토결과를 다음 표 2.3.8에 정리하였으며, 본 연구에서 스프링클러의 손상확률을 평가하기 위한 자료로 활용하였다.

<표 2.3.8 스프링클러 설비의 안전점검분석결과>

연 도	조사대상	양호건수	양호율(%)	불량율(%)	비 고
2000	3,688	1,675	45.4	54.6	
2001	3,879	1,807	46.6	53.4	
2002	4,089	2,117	51.8	48.2	
2003	4,529	2,537	56.0	44	
2004	5,031	3,072	61.1	38.9	
2005	5,243	3,315	63.2	36.8	
2006	5,668	3,791	66.9	33.1	
2007	6,256	4,256	68.0	32	
2008	10,526	7,207	68.5	31.5	
2009	11,567	8,539	72.3	27.7	
2010	8,640	6,473	74.9	25.1	
2011	6,051	4,227	69.9	30.1	
2012	6,581	4,586	69.7	30.3	
2013	7,746	5,414	69.9	30.1	
2014	9,573	8,383	87.6	12.4	
평 균			64.8	35.2	

위의 표에서 안전점검시 평가기준은 양호, 보통, 불량으로 구분하여 점검하였으며 양호는 화재안전에 거의 영향을 미치지 않는 경우이며 보통은 불량사항이 화재안전에 영향을 미치는 경우이고 불량은 심각한 영향을 주거나 거의 무용지물인 경우로 평가기준을 구분하였다. 따라서 본 연구에서와 같이 지진시 화재의 경우에는 보통의 경우도 화재안전에 심각한 영향을 초래할 수 있으므로 본 연구를 위한 분석결과 적용시 보통은 불량에 포함하는 것으로 적용하였다.

또한 한국화재보험협회에서 안전점검의 조사대상의 규모와 기간을 고려해 보았을 때 본 연구에서 스프링클러 손상율로 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단되어 손상률 35.2%를 적용하도록 하였다.

(3) 수배전설비의 손상확률평가

한국화재보험협회에서 2000년부터 2014년까지 15년간 “안전점검결과분석” 자료를 통한 수배전설비의 양호 및 불량여부에 대한 검토결과를 다음 표 2.3.9에 정리하였으며, 본 연구에서 수배전설비의 손상확률을 평가하기 위한 자료로 활용하였다.

<표 2.3.9 수배전설비의 안전점검분석결과>

연 도	조사대상	양호건수	양호율(%)	불량율(%)	비 고
2000	15,378	13,536	88.0	12.0	
2001	16,197	14,372	88.7	11.3	
2002	16,861	15,228	90.3	9.7	
2003	17,804	16,223	91.1	8.9	
2004	18,722	17,358	92.7	7.3	
2005	19,221	17,945	93.4	6.6	
2006	20,348	19,171	94.2	5.8	
2007	22,544	21,416	94.9	5.1	
2008	16,772	16,040	95.6	4.4	
2009	18,471	17,672	95.7	4.3	
2010	17,770	17,040	95.9	4.1	
2011	11,734	11,456	97.6	2.4	
2012	13,277	12,818	96.5	3.5	
2013	15,194	14,500	95.4	4.6	
2014	24,715	23,371	94.6	5.4	
평 균			93.6	6.4	

위의 표와 같이 한국화재보험협회에서 안전점검의 조사대상의 규모와 기간을 고려해 보았을 때 본 연구에서 수배전설비의 손상율로 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단되어 손상율 6.4%를 적용하도록 하였다.

(4) 가스안전설비의 손상확률평가

한국화재보험협회에서 2008년부터 2014년까지 7년간 “안전점검결과분석” 자료를 통한 가스안전설비의 양호 및 불량여부에 대한 검토결과를 다음 표 2.3.10에 정리하였으며, 본 연구에서 가스안전설비의 손상률은 10.5%를 적용하도록 하였다.

<표 2.3.10 가스안전설비의 안전점검분석결과>

연 도	조사대상	양호건수	양호율(%)	불량율(%)	비 고
2008	1,388	1,278	92.1	7.9	
2009	1,676	1,533	91.5	8.5	
2010	1,403	1,324	92.1	7.9	
2011	1,162	1,509	91.1	8.9	
2012	1,464	1,302	88.9	11.1	
2013	1,595	1,371	86.0	14.0	
2014	1,698	1,442	84.9	15.1	
평 균			89.5	10.5	

(5) 펌프설비의 손상확률평가

화재시 스프링클러가 작동하더라도 물을 공급하기 위한 펌프설비가 손상이 되면 화재진압에 실패하게 되므로 기존연구에서 조사된 자료를 토대로 펌프설비의 손상확률을 평가할 수 있도록 하였다. 나욱정은 노후 상가건축물 화재 · 피난성능 평가 시스템 개발에 관한 연구(경북대학교, 박사학위 논문, 2012)를 통해 경년변화에 따른 소방시설 변화 및 불량특성을 분석하면서 펌프설비에 대한 고장율을 다음 표 2.3.11과 같이 조사/분석하였다.

따라서 본 연구에서는 펌프설비의 손상률은 2.7%를 적용하도록 하였다.

<표 2.3.11 경년변화에 따른 펌프설비의 불량특성>

내부기기	불량 종류	GroupA		GroupB		GroupC		계
		20년 이상		10~19년		10년 미만		
		대상 개소	불량건수 (불량률%)	대상 개소	불량건수 (불량률%)	대상 개소	불량건수 (불량률%)	
주 펌프성능 불량		10	1	15	0	12	0	1 (2.7)
			10		0		0	

(6) 위험물시설의 손상확률평가

한국화재보험협회에서 2000년부터 2014년까지 15년간 “안전점검결과분석” 자료를 통한 위험물시설의 양호 및 불량여부에 대한 검토결과를 다음 표 2.3.9에 정리하였으며, 본 연구에서 위험물시설의 손상율을 평가하기 위한 자료로 활용하였다.

<표 2.3.9 수배전설비의 안전점검분석결과>

연 도	조사대상	양호건수	양호율(%)	불량율(%)	비 고
2000	10,422	9,082	87.1	12.9	
2001	10,794	9,549	88.5	11.5	
2002	10,867	9,714	89.4	10.6	
2003	11,020	9,970	90.5	9.5	
2004	10,832	9,937	91.7	8.3	
2005	10,317	9,486	91.9	8.1	
2006	9,917	9,162	92.4	7.6	
2007	9,820	9,093	92.6	7.4	
2008	6,217	5,846	94.0	6.0	
2009	6,047	5,681	93.9	6.1	
2010	4,652	4,358	93.7	6.3	
2011	3,517	3,440	97.8	2.2	
2012	4,201	4,076	97.0	3.0	
2013	4,700	4,546	96.7	3.3	
2014	6,136	5,874	95.7	4.3	
평 균			92.9	7.1	

위의 표와 같이 한국화재보험협회에서 안전점검의 조사대상의 규모와 기간을 고려해 보았을 때 본 연구에서 위험물시설의 손상율로 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단되어 손상율 7.1%를 적용하도록 하였다.

2.3.3 위험시나리오 구성

가. 위험시설물 유무를 고려한 위험 시나리오 구성

평가 대상시설물의 특성에 따라 다음 표에서 보여 지는 바와 같이 설비의 설치 유무 및 위험요소 여부 등에 따라 위험시나리오 및 위험성이 달라질 수 있으므로 위험지수를 통해 주요 위험시나리오 및 집중관리 대상을 선정할 수 있다.

<표 2.3.10 설비시설 유무 및 위험요소 여부>

구 분	가스배관			스프링클러		비상발전기		폭발/위험물		물탱크		
	외부	내부	없음	설치	없음	설치	없음	있음	없음	옥상	지하	없음
시설-A	○			○			○		○	○		
시설-B		○			○		○		○			○
시설-C			○	○		○		○			○	
:												

나. 위험시나리오에 따른 통합내진 성능평가 적용기준

(1) 위험시나리오에 의한 발생가능성을 추정하고 위험손실 정도에 대한 정량화를 통해 위험지수를 산정하여 중요 위험시나리오에 대한 분석을 수행

(2) 많은 위험시나리오 중에 중요 위험시나리오를 선정하여 위험사건에 따른 부재의 손상율을 산정한 후 내진성능평가를 위한 구조해석 시 위험시나리오가 발생되는 부재에 적용하여 수행함.

다. 내진성능 향상방안

(1) 위험지수가 큰 위험시나리오를 유발하는 위험요소를 제어하는 방안을 수립할 수 있도록 함.

➡ 위험요소의 사전대응 및 제거를 통해 지진시 부재의 내진성능을 유지할 수 있도록 관리함.

(2) 상태저하가 발생되었거나 위험도가 큰 부재와 장비의 보수/보강을 수행하도록 하여 내진성능을 확보함.

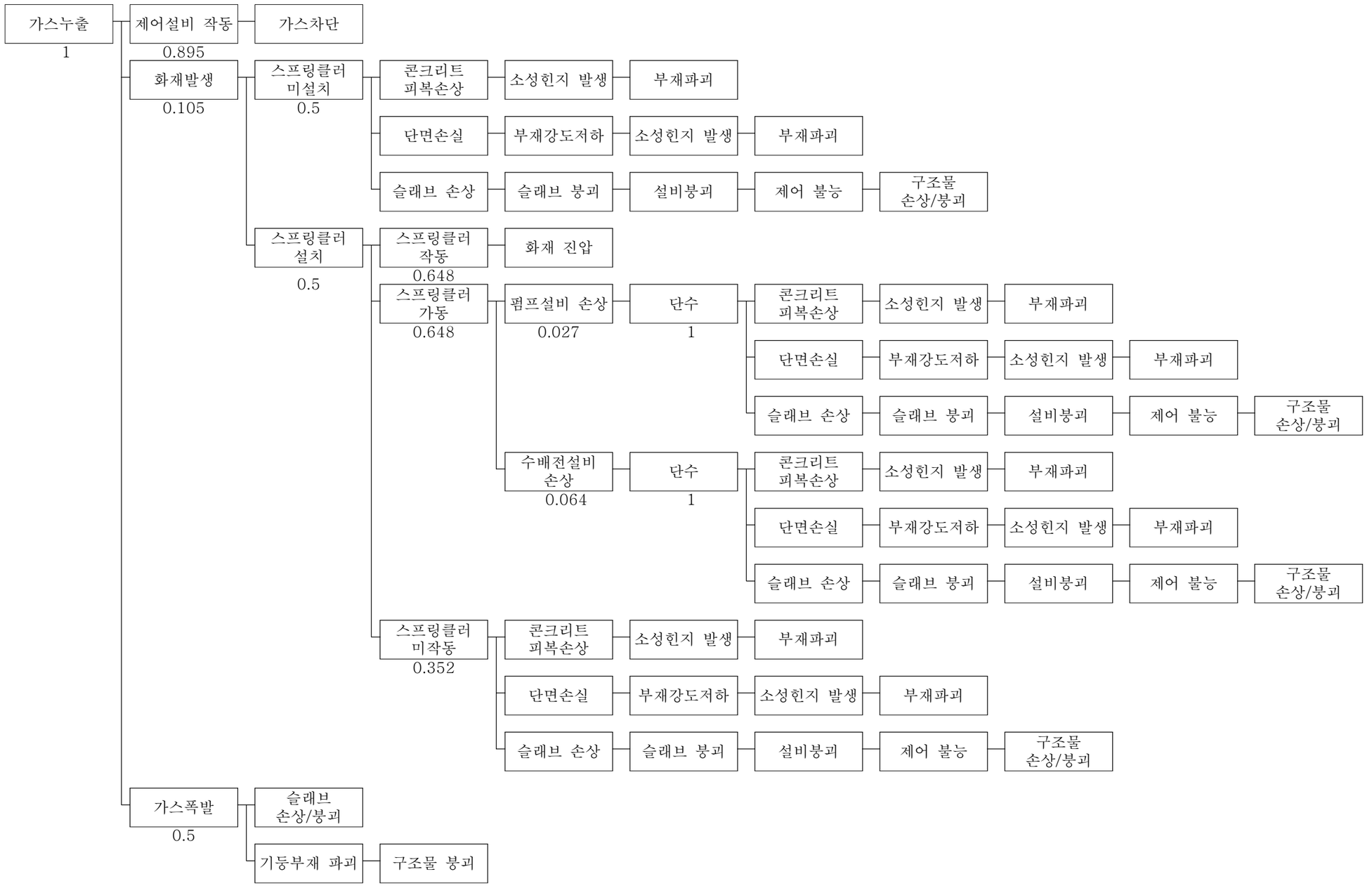
(3) 내진보강 및 면진장치의 설치/교체하는데 있어 통합내진성능평가 결과를 토대로 위치 선정 및 설치 개소 등을 분석하여 합리적이고 충분한 내진성능을 확보하도록 함.

라. 지진시 위험시나리오

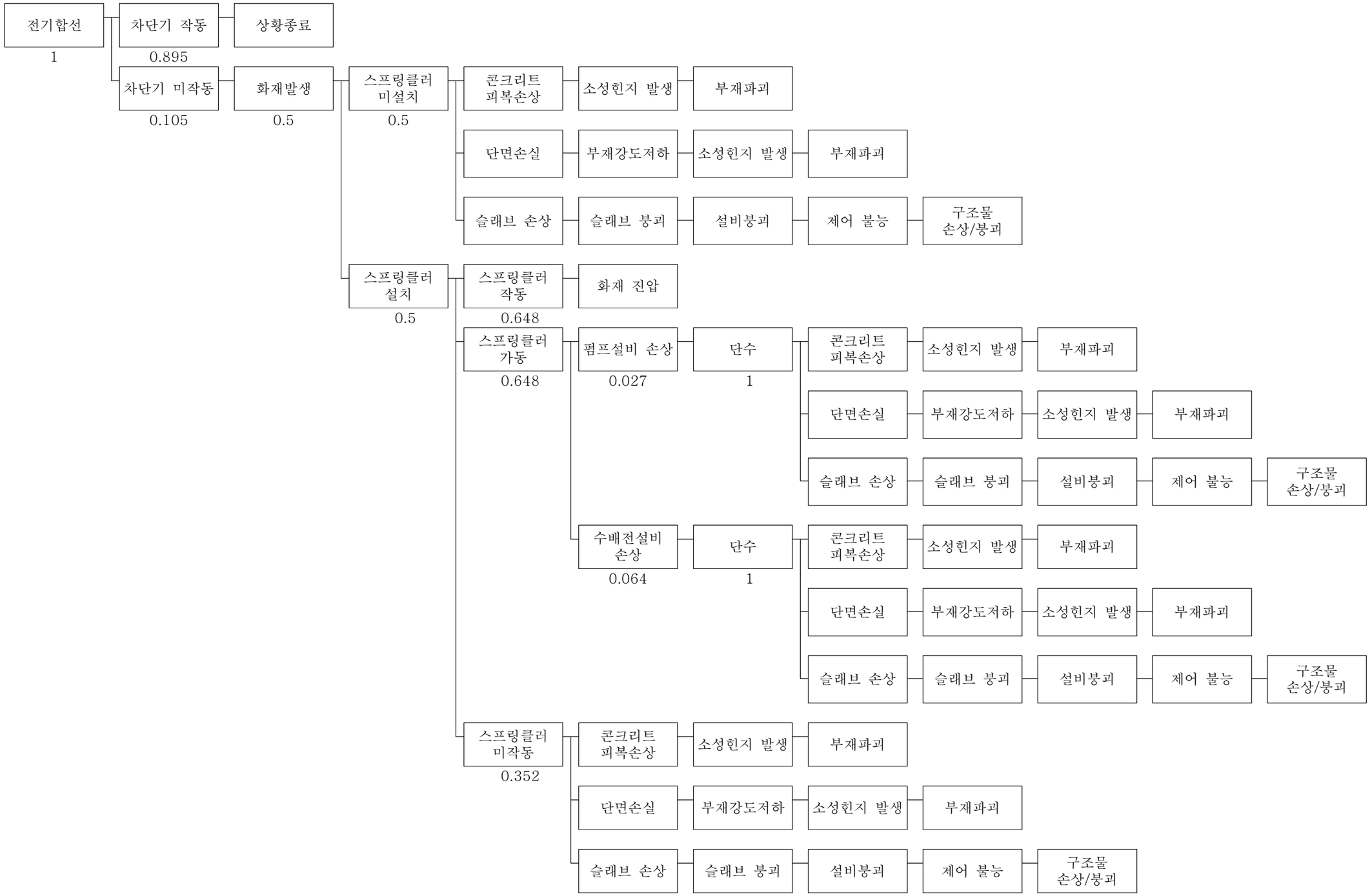
(1) 구조물 형식별 위험시나리오 구성

(가) 철근 콘크리트 구조물

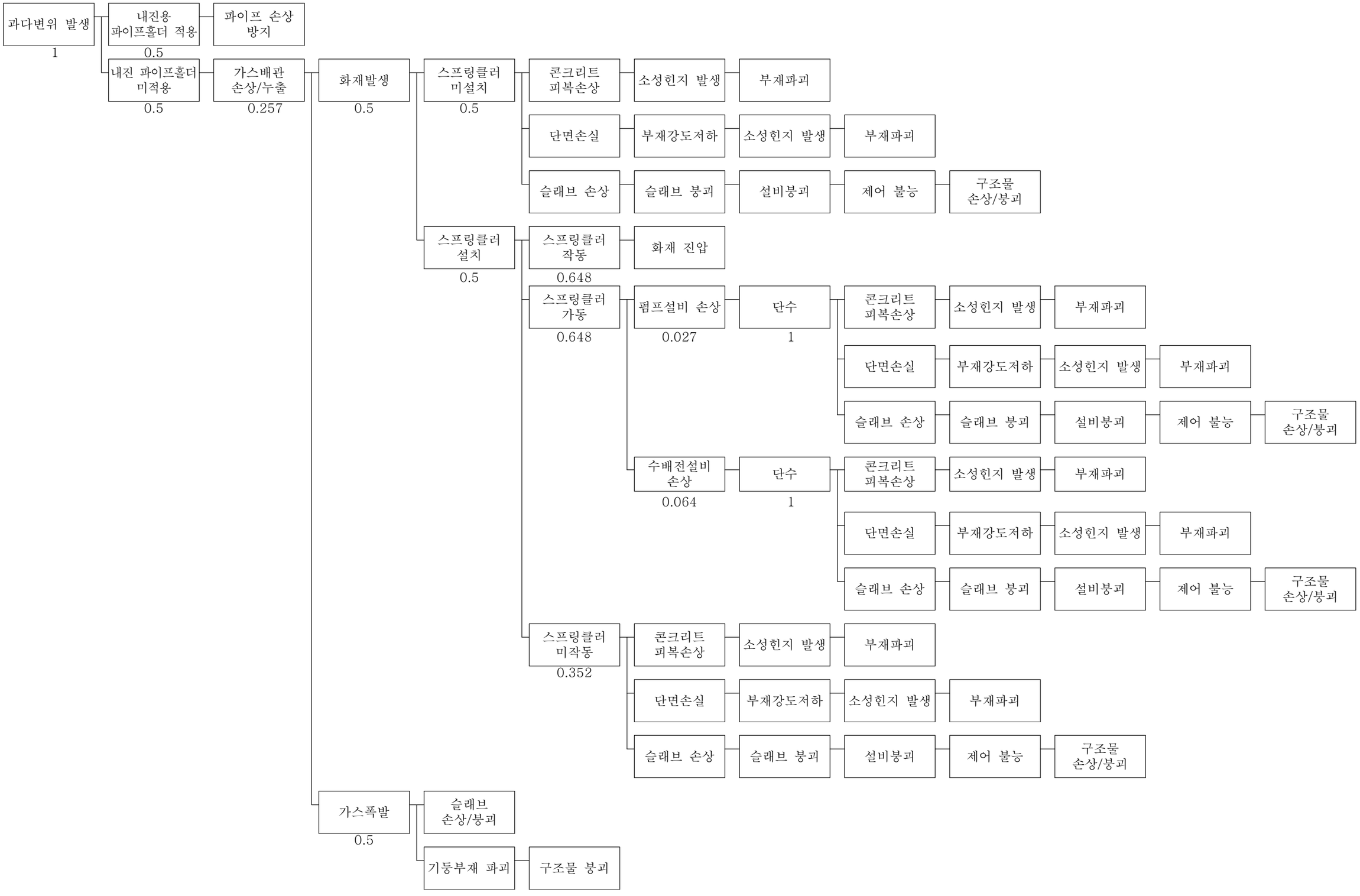
① 가스누출



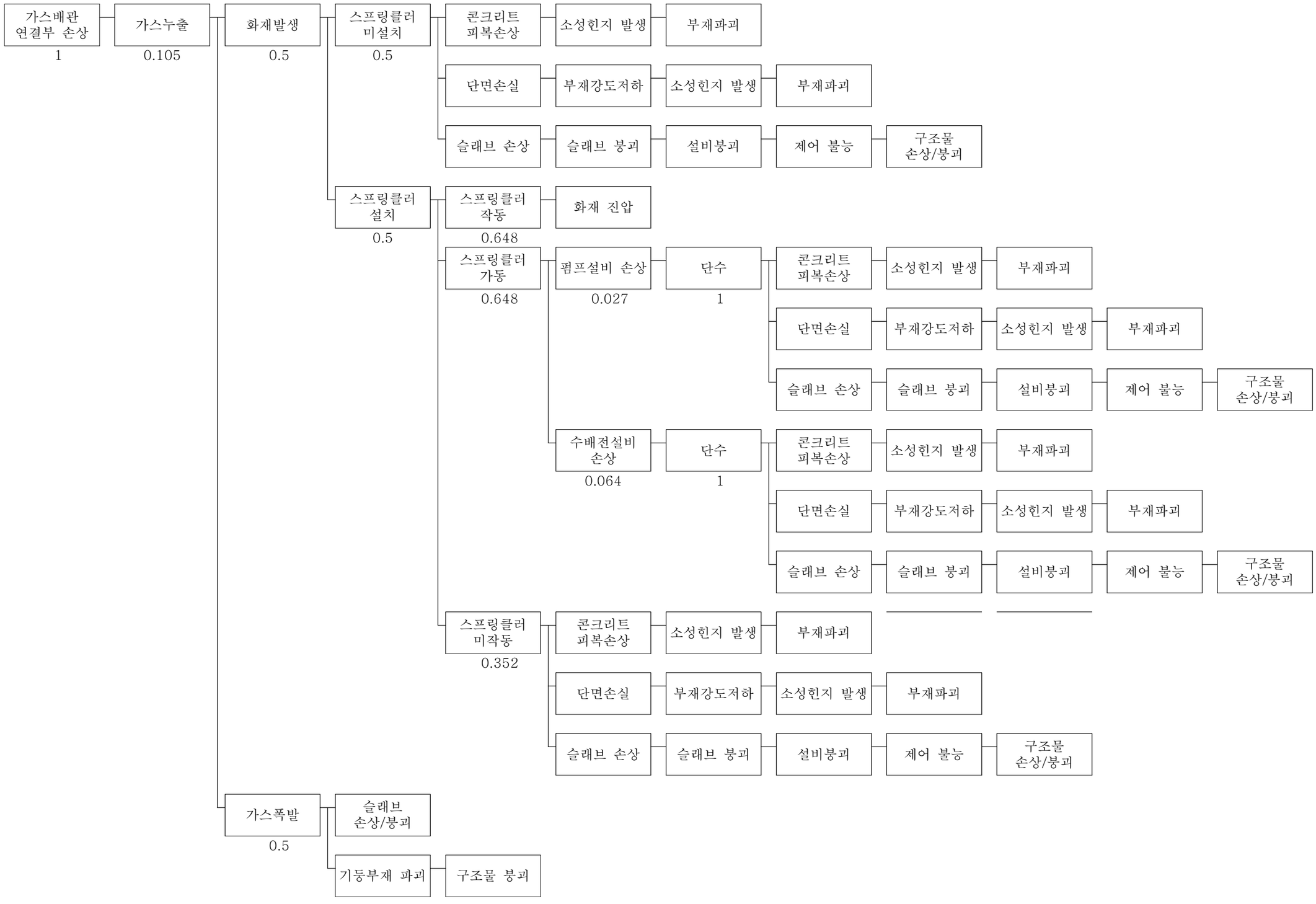
② 전기합선


전기합선
1
차단기 작동
0.895
상황종료
차단기 미작동
0.105
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴

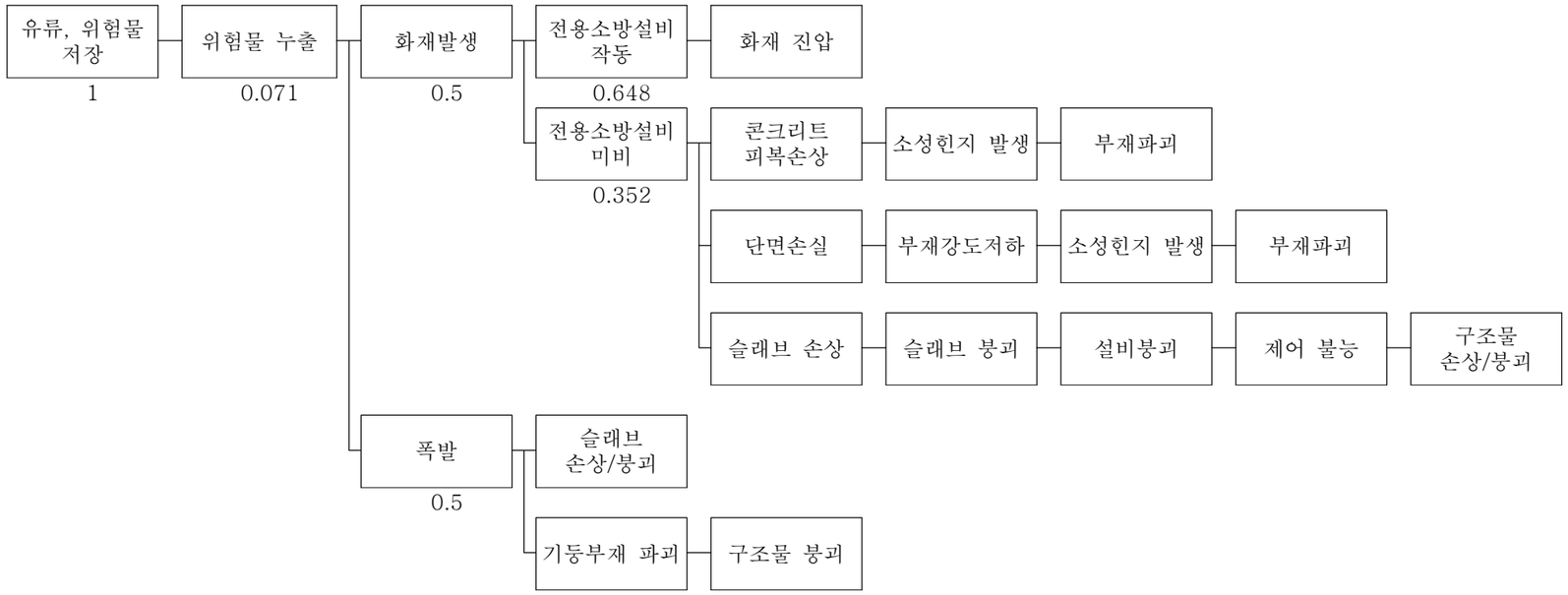
③ 과다변위 발생


과다변위 발생
1
내진용 파이프홀더 적용
0.5
파이프 손상 방지
내진 파이프홀더 미적용
0.5
가스배관 손상/누출
0.257
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
가스폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

④ 가스배관 연결부 손상

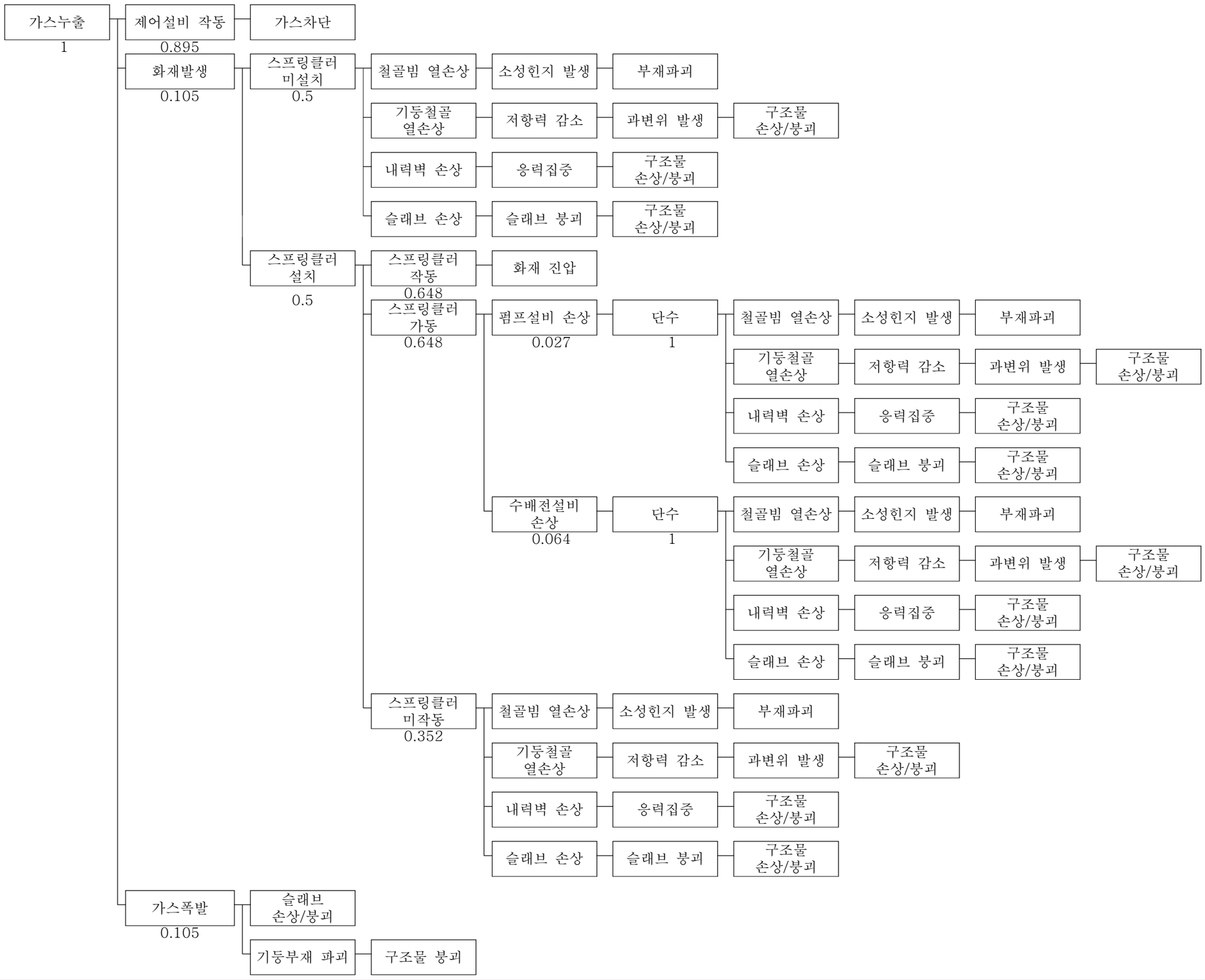

가스배관 연결부 손상
1
가스누출
0.105
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
가스폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

⑤ 유류, 위험물 저장

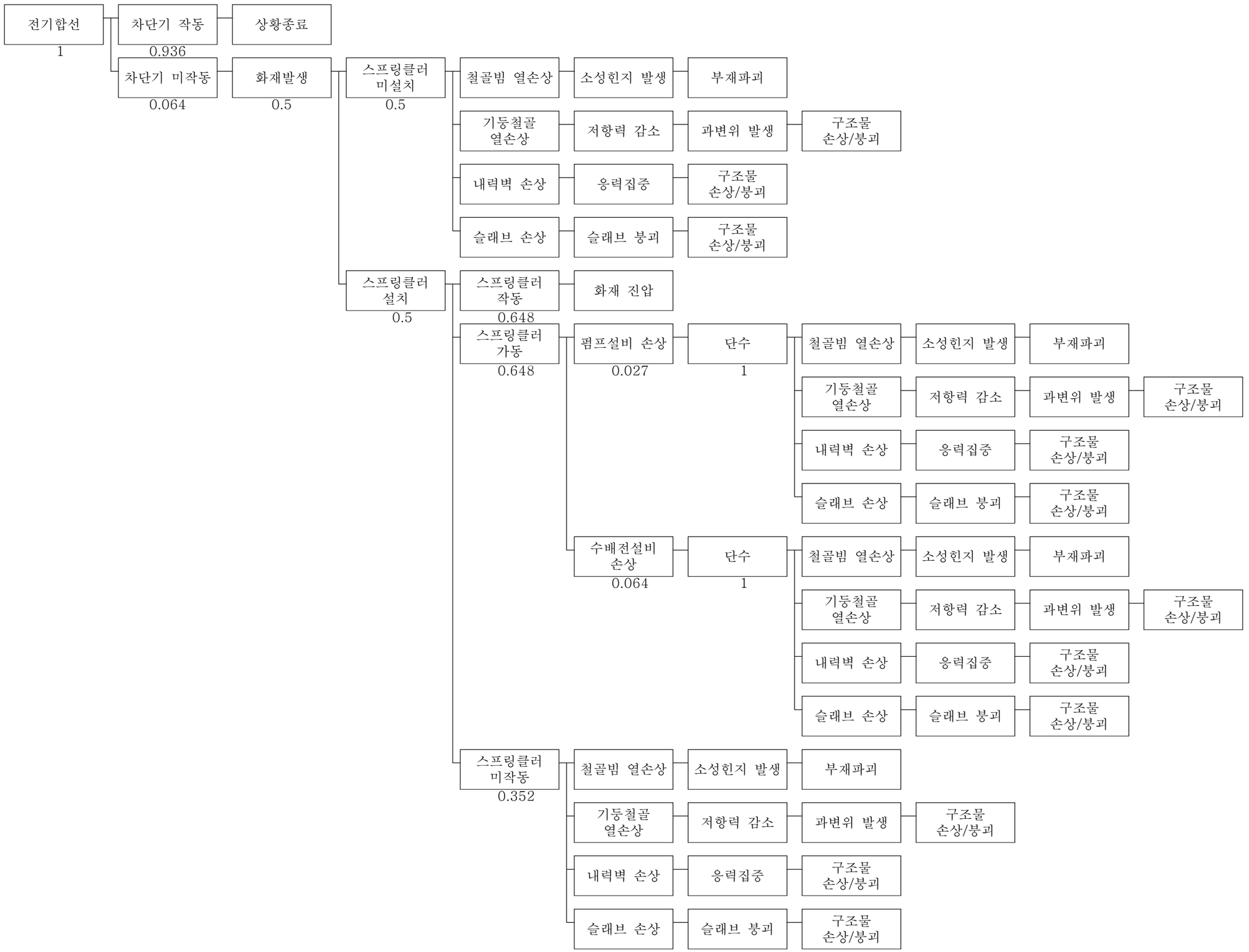

유류, 위험물 저장
1
위험물 누출
0.071
화재발생
0.5
전용소방설비 작동
0.648
화재 진압
전용소방설비 미비
0.352
콘크리트 피복손상
소성힌지 발생
부재파괴
단면손실
부재강도저하
소성힌지 발생
부재파괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
설비붕괴
제어 불능
구조물 손상/붕괴
폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

(나) 철골 구조물

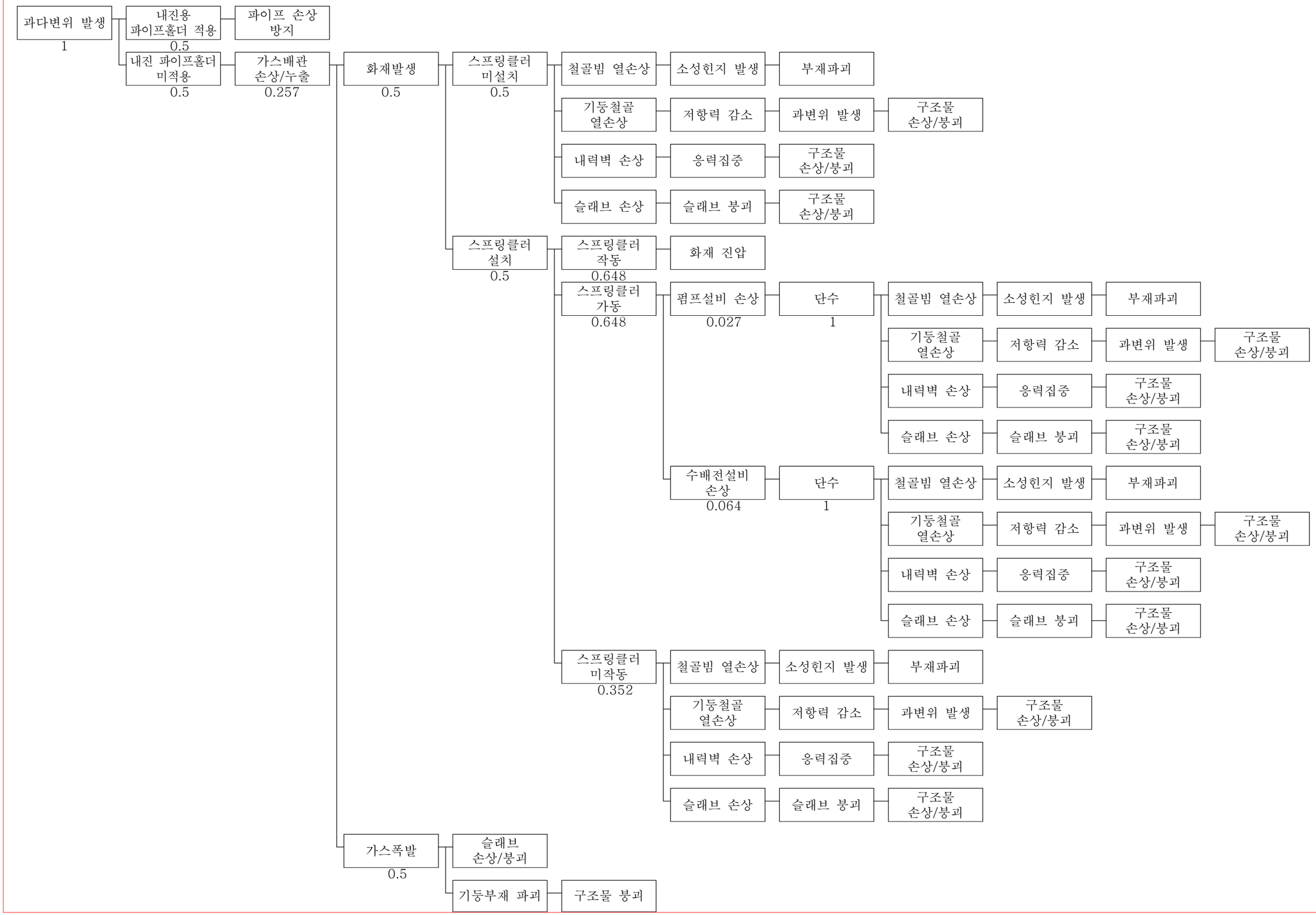
① 가스누출



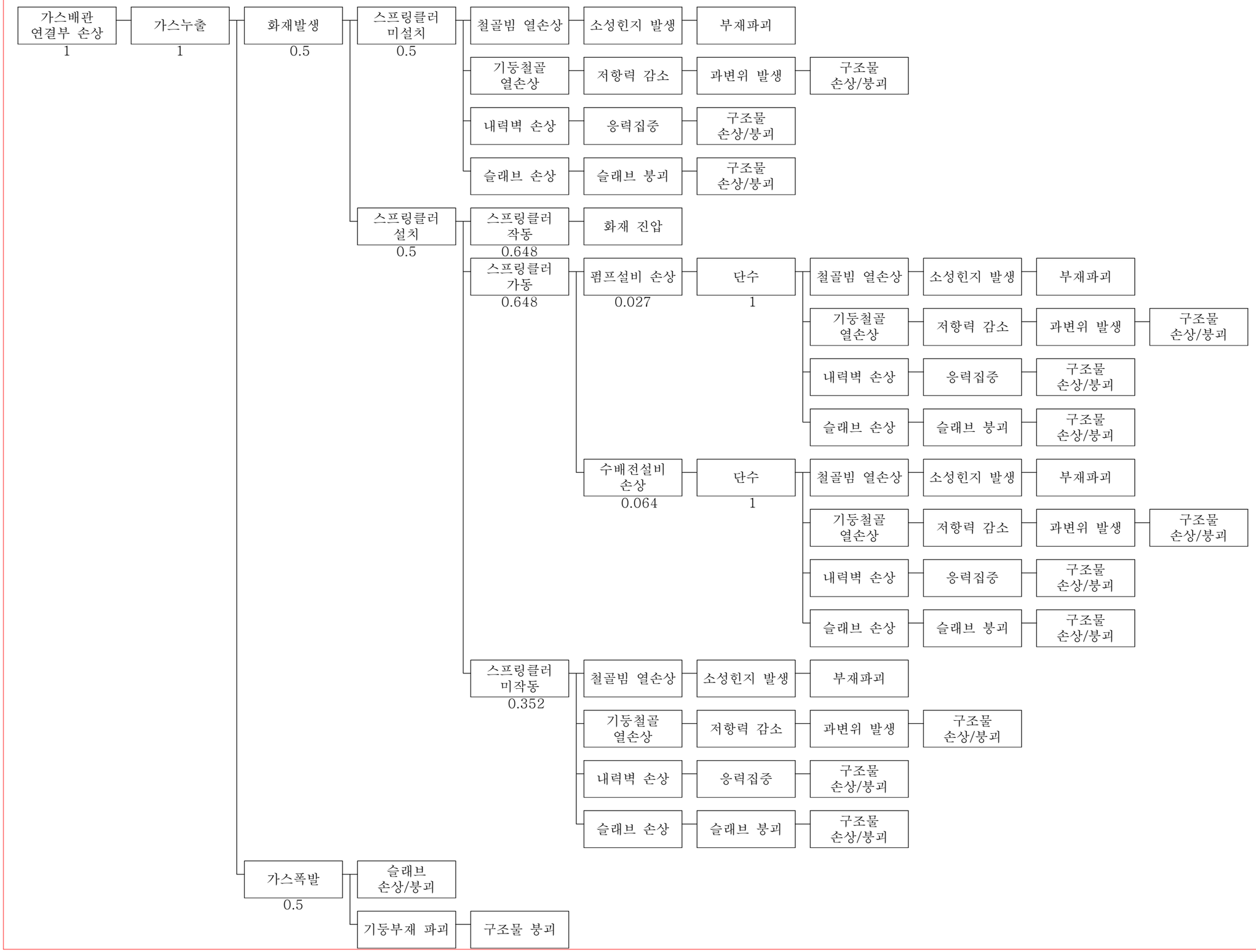
② 전기합선


전기합선
1
차단기 작동
0.936
상황종료
차단기 미작동
0.064
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴

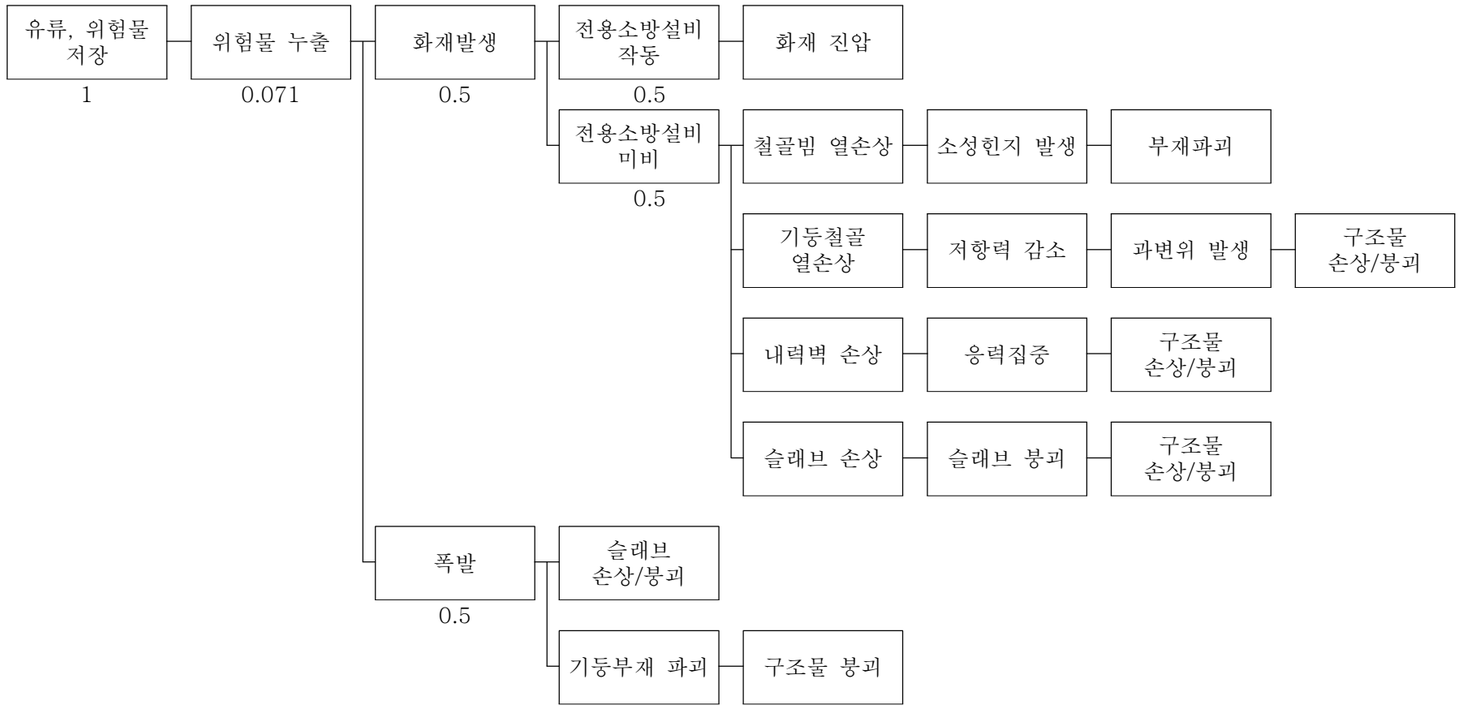
③ 과다변위 발생


과다변위 발생
1
내진용 파이프홀더 적용
0.5
파이프 손상 방지
내진 파이프홀더 미적용
0.5
가스배관 손상/누출
0.257
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
가스폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

④ 가스배관 연결부 손상


가스배관 연결부 손상
1
가스누출
1
화재발생
0.5
스프링클러 미설치
0.5
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
0.5
스프링클러 작동
0.648
화재 진압
스프링클러 가동
0.648
펌프설비 손상
0.027
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
0.064
단수
1
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
0.352
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
가스폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

⑤ 유류, 위험물 저장

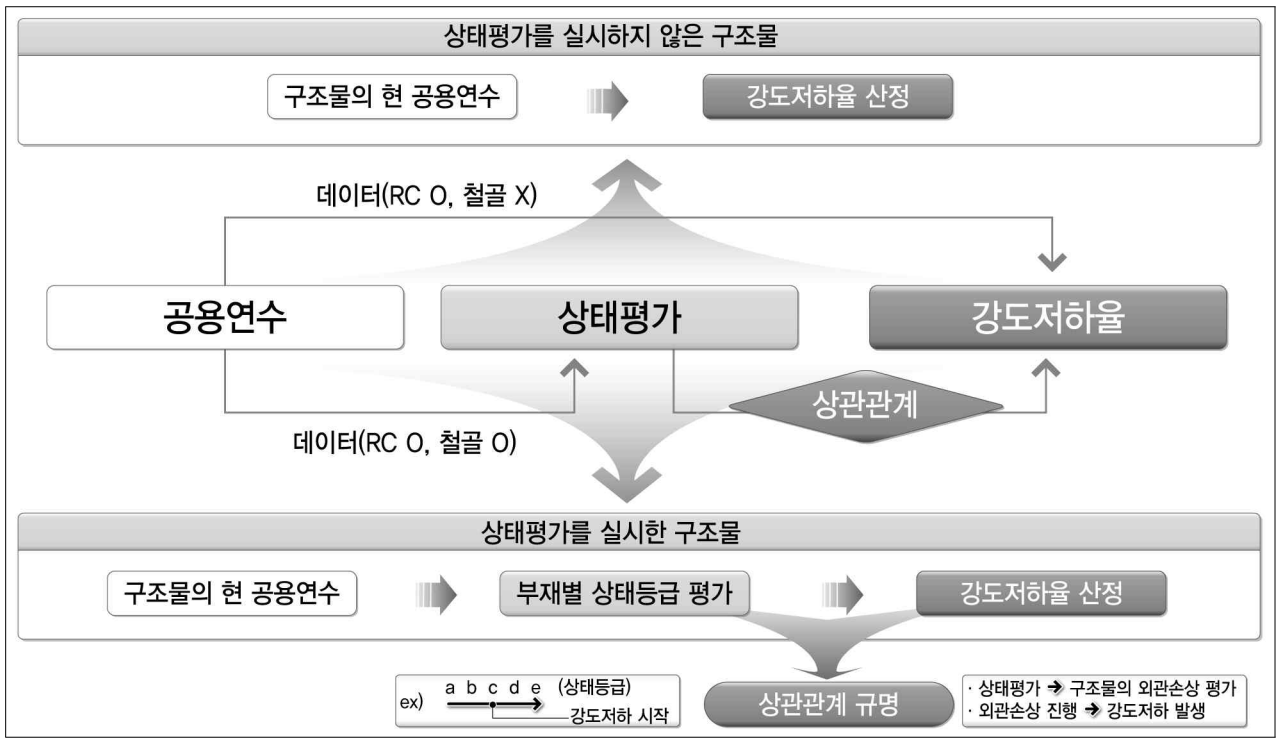

유류, 위험물 저장
1
위험물 누출
0.071
화재발생
0.5
전용소방설비 작동
0.5
화재 진압
전용소방설비 미비
0.5
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
폭발
0.5
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

제 3 장 연구수행결과 및 검증 방법

3.1 열화모델을 이용한 구조물 상태등급 산정

3.1.1 열화모델 개발 방안

상태등급기반 개선된 내진성능평가 기법은 구조물의 노후화 정도를 예측하여 강도 저하를 예측하는 방법론을 포함하고 있다. 이를 위해서는 공용수명간에 구조물의 노후화 정도를 예측하는 기법이 필요하며, 본 연구에서는 구조물 형식별 구성요소에 대한 열화모델을 통해 이를 해결하고자 한다. 현재 일정 규모의 건축물은 시설물관리에 관한 특별법을 통해 구조물의 안전점검/진단을 실시하고 있다. 이 점검 및 진단은 구조물의 외관조사 및 내하력 평가 등을 기반으로 구조물의 노화화 정도를 평가하는데 상태 등급으로 부재 노후화 정도를 나타낸다. 본 연구에서 필요로 하는 강도 감소율은 사실상 정밀 안전진단을 통해 모든 데이터를 수집하는 것이 어려움이 있기에 상태평가 등급과 강도 감소율의 관계를 규명하여 이를 강도 감소에 대한 열화모델로 적용하고자 하였다. 열화모델의 성능인자는 설계단계 열화모델의 경우 공용연수에 대한 입력값에 따른 상태등급을 출력값으로 나타낼 수 있고, 유지관리단계 열화모델의 경우 공용연수와 부재별 상태등급을 통해 강도 저하율의 출력값을 나타낼 수 있다.



<그림 3.1.1 열화모델 개발 알고리즘>

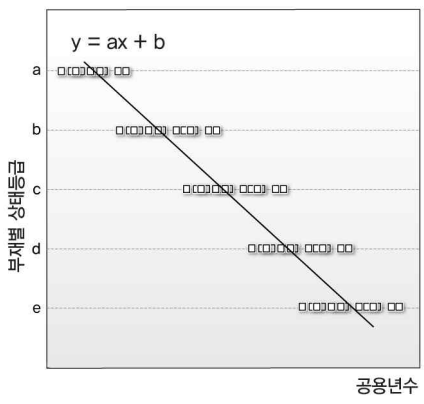
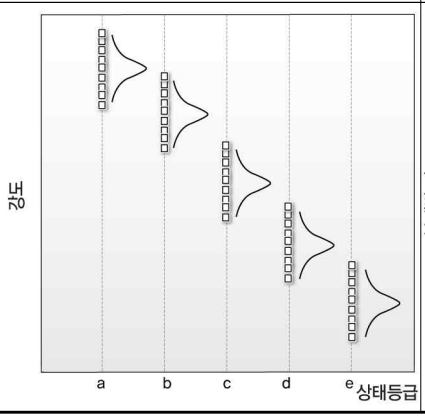
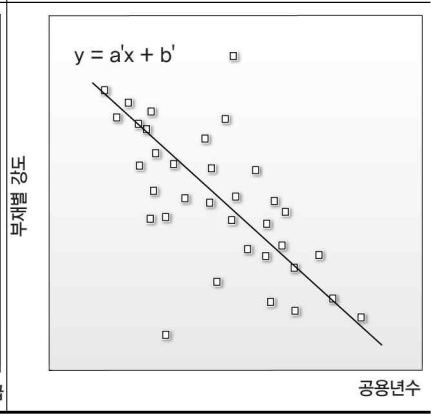
본 연구에서는 우선 전문가 설문조사를 통해 강도저하율과 상태등급간의 관계를 규명하였다. 전문가 설문조사에 대한 상세 내용은 3.1.3절에 나타내었고, 이를 통해 상태등급값을 통한 강

도 저하율을 산정하였다. 설문조사는 건축물의 연구, 유지관리, 설계, 시공 등 다양한 분야의 전문가 30명을 대상으로 하였고, 초기 강도를 100%(초기 설계 강도가 설계 특성상 안전율의 문제로 다소 높게 산정되는 경우를 제외)로 가정하고 상태등급 저하에 대한 강도 감소율을 조사하였다. 이러한 상태평가 기반 강도감소율 산정에 관한 알고리즘을 그림 3.1.1에 나타내었다. 과거 이력데이터인 정밀안전진단 보고서의 조사는 철근 콘크리트 구조물과 철골 구조물에 대해 경과년수, 상태등급, 강도저하율로 구분하여 자료의 정리 방법 및 내용을 아래 표에 나타내었다. 강도저하율의 산정 방법은 이력 데이터 및 설문조사를 통해 상태등급과 강도 저하율의 상관관계를 규명하고 등급별 평균 저하율에 대한 관계식을 통해 최종적인 적용 수치를 나타내었다. 다만 본 연구에서 개발한 열화모델은 가용 이력 데이터의 부족과 설문조사의 한계를 가지고 있기 때문에 향후 개발된 프로그램을 통해 열화모델의 업데이트가 지속적으로 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

<표 3.1.1 열화모델 개발을 위한 데이터 분석 방법>

부 재		경과년수	상태등급	강도저하율
철근 콘크리트 구조	기둥 슬래브 보	데이터 존재 ⇓ <데이터 조사 + 설문조사>	데이터 존재 ⇓ <데이터 조사 + 설문조사>	데이터 존재 ⇓ <데이터 조사 + 설문조사>
철골 구조	기둥 보	데이터 존재 ⇓ <데이터 조사 + 설문조사>	데이터 존재 ⇓ <데이터 조사 + 설문조사>	데이터 없음 ⇓ <설문조사>

<표 3.1.2 상태등급기반 강도감소 산정 방법론>

(1단계) 상태평가 열화모델	(2단계) 상관관계 규명	(3단계) 강도 열화모델
		

※ 이력데이터 및 설문조사를 통해 상태등급과 강도저하율의 상관관계를 규명

- b등급 : 00% ~ 00% ➜ 평균 00% 와 같이 강도저하율에 대한 관계식 성립

3.1.2 과거 이력 데이터 검토

건축물의 과거 이력을 알 수 있는 자료는 정밀안전진단 보고서이다. 1995년 시설안전기술공단이 설립된 이래로 정밀안전진단은 준공 후 10년이 경과한 1, 2종 시설물에 대해 매 5년마다 수행되고 있다. 열화모델을 개발하기 위해서는 직전 유지보수 이력이 없을 것으로 예상되는 최근 건설된 건축물에 대해 최소 두 번의 정밀안전진단 보고서가 필요하다. 여기서 유지보수 이력이 없다는 것은 준공 후 계속 같은 환경 하에 노출되어 있다는 것을 의미하고, 두 번의 정밀안전진단이 수행되어야 각 부재별로 열화진전 정도를 추정할 수 있기 때문에 이와 같은 조건을 만족하는 건축물의 정밀안전진단 보고서를 수집하였다. 그러나 초기 단계 정밀안전진단이 수행된 건축물이 1, 2종 시설물로 제한되어 있어 수집가능한 표본의 수가 적으며, 정밀안전진단 보고서가 실제 수행된 건축물은 대부분 준공년도가 오래되었고, 실제 수집 가능한 보고서 역시 한정되어 있어 열화모델을 개발하기 위해 필요한 제안 조건에 맞는 데이터는 많지 않다. 따라서 수집 가능한 정밀안전진단 보고서를 통하여 다음과 같이 정리하였다.

가. 상태등급에 따른 강도감소율

앞 절에 언급한 바와 같이 상태등급과 강도에 대한 상관관계의 규명은 전문가 설문조사를 바탕으로 실시하였고, 강도 저하율은 나타내기 위한 상태등급관의 관례를 아래 표 3.1.3에 나타내었다. 설문(전문가 설문조사의 상세 내용은 3.1.3 절 참조)은 구조별 및 부재별로 설문을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

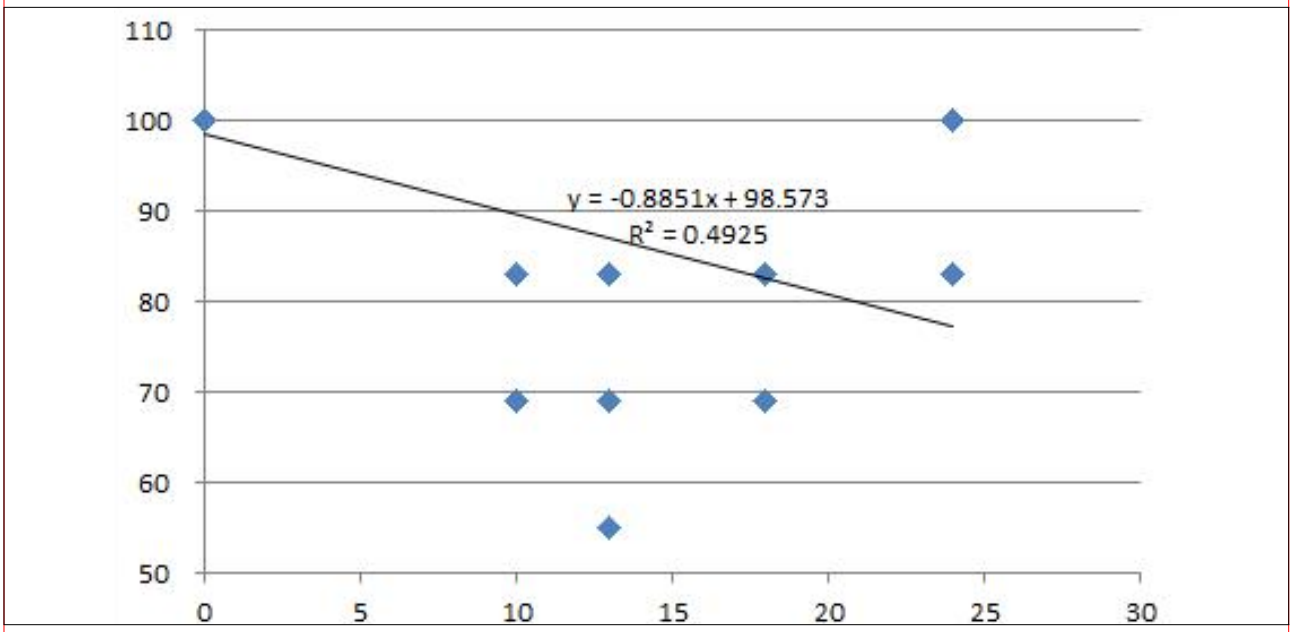
<표 3.1.3 전문가 설문을 통한 상태등급별 강도감소율>

구 분	부 재	상태등급				
		A	B	C	D	E
철골구조	보	100	83	69	55	44
	기 둥	100	86	70	56	48
철근 콘크리트 구조	보	100	88	79	67	54
	기둥, 벽체	100	89	78	66	55
	슬래브	100	87	76	66	55

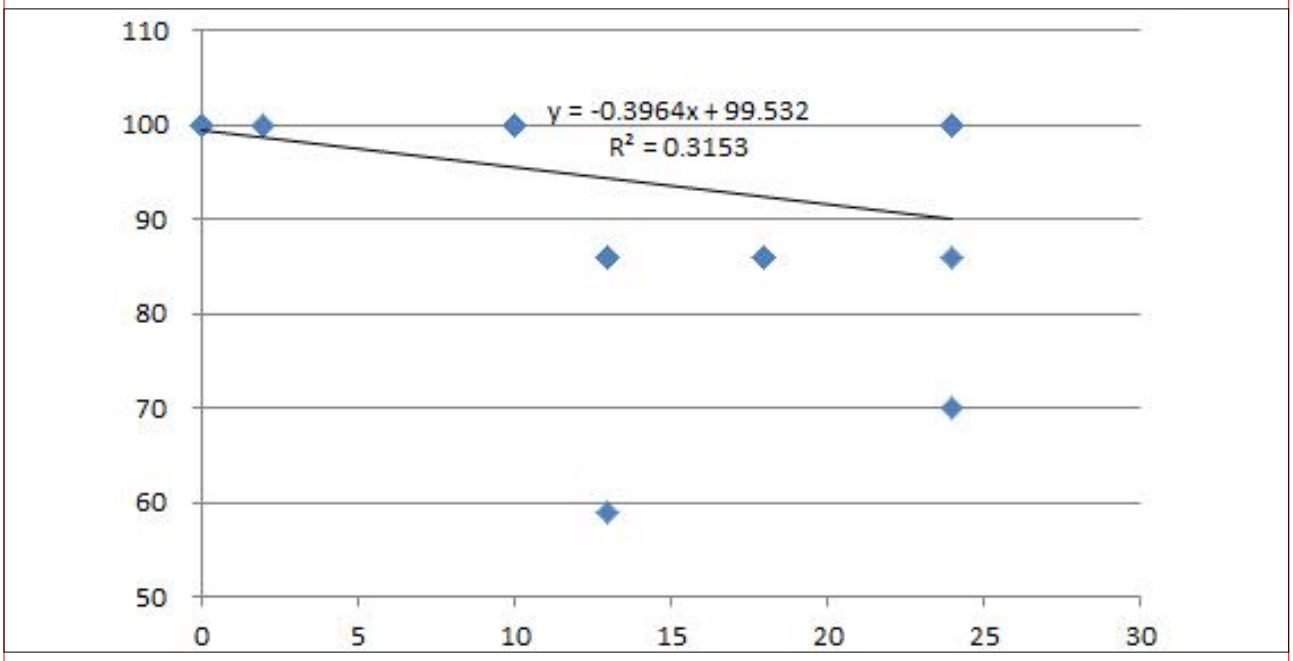
나. 정밀안전진단 결과를 통한 공용연수에 따른 강도감소율 산정

앞서 분석된 부재별 상태등급에 따른 강도감소율을 통하여 정밀안전진단 보고서에서 수집된 자료를 통해 열화모델을 산정하였다. 그림 3.1.3~3.1.7은 각 구조 형식별 부재에 대한 정밀안전진단 보고서상의 상태평가와 감도 평가 결과를 그래프 상에 사상하여 나타낸 결과이며 이때 하자보수와 초기 평가 값이 추정 불가능한 데이터는 필터링 하였다. 또한 열화모델의 추서센은 선형으로 가정하여 나타내었는데, 이는 가용 데이터가 충분하지 않아 2차식이나 지수식으로 가정할 경우, 오히려 비 현실적인 열화모델 그래프가 도출되기 때문이다.

(1) 철골구조

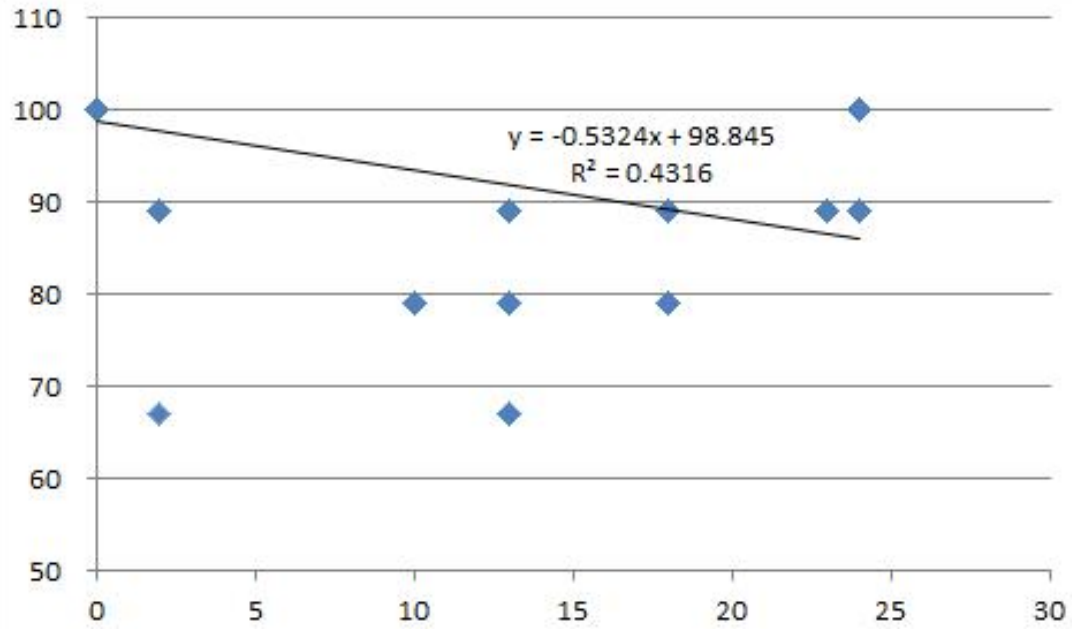


<그림 3.1.2 보 부재의 공용연수에 따른 강도감소율>

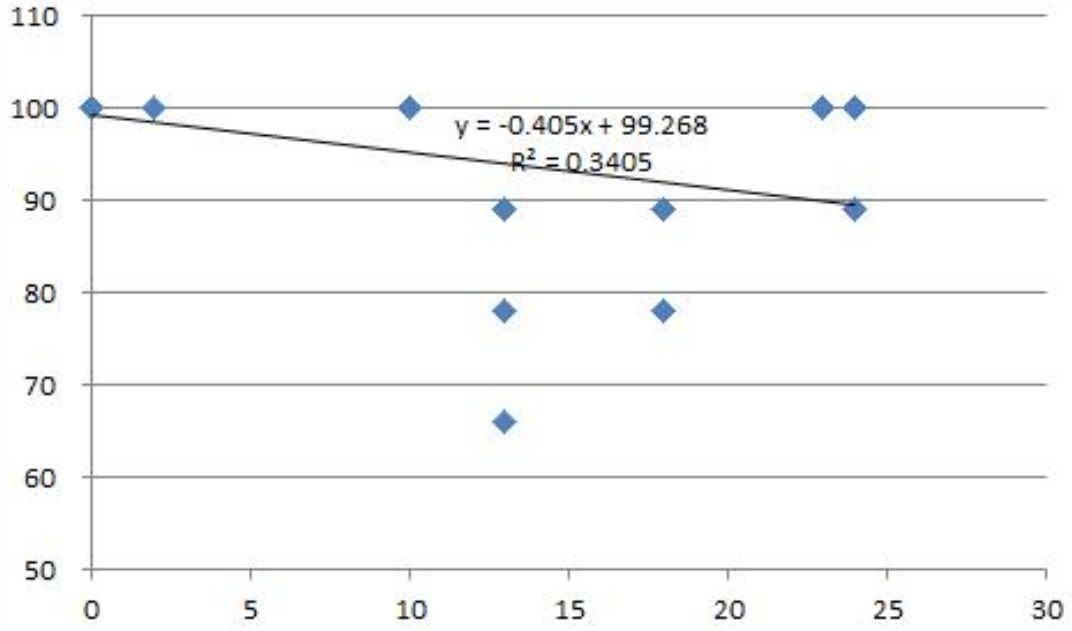


<그림 3.1.3 기둥 부재의 공용연수에 따른 강도감소율>

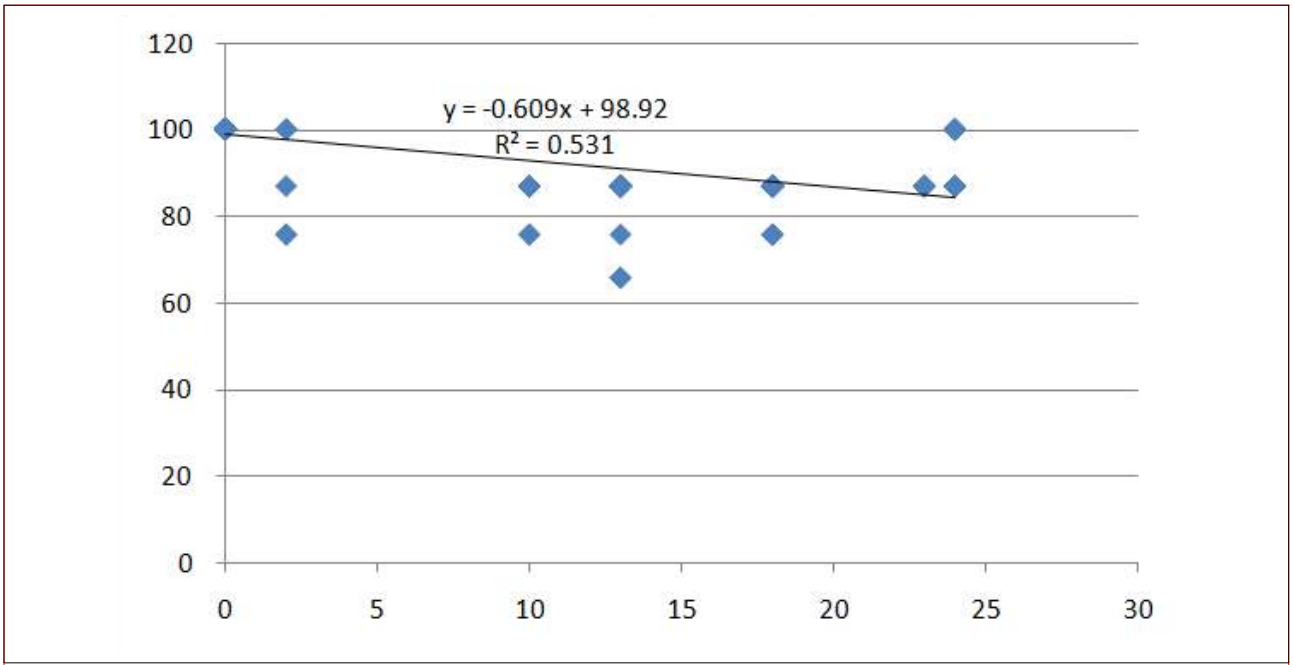
(2) 철근콘크리트 구조



<그림 3.1.4 보 부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



<그림 3.1.5 기둥 및 벽체 부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



<그림 3.1.6 슬래브 부재의 공용연수에 따른 강도감소율>

3.1.3 전문가 설문조사

앞서 언급된 정밀안전진단 보고서를 통하여 열화모델에 대한 데이터는 부족한 실정이므로 전문가 설문을 통하여 부족한 데이터를 보충하고 분석의 신뢰성을 향상시키고자 하였다.

전문가 설문조사란 사전에 설문지를 준비하고 그 설문에 대한 회답방식을 통해서 회답자의 의견을 알고자 하는 데이터 수집방법을 말한다. 사회과학이나 경제학에서는 모집단에서 무작위로 설문대상자를 뽑는데 비해 특히 공학 분야에서는 일정한 경험이나 지식을 가지고 있는 전문가를 대상으로 설문 대상자를 뽑는 특징을 가지고 있다.

그러나 공학 분야에서 설문조사는 일반적으로 사용되는 데이터 수집 방법이 아니기 때문에 일선 실무자가 그 내용을 알지 못하므로 데이터를 수집 및 처리하는데 있어 비합리적일 수 있다. 즉, 충분한 계획 없이 수행된 설문조사로 양질의 데이터를 수집할 수 없으며, 품질이 좋지 않은 데이터는 어떠한 통계수법을 이용해서 분석하더라도, 소재가 될 데이터가 나쁘기 때문에 분석결과로부터 이끌어내는 결론의 신뢰성은 낮을 수밖에 없다.

가. 설문조사의 절차

설문조사는 먼저 계획을 세우고 그 계획에 따라서 실시한다. 다음에는 설문조사에서 수집한 데이터를 분석하고, 마지막으로 분석결과를 보고서에 정리함과 동시에 결과를 금후의 생애주기 비용 분석 모수로 이용하는 일련의 흐름으로 추진된다.

(1) 계획의 입안

각 절차 중 계획과 입안에서는 다음 10가지 항목에 대해 명확히 하는 것을 의미한다. 이들 질문에 모두 명확하게 답해진다면 계획의 입안은 끝났다고 생각할 수 있다.

① 조사목적 – 무엇을 위해서 조사할 것인가? 결론을 어떻게 활용할 것인가?
② 조사항목 – 무엇을 알고 싶은가? 무엇을 조사할 것인가?
③ 조사대상 – 누구에게 질문할 것인가?
④ 조사규모 – 몇 명에게 질문할 것인가?
⑤ 조사시기 – 언제 실시할 것인가?
⑥ 조사방법 – 어떻게 조사할 것인가?
⑦ 분석방법 – 어떻게 집계하여 분석할 것인가?
⑧ 보고방법 – 어떻게 정리하여 누구에게 보고할 것인가?
⑨ 예　　산 – 얼마 드는가?
⑩ 일　　정 – 언제까지 종료시킬 것인가?

(2) 준비와 실시

각 절차 중 예비조사는 조사표의 완성도를 높이기 위해서 실시된다. 시간이 없다는 이유로 이 예비조사를 실시하지 않고 본 조사를 실시해 버리는 경우를 흔히 보게 된다. 대부분의 연구에서 비록 설문이나 회답문을 주의를 기울이면서 작성하지만, 완전한 것을 작성하기란 어렵고, 실재로 실시해 보아 비로소 불비한 점이 눈에 띄는 경우가 다분하기 때문에 되는데, 예비 조사의 결과를 통해 조사표의 수정이 불가피하다.

(3) 집계와 분석

설문조사의 집계와 분석 단계에서 주의하지 않으면 안 될 것은, 데이터가 수집되고 나서 어떠한 집계와 분석을 실시할 것인지를 정하는 조사 분석방법은 잘못되어 있다는 것이다. 예를 들어 철도 교량 형식별 열화특성을 규명하고자 설문조사를 실시하였다고 할 때, 데이터가 수집되고 나서 설문조사표 상에 언급되지 않은 열화 특성의 차이점을 규명하는 것은 불가능하게 된다. 따라서 집계와 분석 방법은 계획의 입안 단계에서 데이터의 수집 전에 생각해 둘 필요가 있다.

(4) 보고와 활용

설문조사의 보고는 보고서의 형태의 문서로 실시하면 좋다. 문서로 남기는 것의 이점은 언제, 누가, 누구에게 무엇에 대해서, 어떠한 방법으로 조사한 설문조사인가 하는 기록이 남는다는 것과 나중에 이 자료를 다른 연구에서 활용할 수 있다는 장점이 있다. 국내에서 수행된 많은 과제에서 설문조사를 수행하였지만 설문지 원본 및 설문조사 결과가 완전히 남아 있는 것은 거의 찾아보기 힘들며, 그렇기 때문에 다른 조사에서 같은 내용에 대해 추가적인 설문조사를 수행한 예를 쉽게 찾아 볼 수 있다.

나. 설문조사 수행시 유의사항

설문조사서의 작성에 있어서 설문은 회답자에게 명확하고 알기 쉬운 문장이 되도록 질문 내용의 표현방법에 주의하지 않으면 안 된다. 설문을 생각할 때의 체크 포인트는 다음과 같다.

•무례한 어구를 사용하고 있지 않은가?
•하나의 설문에 2개 이상의 논점을 포함하고 있지 않은가?
•개인적인 설문과 일반적인 설문을 혼동하고 있지 않은가?
•어려운 표현은 없는가?
•애매한 표현은 없는가?
•헷갈리기 쉬운 표현으로 되어 있지 않은가?
•특정한 가치관을 포함한 말은 없는가?
•유도질문으로 되어 있지 않은가?
•평등하게 다루고 있는가?
•설문의 순서에 문제는 없는가?

하나의 설문에 2개 이상의 논점이 포함되어 있는 것을 더블 배럴(double barrel) 설문이라고 한다. 2개 이상의 논점이 포함되면 회답자는 어느 쪽의 논점에 착안할 것인지를 멋대로 판단해 버리므로, 회답결과의 신뢰성이 낮아진다. 특정한 가치관을 포함하는 말을 스테레오타입(stereotype)의 말이라고 한다. 스테레오타입이란 일반적으로 널리 알려져 있는 이미지로서, 스테레오타입의 말을 포함한 설문에서는 그 말로부터 받는 이미지로 회답해 버릴 위험성이 생긴다. 개개의 설문을 체크할 뿐만 아니라 설문의 나열방식도 체크할 필요가 있다. 간단히 답할 수 있는 설문에서 시작하여 점차로 어려운 설문으로 진행하는 것이 일반적이다. 또한 같은 주제의 설문을 연속되도록 늘어놓는 쪽이 회답자는 답하기 쉽다. 설문의 순서에서 주의해야 할 것은 앞의 질문이 뒤의 질문의 해답에 영향을 미치지 않도록 하는 것이다.

다. 전문가 설문조사지

앞서 언급한 설문조사 절차와 유의사항을 바탕으로 다음과 같은 설문조사지를 작성하여 전문가 집단의 설문을 실시하였다. 전문가 집단은 한국시설안전공단의 전문가 중 건축물의 유지관리의 경험이 있는 전문가를 선정하여 실시하였으며, 또한 설계 업체에서 유지관리 분야를 경험한 엔지니어를 대상으로 설문을 실시하였다.

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

안녕하십니까?
이렇게 설문에 응해 주신데 대해 감사를 드립니다.

본 설문의 목적은 공용중인 건축물에 대한 내진성능평가를 향상시키기 위하여 노후화에 따른 상태평가 결과를 예측하고 강도 저하의 산정을 유도하고자 합니다.

이를 위해 전문가님들이 경험하신 설계 및 유지관리 경험을 바탕으로 구조물의 상태평가와 강도저하에 관하여 고언을 듣고자 합니다.

본 설문은 크게 2개의 파트로 구성되어 있습니다. 구조형식과 부재의 종류에 관한 공용연수별 상태등급 평가와 그에 따른 강도의 저하에 대한 설문으로 구성되어 있습니다.

본 설문은 건축 구조물에 대한 설계 및 유지관리 경험이 있으시거나 안전진단 경험이 있으신 전문가님들의 전문적인 의견을 충분히 반영하기 위해 많은 지면을 할애하여 문항을 구성하였사오니 이점 많은 양지 부 탁드립니다.

비록 지문의 구성측면에서는 양적으로 많은 거 같지만 전문가님들께서 경험하시지 못한 내용에 대해서는 응답을 안하시면 되므로 그리 큰 부담은 없으시리라 판단됩니다.

본 설문은 차후 기존 건축물의 내진성능평가와 관련된 열화모델의 구성 및 강도저하율 산정을 위한 초석을 만드는 작업에 활용될 예정이오니 전문가님들의 적극적인 협조 부탁드립니다.

대단히 감사합니다.

과업수행기관 및 연구진: (주)건우코퍼레이션
(주)우성디앤씨
유니콘스(주)

2014년 4월

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 - 1>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

작성자 인적사항

1.현재 근무하고 계신 분야는? (해당분야 ∨ 표시)

① 회사명 :

② 직급 :

③ 기술분야 : (시공, 설계, 유지관리 등)

④ 담당업무분야 :

2.현재 소지하고 있는 기술자격증은 ?

〈 〉(모두 기재바랍니다.)

3.건축과 관련하여 현재까지의 경력은?

① 0~5년 ② 5~10년 ③ 10~15년 ④ 15~20년 ⑤ 20~25년 ⑥ 25년 이상

4.유지관리 관련 업무를 수행하셨거나 감독하신 경험이 있으신지?

① 예 ② 아니오

※ 유지관리업무를 담당한 경력이 있는 분만 응답해주세요.

4.1 유지관리 업무를 수행하셨던 건축물의 형식를 모두 선택해 주시오

① 철골조 ② 철근콘크리트조 ③ 조적조

④ 기타( )

4.2 유지관리 업무를 담당하셨다면 가장 많은 기간 동안 담당한 건축물 종류를 기준으로 작성하여 주시기 바랍니다.

① 병원 ② 학교 ③ 공공시설물 ④ 공공주택(아파트 등) ⑤ 체육시설

⑥ 상가시설 ⑦ 기타( )

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 - 2>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

설문 일반 사항

1. 철골구조로 구성된 건축물 중 기둥부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 강재부식 ② 접합재 부식 ③ 용접부 결함 ④ 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완
⑤ 기타1 ( ) ⑥ 기타2 ( ) ⑦ 기타3 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉 (결함항목 기재)	B. 2순위 〈 〉 (결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?
A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )	A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➔	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➔

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 - 3>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

2. 철골구조로 구성된 건축물 중 보부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 강재부식 ② 접합재 부식 ③ 용접부 결함 ④ 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완
⑤ 기타1 ( ) ⑥ 기타2 ( ) ⑦ 기타3 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉(결함항목 기재)	B. 2순위 〈 〉(결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?
A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )	A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 – 4>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

3. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 균열 ② 표면 박리 ③ 표면 박락 ④ 표면 백태 ⑤ 철근노출 ⑥탄산화
⑦ 기타 1 ( ) ⑧ 기타 2 ( ) ⑨ 기타 3 ( ) ⑩ 기타 4 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위	8순위	9순위	10순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉(결함항목 기재)	B, 2순위 〈 〉(결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?
A: (100%) / B: ( ) / C: ( ) / D: ( ) / E: ( )	A: (100%) / B: ( ) / C: ( ) / D: ( ) / E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 – 5>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

4. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 기둥부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 균열 ② 표면 박리 ③ 표면 박락 ④ 표면 백태 ⑤ 철근노출 ⑥탄산화
⑦ 기타 1 ( ) ⑧ 기타 2 ( ) ⑨ 기타 3 ( ) ⑩ 기타 4 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위	8순위	9순위	10순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉(결함항목 기재)	B, 2순위 〈 〉(결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지? A: (100%), B: ( ), C: ( ), D: ( ), E: ( )	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지? A: (100%), B: ( ), C: ( ), D: ( ), E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 - 6>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

5. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 보부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 균열 ② 표면 박리 ③ 표면 박락 ④ 표면 백태 ⑤ 철근노출 ⑥탄산화
⑦ 기타 1 ( ) ⑧ 기타 2 ( ) ⑨ 기타 3 ( ) ⑩ 기타 4 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위	8순위	9순위	10순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉(결함항목 기재)	B. 2순위 〈 〉(결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?
A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )	A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜

<그림 3.1.7 전문가 설문조사 – 7>

기존 건축물의 열화모델 추정을 위한 설문

6. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 내력벽부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오

① 균열 ② 표면 박리 ③ 표면 박락 ④ 표면 백태 ⑤ 철근노출 ⑥탄산화
⑦ 기타 1 ( ) ⑧ 기타 2 ( ) ⑨ 기타 3 ( ) ⑩ 기타 4 ( )

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위	8순위	9순위	10순위
( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

A. 1순위 〈 〉(결함항목 기재)	B, 2순위 〈 〉(결함항목 기재)
A.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.1 상기 결함의 최초 발생시기 및 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )	B.2 상기 결함으로 인한 유지관리가 필요하다고 한다면, 그 시기와 그 때의 상태등급은? 5----10----15----20----25----30, 기타( ) A ( ), B ( ), C ( ), D ( ), E ( )
A.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?	B.3 상기 결함으로 인하여 해당 부재의 강도감소가 발생하였을 때, 초기강도(100%)의 몇 % 감소가 발생하였을지?
A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )	A: (100%) B: ( ) C: ( ) D: ( ) E: ( )
A.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )	B.4 상기 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 ① 지하층 ( ) ② 바닥층 ( ) ③ 저층부 ( ) ④ 중간층 ( ) ⑤ 고층부 ( ) ⑥ 최상층 ( ) ⓐ 내부 ( ) ⓑ 외부 ( ) 기타의견 ( )
A.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜	B.5 상기 결함의 주요원인을 기재하여 주시오 ➜

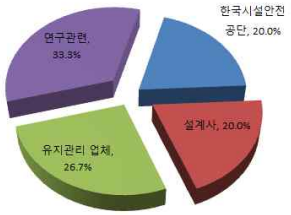
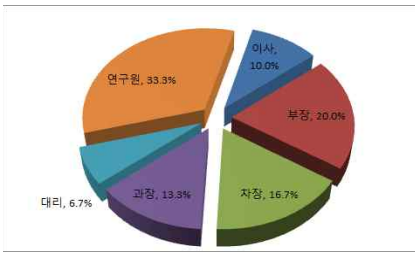
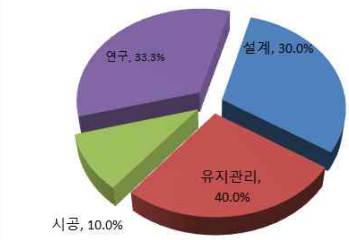
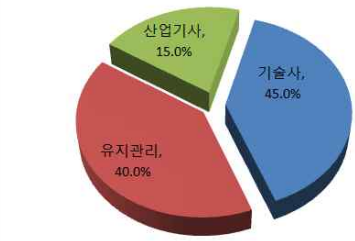
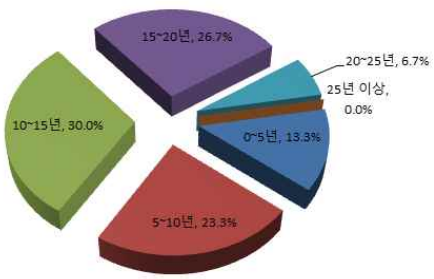
<그림 3.1.7 전문가 설문조사 – 8>

라. 전문가 설문조사 분석

전문가의 설문조사는 건축물의 구조별, 부재별로 변상항목과 열화율, 열화 주기 및 그에 따른 강도감소율에 대해 설문을 수행하였으며, 이에 대한 분석이 수행되었다. 설문의 구성은 구조물의 열화모델을 구체적으로 파악하기 위해 건축물에 대한 연구, 설계, 유지관리 경험이 있는 전문가를 위주로 실시했고, 총 설문에 응답자는 30명으로 설문분석의 신뢰도를 높이기 위해 근무 경력, 직위 및 경험 유무에 따라 가중치를 적용 분석을 수행하였다. 설문조사에 대한 분석내용은 아래와 같다.

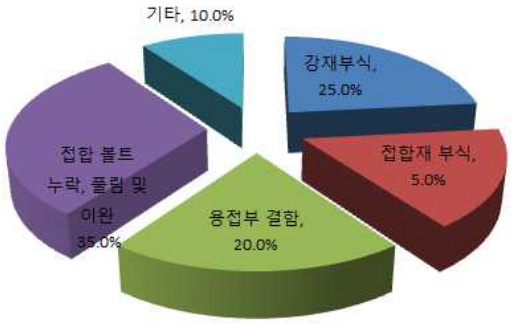
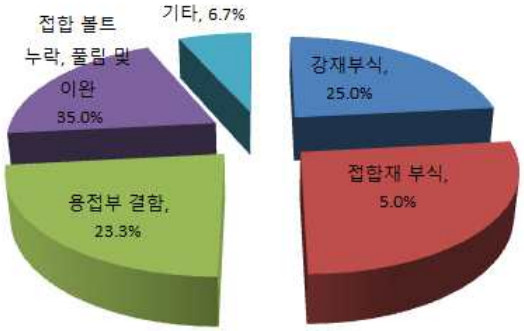
(1) 설문 일반사항

<표 3.1.4 설문 일반사항>

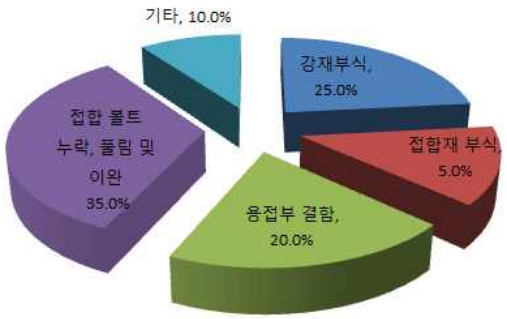
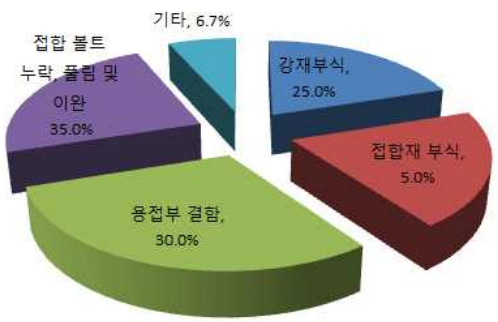
설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 현재 근무하고 계신 분야는? ① 근무지 한국시설안전공단 : 6명 설계사 : 6명 유지관리 업체 : 8명 연구관련 : 10명	
② 직급 이사 : 3명 부장 : 6명 차장 : 5명 과장 : 4명 대리 : 2명 연구원 : 10명	
③ 기술분야 설계 : 9명 유지관리 : 8명 시공 : 3명 연구 : 10명	
2. 현재 소지하고 있는 기술자격증은? 기술사 : 12명 기사 : 12명 산업기사 : 6명	
3. 건축과 관련하여 현재까지의 경력은? 0~5년 : 4명 5~10년 : 7명 10~15년 : 9명 15~20년 : 8명 20~25년 : 2명 25년 이상 : 0명	

(2) 부재의 결함원인

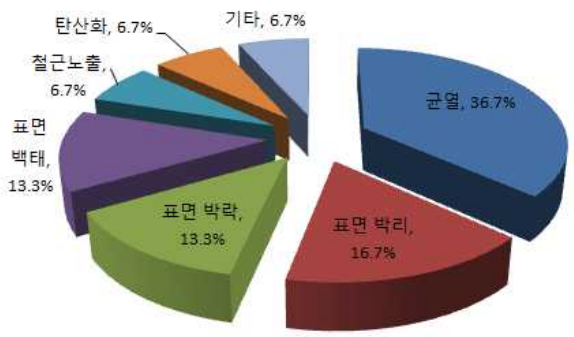
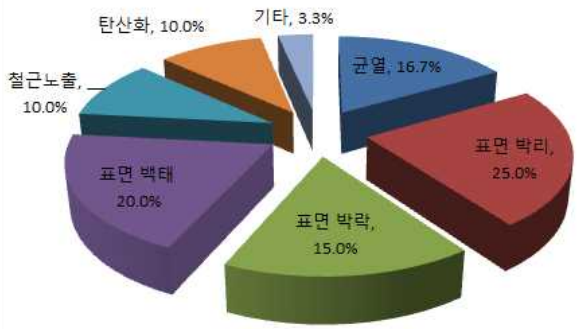
<표 3.1.5 부재 결함원인(철골구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철골구조로 구성된 건축물 중 기둥부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 강재부식 : 7 접합재 부식 : 5 용접부 결함 : 6 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완 : 9 기타 : 3	
1. 철골구조로 구성된 건축물 중 기둥부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 강재부식 : 7 접합재 부식 : 8 용접부 결함 : 7 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완 : 6 기타 : 2	

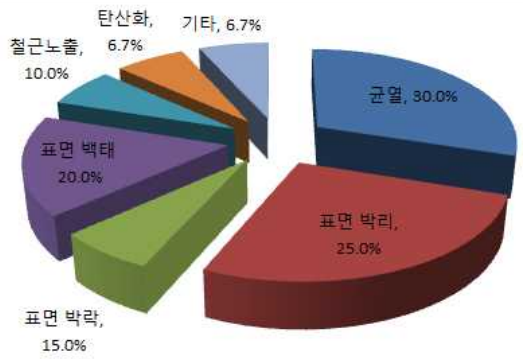
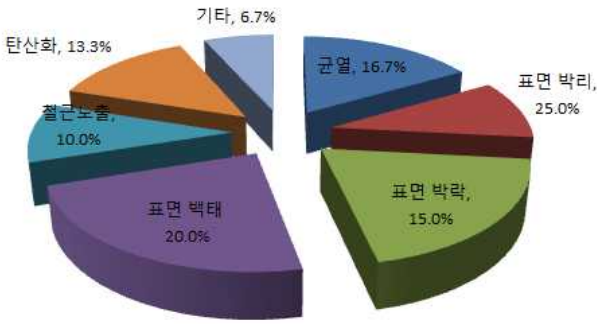
<표 3.1.6 부재 결함원인(철골구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철골구조로 구성된 건축물 중 보 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 강재부식 : 7 접합재 부식 : 4 용접부 결함 : 6 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완 : 10 기타 : 3	
1. 철골구조로 구성된 건축물 중 보 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 강재부식 : 6 접합재 부식 : 6 용접부 결함 : 9 접합 볼트 누락, 풀림 및 이완 : 7 기타 : 2	

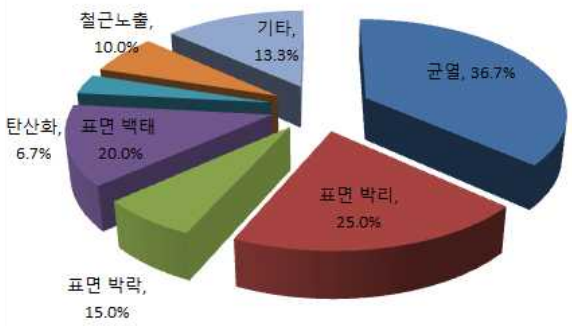
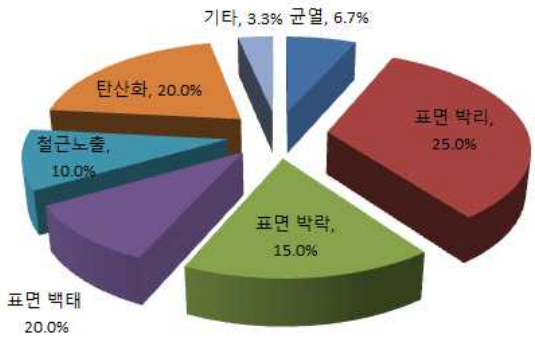
<표 3.1.7 부재 결함원인(철근콘크리트구조-슬래브부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 균열 : 11 표면 박리 : 5 표면 박락 : 4 표면 백태 : 4 철근노출 : 2 탄산화 : 2 기타 : 2	
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 균열 : 5 표면 박리 : 7 표면 박락 : 5 표면 백태 : 6 철근노출 : 3 탄산화 : 3 기타 : 1	

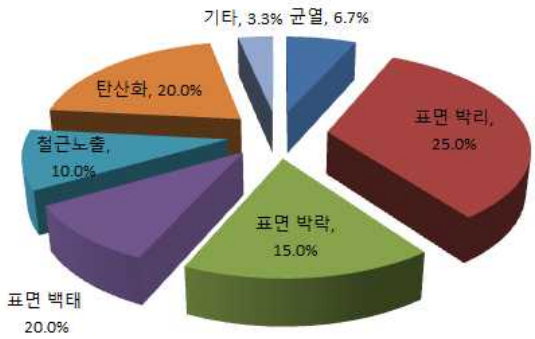
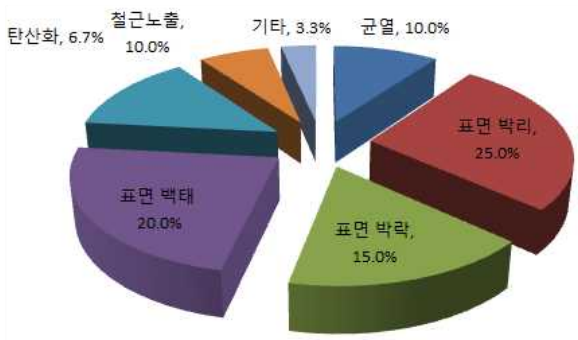
<표 3.1.8 부재 결함원인(철근콘크리트구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 균열 : 9 표면 박리 : 8 표면 박락 : 2 표면 백태 : 5 철근노출 : 2 탄산화 : 2 기타 : 2	
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 균열 : 5 표면 박리 : 3 표면 박락 : 6 표면 백태 : 7 철근노출 : 3 탄산화 : 4 기타 : 2	

<표 3.1.9 부재 결함원인(철근콘크리트구조-보부재)>

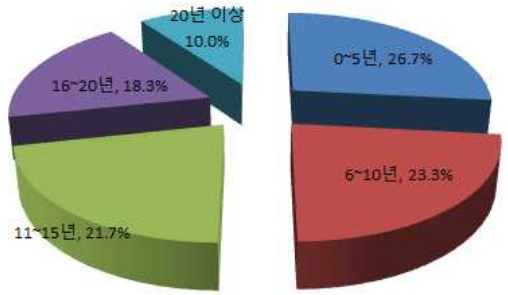
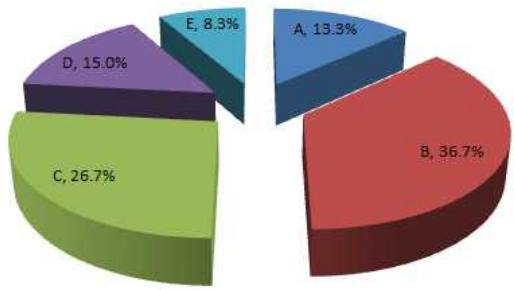
설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 균열 : 11 표면 박리 : 6 표면 박락 : 2 표면 백태 : 4 철근노출 : 1 탄산화 : 2 기타 : 4	
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 균열 : 2 표면 박리 : 10 표면 박락 : 5 표면 백태 : 3 철근노출 : 3 탄산화 : 6 기타 : 1	

<표 3.1.10 부재 결함원인(철근콘크리트구조-내력벽부재)>

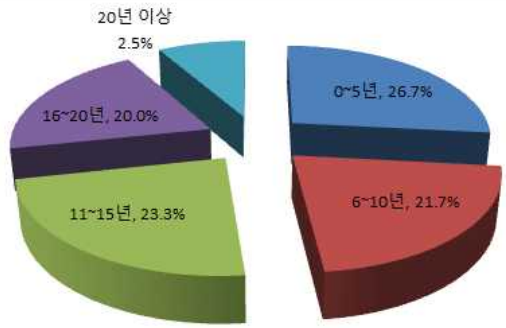
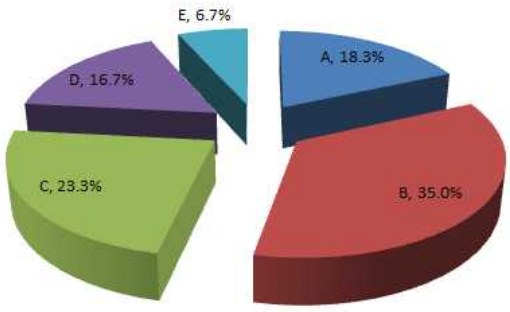
설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ① 1순위 균열 : 12 표면 박리 : 6 표면 박락 : 2 표면 백태 : 2 철근노출 : 2 탄산화 : 1 기타 : 5	
1. 철근콘크리트구조로 구성된 건축물 중 슬래브 부재에 발생가능한 결함에 대하여 순위를 나열하시오 ② 2순위 균열 : 3 표면 박리 : 8 표면 박락 : 5 표면 백태 : 7 철근노출 : 4 탄산화 : 2 기타 : 1	

(3) 부재별 결함 발생시기 및 상태등급

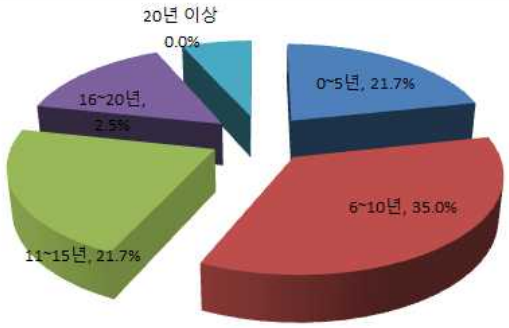
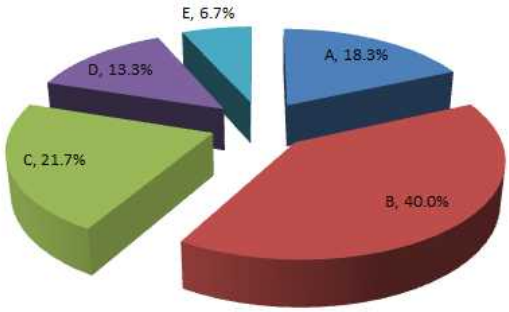
<표 3.1.11 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철골구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 16 6 ~ 10년 : 14 11 ~ 15년 : 13 16 ~ 20년 : 11 21년 이상 : 6	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 8 B : 22 C : 16 D : 9 E : 5	

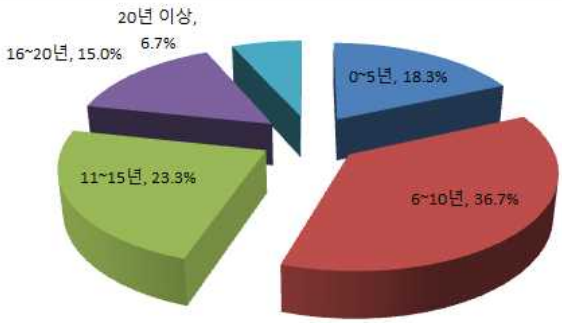
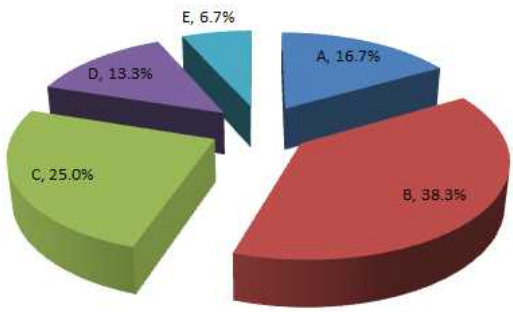
<표 3.1.12 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철골구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 16 6 ~ 10년 : 13 11 ~ 15년 : 14 16 ~ 20년 : 12 21년 이상 : 5	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 11 B : 21 C : 14 D : 10 E : 4	

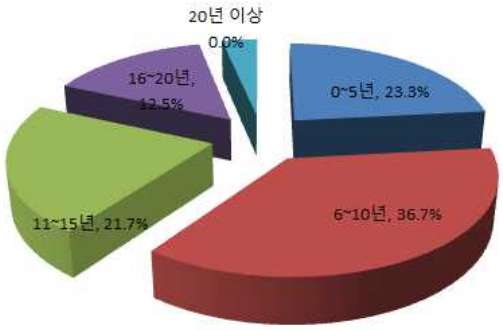
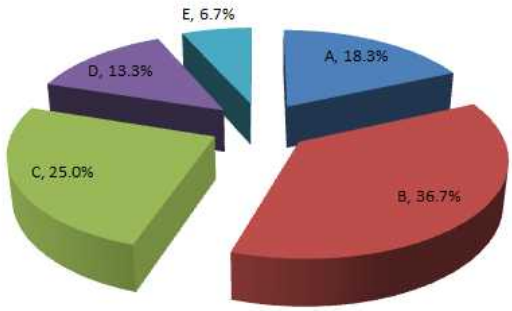
<표 3.1.13 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-슬래브부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 13 6 ~ 10년 : 21 11 ~ 15년 : 13 16 ~ 20년 : 9 21년 이상 : 4	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 11 B : 24 C : 13 D : 8 E : 4	

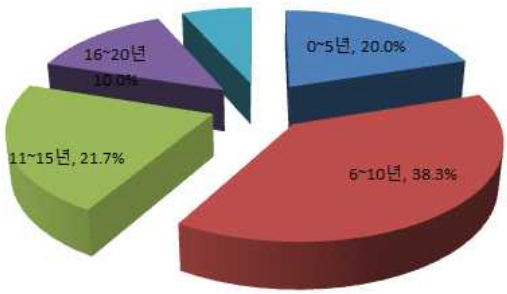
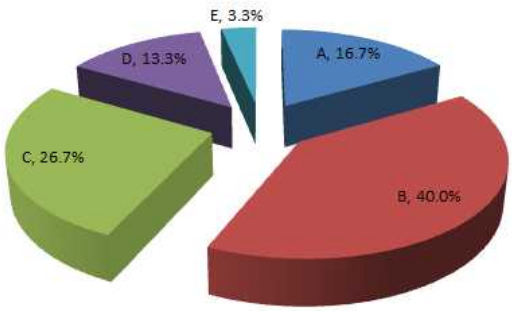
<표 3.1.14 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 11 6 ~ 10년 : 22 11 ~ 15년 : 14 16 ~ 20년 : 9 21년 이상 : 4	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 10 B : 23 C : 15 D : 8 E : 4	

<표 3.1.15 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-보부재)>

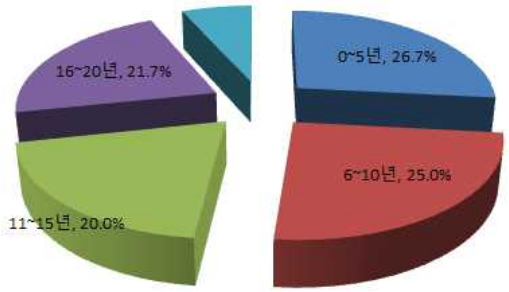
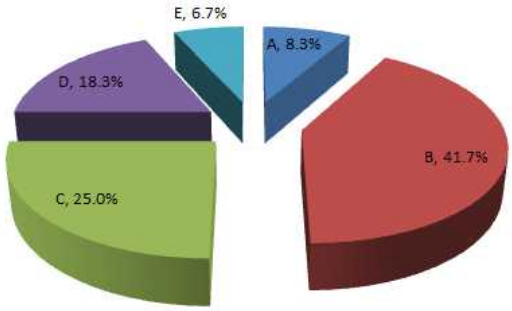
설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 14 6 ~ 10년 : 22 11 ~ 15년 : 13 16 ~ 20년 : 9 21년 이상 : 2	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 11 B : 22 C : 15 D : 8 E : 4	

<표 3.1.16 부재별 결함 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-내력벽부재)>

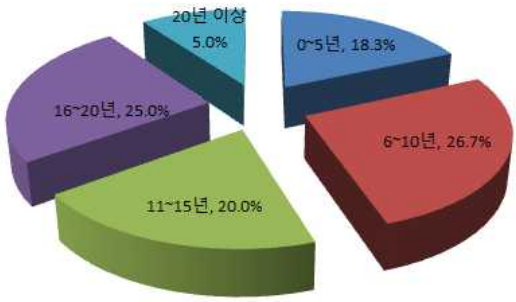
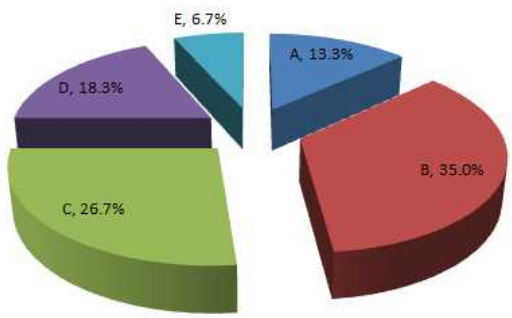
설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 결함 발생시기 0 ~ 5년 : 12 6 ~ 10년 : 23 11 ~ 15년 : 13 16 ~ 20년 : 8 21년 이상 : 4	
2. 부재별 결함 발생시 상태등급 A : 10 B : 24 C : 16 D : 8 E : 2	

(4) 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급

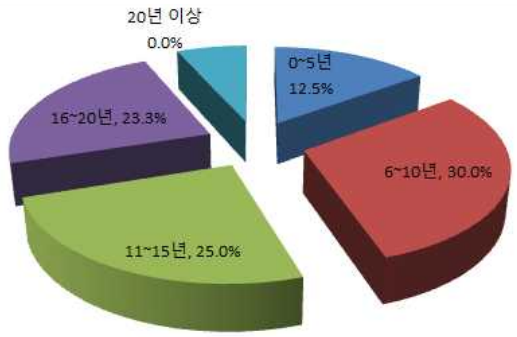
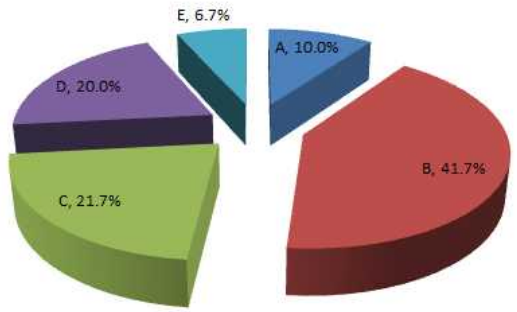
<표 3.1.17 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철골구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 16 6 ~ 10년 : 15 11 ~ 15년 : 12 16 ~ 20년 : 13 21년 이상 : 4	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 5 B : 25 C : 15 D : 11 E : 4	

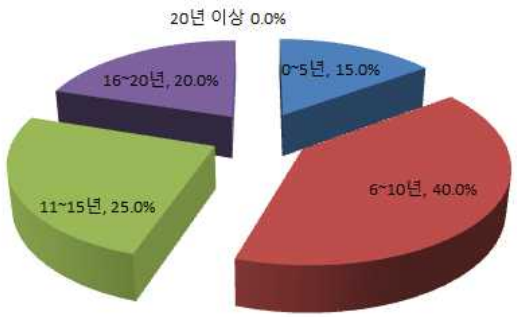
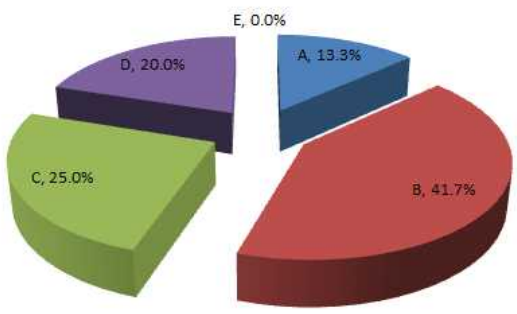
<표 3.1.18 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철골구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 11 6 ~ 10년 : 16 11 ~ 15년 : 12 16 ~ 20년 : 15 21년 이상 : 6	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 11 B : 21 C : 16 D : 11 E : 4	

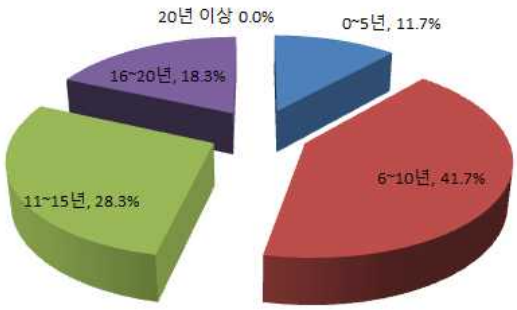
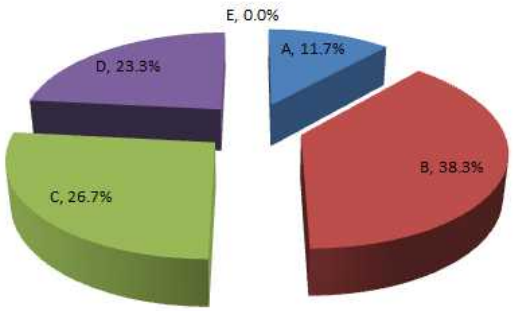
<표 3.1.19 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-슬래브부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 9 6 ~ 10년 : 18 11 ~ 15년 : 15 16 ~ 20년 : 14 21년 이상 : 4	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 6 B : 25 C : 13 D : 12 E : 4	

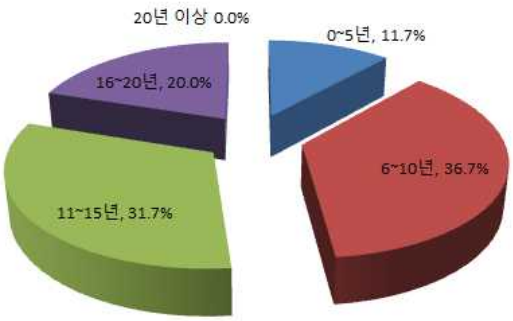
<표 3.1.20 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 9 6 ~ 10년 : 24 11 ~ 15년 : 15 16 ~ 20년 : 12 21년 이상 : 0	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 8 B : 25 C : 15 D : 12 E : 0	

<표 3.1.21 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 7 6 ~ 10년 : 25 11 ~ 15년 : 17 16 ~ 20년 : 11 21년 이상 : 0	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 7 B : 23 C : 16 D : 14 E : 0	

<표 3.1.22 부재별 유지관리 발생시기 및 상태등급(철근콘크리트구조-내력벽부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 부재별 유지관리 발생시기 0 ~ 5년 : 7 6 ~ 10년 : 23 11 ~ 15년 : 19 16 ~ 20년 : 12 21년 이상 : 0	
2. 부재별 유지관리 발생시 상태등급 A : 7 B : 22 C : 19 D : 12 E : 0	

(5) 부재별 상태등급에 따른 강도감소율

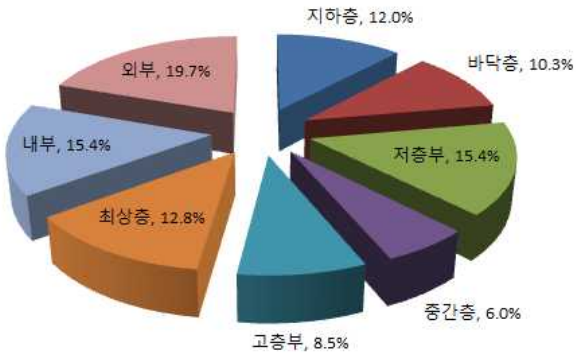
<표 3.1.23 부재별 상태등급별 강도감소율>

구 분	부 재	상태등급				
		A	B	C	D	E
철골구조	보	100	84	67	52	39
	기 둥	100	86	68	54	42
철근 콘크리트 구조	보	100	88	75	61	48
	기둥, 벽체	100	88	75	61	48
	슬래브	100	87	73	61	48

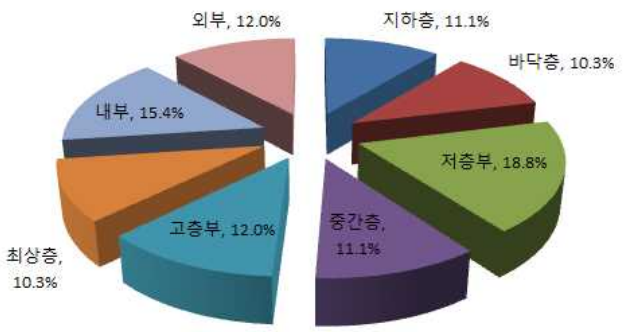
전문가 설문조사 항목 중 가장 중요도가 높은 부재별 상태등급별 감도 감소율은 A.3의 설문항목으로 상태등급 A를 100%의 설계 강도를 구현하는 것으로 가정하였을 때 B, C, D, E의 상태등급에 대해 강도감소가 몇 % 정도 발생하지는 여부를 조사하였고, 이에 대한 평균값을 상태등급과 강도감소 사이의 관계로 규명하였다.

(6) 결함발생 주요위치

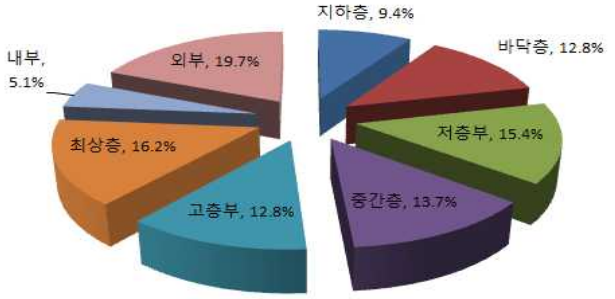
<표 3.1.24 결함발생 주요위치(철골구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 14 바닥층 : 12 저층부 : 18 중간층 : 7 고층부 : 10 최상층 : 15 내부 : 18 외부 : 23	

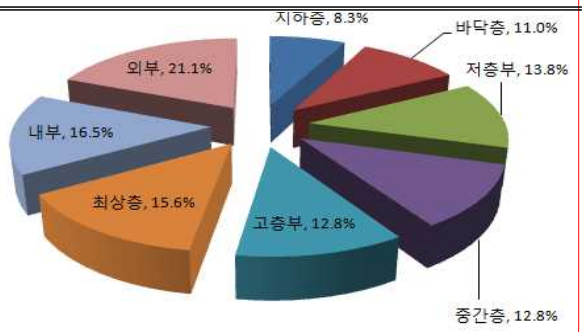
<표 3.1.25 결함발생 주요위치(철골구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 13 바닥층 : 12 저층부 : 22 중간층 : 13 고층부 : 14 최상층 : 12 내부 : 18 외부 : 14	

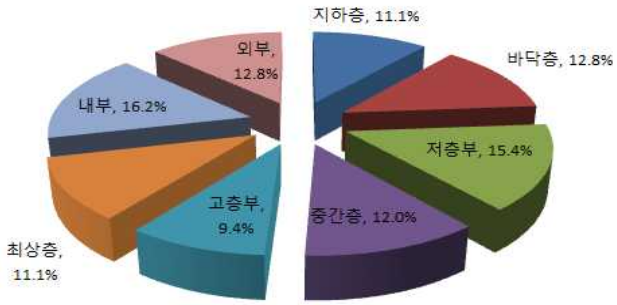
<표 3.1.26 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-슬래브부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 11 바닥층 : 12 저층부 : 18 중간층 : 13 고층부 : 15 최상층 : 12 내부 : 6 외부 : 14	

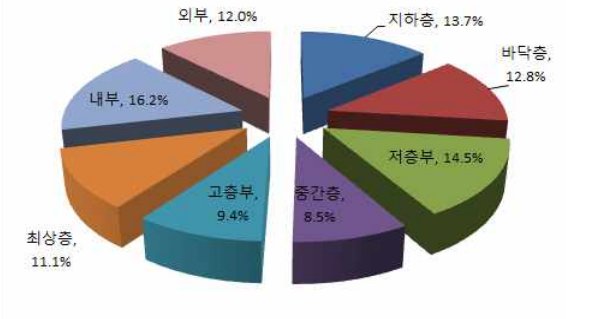
<표 3.1.27 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-기둥부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 9 바닥층 : 12 저층부 : 15 중간층 : 14 고층부 : 14 최상층 : 17 내부 : 18 외부 : 23	

<표 3.1.28 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-보부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 13 바닥층 : 15 저층부 : 18 중간층 : 14 고층부 : 11 최상층 : 13 내부 : 19 외부 : 15	

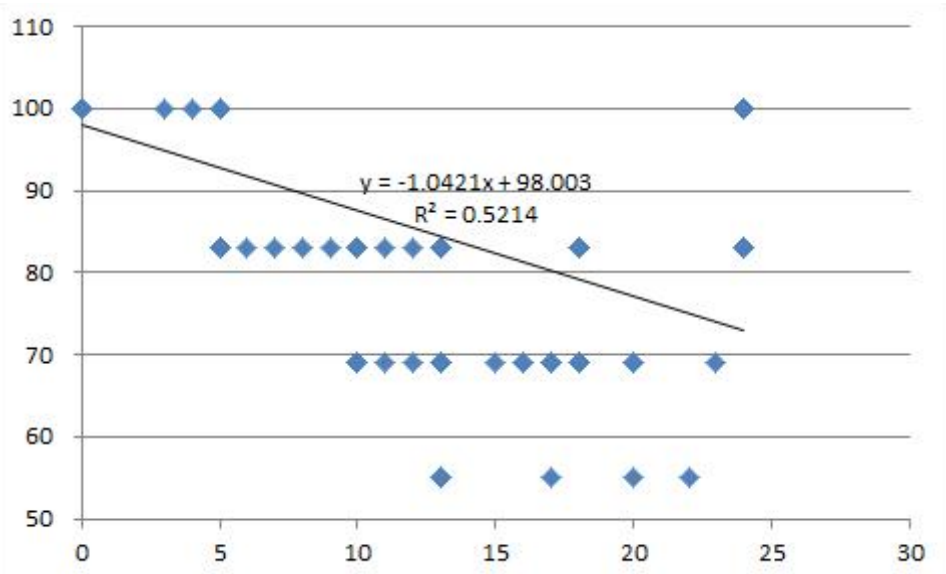
<표 3.1.29 결함발생 주요위치(철근콘크리트구조-내력벽부재)>

설문 문항 및 답변 결과	분석 결과
1. 결함이 발생하는 주요 위치를 다중 선택하여 주시오 지하층 : 16 바닥층 : 15 저층부 : 17 중간층 : 10 고층부 : 11 최상층 : 13 내부 : 19 외부 : 13	

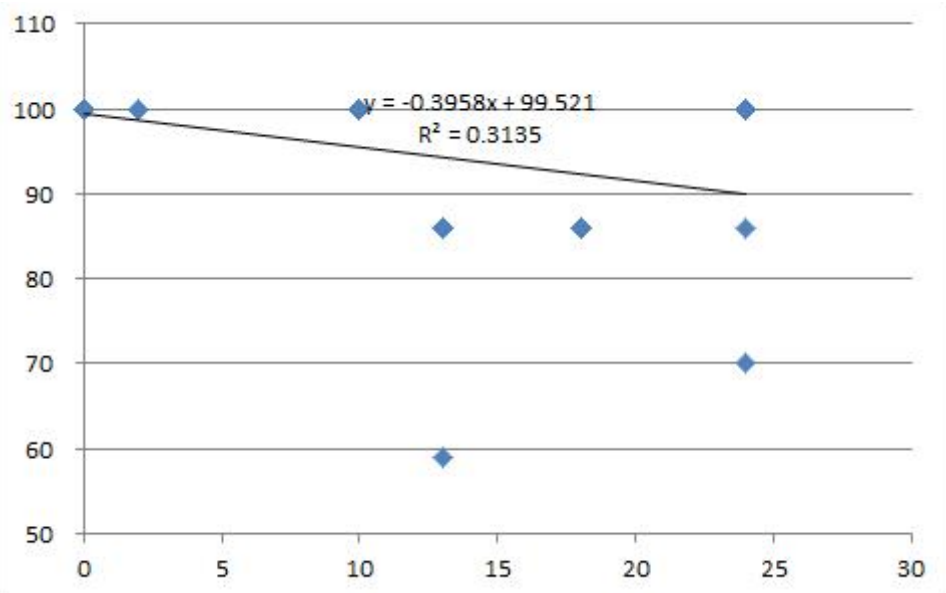
3.1.3 부재별 열화모델

본 연구에서는 기존 정밀안전진단 데이터를 바탕으로 현 시점에서 신뢰성 있는 열화모델 개발하는 것은 데이터의 수 및 구성 상 불가능한 것으로 판단하고 전문가의 주관적인 판단에 근거하여 열화모델을 개발하였다.

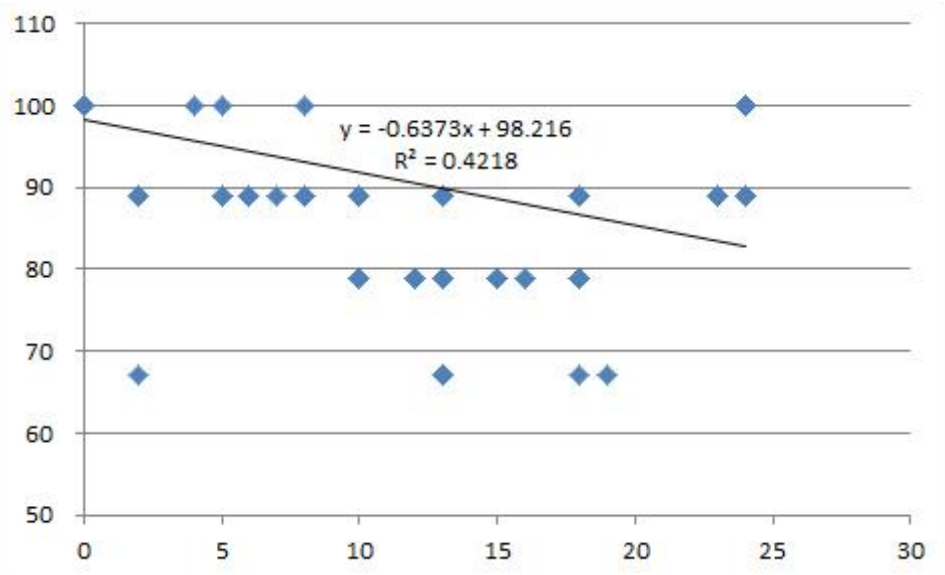
정밀안전진단 보고서에서 분석된 공용연수에 따른 상태등급을 통해 앞서 언급한 상태등급에 따른 강도감소율을 산정한 데이터와 전문가 설문조사에서 분석된 공용연수별 상태등급을 추가하여 데이터의 표본집단을 증가시켰다. 이에 따른 결과는 다음과 같다.



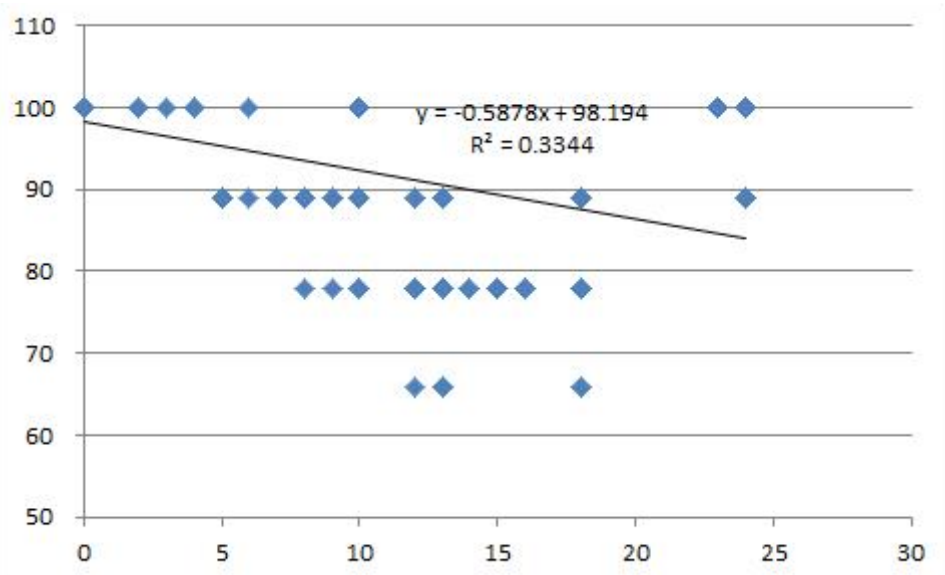
<그림 3.1.8 철골구조 – 보부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



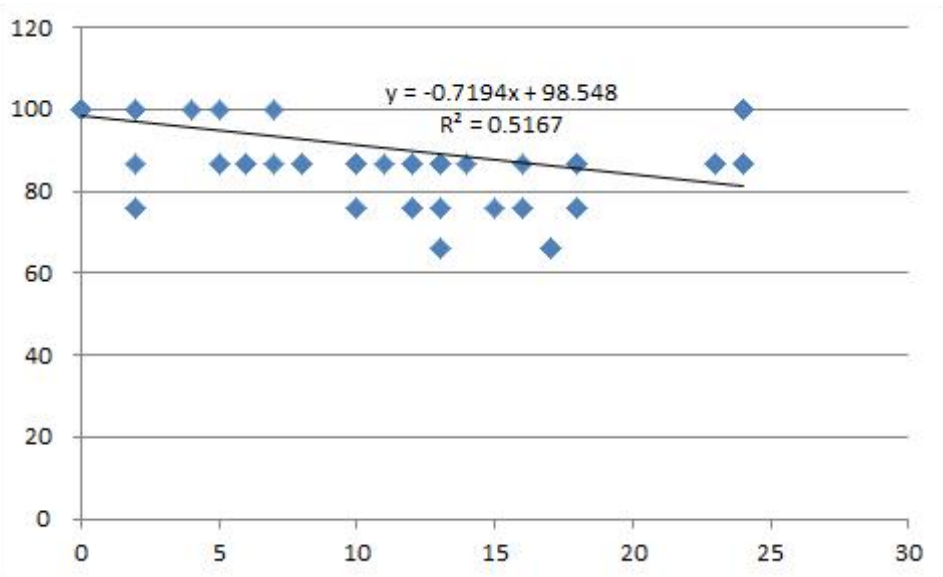
<그림 3.1.9 철골구조 – 기둥부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



<그림 3.1.10 철근콘크리트 – 보부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



<그림 3.1.11 철근콘크리트 - 기둥 및 벽체부재의 공용연수에 따른 강도감소율>



<그림 3.1.12 철근콘크리트 – 슬래브부재의 공용연수에 따른 강도감소율>

정밀안전진단 보고서와 전문가 설문에 의해 도출된 위의 그래프를 통하여 열화모델은 다음과 같다.

<표 3.1.30 공용년수에 따른 강도감소율 예측식>

구 분	부재종류	공용년수(x)에 따른 강도감소율(y)	r^2
철골구조	보	$y=-1.042x+98.00$	0.521
	기 둥	$y=-0.396x+99.52$	0.314
철근콘크리트 구조	보	$y=-0.637x+98.22$	0.422
	기둥, 벽체	$y=-0.588x+98.19$	0.334
	슬래브	$y=-0.719x+98.55$	0.517

3.2 위험도평가 결과

3.2.1 위험성평가(QRA)

가. 위험성평가 산정식 및 평가기준

(1) 위험성평가(QRA)의 목적

(가) 평가대상 시설물의 주요 위험요소에 대한 검토 및 위험지수화를 통한 집중관리 대상 선정 ➜ 주요 위험시나리오 선정 자료로 활용

(나) 위험도평가(PRA)를 위한 확률변수 또는 통계자료의 확보 및 적용이 어려울 경우 전문가 설문조사를 통한 정성적 자료를 AHP/Fuzzy기법을 통한 정량화

(2) AHP 방법에 의한 항목별 가중치 산정시 상대 중요도

<표 3.2.1 상대 중요도 산정 기준>

중요도	정 의	설 명
1	동 등	•어떤 기준에 대하여 두 항목이 비슷한 위험도를 가진다고 판단됨.
3	약간중요	•경험이나 판단에 의하여 한 항목이 다른 항목보다 약간 위험함.
5	중 요	•경험이나 판단에 의하여 한 항목이 다른 항목보다 상당히 위험함.
7	매우중요	•경험이나 판단에 의하여 한 항목이 다른 항목보다 대단히 위험함.
9	절대중요	•경험이나 판단에 의하여 한 항목이 다른 항목보다 절대적으로 위험함.
2, 4, 6, 8	위 값들의 중간값	•경험이나 판단에 의한 비교 값이 위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우에 사용함
역 수	–	•첫 번째에 비교하여 두 번째 대안이 우월하다는 것을 반영하기 위한 값
1.1 –1.9		•비교요소가 매우 비슷하여 거의 구분할 수 없을 때 사용하는 값

<표 3.2.2 상대 중요도 산정 기준>

평가등급 : 각 등급은 10단계의 크기로 평가됨			
10	•극히 위험함.	5	•보통임.
9	•매우 위험함.	4	•다소 안전함
8	•상당히 위험함.	3	•상당히 안전함
7	•다소 위험함.	2	•매우 안전함.
6	•미미한 수준임.	1	•극히 안전함.

나. 위험가중치 산정

(1) 위험가중지수, F_i

(가) 평가대상의 위험가중지수 선정

① F1 = 가스설비, F2 = 소방설비, F3 = 전기설비, F4 = 기타설비

<표 3.2.3 분야별 가중지수>

구 분		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
F1	가스설비	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.288
F2	소방설비	0.3	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.415
F3	전기설비	0.2	0.05	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.165
F4	기타설비	0.1	0.05	0.1	0.15	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.132

(2) 위험요소

<표 3.2.4 위험항목 세부내용>

위험요소		설 명
A	가스누출	•가스누출로 인해 화재 및 폭발의 위험은 없는가?
B	전기합선	•지진에 의한 합선과 비상발전기의 작동불능으로 단전에 따른 영향이나 손상은 없는가?
C	과다변위 발생	•지진에 의한 변위발생으로 설비파이프의 고정에 문제가 없는가?
D	가스배관 연결부손상	•지진에 의한 손상 및 파손으로 가스유출이 되지 않는가?
E	유류, 위험물 저장	•상시 점검 및 관리 부실로 노후화가 되어 파손에 문제가 없는가?

(3) 위험요소별 가중치(fai)

(가) 위험요소별 가중치 산정을 위한 AHP분석 결과

<표 3.2.5 AHP 분석>

구 분	가스누출	전기합선	과다변위 발생	가스배관 연결부손상	유류, 위험물 저장	fai	중요도
가스누출	1.000	1.487	2.062	2.140	2.587	33%	
전기합선	0.673	1.000	1.669	1.712	1.965	24%	
과다변위 발생	0.485	0.599	1.000	1.426	1.751	18%	
가스배관 연결부손상	0.467	0.584	0.701	1.000	1.325	14%	
유류, 위험물 저장	0.386	0.509	0.571	0.755	1.000	11%	
λmax	5.024			RI	1.12		
CI	0.006						
CR	0.005292	<	0.1		OK		
sum	3.011	4.179	6.003	7.033	8.628		
						sum	sum/count
가스누출	0.332	0.356	0.343	0.304	0.300	1.635	0.33
전기합선	0.223	0.239	0.278	0.243	0.228	1.212	0.24
과다변위 발생	0.161	0.143	0.167	0.203	0.203	0.877	0.18
가스배관 연결부손상	0.155	0.140	0.117	0.142	0.154	0.707	0.14
유류, 위험물 저장	0.128	0.122	0.095	0.107	0.116	0.569	0.11
sum							1.00

(4) 위험요소별 위험지수

(가) F1 : 가스설비 (=0.288)

<표 3.2.6 가스설비 위험성지수 분석>

평가항목	요소 가중치 (fai)	위험요소별 위험성지수(rai) 조 사 결 과										Avg ①	위험지수,R1 ②= fai×①	③= ②/10	위험성 지수 QRAi =③×Fi
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
가스누출	33	7	6	7	8	7	3	7	7	6	5	6.3	206	20.6	5.9
전기합선	24	7	7	4	9	8	3	8	8	7	5	6.6	160	16.0	4.6
과다변위 발생	18	8	8	5	7	6	4	8	7	5	8	6.6	116	11.6	3.3
가스배관 연결부손상	14	9	6	5	6	6	3	5	7	5	4	5.6	79	7.9	2.3
유류, 위험물 저장	11	5	9	6	7	6	2	5	7	5	4	5.6	64	6.4	1.8
	100												625	62.5	18.0

(나) F2 : 소방설비 (=0.415)

<표 3.2.7 소방설비 위험성지수 분석>

평가항목	요소 가중치 (fai)	위험요소별 위험성지수(rai) 조 사 결 과										Avg ①	위험지수,R1 ②= fai×①	③= ②/10	위험성 지수 QRAi =③×Fi
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
가스누출	33	3	5	5	6	5	2	6	8	4	3	4.7	154	15.4	6.4
전기합선	24	6	5	5	7	5	4	6	7	5	7	5.7	138	13.8	5.7
과다변위 발생	18	4	8	8	8	8	2	7	9	8	6	6.8	119	11.9	5.0
가스배관 연결부손상	14	4	5	3	6	5	2	6	5	5	2	4.3	61	6.1	2.5
유류, 위험물 저장	11	6	6	3	9	6	3	6	6	6	2	5.3	60	6.0	2.5
	100												532	53.2	22.1

(다) F3 : 전기설비 (=0.165)

<표 3.2.8 전기설비 위험성지수 분석>

평가항목	요소 가중치 (fai)	위험요소별 위험성지수(rai) 조 사 결 과										Avg ①	위험지수,R1 ②= fai×①	③= ②/10	위험성 지수 QRAi =③×Fi
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
가스누출	33	3	5	2	3	2	1	2	5	7	2	3.2	105	10.5	1.7
전기합선	24	2	4	2	3	3	2	2	5	8	5	3.6	87	8.7	1.4
과다변위 발생	18	4	3	2	3	3	1	2	8	9	6	4.1	72	7.2	1.2
가스배관 연결부손상	14	3	4	2	4	2	1	2	5	5	1	2.9	41	4.1	0.7
유류, 위험물 저장	11	3	4	2	3	3	1	2	6	5	2	3.1	35	3.5	0.6
	100												340	34.0	5.6

(라) F4 : 기타설비 (=0.132)

<표 3.2.9 기타설비 위험성지수 분석>

평가항목	요소 가중치 (fai)	위험요소별 위험성지수(rai) 조 사 결 과										Avg ①	위험지수,R1 ②= fai×①	③= ②/10	위험성 지수 QRAi =③×Fi
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
가스누출	33	5	5	5	6	4	4	6	8	5	6	5.4	177	17.7	2.2
전기합선	24	4	6	8	7	3	3	7	8	9	5	6.0	145	14.5	1.8
과다변위 발생	18	4	6	6	5	4	3	7	7	6	2	5.0	88	8.8	1.1
가스배관 연결부손상	14	2	5	6	5	4	5	7	8	6	2	5.0	71	7.1	0.9
유류, 위험물 저장	11	4	6	5	5	10	3	7	7	5	5	5.7	65	6.5	0.8
	100												545	54.5	6.7

다. 위험성평가 결과

평가대상의 분야별 가중치를 산정하고 위험요소별 위험성평가를 통해서 다음과 같은 분야별 위험요소의 위험성지수를 정리할 수 있으며, 여기서 위험성지수는 단순히 위험손실의 크기만을 산정한 것이 아니라 발생가능성을 기초로 위험발생에 따른 위험손실 및 구조물 안전에의 영향정도를 고려한 정성적 평가를 정량화 한 것이다.

위험성평가 결과 지진시 가스누출에 따른 소방설비의 작동불능에 따른 화재지속으로 인한 위험성이 발생가능성을 고려했을 때 가장 큰 것으로 분석되었다.

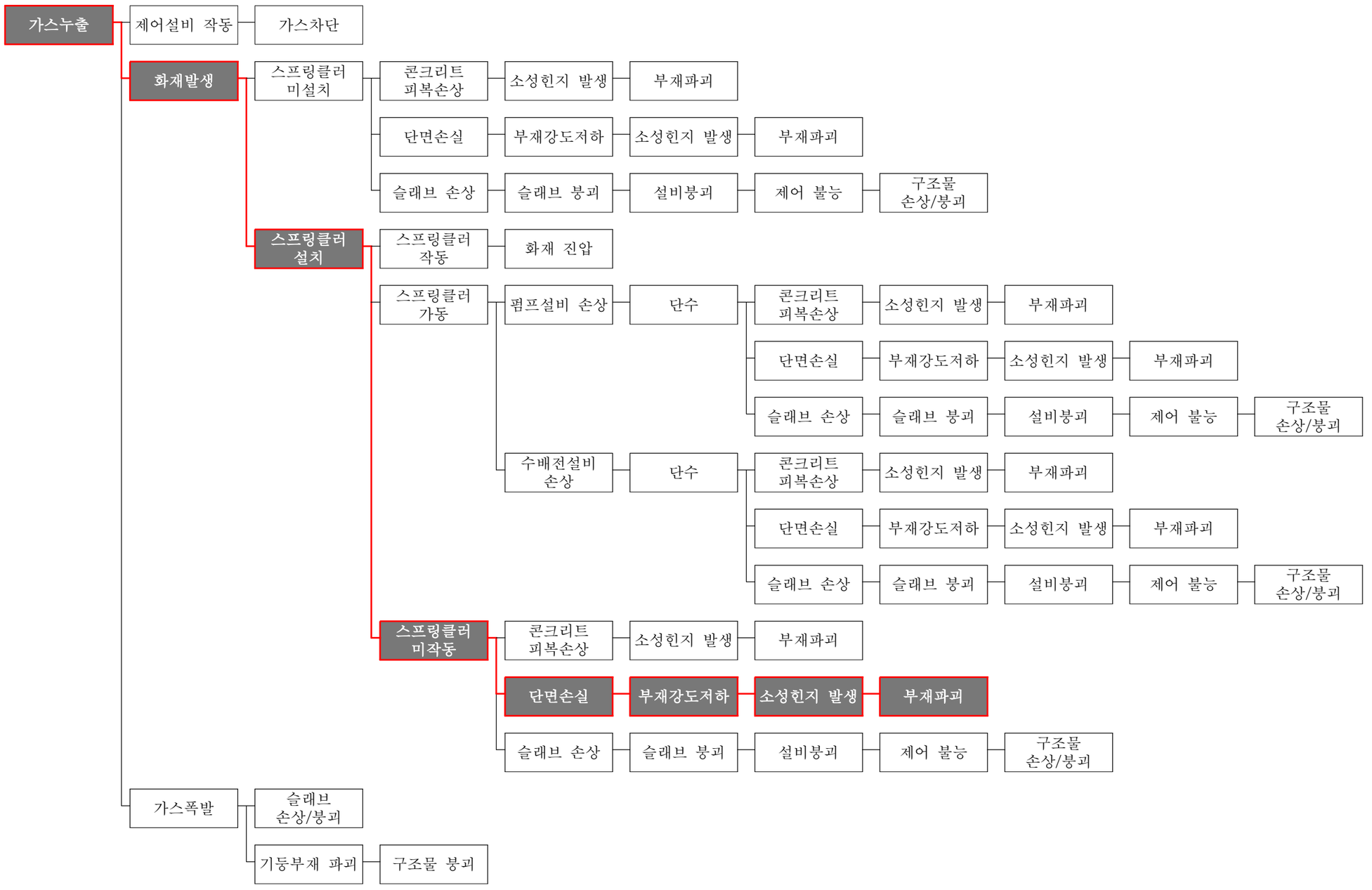
<표 3.2.10 위험성지수(QRAi) 산정을 통한 위험성평가 결과>

구 분		A	B	C	D	E	합 계
		가스누출	전기합선	과다변위 발생	가스배관 연결부손상	유류, 위험물 저장	
F1	가스설비	5.9	4.6	3.3	2.3	1.8	18.9
F2	소방설비	6.4	5.7	5.0	2.5	2.5	24.1
F3	전기설비	1.7	1.4	1.2	0.7	0.6	8.6
F4	기타설비	2.2	1.8	1.1	0.9	0.8	10.8
합 계		16.2	13.5	10.6	6.4	5.7	

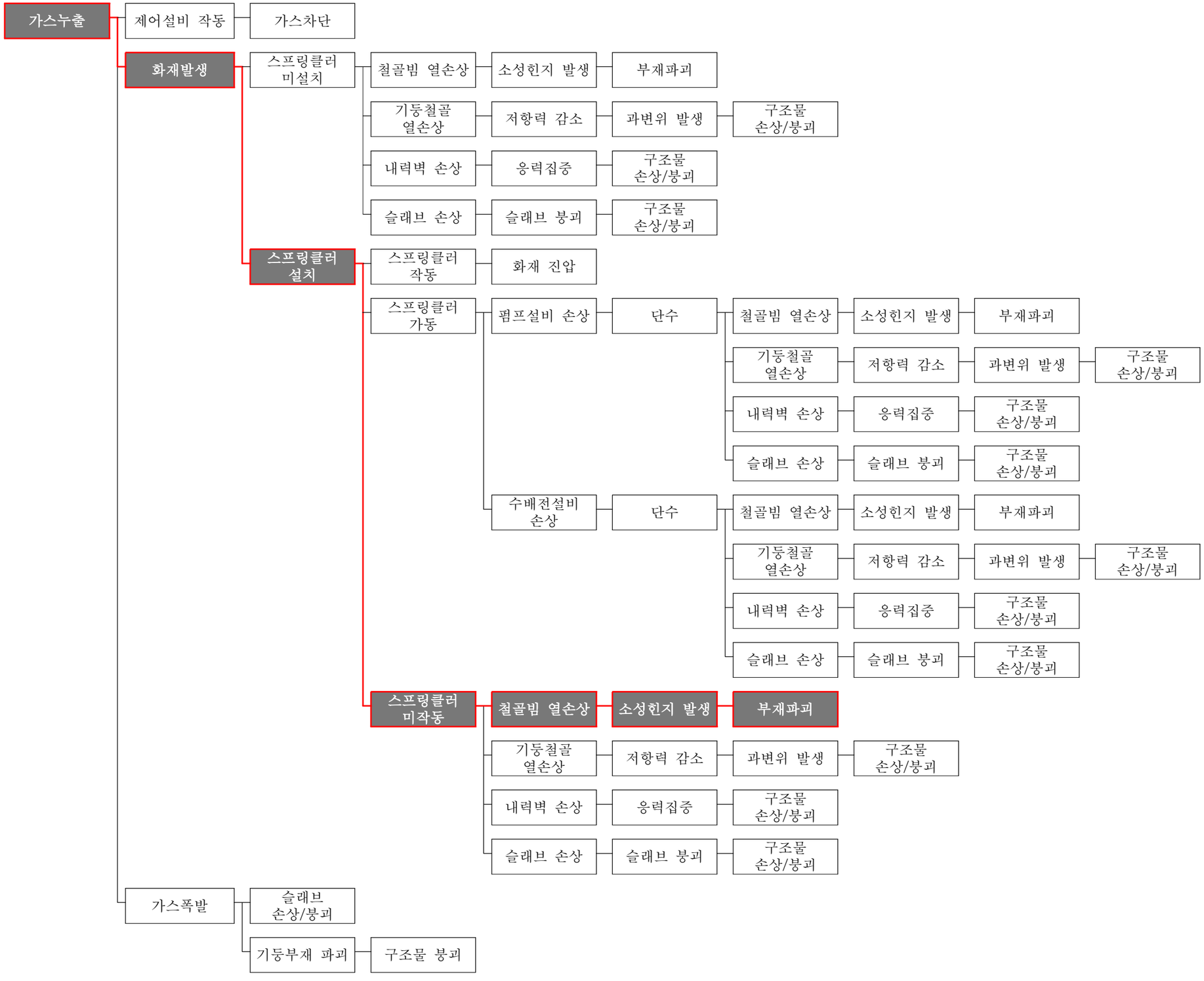
3.2.2 위험도평가(PRA)

가. 위험성평가(QRA)를 고려한 시나리오 선정

(1) 철근콘크리트 구조물



(2) 철골 구조물

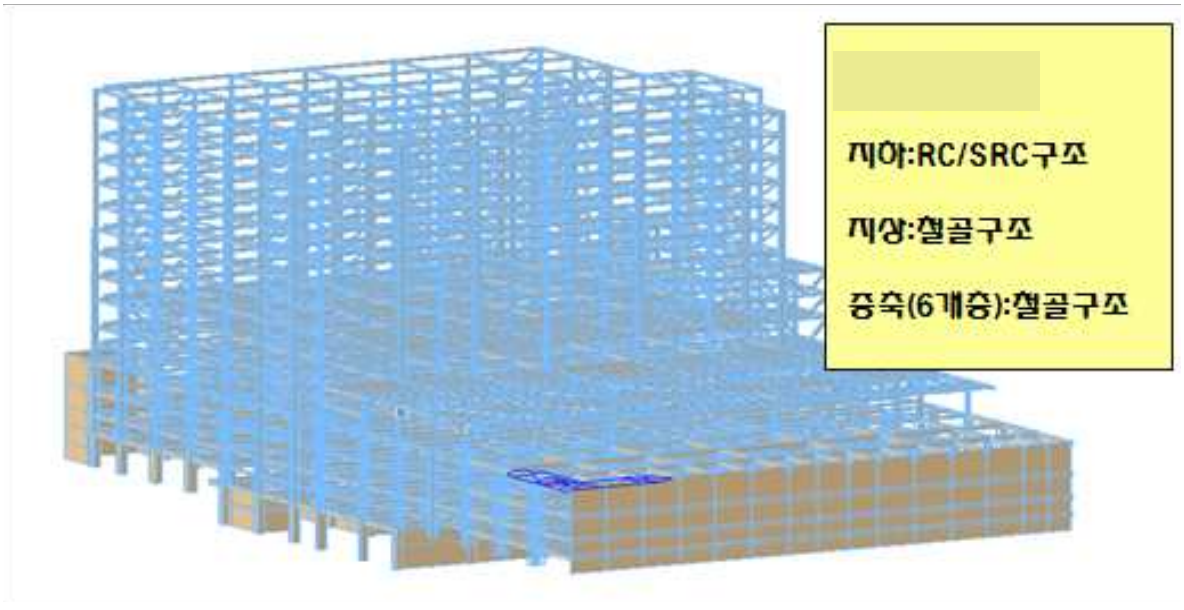

가스누출
제어설비 작동
가스차단
화재발생
스프링클러 미설치
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 설치
스프링클러 작동
화재 진압
스프링클러 가동
펌프설비 손상
단수
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
수배전설비 손상
단수
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
스프링클러 미작동
철골빔 열손상
소성힌지 발생
부재파괴
기둥철골 열손상
저항력 감소
과변위 발생
구조물 손상/붕괴
내력벽 손상
응력집중
구조물 손상/붕괴
슬래브 손상
슬래브 붕괴
구조물 손상/붕괴
가스폭발
슬래브 손상/붕괴
기둥부재 파괴
구조물 붕괴

나. 구조물 형식별 위험도평가(PRA)

(1) 철골구조

(가) 평가모델

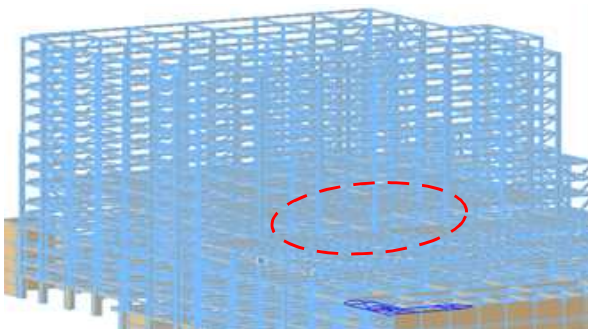
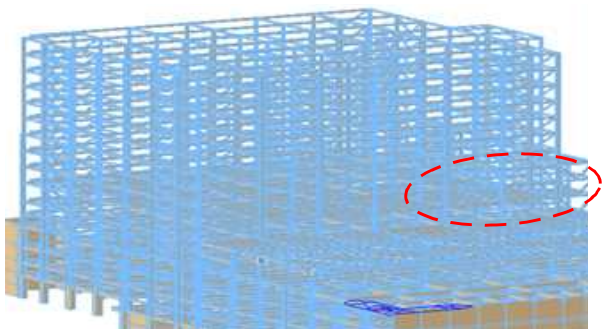
위험도평가 모델은 내진성능평가모델과 동일하며 다음과 같다.



<그림 3.2.1 위험도평가를 위한 기본모델>

위험도평가를 위한 모델 TYPE은 중앙부에 화재가 발생하는 모델과 외측부에 지진에 의한 화재가 발생하는 화재모델로 구분하였으며 화재지속에 의한 철골 부재의 강도 감소를 고려하여 동일하게 반영하였다. 이때 강도감소율은 화재 노출시 온도상승에 따른 강도감소를 분석한 연구(성시창, 1996년)에서 강재표면온도가 350℃에서 2/3이하로 저감되고 온도상승에 따른 감소율 증가를 고려하여 550℃에서 화재 발생층의 1/2면적에서 기둥과 보부재의 단면성능이 50%로 저감되는 것으로 볼 수 있으며 검토 화재모델에 적용하여 MCS를 통해 파괴확률을 추정하였다.

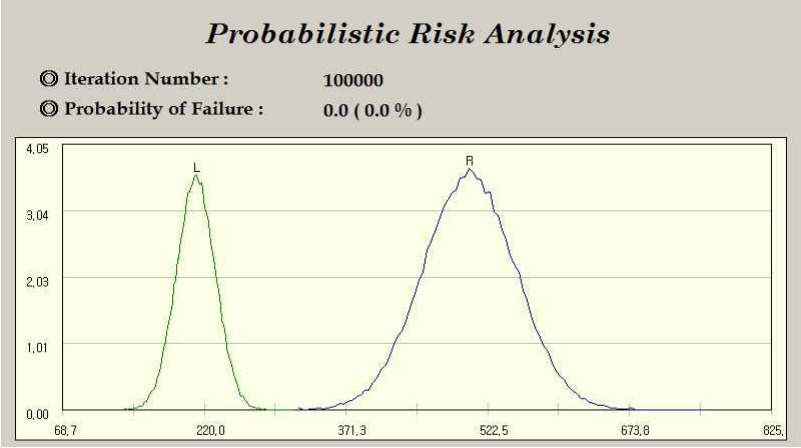
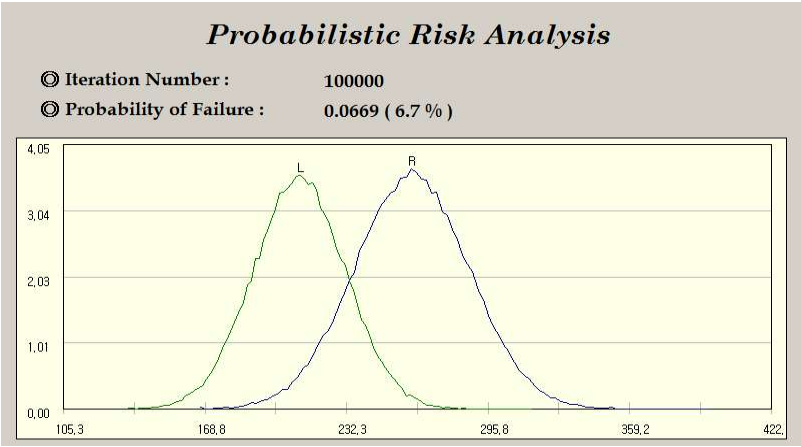
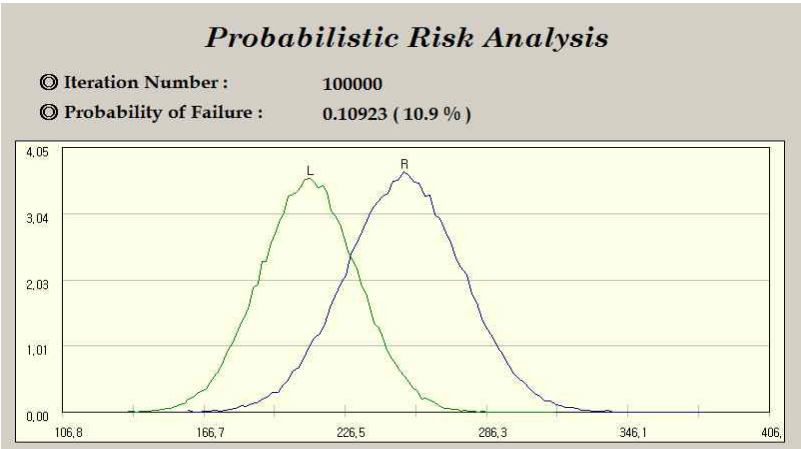
<표 3.2.2 위험도평가를 위한 화재모델>

TYPE 1 : 중앙부 화재모델	TYPE 2 : 외측부 화재모델
	

(나) MCS에 의한 파괴확률 추정

파괴확률 추정을 위한 모델은 화재 미발생시 모델과 단면성능이 50% 저감된 화재모델 TYPE 1,2에 대해 MCS(Monte Carlo Simulation) 프로그램으로 파괴확률을 추정하였으며 다음과 같다.

<표 3.2.3 MCS를 통한 모델별 파괴확률>

구 분	파 괴 확 률 추 정 (MCS)	
화 재 미발생시		파괴확률 (Pf) = 0.000
화재모델 TYPE 1 (중앙부)		파괴확률 (Pf) = 0.0669
화재모델 TYPE 2 (외측부)		파괴확률 (Pf) = 0.1093

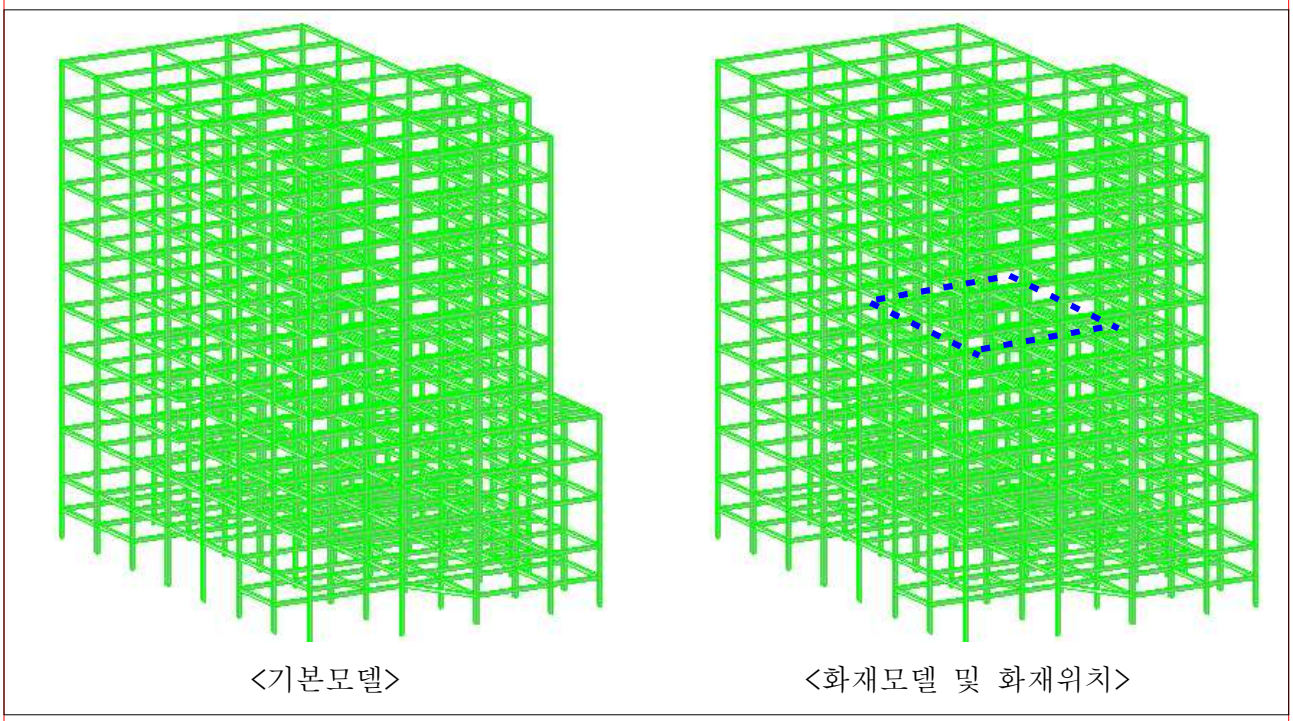
(다) 위험도평가 결과

MCS에 의한 단면성능이 50% 저감된 화재모델 TYPE 1,2의 파괴확률을 추정한 결과 TYPE 1 모델의 파괴확률(Pf)은 0.0669이고 TYPE 2 모델의 파괴확률(Pf)은 0.1093으로 TYPE 2 모델의 위험도가 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서, 내진성능평가에서는 TYPE 2 모델에서의 화재발생시를 고려한 Push-over해석 및 성능평가를 수행하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(2) 철근콘크리트 구조

(가) 평가모델

위험도평가 모델은 내진성능평가모델과 동일하며 다음과 같다.



<기본모델> <화재모델 및 화재위치>

<그림 3.2.2 위험도평가를 위한 모델>

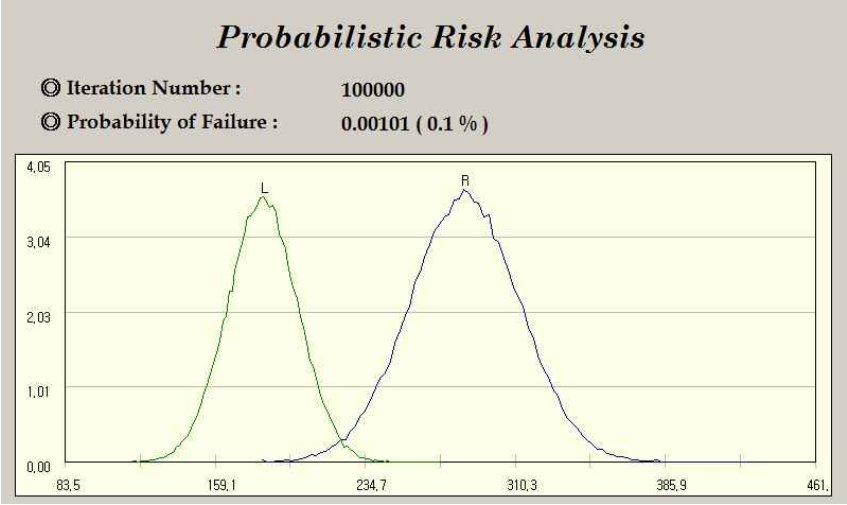
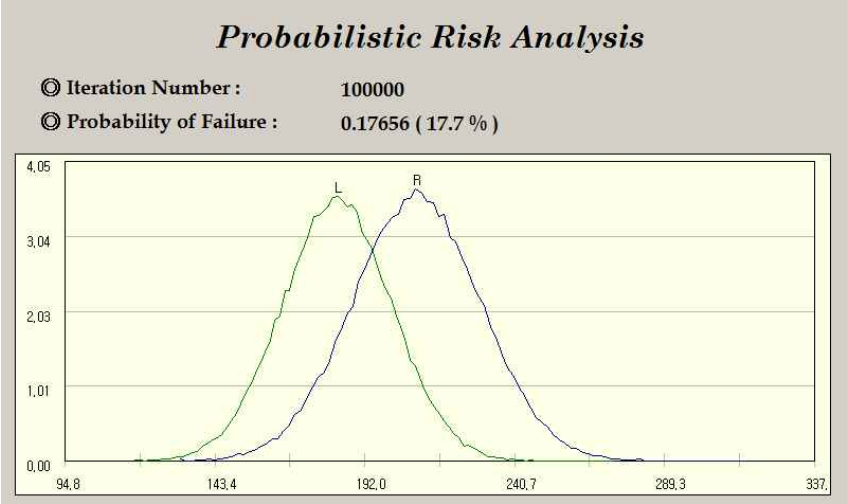
화재에 따른 철근콘크리트 구조물의 잔존강도 또는 내하력은 화재지속시간 및 열이력곡선과 피복두께에 따라 크게 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 특히 폭렬현상의 발생 여부에 따라 구조물의 안전성에 미치는 영향이 크게 되며 이러한 폭렬현상의 발생은 앞의 내하력에 영향을 미치는 변수와 함께 물-시멘트비의 영향이 큰 것을 기존 연구(井上:高強度コンクリートの耐火性(主として爆裂性状)の評價及び考察,建材試驗情報,Vol.34,No4,1998)에서 확인된바 있다. 따라서 이러한 여러 변수의 복잡한 상관관계와 변동성을 모두 고려한 화재시 부재의 위험도평가는 본 연구의 목적과 범위를 벗어나므로 부재별 피복두께와 동일 조건의 물-시멘트비와 화재지속시간 및 열이력곡선을 가정하여 각 부재별 작용력 대비 저항력에 따른 파괴확률을 검토하여 파괴확률이 가장 크게 발생하는 위치를 선정하였으며 이러한 검토결과에 따른 화재모델 및 화재위치는 위의 그림과 같다.

(나) MCS에 의한 파괴확률 추정

파괴확률 추정을 위한 모델은 화재 미발생시 모델과 화재모델에 대해 MCS(Monte Carlo Simulation) 프로그램으로 파괴확률을 추정하였으며 다음 그림과 같다

.

<표 3.2.13 MCS를 통한 모델별 파괴확률>

구 분	파 괴 확 률 추 정 (MCS)	
화 재 미발생시		파괴확률 (Pf) = 0.00101
화재모델		파괴확률 (Pf) = 0.17656

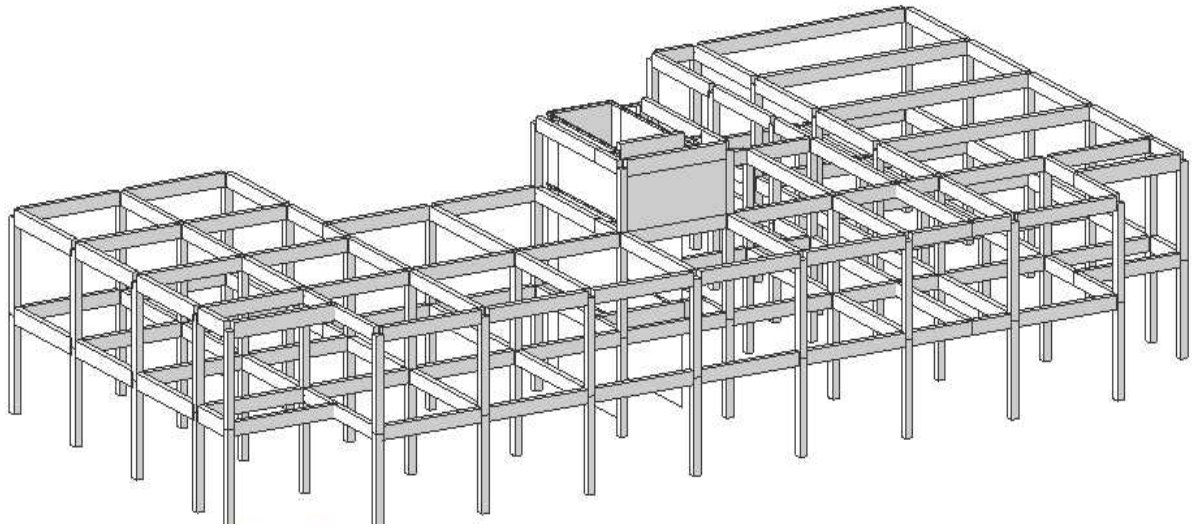
(다) 위험도평가 결과

MCS에 의한 기본모델과 화재모델의 파괴확률을 추정한 결과 기본모델의 파괴확률(Pf)은 0.00101이고 화재모델의 파괴확률(Pf)은 0.17656으로 기본모델에 비해 화재모델의 위험도가 현저히 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서, 내진성능평가에서는 기본모델과 화재발생시를 고려한 Push-over해석 및 성능평가를 수행하여 검토하였다.

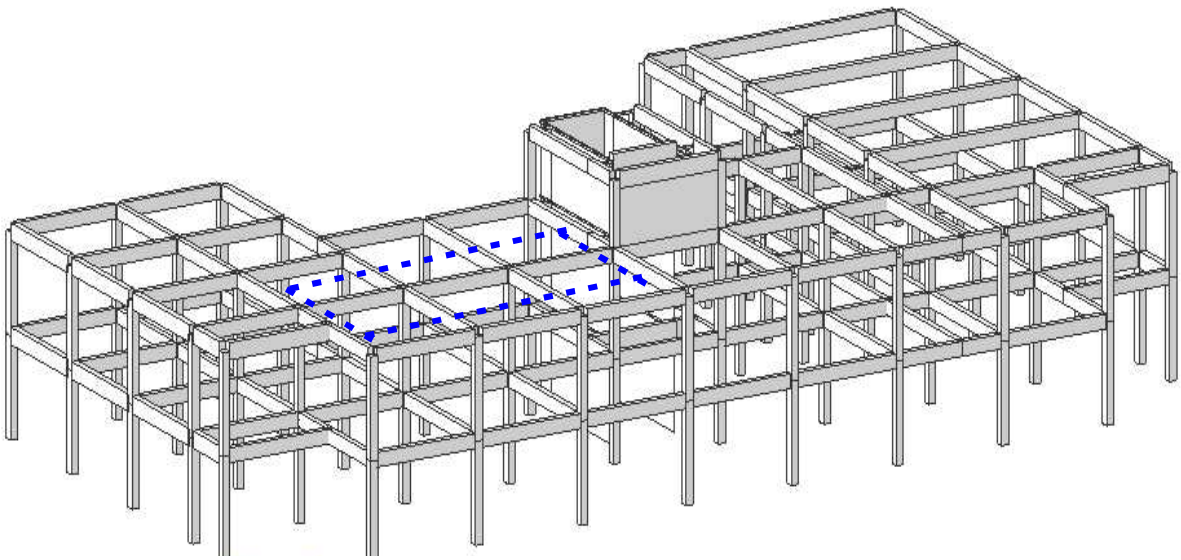
(3) 철근콘크리트구조(중소형 규모1/2)

(가) 평가모델

위험도평가 모델은 내진성능평가모델과 동일하며 다음 그림과 같다.



<기본모델>



<화재모델>

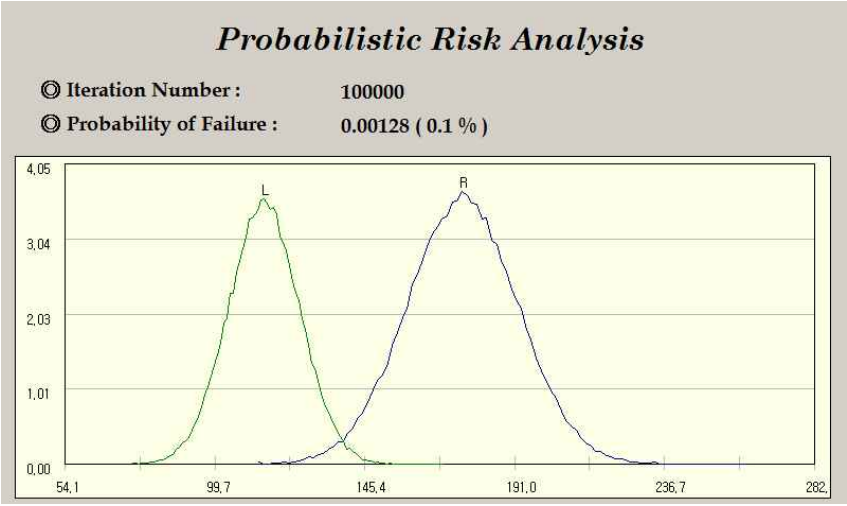
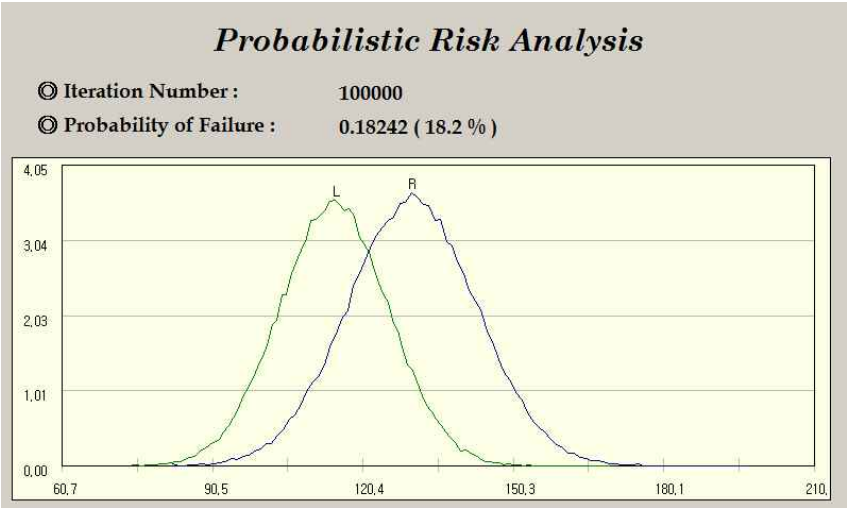
<그림 3.2.3 위험도평가를 위한 모델>

(나) MCS에 의한 파괴확률 추정

파괴확률 추정을 위한 모델은 화재 미발생시 모델과 화재모델에 대해 MCS(Monte Carlo Simulation) 프로그램으로 파괴확률을 추정하였으며 다음 그림과 같다

.

<표 3.2.14 MCS를 통한 모델별 파괴확률>

구 분	파 괴 확 률 추 정 (MCS)	
화 재 미발생시		파괴확률 (Pf) = 0.00128
화재모델		파괴확률 (Pf) = 0.18242

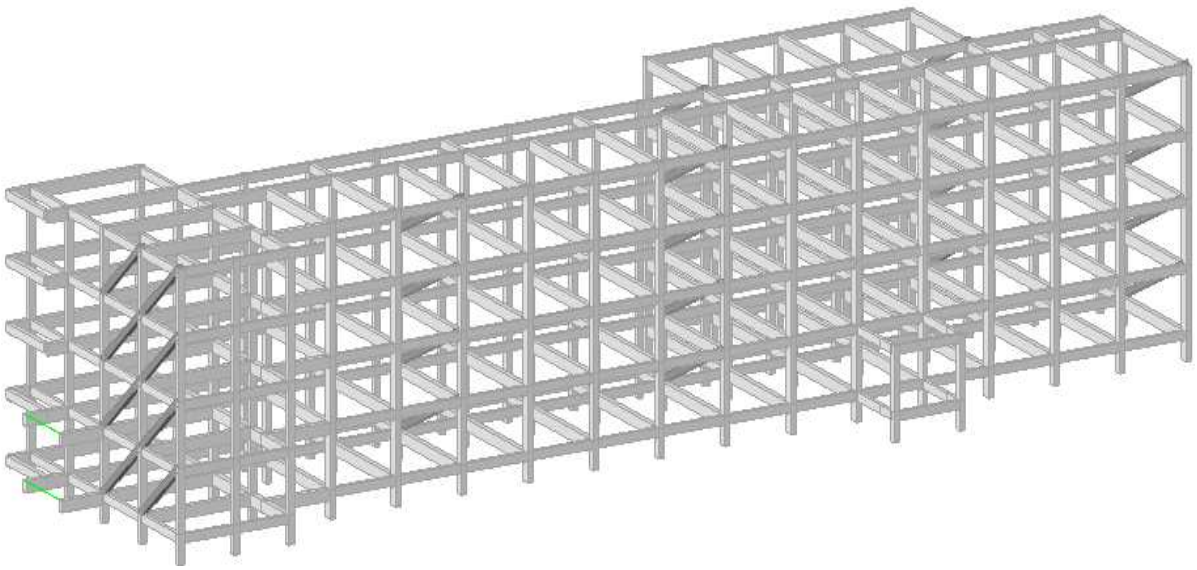
(다) 위험도평가 결과

MCS에 의한 기본모델과 화재모델의 파괴확률을 추정한 결과 기본모델의 파괴확률(Pf)은 0.00128이고 화재모델의 파괴확률(Pf)은 0.18242으로 기본모델에 비해 화재모델의 위험도가 현저히 증가하는 것으로 분석되었다.

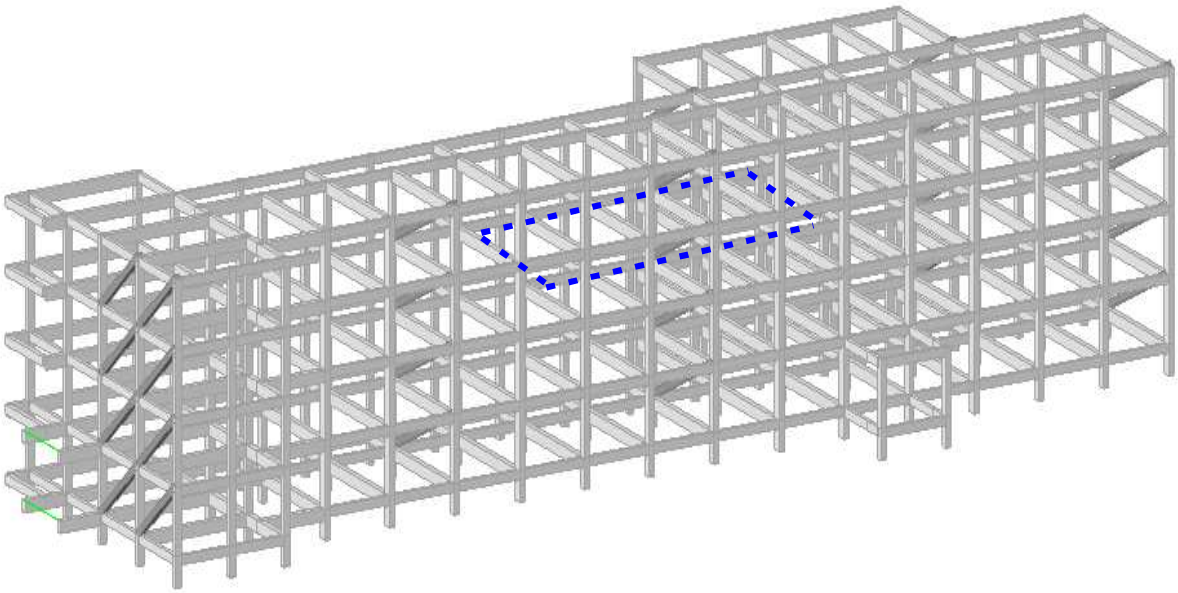
(4) 철근콘크리트구조(중소형 규모2/2)

(가) 평가모델

위험도평가 모델은 내진성능평가모델과 동일하며 다음 그림과 같다.



<기본모델>



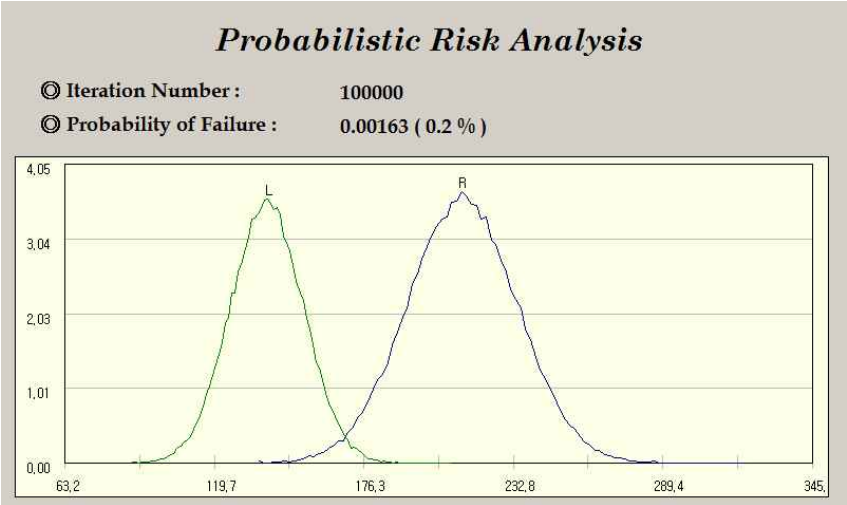
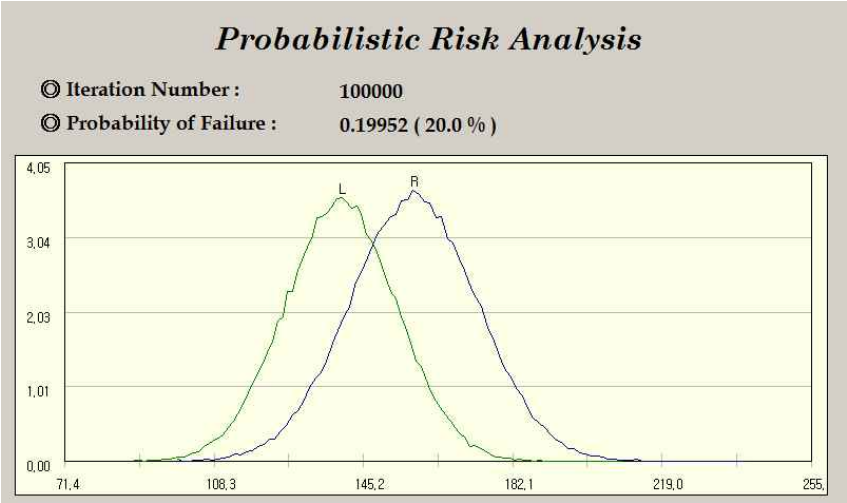
<화재모델>

<그림 3.2.4 위험도평가를 위한 모델>

(나) MCS에 의한 파괴확률 추정

파괴확률 추정을 위한 모델은 화재 미발생시 모델과 화재모델에 대해 MCS(Monte Carlo Simulation) 프로그램으로 파괴확률을 추정하였으며 다음 그림과 같다.

<표 3.2.15 MCS를 통한 모델별 파괴확률>

구 분	파 괴 확 률 추 정 (MCS)	
화 재 미발생시		파괴확률 (Pf) = 0.00163
화재모델		파괴확률 (Pf) = 0.19952

(다) 위험도평가 결과

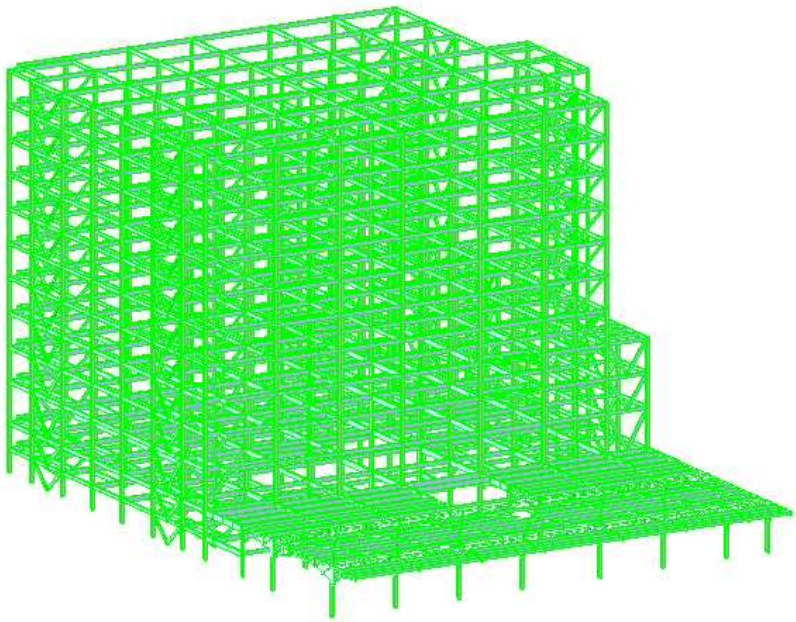
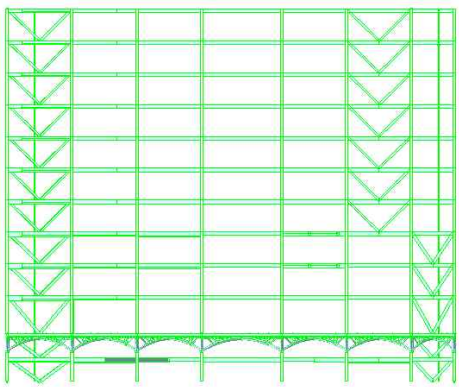
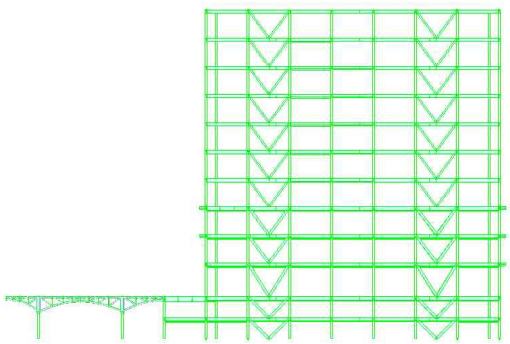
MCS에 의한 기본모델과 화재모델의 파괴확률을 추정한 결과 기본모델의 파괴확률(Pf)은 0.00163이고 화재모델의 파괴확률(Pf)은 0.19952으로 기본모델에 비해 화재모델의 위험도가 현저히 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서, 내진성능평가에서는 기본모델과 화재발생시를 고려한 Push-over해석 및 성능평가를 수행하여 비교 검토하였다.

3.3 용도별, 규모별, 건축시기별에 따른 내진성능평가 결과

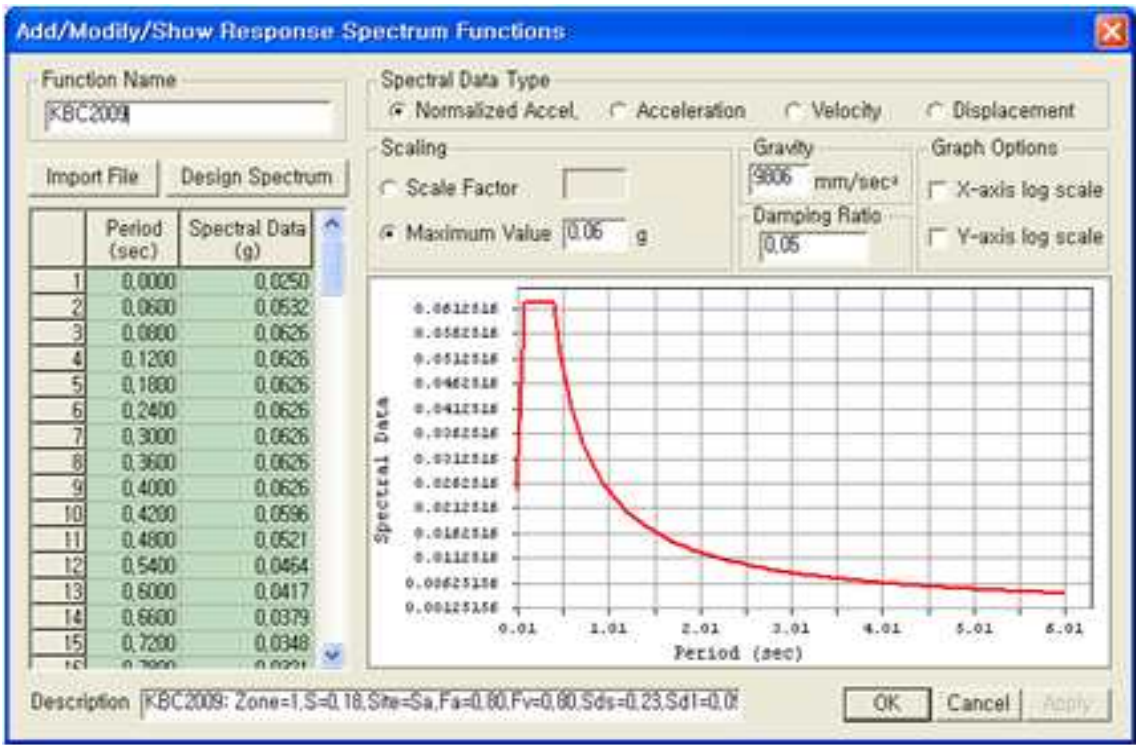
3.3.1 철골구조

가. 대상 시설물 현황

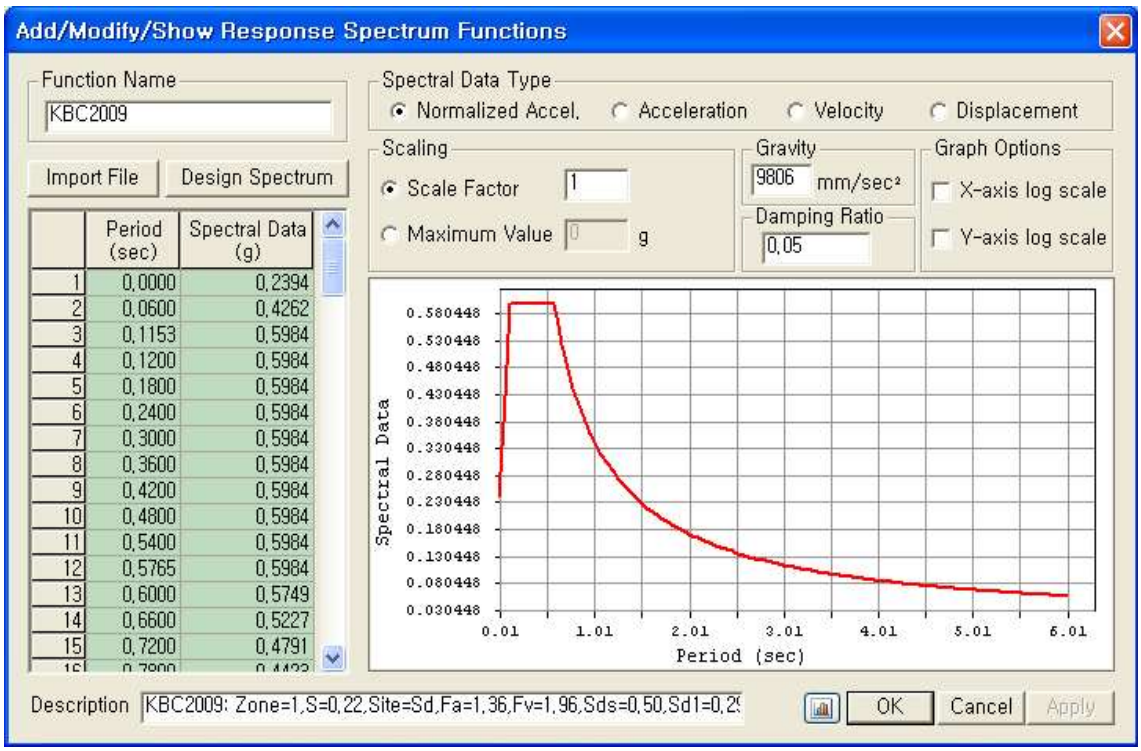
<표 3.3.1 대상 시설물 세부사항>

구분	세부 사항	
개요도		
세부형상	 정면도	 측면도
형식	위치 : 서울 시설물명 : oooo시티(주상복합시설물) 구조 : 철골구조 12층 구조물	

나. 설계용 응답스펙트럼



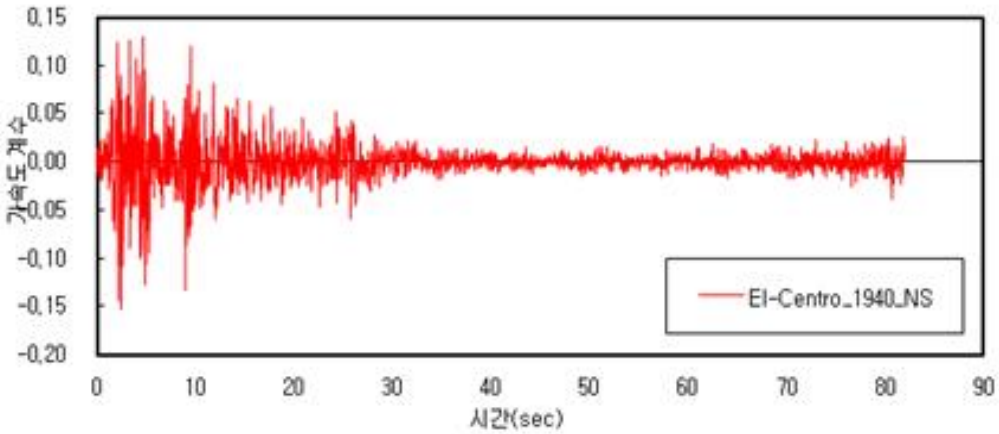
<그림 3.3.1 해석용 응답스펙트럼>



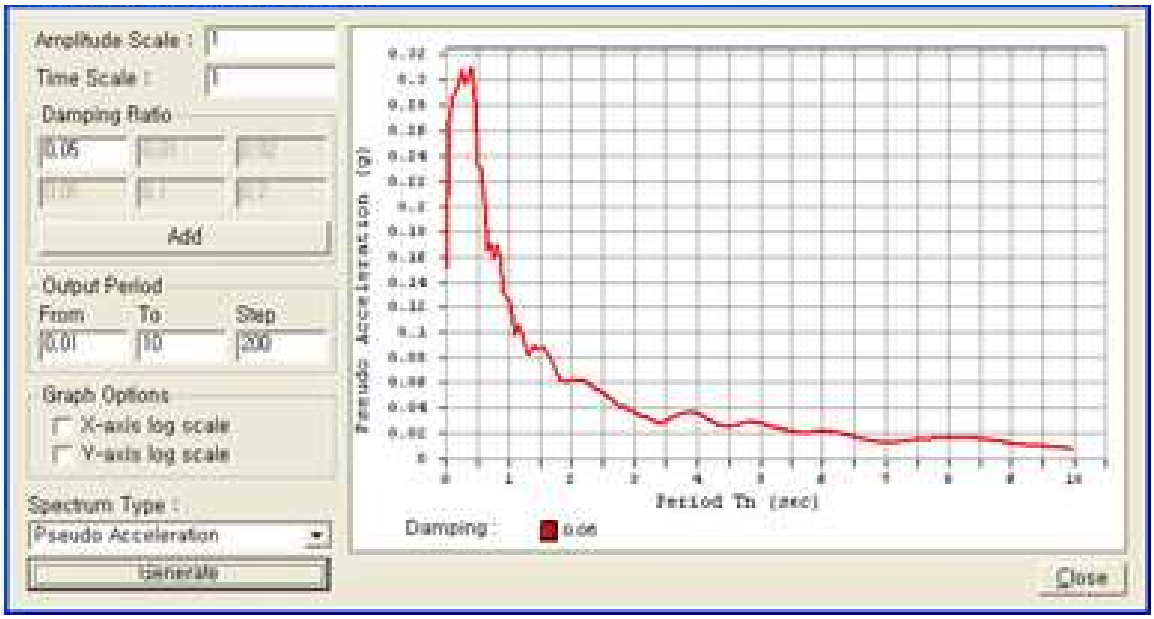
KBC2009:
Zone=1,S=0.22,Site=Sd,Fa=1.36,Fv=1.96,Sds=0.50,Sd1=0.29,Ie=1.2,R=1.0

<그림 3.3.2 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 시간이력 해석용 지진파



<그림 3.3.3 검토에 사용한 지진파 : EL Centro>



<그림 3.3.4 Earthquake Response Spectrum>

라. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

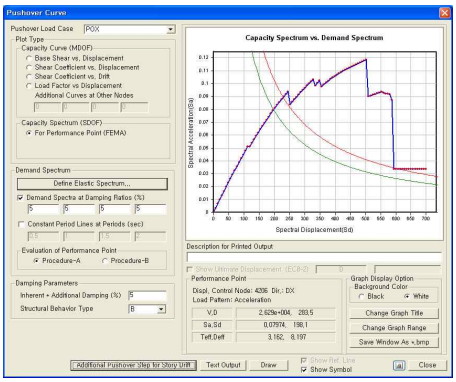
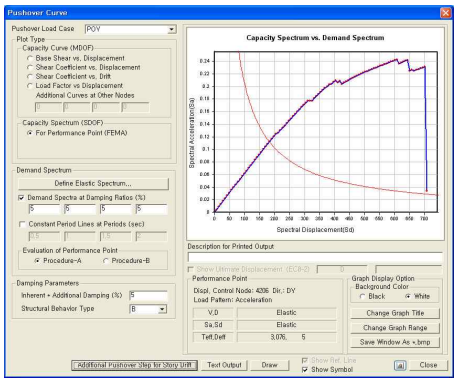
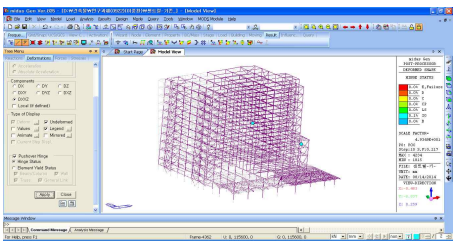
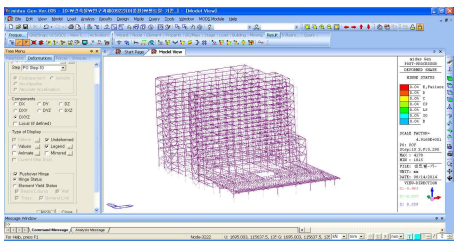
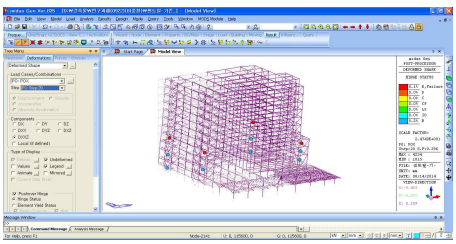
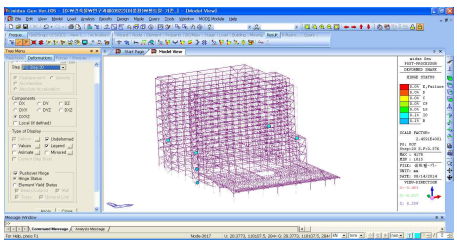
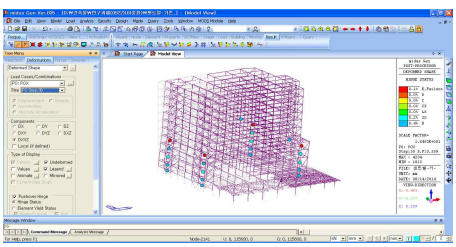
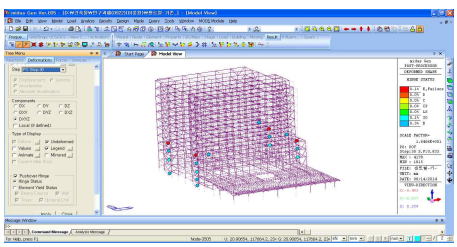
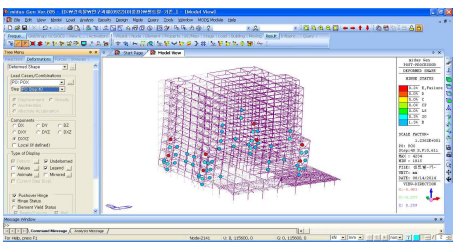
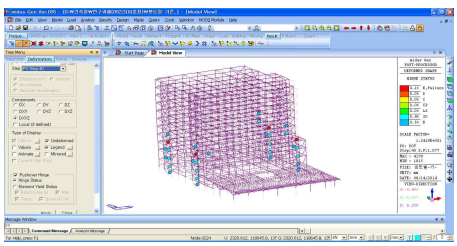
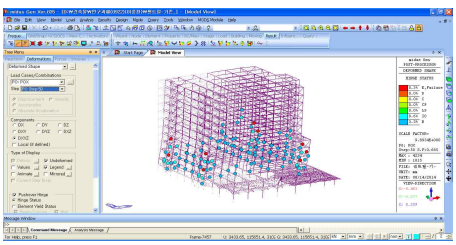
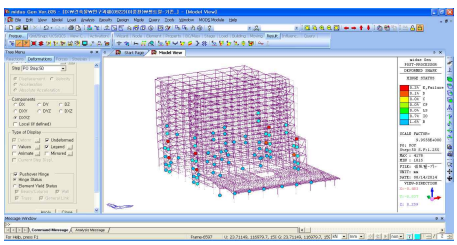
<표 3.3.2 Case별 내진성능평가 수행>

Case	내 용	비 고
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	시간이력 해석 (EL Centro)
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	시간이력 해석 (EL Centro)

마. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

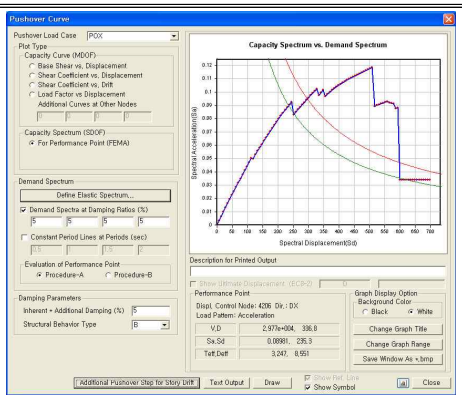
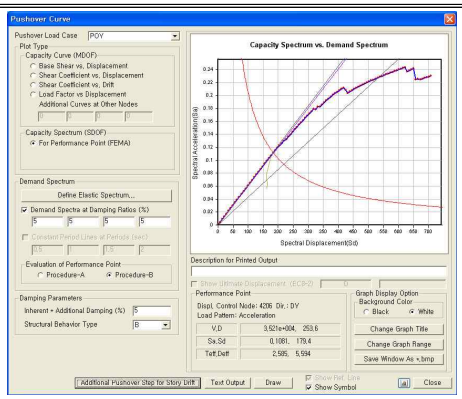
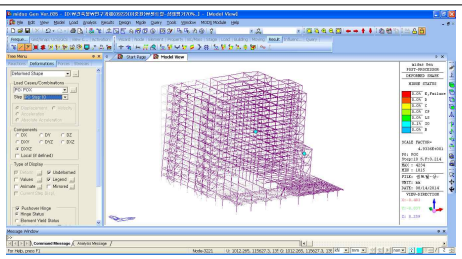
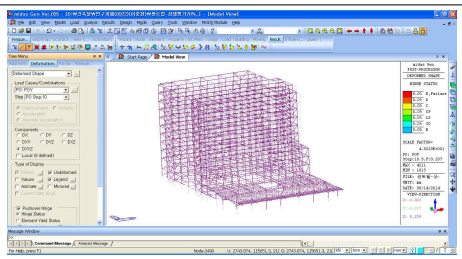
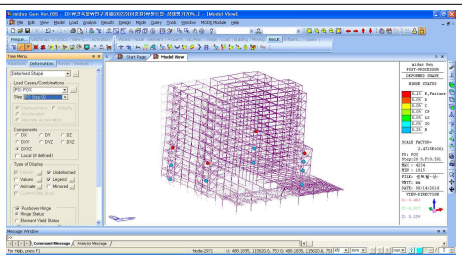
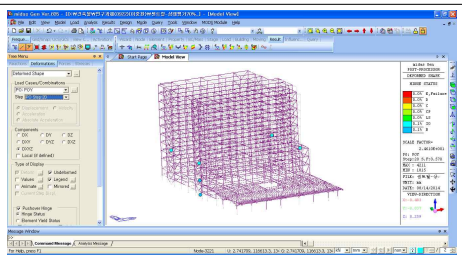
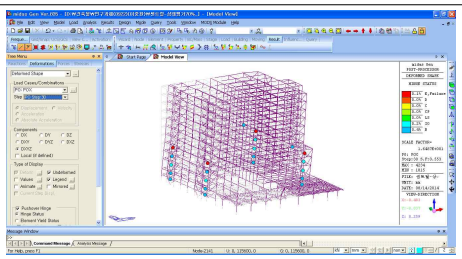
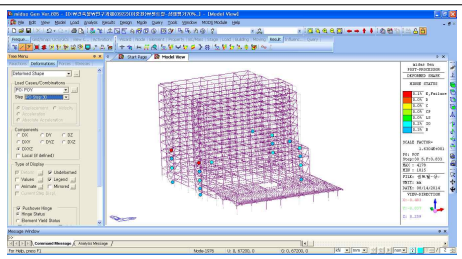
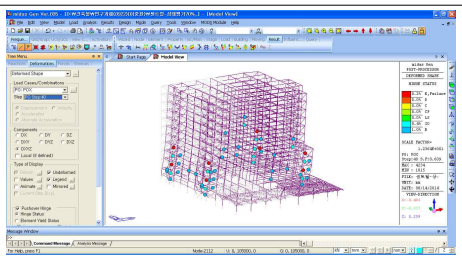
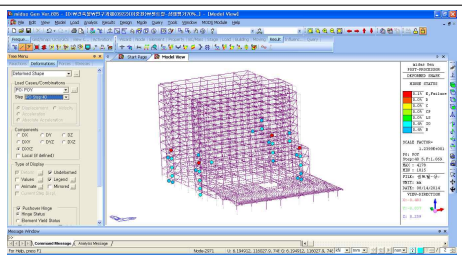
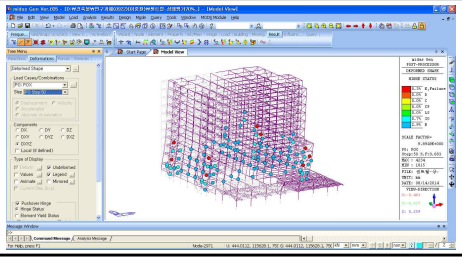
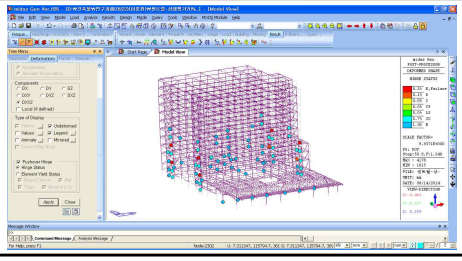
(1) Case 1

<표 3.3.3 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

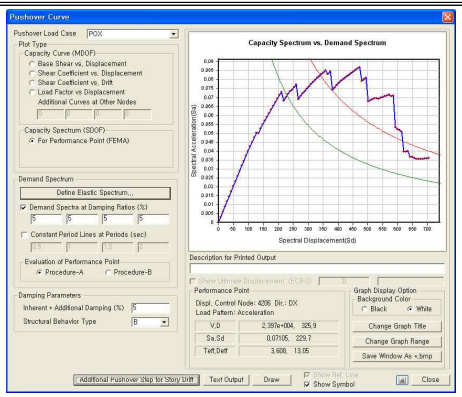
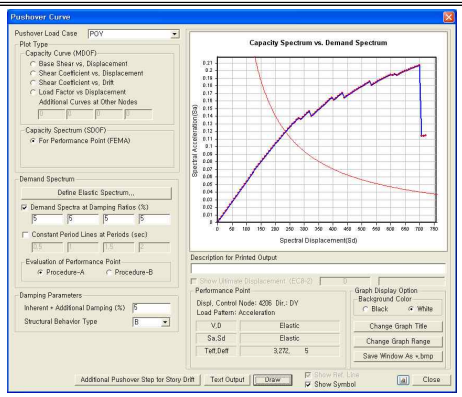
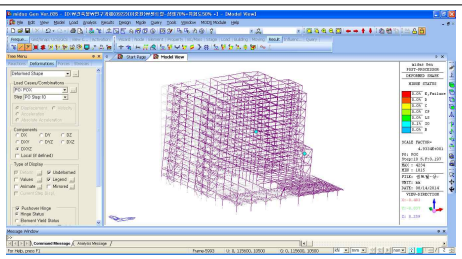
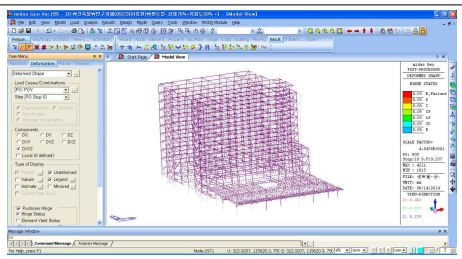
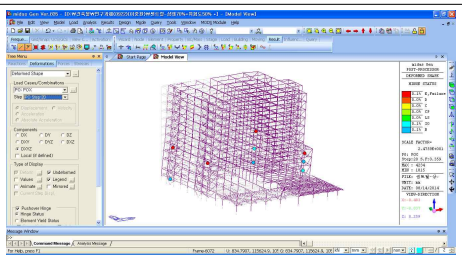
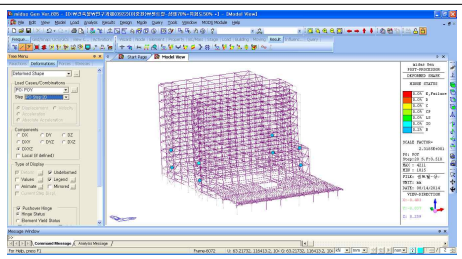
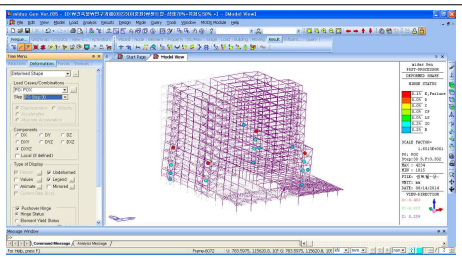
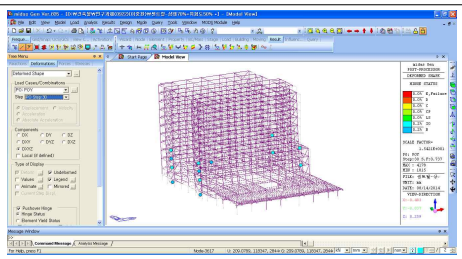
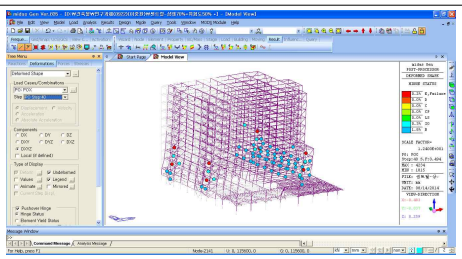
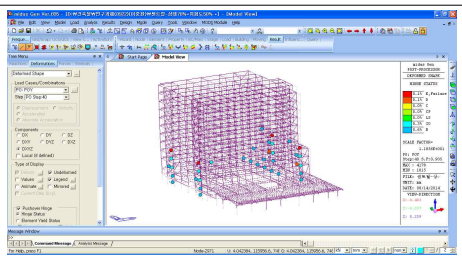
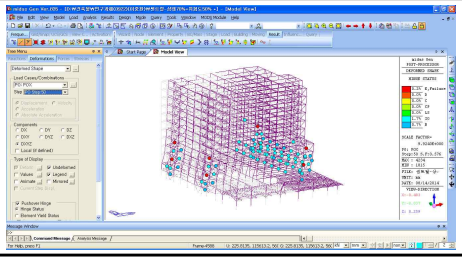
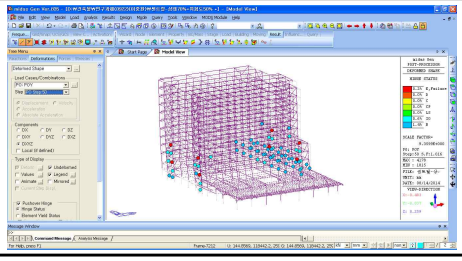
(2) Case 2

<표 3.3.4 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

(3) Case 3

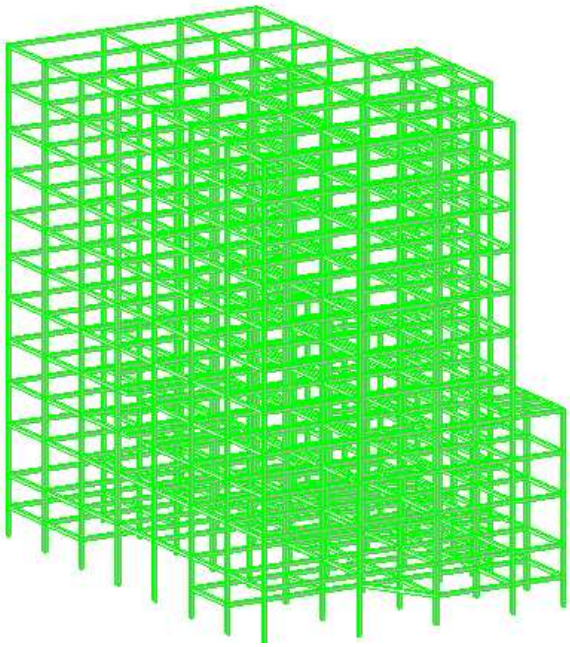
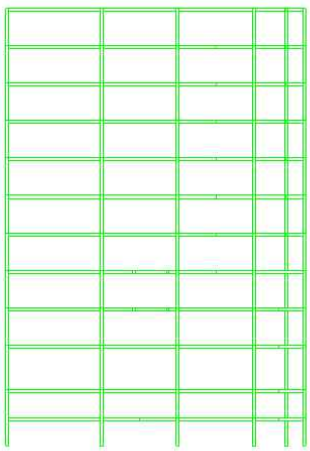
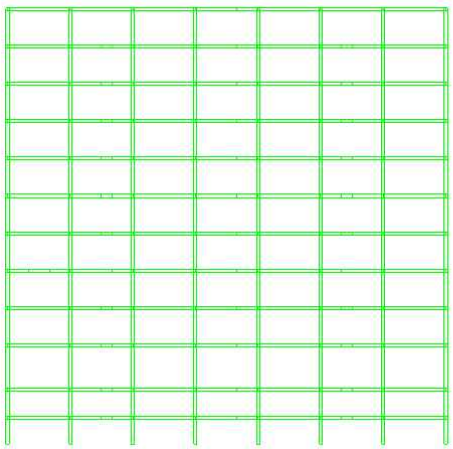
<표 3.3.5 Case 3 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

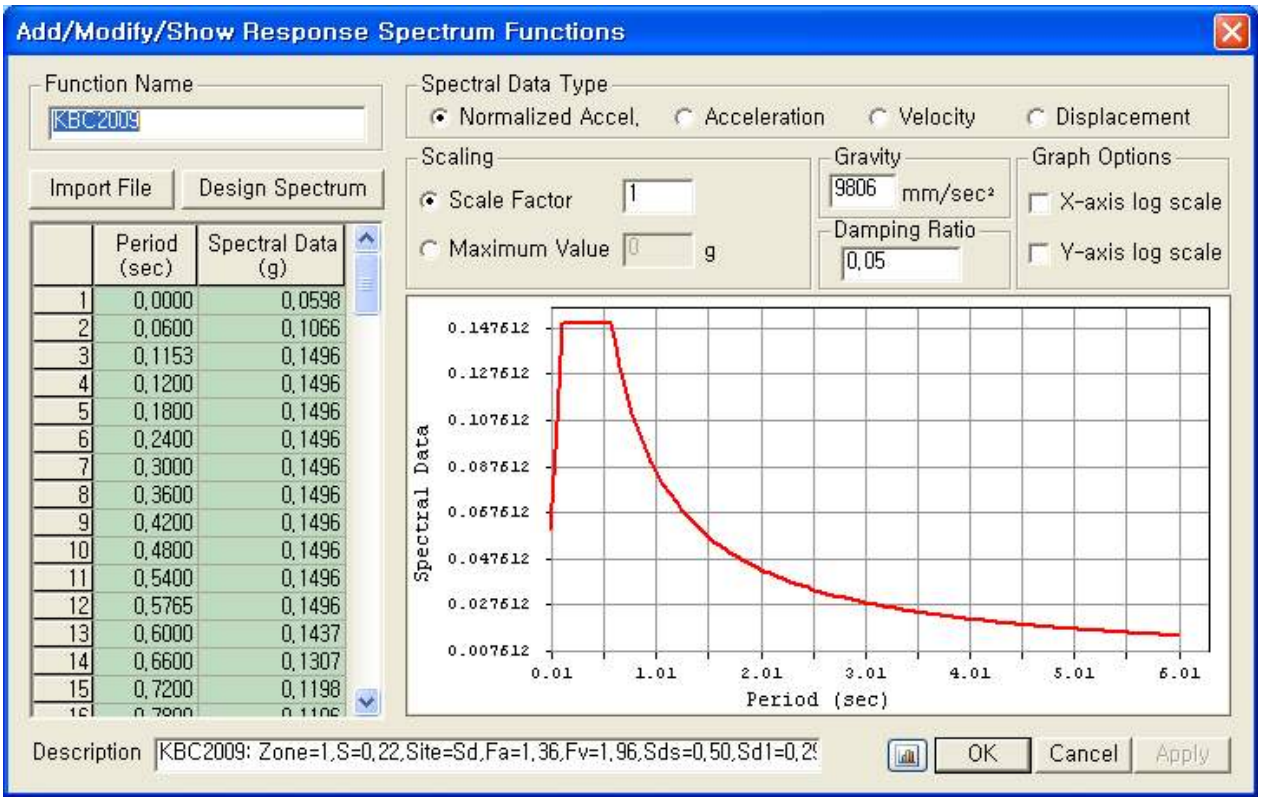
3.3.2 철근콘크리트구조(대형 규모)

가. 대상 시설물 현황

<표 3.3.6 대상 시설물 세부사항>

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">세부 사항</th></tr>
<tr><td>개요도</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>세부형상</td><td> 
정면도</td><td> 
측면도</td></tr>
<tr><td>형식</td><td colspan="2">위치 : 서울
시설물명 : ooo타워(복합시설물)
구조 : 철근콘크리트구조
12층 구조물</td></tr>
</table>

나. 설계용 응답스펙트럼

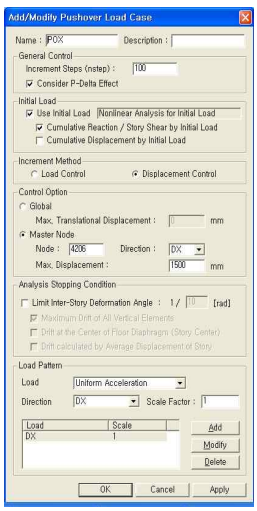
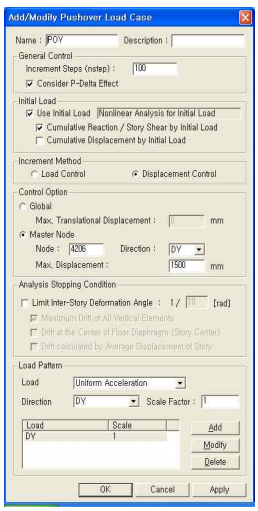


Zone=1,S=0.22,Site=Sd,Fa=1.36,Fv=1.96,Sds=0.50,Sd1=0.29,Ie=1.2,R=4.0

<그림 3.3.5 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

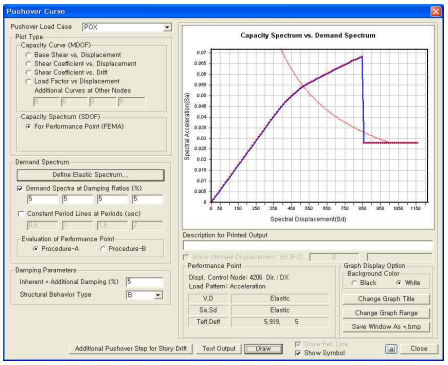
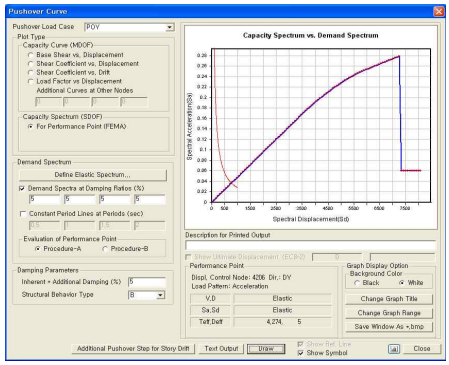
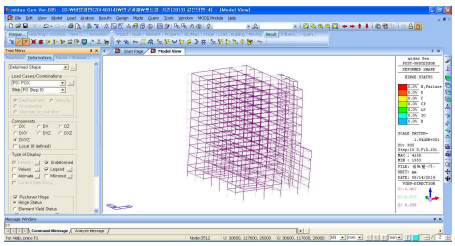
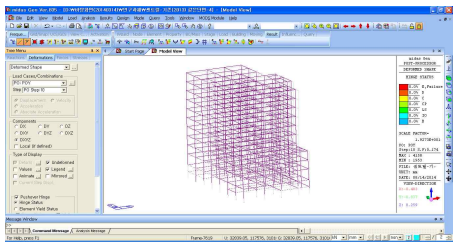
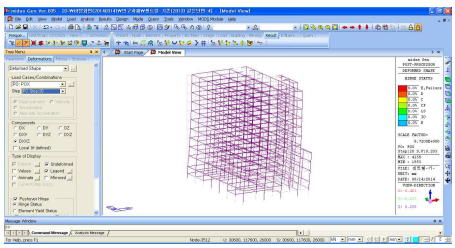
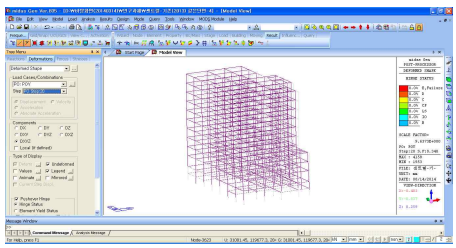
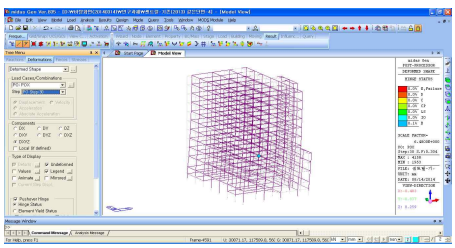
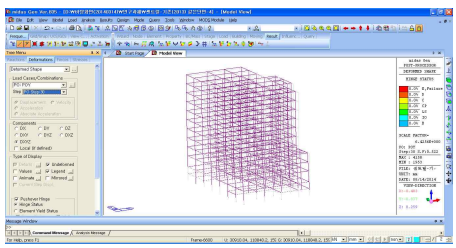
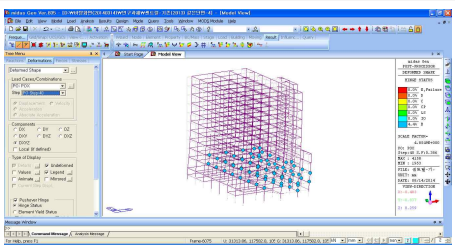
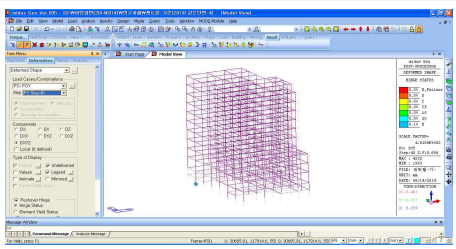
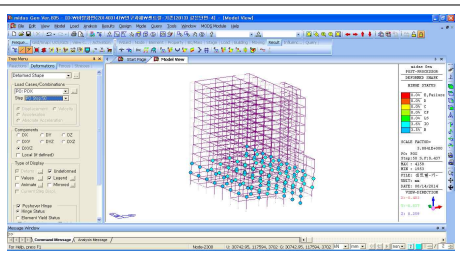
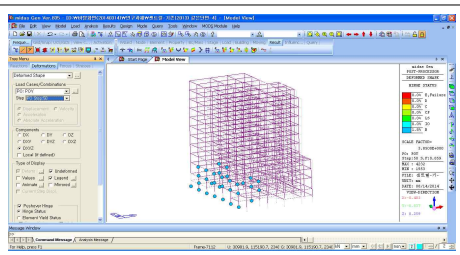
<표 3.3.7 대상 시설물 세부사항>

Case	내 용	비 고
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	 
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	

라. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

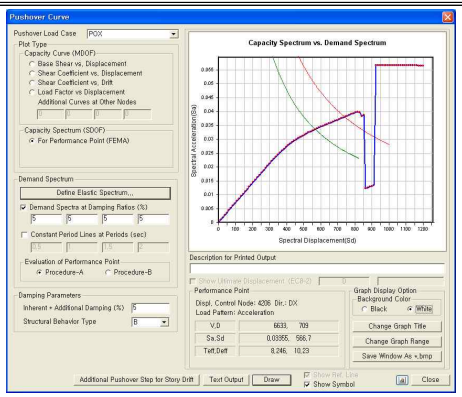
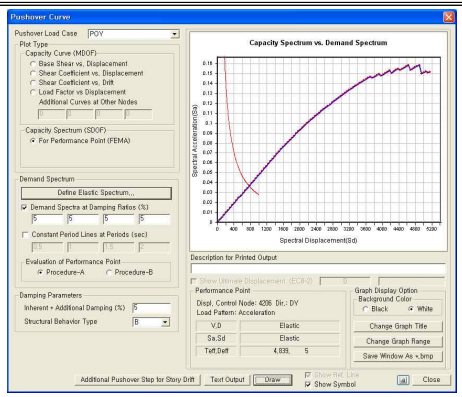
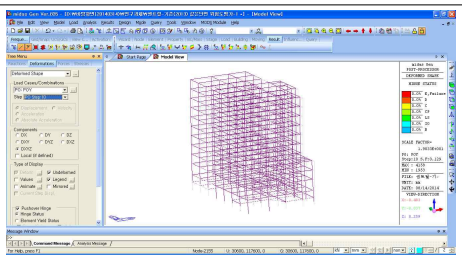
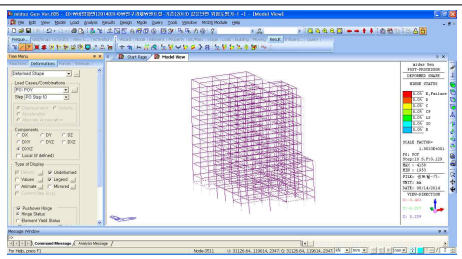
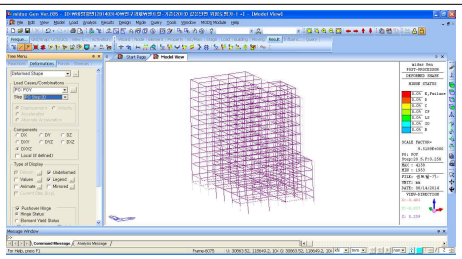
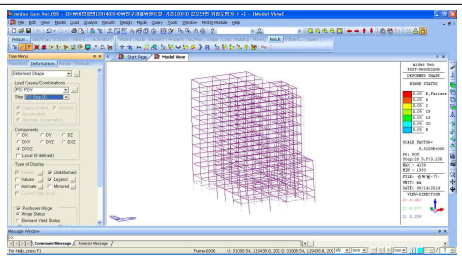
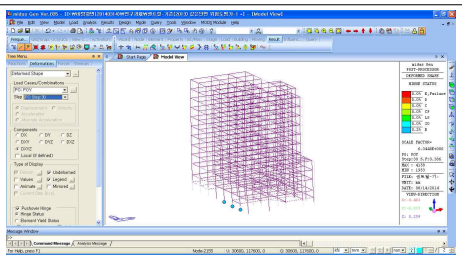
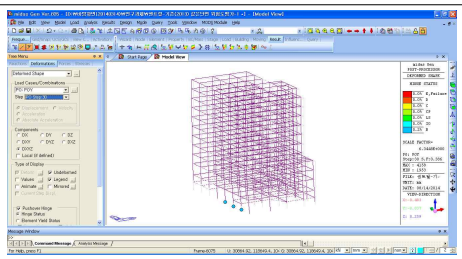
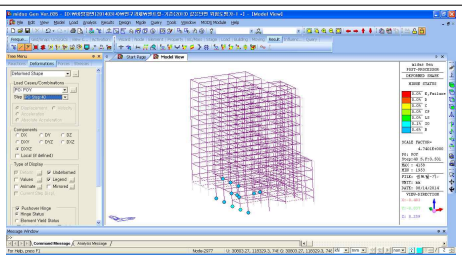
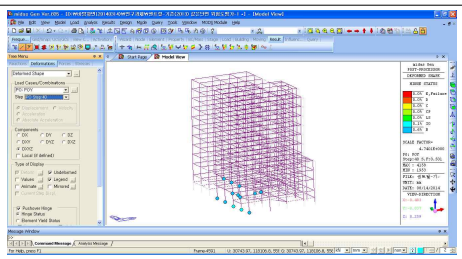
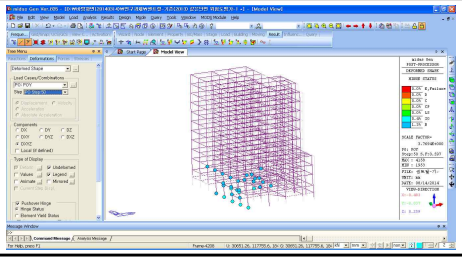
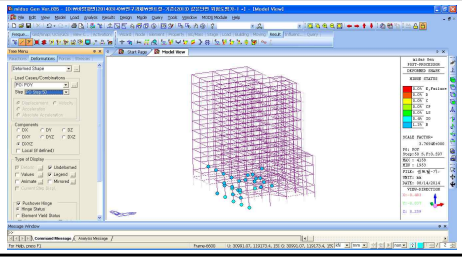
(1) Case 1

<표 3.3.8 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

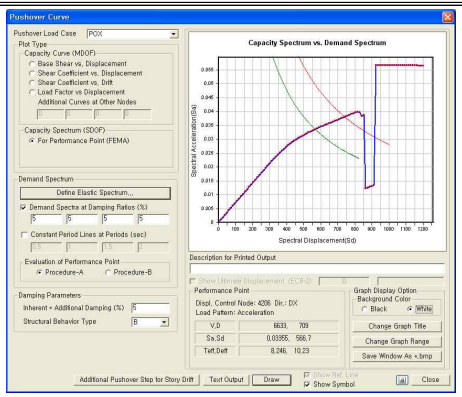
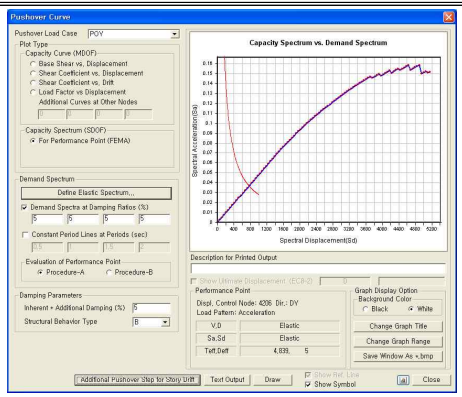
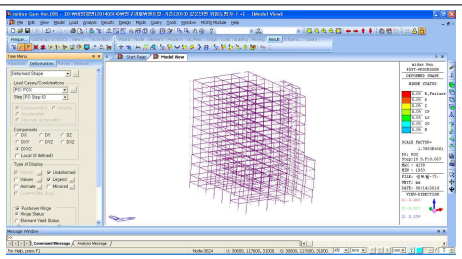
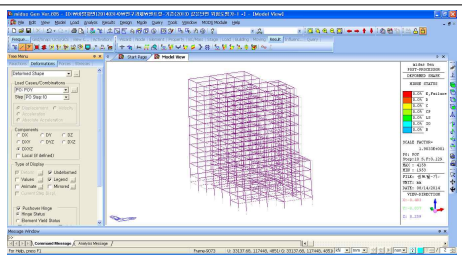
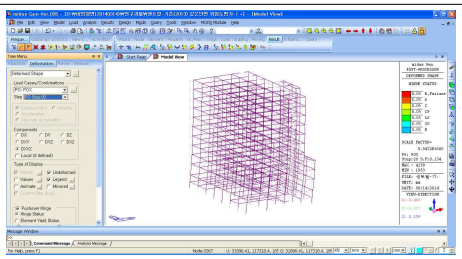
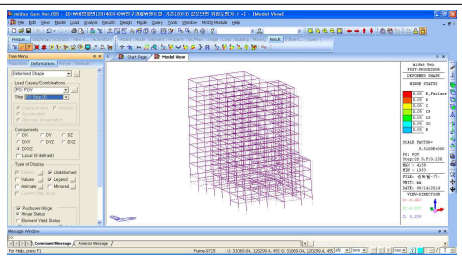
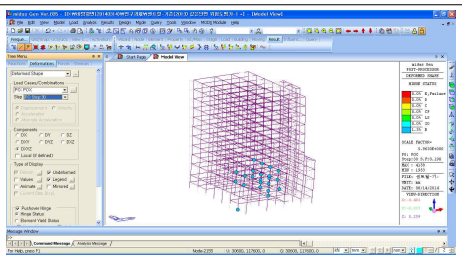
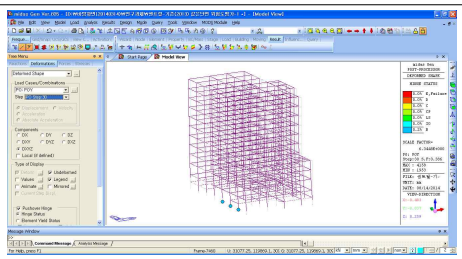
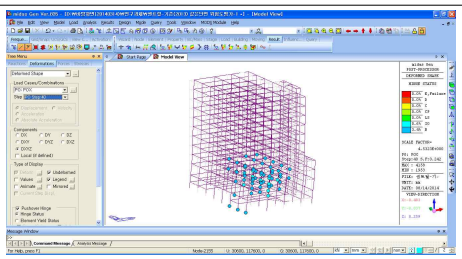
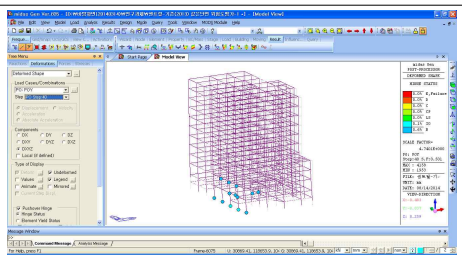
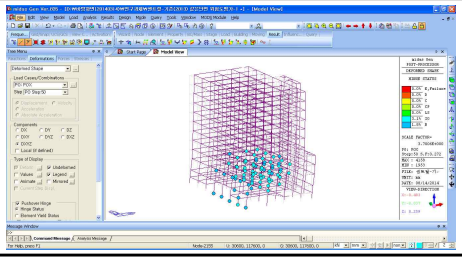
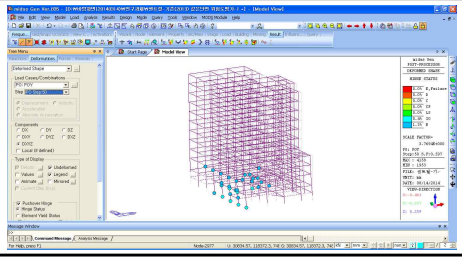
(2) Case 2

<표 3.3.9 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

(3) Case 3

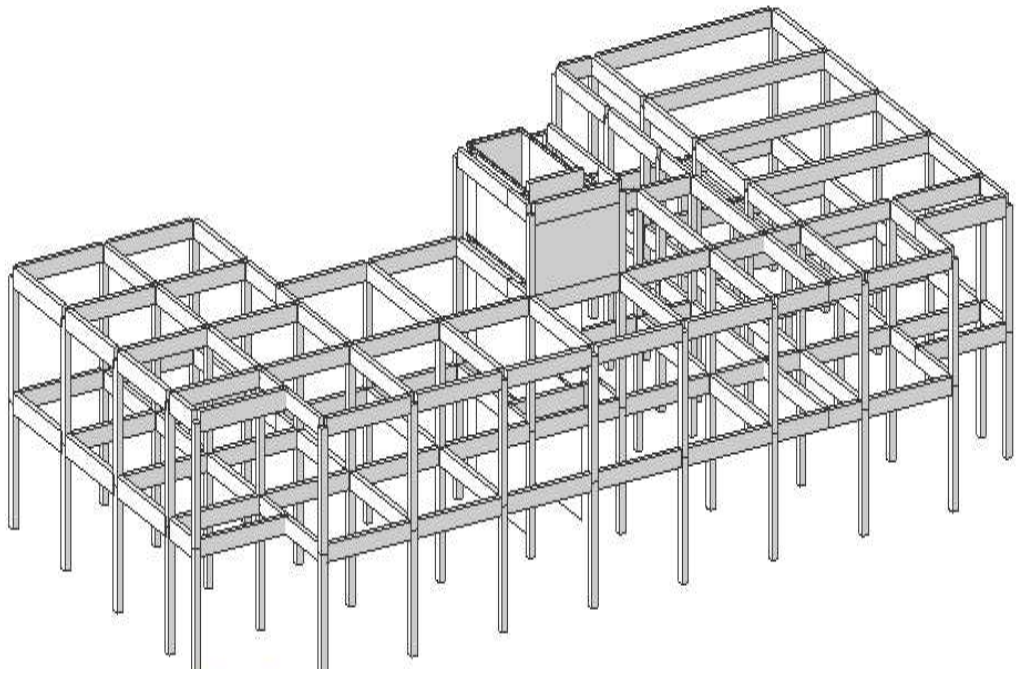
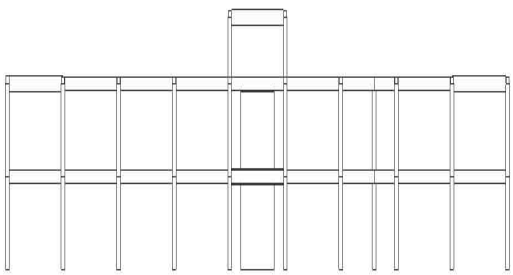
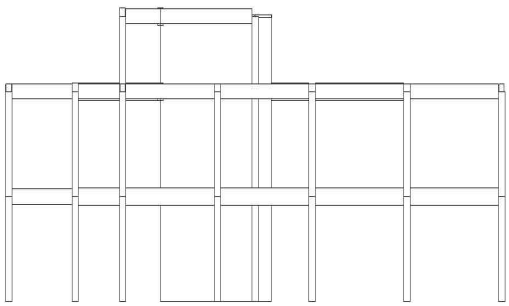
<표 3.3.10 Case 3 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

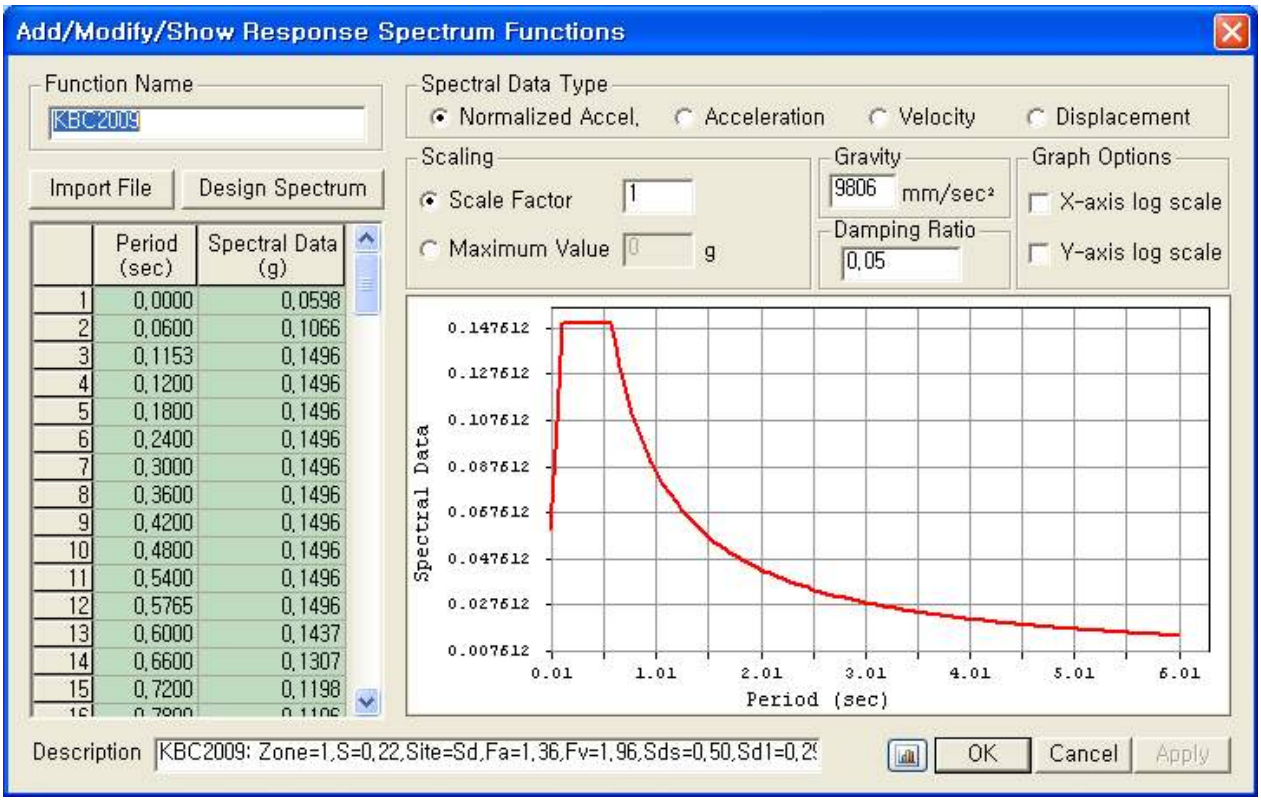
3.3.3 철근콘크리트구조(중소형 규모1/2)

가. 대상 시설물 현황

<표 3.3.11 대상 시설물 세부사항>

구분	세부 사항	
개요도		
세부형상	 정면도	 측면도
형식	위치 : 부산 시설물명 : oo처리시설동(공용시설물) 구조 : 철근콘크리트구조 3층 구조물	

나. 설계용 응답스펙트럼

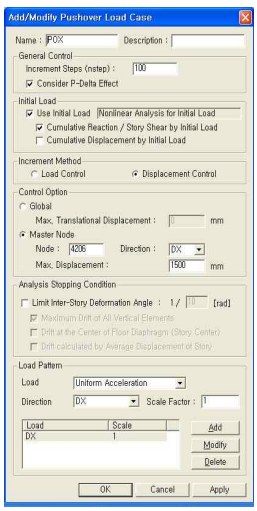
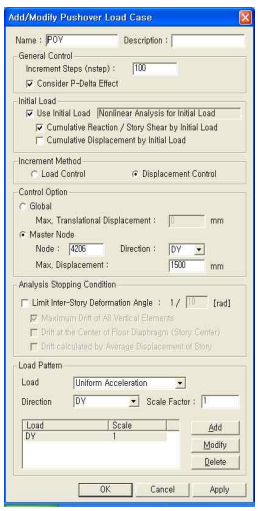


Zone=1,S=0.22,Site=Sd,Fa=1.36,Fv=1.96,Sds=0.50,Sd1=0.29,Ie=1.2,R=4.0

<그림 3.3.6 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

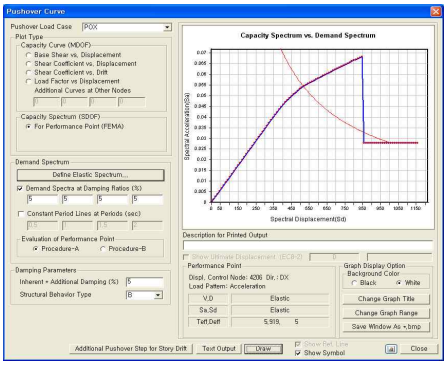
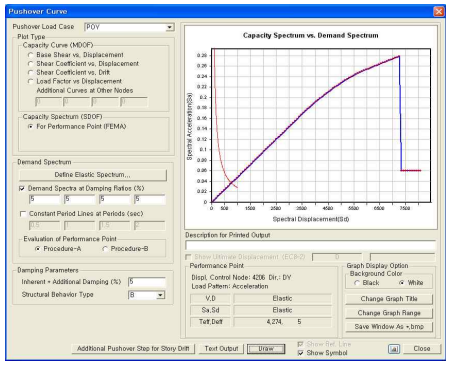
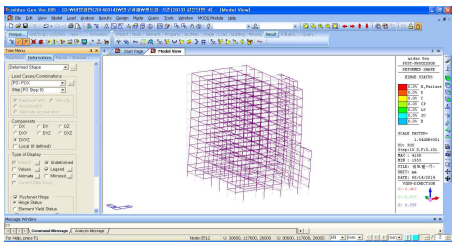
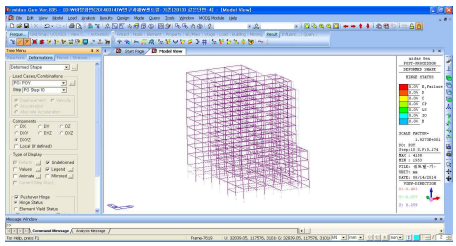
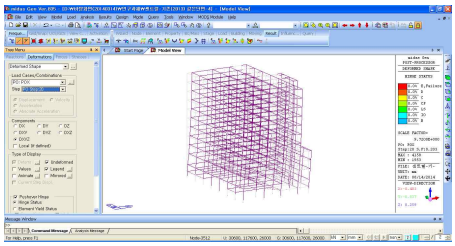
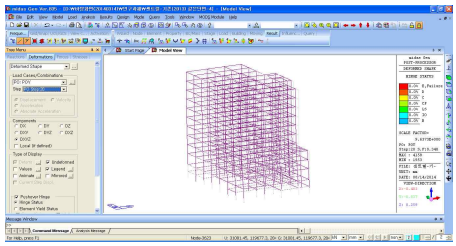
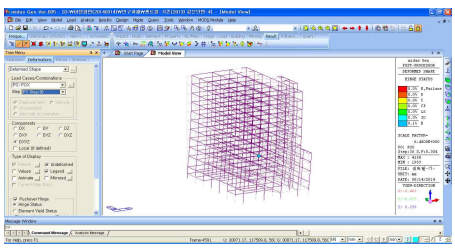
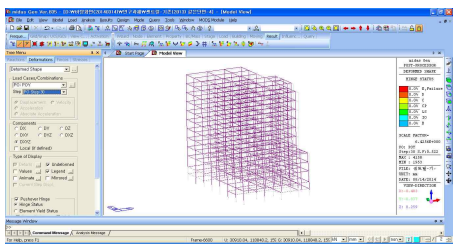
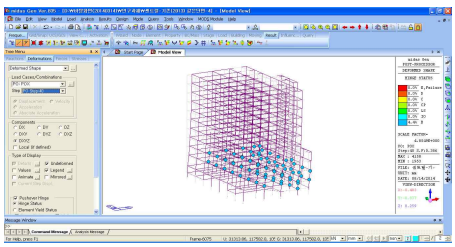
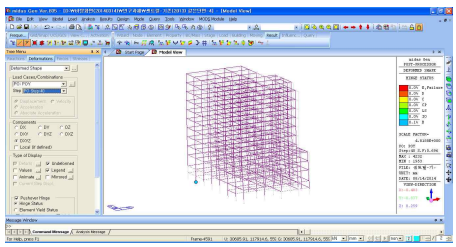
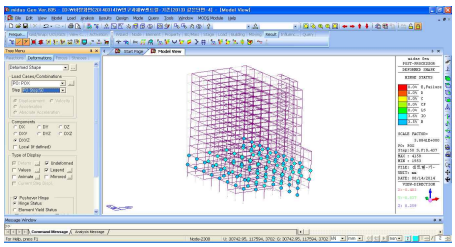
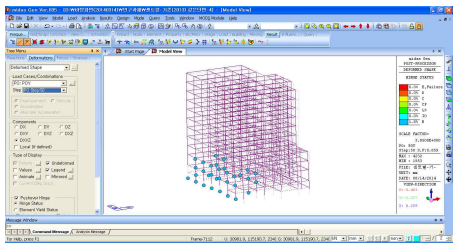
<표 3.3.12 대상 시설물 세부사항>

Case	내 용	비 고
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	 
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	

라. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

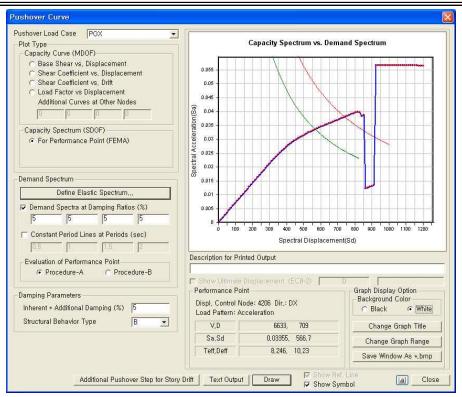
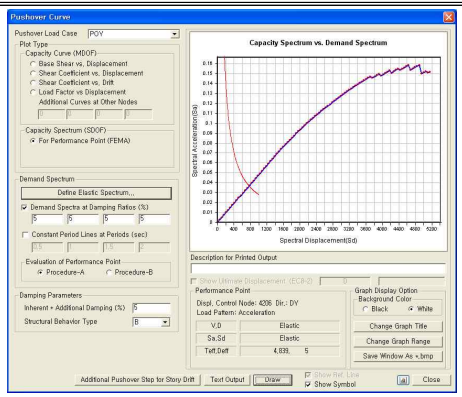
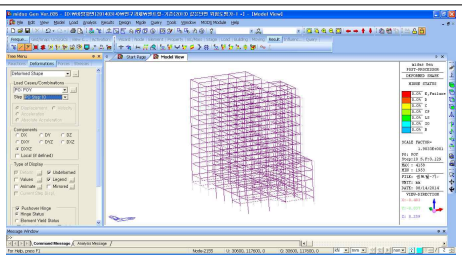
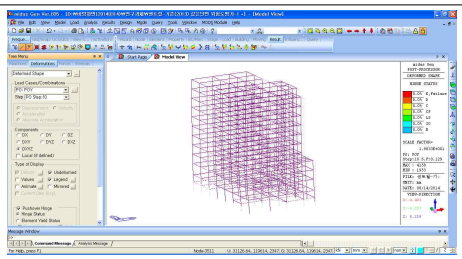
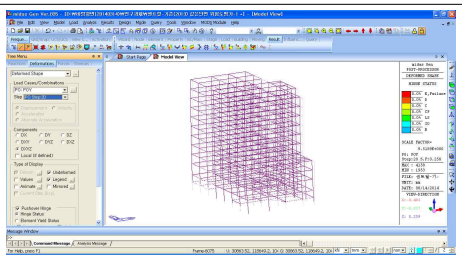
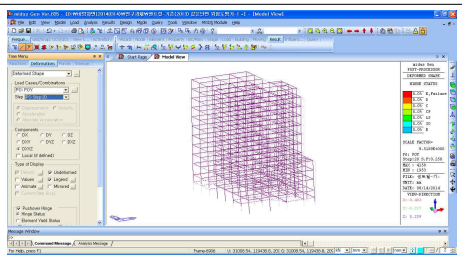
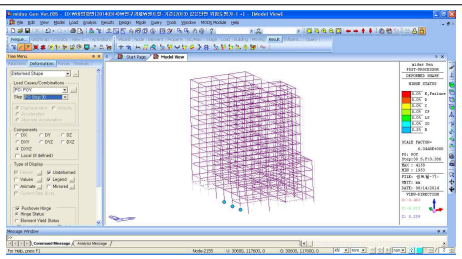
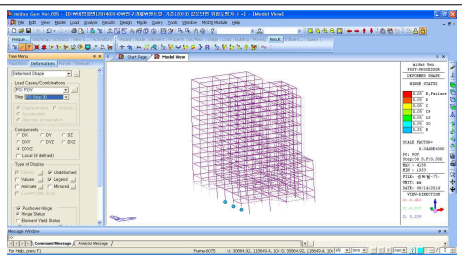
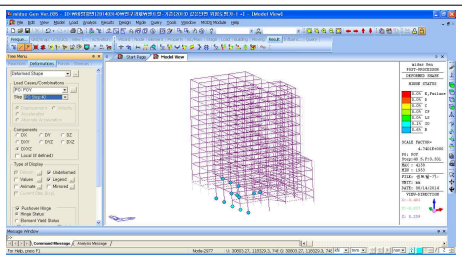
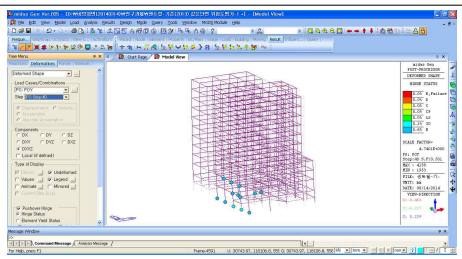
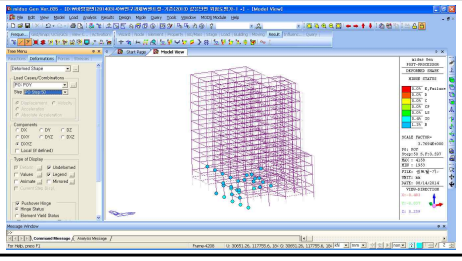
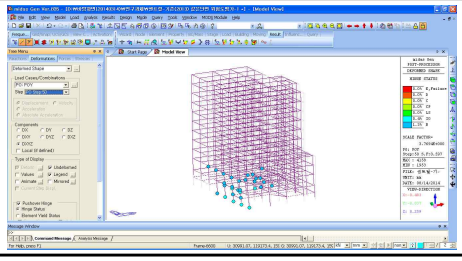
(1) Case 1

<표 3.3.13 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

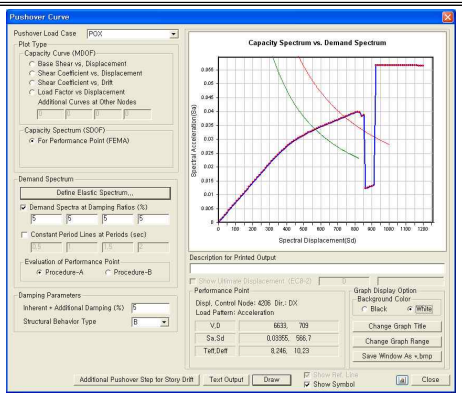
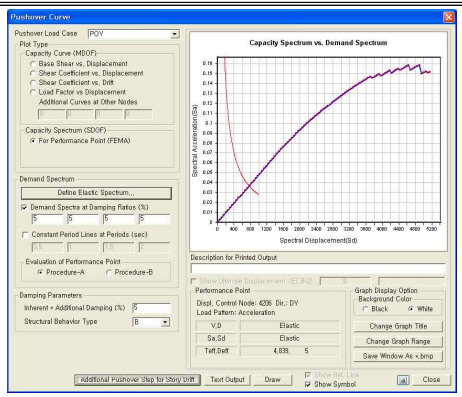
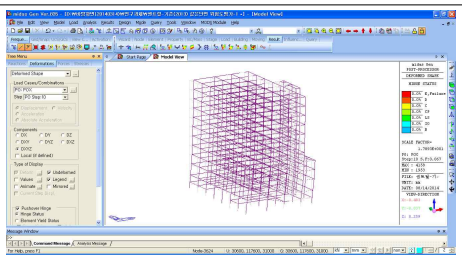
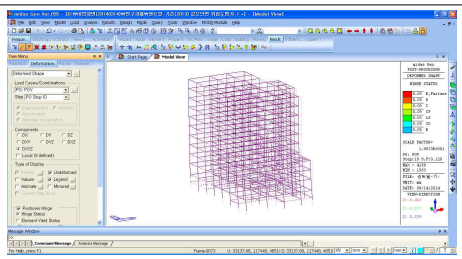
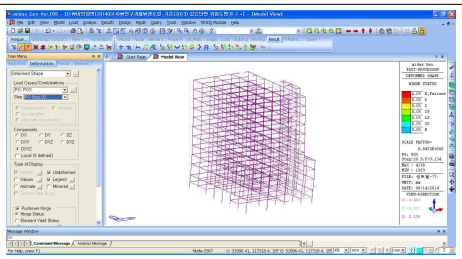
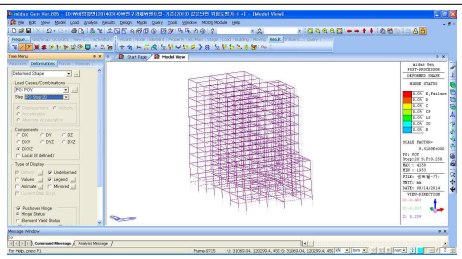
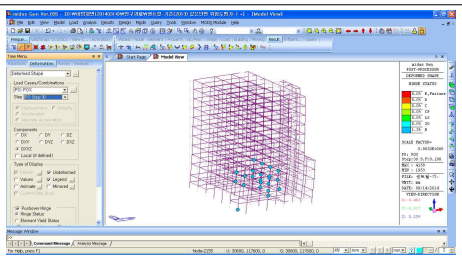
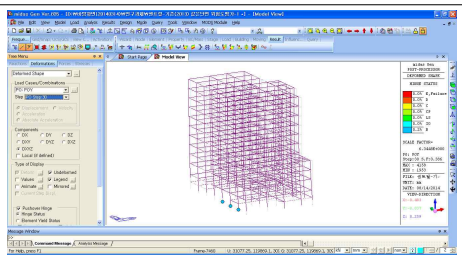
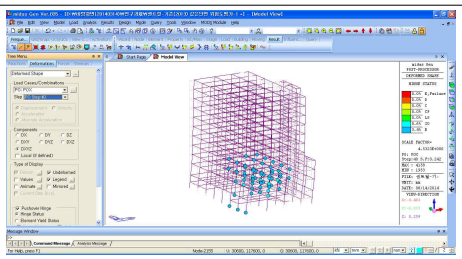
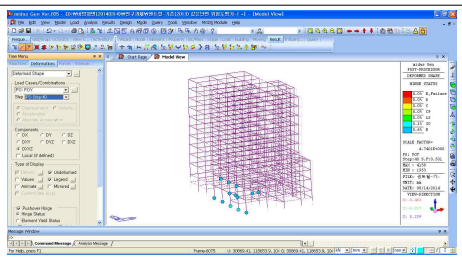
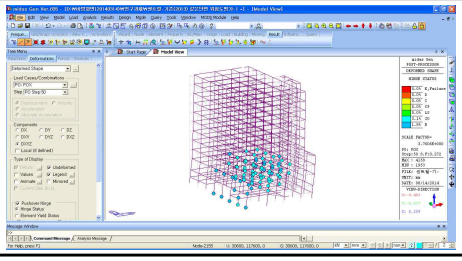
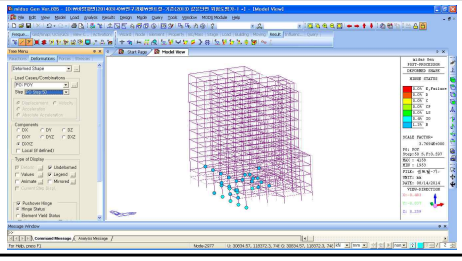
(2) Case 2

<표 3.3.14 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

(3) Case 3

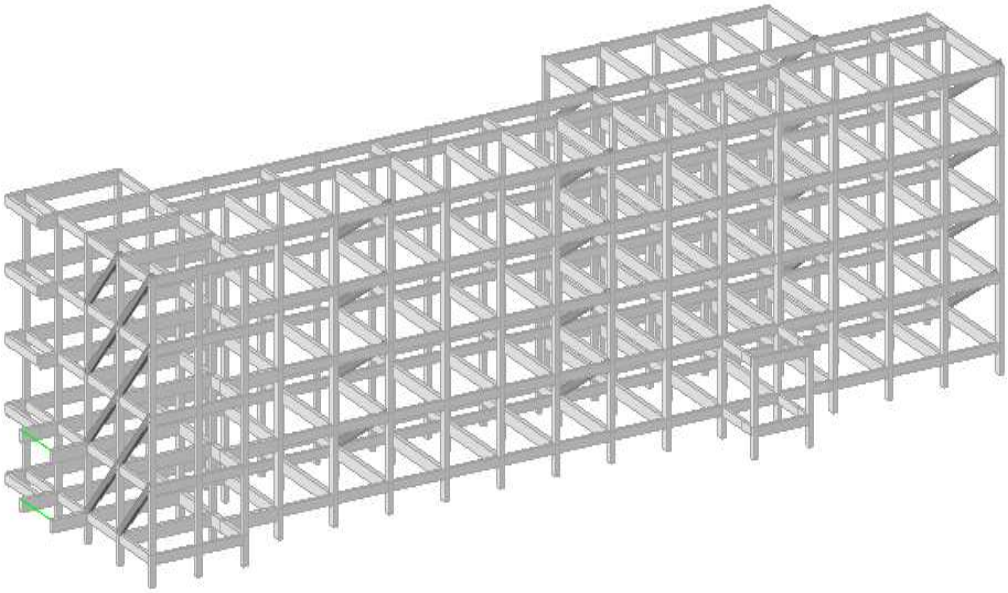
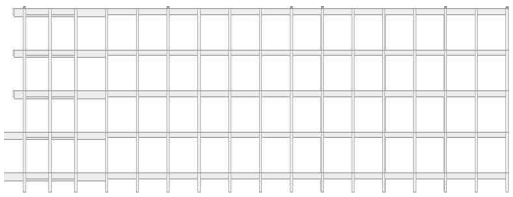
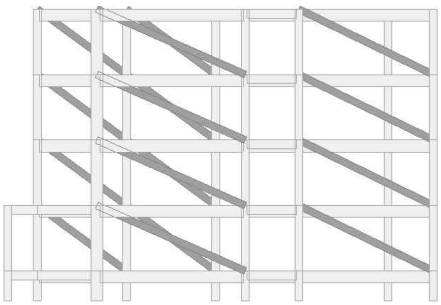
<표 3.3.15 Case 3 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

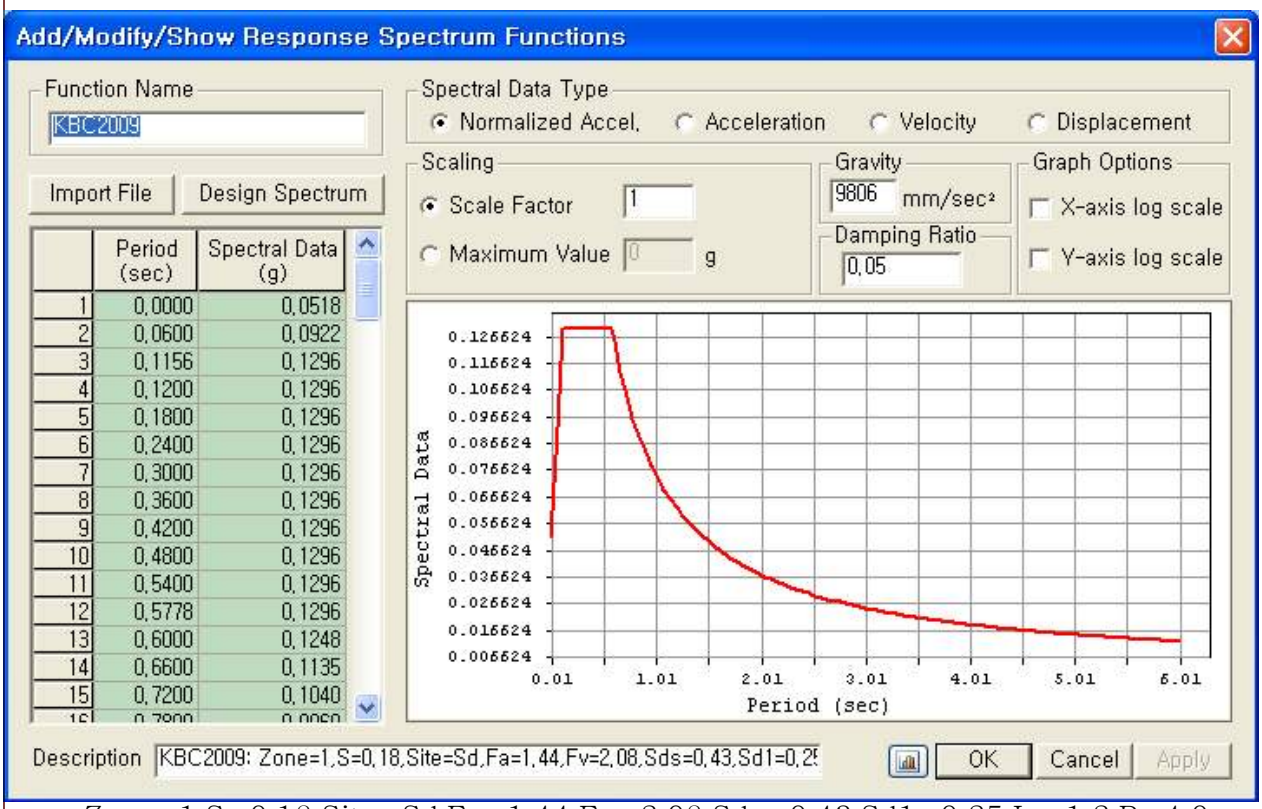
3.3.4 철근콘크리트구조(중소형 규모2/2)

가. 대상 시설물 현황

<표 3.3.16 대상 시설물 세부사항>

구분	세부 사항	
개요도		
세부형상	 정면도	 측면도
형식	위치 : 인천 시설물명 : oo초등학교 구조 : 철근콘크리트구조 + 조적식 4층 구조물	

나. 설계용 응답스펙트럼

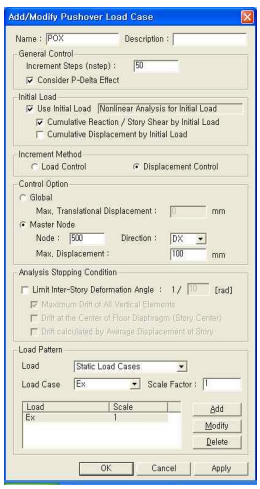
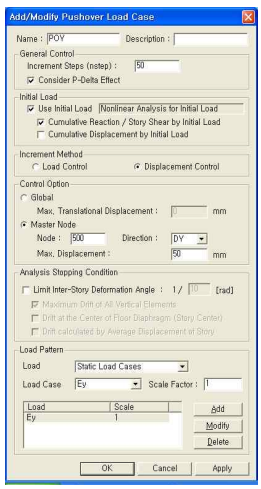


Zone=1,S=0.18,Site=Sd,Fa=1.44,Fv=2.08,Sds=0.43,Sd1=0.25,Ie=1.2,R=4.0

<그림 3.3.7 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

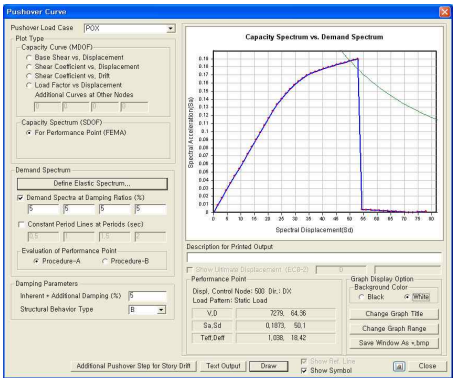
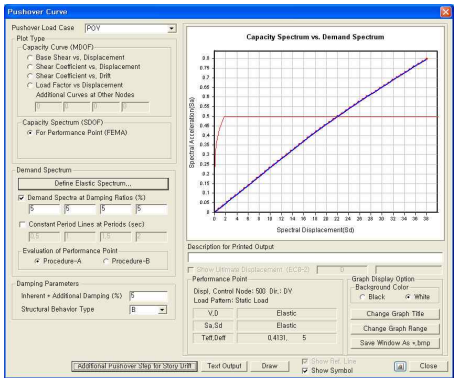
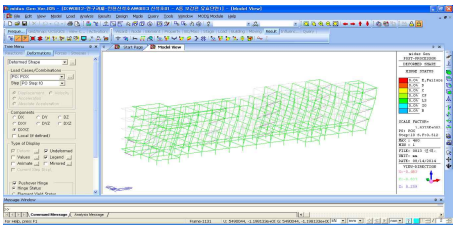
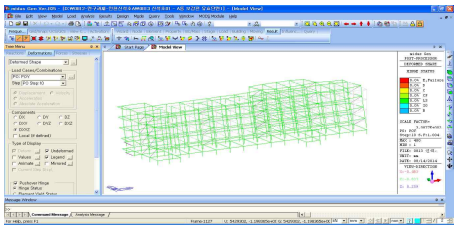
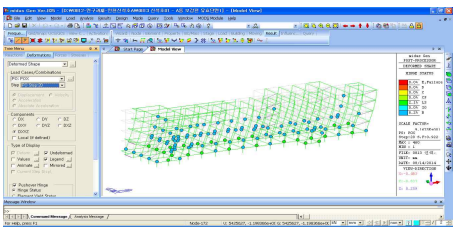
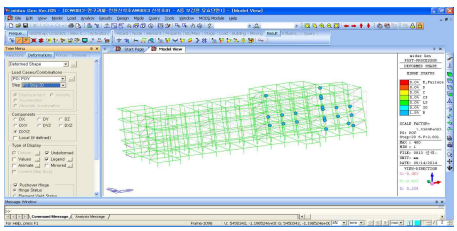
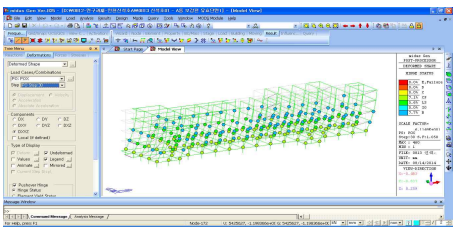
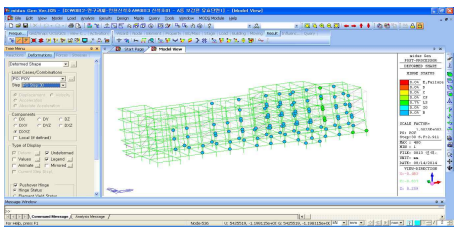
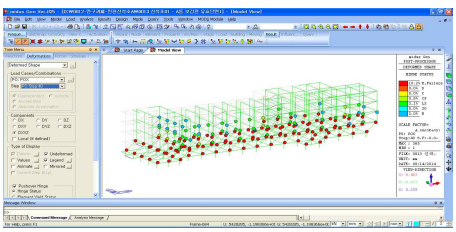
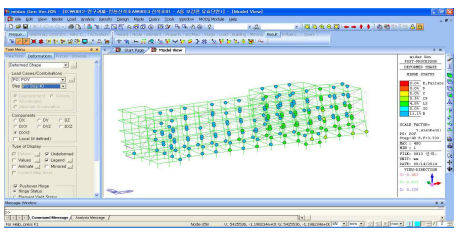
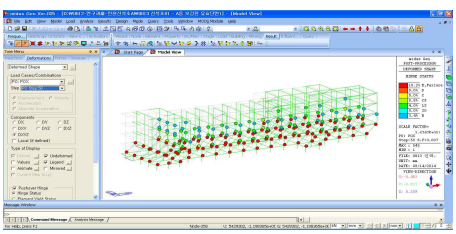
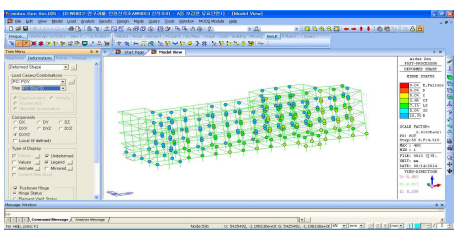
<표 3.3.17 대상 시설물 세부사항>

Case	내 용	비 고
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	 
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	

라. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

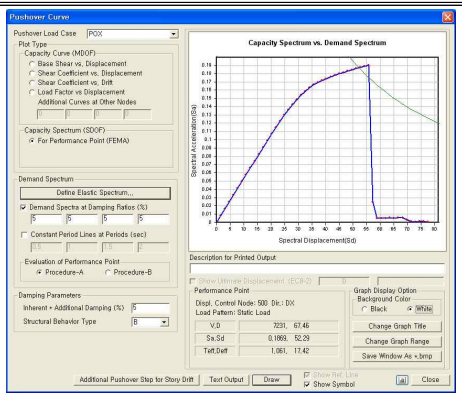
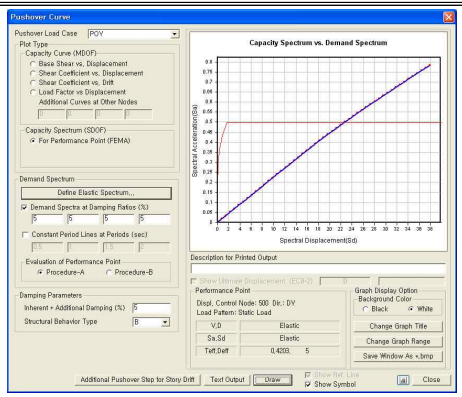
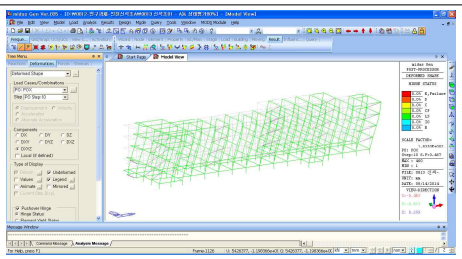
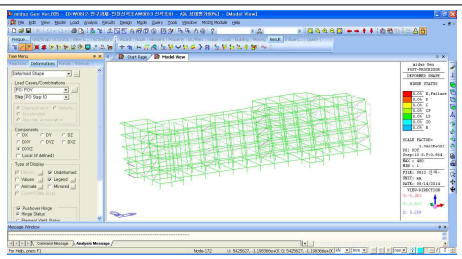
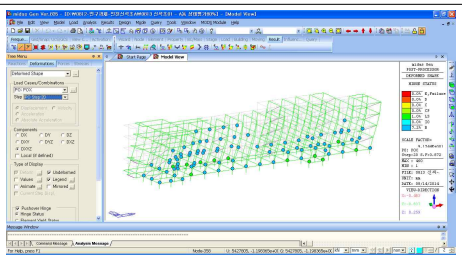
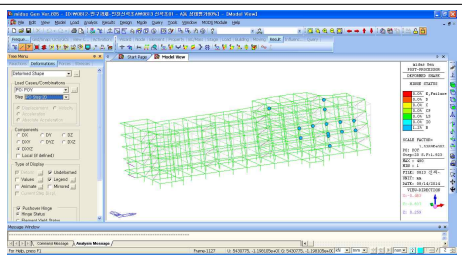
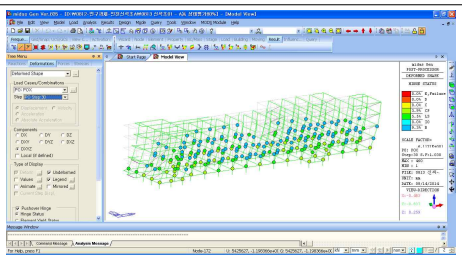
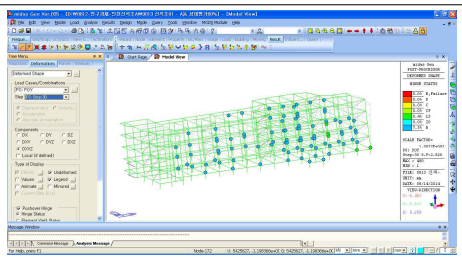
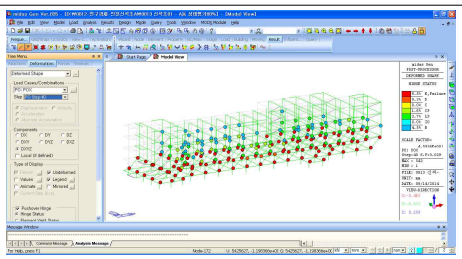
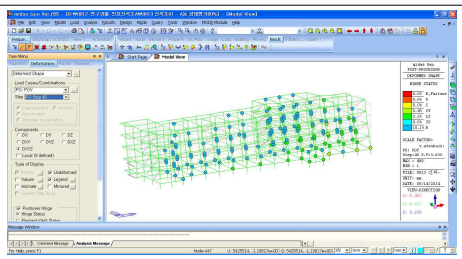
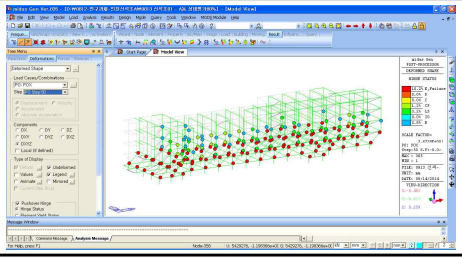
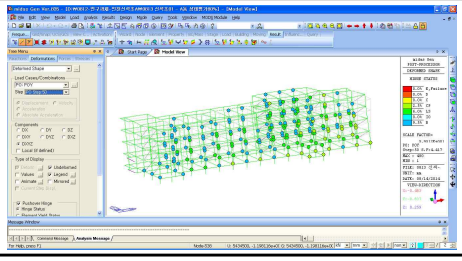
(1) Case 1

<표 3.3.18 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

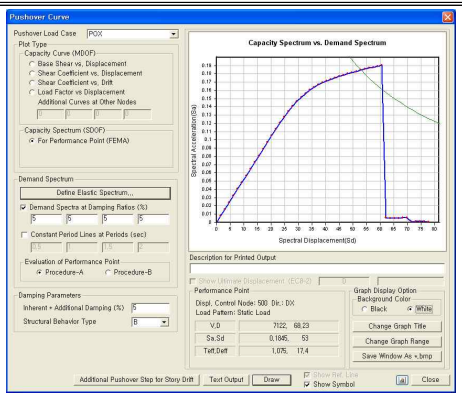
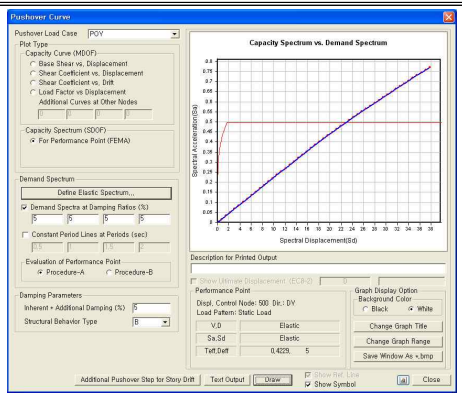
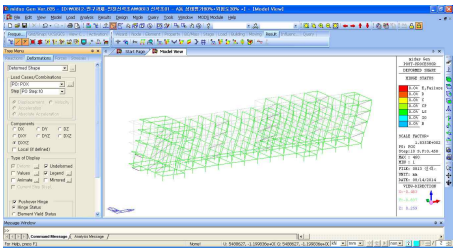
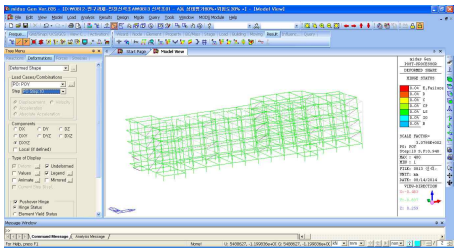
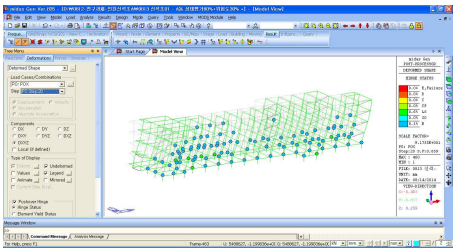
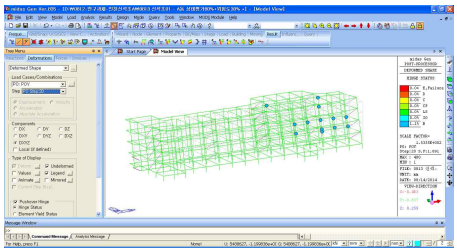
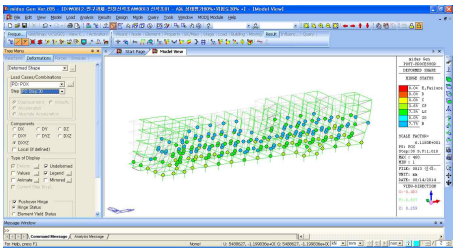
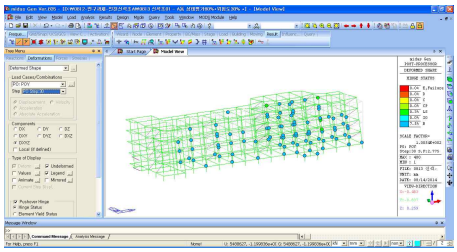
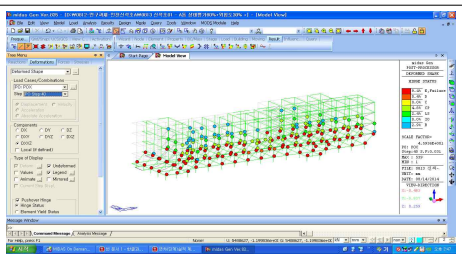
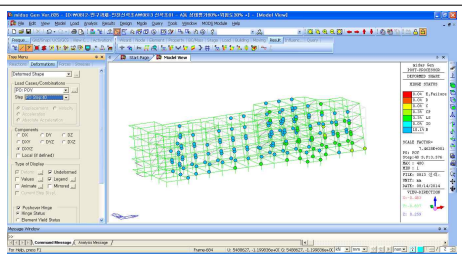
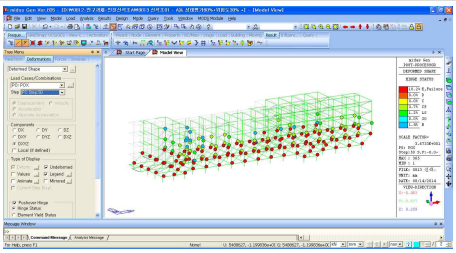
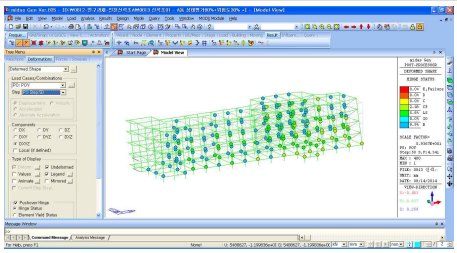
(2) Case 2

<표 3.3.19 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

(3) Case 3

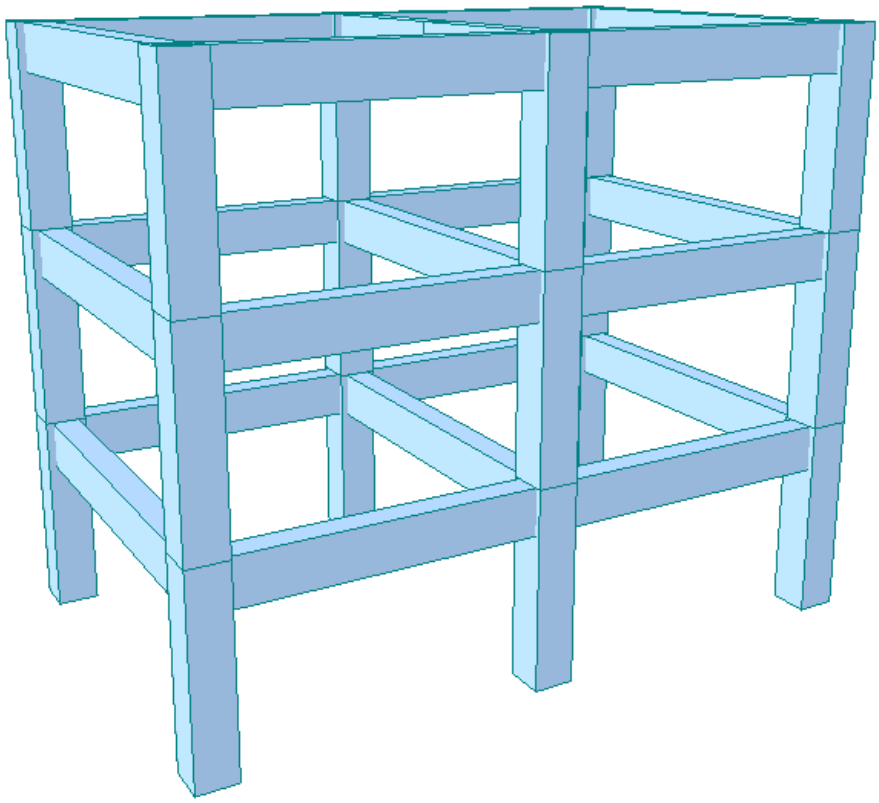
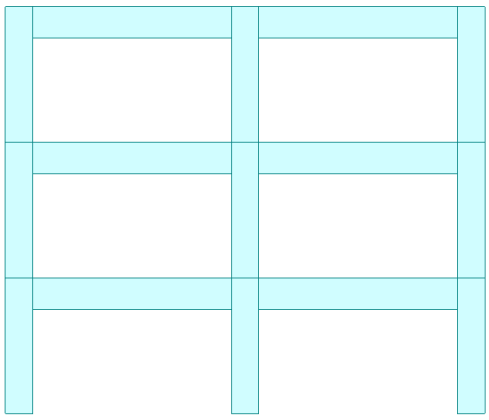
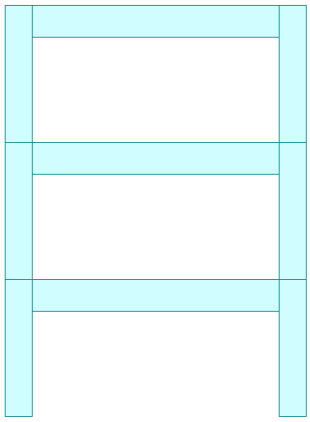
<표 3.3.20 Case 3 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)	Y방향(단방향)
성능곡선			
힌지분포	step 10		
	step 20		
	step 30		
	step 40		
	step 50		

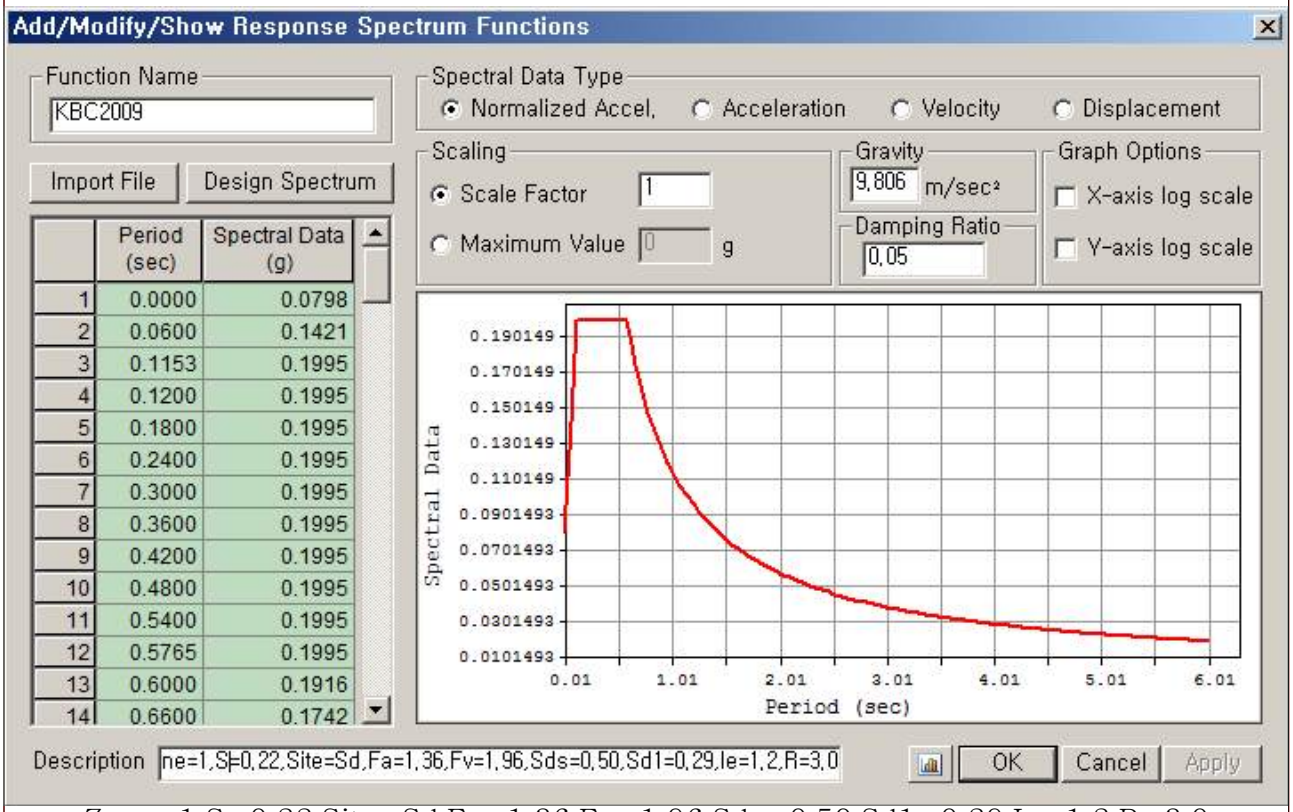
3.3.5 철근콘크리트구조 (프로그램 검증용)

가. 대상 시설물 현황

<표 3.3.21 대상 시설물 세부사항>

구분	세부 사항	
개요도		
세부형상	 정면도	 측면도
비고	평가용 프로그램 검증 및 사용성 검토를 위한 모델	

나. 설계용 응답스펙트럼

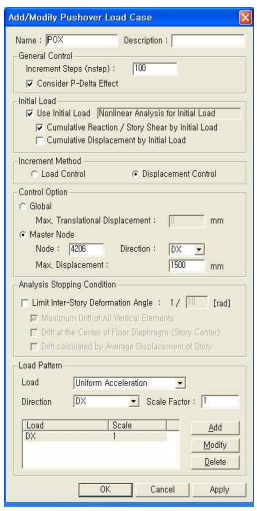
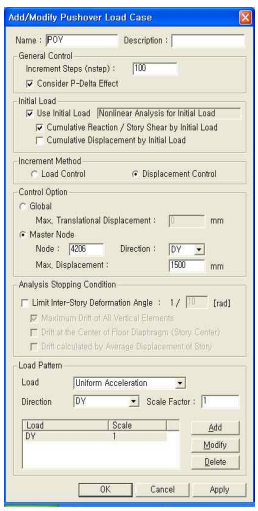


Zone=1,S=0.22,Site=Sd,Fa=1.36,Fv=1.96,Sds=0.50,Sd1=0.29,Ie=1.2,R=3.0

<그림 3.3.8 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

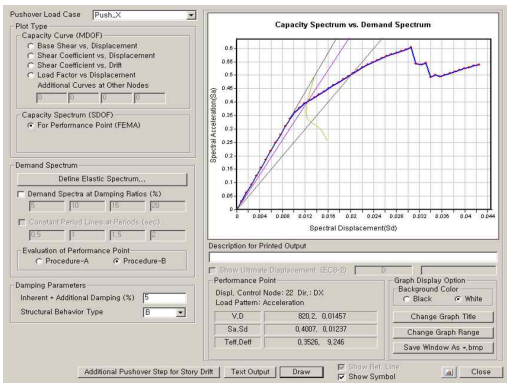
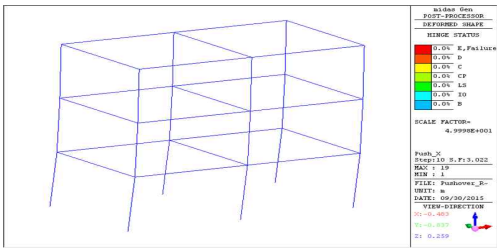
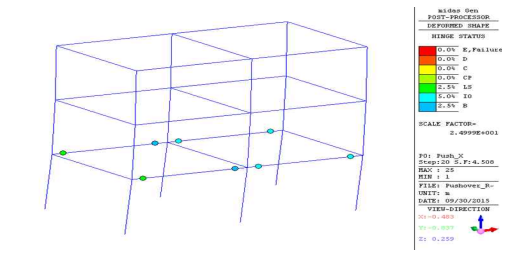
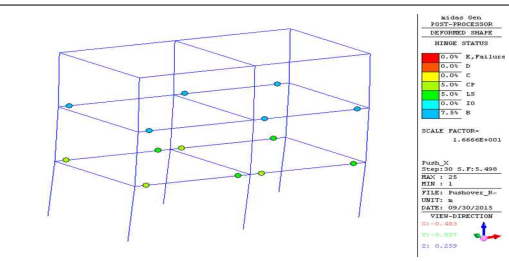
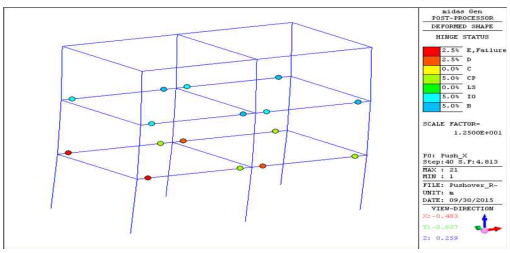
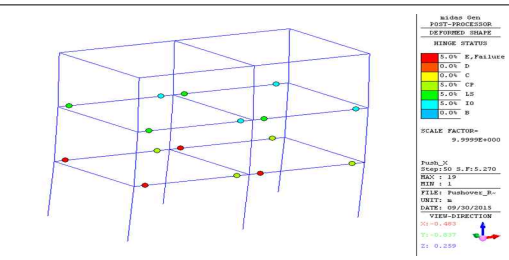
<표 3.3.22 대상 시설물 세부사항>

Case	내 용	비 고	
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석	
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행		
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행		

라. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

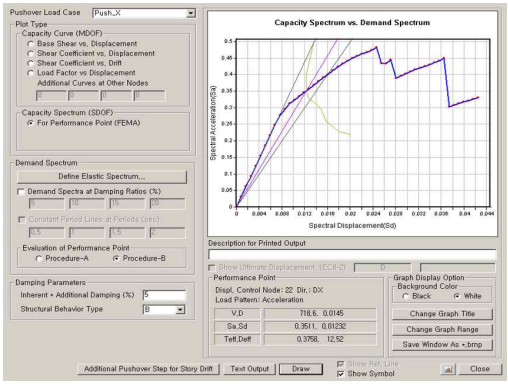
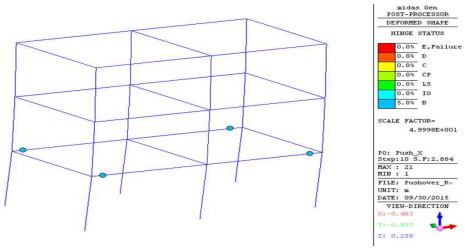
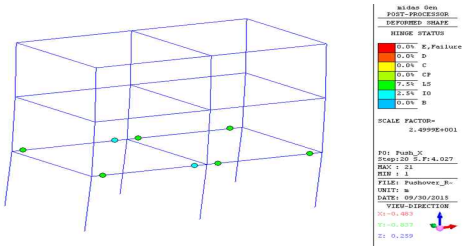
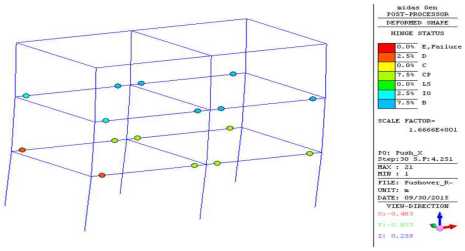
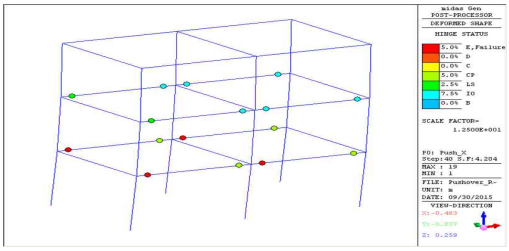
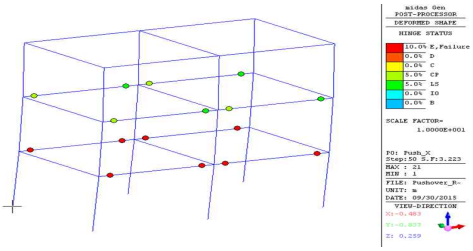
(1) Case 1

<표 3.3.23 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

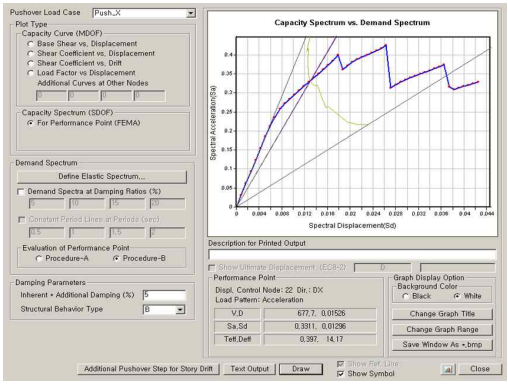
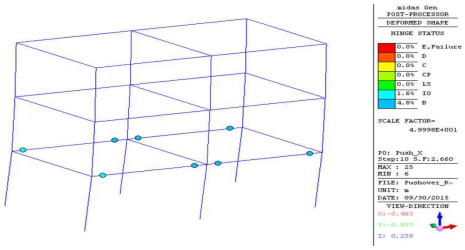
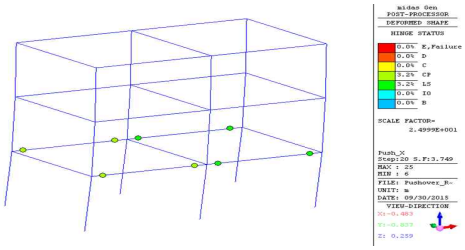
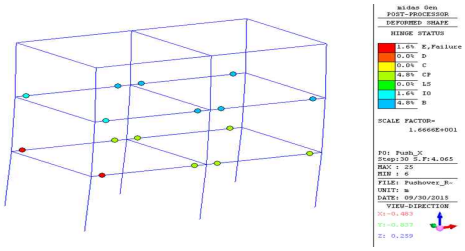
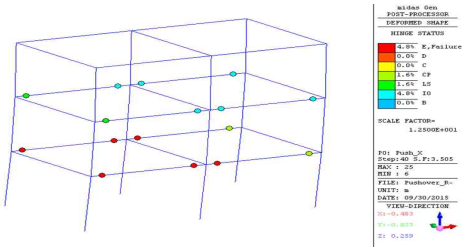
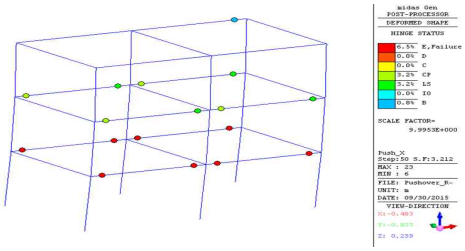
(2) Case 2

<표 3.3.24 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

(3) Case 3

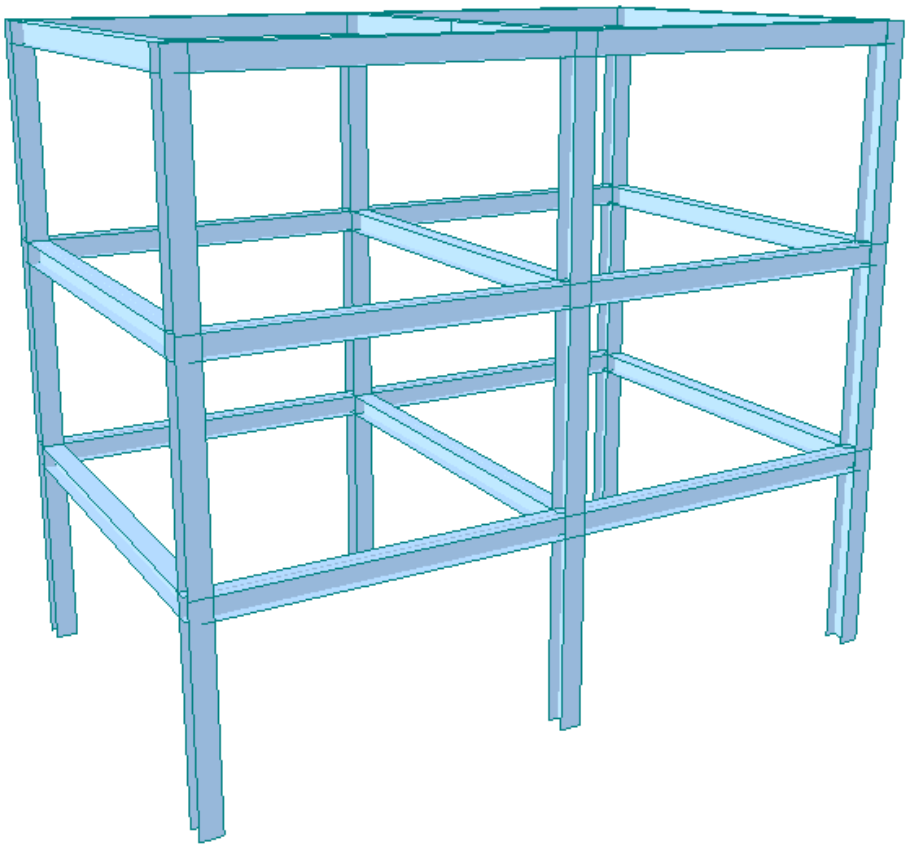
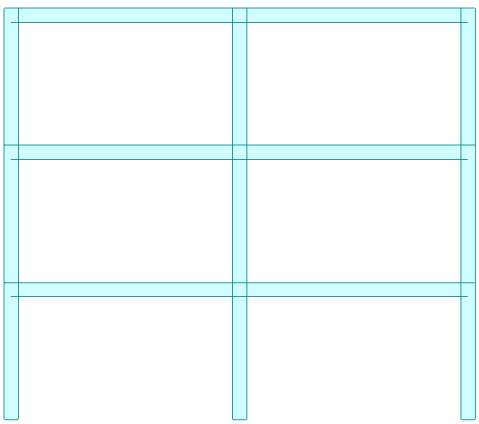
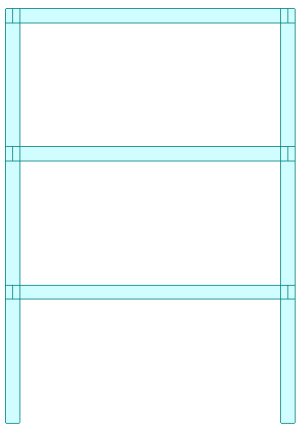
<표 3.3.25 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

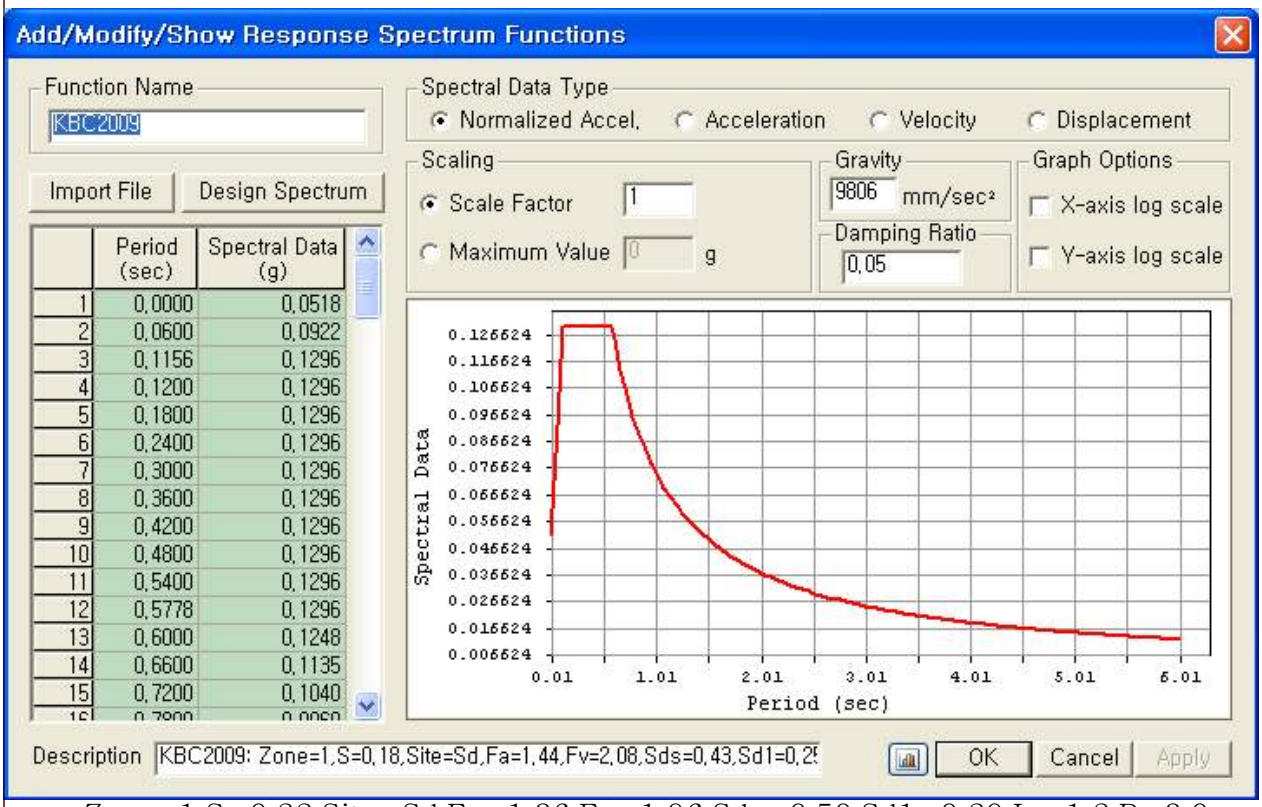
3.3.6 강구조(프로그램 검증용)

가. 대상 시설물 현황

<표 3.3.26 대상 시설물 세부사항>

구분	세부 사항	
개요도		
세부형상	 정면도	 측면도
비고	평가용 프로그램 검증 및 사용성 검토를 위한 모델	

나. 설계용 응답스펙트럼

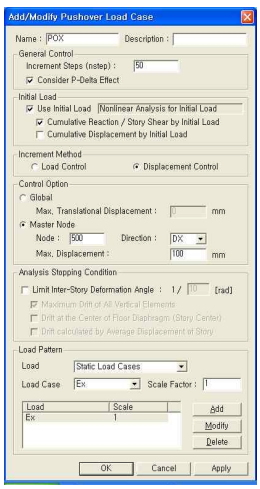
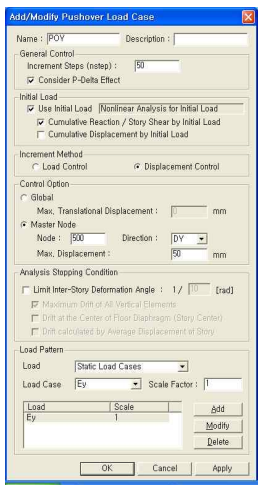


Zone=1,S=0.22,Site=Sd,Fa=1.36,Fv=1.96,Sds=0.50,Sd1=0.29,Ie=1.2,R=3.0

<그림 3.3.9 대상 시설물에 맞게 적용한 Response Spectrum>

다. 대상 시설물의 내진성능평가 수행

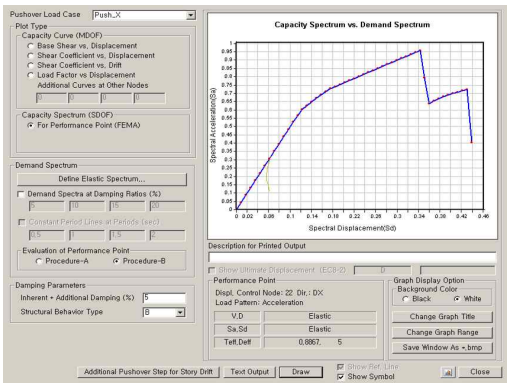
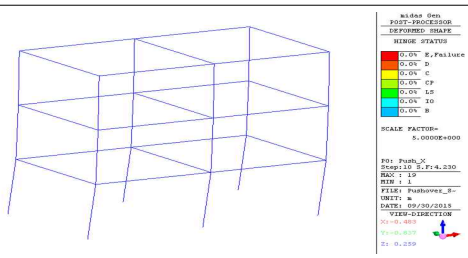
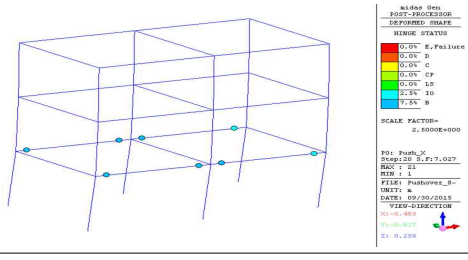
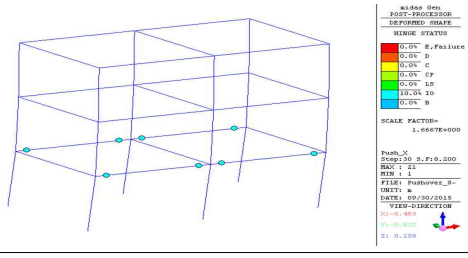
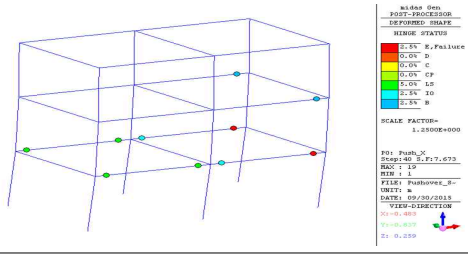
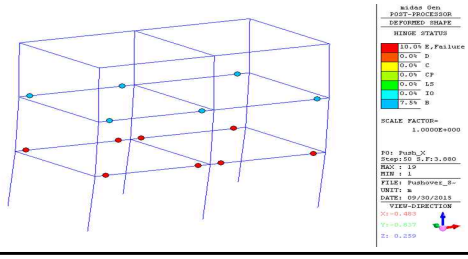
<표 3.3.27 대상 시설물 세부사항>

Case	내 용	비 고
Case1	기존 내진성능평가 수행	응답스펙트럼 해석
Case2	상태평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	 
Case3	상태평가, 위험도평가 결과를 반영한 내진성능평가 수행	

라. 대상 시설물의 내진성능평가 결과

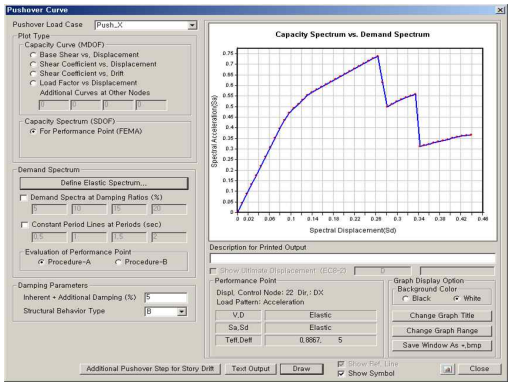
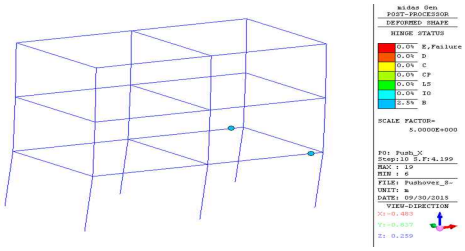
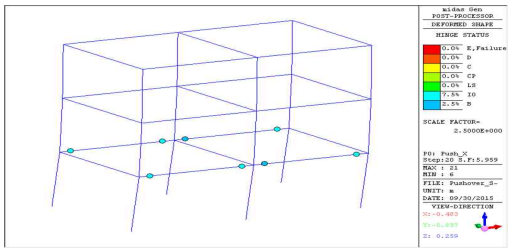
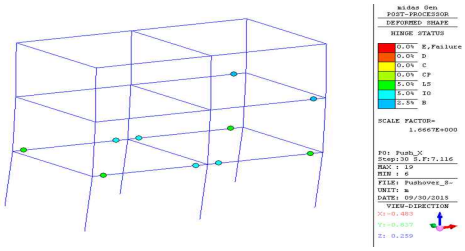
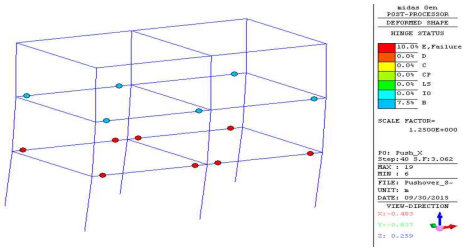
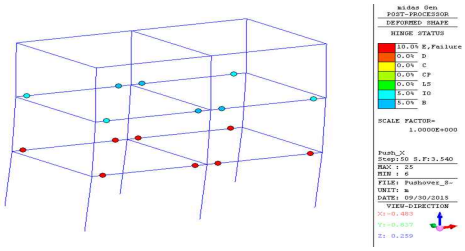
(1) Case 1

<표 3.3.28 Case 1 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

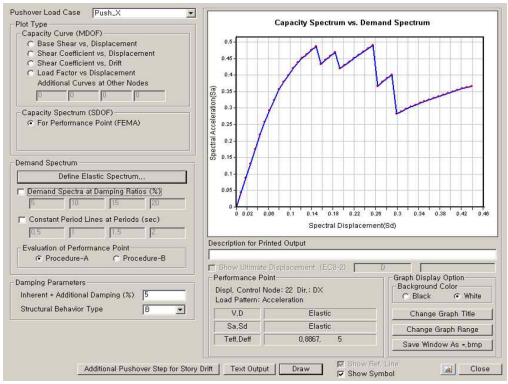
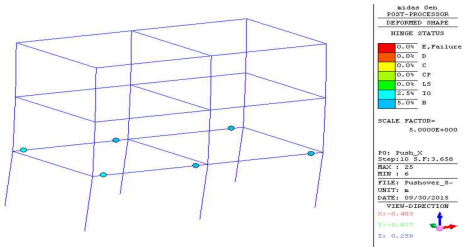
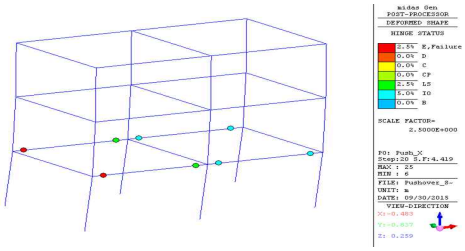
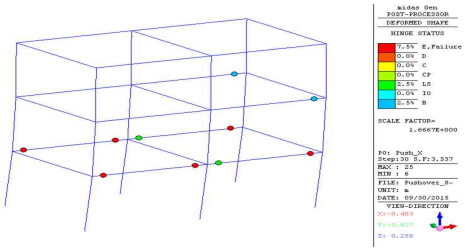
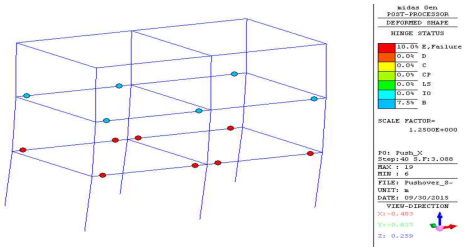
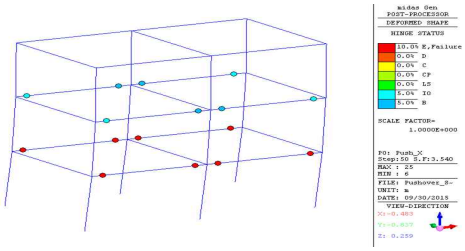
(2) Case 2

<표 3.3.29 Case 2 내진성능평가 결과>

구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

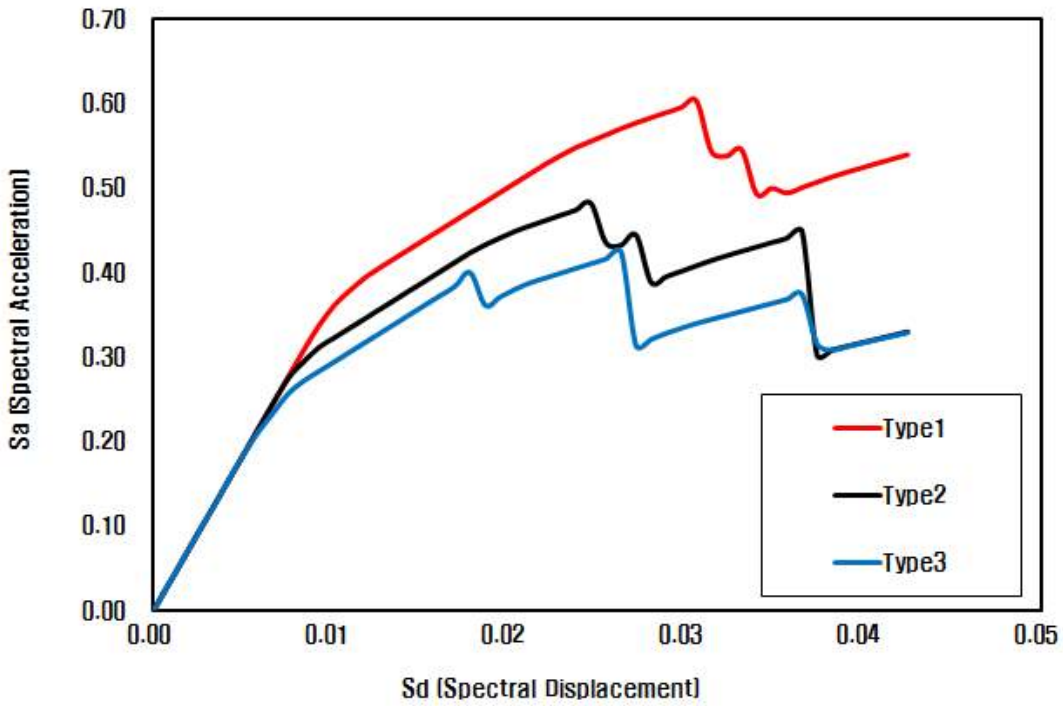
(3) Case 3

<표 3.3.30 Case 3 내진성능평가 결과>

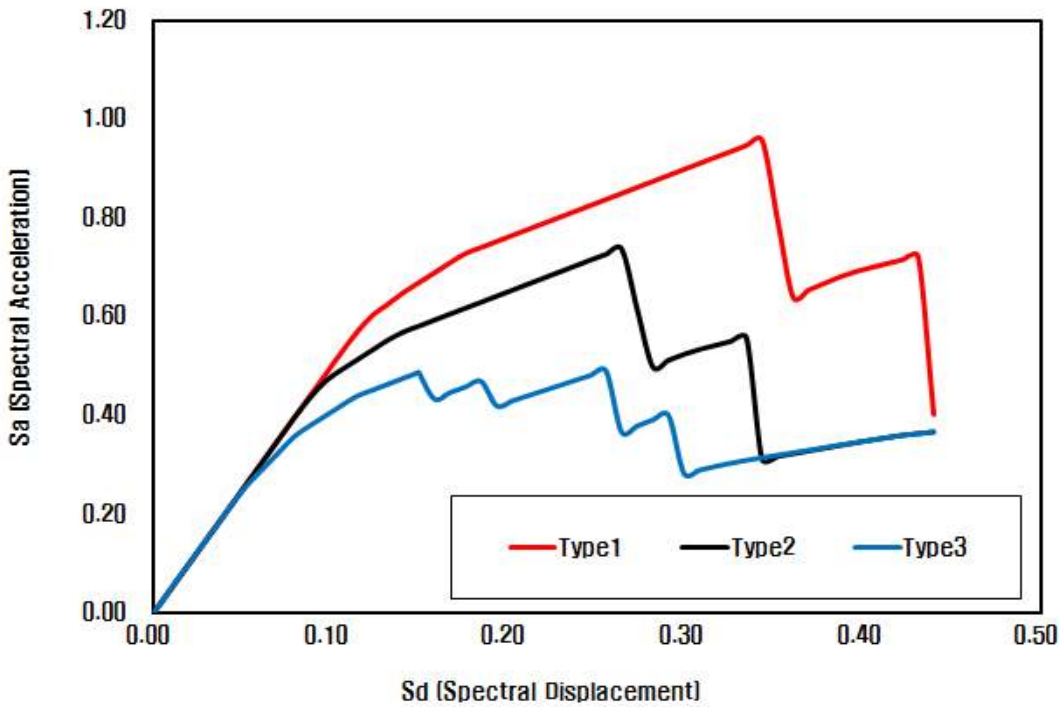
구분		X방향(장방향)
성능곡선		
힌지분포	step 10	
	step 20	
	step 30	
	step 40	
	step 50	

3.3.7 프로그램 검증용 모델의 결과 비교

가. 구조물 전체 PushOver 해석 결과

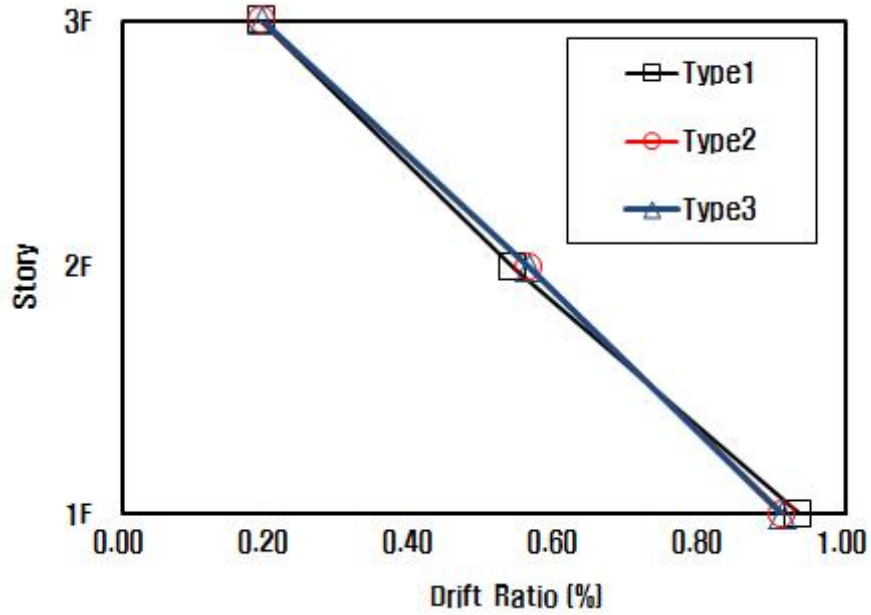


<그림 3.3.10 철근콘크리트구조물의 해석결과>

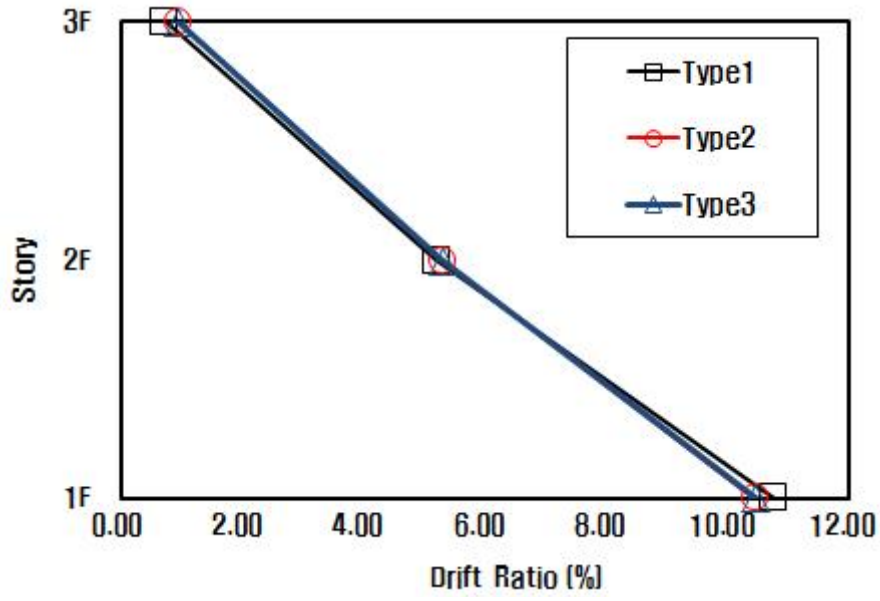


<그림 3.3.11 강구조물의 해석결과>

나. 층별 Drift 해석 결과



<그림 3.3.12 철근콘크리트구조물의 해석결과>



<그림 3.3.13 강구조물의 해석결과>

3.4 세부모듈 정립을 통한 프로그램 개발 연구

3.4.1 프로그램의 개발

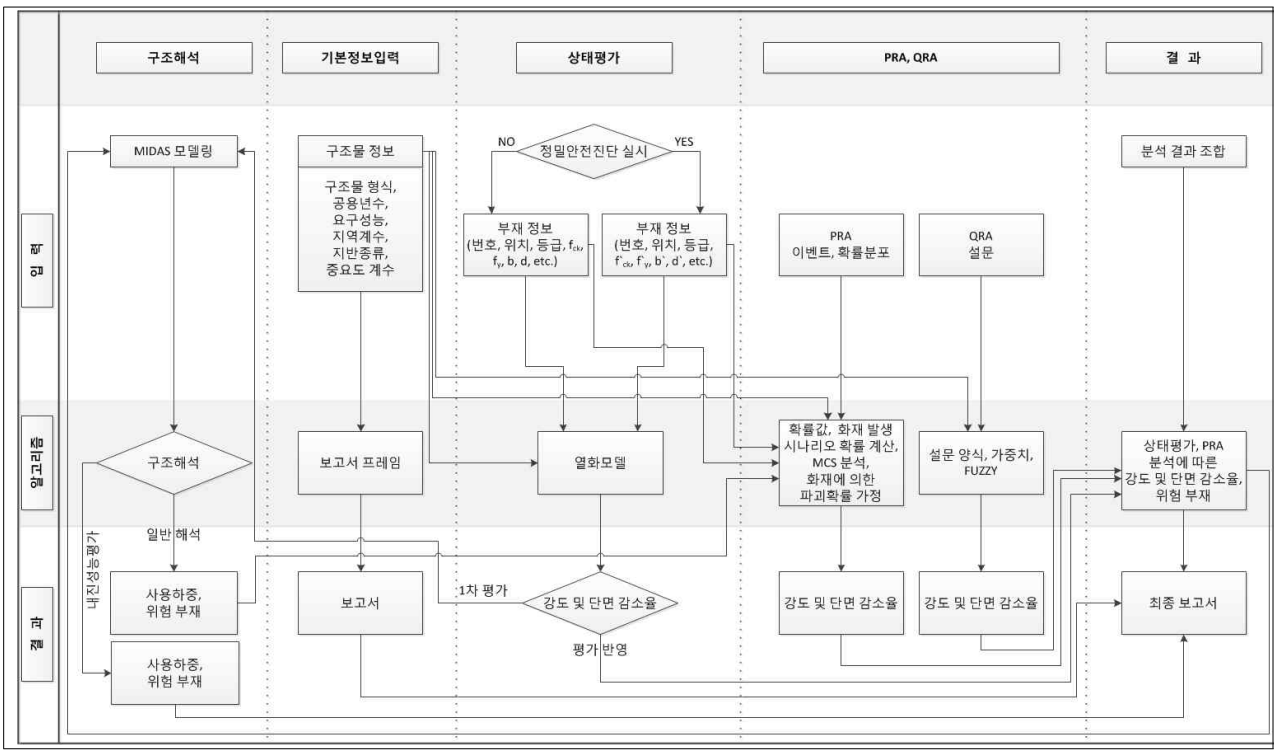
1,2차 년도의 연구 성과를 반영하여 내진성능평가를 위한 프로그램을 개발하며 개발될 프로그램은 “위험도 분석과 상태 평가를 기초로 한 내진 성능평가(이하 SPARC : Seismic Performance based Assessment of Risk & Conditioin)”라 명한다.

3.4.2 개발 목적

위험도 분석과 상태 평가를 활용한 내진 성능 평가를 수행하기 위한 전처리 모듈로서의 프로그램을 개발한다. SPARC 프로그램은 구조물 각 부재 강도 및 단면의 감소율과 위험 단면의 위치를 계산하는 데에 그 목적이 있다.

3.4.3 프로그램의 구성

SPARC 프로그램은 컴포넌트화된 4개의 모듈로 구성되며 구조물 기본정보 입력, 상태 평가, 위험도 분석, m계수 산정으로 이루어져 있는 각 모듈은 독립적으로 운영될 수 있으며 내진성능평가를 위한 시스템으로 통합된다. 통합 시스템의 전체적인 처리 순서도는 아래의 그림과 같다.



<그림 3.4.1 SPARC 프로그램 구성도>

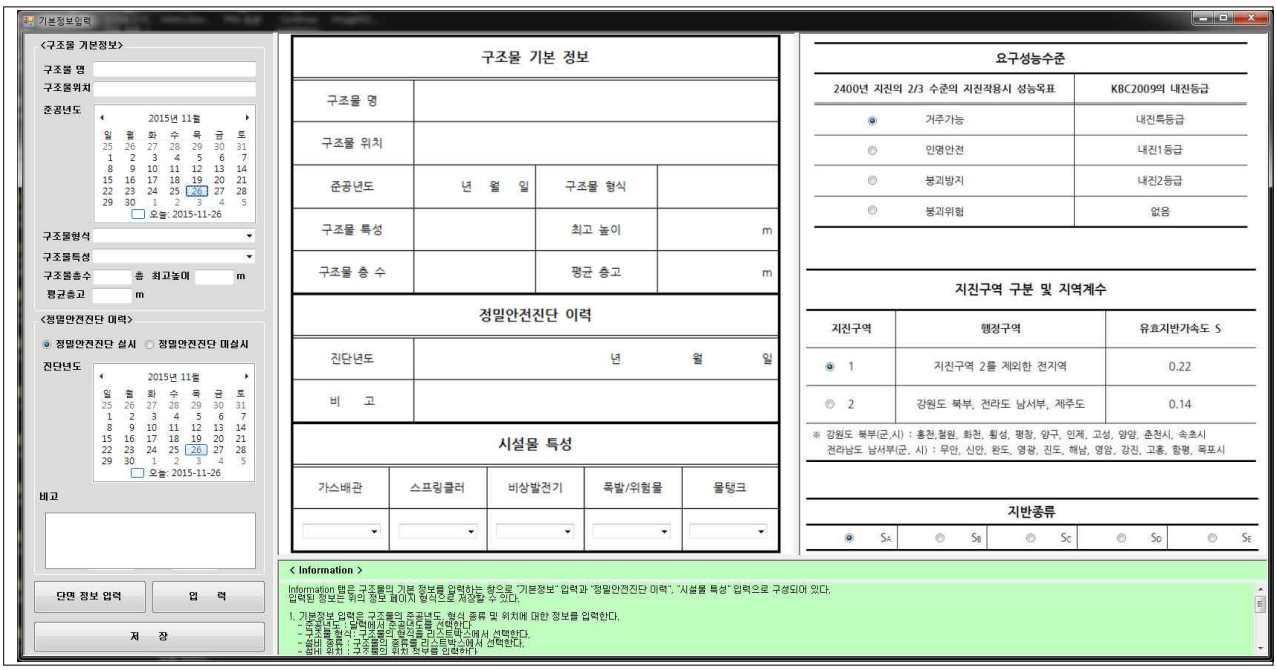
3.4.4 프로그램 모듈의 구성

가. 기본 정보 입력

내진 성능 평가를 위한 구조물의 기본 정보를 입력하는 창은 좌측 영역에서 입력하며 입력된 정보는 좌측하단의 입력 버튼과 저장 버튼을 클릭하여 우측의 보고서 형식으로 저장할 수 있다. 적용 기준이 되는 지반종류 및 요구 성능 수준, 지역계수는 우측에서 선택하여 적용한다.

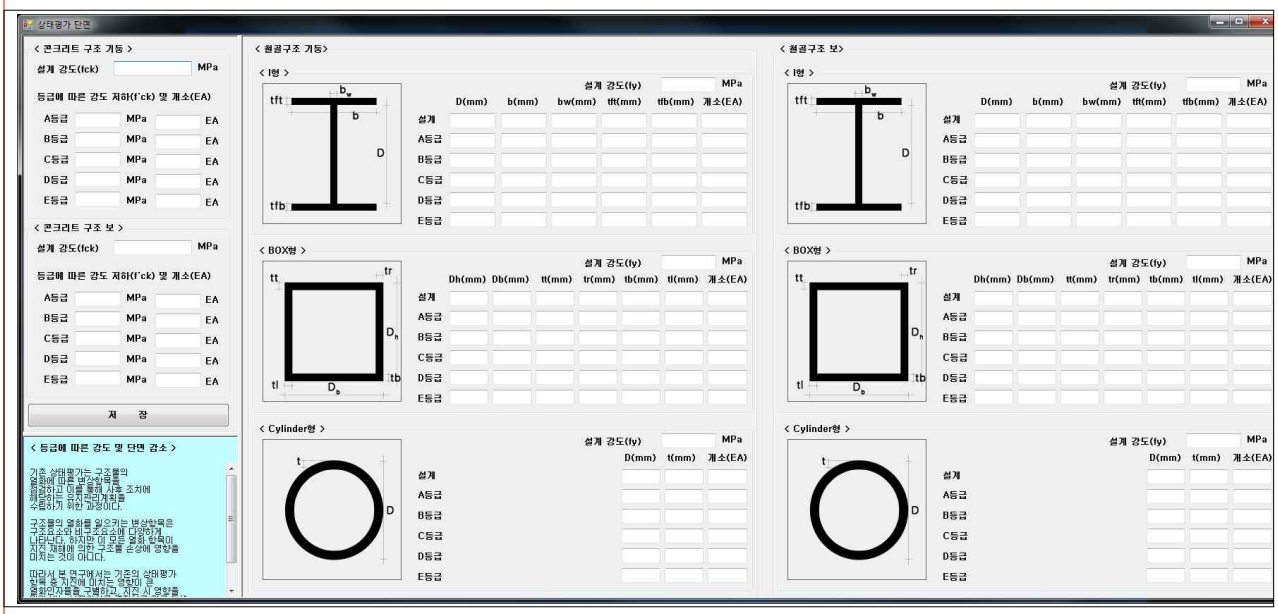
구조물의 기본 정보의 종류는 기본정보와 정밀안전진단 이력, 시설물 특성으로 구분되며 기본 정보는 구조물 명, 위치, 준공년도, 형식, 특성, 층수, 최고높이, 평균 층고로 이루어지며 구조물 외에 시설물에 대한 정보를 추가로 선택하여 입력할 수 있다. 이 중에서 조물 명, 위치, 층수, 최고높이, 평균 층고는 사용자가 직접 입력하도록 설계되어 있으며 구조물 형식 및 특성은 SPARC프로그램을 적용하는 구조물에 맞게 리스트박스로 선택할 수 있도록 설계된다. 또한 준공년도는 달력 기능을 사용하여 선택할 수 있도록 한다. 프로그램 실행 시 달력은 프로그램 실행 날짜를 초기값으로 가지게 된다.

정밀안전진단 이력은 정밀안전진단 실시 유무를 선택 할 수 있도록 되어있으며 정밀안전진단이 실시되지 않은 구조물은 입력창이 활성화 되지 않는다. 정밀안전진단을 실시 한 구조물에 대해서는 준공년도와 마찬가지로 달력에서 선택할 수 있다. 시설물 특성의 입력은 콤보 박스에서 직접 선택할 수 있다. 프로그램의 하단은 기본 정보 입력에 대한 매뉴얼을 확인할 수 있도록 한다.



<그림 3.4.2 기본 정보 입력 모듈>

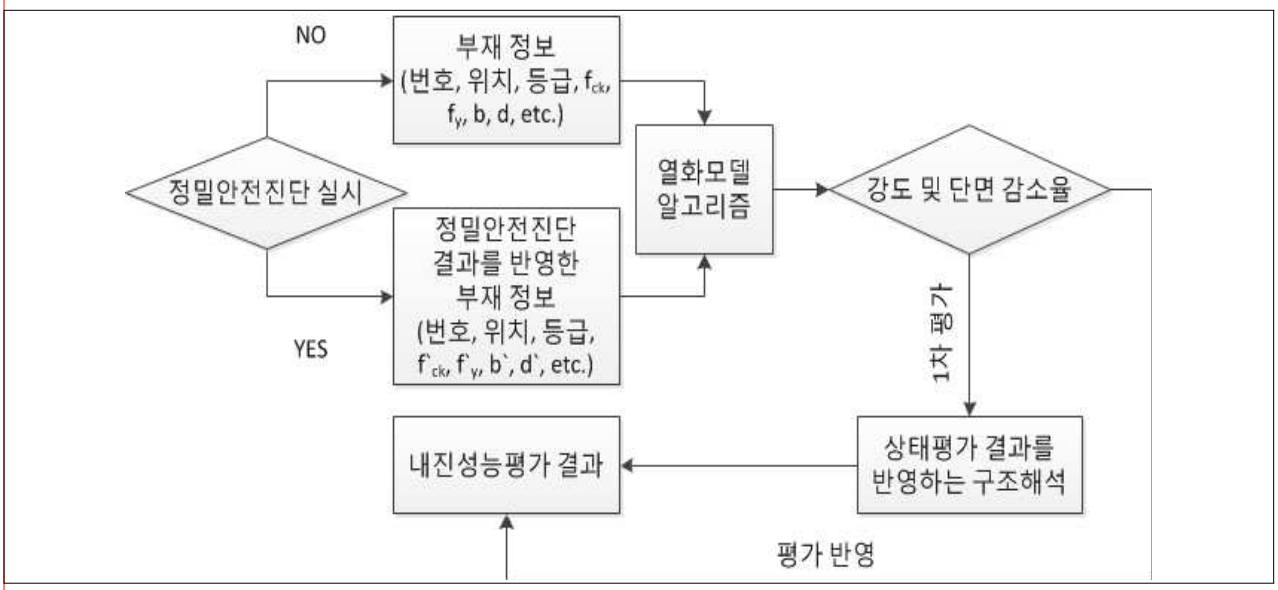
또한, 기본 정보 입력 화면의 단면 정보 입력 버튼을 클릭하면 구조물 부재의 단면에 대한 물성치를 입력 할 수 있으며 정밀안전진단 결과에 따른 단면의 변화 및 재료 강도의 변화를 반영할 수 있도록 하여 향후 상태평가를 위한 열화모델을 업데이트 할 수 있도록 한다. 단면 입력을 위한 화면은 아래와 같다.



<그림 3.4.3 단면 입력 모듈>

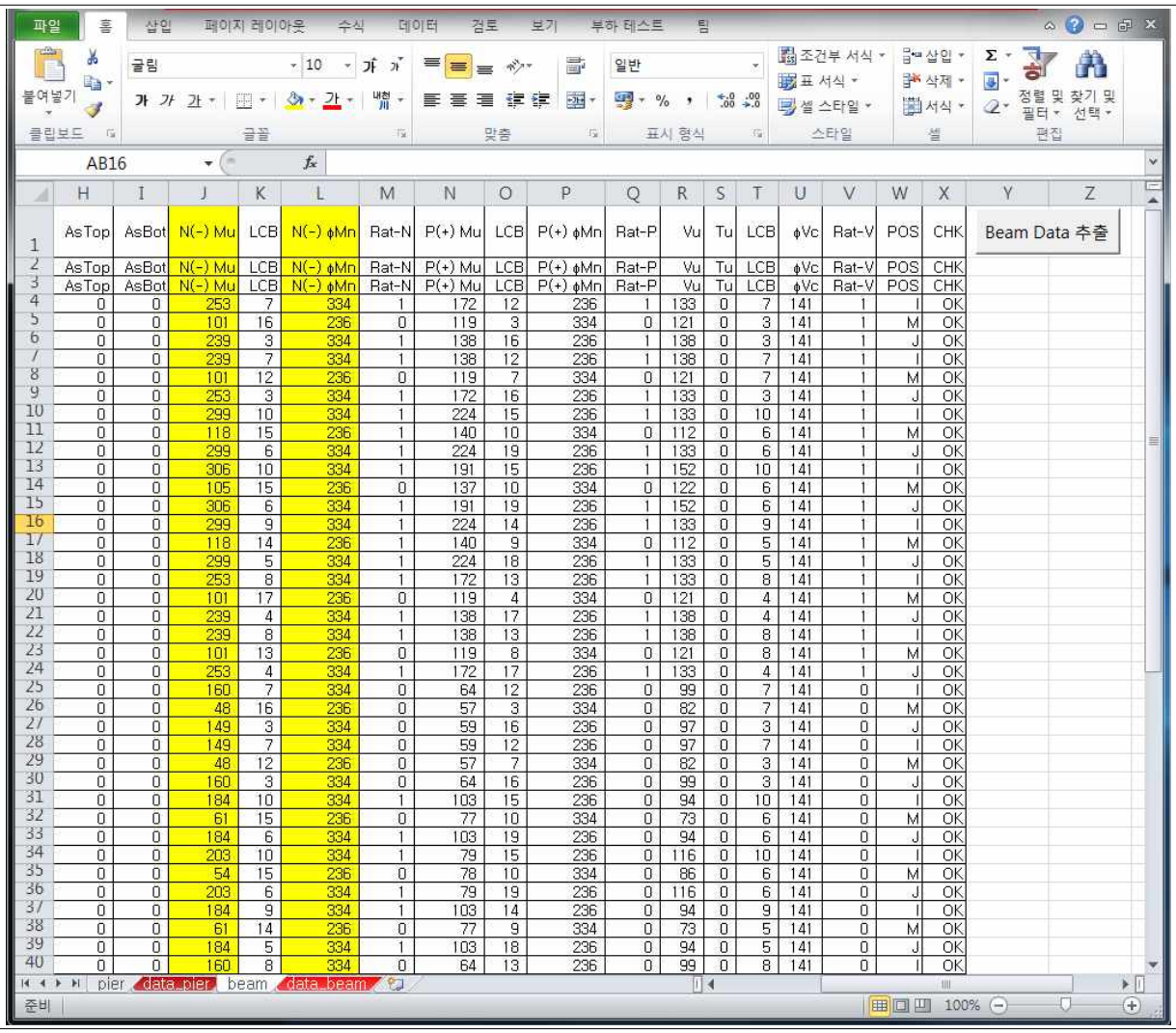
나. 상태 평가

상태평가 모듈은 MIDAS를 통한 구조해석의 결과를 기본 데이터로 하여 기본 정보 입력 폼에서 입력한 준공일과 정밀안전진단 시기에 따른 구조물 각 부재의 강도 및 단면 감소의 결과를 입력할 수 있다. 상태 평가 모듈의 데이터 처리 순서는 아래와 같다.



<그림 3.4.4 상태평가 구성도>

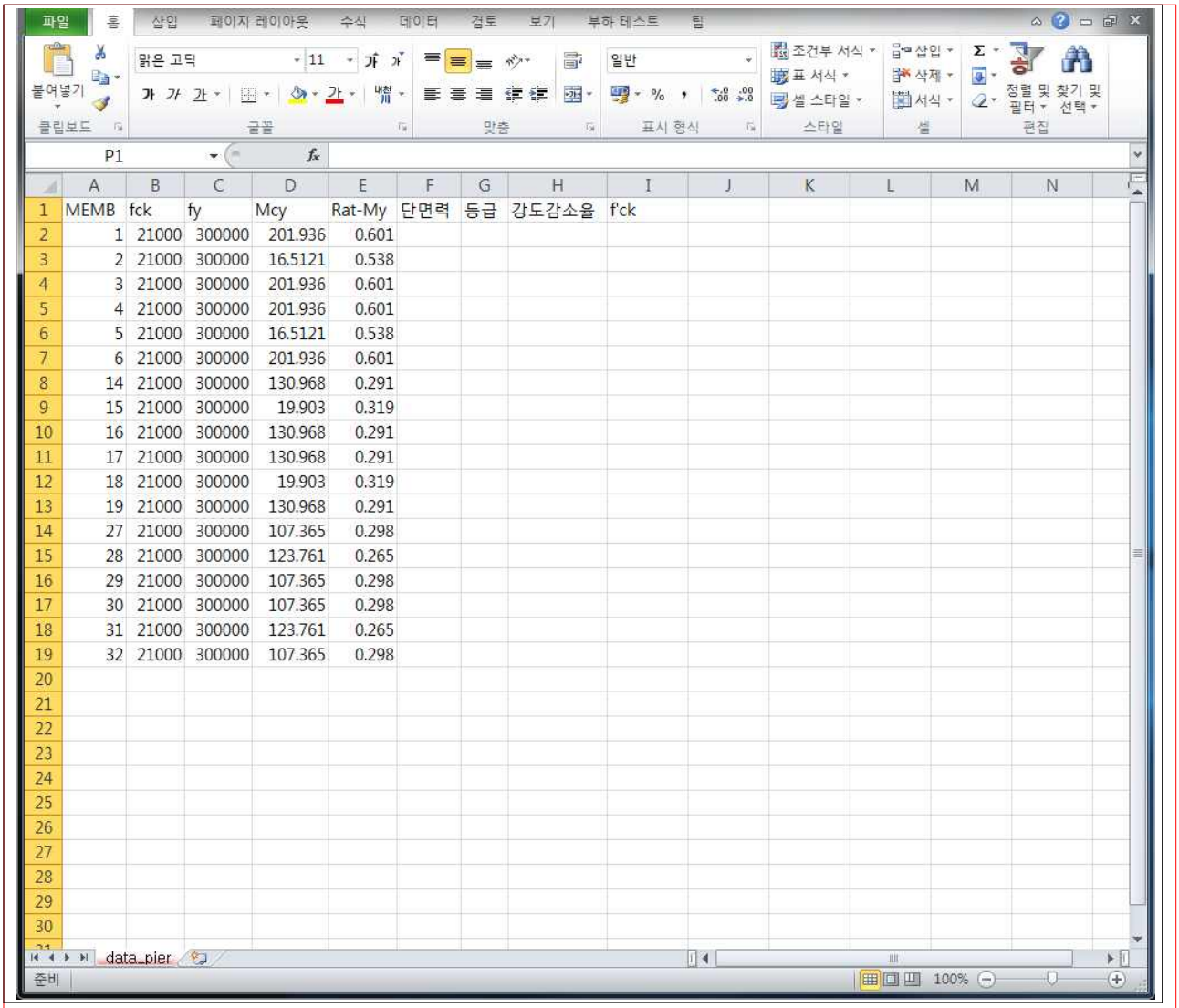
MIDAS의 구조해석 결과는 부재에 따라 기둥과 보로 구분되며 각 부재의 결과 값 중 SPARC 프로그램에 필요한 데이터를 추출할 필요가 있다. 아래의 그림은 구조해석 결과 중 기둥의 데이터를 엑셀로 불러 온 화면이다.



	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK	Beam Data 추출	
2	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK		
3	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK		
4	0	0	253	7	334	1	172	12	236	1	133	0	7	141	1	I	OK		
5	0	0	101	16	236	0	119	3	334	0	121	0	3	141	1	M	OK		
6	0	0	239	3	334	1	138	16	236	1	138	0	3	141	1	J	OK		
7	0	0	239	7	334	1	138	12	236	1	138	0	7	141	1	I	OK		
8	0	0	101	12	236	0	119	7	334	0	121	0	7	141	1	M	OK		
9	0	0	253	3	334	1	172	16	236	1	133	0	3	141	1	J	OK		
10	0	0	299	10	334	1	224	15	236	1	133	0	10	141	1	I	OK		
11	0	0	118	15	236	1	140	10	334	0	112	0	6	141	1	M	OK		
12	0	0	299	6	334	1	224	19	236	1	133	0	6	141	1	J	OK		
13	0	0	306	10	334	1	191	15	236	1	152	0	10	141	1	I	OK		
14	0	0	105	15	236	0	137	10	334	0	122	0	6	141	1	M	OK		
15	0	0	306	6	334	1	191	19	236	1	152	0	6	141	1	J	OK		
16	0	0	299	9	334	1	224	14	236	1	133	0	9	141	1	I	OK		
17	0	0	118	14	236	1	140	9	334	0	112	0	5	141	1	M	OK		
18	0	0	299	5	334	1	224	18	236	1	133	0	5	141	1	J	OK		
19	0	0	253	8	334	1	172	13	236	1	133	0	8	141	1	I	OK		
20	0	0	101	17	236	0	119	4	334	0	121	0	4	141	1	M	OK		
21	0	0	239	4	334	1	138	17	236	1	138	0	4	141	1	J	OK		
22	0	0	239	8	334	1	138	13	236	1	138	0	8	141	1	I	OK		
23	0	0	101	13	236	0	119	8	334	0	121	0	8	141	1	M	OK		
24	0	0	253	4	334	1	172	17	236	1	133	0	4	141	1	J	OK		
25	0	0	160	7	334	0	64	12	236	0	99	0	7	141	0	I	OK		
26	0	0	48	16	236	0	57	3	334	0	82	0	7	141	0	M	OK		
27	0	0	149	3	334	0	59	16	236	0	97	0	3	141	0	J	OK		
28	0	0	149	7	334	0	59	12	236	0	97	0	7	141	0	I	OK		
29	0	0	48	12	236	0	57	7	334	0	82	0	3	141	0	M	OK		
30	0	0	160	3	334	0	64	16	236	0	99	0	3	141	0	J	OK		
31	0	0	184	10	334	1	103	15	236	0	94	0	10	141	0	I	OK		
32	0	0	61	15	236	0	77	10	334	0	73	0	6	141	0	M	OK		
33	0	0	184	6	334	1	103	19	236	0	94	0	6	141	0	J	OK		
34	0	0	203	10	334	1	79	15	236	0	116	0	10	141	0	I	OK		
35	0	0	54	15	236	0	78	10	334	0	86	0	6	141	0	M	OK		
36	0	0	203	6	334	1	79	19	236	0	116	0	6	141	0	J	OK		
37	0	0	184	9	334	1	103	14	236	0	94	0	9	141	0	I	OK		
38	0	0	61	14	236	0	77	9	334	0	73	0	5	141	0	M	OK		
39	0	0	184	5	334	1	103	18	236	0	94	0	5	141	0	J	OK		
40	0	0	160	8	334	0	64	13	236	0	99	0	8	141	0	I	OK		

<그림 3.4.5 MIDAS 데이터 추출용 시트>

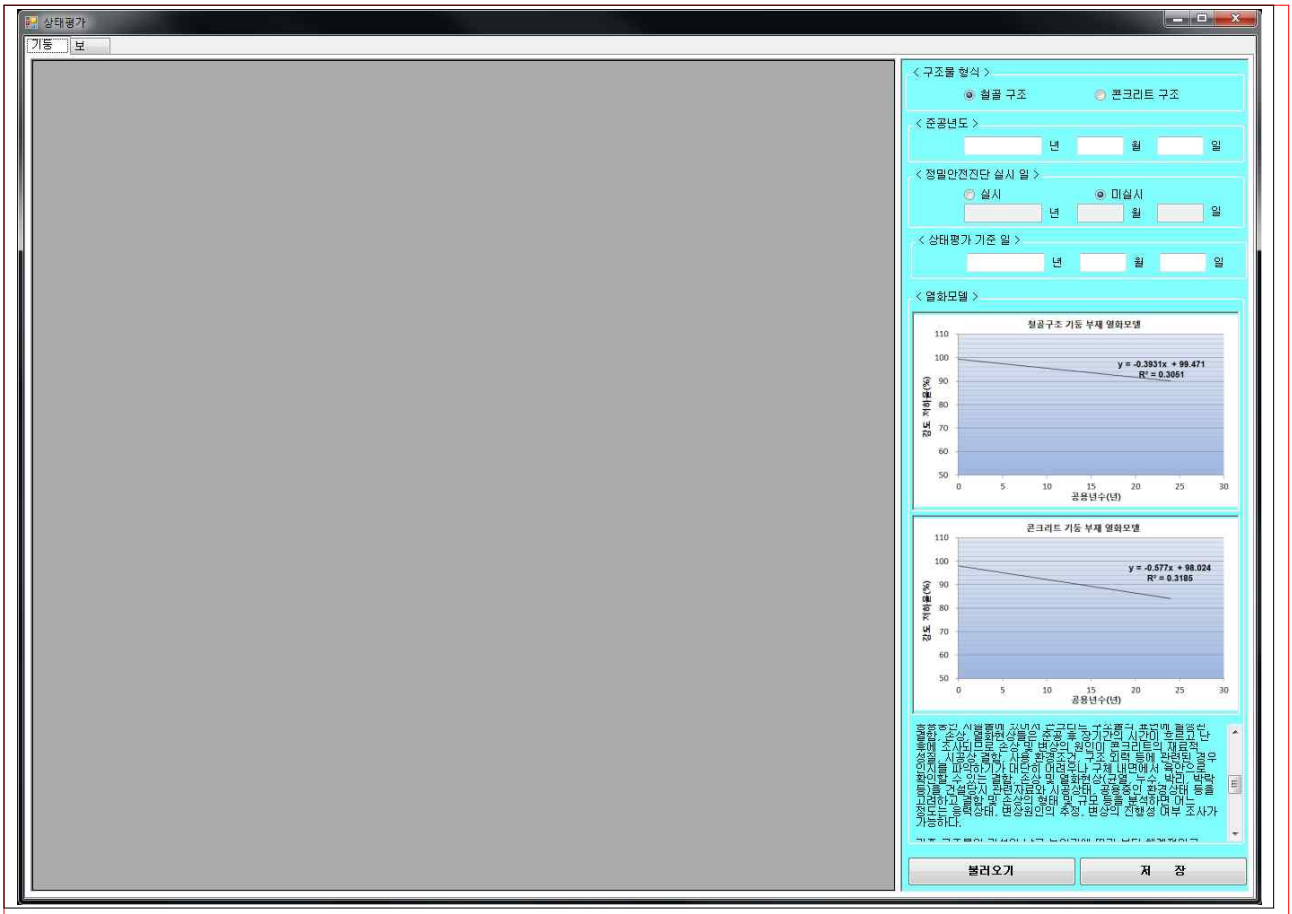
불러 온 결과 중 평가에 필요한 데이터를 사용자가 쉽게 추출할 수 있도록 엑셀 VBA를 활용한 추출 시트를 제공하며 추출 시 필요한 컬럼의 인덱스를 추가한다. VBA로 추출한 결과물은 아래와 같다. 기둥 부재의 내하력을 계산한 결과를 입력하기 위한 단면력, 상태 평가 등급을 입력하기 위한 등급, 등급에 따른 강도 감소율과 f ck를 표시하기 위한 컬럼 인덱스가 추가된 것을 확인 할 수 있다.



MEMB	fck	fy	Mcy	Rat-My	단면력	등급	강도감소율	f'ck
1	21000	300000	201.936	0.601				
2	21000	300000	16.5121	0.538				
3	21000	300000	201.936	0.601				
4	21000	300000	201.936	0.601				
5	21000	300000	16.5121	0.538				
6	21000	300000	201.936	0.601				
14	21000	300000	130.968	0.291				
15	21000	300000	19.903	0.319				
16	21000	300000	130.968	0.291				
17	21000	300000	130.968	0.291				
18	21000	300000	19.903	0.319				
19	21000	300000	130.968	0.291				
27	21000	300000	107.365	0.298				
28	21000	300000	123.761	0.265				
29	21000	300000	107.365	0.298				
30	21000	300000	107.365	0.298				
31	21000	300000	123.761	0.265				
32	21000	300000	107.365	0.298				

<그림 3.4.6 데이터 추출 결과>

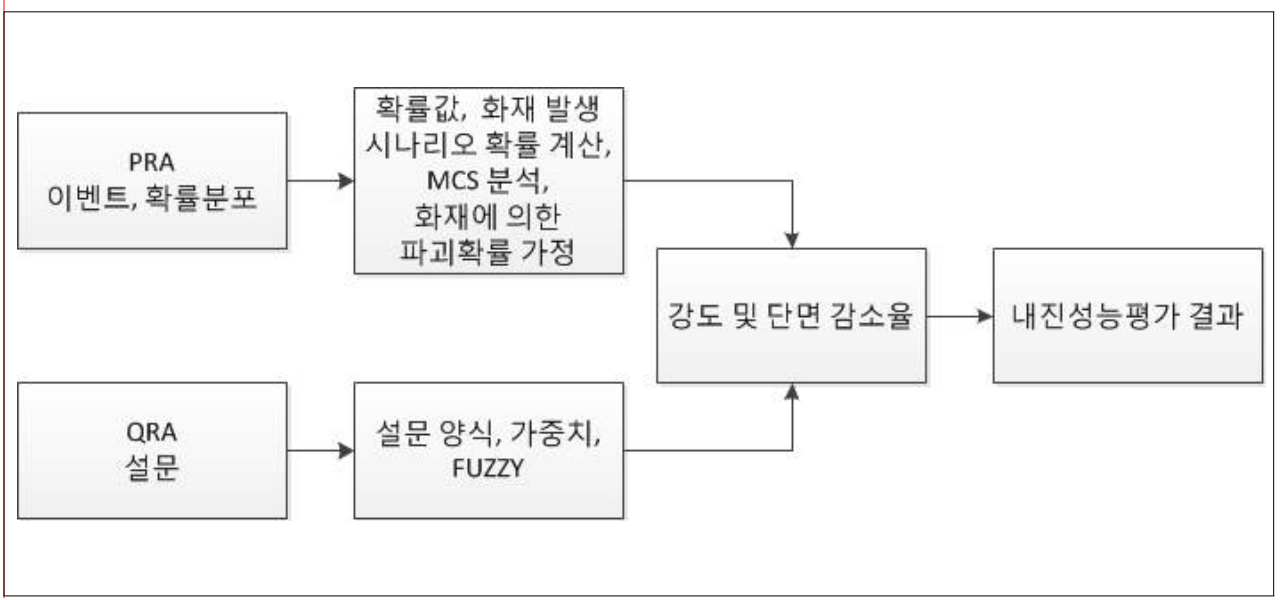
추출된 데이터를 상태 평가 모듈을 통해 상태 평가 등급을 각 부재 별로 선택할 수 있다. 상태평가 모듈은 기둥 및 보 부재 별로 탭을 구분하여 사용자의 조작을 용이하도록 설계하고 구조물의 형식을 선택할 수 있도록 하였다. 구조물의 공용 년 수에 따른 부재 별 단면 감소 및 강도 감소를 열화 모델을 기반으로 계산하기 위해서는 구조물의 준공년도 및 상태 평가 기준일이 필요로 하며 정밀 안전 진단을 실시한 경우 각 부재 별로 정밀 안전 진단 결과를 반영한 등급을 입력 할 수 있도록 하기 위해 정밀 안전 진단 실시 일을 선택적으로 입력할 수 있도록 한다. 정밀 안전 진단 실시 일을 입력할 경우 준공일로부터 실시 일까지는 정밀 안전 진단 결과의 등급에 따른 강도 및 단면 감소율을 계산하며 실시 일로부터 상태 평가 기준 일까지는 본 연구에서 제시하는 열화 모델의 감소율을 따라 부재의 강도 및 단면 감소율을 수치적으로 계산한다. 계산된 결과는 *.sparc로 저장되며 이는 SPARC 프로그램 내에서 사용하기 위해 별도로 만든 프로그램 확장자이다. 아래는 상태 평가 모듈의 GUI 구성 화면이다.



<그림 3.4.7 상태 평가 모듈>

다. 위험도 평가

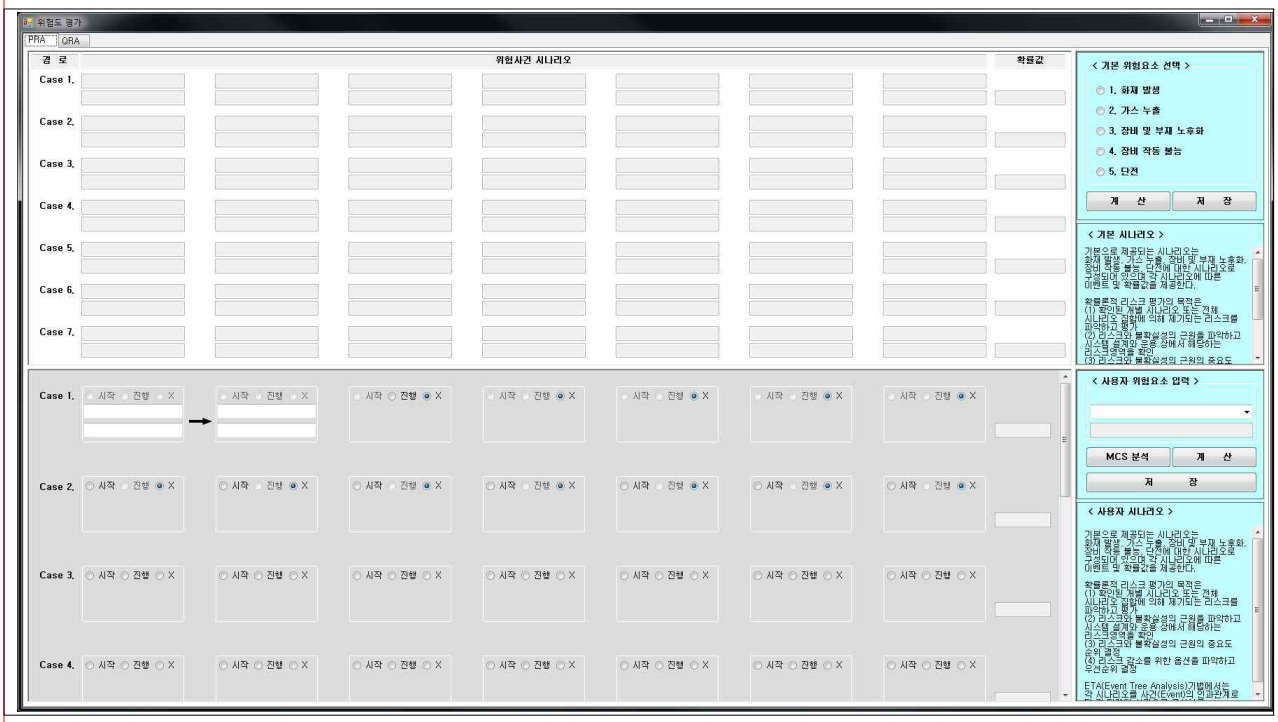
위험도 분석(Risk Assessment)은 PRA와 QRA로 나뉘며 각 입력창은 윈도우 폼으로 구성되어 있다. 위험도 평가는 아래의 그림과 같이 구성되어 있다.



<그림 3.4.8 위험도 평가 구성도>

PRA는 본 연구에서 제안하는 기본 시나리오와 사용자가 직접 입력할 수 있는 사용자 시나리오로 구성된다. 위험도 시나리오는 기본 시나리오를 기초로 사용자 시나리오를 통해 새로운 이벤트를 추가할 수 있도록 구성한다.

시나리오의 개수 및 단계는 기본 시나리오의 경우 7×7, 사용자 시나리오는 10×7으로 구성되며 사용자의 요구 또는 본 연구의 결과에 따라 이벤트 단계를 조정하고자 한다. 기본 시나리오는 위험 요소에 따른 시나리오를 제공하여 사용자가 PRA에 대한 기본적인 지식을 습득하거나 사용자 시나리오 작성 시 참고할 수 있도록 한다. 아래는 PRA 모듈 구성이다.

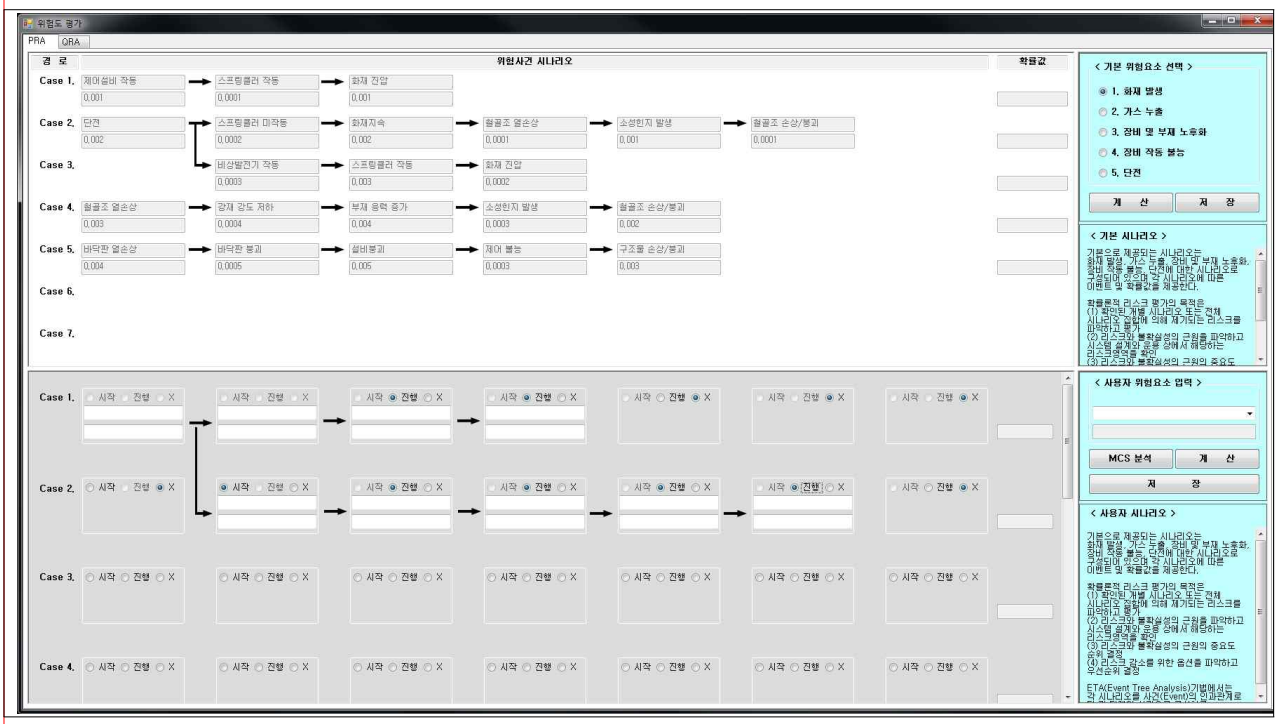


<그림 3.4.9 PRA 모듈>

프로그램 사용자는 기본 시나리오 외에 사용자 시나리오를 통해 직접 시나리오를 입력할 수 있다. 사용자 시나리오는 각 이벤트 별로 사용자가 시작, 진행, 끝 중에서 선택하여 시나리오 흐름을 만들 수 가 있다. 시나리오 case2부터는 첫 번째 이벤트가 아니더라도 중간부터 이벤트의 시작점을 지정할 수 있으며 만약 중간부터 시작되는 시나리오를 구성할 경우 시작 지점 전의 이벤트는 상위 시나리오에서 시작점부터 분기되는 것으로 인식하여 상위 이벤트와 같은 이벤트 내용 및 확률값을 가지게 된다. 그러므로 case1 시나리오가 3번째 이벤트까지 진행 되었다면 case2 시나리오는 첫 번째에서 세 번째까지의 이벤트에서 시작이 가능하다.

각 이벤트에 대한 확률은 MCS 분석 버튼을 클릭하여 입력할 수 있다. 사용자가 확률값을 직접 입력할 경우 그 값은 정규분포, 극지분포, 대수분포, 삼각분포 중 이벤트 또는 시나리오에 적용할 수 있는 확률분포를 선택 할 수 있다.

프로그램의 하단부에는 PRA에 대한 일반적인 설명과 시나리오 입력에 대한 매뉴얼을 기술하여 사용자의 프로그램에 대한 이해도를 높일 수 있도록 한다. 아래의 그림은 위험도 평가에서 기본 시나리오는 화재 발생을 선택하고 사용자 시나리오는 case1의 경우 4단계, case2는 2단계부터 시작하여 6단계까지 시나리오를 구성한 경우의 화면이다. 이 때 case2의 확률값과 이벤트 내용은 case1의 것과 같은 값을 가진다.

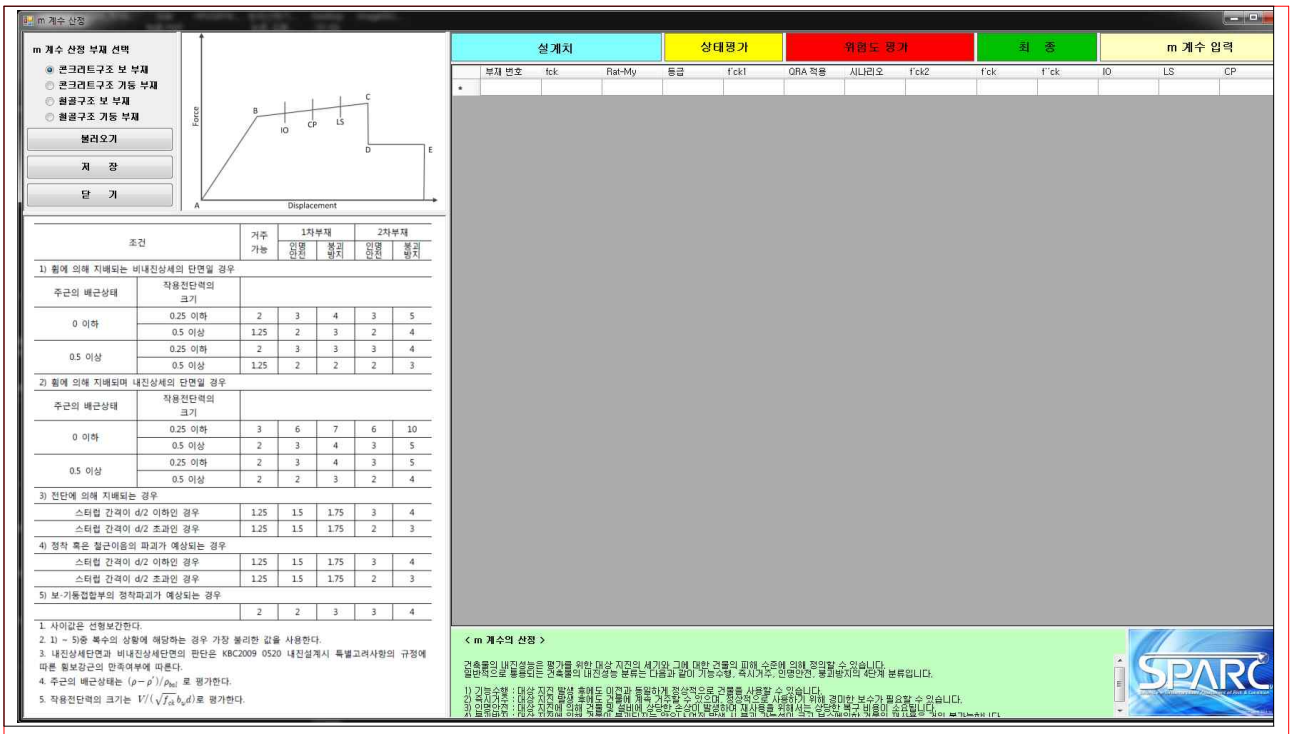


<그림 3.4.10 위험도 시나리오 구성>

QRA의 경우 통합 시스템 과정에서 PRA와 분리되었으므로 통합 시스템 구성에서 설명하도록 한다.

라. m 계수 산정 모듈

내진 성능 평가의 결과로 각 부재의 m 계수를 산정하여 IO, LS, CP의 계수를 정하기 위한 모듈이다. 독립된 모듈로서는 MIDAS 데이터를 기반으로 m 계수를 산정할 수 있다. 이는 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(한국시설안전공단, 2011)의 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정기준과 본 연구과제에서 제시하는 기준을 토대로 산정 한다. 아래는 m 계수 산정 모듈의 구성이다.



<그림 3.4.11 m 계수 산정 모듈>

3.4.5 통합 시스템의 구성

구조물 기본정보 입력, 상태 평가, 위험도 분석, m계수 산정으로 이루어져 있는 각 모듈은 독립적으로 운영될 수 있으나 효율적인 내진 성능 평가를 위해 각 모듈을 통합하여 하나의 솔루션으로 구성한다. 각 모듈의 알고리즘은 유지하고 기본 정보를 공유하여 대상 구조물의 일괄된 데이터를 가지고 분석을 수행할 수 있다.

각 모듈의 통합을 위해서는 분리되어 있는 모듈을 호출할 수 있는 폼(Form)이 필요하다. 아래는 각 모듈을 호출할 수 있는 선택 폼이다.



<그림 3.4.12 통합 프로그램 모듈 호출 폼>

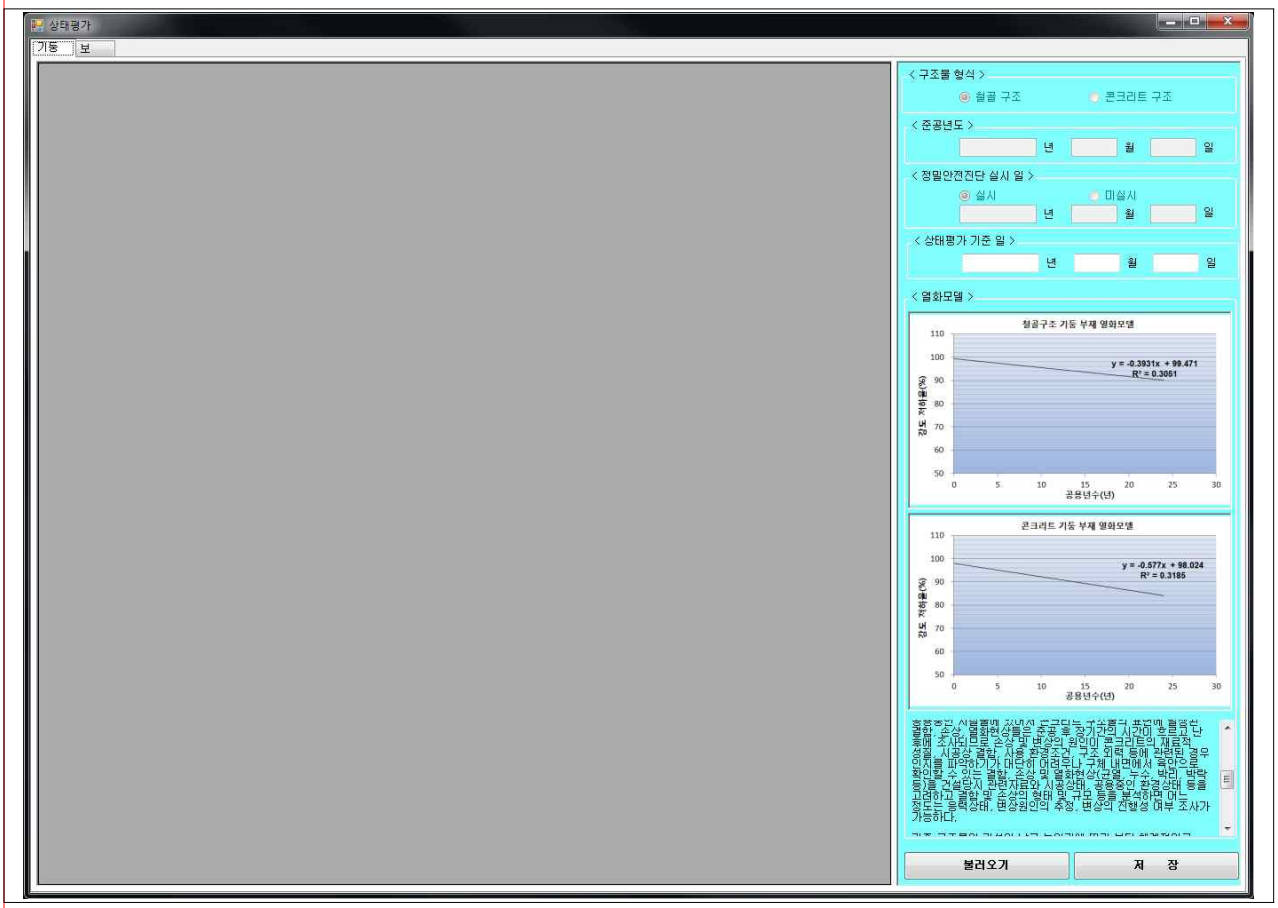
SPARC 솔루션을 실행하면 프로그램 로딩 후 선택 창이 열리며 각 모듈을 호출할 수 있다. 이 때 솔루션 처리 순서대로 모듈을 선택해야 분석을 진행 할 수 있다.

가. 기본 정보 입력

기본 정보 입력 모듈은 대상 구조물의 내진 성능 평가를 위한 기본적인 데이터를 입력하기 위한 폼이므로 시스템 통합의 베이스가 된다.

나. 상태 평가

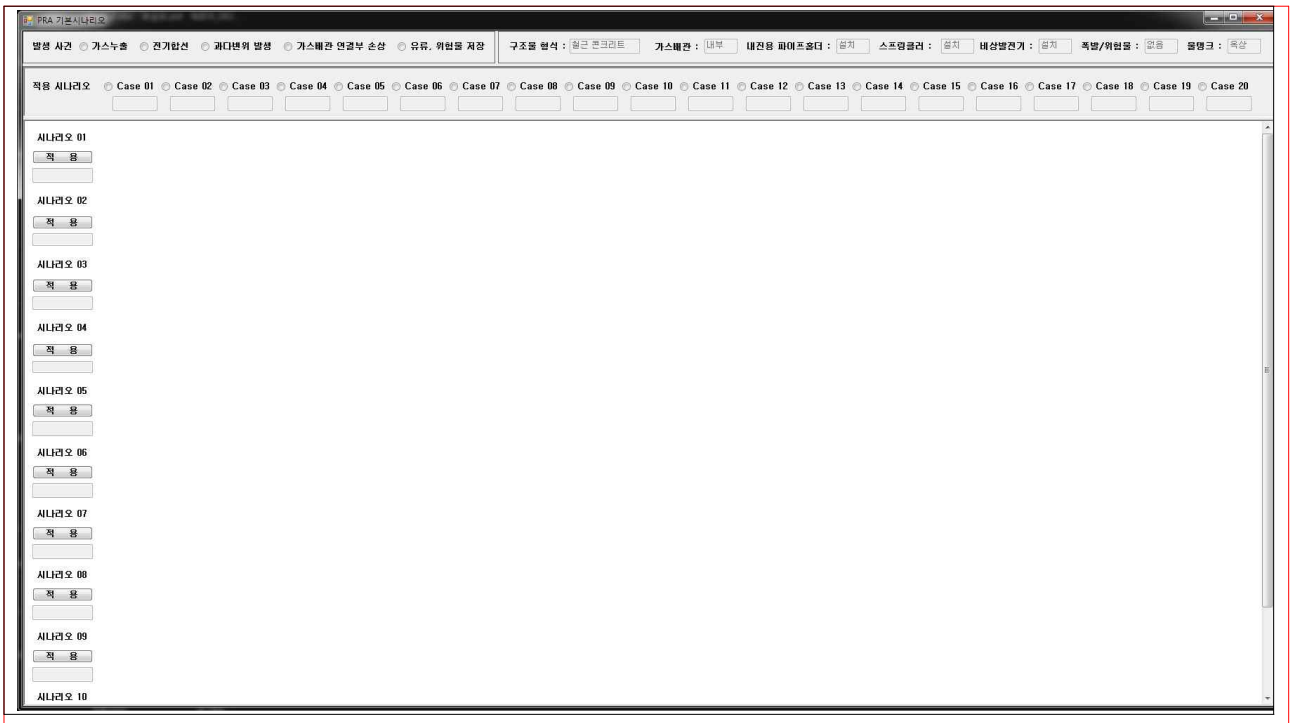
상태 평가 모듈은 구조물 형식, 준공 일 및 정밀 안전 진단 일을 기본 정보 입력 모듈에서 받아오기 때문에 각 입력 창이 비활성화 되며 상태 평가 기준일 만을 입력할 수 있다. 아래의 그림은 통합 후 상태평가 모듈로서 구조물 형식 선택 버튼과 준공 일, 정밀 안전 진단 일 입력 창이 비활성화 된 것을 확인 할 수 있다.



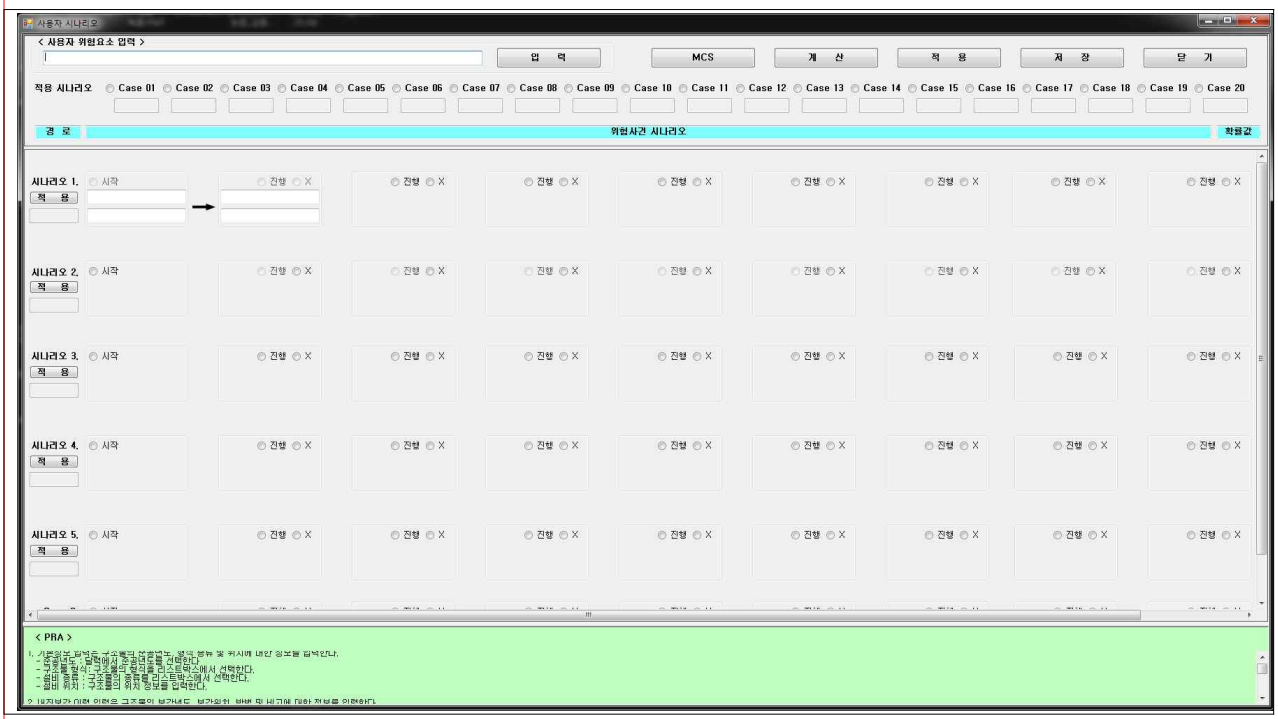
<그림 3.4.13 통합 후 솔루션 내의 상태 평가 모듈>

다. 위험도 평가

위험도 평가는 기본 시나리오와 사용자 시나리오를 선택 버튼으로 선택할 수 있도록 업그레이드 하였으며, 기본 정보 입력 모듈의 정보를 확인 할 수 있는 창과 상태 평가 모듈에서 저장한 파일을 열어서 각 부재 별로 시나리오를 연결할 수 있는 창을 추가 하였다. 아래는 각각 기본 시나리오를 선택한 화면과 사용자 시나리오를 선택 화면이다.



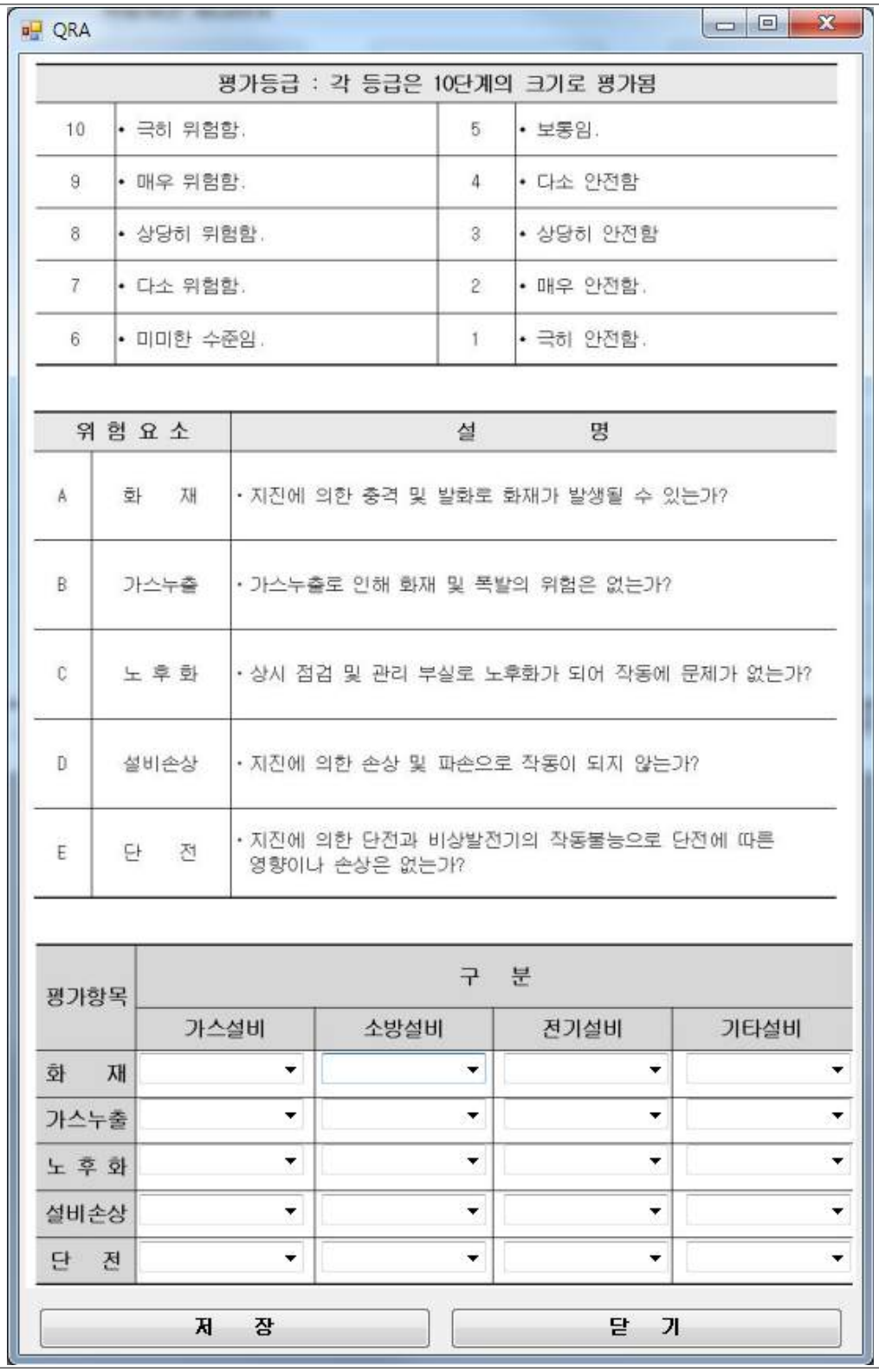
<그림 3.4.14 기본 시나리오 선택 화면>



<그림 3.4.15 사용자 시나리오 선택 화면>

각 화면을 비교하면 기본 시나리오와 사용자 시나리오를 선택했을 때의 화면 구성의 변화를 알 수 있다.

QRA는 PRA입력 창에서 QRA버튼을 클릭하여 호출할 수 있으며 중요도 입력에 따른 가중치를 확률값에 적용 여부를 선택할 수 있다. 아래는 QRA 분석 화면 구성이다.



<그림 3.4.16 QRA 모듈>

라. m 계수 산정 모듈

m 계수 산정 모듈은 추출된 MIDAS 해석 결과 시트뿐만 아니라 *.sparc 확장자와도 호환될 수 있도록 업그레이드 한다.

3.4.5 실용화 및 사업화 방안

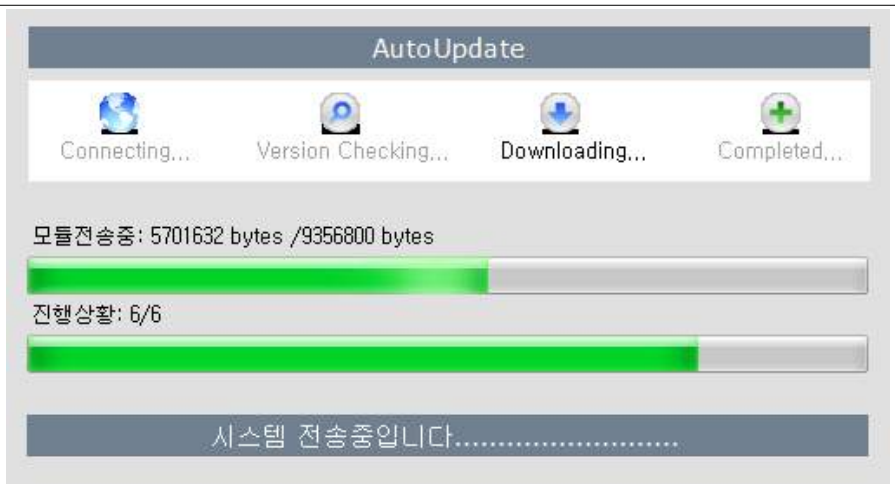
프로그램 개발 후 한국저작권위원회 저작권등록 시스템(SORS, www.cros.or.kr)에 소프트웨어를 등록하고 프로그램을 상용화 하도록 한다.

프로그램의 판매방법은 아이디와 패스워드를 입력하여 프로그램 사용에 대한 관리를 실시하고자 한다. 아래는 프로그램 로딩 화면으로 아이디와 패스워드를 입력할 수 있도록 업그레이드 하였다.



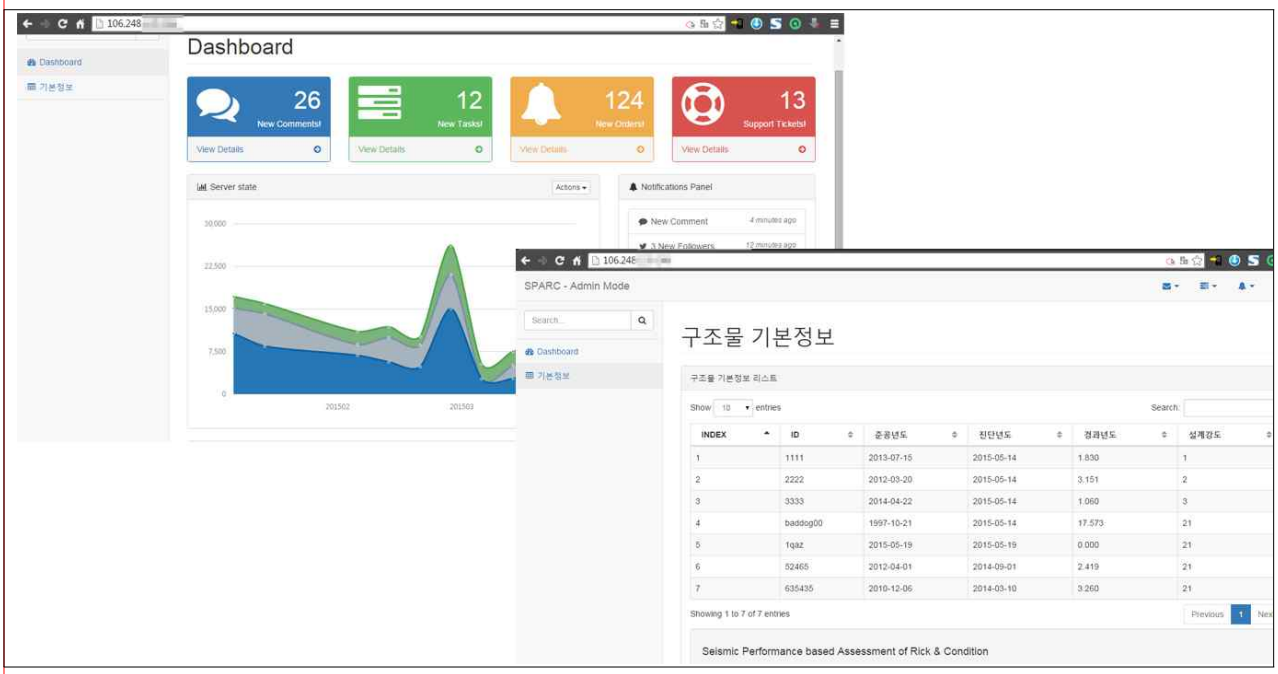
<그림 3.4.17 프로그램 로그인 화면>

프로그램의 업데이트 서버를 설치할 경우 프로그램을 실행하면 프로그램 버전 확인 후 자동 업데이트가 실시될 수 있다. 아래는 DB설치 시 프로그램 자동 업데이트 예상 화면이다.



<그림 3.4.18 프로그램 자동 업데이트>

추후 DB 서버를 구축하여 아래의 그림과 같이 서버에 구조물 기본 정보를 업데이트함으로 프로그램 내에서 사용되는 확률값 DB 및 사용자가 입력한 정보를 토대로 열화모델에 대한 지속적인 정보를 업데이트 할 수 있으므로 내진 성능 평가와 공용 년 수에 따른 부재의 손상률, PRA분석을 위한 확률 인자, QRA의 중요도 설문에 대한 빅 데이터를 구축하여 향 후 지속적인 발전을 추구할 수 있는 솔루션이 될 것이라 판단된다.



<그림 3.4.19 DB서버 구축 테스트 화면>

4.4 데이터베이스 보완 방안

본 연구에서 적용된 개선된 내진성능평가 기법은 기존 내진성능평가 기법에 비해 위험도 평가와 상태평가를 기반으로 하는 기법이다. 상태평가 기법은 구조물의 경과년수에 따른 강도 저하에 대한 감소율을 예측하여 내진성능평가시 이를 반영하는 기법으로 상태평가를 실시하는 구조물과 실시하지 않는 구조물로 나누어 상태평가 점수 기반 열화모델을 통해 강도감소율을 예측한다. 위험도 평가는 구조물 형식별, 특성별 위험도 시나리오를 가정하여 지진 재해시 추가적으로 발생할 수 있는 비구조체의 위험도에 대해 내진성능평가에 반영하는 기법이다.

본 연구에서 적용된 열화모델은 강도감소와 상태평가 점수의 상관관계를 전문가 설문조사를 기반으로 내용을 구성하고, 정밀안전진단 데이터와 추가적인 전문가 설문을 통해 공용년수에 따른 상태평가 점수의 하락을 예측하였다. 또한 위험도 평가는 위험사건별 위험 시나리오와 확률분포 및 확률값에 대해 관련 문헌 및 해석 결과를 기반으로 인자값을 결정하였다.

하지만 본 연구는 개선된 내진성능평가 기법의 제안에 초점이 맞춰져 있어, 앞서 결정된 인자값들의 신뢰도가 부족한 실정이며, 향후 DB 보안 연구 등을 통해 인자값의 신뢰성확보가 필요하다. 또한 제안하는 기법은 설계단계에 대한 엔지니어링 인자값들이 아닌 유지관리 단계의 인자값들 이므로 이를 데이터베이스화하고 지속적인 보완이 필요하며, 데이터베이스의 보완 방안을 아래 표에 나타내었다.

<표 3.4.31 데이터베이스 업데이트 방안>

구분	현재 데이터베이스	추가적 데이터베이스 확보 방안
상태평가	정밀안전진단 보고서 전문가 설문조사	1. 구조물 형식별 정밀안전진단 결과 DB화 2. 기존 구조물 내진설계시 적용된 강도 저하값 3. 프로그램을 통한 열화모델 갱신
위험도평가	위험사건별 위험시나리오 위험사건의 확률분포 및 확률값	1. 개선된 내진해석프로그램 적용시 해석 대상 구조물에 대한 추가적 위험시나리오 2. 관련 연구 문헌을 통한 확률분포 및 확률값의 업데이트 3. 프로그램을 통한 확률 인자값 갱신
내진성능평가	철근콘크리트 및 철골구조의 개선된 내진성능평가 결과	1. 프로그램을 통해 다양한 적용 예를 통한 해석결과의 DB화

추가적인 데이터베이스는 기존 데이터베이스에 추가되거나 갱신된 인자값에 대해 베이지안 업데이트 등의 기법을 통해 지속적으로 관리가 필요하다. 업데이트 방법은 개선된 내진성능평가기법 프로그램 사업화 및 기술제휴를 통해 사용하는 엔지니어가 다양한 적용 결과를 바탕으로 업데이트가 가능할 것으로 판단된다.

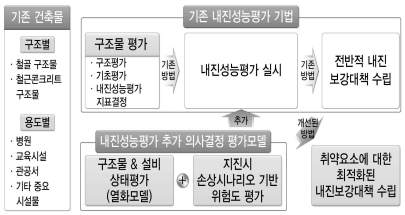
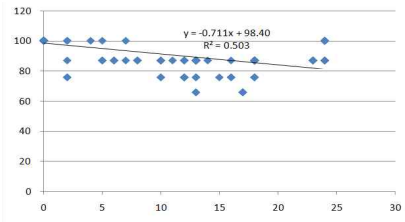
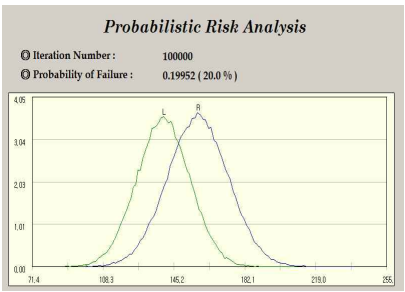
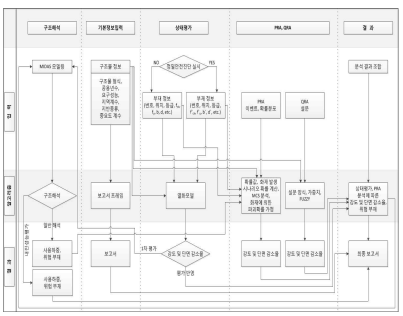
제 4 장 최종 연구성과 및 적용실적

4.1 연도별 연구성과

4.1.1 1~2차년도

구분	연구목표	연구성과	
		정성적 성과	정량적 성과
최종 목표	내진성능평가와 위험도평가, 상태평가의 연계방안 마련	- 위험도평가, 상태평가, 내진성능평가를 연계하는 연구트리를 구성하여 개개의 분석이 상호 미치는 영향과 분석별 I/O를 규명하여 내진성능평가 기법 제시	-
1	기존 내진 성능평가 실효성 분석	-	- 기존 내진성능평가 기준을 분석하고 그 기준을 바탕으로 대상시설물(C-city) 모델링을 통한 기존 내진성능평가 수행하여 기존 내진성능평가의 실효성 분석
2	기존 건축물 위험시나리오 작성	-	- 위험지수 및 중요도에 따른 내진성능 등급화
3	위험요소별 확률특성치 DB 확립	-	- 상태평가 결과 얻어지는 구조물 노후화에 대한 강도감소 특성치와 설비시설물 위험도평가를 통해 위험사건 시나리오별 파괴확률 특성치를 확립
4	학술지 논문 기재	-	- 대한건축학회 등에 논문집 기재

4.1.2 3차년도 (최종년도)

구분	연구목표	연구성과	
		정성적 성과	정량적 성과
최종목표	○ 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가 방안을 수립하고 지진 시 인명과 재산의 보호에 문제가 없는 동시에 경제적인 설계 및 내진보강방안이 될 수 있는 합리적인 평가기법을 개발	내진성능평가와 위험도평가, 상태평가의 연계 모듈방안에 대한 구체적 프레임 구성과 이를 바탕으로 한 위험도 및 상태평가의 프로그램 개발 및 적용을 통해 내진성능평가의 새로운 패러다임을 제시	 상태 및 위험도 평가를 반영한 내진성능평가 기법
세부목표 1	○ 상태 평가용 모듈 개발	열화모델을 이용한 노후 건축물의 상태평가 예측 기법 개발 구조물 및 설비의 상태평가 결과의 내진해석 연계 방안 개발	 열화모델을 이용한 강도감소율 예측
세부목표 2	○ 위험도 평가용 모듈 개발	구조물 위험 시나리오 분석 및 주요 위험요소에 대한 집중관리대상 선정 및 손상률 산정 방법 개발	 MCS를 통한 화재발생시의 손상률 산정
세부목표 3	○ 상태 및 위험도 평가를 반영한 내진성능평가 모듈 개발	개선된 내진성능 평가 기법을 위험도평가와 상태평가 모듈별로 통합 프로그램(SPARC)을 구성 용도별/규모별/건축시기별 개선된 내진성능평가를 통해 관련 실무에서의 활용성 극대화	 SPARC프로그램 구성

4.2 최종 연구성과 총괄

4.2.1 학술지 게재

No.	SCI/ 일반	논문명	학술지명	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
1	일반	위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 건축물의 내진성능평가 기법	대한건축학회	박영빈 이중환 조중연	제33권 제2호(촌권 제60집)	499	500	20131001
2	일반	시설물의 내진성능향상을 위한 상태 평가 기법의 열화모델 제안	대한건축학회	조중연 이중환 박영빈	제34권 제2호 (통권 제62집)	497	498	20141001
3	일반	기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태평가 기법 개발	한국구조물진단유지관리공학회	이중환 박영빈 조중연	제18권 1호 (통권 33권)	694	697	20140401
4	일반	위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 철근 콘크리트 건축물의 내진성능평가기법	한국콘크리트학회	박영빈 이중환 조중연	Vol.26 No.1	101	102	20140501
5	일반	기존건축물의 내진성능평가기법의 개선을 위한 위험도평가기법 개발	한국구조물진단유지관리공학회 2015년 봄 학술발표회	박영빈 이중환 조중연	제19권1호(통권35권)	340	341	20150401
6	일반	기존구조물의 개선된 내진성능평가기법을 기반으로 프로그램 개발을 위한 프레임 구현	대한건축학회 춘계학술발표대회	조중연 이중환 박영빈	제35권 제1호(통권 제63집)	517	518	20150401

4.2.2 프로그램 등록

No.	SW명칭	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
1	내진성능평가를 위한 기본정보 입력 모듈	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨	20151104	C-2015-025682	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨
2	내진성능평가를 위한 상태평가 모듈	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨	20151104	C-2015-025684	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨
3	내진성능평가를 위한 PRA(확률적 위험도 분석) 모듈	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨	20151104	C-2015-025683	(주)건우코퍼레이션 유니콘스(주) (주)우성디앤씨

4.2.3 기술 제휴 및 지침 제안

본 연구는 기존 구조물의 내진성능평가에 위험도평가와 상세평가를 접목시킨 새로운 방법의 시도이며 내진성능평가의 새로운 패러다임을 가진 미래지향적인 평가방법을 제시할 수 있다는 차별성을 가지고 있는 연구개발과제라고 할 수 있다. 이러한 연구를 통하여 체계적인 평가방법과 데이터 축적 및 분석이 이루어지고 제안하는 평가기법을 기반으로 한 내진성능평가기법의 실용화가 실현되도록 연구과제 종료후에도 기술제휴와 지침에 반영되도록 관련기관과의 지속적인 협의를 진행할 계획이다.

구분	제휴업체	기술제휴
통합형 내진성능평가 기준 및 열화모델	관련 민간업체	■ 최종 성과물인 통합형 내진성능평가 기법과 제안된 열화모델, 개발된 SPARC 프로그램의 상용화 및 실무 적용
	한국시설안전공단 외 관련기관	■ 최종 성과물인 통합형 내진성능평가 기법과 제안된 열화모델, 개발된 SPARC 프로그램을 한국시설안전공단의 "기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령", "기존 시설물(건축물) 내진성능 향상요령" 반영할 수 있도록 제안

4.3 적용실적 및 활용계획

본 연구는 기존 구조물의 내진성능평가에 위험도평가와 상세평가를 접목시킨 새로운 방법의 시도로 연구과 종료되는 현지점에서의 적용실적은 아직 발생하지 않은 상태이다. 그러나 내진성능평가의 새로운 패러다임을 가진 미래지향적인 평가방법을 제시할 수 있다는 차별성을 가지고 있는 연구개발과제로 향후에 학술적인 측면 및 기술적인 측면에서 유사한 연구를 통하여 체계적인 평가방법과 데이터 축적 및 분석이 이루어리라 에측되며, 본 연구에서 제안하는 평가기법을 기반으로 한 내진성능평가기법의 실용화가 실현되면 사회기반 시설물을 포함한 국민이 이용하는 대다수의 시설물에 대해 내진에 대한 안전과 지속적인 관리가 가능하여 안정적인 국가성장 동력에 밑거름을 제공 할 수 있다.

최종 년도에 개발되는 내진성능평가기법의 소프트웨어와 지침에의 제안을 통하여 대상 시설물의 위험시나리오에 따른 단계별 내진성능보강 방안을 수립할 수 있다. 이를 활용하여 내진성능평가의 개념이 생소한 관리주체와 진단기술자가 손쉽게 건축물의 예비평가를 접근할 수 있고 진단기술자에게도 내진성능평가절차를 자세히 소개하는 지침을 발간함으로써 기존 건축물의 내진평가 및 향상요령의 보급 및 적용성 확대에 기여할 수 있다.

기존 건축물의 내진성능을 확보하기 위한 방안은 보강방법에 따라 경제성이 적게는 수백만원에서 많게는 수억원의 비용이 소요된다. 국가 또는 정부 소유의 관공서, 소방서, 교도소 등과 법인 및 개인 소유의 건축물 중 그 중요도가 매우 높은 병원, 쇼핑몰 등과 같은 건축물은 최소의 내진성능을 확보할 수 있는 기능수행 수준의 보강방안이 아니라 위험 시나리오 분석을 통한 내진성능을 확보할 수 있는 방안으로 수립될 수 있으며, 개인 건축주 소유의 건축물(일반주택 등)은 발생확률이 매우 낮은 지진에 대비하여 막대한 비용을 들여 내진보강을 하기에는 경제적인 부담감을 발생시킬 수 있어 적은 비용으로 최적의 내진성능을 확보할 수 있는 기능수행 수준으로 보강방안이 수립될 수 있다.

구체적인 활용방안에 대해서 언급하면 다음과 같다.

- 지진시 위험요소에 대한 효율적/실질적 내진 대책 효과 기대
- 중요도에 따른 단계별 보강방안 수립으로 경제적인 내진보강 가능
- 확률적 위험도 평가 및 상태평가를 통한 기존 시설물의 내진성능평가 기법 확립
- 기존 건축물의 건전도 및 손상에 따른 실질적 내진성능평가 및 내진보강
- 평가 전용 프로그램의 개발 및 운영으로 내진성능평가 방법의 기술력 향상
- 기존의 강도개념 평가에서 위험도 및 상태평가의 내진성능평가 도입으로 학술적 발전
- 프로그램의 범용화로 내진성능평가 업무의 대중화 및 내진관련 기술 저변 확대
- 국토교통부, 시설안전관리공단 등의 기존시설물 내진성능평가에 본 연구 내용을 반영토록 제안할 수 있으며, 차후 본 연구결과를 통하여 국내 건축물에 내진에 대한 성능향상에 기초적인 자료 제공

제 5 장 연구목표 달성 및 효과

5.1 연구개발 목표

5.1.1 연구개발 최종목표

본 연구개발과제에서는 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가 방안을 수립하고 지진 시 인명과 재산의 보호에 문제가 없는 동시에 경제적인 설계 및 내진보강방안이 될 수 있는 합리적인 평가기법을 개발하고자 한다.

이러한 연구를 통하여 체계적인 평가방법과 데이터 축적 및 분석이 이루어지고 제안하는 평가기법을 기반으로 한 새로운 패러다임의 합리적인 내진성능평가기법의 실용화가 실현되며 이는 사회기반 시설물을 포함한 국민이 이용하는 대다수의 시설물에 대해 내진에 대한 안전과 지속적인 관리가 가능하여 안정적인 국가성장 동력에 밑거름을 제공 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 내진성능평가에 구조물 및 설비 시설물에 대하여 위험도 평가와 상태평가를 통하여 실질적인 분석이 되도록 하였다. 또한, 이를 SPARC라는 프로그램으로 구성하여 내진보강에 대한 의사결정을 보다 합리적으로 할 수 있도록 하였다.

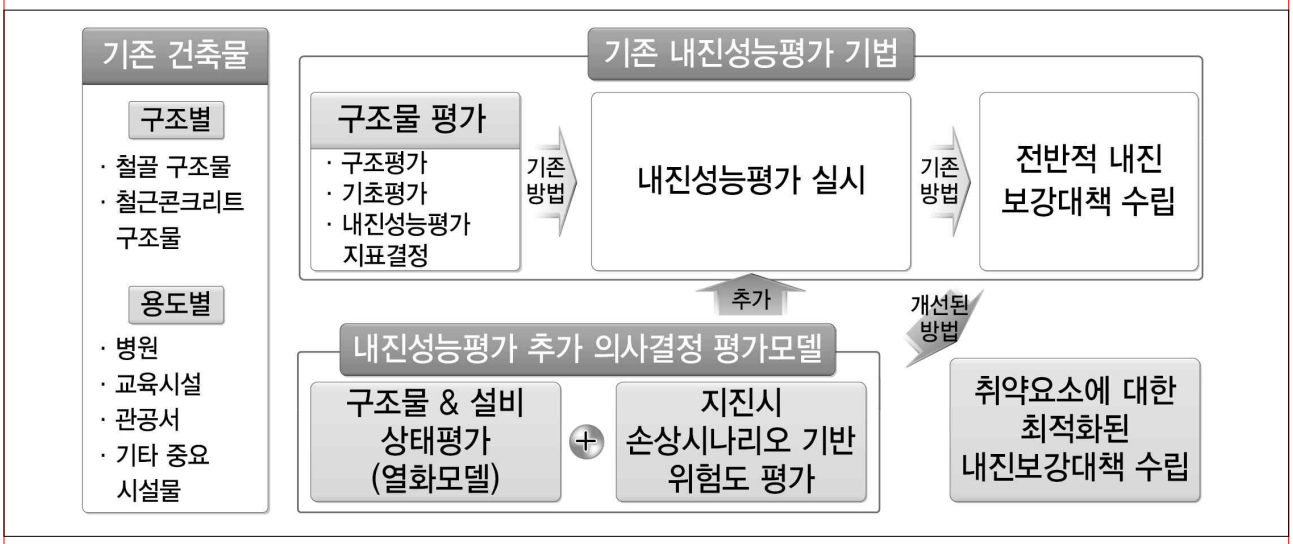
가. 연구개발 분야별 목표

(1) 기존 건축물의 지진시 재해영향을 최소화하고 최적내진 보강을 위한 개선된 내진성능평가 기법의 개발

(2) 국내외 지진피해 사례조사 및 분석, 연구 및 기술개발 현황 분석을 통해 개선된 내진성능평가 기법을 검토

(3) 기존의 내진성능평가 기법에 위험도 및 상태평가 결과를 반영한 개선된 내진성능평가 기법 제시

(4) SPARC 프로그램을 통한 개선된 기법의 검증 및 실용화



<그림 5.1.1 최종 연구목표-개선된 내진성능 평가 개요>

5.1.2 연구개발 세부 목표 및 달성

가. 분야별 목표 및 달성

(1) 내진성능평가, 위험도평가, 상태평가에 대한 연구 수행 전략 및 방법론 개발

(가) 국내외 지진관련 피해 및 연구사례 조사 및 분석을 통한 개선사항 도출

① 국내외 지진피해사례 조사 및 분석을 통한 연구 방향 추가 검토

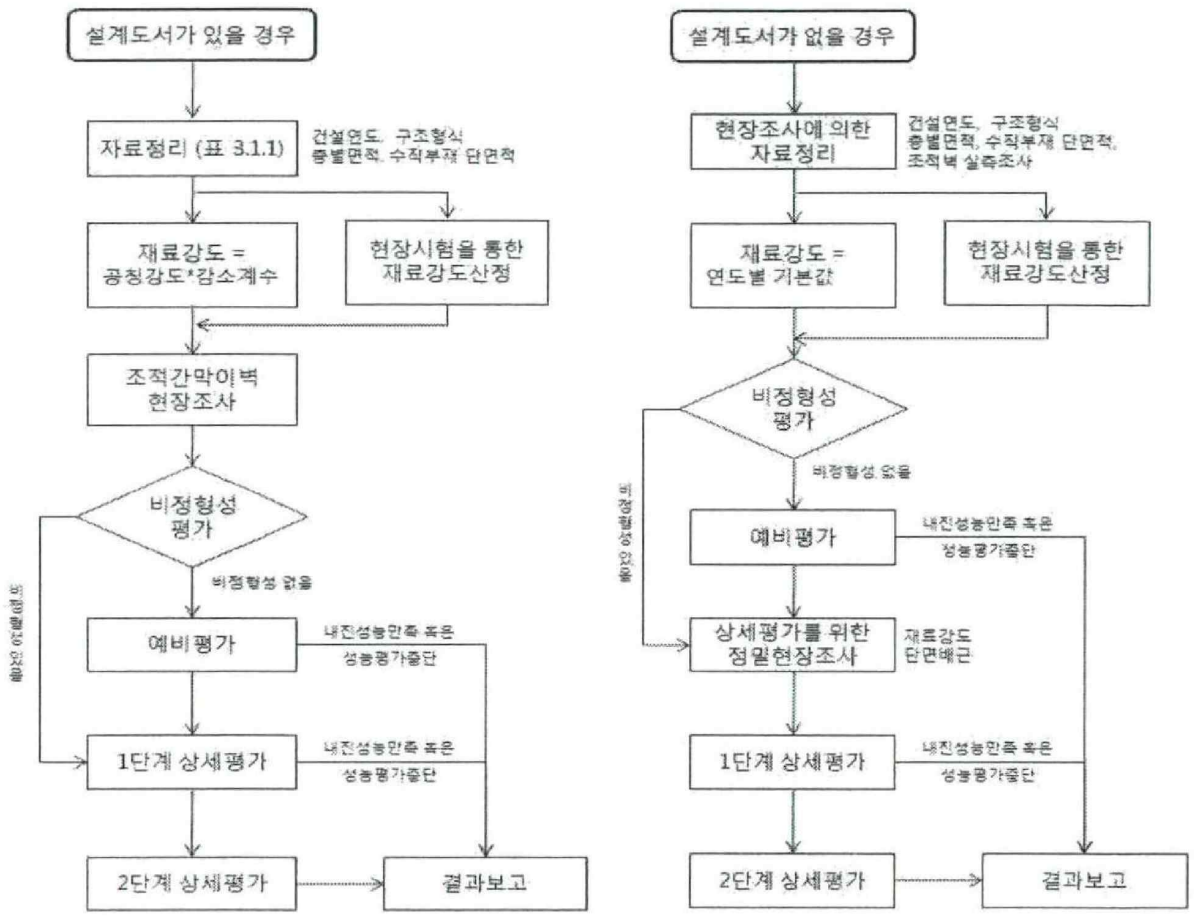
② 국내외 기술개발 현황 분석을 통한 연구개발 결과의 우수성 및 차별성 확립

(나) 내진성능 평가

① 위험도, 상태평가를 고려한 통합형 평가기법 정립

② 부재 단면별 비선형성 설정(IO, LS, CP의 제안)

③ 본 연구의 상태평가 + 위험도평가를 도입한 성능평가 기법은 '한국시설안전공단의 기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령' 을 성능평가의 근간으로 하여 정립하였다.



<그림 5.1.2 본 연구의 내진성능 평가 기준>

(2) 열화모델을 근간으로 한 상태평가 기법 연구 개발

(가) 열화모델을 이용한 구조물 상태등급 산정

구조물의 열화를 일으키는 변상항목은 구조요소와 비구조요소에 다양하게 나타난다. 하지만 이 모든 열화 항목이 지진 재해에 영향을 미치는 것이 아니다. 따라서 기존의 상태평가 항목 중 지진에 미치는 영향이 큰 열화인자들을 구별하고, 지진 시 영향을 많이 받는 부재위치를 결정하여, 지진 재해 시 영향을 미칠 단계별 중요도를 만들어 기존 구조물의 지진재해 영향 평가 시 이를 적용하였다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 지진 재해를 위한 상태평가 항목의 중요도를 부각시킬 수 있으며, 기존 상태평가 기법에서 안전진단을 실시하지 않는 구조물에 대해서는 열화모델을 통해 노후화를 예측할 수 있는 상태평가 모듈을 개발하였다.

과거 건축물 지진 관련 연구사례를 검토하면 철근 콘크리트 구조의 경우, 노후화로 인한 휨이나 전단균열 진전으로 콘크리트 박락, 철근노출 등의 변상으로 강성이 저하는 되는 것을 우선적으로 고려하였고, 철골구조의 경우 대표적인 손상으로 휨 또는 압축력에 의해 발생하는 변형으로 국부좌굴이나 전체 좌굴을 고려하였다.

<표 5.1.1 지진 재해시 영향을 많이 받는 변상 항목 정립>

구 분	주요 변상 항목(변상 진전 순서별)
철근콘크리트 구조	휨, 전단 균열 / 콘크리트 박락, 철근노출 / 단면 손실
철골 구조	휨, 압축력에 의한 국부좌굴 / 전체좌굴

<표 5.1.2 철근콘크리트 구조의 변상항목 중요도 정립>

위험 수준	복구 수준	지진재해 영향	변상 주요 내용
하	낮음	지진재해 영향 미약	육안 확인이 가능한 휨, 전단 균열
중	보통	지진재해 영향 보통	강도 저하
상	높음	지진재해 영향 큼	철근 노출, 콘트리트 압축파괴, 박락 발생

<표 5.1.3 철골 구조의 변상항목 중요도 정립>

위험 수준	복구 수준	지진재해 영향	변상 주요 내용
하	낮음	지진재해 영향 미약	경미한 손상 및 좌굴발생
중	보통	지진재해 영향 보통	강도저하에 영향을 미치는 손상 및 좌굴발생
상	높음	지진재해 영향 큼	중대한 손상 및 좌굴 발생 및 접합부 손상

(나) 과거 이력데이터 및 전문가 설문을 이용한 부재별 열화모델 개발

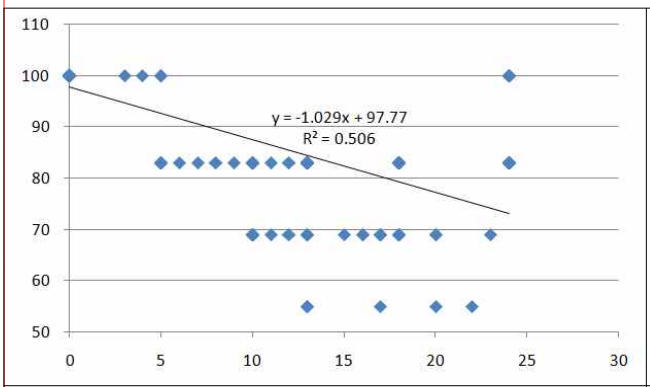
시설안전기술공단의 건축물 정밀안전진단 보고서와 전문가 설문에 의해 분석된 DB를 통하여 열화모델 개발

<표 5.1.4 공용년수에 따른 열화모델 예측식>

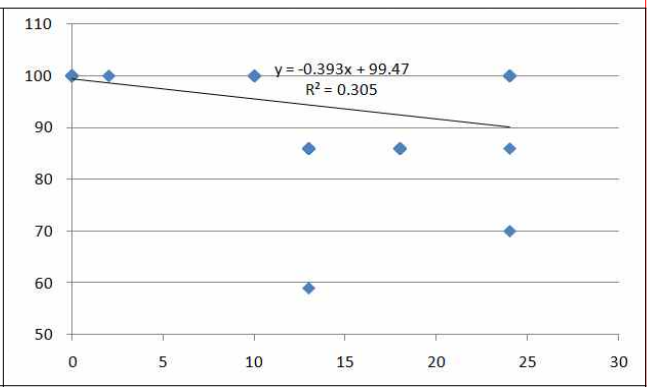
구 분	부재종류	공용년수(x)에 따른 강도감소율(y)	r^2
철골구조	보	$y=-1.029x+97.77$	0.506
	기 둥	$y=-0.393x+97.47$	0.305
철근콘크리트 구조	보	$y=-0.625x+98.01$	0.403
	기둥, 벽체	$y=-0.577x+98.02$	0.318
	슬래브	$y=-0.711x+98.40$	0.503

(다) 열화모델을 통한 건축물 강도저하 예측 결과 도출

정밀안전진단 보고서에서 분석된 공용연수에 따른 상태등급을 통해 강도감소율을 산정한 데이터와 전문가 설문조사에서 분석된 공용연수별 상태등급을 추가하여 데이터의 표본집단을 증가하여 형식별 강도저하 예측을 도출

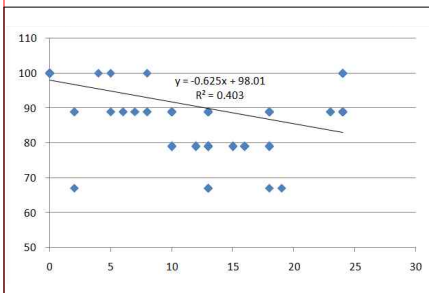


보부재의 공용연수에 따른 강도감소율

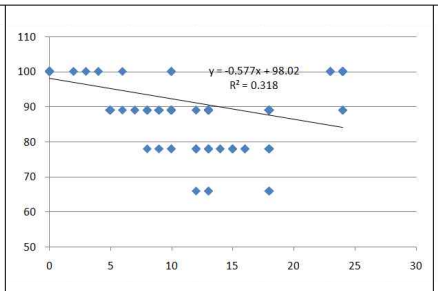


기둥부재의 공용연수에 따른 강도감소율

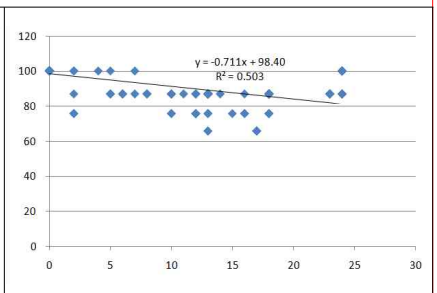
<그림 5.1.3 철골구조 >



보부재의 공용연수에 따른 강도감소율



기둥 및 벽체부재의 공용연수에 따른 강도감소율



슬래브부재의 공용연수에 따른 강도감소율

<그림 5.1.4 철근콘크리트구조 >

(3) 위험시나리오 모듈에 따른 위험도 평가 기법 연구 개발

(가) 위험요소 분석 및 손상/발생확률 평가

① 위험요소 분석

건축시설물의 지진 발생시 발생가능한 위험요소를 구조재와 비구조재로 구분

구조재에서 고려될 수 있는 위험요소는 구조물의 손상과 피해를 유발할 뿐만 아니라 비구조재의 손상 및 파손을 유발하게 되고 그로 인한 화재발생에 따른 구조재의 2차 손상을 야기할 수도 있음

비구조재의 경우 특정 설비의 손상 및 파손이 설비간 영향을 미쳐서 연쇄적인 손상 및 작동불가를 일으킬 수 있고, 가스배관의 파손과 전기설비의 발화로 화재발생 및 추가적인 악영향을 미치게 되어 구조재에 직접적인 위험사건이 될 수 있음을 직관적으로 알 수 있다. 따라서 단순한 구조해석 및 그에 따른 성능평가가 지진시 발생가능한 재난상황 및 구조물 손상을 합리적으로 반영할 수 없을 것으로 판단됨.

지진시 소규모에서는 큰 문제가 없으나 중·대규모 지진에서는 구조물 손상과 더불어 대형화재가 발생하여 건물 추가붕괴 및 인명손상 등 심각한 2차 피해가 발생할 수 있다. 미국과 일본 등 해외의 대규모 지진에서도 이러한 상황이 발생되고 있다. 지진화재에 영향을 미치는 요소 분석 결과 비구조재에서의 지진시 화재에 대한 위험요소가 많은 것을 알 수 있음.

<표 5.1.5 지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건>

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
구조재	기둥	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴 / 구조물 붕괴
			화재발생
			충격하중
	보	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴
			화재발생
			충격하중
	바닥판	바닥판 파손	장비 손상/파손
			배관 손상/파손
	브레이싱	부재파손	주부재 안전성 저하
		좌굴발생	
	접합부	접합부 파손	부분붕괴
			배관 손상/파손
			주부재 안전성 저하

<표 5.1.6 지진시 비구조재의 위험요소 및 유발사건>

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
비구조재	전기설비	전선단락	소방/제어 설비 불능
			중요시설 정지
		비상발전기 미작동	소방/설비제어 불능
			중요시설 정지
			지진 복구 지연
		수변전설비 전도/고장	충격하중 / 정전지속
		누전 및 합선	정전 / 화재
	기계설비	엘리베이터 및 기계 손상	작동 불능 / 지진복구 지연
			추락 및 화재
	가스설비	가스배관 손상 및 누출	화재 및 폭발, 구조물 손상
		가스탱크 폭발	화재, 구조물 손상/붕괴
	제어설비	제어시스템 작동 불능	소방/설비제어 불능
		제어설비 파손	지진복구 지연
	소방설비	스프링클러 미작동	화재진압 불가
	상수도설비	물탱크 파손/전도	충격하중
			전기/기계설비 손상
		상수도배관 파손	소화시설 작동불가

<표 5.1.7 지진화재에 영향을 미치는 요소>

요 인	기본적 위험요소
1. 지진의 영향	•건물손상 •내용물의 이동 •가스 전력설비 및 배관망 등의 파손
2. 점화원	•나화, 고온표면 •보일러 플랜트의 붕괴 •구조적 손상에 의한 단락 •전력선의 탈락
3. 화재의 성립	•연료(내용물) •건물 내 진압설비의 고장 – 스프링클러 : 건물에 연결되는 주 배관 – 가압 : 동력과 실링(이동손상에 의해)
4. 화재확산	•일반적 요인 – 높은 건물밀도 – 주변 방벽이 내화성능을 갖지 못함 •사고 또는 장소의 특성 – 바람(강도와 풍향) – 건축적 조치(Passive measures)의 손상
5. 감지/구획 /소화	•화재발생 위치를 알지 못함 : 경보시스템의 손상 또는 혼선 •소방대 대응의 장애 발생 •배관망 손상에 따른 수압 손실

② 손상/발생 확률 DB

파괴확률(Pf) 산정을 위한 주요 구조재의 불확실변량

<표 5.1.8 주요 불확실변량>

랜덤변수		공칭비	변동계수	참고문헌
거더 및 보	콘크리트압축강도(fck)	0.928	0.119	Nowak et. al.(1994)
	철근 항복강도(fy)	1.033	0.058	Nowak(1995)
	강재 탄성계수(Es)	1.000	0.060	Tabsh-Nowak(1991)
	텐던 탄성계수(Ep)	1.000	0.060	Tabsh-Nowak(1991)
	작용 축력(N)	1.050	0.100	Nowak(1999)
	작용 휨모멘트(Ms)	1.050	0.100	Nowak(1999)
	작용 전단력(Ss)	1.050	0.100	Nowak(1999)
기 둥	콘크리트압축강도(fck)	0.997	0.098	Nowak et. al.(1994)
	축력(P)	1.050	0.100	Nowak(1999)
활하중		1.24	0.25	Cho, H. N. (1989)

(나) 지진재해 위험시나리오 구성

① 위험시설물 유무를 고려한 위험 시나리오 구성

평가 대상시설물의 특성에 따라 설비의 설치 유무 및 위험요소 여부 등에 따라 위험시나리오 및 위험성이 달라질 수 있으므로 위험지수 분석을 통해 주요 위험시나리오 및 집중관리 대상을 선정

<표 5.1.9 설비시설 유무 및 위험요소 여부>

구 분	가스배관			스프링클러		비상발전기		폭발/위험물		물탱크		
	외부	내부	없음	설치	없음	설치	없음	있음	없음	옥상	지하	없음
시설-A	○			○			○		○	○		
시설-B		○			○		○		○			○
시설-C			○	○		○		○			○	
:												

② 위험시나리오에 따른 통합내진 성능평가 적용기준

㉮ 위험시나리오에 의한 발생가능성을 추정하고 위험손실 정도에 대한 정량화를 통해 위험지수를 산정하여 중요 위험시나리오에 대한 분석을 수행

㉯ 많은 위험시나리오 중에 중요 위험시나리오를 선정하여 위험사건에 따른 부재의 손상율을 산정한 후 내진성능평가를 위한 구조해석 시 위험시나리오가 발생되는 부재에 적용하여 수행

(다) 위험성평가 및 위험도 평가 결과 도출

평가대상의 분야별 가중치를 산정하고 위험요소별 위험성평가를 통해서 분야별 위험요소의 위험성지수를 정리하였으며, 여기서 위험성지수는 단순히 위험손실의 크기만을 산정한 것이 아니라 발생가능성을 기초로 위험발생에 따른 위험손실 및 구조물 안전에의 영향정도를 고려한 정성적 평가를 정량화

위험성평가 결과 지진시 가스누출에 따른 소방설비의 작동불능에 따른 화재지속으로 인한 위험성이 발생가능성을 고려했을 때 가장 큰 것으로 분석

위험성평가 결과를 근간으로 위험시나리오 산정을 하였으며, 확률적 위험도평가를 수행

파괴확률 추정을 위한 모델은 화재 미발생시 모델과 화재모델에 대해 MCS(Monte Carlo Simulation) 기법을 통해 개발된 위험도평가 모듈 프로그램으로 파괴확률을 산정

<표 5.1.10 위험성지수(QRAi) 산정을 통한 위험성평가 결과>

구 분		A	B	C	D	E	합 계
		가스누출	전기합선	과다변위 발생	가스배관 연결부손상	유류, 위험물 저장	
F1	가스설비	5.9	4.6	3.3	2.3	1.8	18.9
F2	소방설비	6.4	5.7	5.0	2.5	2.5	24.1
F3	전기설비	1.7	1.4	1.2	0.7	0.6	8.6
F4	기타설비	2.2	1.8	1.1	0.9	0.8	10.8
합 계		16.2	13.5	10.6	6.4	5.7	

나. 프로그램 개발

(1) 세부 모델 정립을 통한 프로그램 개발

(가) 상태평가 모듈 개발

제 C-2015-025684 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	내진성능평가를 위한 상태평가 모듈		
2. 저작자 성명 (법인명)	주식회사 건우코퍼레이션 경기도 수원시 권선구 세권로85번길	3. 생년월일 (법인등록번호)	134111-0194162
	유니콘스 주식회사 서울특별시 강남구 논현로24길		110111-2960642
	주식회사 우성디앤씨 서울특별시 서초구 동광로		131111-0231595
4. 창작연월일	2015년09월30일		
5. 공표연월일	-		
6. 등록사항	저작자 : 주식회사 건우코퍼레이션 · 유니콘스 주식회사 · 주식회사 우성디앤씨 , 창작 : 2015.09.30		
7. 등록연월일	2015년11월04일		

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2015년 11월 05일

한 국 저 작 권 위 원 회

(나) 위험도평가 모듈 개발

제 C-2015-025683 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	내진성능평가를 위한 PRA(확률적 위험도 분석) 모듈		
2. 저작자 성명 (법인명)	주식회사 건우코퍼레이션 경기도 수원시 권선구 세권로85번길	3. 생년월일 (법인등록번호)	134111-0194162
	유니콘스 주식회사 서울특별시 강남구 논현로24길		110111-2960642
	주식회사 우성디앤씨 서울특별시 서초구 동광로		131111-0231595
4. 창작연월일	2015년09월30일		
5. 공표연월일	-		
6. 등록사항	저작자 : 주식회사 건우코퍼레이션 · 유니콘스 주식회사 · 주식회사 우성디앤씨 , 창작 : 2015.09.30		
7. 등록연월일	2015년11월04일		

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2015년 11월 05일

한 국 저 작 권 위 원 회

(2) SPARC프로그램을 통한 통합 시스템 구성

(가) 상태평가, 위험도 평가를 통합한 SPARC프로그램 개발

제 C-2015-025682 호

프 로 그 램 등 록 증

1. 프로그램의 제호 (명칭)	내진성능평가를 위한 기본정보 입력 모듈		
2. 저작자 성명 (법인명)	주식회사 건우코퍼레이션 경기도 수원시 권선구 세권로85번길	3. 생년월일 (법인등록번호)	134111-0194162
	유니콘스 주식회사 서울특별시 강남구 논현로24길		110111-2960642
	주식회사 우성디앤씨 서울특별시 서초구 동광로		131111-0231595
4. 창작연월일	2015년09월30일		
5. 공표연월일	-		
6. 등록사항	저작자 : 주식회사 건우코퍼레이션 · 유니콘스 주식회사 · 주식회사 우성디앤씨 , 창작 : 2015.09.30		
7. 등록연월일	2015년11월04일		

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

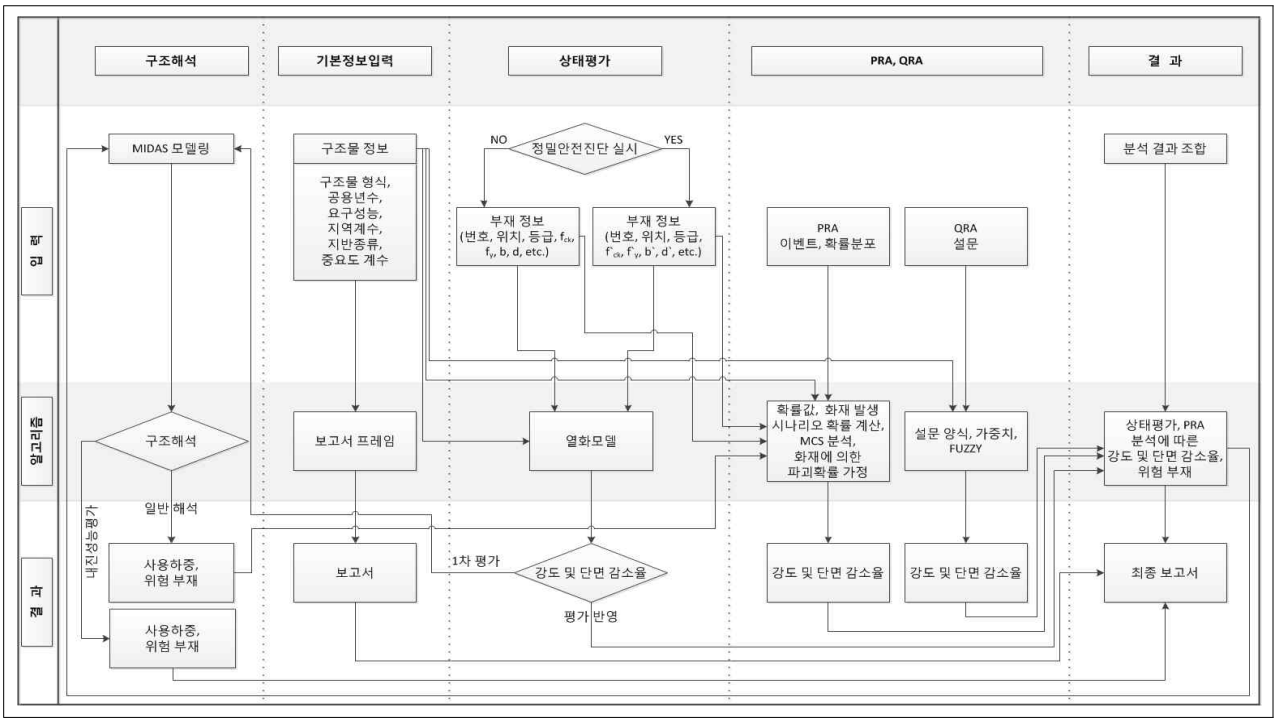
2015년 11월 05일

한 국 저 작 권 위 원 회

(나) 프로그램을 통한 내진성능평가 실무적용

① 프로그램의 적용

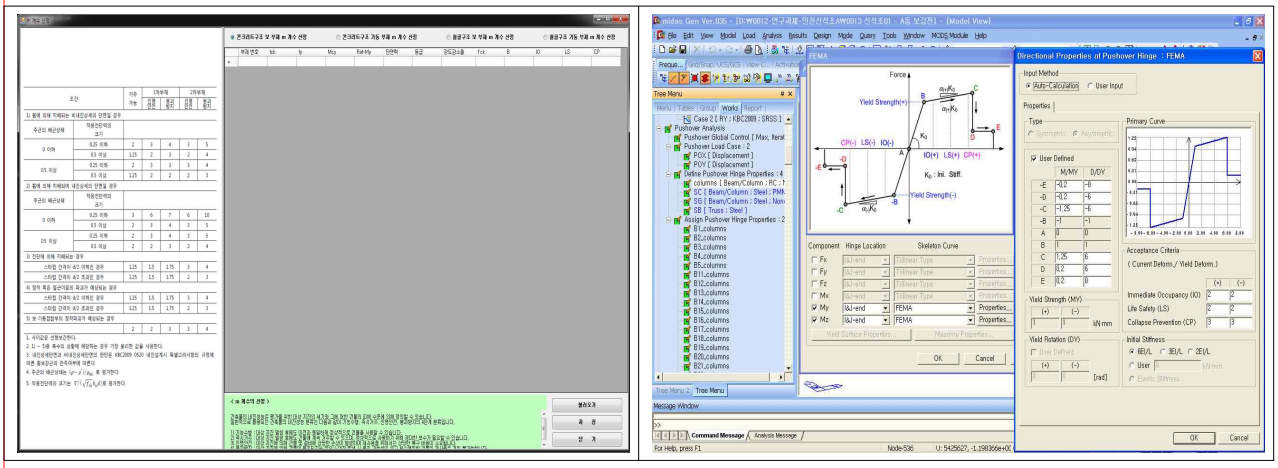
SPARC 프로그램은 컴포넌트화된 4개의 모듈로 구성되며 구조물 기본정보 입력, 상태 평가, 위험도 분석, m계수 산정으로 이루어져 있는 각 모듈은 독립적으로 운영될 수 있으며 내진성능평가를 위한 시스템으로 통합된다.



<그림 5.1.5 SPARC 프로그램 구성도>

② m 계수 산정 모듈

내진 성능 평가의 결과로 각 부재의 m 계수를 산정하여 IO, LS, CP의 계수를 정하기 위한 모듈이다. 독립된 모듈로서는 MIDAS 데이터를 기반으로 m 계수를 산정할 수 있다. 이는 존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(한국시설안전공단, 2011)의 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정기준과 본 연구과제에서 제시하는 기준을 토대로 산정 한다.



<그림 5.1.6 m 계수 산정 모듈>

5.2 년도별 연구개발 목표 성과 기준표

5.2.1 1차년도 성과 기준표

<표 5.2.1 1차년도 성과점검 기준표>

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	해당 기관
							목표치	측정방법	검증방법		
질적 목표	1	기존시설물의 내진성능 향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발	1	내진성능평가와 위험도평가, 상태평가의 연계방안 마련	①	위험요소별 확률특성값 신뢰도	95% 이내	신뢰성지수 확인	유관기간 자문	35%	
					②	기존건축물 상태평가 지수	95% 이내	상태평가지수 확인	유관기간 자문	30%	
					③	기존내진성능평가 한계성 분석	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	유관기간 자문	35%	
	계									100%	

	사업연계지표	성과지표	목표치	가중치	해당 기관
양적 목표		기존 건축물 위험시나리오 작성 및 DB확립	1건	75%	
		학술지 논문 기재 (발표 포함)	1건	25%	
	계			100%	

5.2.2 2차년도 성과 기준표

<표 5.2.2 2차년도 성과점검기준표>

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	해당 기관
							목표치	측정방법	검증방법		
질적 목표	1	기존시설물의 내진성능 향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발	위험도와 상태평가를 고려한 내진성능 평가기법 정립		①	위험요소별 해석변수 정립	95% 이내	위험시나리오	유관기간 자문	25%	
					②	손상 프레임 개발	95% 이내	기존 개발프레임과 비교	유관기간 자문	25%	
					③	평가기법 체계성 검증	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	유관기간 자문	24%	
			평가기법별 세부모듈 개발		①	위험도평가용 모듈 개발	95% 이내	리스크맵과 비교	프로그램 시연	9%	
					②	상태평가용 모듈 개발	95% 이내	상태평가지수와 비교	프로그램 시연	9%	
					③	내진성능평가용 모듈 개발	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	프로그램 시연	8%	
	계									100%	

	사업연계지표	성과지표	목표치	가중치	해당 기관
양적 목표		위험도 및 상태평가 모듈 개발	1건	40%	
		학술지 논문 기재 (발표 포함)	2건	30%	
		알고리즘 검증	1건	30%	
	계			100%	

5.2.3 3차년도 성과 기준표

<표 5.2.3 3차년도 성과점검기준표>

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	해당 기관
							목표치	측정방법	검증방법		
질적 목표	1	기존시설물의 내진성능 향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태 평가 기법 개발	1-3	최적 내진성능 평가기법 정립 및 검증	①	평가기법 논리 검증	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	유관기간 자문 자료 검증 유무	15%	
					②	평가기법 통합성 검증	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	유관기간 자문 자료 검증 유무	15%	
					③	평가기법 체계성 검증	95% 이내	내진성능 평가요령과 비교	유관기간 자문 자료 검증 유무	15%	
			1-5	통합모델 개발 및 인계모듈 개발	①	통합프레임 및 흐름도 개발	95% 이내	S/W 등록	프로그램 등록 여부	25%	
					②	세부모듈 연계화와 통합시스템 개발	95% 이내	S/W 등록	프로그램 등록 여부	15%	
					③	운영 로직 검증(관련기관)	95% 이내	관련기관 검증 필	관련기술 검증 서류 유무	15%	
	계									100%	

		성과지표	목표치	가중치	해당 기관
양적 목표	사업연계지표	S/W 등록건수	3건	20%	
		학술지 논문 기재 (발표 포함)	2건	20%	
		정책제안(시설안전관리공단)	1건	30%	
		기술제휴(사업화 및 상용화를 위한 기술제안)	1건	30%	
	계			100%	

<표 5.2.4 정량적 성과지표 달성도>

연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
최적 내진성능평가기법 정립 및 검증	위험요소별 해석변수 정립	평가기법 논리 검증	1건	15%	1건
	손상 프레임 개발	열화모델 개발	1건	15%	1건
	통합형 내진성능평가기법 개발(논문발표)	평가기법 체계성 검증	2건	15%	3건
평가기법별 세부모듈 개발	통합프레임 및 흐름도 개발	프로그램 등록	1건	25%	1건
	세부모듈 연계화와 통합시스템 개발	프로그램 등록	2건	15%	2건
	운영 로직 검증(관련기관)	프로그램 구현을 통한 구조물 해석	1건	15%	1건
총 계				100%	100%

5.3 연구개발 목표달성 효과

5.3.1 연구개발 목표달성 효과

본 연구는 기존 구조물의 내진성능평가에 위험도평가와 상세평가를 접목시킨 새로운 방법의 시도이며 내진성능평가의 새로운 패러다임을 가진 미래지향적인 평가방법을 제시할 수 있다는 차별성을 가지고 있는 연구개발과제라고 할 수 있다. 이러한 연구를 통하여 체계적인 평가방법과 데이터 축적 및 분석이 이루어지고 제안하는 평가기법을 기반으로 한 내진성능평가기법의 실용화가 실현되면 사회기반 시설물을 포함한 국민이 이용하는 대다수의 시설물에 대해 내진에 대한 안전과 지속적인 관리가 가능하여 안정적인 국가성장 동력에 밑거름을 제공 할 수 있다.

최종 개발된 기존 구조물의 열화모델과 대상 시설물의 위험시나리오를 적용한 기존 구조물의 내진성능평가기법의 Software와 지침을 통하여 대상 시설물의 단계별 내진성능보강 방안을 수립할 수 있다. 이는 내진성능평가의 개념이 생소한 관리주체와 진단기술자가 손쉽게 구조물의 예비평가를 접근할 수 있고 진단기술자에게도 내진성능평가절차를 자세히 소개하는 지침을 발간함으로써 기존 건축물의 내진평가 및 향상요령의 보급 및 적용성 확대에 기여할 수 있다.

기존 건축물 내진성능을 확보하기 위한 방안은 보강방법에 따라 경제성이 적게는 수백만원에서 많게는 수억원의 비용이 소요된다. 국가 또는 정부 소유의 관공서, 소방서, 교도소 등과 법인 및 개인 소유의 건축물 중 그 중요도가 매우 높은 병원, 쇼핑몰 등과 같은 건축물은 최소의 내진성능을 확보할 수 있는 기능수행 수준의 보강방안이 아니라 위험시나리오 분석을 통한 내진성능을 확보할 수 있는 방안으로 수립될 수 있으며, 개인건축주 소유의 건축물(일반 주택 등)은 발생확률이 매우 낮은 지진에 대비하여 막대한 비용을 들여 내진보강을 하기에는 경제적인 부담감을 발생시킬 수 있어 적은비용으로 최적의 내진성능을 확보할 수 있는 기능수행 수준으로 보강방안이 수립될 수 있다.

- 지진시 위험요소에 대한 효율적/실질적 내진효과 기대
- 중요도(Risk Map)에 따른 단계별 보강방안 수립으로 경제적인 내진보강
- 기존 구조물 열화모델을 통한 내진성능평가
  - 기존 건축물의 건전도 및 손상에 따른 실질적 평가 및 내진보강
- 평가 전용 프로그램
  - 내진성능평가 방법의 기술력 향상
  - 기존의 설계강도 개념의 평가에서 위험도 및 상태평가의 도입한 내진성능평가
- 프로그램의 범용화
  - 프로그램 사용 확대로 내진성능평가 요령의 대중화
  - 내진성능평가의 대중화로 내진보강기술 저변 확대

5.3.2 연구개발 목표달성 결과 우수성 및 차별성

내진성능평가기법과 관련된 기존 연구가 여러 기관에서 수행되어 왔으며 지진시 국민의 생명보호와 시설물 안전을 확보하기 위한 노력들이 있어 왔다. 그러나 다음과 같이 기존 연구과제들은 구조물의 역학적 특성을 바탕으로 한 재료강도의 경년변화에 따른 내진성능의 구분과 그에 따른 등급화에 집중되어 있었으며, 본 연구에서는 이러한 제한을 넘어 시설물이 가지고 있는 위험요소를 고려한 실질적 내진성능을 평가할 수 있는 개선된 기법을 제안하여 내진성능평가 및 보강을 위한 의사결정에 대해 우수성 및 차별성을 가지고 있다고 사료된다.

가. 내진성능평가기법과 관련된 기존 연구과제 현황 및 분석

기존 건축물 내진성능평가 기법에 대해 수행된 연구과제 및 수행기관의 현황을 다음 표와 같이 정리하였다.

<표 5.3.1 기존 연구과제 현황 및 분석>

구 분	연구과제명	수행기관	연도
1	조적조 건물의 내력도평가	광운대	2000
2	구조 내진성능 평가에 관한 기술지침(안)	RIST 등	2002
3	기존 건축물의 내진성능 평가 및 향상요령	한국시설안전공단	2004
4	국내실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템건축물의 내진성능평가기법 개발	한국시설안전공단	2008
5	학교시설 내진성능평가 및 내진보강 가이드라인 개발	한국교육개발원	2011
6	건축물 내진성능평가 가이드라인	소방방재청	2012

주요 과제 별 연구내용에 대해 다음 표와 같이 요약 정리를 할 수 있다.

<표 5.3.2 기존 주요 연구과제 내용>

구 분	한국시설안전공단	한국교육개발원	소방방재청
해석방법	•예비평가 : 약산식 •1단계 상세평가 : 탄성해석(LSP, LDP) •2단계 상세평가 : 푸쉬오버해석(NDP)	•1단계 예비평가 •2단계 상세평가 : 탄성해석(LSP, LDP) •3단계 정밀평가 : 푸쉬오버해석(NDP)	•1단계 예비평가 •2단계 상세평가 : 탄성해석(LSP, LDP) •3단계 정밀평가 : 비선형정적해석
자료조사	•기본 재료강도, 설계도서상의 강도×재료상태 및 경과년수에 따른 감소계수 •현장시험		
평가결과	구조물 전체의 내진성능등급 판정		
평가등급	5등급(A-E등급)		

나. 기존 평가기법과 본 연구결과의 비교분석

기존 연구들에서는 발생지진력에 대해 구조부재로서 건축물이 저항할 수 있는 성능여부에만 초점을 맞추었으며, 이러한 평가과정의 틀에서 벗어나지 않고 구조물의 내진저항력에 대한 판별과 내진성능등급화를 통한 판정에 내진성능평가가 한정되어 있다.

그러나 실제 지진시 다음 그림과 같이 화재가 많이 발생하며 가스, 수도, 전기 등의 Life Line의 피해도 많이 뒤따르는 바, 이에 대해서는 기존 지진 사례 및 연구사례 등을 통해 충분히 확인되고 인지되는 사항이다.



<그림 5.3.1 고베지진시 도심지 화재사례(1995)>



<그림 5.3.2 일본 대지진시 화재사례(2011)>

따라서 지진시 건축물 안에 설치/설비되어 있거나 내포되어 있는 위험요소를 배제하고 내진성능평가를 하는 것은 이론/역학적 의미로는 그 가치가 충분히 있는 것이지만 실제 지진시 국민의 생명과 시설물을 지키기 위한 평가기법으로 역할을 다 할 수 있는지에 대해서는 의문점이 들지 않을 수 없다.

그러므로 본 연구에서는 발생지진력에 저항하는 구조부재의 저항성능뿐만 아니라 건축물에 내포되는 화재 및 주요 위험요소를 고려하였으며, 비구조재인 소방/전기/기계설비 등의 설치유무 및 작동/미작동에 따른 위험요소와 그에 따른 시나리오를 통한 실제 발생가능한 상황에 따른 내진성능평가가 될 수 있도록 하였다. 또한 기존 재료의 DB자료를 바탕으로 한 경과년별 추세곡선식을 제시한 상태평가기법을 적용하였으며, DB의 확대와 축적을 통해 추후 도심지,

산업단지, 염해지역 등을 구분하여 적용할 수 있는 지역별 상태평가의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

다음 표에서는 기존 내진성능평가기법과 본 연구의 결과에 대한 비교분석을 하였으며 기존 평가기법대비 차별화되고 우수한 측면에 대해 정리하였다.

<표 5.3.3 기존 내진성능평가기법과 본 연구과제 내용>

구 분	기존 내진성능평가기법	본 연구결과
내진성능 평가방법	성능기반 평가법 (상태평가 포함)	성능기반 평가법 위험도평가 / 상태평가
평가 및 고려 시설	• 전체 구조물	• 전체 구조물 • 비구조재 및 위험시설물 (소방/가스관/전기/기계설비 등)
평가시 주요 고려사항	• 부재강도/강성 • 사용연한 / 구조물 상태	• 부재강도/강성 • 사용연한 / 구조물 상태 • 가스관/물탱크 등 위험요소 여부 • 스프링클러 등 소방설비 설치여부 • 방재/제어/전기 설비 작동 여부
구조물 해석방법	• 예비평가 : 약산식 • 1단계 상세평가 : 탄성해석(LSP, LDP) • 2단계 상세평가 : 푸쉬오버해석(NDP)	• 1단계 : 예비분석 • 2단계 : 구조해석 • 3단계 : 상태 및 위험도평가 • 4단계 : 내진성능평가 (비선형정적해석)
상태평가	기본 재료강도, 설계도서상의 강도 ×재료상태/경과년수에 따른 감소계수	기본 재료강도, 설계도서상의 강도 ×기본DB에 의한 추세곡선식 고려 (경과년수에 따른 감소계수)
위험요소	-	위험요소 선정 및 분석
위험 시나리오	-	위험요소에 의한 시나리오 구성 손상/파괴확률 추정
평가등급	5등급(A-E등급)	위험지수 / 위험등급
평가 프로그램	-	평가전용 프로그램 개발
DB	-	상태평가용 DB구축 (건축물별 입력 / 업데이트 가능)

다. 본 연구에서 제안된 내진성능평가기법의 특징

기존 내진성능평가 기법을 개선하기위해 본 연구에서 수행되어 온 “구조물의 위험도 및 상태평가기반 개선된 내진성능평가 기법”은 내진해석 및 보강 방법의 의사결정에 대해 다음과 같은 연구개발결과의 우수성 및 차별성을 나타낸다고 판단된다.

(1) 위험도 및 상태평가를 고려한 개선된 내진성능평가 기법 개발

기존의 일반적인 내진성능평가 기법을 개선하기 위해 위험도와 상태평가를 고려하여 개선된 내진성능평가 기법을 제시하였다. 이를 통해 구조물 취약부나 노후화에 대한 상태등급 반영과 지진 재해시 위험사건 시나리오별 손상확률을 고려한 내진성능평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한 내진보강 의사결정시 광역적인 보수공법 적용이 아닌 취약부위에 대한 집중 내진 보강을 통해 내진보수보강 관련 비용을 최적화 할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 내진성능평가를 위한 위험도평가기법 개발

① 위험분석을 통한 구조물 형식별 위험시나리오 분석
② 평가대상 시설물의 주요 위험요소에 대한 검토 및 위험지수화를 통한 집중관리대상 선정한다.
③ 위험시나리오 중 중요 위험시나리오를 선정하여 위험사건에 따른 부재의 손상율을 산정한 후 내진성능평가를 위한 구조해석 시 위험시나리오가 발생되는 부재에 적용한다.

(3) 내진성능평가를 위한 상태평가기법 개발

① 열화모델을 이용한 노후 건축물의 상태평가 예측 기법 개발

상태평가 모듈을 통해 공용연수에 따른 구조물의 열화 및 실질적인 구조물의 상태를 반영할 수 있는 상태평가를 통하여 기존 구조물의 상태를 반영한 합리적인 내진성능평가를 수행한다. 또한 상태평가를 실시하지 않는 구조물에 대해서도 열화모델을 통한 노후화 상태의 예측으로 내진성능평가 시 활용성을 가질 수 있다고 판단된다.

② 구조물 및 설비의 상태평가결과의 내진해석 연계 방안 개발

구조물 및 설비의 상태평가를 통해 위험도평가 및 내진성능평가의 분석에 대한 의사결정을 지원함으로써 개선된 내진성능평가에 대한 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘은 상태평가 및 위험도평가 그리고 내진성능평가를 통합할 수 있는 알고리즘으로 이산화되어 있는 각각의 분석을 통합 가능하게 하였다.

(4) 내진성능평가 프로그램 개발

개선된 내진성능 평가 기법을 위험도평가와 상태평가 모듈별로 통합 프로그램(SPARC)을 구성하였고, 용도별/규모별/건축시기별 개선된 내진성능평가를 통해 관련 실무에서 엔지니어가 활용 가능한 프로그램으로 기존 내진성능평가의 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 프로그램을 이용하는 주체가 관련 데이터(손상이력, 추가위험사건 시나리오, 상태평가 결과 등)를 입력 가능하게 제공하고, 향후 이를 데이터베스로 구성하여 관련 연구결과를 업데이트 할 수 있을 것으로 판단된다.

제 6 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

6.1 연구성과의 활용

본 연구를 통한 성과의 활용은 크게 학술적 성과 활용과 실무적 성과 활용으로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서 도출된 연구성과는 크게 4가지 항목으로 볼 수 있으며, 각각은 1) 개선된 내진성능평가 기법, 2) 열화모델을 통한 노후 건축물 상태평가 기법, 3) 기존 건축물의 위험도 평가 기법, 4) SPARC 프로그램이다. 본 절에서는 각 기법에 대한 연구성과의 활용 방법과 통합 기법의 활용 방법을 학술적, 실무적 수준에서 논하고자 한다.

6.1.1 연구성과의 학술적 활용

우선, 상태평가 기법의 학술적 활용 방법은 노후 건축물 상태예측 기법에 있다. 노후 건축물은 생애주기간 계속적으로 변상요인으로부터 손상이 발생되며, 이러한 열화는 건축 구조물의 자산관리 측면에서 예측되어야 하고, 개발 된 상태평가 모델을 통해 자산관리 방법론의 학술적 연구 결과로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 상태평가 학술적 연구 성과를 정리하면 아래와 같이 크게 두 가지로 볼 수 있다.

1) 빅데이터와 전문가 데이터의 결합을 통한 열화모델 개발 방법론
2) 건축물 자산과리를 위한 다양한 노후 건축물의 형식별 생애주기별 노후화 예측 방법

다음으로 위험도 평가 기법의 학술적 활용 방법은 노후 건축물에서 발생할 수 있는 지진시 위험시나리오 기반 위험도 평가에 대한 확률적 분석 결과이다. 건축물 지진 발생시 예측 가능한 기초 시나리오를 생성하고 각 시나리오별 위험사건에 대한 확률 변수값을 기반으로 정량화된 위험도 평가 산정 결과를 추후 다양한 위험도 평가의 학술적 연구에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 위험도 평가의 학술적 연구 성과를 정리하면 아래와 같다.

1) 지진 재해시 노후 건축물에서 발생 가능한 위험 시나리오 활용
2) 위험도 평가를 위해 산정된 주요 불확실변량값의 유사연구 적용

마지막으로 개선된 내진 성능 기법의 연구성과에 대한 학술적 활용은 각각 세분화된 상태평가, 위험도평가, 내진성능평가 기법의 통합 방법론에 있다. 노후화된 건축물의 상태 및 위험도를 고려하여 내진성능 평가를 실시하는 것은 기본적 엔지니어링 수준에서 반드시 이루어져야 하는 행위 이므로 이를 연계하는 방안이 필요하다. 따라서 본 연구의 성과는 각각의 기법을 통합하는 통합 방법론에 있다고 판단되며 이러한 연구성과의 학술적 활용 방법은 아래와 같다.

1) 기존 내진성능 평가에 상태평가와 위험도평가를 단계별로 적용하였을 때 변화되는 내진성능 평과 결과의 활용
2) 건축 구조물과 설비 시설물에 대한 개선된 내진성능평가 방법

6.1.2 연구성과의 실무적 활용

앞서 언급한 4가지 연구성과에 학술적 활용에 추가적으로 실무적 활용은 아래와 같다.
우선, 상태평가 기법의 실무적 활용 방법은 아래와 같다.

1) 기존 건축물 점검/진단 주기의 적정성 평가
2) 정밀안전진단 미 실시 건축물에 대한 노후화 예측 방법

다음으로 위험도 평가 기법의 실무적 활용 방법은

1) 기존 건축물의 지진시 위험도 평가
2) 위험도 평가 기법을 유사 건축물 위험도 분석에 활용

그리고 개선된 내진성능 평가 기법의 실무적 활용 방법은

1) 개선된 내진성능 평가 기법을 이용하여 실제 구조물의 기법 적용단계별 내진성능 평가
2) 최적 보수보강 위치 선정으로 보수보강공사의 경제성 확보

마지막으로 프로그램을 이용한 실무적 활용 방법은

1) 프로그램을 이용한 내진성능 평가를 통해 내진성능평가의 효율성을 높이고, 해석 이력 데이터 누적으로 구조물 관리 최적화
2) 추가된 이력 데이터 및 해석 데이터를 관리하고 분석결과를 갱신하여 상태평가 및 위험도평가 데이터의 관리

이러한 학술적, 실무적 연구성과의 활용 방안 및 기술제휴에 대해 아래 표에 정리하였다.

<표 6.1.1 연구성과 학술적, 실무적 활용 방안>

연구성과	학술적 활용	실무적 활용	비고
1. 상태평가 -열화모델기반 상태평가 기법 -철골 및 콘크리트구조의 열화모델	· 다양한 데이터를 통한 열화모델 개발 방법론 · 노후 건축물 자산관리를 위한 건축물 형식별 노후화 정도 예측	· 점검/진단 주기 적정성 평가 · 건축물에 대한 노후화 예측 방법	
2. 위험도 평가 -구조물 형식별 위험시나리오 -위험요소별 변수 정립	· 지진 재해시 발생 가능한 위험시나리오 활용 · 주요 불확실변량값의 유사연구 활용	· 기존 건축물의 지진시 위험도 평가 · 위험도 평가 기법을 유사 분석에 활용	
3. 내진성능 평가 -위험도, 상태평가를 고려한 통합형 평가기법 도출 -부재 단면별 비선형성 설정 (IO, LS, CP의 채택)	· 기법 적용 단계별 차이점 분석 결과 · 구조물과 설비 시설물의 개선된 내진해석 방법	· 실제 구조물의 기법 적용 단계별 내진성능 평가 · 최적 보수보강 위치 선정	
4. 프로그램 개발 -내진성능평가, 위험도평가, 상태평가의 연계방안 수립 -평가 모듈별 프로그램 구성 -SPARC 프로그램 개발 및 검증	· 누적된 해석 이력데이터를 기반으로 상태평가 및 위험도 평가의 학술적 기법 갱신	· 프로그램을 이용한 내진성능평가 효율성 고취 · 해석 이력데이터를 통한 구조물 관리 최적화	

<표 6.1.2 연구성과 활용 방안을 위한 기술제휴 단계별 계획>

단계	단계명	기간	관련 기관	주요 활동내용
Ⅰ	기술 개발 단계	2012 ~ 2015	연구단(건우/우성/유니콘스)	연구개발 목표인 프로그램 개발 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	2015 ~	연구단(건우/우성/유니콘스) (주)에스코알티에스	지속적인 프로그램 보완 및 업그레이드 필요
Ⅲ	실용화 추진 단계 (협약 체결)	2016 ~	연구단(건우/우성/유니콘스) (주)에스코알티에스 관련기관	관련기관에의 홍보 및 판매 기술제휴에 관한 협약체결 (2016.02.01.)
Ⅳ	시장 수용 단계	2016 ~	연구단(건우/우성/유니콘스) (주)에스코알티에스	기존 건축물 내진성능평가 시스템에 도입

6.2 추가연구 필요성

6.2.1 추가연구 방향

본 연구를 통해 제시된 내진성능평가 기법은 노후 건축물의 상태평가와 위험도 평가를 기반으로 좀 더 실제 구조물 상황을 반영한 내진성능평가 기법이라 할 수 있다. 이를 바탕으로 아래와 같은 추가적 연구를 수행한다면 좀 더 실무적 적용성이 높은 연구 결과를 만들어 낼 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 추가연구 방향은 아래와 같이 크게 3가지로 구분하여 나타낼 수 있다.

가. 효율적인 실무 적용을 위해 추가적인 형식과 다양한 구조물에 대한 추가 연구 필요

나. 노후 건축물의 내진성능 개선을 위해 개선된 내진성능평가기반 최적 보수보강 공법의 연계 연구 필요

다. 개선된 내진성능평가 기법을 바탕으로 노후 건축물의 자산관리 연구

6.2.2 추가 연구 내용

앞서 언급한 추가 연구 방향에 따른 추가 연구 내용은 다음과 같다.

가. 다양한 건축 구조물 형식의 추가적 연구

본 연구에서 적용된 구조물은 철골과 철근콘크리트 구조물로 건축물 용도는 대형 구조물(학교, 병원 등)이다. 본 기법의 적용은 추가적으로 노후 건축물 중 조적식 형식에 대한 연구가 필요하다고 판단되며, 조적식 건축물의 내진성능평가 기법은 기존 내진성능평가 기법에 추가적으로 조적식 벽에 대한 특성이 연구되어야 한다. 또한 학교, 병원 이외에 추가적인 건축물에 대해 다양한 시설물이 포함된 건축물 용도별 내진성능평가에 대한 연구도 추가적으로 수행이 필요하다 판단된다.

나. 개선된 내진성능평가 결과를 기반으로 최적 보수보강 공법 개발

본 연구는 개선된 내진성능평가 기법을 바탕으로 구조물의 지진시 취약부위 선정에 관한 내용이라 할 수 있다. 내진성능개선은 정확한 내진성능평가 기반 적정 취약 부위에 최적 보수보강공법을 연결하는 과정까지 포함되어 있으므로 본 연구 결과에 추가적으로 구조물 형식 및 특성에 따른 최적 보수보강 공법 연계의 연구가 추가적으로 필요하다고 판단된다. 또한 새로운 내진보수보강 공법의 검토로 기존 노후화된 건축물의 최적 보수보강 공법을 선정하고, 보수보강 공법 적용 전후의 위험도 평가 연구가 필요하다고 판단된다. 추가적으로 보수보강의 정량적 개선 효과나 보수보강이 적용된 후의 열화모델 변화에 대한 연구도 필요하다고 판단된다.

다. 노후 건축물 자산관리 연구

본 연구에서 제시한 상태평가 및 위험도 평가 기법은 구조물의 자산관리에서 주로 이용되는 중요한 엔지니어링 기법이다. 보통 자산관리는 자산관리부, 구조물 서비스 수준, 열화모델, 생애주기비용의 분석, 위험도 평가를 기반으로 구조물 자산관리가 이루어진다. 본 연구에서 제시한 상태평가기반 열화모델과 구조물의 위험도 평가 기법을 바탕으로 건축 구조물 서비스 수준 평가기법과 자산관리부가 만들어 진다면 나아가 노후 건축물의 내진성능에 대한 자산관리가 가능할 것으로 판단되어 이에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

지금까지 언급한 추가 연구 방향과 이에 대한 내용을 아래 표에 정리하여 나타내었다.

<표 6.2.1 추가 연구 방향 및 내용>

추가 연구 방향	추가 연구 내용	비고
형식별, 용도별 다양한 구조물에 대한 추가 연구	· 추가적인 형식(조적식 등)의 연구 · 건축물 용도별 다양한 내부시설물에 대한 내진성능 평가 연구	
개선된 내진성능평가기반 최적 보수보강 공법 연계 연구	· 내진성능평가 기반 최적 보수보강기법의 연계 · 신규 및 기존 보수보강 공법의 정량적 효과 · 보수보강 공법 적용 전후의 열화모델 및 위험도 평가의 변화	
노후 건축물의 자산관리 연구	· 자산관리부에 의한 노후 건축물의 서비스수준 개발 · 자산관리를 위한 열화모델, 위험도평가, 생애주기비용 분석의 연구	

부록. A 연구성과

A.1 연구성과 집계 현황

<표 A.1.1 연구성과 집계현황표>

구 분		내 용	비 고
발표 논문	1차년도	위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법 (Seismic Performance Assessment for Existing Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation)	대한건축학회
	2차년도	기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태평가 기법 개발 (Improvement Seismic Performance of Existing Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation)	한국구조물진단유지관리 공학회
		위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 철근 콘크리트 건축물의 내진성능평가기법 (Seismic Performance Assessment for Existing Reinforced Concrete Buildings based on Risk Assessment and Condition Evaluation)	한국콘크리트학회
	3차년도	시설물의 내진성능향상을 위한 상태 평가 기법의 열화모델 제안 (Deterioration Model of Conditions Evaluation for the Seismic Performance of the Buildings.)	대한건축학회
		기존구조물의 개선된 내진성능평가기법을 기반으로 프로그램 개발을 위한 프레임 구현 (Frame for the implementation of a program developed based on the improved seismic performance evaluation techniques of existing structures)	
		기존건축물의 내진성능평가기법의 개선을 위한 위험도평가기법 개발 (Developing of risk assessment for improvement of seismic performance assessment on existing buildings)	한국구조물진단유지관리 공학회
		위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법(가제)	학회지 심사 중
기술 세미나		일시 : 2013년 4월 11일(1차년도) 장소 : 아라센텀 회의실 주제 : 샘플 모델링을 통한 내진 성능평가 수행(위험도,상태평가 적용)	한국구조물진단유지관리 공학회 참석
		일시 : 2014년 3월 14일(2차년도) 장소 : 하자심사 분쟁조정위원회 회의실 주제 : 기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태평가 기법 개발의 방향	한국시설안전기술공단
		일시 : 2014년 12월 08일(3차년도) 장소 : 태안 기술연구소 회의실 주제 : 각사별 연구자료 발표 및 연계방안 모색 구조물 위험요소 및 열화에 따른 비선형성 연구	기술 연구소 방문

A.2 발표논문

A.2.1 1차년도

2013 추계 학술

위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법

Seismic Performance Assessment for Existing Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation

○박 영 빈* 이 중 환** 조 중 연***
Park, Young-Bin Lee, Jung-Hwan Cho, Joong-Yeun

Abstract

Currently the seismic performance evaluation for existing buildings are being made simply through the review of the analytical technique corresponding to the design condition. However, in case of a structure being used for a number of years after construction, which may have partial damages and durability degradations may show significant differences between the analysis results and the actual behavior during an earthquake. Therefore, a new seismic performance assessment is proposed based on risk assessment and seismic performance techniques since more systematic evaluation and condition assessment are required, and thus the practical and economical seismic retrofit measures for the existing facilities and for the reasonable seismic design as well are to be developed more than ever before.

키워드 : 내진성능평가, 위험도평가, 상태평가
Keywords : Seismic performance assessment, Risk assessment, Condition evaluation

1. 서 론

현재 기존의 건축물에 대한 내진성능평가는 단순히 설계조건 상에서의 해석적 기법에 의한 연성도 및 강도에 대한 검토를 통해 이루어지고 있다. 그러나 시공 후 사용연수에 따른 부분적 손상이나 부식 및 내구력저하가 발생된 부재가 있는 구조물의 경우에는 해석결과와 지진시 실제 거동이 상이하게 될 수 있으며, 사용목적 및 구조물의 기하형상, 위험설비 및 필수장비 위치, 배관 등을 고려했을 때 지진시 발생 가능한 구조물 손상 및 파괴는 저층부 기둥과 같은 일반적인 위치나 부재가 아닌 위험요소가 큰 부분에서 발생할 수 있다. 따라서 합리적인 내진설계와 기존 시설물에 대한 실질적이고 경제적인 내진보강을 위해서는 보다 체계적인 평가방안이 필요하므로 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가기법을 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

2.1 상태평가를 고려한 내진성능평가

상태평가 기준(한국시설안전기술공단, 2010)에 따른 강도감소율을 적용하여 부재의 실질적 손상부위를 고려한 상태평가를 실시하였다. 그 결과 철골구조물의 주요 변상내용은 누수로 인한 강재 부식이 대부분을 차지하고 있으며, 그 결과는 아래 표 1과 같다.

표1. 상태평가 기준 및 대상 건축물의 상태등급 결과

기준	평가내용	대표값	부재번호	등급	α(%)
a	100% ≤ α	1	9390	b	98
b	95% ≤ α< 100%	3	9391	d	87
c	90% ≤ α< 95%	5	4235	c	92
d	75% ≤ α< 90%	7	4400	b	96
e	α< 75%	9			

× α= 강도감소율(%)

* 우성다엔씨 상무이사(Corresponding Author, jasonfil.k@gmail.com)
** (주)건우코퍼레이션 대표이사, 공학박사
*** 유니콘스(주) 대표이사, 박사과정
본 연구는 국토해양부 철단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 12철단도시 D12

2.2 위험도 평가를 고려한 내진성능평가

기존건축물에 내재되어 있는 위험요소의 분류 및 파괴경로 규명, 위험요소들 간의 인과관계 분석, 위험요소들의 발생확률 추정하여 위험요소에 따른 손상 및 파괴를 규명하는 과정(최현호, 2004)으로 그림 1과 같은 위험 시나리오를 통해 위험도평가를 수행하였다.



그림 1. 위험 시나리오

위험 시나리오에 따른 위험도분석을 수행하여 발생확률과 경제손실을 고려한 위험지수를 통해 주요위험경로를 선정하였다.

2.3 새로운 내진성능평가 기법

기존 내진성능평가 기법은 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(2011,국토해양부)에 따라 수행하였으며, 본 연구에서 제안하는 새로운 내진성능평가 기법은 위험도평가와 상태평가를 반영하여 그림 2와 같은 분석체계를 통해 수행하였다.



그림 2. 새로운 내진성능평가 기법

3. 적용 예

기존건축물의 내진성능평가기법과 상태평가와 위험도를 고려한 새로운 방법론을 비교하기 위하여 평가대상 모델을 기존 내진성능평가 모델(Model-A), 상태평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델(Model-B), 위험도평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델(Model-C)로 구분하였으며 각각의 모델에 대한 Push-over해석을 통해 모델별 소성힌지 발생위치와 역량스펙트럼을 분석하였다.

3.1 대상 구조물 내진성능평가

기존 모델(Model-A)과 상태평가 및 위험도평가를 적용한 모델(Model-B, Model-C)에 대한 소성힌지 발생위치 그림 3과 같다.

상태평가를 고려한 모델은 정밀점검을 통한 상태평가를 반영하여 누수 및 기타 원인에 의한 강재 부식에 따른 강도저하를 반영하여 해당 위치의 부재에 강도감소율을 적용하였다.

위험도평가를 고려한 모델은 2.2에서 제시한 위험시나리오를 바탕으로 위험도분석을 수행한 결과 지진에 의한 화재시 부재의 강도감소를 고려하였다. 이때 강도감소율은 화재 노출시 온도상승에 따른 강도감소를 분석한 연구(성시창, 1996년)에서 강재표면온도가 350℃에서 2/3이하로 저감되고 온도상승에 따른 감소율 증가를 고려하여 550℃에서 화재 발생층의 1/2면적에서 기둥과 보부재의 단면성능이 50%로 저감되는 모델로 가정하였다.

3.2 분석 결과

대상모델별 해석결과 소성힌지 발생위치는 다음 그림 3과 같이 모델 A와 B의 소성힌지 발생위치는 동일한 것으로 분석되었는바 상태평가 감소율이 크지 않고 강재와 부재수에 따른 여용성이 크기 때문인 것으로 판단된다.

반면 모델 C는 강도감소율과 적용부재가 많아 소성힌지 개소가 많아지고 위치변화가 나타났다.

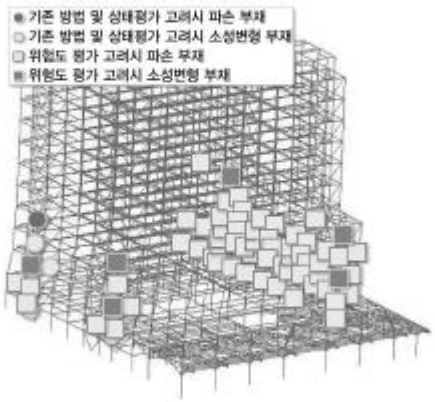


그림 3. 해석모델별 소성힌지 발생위치

해석모델별 역량스펙트럼 분석결과 그림 4와 같으며 모델 A와 B는 거의 유사한 성능곡선으로 분석되었다. 모델 C는 소성힌지 발생위치와 같이 모델 A 및 B와 차이를 보였으며 내진성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

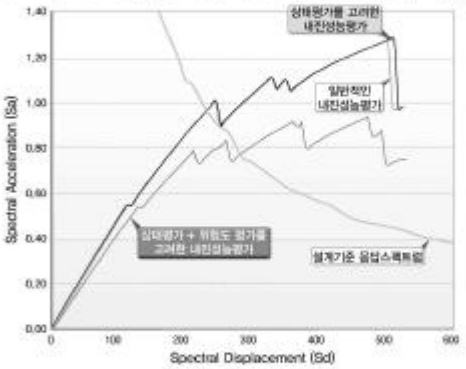


그림 4. 해석모델별 역량스펙트럼 분석결과

4. 결 론

본 연구에서 제안된 내진성능평가기법은 구조물의 내진 해석시 발생 가능한 구조물, 설비의 위험사건을 위험도평가를 통해 고려하고, 상태평가를 통해 도출된 강도저하를 추가적으로 반영함으로써 지진 발생시 건축물의 실제 내진성능을 보다 합리적이고 실질적으로 평가할 수 있었다.

본 연구결과에서 상태평가를 고려한 평가결과가 기존 모델과 크게 상이하지는 않으나 RC구조물에서는 그 영향이 반영된 것으로 사료되며, 위험도평가를 고려했을 경우 가시적인 차이가 나타나므로 차후 분석대상과 기법 적용에 대한 추가적인 연구를 통해 새로운 내진성능평가기법의 타당성을 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 12첨단도시 D12

참고문헌

1. 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령, 국토해양부, 2011
2. 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전기술공단, 2010
3. 최현호, "패지 및 불확실 신뢰도를 이용한 대형토목구조물의 위험도 및 안전도 분석방법", 한양대, 공학박사학위 논문, 2004
4. 지진위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구, 소방방재청 국립방재연구소, 2005
5. 강구조 내화성능의 이론적 평가방법에 관한 조사연구, 방재기술 제 20호, 성시창, 1996년, pp.42-47

제18권 1호 (통권 33권)

기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태평가 기법 개발

Improvement Seismic Performance of Existing Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation

이중환* 박영빈** 조중연***
Lee, Choong Hwan Park, Young Bin Cho, Choong Yeun

Abstract

Currently the seismic performance evaluation for existing buildings are being made simply through the review of the analytical technique corresponding to design specifications on beam, column, shear wall, joint and so on. Also the seismic performance is evaluated to 4 steps as immediate occupancy level(IO), life safety level(LS), collapse prevention level(CP), collapse occurrence level(CO). However, in case of a structure being used for a number of years after construction, which may have partial damages and durability degradations may show significant differences between the analysis results and the actual behavior during an earthquake. Therefore, a improved seismic performance assessment is proposed based on risk assessment and seismic performance techniques since more systematic evaluation and condition assessment are required, and thus the practical and economical seismic retrofit measures for the existing facilities and for the reasonable seismic design as well are to be developed more than ever before.

1. 서 론

기존의 내진성능평가는 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(2011, 국토해양부), [건축구조설계기준]에 의해 건축물의 주요부재인 보, 기둥, 전단벽, 접합부에 대해서 지진하중과 부재강도를 비교하는 평가로 내진성능을 분석하고 있으며, 단계별 성능평가 방법 도입으로 [거주가능(IO) / 인명안전(LS) / 붕괴방지(CP) / 붕괴위험(CO)]을 구분하여 건축물의 내진성능평가를 실시하고 있다. 이러한 내진성능평가는 신설 구조물에서 해석 및 검토결과와 실제 구조물의 성능 및 거동이 유사할 수 있지만 시설물의 경과년수 증가에 따라 부분적 손상이나 부식, 균열 등에 의한 강성저하나 응력 재분배가 발생하여 실제 거동과 상이할 수 있다. 또한, 지진 시 발생 가능한 위험요소는 지진력의 작용뿐만 아니라 지진으로 인한 화재, 설비손상, 가스폭발, 송수관 파열 등이 있으며 이러한 위험요소는 지진 시 구조물의 안전에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 검토를 통해 지진 안전성을 확보할 필요가 있다. 따라서 기존 시설물에 대한 내진성능평가 시에는 위험도평가와 상태평가를 고려하는 것이 실질적이고 합리적인 평가일 것으로 판단되며 보다 합리적인 내진설계와 기존 시설물에 대한 실질적이고 경제적인 내진보강이 가능할 것으로 사료된다.

* 교신저자, (주)건우코퍼레이션 대표이사, 공학박사(jhlee8264@naver.com)
** (주)우성디엔씨 상무이사
*** 유니콘스(주) 대표이사, 박사과정

2. 개선된 내진성능평가 기법

2.1 평가 개요

본 연구에서 제안하는 새로운 내진성능평가 기법은 위험도평가와 상태평가를 반영하여 Fig. 1과 같은 분석체계를 통해 수행하였다. (본 논문의 적용 예에서는 신설구조물의 경우는 제외됨)

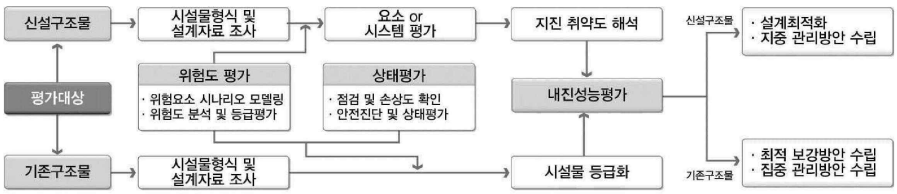
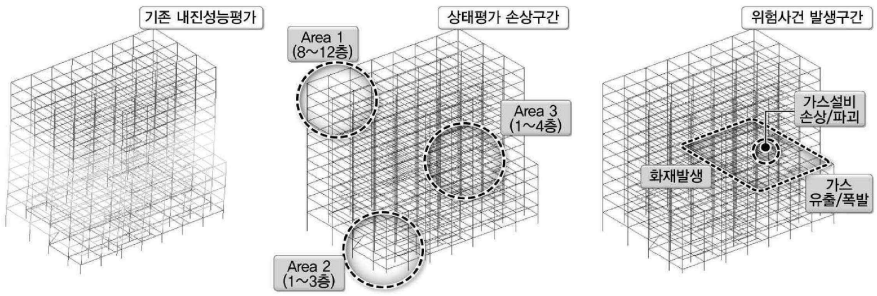


Fig. 1 개선된 내진성능평가 흐름도

2.2 평가대상 구조물 및 검토모델

기존건축물의 내진성능평가기법과 상태평가와 위험도를 고려한 새로운 방법론을 비교하기 위하여 평가대상 모델을 기존 내진성능평가 모델(Model-A), 상태평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델(Model-B), 위험도평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델(Model-C)로 구분하였으며, 각각의 모델에 대한 Push-over해석을 통해 모델별 소성힌지 발생위치와 역량스펙트럼을 분석하였다.



(1) Model - A (2) Model - B (3) Model - C

Fig. 2 적용 모델

3. 내진성능평가의 개선을 위한 상태평가와 위험도평가

3.1 상태평가

건축물의 안전진단은 안전점검과 정밀안전진단으로 구분되며, 안전점검은 육안, 점검기구 등에 의하여 검사를 실시함으로써 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 것을 말한다. 정밀안전진단이란 물리적 기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정, 평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하는 행위를 말한다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전기술공단, 2010)에 따라 안전성 평가는 기울기와 구조내력을 평가하고 상태평가는 건축물의 강도, 균열, 염해, 부식, 표면 노후화 등의 항목을 평가하며, 각 평가항목에 대한 평가기준은 그 상태에 따라 a ~ e의 5단계로 매기고, 각 평가 기준에 해당하는 평가점수와 상태는 Table 1과 같다.

Table 1. 상태평가 기준

기준	평가내용	대표값	상 태
a	100% ≤ α	1	• 부분 및 전반적으로 문제점이 없는 거의 최상의 상태
b	95% ≤ α < 100%	3	• 경미한 손상이 발생된 대체로 양호한 상태
c	90% ≤ α < 95%	5	• 전반적으로 구조물의 안전성이 확보되어 있는 보통의 상태
d	75% ≤ α < 90%	7	• 구조물의 안전성 확보가 곤라한고 불량한 상태
e	α < 75%	9	• 붕괴가 우려되는 심각한 상태

※ α= 강도감소율(%)

Table 1에 따라 대상구조물 부재의 강도감소, 이음부의 볼트 손상 및 부식에 따른 감소율을 적용하여 부재의 상태평가를 실시하였다. 그 결과 대상구조물의 주요 변상은 누수로 인한 강재 부식, 볼트의 풀림 및 부식이 대부분의 변상요인으로 나타났으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. 평가결과

구분	위 치	층수	부재종류	상태등급	감소율(%)
1	Area 1	8	보	b	98
2	Area 1	8	보	c	84
3	Area 1	8	보	d	79
:	:	:	:	:	:
349	Area 3	4	기둥	d	79

3.2 위험도 평가

지진 시 건축 구조물의 안전성은 충분히 확보해야 할 사항으로 설계 단계에서 지진하중에 대한 검토가 이루어지고 있으나, 지진하중 이외의 실제 건축 구조물에 내재되어 있는 위험요소로 인해 손상 및 파괴가 이루어 질 수 있다. 지진 시 기존 건축물의 위험요소와 위험시나리오에 대한 검토결과 가스설비의 손상 및 파괴를 주요 위험경로로 분석되었고(박영빈 외, 2013), 연구결과를 바탕으로 보다 구체적으로 검토된 위험시나리오를 구성하였으며 Fig. 3과 같다.

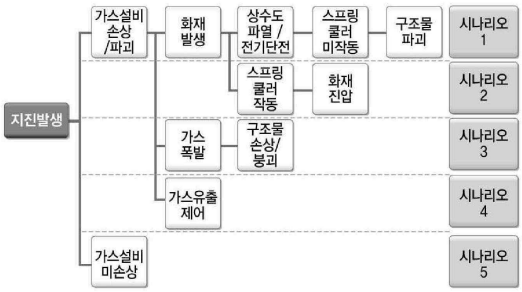


Fig. 3 위험시나리오

위험시나리오에 따른 발생확률은 다음 식 (1), (2)와 같이 전확률 정리와 조건부확률에 대한 식으로부터 추정할 수 있다.

$$P(A)=\sum_{i=1}^{k}P(A|B_i)P(B_i)\cdots\cdots(1), \qquad P(A|B)=P(A\cap B)/P(B)\cdots\cdots(2)$$

위험시나리오 별 발생확률과 위험손실비용을 고려한 위험지수를 산정할 수 있고 그 관계식은 다음과 같이 정리될 수 있다.

위험지수(RI)
= 위험발생확률(Pr) × 위험손실비용(Cr)

Table 3. 시나리오별 위험지수

구 분	위험지수(RI)	비고
시나리오 1	2.71	위험시나리오 고려
시나리오 2	0.33	검토대상 제외
시나리오 3	2.51	위험시나리오 고려
시나리오 4	0.40	검토대상 제외
시나리오 5	0.23	검토대상 제외

위험도평가를 고려한 모델은 Fig. 3에서 제시한 위험시나리오에 따른 위험도분석 결과 시나리오 1,3에 의한 위험지수가 가장 크게 나타나는 것으로 검토되었다. 따라서 지진에 의한 화재시 발생 가능한 부재 열손상 위치를 고려하여 해당 부재의 강도감소를 적용하였으며, 강도감소율은 화재 노출 시 온도상승에 따른 강도감소를 분석한 연구(성시창, 1996년)를 토대로 화재발생 층의 1/2면적에서 기둥과 보부재의 단면성능이 50%로 저감되는 모델로 적용하였다.

4. 대상 구조물의 개선된 내진성능평가

기존 모델(Model-A)과 상태평가 및 위험도평가를 적용한 모델(Model-B, Model-C)에 대한 각각의 내진성능평가 결과 대상구조물의 성능수준은 Table 4와 같이 Model-A 보다 Model-B, Model-C의 성능수준이 낮아짐을 알 수 있으며, 시간이력분석 결과 강도감소율과 적용부재가 다양해 소성힌지 발생 개소가 많아지고 위치변화가 나타났다.

Table 4. 성능수준

구분	Model-A	Model-B	Model-C
초기항복(B)	4.4%	3.3%	2.4%
거주가능(IO)	-	0.7%	2.2%
인명안전(LS)	-	-	-
붕괴방지(CP)	-	-	-
붕괴위험(CO(F))	-	-	-

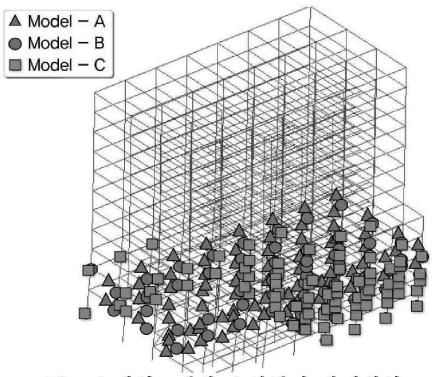


Fig. 4 해석모델별 소성힌지 발생위치

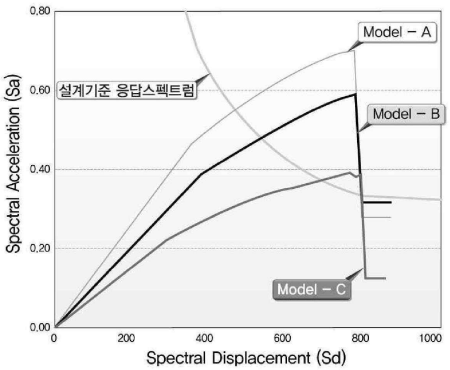


Fig. 5 해석모델별 역량스펙트럼 분석결과

5. 결 론

본 연구에서 제안된 내진성능평가기법을 통한 검토결과 상태평가 및 위험도평가를 고려한 분석결과가 기존 모델에 비해 내진성능이 떨어질 수 있으며, 소성힌지 발생위치 및 개소 수에도 고려할 만한 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 기존 시설물에 대한 내진성능에 대한 평가는 본 연구에서 제안한 바와 같이 상태평가와 위험도평가를 고려한 기법이 합리적인 것으로 판단되며, 차후 분석대상과 기법 적용에 대한 추가적인 연구를 통해 새로운 내진성능평가기법의 타당성을 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 12첨단도시 D12

참고문헌

1. 박영빈 외 “위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법”, 대한건축학회, 2013
2. 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령, 국토해양부, 2011
3. 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전기술공단, 2010
4. 지진위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구, 소방방재청 국립방재연구소, 2005
5. 최현호 외, “불확실성 모델을 이용한 피지 위험도분석”, 한국건설관리학회, 2003
6. 강구조 내화성능의 이론적 평가방법에 관한 조사연구, 방재기술 제 20호, 성시창, 1996년, pp.42-47

위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 철근 콘크리트 건축물의 내진성능평가기법

Seismic Performance Assessment for Existing Reinforced Concrete Buildings Based on Risk Assessment and Condition Evaluation

박 영 빈* 이 중 환** 조 중 연*** 석 인 호****
Park, Young Bin Lee, Choong Hwan Cho, Choong Yuen Seok, In Ho

ABSTRACT

A improved seismic performance assessment is proposed based on risk assessment and seismic performance techniques, and thus the reasonable and improvement assessment provide practical seismic performance and reinforcement for the existing facilities more than ever before.

요 약

위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가기법의 개선을 통하여 지진 시 철근콘크리트 건축물에 대해 보다 합리적이고 개선된 내진성능평가가 이루어질 수 있도록 하고, 실질적인 내진성능 확보와 내진보강이 이루어질 수 있는 평가기법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

기존 내진성능평가는 단순히 설계조건 상에서의 해석적 기법에 의한 검토로 시공 후 사용연수에 따른 상태저하나 내재된 위험요소에 의해 실제 지진거동이 상이하고 예상치 못한 재난상황이 발생할 수 있으므로 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 실질적 평가방안을 제안하고자 한다.

2. 위험도평가 및 상태평가 기반의 내진성능평가

2.1 평가 개요

본 연구에서는 그림 1과 같은 평가체계를 통해 위험도평가와 상태평가를 고려하여 지진 시 기존 건축물에 대한 내진성능평가 기법을 제안하고자 하며 한다. 위험도평가는 시설물의 위험요소와 위험시나리오를 고려하고 상태평가는 시간경과에 따른 강도저하, 부분손상 및 내구성 저하 등을 반영하여 실질적인 평가가 되도록 하였다.

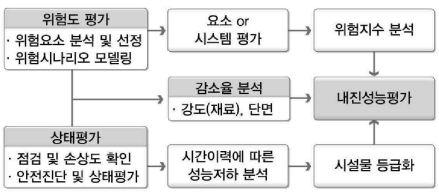


그림1. 개선된 내진성능평가 흐름도

* 정회원, (주)우성디앤씨, 상무이사
** 정회원, (주)건우코퍼레이션 대표이사, 공학박사
*** 정회원, 유니콘스(주) 대표이사, 박사과정
**** 정회원, 한국시설안전공단, 팀장, 기술사

2.2 상태평가 및 위험도평가

그림2에서 사용 중인 RC건축구조물의 평가모델에 대한 위험도평가 및 상태평가의 반영 여부에 따라 모델을 3가지로 구분하였으며, 위험요소 및 시나리오를 통해 위험지수(RI)를 고려하고 상태평가 결과를 통해 강도감소율을 추정하여 내진성능평가에 적용하였다.

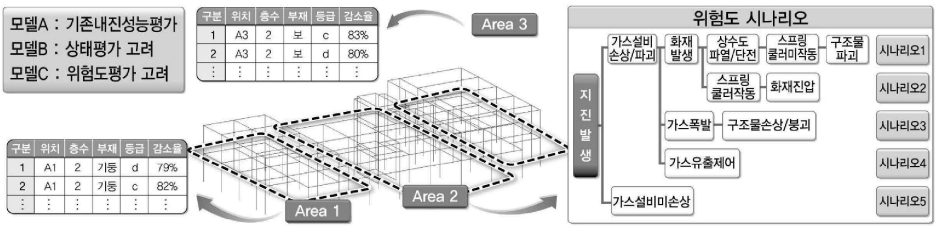


그림2. 평가모델 및 상태평가&위험도평가 적용사항

3. 평가결과

모델B와 모델C와 같이 상태저하 및 위험도평가에 따른 내진성능 고려 시 각 모델별로 그림3과 같은 내진성능의 차이가 발생하는 것으로 평가되었으며, 그림4에서와 같이 소성힌지 발생위치의 변화와 개소 수 증가 등이 발생되어 기존 평가기법과 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

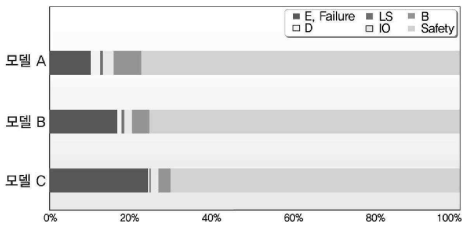


그림3. 내진성능평가 결과

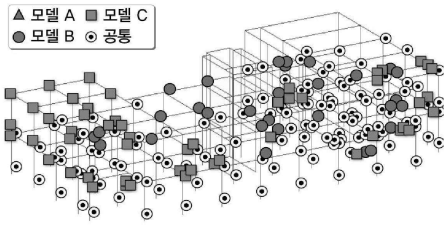


그림4. 소성힌지 발생위치 분석

4. 결 론

기존 평가기법에서는 시간이력에 따른 구조물의 손상 및 상태저하와 시설물에 내재되어 있는 위험요소를 고려할 수 없으므로, 본 연구에서 제안된 내진성능평가기법을 통해 보다 합리적인 내진성능평가를 수행하여 기존 건축물에 대한 실질적 내진성능 확보 및 보강이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.
과제번호 : 12첨단도시 D12

참고문헌

1. 박영빈 외 "위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법", 대한건축학회, 2013
2. 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전공단, 2010
3. Eurocode4 : Design of composite steel and concrete structures – Part-2 : Structural fire design.

A.2.3 3차년도

가. 대한건축학회(2014년)

2014 추계 학술

시설물의 내진성능향상을 위한 상태 평가 기법의 열화모델 제안

Deterioration Model of Conditions Evaluation for the Seismic Performance of the Buildings.

○조 중 연* 이 중 환** 박 영 빈*** 석 인 호****
Cho, Choong-Yuen Lee, Choong-Hwan Park, Young-Bin Seok, In-Ho

Abstract

This study include the exact decision making of the seismic performance of the existing building is based on the condition evaluation. For this reason, study will derive the importance and the main deterioration of the earthquake disaster for the building of steel and reinforced concrete structures. Development of a deterioration model, made up of main member of seismic performance based on condition evaluation.

키워드 : 상태평가, 열화모델

Keywords Condition Evaluation, Deterioration Mode

1. 서 론

1.1 연구의 목적

기존 상태평가는 구조물의 열화에 따른 변상항목을 점검하고 이를 통해 사후 조치에 해당하는 유지관리계획을 수립하기 위한 행위이다. 구조물의 열화를 일으키는 변상항목은 구조요소와 비구조 요소에 다양하게 나타난다. 하지만 이 모든 열화 항목이 지진 재해에 영향을 미치는 것이 아니다. 따라서 본 연구에서는 기존의 상태평가 항목 중 지진에 미치는 영향이 큰 열화인자들을 구별하고, 지진 시 영향을 많이 받는 부재위치를 결정하고 자한다. 이를 통해 지진 재해 시 영향을 미칠 단계별 중요도를 만들어 기존 구조물의 지진재해 영향 평가 시 이를 적용하고 자 한다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 지진 재해를 위한 상태평가 항목의 중요도를 부각시킬 수 있으며, 기존 상태평가 기법에서 안전진단을 실시하지 않는 구조물에 대해서는 열화모델을 통해 노후화를 예측할 수 있는 상태평가 모듈을 개발할 수 있다.

2. 내진 평가를 위한 상태평가 기법

2.1 지진재해를 위한 주요 변상 항목

상태평가 결과 얻어지는 변상 항목은 구조물 별로 다양하나 실제로 지진 재해에 영향을 미치는 수준과 변상 항목은 다르다. 따라서 지진재해에 대한 주요 변상에 대해 중요도를 설정하고, 열화 정도를 예측하여 지진재해 영향 시 이를 반영하여야 한다. 이에 본 연구는 일반 적인 상태평가가 아닌 지진 재해영향에 대한 상태평가 항목과 주요 변상을 도출하고, 기존 상태평가에서 구조물 형식별 지진관련 주요한 변상 항목과 내용을 검토하였다.

표 1. 기존 상태평가 기법의 주요 변상 항목

구 분	기존 상태평가 기법	지진 재해시 변상 항목
철근콘크리트	강도, 균열, 중성화, 염화물 함유량, 철근부식, 표면노후	휨, 전단 균열 / 콘크리트 박락, 철근노출 / 단면 손실
철골구조	장제규격, 강도, 부식도, 접합재, 부식도, 피복상태	휨, 압축력에 의한 국부좌굴 / 전체좌굴
공통	변위 • 변형, 수평, 수직 기울기	수직 기울기

주요 변상 항목에 대한 철근콘크리트의 지진 예상 거동은 기둥 및 보의 휨파괴, 단주 등 기둥 및 벽체의 전단파괴, 기둥 및 보의 부착파괴, 보-기둥 접합부 파괴(내진설계가 되지 않는 건축물이 특히 취약), 특정 층 붕괴, 비정형 평면, 단면의 건축물의 변형부 파괴, 편심에 의한 비틀림 파괴 등이 있다. 지진 취약 부위는 콘크리트 보의 부서짐, 콘크리트 기둥의 부서짐, 보강 철근의 노출, 손상된 피복 접합부, 균열이 발생된 내력벽, 기둥 콘크리트의 수직 변형 등이 있다. 철골구조의 경우, 예상 거동은 기둥, 가새 등 부재의 좌굴, 파단, 부재 접합부 파괴(볼트 파단, 용접부 파단 등), 주각부 앵커 파괴, 지층의 층 붕괴 등이 있다. 지진 취약 부위는 기둥 피로, 보-기둥 접합부 피로, 기둥 골조의 수직 변형, 누수 부위에 녹 발생으로 인한 상재 단면 손실 등이 있다.

2.2 지진 재해 영향의 변상 중요도

철근콘크리트 구조의 대표적인 손상은 균열이다. 이러한 균열에는 휨과 전단 균열이 있으며, 미세 균열의 진전에 따라 구조물에 치명적 영향을 미치는 변상이 발생된다. 철골구조의 대표적인 손상으로는 압축력에 의해서 부재에 발생하는 국부좌굴과 전체좌굴이 있다. 국부좌굴은 부재단면을 구성하는 판요소가 압축력을 받아서 면외로 변형함에 따라 단면형상이 뒤틀리는 것을 의미하며, 전체좌굴은 부재가 압축력을 받아서 전체적으로 휘는 현상을 의미한다. 이러한 각 구조별 변상 항목 중요도를 표 2에 나타내었고, 다음으로 상태평가 항목 중 지진 재해시 영향을 크게 미칠 수 있는 변상항목에 대하여 철근콘크리트 구조와 철골구조 구조체(보, 기둥)에 대하여 각각의 열화모델을 개발하였다.

* 유니콘스(주) 대표이사, 박사수료
** (주)건우코퍼레이션 대표이사, 공학박사
*** (주)우성디엔씨, 상무이사
**** 한국시설안전공단, 팀장, 기술사
(교신저자 : uniconsccy@hanmail.net)

이 연구는 2014년도 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 12첨단도시 D12

표 2. 철근콘크리트 구조의 변상항목 중요도

위험수준	복구수준	재해영향	철근콘크리트 주요 변상	철골조 주요 변상
하	낮음	미약	육안 확인이 가능한 균열, 진단 균열	경미한 손상 및 좌굴발생
중	보통	보통	강도 저하	강도저하에 영향을 미치는 손상 / 좌굴발생
상	높음	큼	철근 노출, 콘트리트 압축파괴, 박락 발생	상대한 손상 및 좌굴 발생 및 접합부 손상

3. 건축물의 강도저하 예측을 위한 열화모델

3.1 열화모델 개발 방법

기존의 지진 영향 평가에서는 대부분 구조물의 초기 성능의 감소를 열화모델로 고려하지 않았기에 초기 구조물 건설 후 나타나는 열화에 대한 성능감소를 고려하지 못하였다. 이에 본 논문에서는 구조물의 현재 상태를 파악할 수 있는 상태평가 이외에 경과년수를 통해 구조물의 현 상태를 파악할 수 있는 열화모델을 제시하여, 지진영향 평가 시 이를 반영한 분석이 되도록 하고자 한다. 이러한 열화모델의 산정을 위해 경과년수에 따른 구조물의 상태평가 등급을 예측하였고, 시설물 정보관리 종합시스템(FMS : Facility Management System), 정밀안전진단보고서와 같은 가용한 과거 이력통계자료나 전문가의견을 바탕으로 구조물 경과년수에 따른 강도감소율을 산정하였다. 또한 부족한 데이터를 보충하기 위하 건축물 유지관리 업무 관련 전문가집단 이외에 다양한 분야의 전문가들에게 설문을 실시하여 열화모델 개발을 위한 데이터를 수집하였다. 구조물의 열화모델을 개발하기 위해서 열화인자를 상태평가를 도입하였고, 상태평가 값을 통해 부재의 초기성능 산정, 성능이력 도출, 유지관리 행위에 의한 변화이력을 고려하여야 한다. 상태지수의 경우 대부분의 건축물 구성부재에 적용될 수 있지만 본 연구에서 지진 재해 영향 해석 시 주요 부재는 보와 기둥이기에 이 두 부재에 대해 열화모델을 개발 하고자 한다. 상태등급에 따른 강도감소율은 현재 규명된 자료가 전무한 상태이다. 따라서 전문가 설문을 통하여 추정할 수 있으며, 구조별 및 부재별로 설문을 실시하였다.

표 3. 전문가 설문을 통한 상태등급별 강도감소율

구 분	부 재	상태등급				
		A	B	C	D	E
철골구조	보	100	83	69	55	44
	기 둥	100	86	70	59	48
철근 콘크리트 구조	보	100	89	79	67	55
	기둥, 벽체	100	89	78	66	55
	슬래브	100	87	76	66	56

3.2 열화모델 제안

본 논문에서는 기존 정밀안전진단 데이터만을 가지고 현 시점에서 신뢰성 있는 열화모델 개발하는 것은 데이터의 수 및 구성 상 불가능한 것으로 판단하고 전문가의 설문을 추가하여 열화모델을 개발하였다.

정밀안전진단 보고서에서 분석된 공용연수에 따른 상태등급을 통해 앞서 언급한 상태등급에 따른 강도감소율을 산정한 데이터와 전문가 설문조사에서 분석된 공용연수별 상태등급을 추가하여 데이터의 표본 집단을 증가시켰다. 이러한 열화모델 분석 예를 그림 1에 나타내었다.

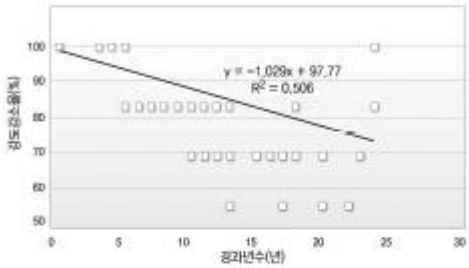


그림 1. 열화모델 예시(철골구조 – 보부재)

정밀안전진단 보고서와 전문가 설문에 의해 도출된 위의 그래프를 통하여 열화모델은 다음과 같다.

표 4. 공용년수에 따른 강도감소율 예측식

구 분	부재종류	공용년수(x), 강도감소율(y)	r^2
철골 구조	보	$y=-1.029x+97.77$	0.506
	기둥	$y=-0.393x+97.47$	0.305
철근 콘크리트 구조	보	$y=-0.626x+98.01$	0.403
	기둥/벽체	$y=-0.577x+98.02$	0.318
	슬래브	$y=-0.711x+98.40$	0.503

4. 결 론

본 연구에서는 제안하고자 하는 열화모델은 기존 구조물, 특히 학교나 병원 같은 건축물의 내진 성능 평가시 구조물의 노후화 정도를 해석에 반영하기 위한 성능평가 기법이다. 열화모델을 통해 주요 구조부재인 보와 기둥에 강도감소율을 적용한다면 보다 최적화된 내진 보강이 이루어 질수 있을 것으로 판단된다. 차후 추가적인 부재와 다양한 형식에 대하여 열화모델을 개발 시켜갈 예정이다.

참고문헌

1. 박영빈 외 "위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법", 대한건축학회, 2013
2. 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령, 국토해양부, 2011
3. 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 한국시설안전공단, 2010

나. 대한건축학회(2015년)

2015 춘계 학술

기존구조물의 개선된 내진성능평가기법을 기반으로 프로그램 개발을 위한 프레임 구현

Frame for the implementation of a program developed based on the improved seismic performance evaluation techniques of existing structures

○조 중 연* 이 중 환** 박 영 빈*** 이 정 배****
Cho, Joong-Yeun Lee, Jung-Howan Park, Young-Bin LEE, Jeong-Bea

Abstract

After construction of the structure to reflect the condition evaluation or risk assessment for seismic performance evaluation does not include the inherent risks of the use and condition assessment study, we implemented a framework for practical valuation techniques.

The frame structure defined based on each member's strength and decrease the risk of cross-section of the position for the calculations to "Risk analysis and condition assessment based as a Seismic Performance Evaluation (SPARC: Seismic Performance based Assessment of Risk & Conditioin)" and to develop the program. Modeling of existing structures based on the seismic performance evaluation utilizing a program to be frame and future development of the seismic performance evaluation technique that has been improved to take into account the decrease in the risk of facilities of the state in accordance with the time history, each member at the time of the earthquake I thought that it would be possible to close analysis substantial behavior.

키워드: 내진성능평가기법, 위험도평가, 상태평가 Keywords Seismic Performance Evaluation Techniques, Risk Analysis, Condition Evaluation

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건축물에 대한 기존의 내진성능평가는 단순 설계조건 상에서의 해석적 기법에 의한 검토를 통해 이루어지고 있다. 하지만, 합리적인 내진설계와 기존 시설물에 대한 실질적인 내진보강을 위해서 보다 체계적인 평가방안이 수행되어야 하므로 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 내진성능평가기법을 제시하였다. 따라서, 본 논문에서는 구조물의 시공 후 사용연수에 따른 상태저하나 내재된 위험요소를 포함하지 않는 내진성능평가를 보안하기 위한 위험도평가 및 상태평가를 반영하여 실질적 평가기법을 위한 프레임을 구현하였다. 정의된 프레임을 기반으로 구조물 각 부재 강도 및 단면의 감소율과 위험 단면의 위치를 계산하기 위한 "위험도 분석과 상태 평가를 기초로 한 내진성능평가(SPARC : Seismic Performance based Assessment of Risk & Conditioin)" 프로그램을 개발하고자 한다.

2. 연구개요

2.1 위험도평가 및 상태평가 기반의 내진성능평가 개요

위험도평가는 시설물의 위험요소와 위험 시나리오를 고려하고 상태평가는 시간경과에 따른 강도저하, 부분손상 및 내구성 저하 등을 반영하여 실질적인 내진성능평가 프로세스를 제안하였다. 아래의 그림 1과 같은 개선된 평가체계를 통해 위험도평가와 상태평가를 반영하여 지진 시 기존 건축물에 대한 내진성능평가 기법을 기반으로 하는 개선된 내진성능평가 프레임을 구현하였다.



그림1. 개선된 내진성능평가 흐름도

2.2 위험도평가

정성/정량적 위험성평가(QRA, Quantatative Risk Assessment)와 확률적 위험도평가(PRA, Probabilistic Risk Assessment)로 구분되며 각 평가 기법은 위험요소규명(Classification), 위험경로 모델링(Modeling), 위험도분석(Analysis), 위험요소 관리(Management)의 단계로 구성되며, 계층화 분석(AHP) 기법에 의한 위험가중치 평가과정과 사건수분석(Event Tree Analysis) 기법을 적용한다.

2.3 상태평가

기존 상태평가는 구조물의 열화에 따른 변상항목을 점검하고 이를 통해 사후 조치에 해당하는 유지관리계획을 수립하기 위한 과정이다. 구조물의 열화를 일으키는 변상항목은 구조요소와 비구조요소에 다양하게 나타난다. 하지만 이 모든 열화 항목이 지진 재해에 의한 구조물 손상에 영향을 미치는 것이 아니다. 따라서 본 연구에서는 기존의 상태평가 항목 중 지진에 미치는 영향이 큰 열화인자들을 구별하고, 지진 시 영향을 많이 받는 부재위치를 결정하고 이를 통해 지진 재해 시 영향을 미칠 단계별 중요도를 반들어 기존 구조물의

* 유니콘스(주) 대표이사, 충남대학교 토목공학과 박사과정
** (주)건우코퍼레이션 대표이사, 공학박사
*** (주)우성디앤씨 상무이사
**** 국립한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 석사과정
이 연구는 2014년도 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: 12첨단도시 D12

지진재해 영향 평가 시 이를 적용하고 자 한다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 지진 재해를 위한 상태평가 항목의 중요도를 부각시킬 수 있으며, 기존 상태평가 기법에서 안전진단을 실시하지 않는 구조물에 대해서는 열화모델을 통해 노후화를 예측할 수 있는 상태평가 프레임을 구현하였다.

3. 프레임의 구성

향상된 내진성능평가 프레임은 1차 구조해석, 구조물 기본정보 입력, 상태 평가, 위험도 분석, 분석결과, 2차 구조해석 순으로 진행되며 구조해석을 제외한 나머지 과정을 SPARC 프로그램으로 개발할 것이다.



그림2. SPARC 프로그램 UI 예시

3.1 구조물 기본정보 입력

구조물 모델의 해석으로 각 부재의 설계 내하력 및 하중을 계산한다. 구조물의 기본 정보는 상태평가 및 위험도 평가를 위한 데이터를 입력하며 구조물의 준공년도, 형식, 특성, 층수, 최고높이, 평균 층고, 안전진단 유무, 지반종류, 요구성능수준 등으로 구성된다.

3.2 상태평가

구조물의 사용연수에 따른 상태저하를 판단하기 위한 상태평가는 안전진단의 결과를 반영하여 각 부재의 종류, 강도, 안전진단을 통한 등급에 따라 1, 2차 년도에 연구된 철근콘크리트와 철골구조의 주요 구조부재인 보와 기둥에 대한 열화모델곡선으로 강도 감소율을 추산한다.

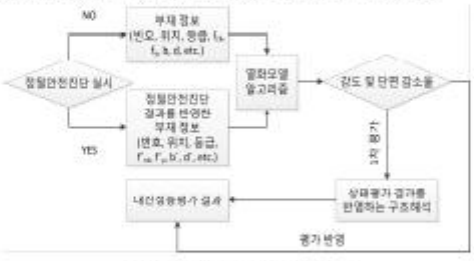


그림3. 상태평가 적용 프로세스

3.3 위험도평가

위험도평가는 지진 시 위험 시나리오를 구성하여 각 이벤트 별 가중치를 산정하고 위험요소별 위험도분석을 통해서 발생가능성을 기초로 위험확률에 따른 강도 감소율 및 단면 감소율 MCS(Monte Carlo Simulation)기법을 이용하여 확률적으로 계산한다. MCS기법은 확률적 위험도평가를 위한 기본 확률분석기법으로서 불확실성을 다루는 수단으로서의 이 기법은 다양한 위험변량의 확률분포로부터 구조물의 손상 확률분포를 얻는데 이용되며 각 확률 분포는 정규분포, 극지분포, 대수분포, 삼각분포 중 이벤트 또는 시나리오에 적합하게 적용할 수 있는 것으로 한다.



그림 4 위험도평가 적용 프로세스

3.4 내진성능평가 결과반영

각 부재에 대한 단면 감소율 및 강도 감소율을 반영한 내진성능평가의 결과는 기존 시설물(건축물) 내진성능평가요령(한국시설안전공단, 2011)의 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정기준과 본 연구과제에서 제시하는 기준을 토대로 계산을 하며 구조해석 모델의 비선형거동의 재료특성에 대한 계수(IO, LS, CP)로 입력한다. 2차 구조해석은 입력된 재료비선형 특성에 대한 Push-over해석을 통해 기존 구조물의 지진 시 취약부재를 위험도평가 및 상태평가를 반영하여 계산한다.

4. 결 론

사용연수에 따른 상태저하와 시설물의 위험요소를 고려하는 개선된 내진성능평가기법을 기반으로 한 프레임과 향후 개발될 프로그램을 활용한 내진성능평가에 따른 기존 구조물의 모델링은 지진 시 각 부재의 실질적인 거동에 근접한 해석이 가능하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 12첨단도시 D12

참고문헌

1. 한국시설안전공단, 내진성능 평가요령, 2011
2. 박영빈 외, 위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 철근 콘크리트 건축물의 내진성능평가기법, 콘크리트학회, 2014
3. 이중환 외, 기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의위험도 및 상태평가 기법 개발, 한국구조물진단유지관리공학회, 2014

다. 한국구조물진단유지관리 공학회

기존건축물의 내진성능평가기법의 개선을 위한 위험도평가기법 개발

Developing of risk assessment for improvement of seismic performance assessment on existing buildings

박영빈* 김승현** 이충환*** 석인호****
Park, Young-Bin Kim, Seung-Hyeon Lee, Choong-Hwan Seok, In-Ho

Abstract

A seismic performance assessment based on risk assessment is proposed considering risk factors and senario, and thus the technique provides more practical and reasonable seismic performance assessment and reinforcement for the existing buildings more than ever before.

1. 서 론

건축구조물은 내진안전성을 확보하기 위해 내진설계가 되어 있다 하더라도 건축물 내에 내재되어 있는 여러 위험요소에 따라 지진시 설계조건에서의 저항성능과는 다르게 될 수 있으므로 위험도평가 기반의 내진성능평가기법을 제안하고자 한다.

2. 평가모델

본 연구의 평가모델은 Fig. 1과 같은 건축구조물을 대상시설로 적용하였고, 지진시 건축물에 대한 기존 평가기법에 의한 평가(Type-A)와 Fig. 2에서와 같이 위험도평가 기반의 평가(Type-B)을 통해 내진성능평가 결과를 비교/검토하였다. 위험도평가는 시설물과 비구조재에 내재된 위험요소와 발생가능한 위험시나리오를 선정하고 시나리오별 위험도분석을 수행하였다.

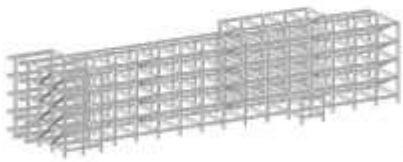


Fig. 1 대상시설물



Fig. 2 개선된 내진성능평가 흐름도

* 교신저자, (주)우성디앤씨, 상무이사(civilkrsby@empas.com)
** (주)우성디앤씨, 수석연구원
*** 유니콘스(주) 대표이사, 박사과정
**** 한국시설안전공단, 팀장, 기술사

3. 평가모델 및 결과 고찰

지진시 발생가능한 주요 위험요소를 구조재와 비구조재로 구분하여 Fig. 3에 정리하였으며, 위험요소에 따른 위험시나리오를 구성한 후 시나리오별 위험도분석을 수행하였으며 MCS을 통한 발생확률을 Fig. 4와 같이 추정하였다.



Fig. 3 위험시나리오

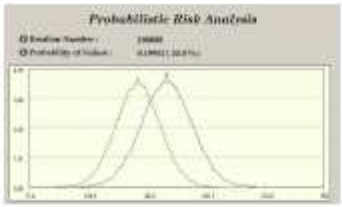


Fig. 4 주요 시나리오의 발생확률

내진성능평가 시 위험도평가를 고려했을 때 Fig. 5와 같이 내진성능의 차이가 발생하는 것으로 분석되었으며, 또한 Fig. 6과 같이 기존 평가기법에 비해 소성힌지가 증가되며 위치변화가 있는 것으로 분석되었다.

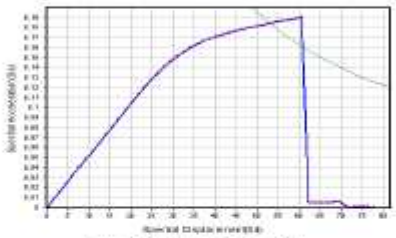


Fig. 5 내진성능평가 결과

Fig. 6 소성힌지 발생 분석

4. 결 론

본 연구에서 제안된 기법을 통해 시설물에 내재된 위험요소를 고려한 보다 실질적이고 합리적인 내진성능평가를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

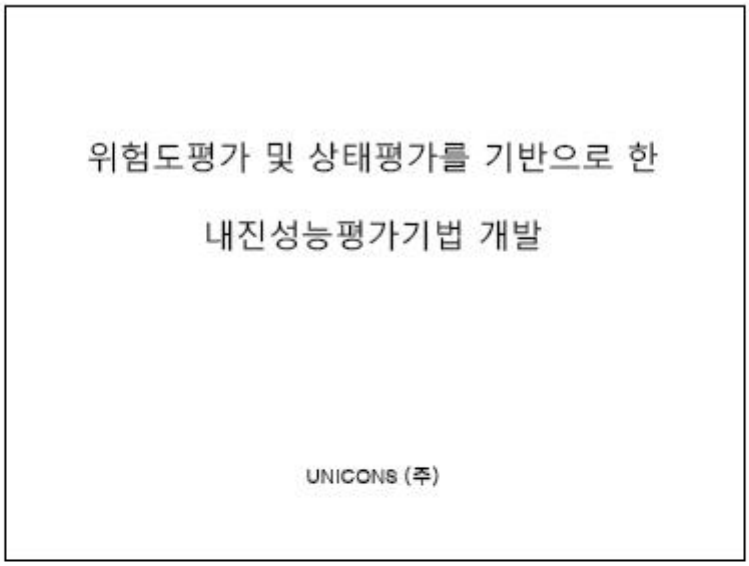
이 연구는 본 연구는 국토해양부에서 지원하는 첨단도시개발 연구개발사업(과제번호)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박영빈 외 "위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존 철근콘크리트 건축물의 내진성능평가 기법", 한국콘크리트학회, 2014 춘계학술발표대회 논문집
2. 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령, 국토해양부, 2011
3. 박영빈 외 "위험도평가 및 상태평가를 기반으로 한 기존건축물의 내진성능평가기법", 대한건축학회, 2013 추계학술발표대회 논문집 제33권 제2호(통권 제60집)

A.3 기술세미나

A.3.1 1차년도

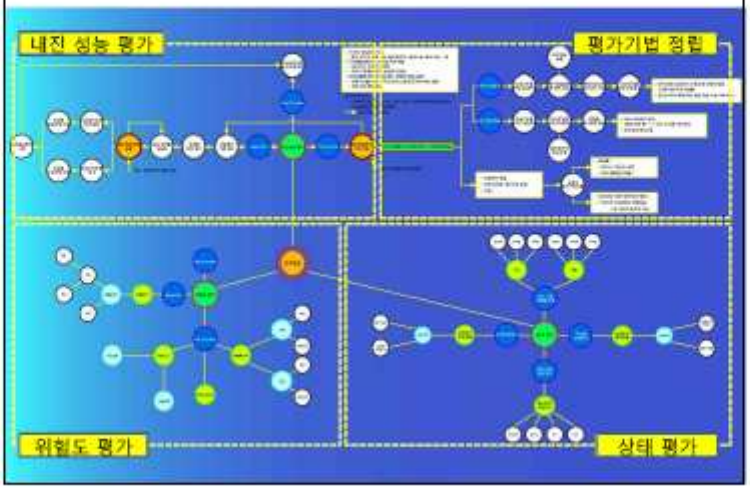




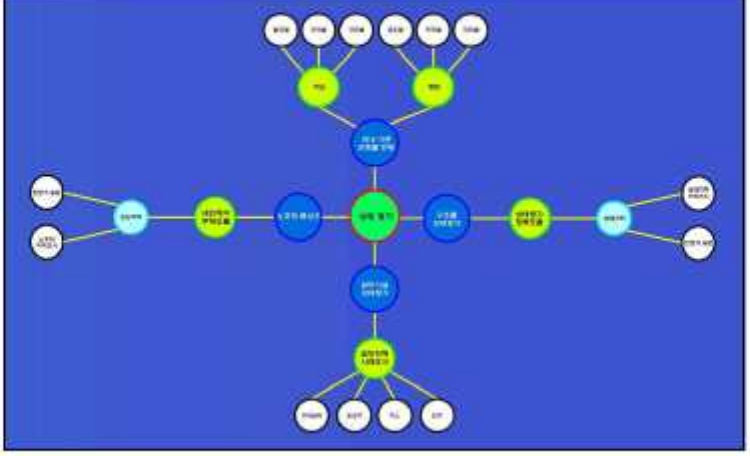
순서	대분류	소분류	제목	저자	연도	발행처	구독여부	기타	내용
11	해체도장가	건축물	건축물의 파격 해체도 순응평가를 위한 지수개발에 관한 연구	정의수	1999	청주대학교	비구독	석	건축물 파격 해체도 평가
12	해체도장가	생물	PVEA기법을 이용한 환경피로계측 설계변경 주요 요인 해체도 분석	정의석	1999	충남대학교	비구독	석	해체도 분석
13	해체도장가	건축물	건설공사의 재해특성 변화 및 재해감소 분석	박종원	1999	인천대학교	구독	송	건설업부 분류체계, 사업별(종)산업별 재해분석, 사업별별 해체도 분석
14	해체도장가	기타	해체도 기반 건설업체 서스트 평가에 관한 연구	이한동, 이상구, 고성석	2000.10	대한건축학회	구독	송	서스트 주인, 해체도 분석절차, 서스트 중요도 평가
15	해체도장가	건축물	해체특성 특화를 고려한 건축물 유상호 정수 운행의 생계수거비용 분석을 위한 기본지 설정 및 해체도 도출에 관한 연구	최상현, 이상근, 서지호	2000.03	대한건축학회	구독	석	해체도를 고려한 문제성 분석, 정수 운행별 해체도 기준석 분석
16	해체도장가 LCC 분석	기타	LCC 분석에 의한 고층건물 설비시스템의 각 선택기계 관한 연구	장종원	1999	인제대학교	구독	송	고층건물 건축설비의 특성, LCC 분석, LCC 분석방법
17	내진평가	건축물	콘테계수법을 활용한 하이내진설계법 개발	이한석	2004.02	인제대학교	구독	석	콘테계수법, 유한요소해석, 비선형 정적해석,
18	해체도장가	건축물	재해사례와 사이를 이용한 건축공사 공종별 해체지수에 관한 연구	이종원	1997	부경대학교	구독	석	재해 발생 현황, 공종별 해체지수
19	해체도장가	건축물	건축구조물 분리해체의 경험하에 관한 연구 3	손기상	1994	한국건설연구원	구독	석	해체의 정기방법, 공종별 사고사례, 공종별 해체도 분석 및 사례
20	내진평가	건축물	건축물 내진성능평가에 의한 지진재해분석방법 체계적 구축	김상섭, 조준래, 송명배, 배종국	2007.03	한국지반공학회논문집부학회	구독	송	내진설계, 성능평가, 건축물 내진성능평가 체계, 내진성능평가 절차, 해체도 항공 산정

순서	대분류	소분류	제목	저자	연도	발행처	구독여부	기타	내용
21	LCC	학교	학교 정대평면리사업(PFI)의 LCC 사례 분석	조승연, 민장원, 김현수	2007	한국건설관리학회	구독	석	LCC 분석방법, 비용항목, 분석기간, 할인율, 사례연구
22	LCC	학교	학교시설 정대평면리투자사업(PFI)의 VE/LCC 사례 분석	이도형, 박부근, 손세일, 조기철	2006	한국건설관리학회	구독	석	VE개념을 적용한 BTL 사업 사례
23	LCC	학교	학교시설물의 유지관리 계획 및 수선계획개발에 관한 연구 : 대전광역시 학교시설을 중심으로	신상범	2007	한국교원대학교	비구독	석	학교 시설물 유지관리계획
24	LCC	생물	LCC 분석에 의한 생명 냉방생물 설비 System의 선정 방안	이재욱, 권준생	2006	한국건설관리학회	구독	송	LCC 개념 및 경제성 분석 방법, LCC 구성 항목, LCC 사례 연구, 민감도 분석
25	LCC	건축물	분배키콜주 시멘테이션을 이용한 건축물 생계주기비용(LCC)의 실질할인율에 대한 확률론적 분석	김병식, 양상한	2003.03	한국건축시공학회	비구독	석	건축물 LCC
26	LCC	건축물	지진 재해를 입은 건축물에 대한 기대 생애주기비용 분석에 관한 연구	황기모	2001	울산대학교	비구독	송	지진 재해에 대한 LCC분석
27	LCC	건축물	교육시설 건축물의 최적형량 리팅성 분석 기법	정삼락	1999.05	전남대학교	구독	석	최적형량 결정 영향 요인 및 경제성 검토, 경제성 분석 사례 주석
28	LCC	건축물	위를 활용한 교육시설물 수선주기 수선율 산정방법 및 신뢰성 평가	김창복	1998.05	동명대학교	구독	송	마크 수선주기, 수선율 기준 조사, 수선주기, 수선율 신뢰성 분석 모형
29	LCC	학교	학교시설물 유지관리를 위한 수선주기 산정에 관한 연구:마산시지역 초중등학교를 중심으로	김창복	2005	순주대학교	구독	송	노후화의 영향, 유지보수 체계, 유지보수비용, 건축물 유지보수 내용
30	LCC	건축물	지진재해를 고려한 건축물의 LCC 평가	김미석	2004	동국대학교	비구독	송	LCC평가

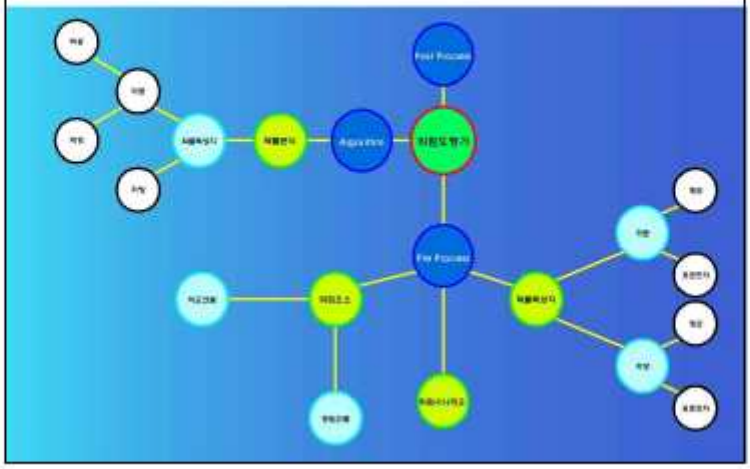
2. 분석 TREE (전체)



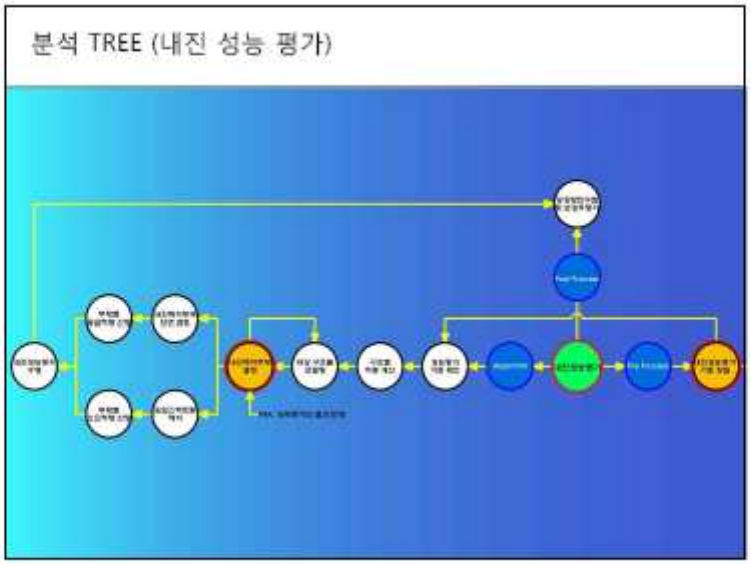
분석 TREE (상태 평가)



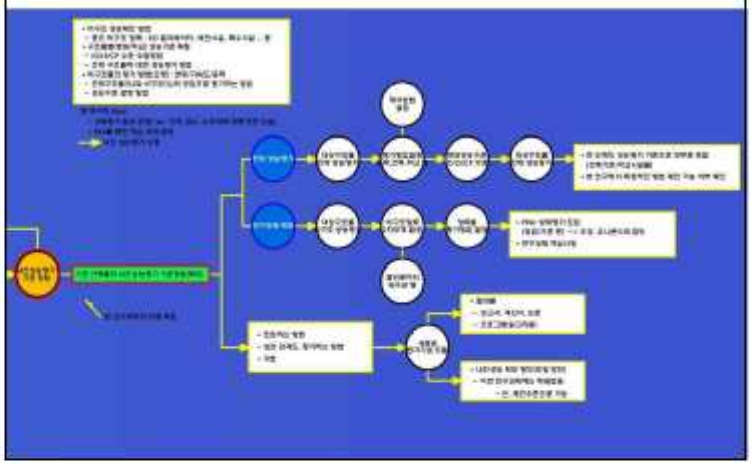
분석 TREE (위험도 평가)



분석 TREE (내진 성능 평가)



분석 TREE (평가 기법 정립)



3. 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발(관련 연구 검토)

· 연구 과제 명 : 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발
· 연 구 기 간 : 2011.1~2011.12(12개월)
· 참여 연구진

연구 책임자 : 국립 방재연구원 시설연구사 이정한
참여 연구원 : 국립 방재연구원 책임연구원 김혜원
참여 연구원 : 국립 방재연구원 연 구 원 김진선

· 연구 제목 : 지진피해 긴급위험도 손상평가 기준 개발

· 연구배경 및 목적

1. 지진발생 직후 여진 등으로 인한 추가 인명피해 예방 필요
2. 지진재해대책 법 제 20조, 제 21조에서 지진피해지역에 대한 조사 및 위험도평가를 법제화함
3. 국내 건축물을 평가대상으로 한 긴급위험도 손상기준 개발
4. 지진 발생 직후 건축물 붕괴 위험도에 대한 평가 가이드라인 제시

· 연구내용 및 방법

1. 국외 기존 연구현황
   가. 국외 지진피해 사례 조사 및 구조시스템 분석
   나. 국외 긴급위험도 평가기술 및 활용 현황
2. 국내 긴급위험도 평가대상 건축물 선정
   가. 구조 시스템별 지진 피해 경향 분석
   나. 국내 평가대상 건축물 구조 시스템 선정
3. 국내 건축물의 지진피해 긴급위험도 평가기준
   가. 1단계, 2단계 긴급위험도 평가기준 및 평가 방법
   나. 긴급위험도 평가항목 및 평가결과 플래카드 제안
4. 긴급위험도 평가결과 분석 및 활용
   가. 국외 긴급위험도 평가결과 및 단계별 피해상태 분석
   나. 국내 긴급위험도 운영 매뉴얼 제안 및 활용 방안

· 주요 연구결과

1. 1단계, 2단계 긴급위험도 평가항목 및 평가방법 개발
2. 긴급위험도 평가결과 제시 : 사용가능, 사용제한, 위험
3. 지진피해 건축물 위험도평가단 구성, 운영 표준 조례(안) 제시

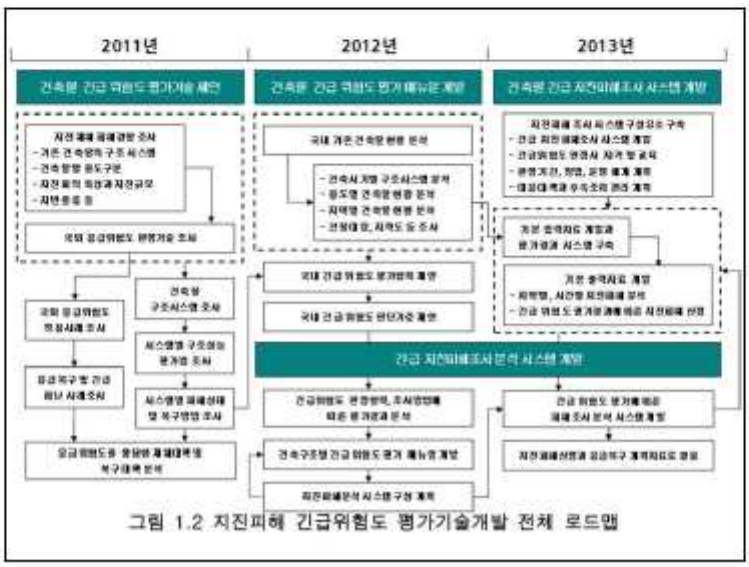


그림 1.2 지진피해 긴급위험도 평가기술개발 전체 로드맵

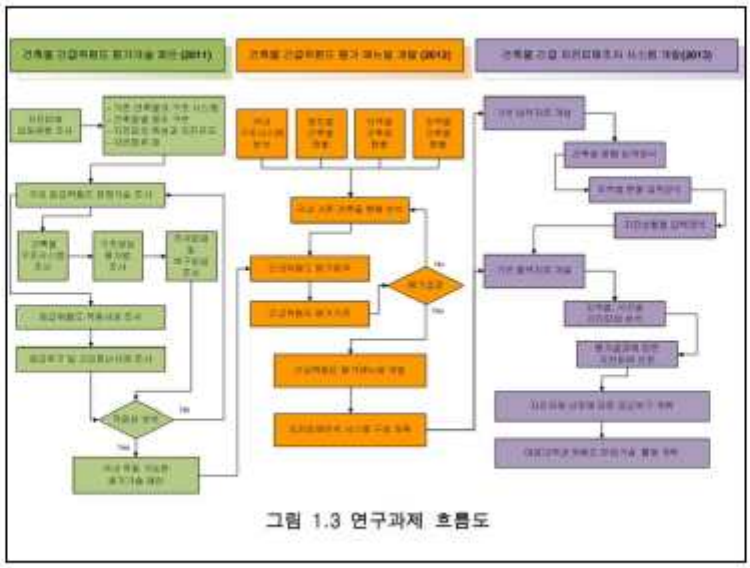


그림 1.3 연구과제 흐름도



그림 1.4 연구 트리

· 기존 연구 현황

1. 국외 지진피해 사례 분석

⇒ 일본(니가타), 중국(쓰촨성), 이탈리아(라퀼라), 뉴질랜드(크라이스트처치)에 대한 지진 발생 현황 및 피해 사례를 분석(학교, 공공시설물, 문화재, 주거건축물 피해 등)

2. 국외 긴급 위험도 평가기술 현황

⇒ 미국 ATC-20, 뉴질랜드, 일본의 응급위험도 평가 및 피해도 구분 판정

⇒ 국외 긴급 위험도 활용 현황

· 국내 건축물 지진피해 긴급위험도 평가기준

1. 건축물 구조 시스템 분석

⇒ 구조시스템별 피해 경향 분석(콘크리트계, 철골구조, 목조, 조적조)

⇒ 긴급 위험도 평가 대상 선정을 위한 국내 건축물 구조시스템 분류

2. 1단계 긴급위험도 평가

⇒ 언어학적 변량의 체크리스트를 통한 평가 방법 제시

3. 2단계 긴급위험도 평가

⇒ 1단계 항목을 세분화하고 구조요소를 포함하여 평가 방법 업데이트

· 긴급 위험도 평가 결과 분석 및 활용

1. 긴급위험도 평가 결과 분석

⇒ 단계별 긴급 위험도 평가를 일본의 지진현황에 적용

2. 긴급위험도 평가 결과 활용 방안

⇒ 국내 긴급위험도 평가 매뉴얼 작성

· 결론

⇒ 국외 지진피해 사례 및 긴급위험도 평가 기술 현황

⇒ 국내 긴급위험도 평가대상 건축물 선정

⇒ 국내 1단계, 2단계 긴급 위험도 평가항목 및 기준과 평가결과 제시

⇒ 긴급위험도 평가결과 분석 및 활용

✧ 연구보고서 분석 결과

· 유사 과업 이나 범위나 평가 방법에 성향이 다른 과제 임.

· 지진 피해 이력데이터, 건축물 분류 기법 등 참고 문헌으로 가치 있다고 판단 됨.

· 위험도 평가(PRA)를 포함한 본 연구단 연구가 상위 연구가 될 수 있다고 판단 됨.

A.3.2 2차년도


기존시설물의 내진성능향상을 위한
구조물의 위험도 및 상태평가
기법 개발
2014. 3
(주)우성디앤씨
(주)건우코퍼레이션
(주)유니콘스


목 차
1 연구과제 요약
2 1차년도 연구 내용
3 2차년도 연구계획
4 자문 및 자료요청 사항

Ⅰ. 연구과제 요약

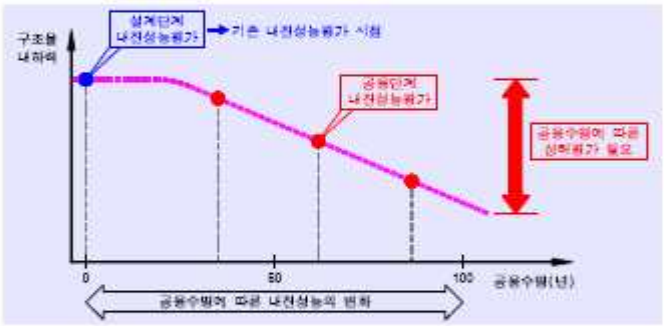
(1) 기존 건축물에 대한 내진성능평가의 문제점

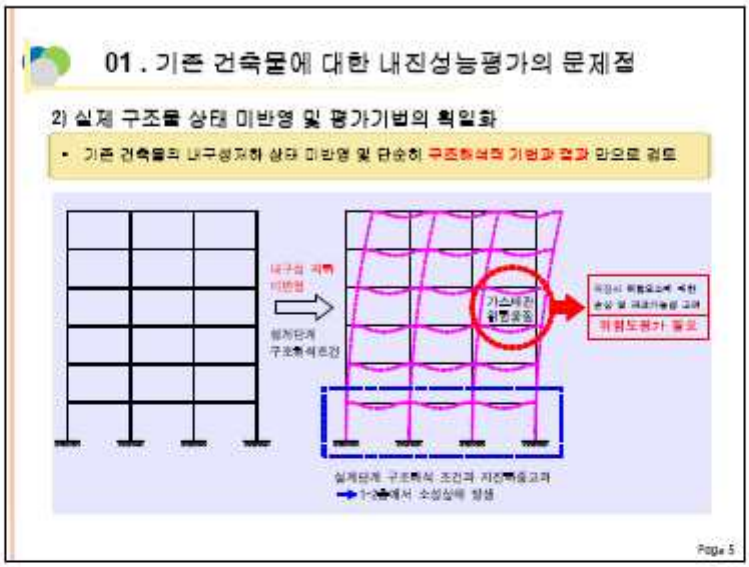
(2) 새로운 내진성능평가기법의 연구방향 및 내용

01. 기존 건축물에 대한 내진성능평가의 문제점

1) 평가 시점 및 조건의 문제

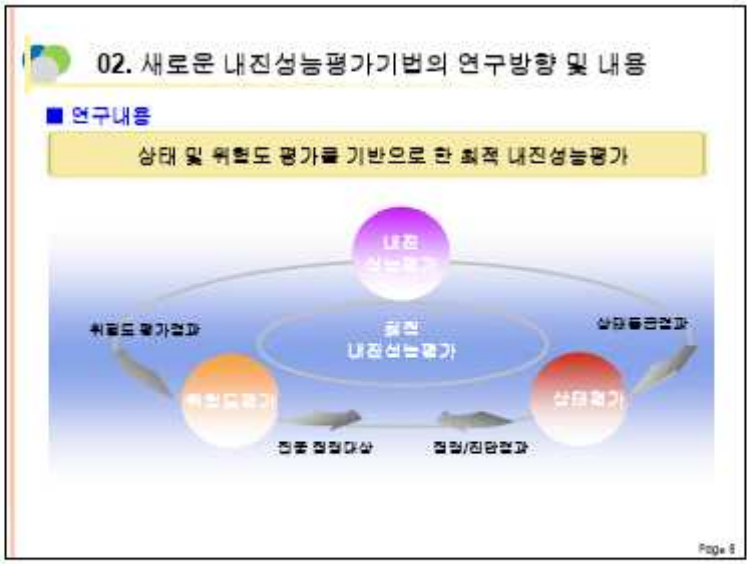
- 현재 기존 건축물에 대한 내진성능평가는 단순히 설계 시점과 조건 상에서 검토




01 . 기존 건축물에 대한 내진성능평가의 문제점
2) 실제 구조물 상태 미반영 및 평가기법의 획일화
• 기존 건축물의 내구성저하 상태 미반영 및 단순히 구조해석적 기법과 결과 만으로 검토
가스배관
위험도평가 필요
Page 5


02. 새로운 내진성능평가기법의 연구방향 및 내용
■ 연구방향
1) 평가시점 및 조건의 문제
구조물 내진성능
0
50
100
공용수명 (년)
Page 6


02. 새로운 내진성능평가기법의 연구방향 및 내용
■ 연구방향
2) 실제 구조물 상태 파악을 통한 평가기법 최적화
위험도평가를 고려하여 성능평가 수행
가스폭발,
화재
위험도평가 필요
전통 취성파괴
유 해 물 질
Page 7


02. 새로운 내진성능평가기법의 연구방향 및 내용
■ 연구내용
상태 및 위험도 평가를 기반으로 한 최적 내진성능평가
내진
성능평가
위험도 평가결과
상태등급결과
최적
내진성능평가
위험도평가
상태평가
전통 접합대상
접합/진단결과
Page 8

Ⅱ. 1차년도 연구내용

(1) 상태평가

(2) 위험도평가

(3) 내진성능평가

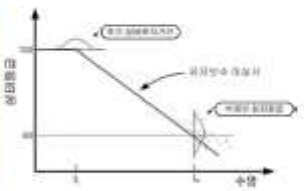
01. 상태평가

1) 건축물의 상태평가

- 시설물의 상태평가는 자료시험 및 외관조사에 의한 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화를 근거로 상태평가 실시
- 건축물에 대한 상태평가등급은 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의거하여 A~E등급의 5단계로 구분

2) 건축물 성능저하곡선 산정 방법

- 건축물의 성능저하율은 초기 상태를 유지하는 기간과 유지보수 미시행 시 최저등급까지 떨어지는 시간을 통하여 다음 그림과 같이 산정
- 이를 통하여 열화율을 산정하고 이를 상태등급 평가시 성능지수화하여 사용

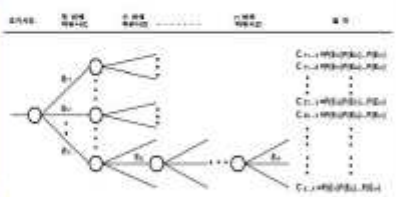


02. 위험도 평가

■ 설비의 위험도 분석을 위한 FETA 기법

1) ETA(Event Tree Analysis) 모델

- 시스템의 파괴나 사고에 영향을 주는 초기사건과 초기사건으로 인한 촉발사건들을 사건수(Event tree)를 이용하여 구성
- 각 경로들에서 발생할 수 있는 사건들의 최종결과를 추정하여 모델링 완성
- 초기사건 발생 후 n번째까지의 하위사건을 조건부 확률로 산정



2) FETA(Fuzzy Event Tree Analysis) 모델

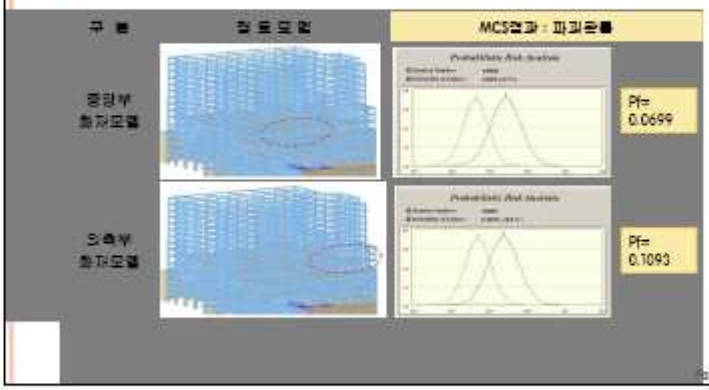
- 사건수 분석기법에 퍼지집합이론을 결목시킨 퍼지사건수분석 기법
- 확률 데이터가 충분치 않을 경우 전문가 설문 등을 통한 언어학적 변량을 사용하여 모델링
- 설비에 대한 위험도 분석은 통계 데이터가 거의 없어 FETA를 사용하여 분석

Page 11

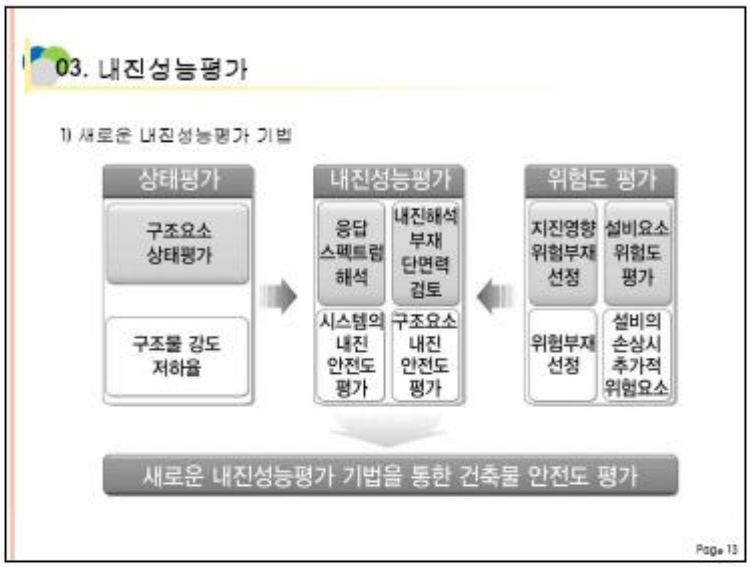
02. 위험도 평가

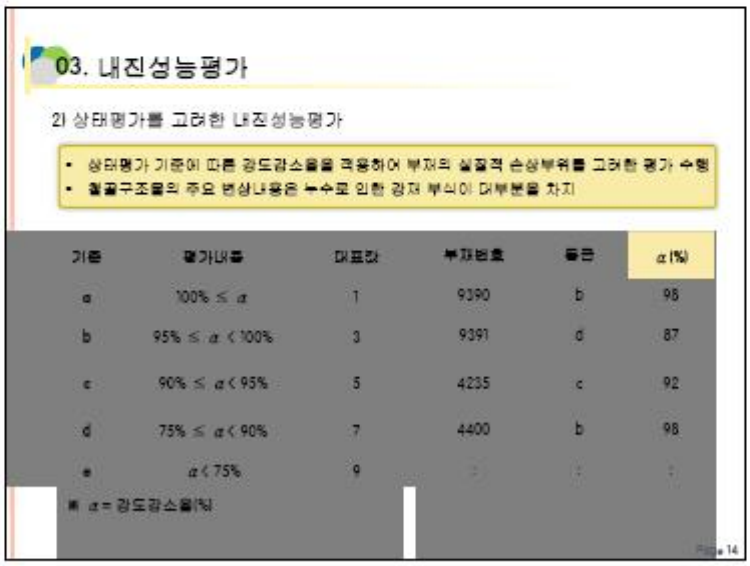
■ 위험도 평가

○ 파괴확률 또는 발생확률 산정

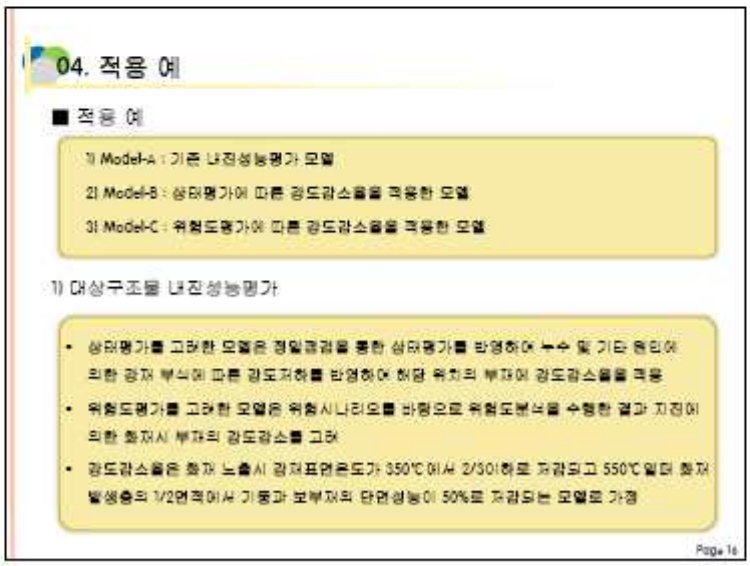


Page 12


03. 내진성능평가
1) 새로운 내진성능평가 기법
상태평가
구조요소 상태평가
구조물 강도 저하율
내진성능평가
응답 스펙트럼 해석
내진해석 부재 단면력 검토
시스템의 내진 안전도 평가
구조요소 내진 안전도 평가
위험도 평가
지진영향 위험부재 선정
설비요소 위험도 평가
위험부재 선정
설비의 손상시 추가적 위험요소
새로운 내진성능평가 기법을 통한 건축물 안전도 평가
Page 13


03. 내진성능평가
2) 상태평가를 고려한 내진성능평가
• 상태평가 기준에 따른 강도감소율을 적용하여 부재의 실질적 손상부위를 고려한 평가 수행
• 철골구조물의 주요 변상내용은 누수로 인한 강재 부식이 대부분을 차지
기준
평가내용
대표값
부재번호
등급
α(%)
a
100% ≤ α
1
9390
b
98
b
95% ≤ α < 100%
3
9391
d
87
c
90% ≤ α < 95%
5
4235
c
92
d
75% ≤ α < 90%
7
4400
b
98
e
α < 75%
9
※ α = 강도감소율(%)
Page 14

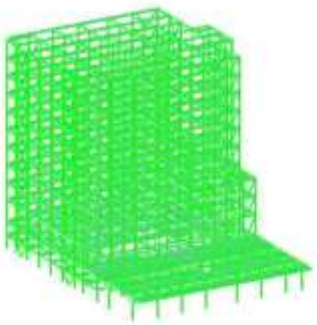

03. 내진성능평가
3) 위험도평가를 고려한 내진성능평가
• 위험 시나리오에 따른 위험도분석을 수행하여 발생확률과 경제손실을 고려한 위험지수를 통한 주요 위험경로를 선정
지진발생
전기설비 손상/파괴
기계설비 손상/파괴
가스설비 손상/파괴
단 전
누 전
오작동 및 미작동
붕 괴
가스유출
폭 발
제어설비 오작동 및 미작동
화재발생
제어설비 오작동 및 미작동
충격하중 작용
화재발생
구조물 손상 및 붕괴
Page 15


04. 적용 예
■ 적용 예
1) Model-A : 기존 내진성능평가 모델
2) Model-B : 상태평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델
3) Model-C : 위험도평가에 따른 강도감소율을 적용한 모델
1) 대상구조물 내진성능평가
• 상태평가를 고려한 모델은 정밀점검을 통한 상태평가를 반영하여 누수 및 기타 원인에 의한 강재 부식에 따른 강도저하를 반영하여 해당 위치의 부재에 강도감소율을 적용
• 위험도평가를 고려한 모델은 위험시나리오를 바탕으로 위험도분석을 수행한 결과 지진에 의한 취약시 부재의 강도감소를 고려
• 강도감소율은 화재 노출시 강재표면온도가 350℃ 이상 2/3이하로 저감되고 550℃ 일때 화재 발생층의 1/2면적이상 기둥과 보부재의 단면성능이 50%로 저감되는 모델로 가정
Page 16

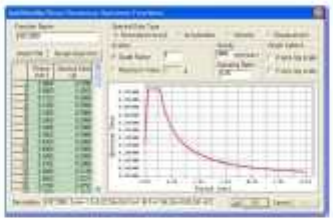
04. 적용예

■ 대상시설물 분석

- 모델링



- Response Spectrum



Page 17

04. 적용예

2) 분석결과

MODEL - A
기존 내진성능평가



MODEL - B
상태평가를 고려한
내진성능평가



MODEL - C
취약도 평가 및 상태평가를
고려한 내진성능평가

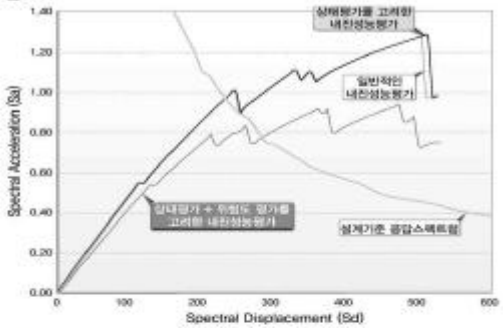


- 3개모델별 분석결과 모델A와 B의 소성힌지 발생위치는 동일한 것으로 분석
=> 상태평가 감소율이 크지 않고또한 부재수에 따른 여유성이 크기 때문인 것으로 판단
- 모델 C는 강도감소율과 취약부재가 많아 소성힌지 개소가 많아지고 위치변화가 나타남

Page 18

04. 적용예

3) 분석결과



- 하나모델별 역량스펙트럼 분석결과 모델 A와 B는 거의 유사한 성능곡선으로 분석됨
- 모델 C는 모델 A 및 B와 성능차이를 보였으며 내진성능의 저하를 확인할 수 있음

Page 19

III. 2차년도 연구계획

(1) 연구방향

(2) 핵심 연구내용

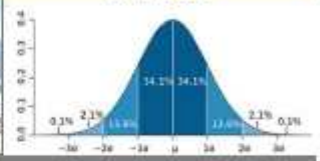
01. 연구방향

- RC건축물의 내진성능평가 추가 수행 → 콘크리트 내구성저하에 대한 적용방안 연구
- 기계,전기,소방시설 및 기타설비의 고장 및 작동불량 사례 및 발생확률 추정

RC건축물별의 내진성능평가



발생확률 추정



-RC부재의 내구성능 저하 고려
-시간경과에 따른 내구성능저하특성 추정
-RC구조물 내진성능 특성 평가

-건축 RC부재의 과괴 확률분포 특성 조사
-상시 작동설비 고장 통계자료 조사
-지진시 비관 설비 파손확률 조사

Page 21

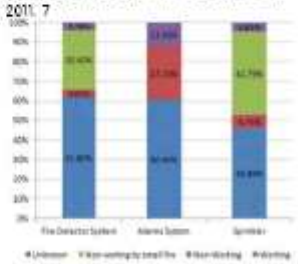
01. 연구방향

일본의 도쿄전력은 지진시 원전발생 리스크 매니지먼트를 통한 방재대책을 수립하고 의다발관전기, 2006, 12월호에 공인하였지만

관련수설비 및 비상발전기의 미작동 등으로 인한 원전 붕괴-2011년 3월 11일



노후 건축물 소방설비 실태조사를 통한 고장특성에 관한 연구, 나옥경 외 2명, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011. 7



Page 22

01. 연구방향

지진에 의한 상수도 배관 파열 (2009. 11. 미국 캘리포니아)

플랜크의 파손 예





Page 23

01. 연구방향

가스폭발 사례





Page 24


IV. 자문 및 자료요청 사항
(1) 자문 요청사항
(2) 요청 자료


01. 자문 요청사항
1) 위험도평가 관련
• 지진시 화재발생에 따른 소방설비의 작동이 보장 가능한가?
• 지진에 의한 작동 밸브, 펌프, 제어설비 등의 고장 및 손상 등에 대한 연구는?
• 병원건물에서 화재, 폭발, 독성, 건물손상 등을 야기할 수 있는 위험설비와 위치는?
• 학교건물에서 화재, 폭발, 독성, 건물손상 등을 야기할 수 있는 위험설비와 위치는?
• 소방, 기계, 전기설비 등에 대한 지진시 기준 및 규정 여부와 그 적정성은?
• 지진시 안전에 대비한 학교/병원의 비상발전기 설치기준 및 현황, 그 적정성은?

02. 요청자료

1) 취약도평가 관련

- 전기/기계/소방시설등의 고장확률 또는 통계자료
- 가스관의 지진 및 연진설비(장치)와 국내 건축물 적용 현황
- 최근 병원 건축물 설비설계 사례 – 설비/공조.냉동.위생 2013년 12월호
- 가스관 및 급수관의 손상 사례 및 통계자료
- 소방, 기계, 전기설비 등에 대한 지진시 기준 및 규정 자료
- 학교/병원의 비상발전기 설치기준 및 현황, 통계자료, 고장률 등

Page 27

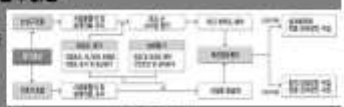
02. 핵심연구내용

1) 내진성능평가 관련

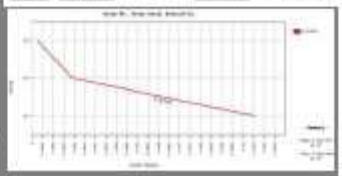
- 지진시 시설물의 설계거동 분석 및 위험지수 및 중요도에 따른 내진성능 등급화
- 노후손상도 및 내하력을 고려한 실질적 내진성능평가로 과다/과소의 내진보강을 방지
- 내진성능평가 설계기준 "건축구조기준 (2009)" ," 기존 시설물(건축물)내진성능 평가(향상)요령 (2011)"

연구내용

- 사로운 개념의 내진성능평가 세부모델 개발
(위험도와 성능평가를 고려한 통합형 평가기법 개발 및 검증)



- 층간 변위를 고려한 내진성능평가 세부모델 개발
(층간변위를 적용한 가스배관등 위험시설물의 위험도평가를 적용한 모델 개발)



Page 28


01. 자문 요청사항
3) 내진성능평가 관련
• 기존시설물 내진성능평가시 바관 및 기타 시설물의 내진성능평가 기준은?
• 지진시 건축시설물의 층간변위에 대한 기준은(건축구조 기준 자료 외)?
• 건축물 내진성능평가시 가스시설물, 바관 등 내진성능평가 항목으로 적용 가능여부?
• 조적조 건축물(학교시설물 등)의 내진성능평가 항목은?
• 비선형 시간이력해석에 의한 내진성능평가의 기준 및 지침은?
Page 29


02. 요청자료
3) 내진성능평가 관련
• 기존 건축물 바관 및 변위 내진성능평가 적용 현황
• 건축시설물 설계시 층간변위 적용 현황
• 내진성능평가시 건축시설물의 층간변위 적용 현황
• 조적조 건축물 내진성능평가 및 보강방안 적용 현황
• 비선형 시간이력해석에 의한 내진성능평가 적용 현황
Page 30

A.3.3 3차년도

기존시설물의 내진성능향상을 위한 구조물의 위험도 및 상태평가 기법 개발

워크샵 발표자료

2014. 12. 08

[주] 우성디앤씨

목차 C · O · N · T · E · N · T · S

1장 발표 개요

2장 내진성능에 관한 제언

(1) 지진 발생시 건축물 손상 및 파괴 양상 4
(2) 내진성능을 좌우하는 인자 및 고려 방안 8
(3) 허치 내진성능평가 절차 12

3장 위험도평가 모델 / 방안

(1) 위험도평가 기법의 구분 13
(2) 위험요소 구분과 발생사건 15
(3) 위험도 평가 및 상태평가의 연계방안 모식도 17

1장 발표 개요

(1) 기존 건축물의 내진성능에 관한 제언

① 지진 발생시 건축물의 하단(1/2층)에서 파괴가 발생하는가?

② 기존 건축물의 내진성능을 좌우하는 검토인자는 무엇이고... 어떻게 고려하여야 할 것인가?

③ 해외 내진성능평가절차에 대한 검토

(2) 위험도평가 모델 및 분석방향

① 단면형상에 따른 모델(L=25m) 검토

- TYPE-A : 수정 1안 - 기존모델 단부 개선형(단부 직선처리)
- TYPE-B : 수정 2안 - 하부슬래브 추가 및 단부/일반부 동일 단면형
- TYPE-C : 수정 3안 - 하부슬래브 추가 개선형
- 구조효율성, 경제성, 경관성 등을 고려한 25m 지간장에서의 최적 단면 선정
- Case Study 및 기타 검토를 통한 최적 단면 선정

② 영종도 및 대구모노레일 모델과 비교검토

③ 궤도부 강성기여도에 대한 검토

2장 기존 건축물의 내진성능에 관한 제언

(1) 지진 발생시 건축물 손상 및 파괴 양상

① 1/2층 하단 파괴/붕괴



[출처 : 구글]

② 중간 층 이상 파괴



[출처 : 확률론적 취약성 등고선을 통해 내진보강된 철골모멘트 골조의 성능평가, 석사학위논문, 세종대학교, 2012, 김수동]

③ 부분 파괴 및 완전붕괴



[출처 : 구글]

④ 조적조 건물의 완전붕괴



[출처 : 구글]

(2) 기존 건축물의 내진성능을 좌우하는 인자 및 고려 방안

③ 내진과 면진 그리고 제진

◉ 내진
: 구조물 내력으로 저항

◉ 면진
: 지진력 소산 및 최소화

◉ 제진
: 제진장치로 진동제어

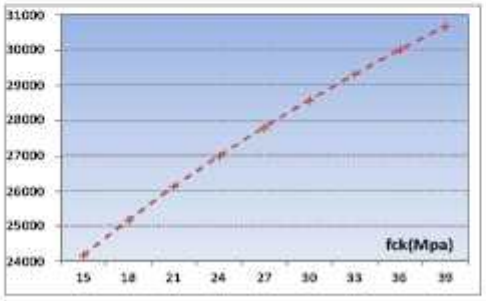
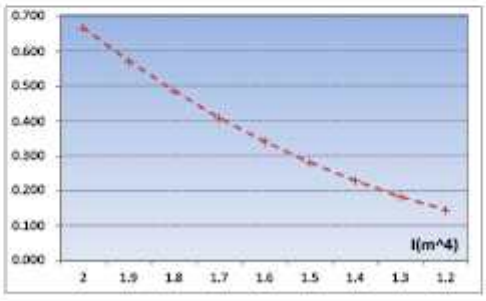


- 내진성능을 좌우하는 인자
  - 구조 부재의 저항강도(내력)
  - 면진받침의 지진수평력의 소산 능력 (열변형, 변위, 댐핑효과)
  - 지진파를 간섭/상쇄시킬 수 있는 제진장치

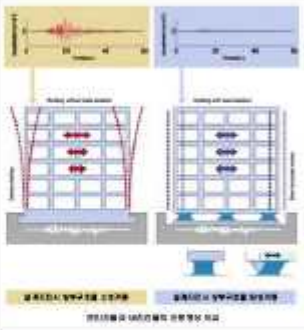
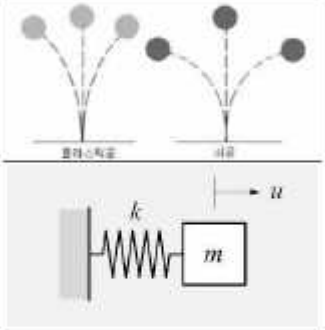
② 구조물의 내진구조에서의 저항성능 인자

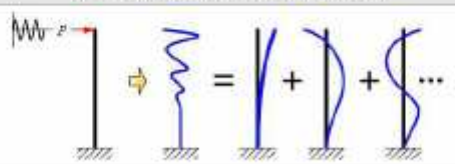
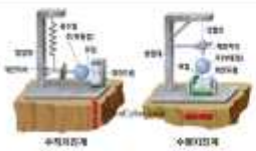
축 방 향 력		모 멘 트 력	
$\delta = (P.L) / (E \cdot A)$	▸ 콘크리트 Ec = 8500x(fcu)^(1/3) (단, fcu=fck+8(MPa)) ▸ 강재 Es = $2.0*10^5$ MPa	$\delta = (W.L^4) / (E \cdot I)$	▸ 단면2차모멘트 $I = B \times H^3 / 12$

▸ 지진력을 제외한 지진변위의 변화를 주는 계수

탄 성 계 수	단 면 2 차 모 멘 트
	

③ 지진파에 의한 구조물의 동적 거동

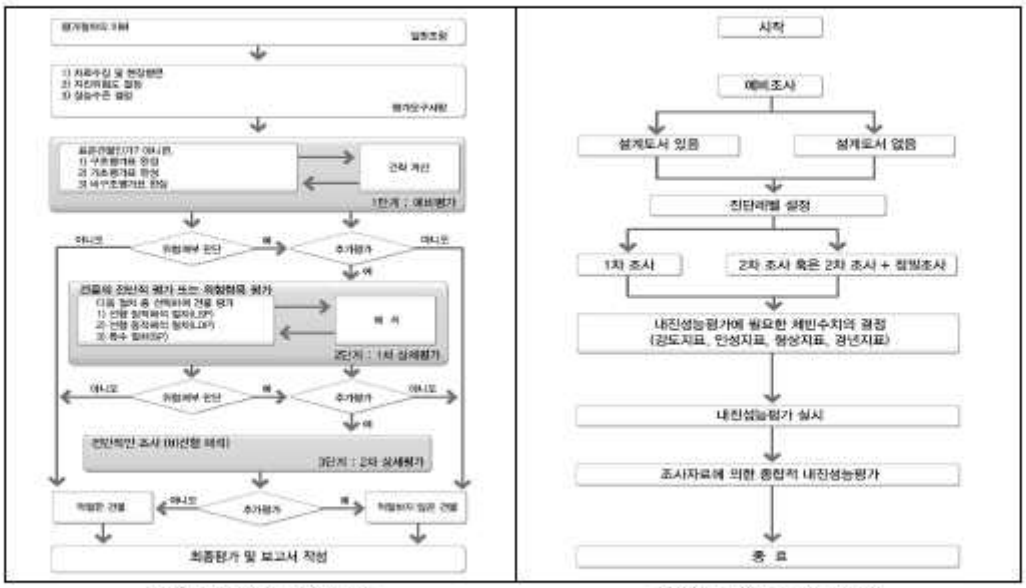
건축물 지반 발침에 따른 동적 거동	매스에 따른 동적 주기	동적 거동 관계식
		$F = m \cdot a$ 

모드별 동적거동 개념도(모드중첩법)	지진계 형태
	

④ 위험요소



(3) 해외 내진성능평가 절차



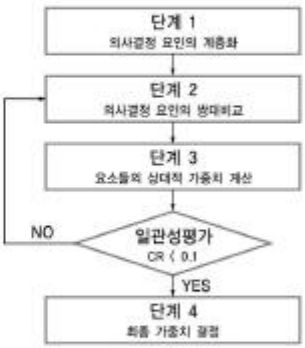
<미국의 내진성능 평가 절차> <일본의 내진성능 평가 절차>

3장 위험도평가 모델 및 분석방향

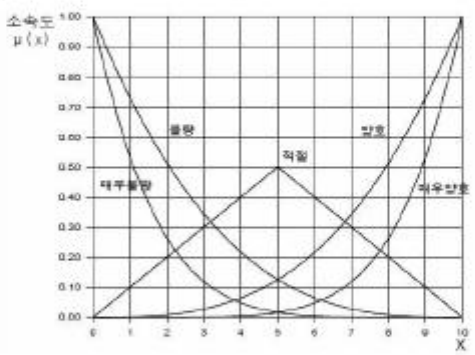
(1) 위험도평가 기법의 구분

① 위험성평가(QRA)

AHP기법



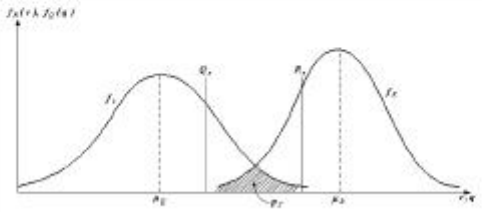
Fuzzy기법



② 위험도평가(PRA)

확률변수

유발 사건	발생가능사건			발생 확률	경제 손실	위험 지수
E29	E73	E48	E32	(Pi)	(Li)	(R.F)
P(E29)	P(E79)	P(E30)	P(E81)	0.076	34.1억	2.60
			1-P(E81)	0.394	31.4억	1.24
		1-P(E30)	P(E81)	-	-	-
			1-P(E81)	-	-	-



MCS



(2) 위험요소 구분과 발생사건

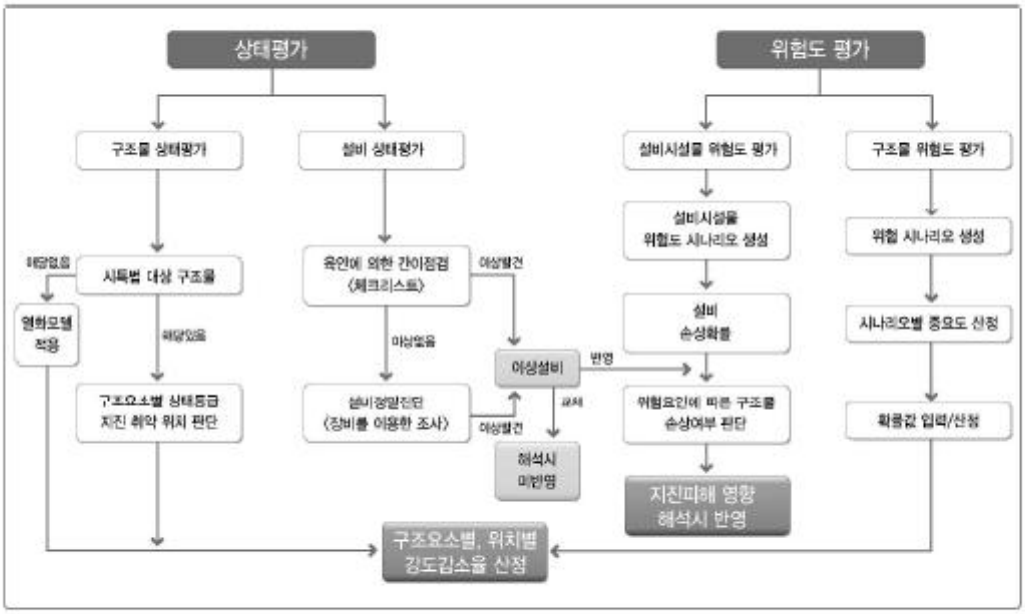
① 지진시 구조재의 위험요소 및 유발사건

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
구조재	기둥	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴 / 구조물 붕괴
			화재발생
			충격하중
	보	소성힌지 발생	구조물 손상
			배관 손상/파손
		부재파손	부분붕괴
			화재발생
			충격하중
	바닥판	바닥판 파손	장비 손상/파손
			배관 손상/파손
	브레이싱	부재파손	주부재 안전성 저하
		좌굴발생	
	접합부	접합부 파손	부분붕괴
			배관 손상/파손
			주부재 안전성 저하

② 지진시 비구조재의 위험요소 및 유발사건

구 분	세부항목	위험요소	유발사건
비구조재	전기설비	전선단락	소방/제어 설비 불능
			중요시설 정지
		비상발전기 미작동	소방/설비제어 불능
			중요시설 정지
			지진 복구 지연
		수변전설비 전도/고장	충격하중 / 정전지속
		누전 및 합선	정전 / 화재
	기계설비	엘리베이터 및 기계 손상	작동 불능 / 지진복구 지연
			추락 및 화재
	가스설비	가스배관 손상 및 누출	화재 및 폭발, 구조물 손상
		가스탱크 폭발	화재, 구조물 손상/붕괴
	제어설비	제어시스템 작동 불능	소방/설비제어 불능
		제어설비 파손	지진복구 지연
	소방설비	스프링클러 미작동	화재진압 불가
	상수도설비	물탱크 파손/전도	충격하중
			전기/기계설비 손상
		상수도배관 파손	소화시설 작동불가

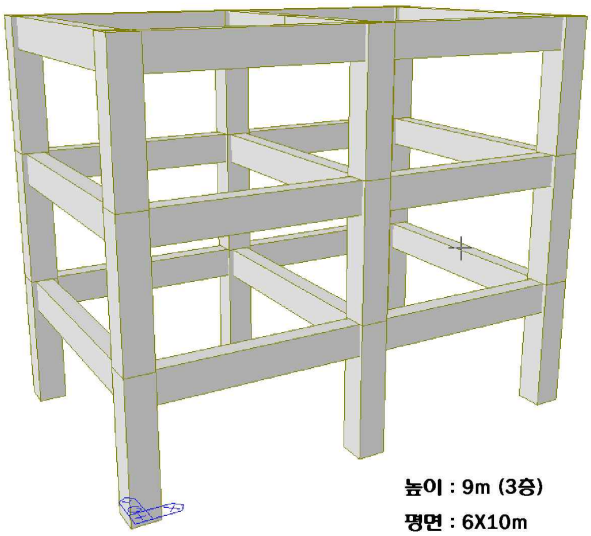
(3) 위험도 평가 및 상태평가의 연계방안 모식도



RC구조물 내진성능평가

1. 모델링
2. 응답스펙트럼을 적용한 설계
3. PushOver해석
4. 성능수준
5. 결론

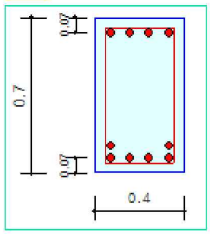
1. 모델링



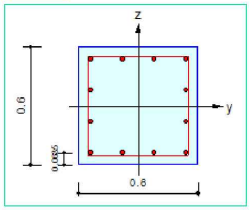
높이 : 9m (3층)

평면 : 6X10m

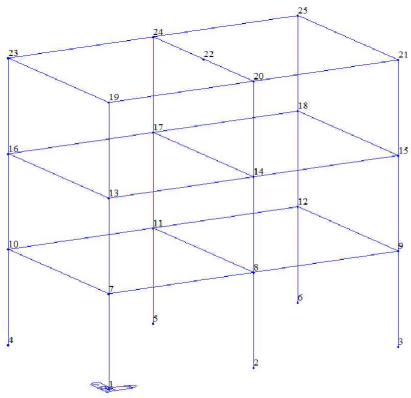
보



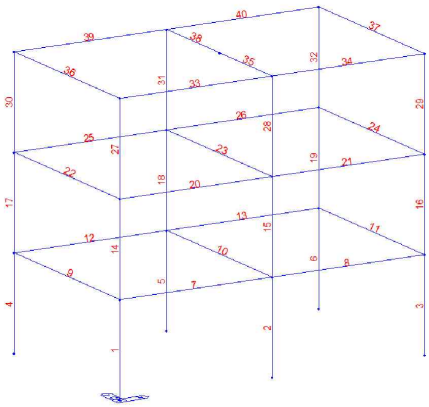
기둥



1. 모델링 (절점/요소 번호)



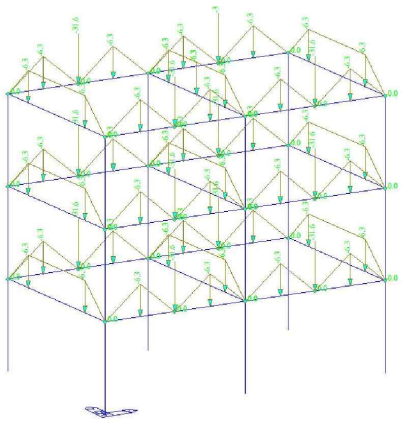
절점번호



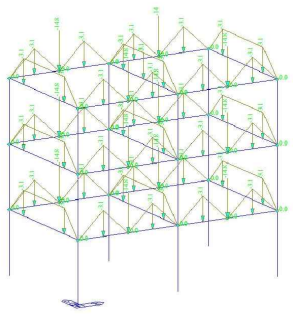
요소번호

1. 모델링 (하중조건)

(1) 자중 : 프로그램에서 자동으로 재하 (그림 생략)

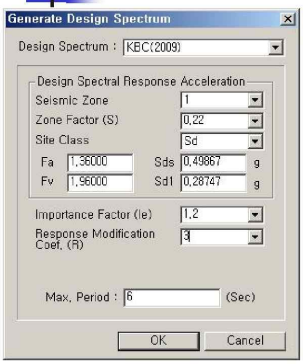


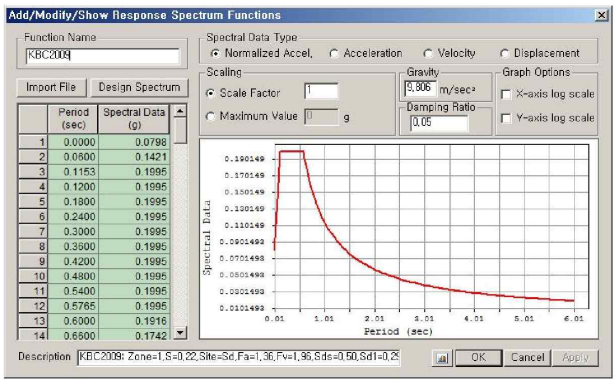
(2) 자중 외 고정하중 : 1~3층 동일하게 재하



(3) 활하중 : 1~3층 동일하게 재하

1. 모델링 (설계용 응답스펙트럼)





1. 모델링 (하중조합)

1	cLCB1	Strength/Stress	Add	1.4D
2	cLCB2	Strength/Stress	Add	1.2D + 1.6L
3	cLCB3	Strength/Stress	Add	1.2D + 1.0(1.0)(RX(RS)+RX(ES)) + 1.0L
4	cLCB4	Strength/Stress	Add	1.2D + 1.0(1.0)(RX(RS)−RX(ES)) + 1.0L
5	cLCB5	Strength/Stress	Add	1.2D + 1.0(1.0)(RY(RS)+RY(ES)) + 1.0L
6	cLCB6	Strength/Stress	Add	1.2D + 1.0(1.0)(RY(RS)−RY(ES)) + 1.0L
7	cLCB7	Strength/Stress	Add	1.2D − 1.0(1.0)(RX(RS)+RX(ES)) + 1.0L
8	cLCB8	Strength/Stress	Add	1.2D − 1.0(1.0)(RX(RS)−RX(ES)) + 1.0L
9	cLCB9	Strength/Stress	Add	1.2D − 1.0(1.0)(RY(RS)+RY(ES)) + 1.0L
10	cLCB10	Strength/Stress	Add	1.2D − 1.0(1.0)(RY(RS)−RY(ES)) + 1.0L
11	cLCB11	Strength/Stress	Add	0.9D
12	cLCB12	Strength/Stress	Add	0.9D + 1.0(1.0)(RX(RS)+RX(ES))
13	cLCB13	Strength/Stress	Add	0.9D + 1.0(1.0)(RX(RS)−RX(ES))
14	cLCB14	Strength/Stress	Add	0.9D + 1.0(1.0)(RY(RS)+RY(ES))
15	cLCB15	Strength/Stress	Add	0.9D + 1.0(1.0)(RY(RS)−RY(ES))
16	cLCB16	Strength/Stress	Add	0.9D − 1.0(1.0)(RX(RS)+RX(ES))
17	cLCB17	Strength/Stress	Add	0.9D − 1.0(1.0)(RX(RS)−RX(ES))
18	cLCB18	Strength/Stress	Add	0.9D − 1.0(1.0)(RY(RS)+RY(ES))
19	cLCB19	Strength/Stress	Add	0.9D − 1.0(1.0)(RY(RS)−RY(ES))

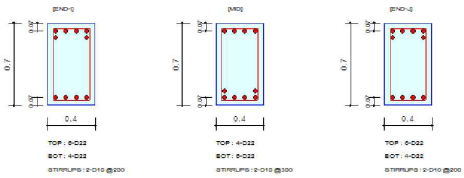
2. 응답스펙트럼을 적용한 설계 (보/기둥 설계 제원)

보

1. Design Information

Design Code	: KCI-USD12	Unit System	: kN, m
Material Data	: fck = 21000, fy = 300000, fys = 300000 KPa		
Section Property	: RC_보 (No : 4)	Beam Span	: 6 m

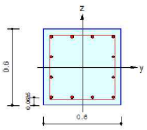
2. Section Diagram



기둥

1. Design Condition

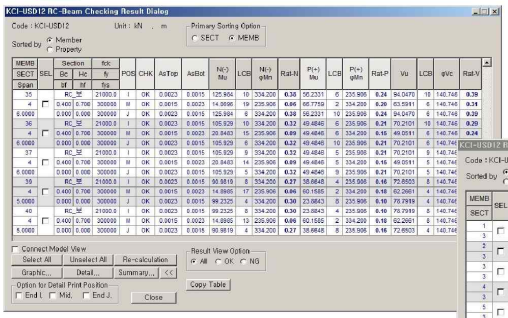
Design Code	: KCI-USD12	UNIT SYSTEM : kN, m	
Member Number	: 8 (PM), 20 (Shear)		
Material Data	: fck = 21000, fy = 300000, fys = 300000 KPa		
Column Height	: 3 m		
Section Property	: RC_기둥 (No : 3)		
Rebar Pattern	: 12 - 4 - D22	Ast = 0.0048452 m² (pst = 0.013)	



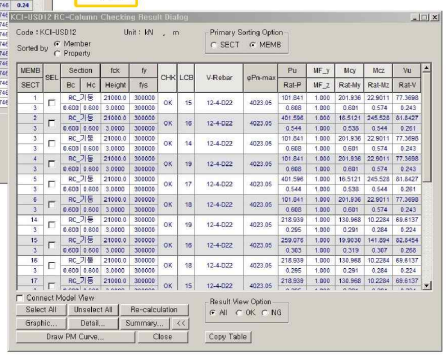
2. 응답스펙트럼을 적용한 설계 (설계결과)

보

모든 하중조합에 대해서 OK!!



기둥



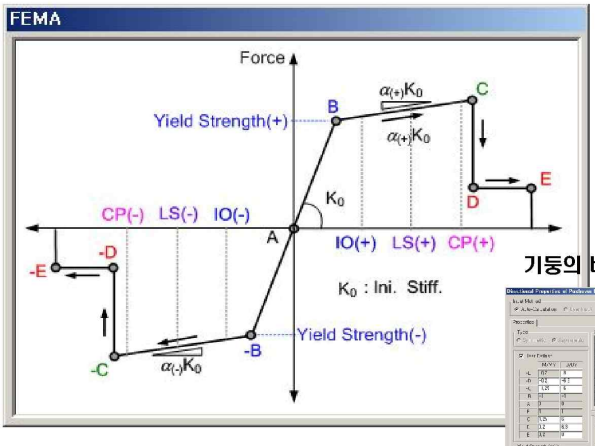
2. 응답스펙트럼을 적용한 설계 (보 φMn)

MEMB	Section	Section	fck	POS	N(-) Mu	LCB	N(-) φMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) φMn	Rat-P	Vu	LCB	φVc	Rat-V
SECT	Bc	Hc	fy													
Span	bf	hf	fys													
7	RC_보	RC_보	21000	I	253.4	7	334.2	0.76	172.3	12	235.9	0.73	132.6	7	140.7	0.55
4	0.4	0.7	300000	M	100.9	16	235.9	0.43	119.3	3	334.2	0.36	121.0	3	140.7	0.59
5	0	0	300000	J	238.9	3	334.2	0.71	138.1	16	235.9	0.59	137.5	3	140.7	0.57
8	RC_보	RC_보	21000	I	238.9	7	334.2	0.71	138.1	12	235.9	0.59	137.5	7	140.7	0.57
4	0.4	0.7	300000	M	100.9	12	235.9	0.43	119.3	7	334.2	0.36	121.0	7	140.7	0.59
5	0	0	300000	J	253.4	3	334.2	0.76	172.3	16	235.9	0.73	132.6	3	140.7	0.55
9	RC_보	RC_보	21000	I	299.3	10	334.2	0.90	223.8	15	235.9	0.95	133.3	10	140.7	0.56
4	0.4	0.7	300000	M	118.1	15	235.9	0.50	139.9	10	334.2	0.42	112.1	6	140.7	0.54
6	0	0	300000	J	299.3	6	334.2	0.90	223.8	19	235.9	0.95	133.3	6	140.7	0.56

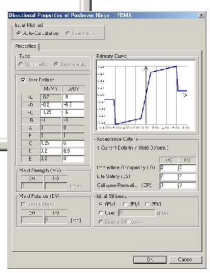
2. 응답스펙트럼을 적용한 설계 (기둥 φMn)

MEMB	Section	Section	fck	fy	LCB	V-Rebar	φPn-max	Pu	MF_y	Mcy	Mcz	Vu
SECT	Bc	Hc	Height	fys				Rat-P	MF_z	Rat-My	Rat-Mz	Rat-V
1	RC_기둥	RC_기둥	21000.00	300000.00	15	12-4-D22	4023.05	101.84	1.00	201.94	22.90	77.37
3	0.60	0.60	3.00	300000.00	15	12-4-D22	4023.05	0.61	1.00	0.60	0.57	0.24
2	RC_기둥	RC_기둥	21000.00	300000.00	16	12-4-D22	4023.05	401.60	1.00	16.51	245.53	81.84
3	0.60	0.60	3.00	300000.00	16	12-4-D22	4023.05	0.54	1.00	0.54	0.54	0.26
3	RC_기둥	RC_기둥	21000.00	300000.00	14	12-4-D22	4023.05	101.84	1.00	201.94	22.90	77.37
3	0.60	0.60	3.00	300000.00	14	12-4-D22	4023.05	0.61	1.00	0.60	0.57	0.24

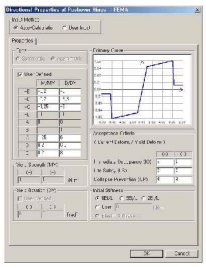
3. PushOver해석 (부재의 비선형특성)



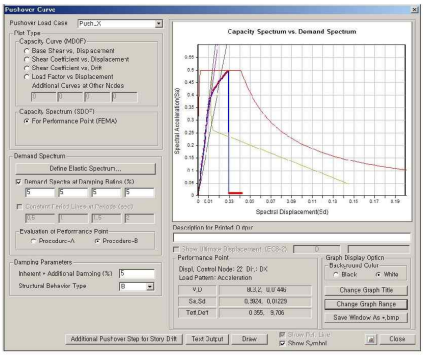
기둥의 비선형특성



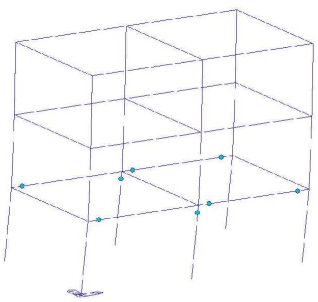
보의 비선형특성



3. PushOver해석 (X방향 결과)

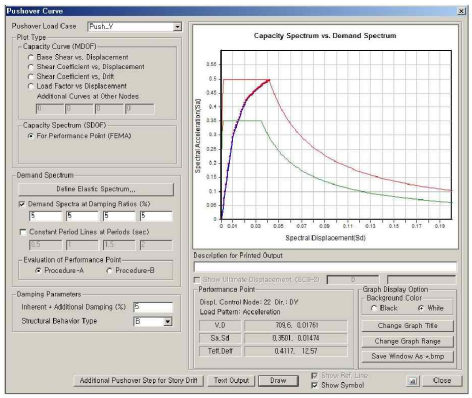


IO수준

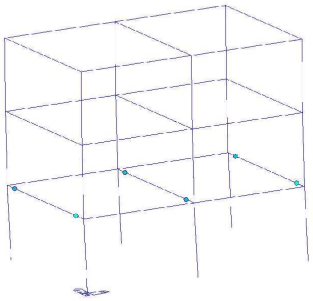




3. PushOver해석 (Y방향 결과)



IO수준





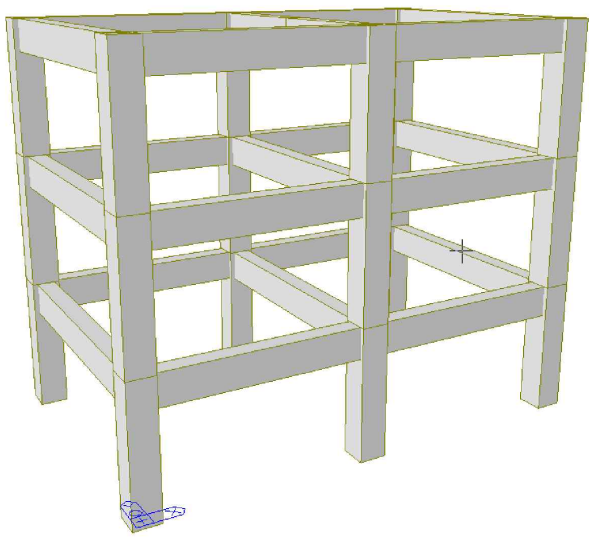
4. 성능수준 (손상정도에 따라 구분)

성능수준	피해
거주가능 (IO)	지진 후 구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항시스템은 지진전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 거주가능을 위해 반드시 필요하지는 않다.
인명안전 (LS)	구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전이 여력을 보유하고 있다. 구조부재에 영구변형이 있으며 지진력 저항시스템의 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 짜굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.
붕괴방지 (CP)	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중저항시스템은 여전이 하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

4. 성능수준 (구조물 전체의 구조적인 판정기준)

성능수준	판정 기준
탄성 (E)	
거주가능 (IO)	부재별 성능수준이 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
인명안전 (LS)	부재별 성능수준이 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴방지 (CP)	부재별 성능수준이 붕괴방지, 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴위험 (Co)	부재별 성능수준이 붕괴위험인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상

5. 결론



현상태

1. 성능수준 : IO수준 확보
2. 내진설계 : 모든 부재가 OK
3. 층간변위 : 모든 층에서 OK

상태평가 및 위험도 평가를 반영!!!

부록. B SPARC 프로그램 소스코드

```
Public Class Form8
    Private Sub do_safe_CheckedChanged(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles do_safe.CheckedChanged

        MonthCalendar2.Enabled = True

        Afck.Enabled = True
        Bfck.Enabled = True
        Cfck.Enabled = True
        Dfck.Enabled = True
        Efck.Enabled = True

        AEA.Enabled = True
        BEA.Enabled = True
        CEA.Enabled = True
        DEA.Enabled = True
        EEA.Enabled = True


    End Sub

    Private Sub don_safe_CheckedChanged(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles don_safe.CheckedChanged


        MonthCalendar2.Enabled = False

        Afck.Enabled = False
        Bfck.Enabled = False
        Cfck.Enabled = False
        Dfck.Enabled = False
        Efck.Enabled = False
```

```
        AEA.Enabled = False
        BEA.Enabled = False
        CEA.Enabled = False
        DEA.Enabled = False
        EEA.Enabled = False

    End Sub


    Private Sub Button20_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button20.Click

        Dim ExcelApp As Microsoft.Office.Interop.Excel.Application
        Dim ExcelBook As Microsoft.Office.Interop.Excel.Workbook
        'Dim wrExcelSheet As Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet
        Dim ifmExcelSheet As Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet
        Dim DBExcelSheet As Microsoft.Office.Interop.Excel.Worksheet
        Dim folder As String
        folder = System.AppDomain.CurrentDomain.BaseDirectory()
        ExcelApp = CreateObject("Excel.Application")
        ExcelApp.DisplayAlerts = True
        ExcelApp.Visible = True

        ExcelBook = ExcelApp.Workbooks.Open(folder &
"\resource\SPARC_Report.xlsx")
        'wrExcelSheet = ExcelBook.Worksheets("wr")
        ifmExcelSheet = ExcelBook.Worksheets("inform")
        DBExcelSheet = ExcelBook.Worksheets("DB")



        ifmExcelSheet.Range("b2").Value = b2_ifm.Text '구조물 명
        ifmExcelSheet.Range("b3").Value = b3_ifm.Text ' 위치
        ifmExcelSheet.Range("b4").Value = MonthCalendar1.SelectionStart.Date  '준공
년도
        ifmExcelSheet.Range("d5").Value = d5_ifm.Text '최고높이
        ifmExcelSheet.Range("b6").Value = b6_ifm.Text  '층수
```

```
        ifmExcelSheet.Range("d6").Value = d6_ifm.Text  '층고
        ifmExcelSheet.Range("b5").Value = b5_ifm.Text  '특성
        ifmExcelSheet.Range("d4").Value = d4_ifm.Text  '형식
        ifmExcelSheet.Range("d8").Value = D8_fck.Text  '형식

        dateS = MonthCalendar1.SelectionStart.Date
        dateE = MonthCalendar2.SelectionStart.Date

        dateD = DateDiff(DateInterval.Day, dateS, dateE) / 365

        If don_safe.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("b9").Value = "정밀안전진단 자료 없음"

        Else

            ifmExcelSheet.Range("b8").Value = MonthCalendar2.SelectionStart.Date   '
진단년도

            DBExcelSheet.Range("a2").Value = user_ID
            DBExcelSheet.Range("b2").Value = MonthCalendar1.SelectionStart.Date
            DBExcelSheet.Range("c2").Value = MonthCalendar2.SelectionStart.Date
            DBExcelSheet.Range("d2").Value = dateD
            DBExcelSheet.Range("e2").Value = D8_fck.Text
            DBExcelSheet.Range("f2").Value = Afck.Text
            DBExcelSheet.Range("g2").Value = AEA.Text
            DBExcelSheet.Range("h2").Value = Bfck.Text
            DBExcelSheet.Range("i2").Value = BEA.Text
            DBExcelSheet.Range("j2").Value = Cfck.Text
            DBExcelSheet.Range("k2").Value = CEA.Text
            DBExcelSheet.Range("l2").Value = Dfck.Text
            DBExcelSheet.Range("m2").Value = DEA.Text
            DBExcelSheet.Range("n2").Value = Efck.Text
            DBExcelSheet.Range("o2").Value = EEA.Text

        End If
```

```
        If RadioButton15.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("a12").Value = "거주가능"
            ifmExcelSheet.Range("c12").Value = "내진특등급"


        End If

        If RadioButton14.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("a12").Value = "인명안전"
            ifmExcelSheet.Range("c12").Value = "내진1등급"


        End If

        If RadioButton13.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("a12").Value = "붕괴방지"
            ifmExcelSheet.Range("c12").Value = "내진2등급"


        End If

        If RadioButton12.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("a12").Value = "붕괴위험"
            ifmExcelSheet.Range("c12").Value = "없음"

        End If

        If RadioButton5.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("a15").Value = "강원도 북부, 전라도 남서부, 제주도를
제외한 전지역"
            ifmExcelSheet.Range("c15").Value = "0.22"
```

```
End If

If RadioButton6.Checked = True Then

    ifmExcelSheet.Range("a15").Value = "강원도 북부, 전라도 남서부, 제주도"
    ifmExcelSheet.Range("c15").Value = "0.14"

End If

If RadioButton7.Checked = True Then

    ifmExcelSheet.Range("c17").Value = "SA"

End If

If RadioButton8.Checked = True Then

    ifmExcelSheet.Range("c17").Value = "SB"


End If

If RadioButton9.Checked = True Then

    ifmExcelSheet.Range("c17").Value = "SC"


End If

If RadioButton10.Checked = True Then

    ifmExcelSheet.Range("c17").Value = "SD"


End If
```

```
        If RadioButton11.Checked = True Then

            ifmExcelSheet.Range("c17").Value = "SE"


        End If

    End Sub


    Private Sub Button1_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button1.Click, Button2.Click


        b2.Text = b2_ifm.Text
        b3.Text = b3_ifm.Text
        comy.Text = MonthCalendar1.SelectionStart.Year
        comm.Text = MonthCalendar1.SelectionStart.Month
        comd.Text = MonthCalendar1.SelectionStart.Day
        d4.Text = d4_ifm.Text
        b5.Text = b5_ifm.Text
        d5.Text = d5_ifm.Text
        b6.Text = b6_ifm.Text
        d6.Text = d6_ifm.Text
        D8.Text = D8_fck.Text

        If do_safe.Checked = True Then

            safe_y.Text = MonthCalendar2.SelectionStart.Year
            safe_m.Text = MonthCalendar2.SelectionStart.Month
            safe_d.Text = MonthCalendar2.SelectionStart.Day

            LAfck.Text = Afck.Text
            LBfck.Text = Bfck.Text
            LCfck.Text = Cfck.Text
            LDfck.Text = Dfck.Text
```

```
            LEfck.Text = Efck.Text

            LAEA.Text = AEA.Text
            LBEA.Text = BEA.Text
            LCEA.Text = CEA.Text
            LDEA.Text = DEA.Text
            LEEA.Text = EEA.Text

        Else

            safe_y.Text = ""
            safe_m.Text = ""
            safe_d.Text = ""

            safe_note.Text = "정밀안전진단 미실시"

            LAfck.Text = ""
            LBfck.Text = ""
            LCfck.Text = ""
            LDfck.Text = ""
            LEfck.Text = ""

            LAEA.Text = ""
            LBEA.Text = ""
            LCEA.Text = ""
            LDEA.Text = ""
            LEEA.Text = ""


        End If

    End Sub

    Private Sub Form8_FormClosing(sender As Object, e As
System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles Me.FormClosing
        Form3.Show()
        Me.Hide()
```

```
    End Sub

    Private Sub Form8_Load(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    End Sub

End Class


Imports System.Data.OleDb
Imports Microsoft.Office.Interop

Public Class Form6

    Dim Table_Name As String = ""

    Private Sub Button1_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Dim cn As OleDbConnection
        Dim ex_Adapter As OleDbDataAdapter
        Dim ds As New DataSet()

        Dim excel_file As String = ""
        Dim schemaTable As New DataTable

        Dim DGCount As Integer


        '// File Open Dialog를 열어 파일을 가져온다
        dig_파일열기.Filter = "엑셀파일(*.xls)|*.xls|모든파일(*.*)|*.*"
        dig_파일열기.FileName = ""

        Try
            dig_파일열기.ShowDialog()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "파일오픈 에러")
```

```
            Exit Sub
        End Try

        '// 엑셀파일을 JET 4.0을 이용하여 연다
        cn = New OleDbConnection("provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;" & _
            "data source=" + dig_파일열기.FileName + ";Extended Properties=Excel 8.0;")
        'cn = New OleDbConnection("Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data source=" + dig_파일열기.FileName + ";Extended Properties='Excel 12.0 Xml; HDR=YES';")

        Try
            cn.Open()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "DB Open에러")
            'MessageBox.Show("취소되었습니다", "작업안내")
            Exit Sub

        End Try


        '// GetOleDbSchemaTable : 테이블 구조를 찾기 위한...
        schemaTable = cn.GetOleDbSchemaTable(OleDbSchemaGuid.Tables, New Object() {Nothing, Nothing, Nothing, "TABLE"})


        '// 엑셀 워크 북의 첫번째 시트의 이름을 찾아라..
        Try
            Table_Name = schemaTable.Rows(0).Item("Table_Name")
            'MessageBox.Show(Table_Name)
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "Excel Sheet 열기")

        End Try

        '// 워크 시트를 데이터 아답터로 가져온다.
        '// Sheet이름을 Hard Coding 하지 않고 찾아오기
```

```
        '//                                    참고                                    :
http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/dnadonet/html/odatanet
2.asp
        '//
        ex_Adapter = New OleDbDataAdapter("SELECT * FROM [" + Table_Name +
"]", cn)
        'ex_Adapter = New OleDbDataAdapter("SELECT * FROM data_pier", cn)
        Try
            ex_Adapter.Fill(ds)
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message)
            Exit Sub

        End Try

        dg_엑셀_List.DataSource = ds.Tables(0)
        cn.Close()
        DGCount = dg_엑셀_List.RowCount.ToString()
        For i = 0 To DGCount - 2
            UpdateStars(dg_엑셀_List.Rows(i))
        Next

    End Sub

    Private Fcell As Integer = 5
    Private Gcell As Integer = 6
    Private Hcell As Integer = 7
    Private Icell As Integer = 8

    Private Sub UpdateStars(ByVal row As DataGridViewRow)

        '단면력
        row.Cells(Fcell).Value  =  Format(row.Cells(3).Value  /  row.Cells(4).Value,
"#,###.###")

        ' Resize the column width to account for the new value.
        row.DataGridView.AutoResizeColumn(Fcell, _
```

```
            DataGridViewAutoSizeColumnMode.DisplayedCells)
        '철골구조
        If RadioButton1.Checked = True Then
            '정밀 안전진단 미실시
            If RadioButton4.Checked = True Then
                Dim diffstart As String
                Dim start As Date
                Dim diffend As String
                Dim eend As Date
                Dim msg As String

                diffstart = jstartY.Text & "-" & jstartM.Text & "-" & jstartD.Text
                start = CDate(diffstart)
                diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
                eend = CDate(diffend)
                msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
                msg = msg / 365
                row.Cells(Hcell).Value = Format(msg * (-0.3931) + 99.471,
"#,###,###.###")
                row.Cells(Icell).Value = Format(row.Cells(1).Value *
row.Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End If
        Else
            '콘크리트 구조
            '정밀안전진단 미실시
            If RadioButton4.Checked = True Then
                Dim diffstart As String
                Dim start As Date
                Dim diffend As String
                Dim eend As Date
                Dim msg As String

                diffstart = jstartY.Text & "-" & jstartM.Text & "-" & jstartD.Text
                start = CDate(diffstart)
                diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
                eend = CDate(diffend)
                msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
```

```
                msg = msg / 365
                row.Cells(Hcell).Value = Format(msg * (-0.577) + 98.024,
"#,###,###.###")
                row.Cells(Icell).Value = Format(row.Cells(1).Value *
row.Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End If
        End If
    End Sub

    Private Sub dg_엑셀_List_CellEndEdit(sender As System.Object, e As
System.Windows.Forms.DataGridViewCellEventArgs) Handles dg_엑셀_List.CellEndEdit
        If RadioButton3.Checked = False Then
            Exit Sub
        End If
        '철골구조
        If RadioButton1.Checked = True Then
            '정밀 안전진단 실시
            Dim value As String
            Dim diffstart As String
            Dim start As Date
            Dim diffend As String
            Dim eend As Date
            Dim msg As String

            diffstart = startY.Text & "-" & startM.Text & "-" & startD.Text
            start = CDate(diffstart)
            diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
            eend = CDate(diffend)
            msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
            msg = msg / 365

            value = dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(6).Value.ToString()

            Select Case value
                Case "A"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
```

```
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "B"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.86
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "C"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.7 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "D"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.59
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "E"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.48
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "a"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "b"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.86
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
```

```
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "c"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.7 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "d"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.59
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "e"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.48
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅁ"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅠ"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.86
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅊ"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.7 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
```

```
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅇ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.59
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㄷ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.48
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End Select
        Else
            '콘크리트 구조
            '정밀 안전진단 실시
            Dim value As String
            Dim diffstart As String
            Dim start As Date
            Dim diffend As String
            Dim eend As Date
            Dim msg As String

            diffstart = startY.Text & "-" & startM.Text & "-" & startD.Text
            start = CDate(diffstart)
            diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
            eend = CDate(diffend)
            msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
            msg = msg / 365

            value = dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(6).Value.ToString()

            Select Case value
                Case "A"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
```

```
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "B"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "C"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.78
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "D"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.66
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "E"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "a"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "b"
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
```

```
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "c"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.78
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "d"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.66
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "e"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅁ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅠ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅊ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.78
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
```

```
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅇ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.66
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㄷ"
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Icell).Value = Format(dg_엑
셀_List.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_List.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End Select
        End If
    End Sub

    Private Sub RadioButton4_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles RadioButton4.CheckedChanged
        startY.Enabled = False
        startM.Enabled = False
        startD.Enabled = False
    End Sub

    Private Sub RadioButton3_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles RadioButton3.CheckedChanged
        startY.Enabled = True
        startM.Enabled = True
        startD.Enabled = True
    End Sub

    Private Sub Button4_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button4.Click
        Dim StrExport As String = ""
        Dim saveFileDialog1 As New SaveFileDialog()

        saveFileDialog1.Filter = "SPARC파일|*.sparc"
```

```
        saveFileDialog1.Title = "Save an SPARC File"
        saveFileDialog1.ShowDialog()

        For Each C As DataGridViewColumn In dg_엑셀_List.Columns
            StrExport &= "" & C.HeaderText & ","
        Next
        StrExport = StrExport.Substring(0, StrExport.Length - 1)
        StrExport &= Environment.NewLine

        For Each R As DataGridViewRow In dg_엑셀_List.Rows
            For Each C As DataGridViewCell In R.Cells
                If Not C.Value Is Nothing Then
                    StrExport &= "" & C.Value.ToString & ","
                Else
                    StrExport &= "" & "" & ","
                End If
            Next
            StrExport = StrExport.Substring(0, StrExport.Length - 1)
            StrExport &= Environment.NewLine
        Next

        Dim tw As IO.TextWriter = New IO.StreamWriter(saveFileDialog1.FileName)
        tw.Write(StrExport)
        tw.Close()

    End Sub

    Private Sub Button8_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button8.Click
        Dim cn As OleDbConnection
        Dim ex_Adapter As OleDbDataAdapter
        Dim ds As New DataSet()

        Dim excel_file As String = ""
        Dim schemaTable As New DataTable

        Dim DGCount As Integer
```

```
        '// File Open Dialog를 열어 파일을 가져온다
        dig_파일열기b.Filter = "엑셀파일(*.xls)|*.xls|모든파일(*.*)|*.*"
        dig_파일열기b.FileName = ""

        Try
            dig_파일열기b.ShowDialog()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "파일오픈 에러")
            Exit Sub
        End Try

        '// 엑셀파일을 JET 4.0을 이용하여 연다

        'cn = New OleDbConnection("Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data source=" + dig_파일열기b.FileName + ";Extended Properties='Excel 12.0 Xml; HDR=YES';")

        Try
            cn.Open()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "DB Open에러")
            'MessageBox.Show("취소되었습니다", "작업안내")
            Exit Sub

        End Try


        '// GetOleDbSchemaTable : 테이블 구조를 찾기 위한...
        schemaTable = cn.GetOleDbSchemaTable(OleDbSchemaGuid.Tables, New Object() {Nothing, Nothing, Nothing, "TABLE"})



        '// 엑셀 워크 북의 첫번째 시트의 이름을 찾아라..
        Try
            Table_Name = schemaTable.Rows(0).Item("Table_Name")
```

```
            'MessageBox.Show(Table_Name)
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message, "Excel Sheet 열기")

        End Try

        '// 워크 시트를 데이터 아답터로 가져온다.
        '// Sheet이름을 Hard Coding 하지 않고 찾아오기
        '//                                    참고                                    :
http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/dnadonet/html/odatanet
2.asp
        '//
        ex_Adapter = New OleDbDataAdapter("SELECT * FROM [" + Table_Name +
"]", cn)
        'ex_Adapter = New OleDbDataAdapter("SELECT * FROM data_pier", cn)
        Try
            ex_Adapter.Fill(ds)
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(ex.Message)
            Exit Sub

        End Try

        dg_엑셀_Listb.DataSource = ds.Tables(0)
        cn.Close()
        DGCount = dg_엑셀_Listb.RowCount.ToString()
        For i = 0 To DGCount - 2
            BUpdateStars(dg_엑셀_Listb.Rows(i))
        Next
    End Sub

    Private Sub BUpdateStars(ByVal row As DataGridViewRow)

        '단면력
        'row.Cells(Fcell).Value  =  Format(row.Cells(3).Value  /  row.Cells(4).Value,
"#,###.###")
```

```
        ' Resize the column width to account for the new value.
        row.DataGridView.AutoResizeColumn(Fcell, _
            DataGridViewAutoSizeColumnMode.DisplayedCells)
        '철골구조
        If RadioButton8.Checked = True Then
            '정밀 안전진단 미실시
            If RadioButton5.Checked = True Then
                Dim diffstart As String
                Dim start As Date
                Dim diffend As String
                Dim eend As Date
                Dim msg As String

                diffstart = jstartY.Text & "-" & jstartM.Text & "-" & jstartD.Text
                start = CDate(diffstart)
                diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
                eend = CDate(diffend)
                msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
                msg = msg / 365
                row.Cells(Gcell).Value = Format(msg * (-1.029) + 97.777,
"#,###,###.###")
                row.Cells(Hcell).Value = Format(row.Cells(1).Value *
row.Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End If
        Else
            '콘크리트 구조
            '정밀안전진단 미실시
            If RadioButton5.Checked = True Then
                Dim diffstart As String
                Dim start As Date
                Dim diffend As String
                Dim eend As Date
                Dim msg As String

                diffstart = jstartY.Text & "-" & jstartM.Text & "-" & jstartD.Text
                start = CDate(diffstart)
                diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
```

```
                eend = CDate(diffend)
                msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
                msg = msg / 365
                row.Cells(Gcell).Value = Format(msg * (-0.6255) + 98.011,
"#,###,###.###")
                row.Cells(Hcell).Value = Format(row.Cells(1).Value *
row.Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End If
        End If
    End Sub

    Private Sub dg_엑셀_Listb_CellEndEdit(sender As System.Object, e As
System.Windows.Forms.DataGridViewCellEventArgs) Handles dg_엑셀
_Listb.CellEndEdit
        If RadioButton6.Checked = False Then
            Exit Sub
        End If
        '철골구조
        If RadioButton8.Checked = True Then
            '정밀 안전진단 실시
            Dim value As String
            Dim diffstart As String
            Dim start As Date
            Dim diffend As String
            Dim eend As Date
            Dim msg As String

            value = dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(5).Value.ToString()

            Select Case value
                Case "A"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "B"
```

```
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.83
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "C"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.69
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "D"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "E"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.44
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "a"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "b"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.83
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "c"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.69
```

```
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "d"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "e"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.44
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅁ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅠ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.83
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅊ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.69
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㅇ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
```

```
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㄷ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.44
* (msg * (-0.3931) + 99.471), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End Select
        Else
            '콘크리트 구조
            '정밀 안전진단 실시
            Dim value As String
            Dim diffstart As String
            Dim start As Date
            Dim diffend As String
            Dim eend As Date
            Dim msg As String

            diffstart = startY.Text & "-" & startM.Text & "-" & startD.Text
            start = CDate(diffstart)
            diffend = endY.Text & "-" & endM.Text & "-" & endD.Text
            eend = CDate(diffend)
            msg = DateDiff(DateInterval.Day, start, eend)
            msg = msg / 365

            Select Case value
                Case "A"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "B"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
```

```
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "C"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.79
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "D"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.67
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "E"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "a"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "b"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "c"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.79
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
```

```
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "d"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.67
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "e"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅁ"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(1 *
(msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅠ"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.89
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅊ"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.79
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            Case "ㅇ"
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.67
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
```

```
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
                Case "ㄷ"
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value = Format(0.55
* (msg * (-0.577) + 98.024), "#,###,###.###")
                    dg_엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Hcell).Value = Format(dg_
엑셀_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(1).Value * dg_엑셀
_Listb.Rows(e.RowIndex).Cells(Gcell).Value / 100, "#,###,###.###")
            End Select
        End If
    End Sub

    Private Sub RadioButton6_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles RadioButton6.CheckedChanged
        bstartY.Enabled = True
        bstartM.Enabled = True
        bstartD.Enabled = True
    End Sub

    Private Sub RadioButton5_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles RadioButton5.CheckedChanged
        startY.Enabled = False
        startM.Enabled = False
        startD.Enabled = False
    End Sub

    Private Sub Form6_FormClosing(sender As Object, e As
System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles Me.FormClosing
        Form3.Show()
        Me.Hide()
    End Sub

    Private Sub Form6_Load(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles MyBase.Load

    End Sub
End Class
Public Class PRA
```

```
    Private Sub RadioButton1_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles rcase1.CheckedChanged

        If rcase1.Checked = True Then

            case1.Visible = True

            c4.Text = "제어설비 작동"
            c5.Text = "0.001"
            c6.Text = "단전"
            c7.Text = "0.002"
            c8.Text = ""
            c9.Text = ""
            c10.Text = "철골조 열손상"
            c11.Text = "0.003"
            c12.Text = "바닥판 열손상"
            c13.Text = "0.004"
            c14.Text = ""
            c15.Text = ""
            c16.Text = ""
            c17.Text = ""

            e4.Text = "스프링클러 작동"
            e5.Text = "0.0001"
            e6.Text = "스프링클러 미작동"
            e7.Text = "0.0002"
            e8.Text = "비상발전기 작동"
            e9.Text = "0.0003"
            e10.Text = "강재 강도 저하"
            e11.Text = "0.0004"
            e12.Text = "바닥판 붕괴"
            e13.Text = "0.0005"
            e14.Text = ""
            e15.Text = ""
            e16.Text = ""
            e17.Text = ""
```

```
g4.Text = "화재 진압"
g5.Text = "0.001"
g6.Text = "화재지속"
g7.Text = "0.002"
g8.Text = "스프링클러 작동"
g9.Text = "0.003"
g10.Text = "부재 응력 증가"
g11.Text = "0.004"
g12.Text = "설비붕괴"
g13.Text = "0.005"
g14.Text = ""
g15.Text = ""
g16.Text = ""
g17.Text = ""

i4.Text = ""
i5.Text = ""
i6.Text = "철골조 열손상"
i7.Text = "0.0001"
i8.Text = "화재 진압"
i9.Text = "0.0002"
i10.Text = "소성힌지 발생"
i11.Text = "0.0003"
i12.Text = "제어 불능"
i13.Text = "0.0003"
i14.Text = ""
i15.Text = ""
i16.Text = ""
i17.Text = ""

k4.Text = ""
k5.Text = ""
k6.Text = "소성힌지 발생"
k7.Text = "0.001"
k8.Text = ""
k9.Text = ""
```

```
k10.Text = "철골조 손상/붕괴"
k11.Text = "0.002"
k12.Text = "구조물 손상/붕괴"
k13.Text = "0.003"
k14.Text = ""
k15.Text = ""
k16.Text = ""
k17.Text = ""

m4.Text = ""
m5.Text = ""
m6.Text = "철골조 손상/붕괴"
m7.Text = "0.0001"
m8.Text = ""
m9.Text = ""
m10.Text = ""
m11.Text = ""
m12.Text = ""
m13.Text = ""
m14.Text = ""
m15.Text = ""
m16.Text = ""
m17.Text = ""

o4.Text = ""
o5.Text = ""
o6.Text = ""
o7.Text = ""
o8.Text = ""
o9.Text = ""
o10.Text = ""
o11.Text = ""
o12.Text = ""
o13.Text = ""
o14.Text = ""
o15.Text = ""
o16.Text = ""
```

```
            o17.Text = ""

'=========================================Visible=========

            c4.Visible = True
            c5.Visible = True
            c6.Visible = True
            c7.Visible = True
            c8.Visible = False
            c9.Visible = False
            c10.Visible = True
            c11.Visible = True
            c12.Visible = True
            c13.Visible = True
            c14.Visible = False
            c15.Visible = False
            c16.Visible = False
            c17.Visible = False

            e4.Visible = True
            e5.Visible = True
            e6.Visible = True
            e7.Visible = True
            e8.Visible = True
            e9.Visible = True
            e10.Visible = True
            e11.Visible = True
            e12.Visible = True
            e13.Visible = True
            e14.Visible = False
            e15.Visible = False
            e16.Visible = False
            e17.Visible = False

            g4.Visible = True
```

```
g5.Visible = True
g6.Visible = True
g7.Visible = True
g8.Visible = True
g9.Visible = True
g10.Visible = True
g11.Visible = True
g12.Visible = True
g13.Visible = True
g14.Visible = False
g15.Visible = False
g16.Visible = False
g17.Visible = False

i4.Visible = False
i5.Visible = False
i6.Visible = True
i7.Visible = True
i8.Visible = True
i9.Visible = True
i10.Visible = True
i11.Visible = True
i12.Visible = True
i13.Visible = True
i14.Visible = False
i15.Visible = False
i16.Visible = False
i17.Visible = False

k4.Visible = False
k5.Visible = False
k6.Visible = True
k7.Visible = True
k8.Visible = False
k9.Visible = False
k10.Visible = True
k11.Visible = True
```

```
k12.Visible = True
k13.Visible = True
k14.Visible = False
k15.Visible = False
k16.Visible = False
k17.Visible = False

m4.Visible = False
m5.Visible = False
m6.Visible = True
m7.Visible = True
m8.Visible = False
m9.Visible = False
m10.Visible = False
m11.Visible = False
m12.Visible = False
m13.Visible = False
m14.Visible = False
m15.Visible = False
m16.Visible = False
m17.Visible = False

o4.Visible = False
o5.Visible = False
o6.Visible = False
o7.Visible = False
o8.Visible = False
o9.Visible = False
o10.Visible = False
o11.Visible = False
o12.Visible = False
o13.Visible = False
o14.Visible = False
o15.Visible = False
o16.Visible = False
o17.Visible = False
```

```
            p4.Visible = True
            p6.Visible = True
            p8.Visible = True
            p10.Visible = True
            p12.Visible = True
            p14.Visible = False
            p16.Visible = False


        Else

            case1.Visible = False

        End If


    End Sub

    Private Sub RadioButton2_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles rcase2.CheckedChanged


        If rcase2.Checked = True Then

            case2.Visible = True


            c4.Text = "화재발생"
            c5.Text = "0.001"
            c6.Text = "제어설비 작동"
            c7.Text = "0.002"
            c8.Text = ""
            c9.Text = ""
            c10.Text = ""
            c11.Text = ""
            c12.Text = ""
            c13.Text = ""
```

```
c14.Text = ""
c15.Text = ""
c16.Text = ""
c17.Text = ""

e4.Text = "가스 폭발"
e5.Text = "0.0001"
e6.Text = "가스 차단"
e7.Text = "0.0002"
e8.Text = ""
e9.Text = ""
e10.Text = ""
e11.Text = ""
e12.Text = ""
e13.Text = ""
e14.Text = ""
e15.Text = ""
e16.Text = ""
e17.Text = ""

g4.Text = "철골조 손상/붕괴"
g5.Text = "0.001"
g6.Text = "화재 진압"
g7.Text = "0.002"
g8.Text = ""
g9.Text = ""
g10.Text = ""
g11.Text = ""
g12.Text = ""
g13.Text = ""
g14.Text = ""
g15.Text = ""
g16.Text = ""
g17.Text = ""

i4.Text = ""
i5.Text = ""
```

```
        i6.Text = ""
        i7.Text = ""
        i8.Text = ""
        i9.Text = ""
        i10.Text = ""
        i11.Text = ""
        i12.Text = ""
        i13.Text = ""
        i14.Text = ""
        i15.Text = ""
        i16.Text = ""
        i17.Text = ""

        k4.Text = ""
        k5.Text = ""
        k6.Text = ""
        k7.Text = ""
        k8.Text = ""
        k9.Text = ""
        k10.Text = ""
        k11.Text = ""
        k12.Text = ""
        k13.Text = ""
        k14.Text = ""
        k15.Text = ""
        k16.Text = ""
        k17.Text = ""

        m4.Text = ""
        m5.Text = ""
        m6.Text = ""
        m7.Text = ""
        m8.Text = ""
        m9.Text = ""
        m10.Text = ""
        m11.Text = ""
        m12.Text = ""
```

```
            m13.Text = ""
            m14.Text = ""
            m15.Text = ""
            m16.Text = ""
            m17.Text = ""

            o4.Text = ""
            o5.Text = ""
            o6.Text = ""
            o7.Text = ""
            o8.Text = ""
            o9.Text = ""
            o10.Text = ""
            o11.Text = ""
            o12.Text = ""
            o13.Text = ""
            o14.Text = ""
            o15.Text = ""
            o16.Text = ""
            o17.Text = ""



'=========================================Visible=========


            c4.Visible = True
            c5.Visible = True
            c6.Visible = True
            c7.Visible = True
            c8.Visible = False
            c9.Visible = False
            c10.Visible = False
            c11.Visible = False
            c12.Visible = False
            c13.Visible = False
```

```
c14.Visible = False
c15.Visible = False
c16.Visible = False
c17.Visible = False

e4.Visible = True
e5.Visible = True
e6.Visible = True
e7.Visible = True
e8.Visible = False
e9.Visible = False
e10.Visible = False
e11.Visible = False
e12.Visible = False
e13.Visible = False
e14.Visible = False
e15.Visible = False
e16.Visible = False
e17.Visible = False

g4.Visible = True
g5.Visible = True
g6.Visible = True
g7.Visible = True
g8.Visible = False
g9.Visible = False
g10.Visible = False
g11.Visible = False
g12.Visible = False
g13.Visible = False
g14.Visible = False
g15.Visible = False
g16.Visible = False
g17.Visible = False

i4.Visible = False
i5.Visible = False
```

```
i6.Visible = False
i7.Visible = False
i8.Visible = False
i9.Visible = False
i10.Visible = False
i11.Visible = False
i12.Visible = False
i13.Visible = False
i14.Visible = False
i15.Visible = False
i16.Visible = False
i17.Visible = False

k4.Visible = False
k5.Visible = False
k6.Visible = False
k7.Visible = False
k8.Visible = False
k9.Visible = False
k10.Visible = False
k11.Visible = False
k12.Visible = False
k13.Visible = False
k14.Visible = False
k15.Visible = False
k16.Visible = False
k17.Visible = False

m4.Visible = False
m5.Visible = False
m6.Visible = False
m7.Visible = False
m8.Visible = False
m9.Visible = False
m10.Visible = False
m11.Visible = False
m12.Visible = False
```

```
            m13.Visible = False
            m14.Visible = False
            m15.Visible = False
            m16.Visible = False
            m17.Visible = False

            o4.Visible = False
            o5.Visible = False
            o6.Visible = False
            o7.Visible = False
            o8.Visible = False
            o9.Visible = False
            o10.Visible = False
            o11.Visible = False
            o12.Visible = False
            o13.Visible = False
            o14.Visible = False
            o15.Visible = False
            o16.Visible = False
            o17.Visible = False


            p4.Visible = True
            p6.Visible = True
            p8.Visible = False
            p10.Visible = False
            p12.Visible = False
            p14.Visible = False
            p16.Visible = False

        Else

            case2.Visible = False

        End If

    End Sub
```

```
    Private Sub ComboBox1_SelectedIndexChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles ComboBox1.SelectedIndexChanged

        a22.Text = ComboBox1.Text

        If ComboBox1.Text = "직접 입력" Then

            a22.Enabled = True
            a22.Text = ""

        Else

            a22.Enabled = False

        End If


    End Sub

    Private Sub c13p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c13p.CheckedChanged

        pi12.Visible = True

        g22.Visible = True
        g23.Visible = True

        c14p.Enabled = True


    End Sub

    Private Sub c13x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c13x.CheckedChanged

        pi12.Visible = False
```

```
        g22.Visible = False
        g23.Visible = False
        i22.Visible = False
        i23.Visible = False
        k22.Visible = False
        k23.Visible = False
        m22.Visible = False
        m23.Visible = False
        o22.Visible = False
        o23.Visible = False

        c14p.Enabled = False
        c14x.Checked = True


    End Sub

    Private Sub c14p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c14p.CheckedChanged

        pi13.Visible = True

        i22.Visible = True
        i23.Visible = True

        c15p.Enabled = True

    End Sub

    Private Sub c14x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c14x.CheckedChanged

        pi13.Visible = False

        i22.Visible = False
        i23.Visible = False
```

```
        k22.Visible = False
        k23.Visible = False
        m22.Visible = False
        m23.Visible = False
        o22.Visible = False
        o23.Visible = False

        c15p.Enabled = False
        c15x.Checked = True


    End Sub

    Private Sub c15p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c15p.CheckedChanged

        pi14.Visible = True

        k22.Visible = True
        k23.Visible = True

        c16p.Enabled = True

    End Sub

    Private Sub c15x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c15x.CheckedChanged


        pi14.Visible = False

        k22.Visible = False
        k23.Visible = False
        m22.Visible = False
        m23.Visible = False
        o22.Visible = False
        o23.Visible = False
```

```
        c16p.Enabled = False
        c16x.Checked = True

    End Sub

    Private Sub c16p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c16p.CheckedChanged


        pi15.Visible = True

        m22.Visible = True
        m23.Visible = True

        c17p.Enabled = True


    End Sub

    Private Sub c16x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c16x.CheckedChanged

        pi15.Visible = False

        m22.Visible = False
        m23.Visible = False
        o22.Visible = False
        o23.Visible = False

        c17p.Enabled = False
        c17x.Checked = True


    End Sub

    Private Sub c17p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
```

```
System.EventArgs) Handles c17p.CheckedChanged

        pi16.Visible = True

        o22.Visible = True
        o23.Visible = True


    End Sub

    Private Sub c17x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c17x.CheckedChanged

        pi16.Visible = False

        o22.Visible = False
        o23.Visible = False


    End Sub

'==========================================case2===
==========================================================
==============================



    Private Sub c21s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c21s.CheckedChanged


        c22p.Enabled = True
        c22x.Checked = True

        c24.Visible = True
        c25.Visible = True
```

```
e24.Visible = False
e25.Visible = False
g24.Visible = False
g25.Visible = False
i24.Visible = False
i25.Visible = False
k24.Visible = False
k25.Visible = False
m24.Visible = False
m25.Visible = False
o24.Visible = False
o25.Visible = False

c22s.Enabled = False
c23s.Enabled = False
c24s.Enabled = False
c25s.Enabled = False
c26s.Enabled = False
c27s.Enabled = False

pi21.Visible = False
pi22.Visible = False
pi23.Visible = False
pi24.Visible = False
pi25.Visible = False
pi26.Visible = False

pi121.Visible = False
pi122.Visible = False
pi123.Visible = False
pi124.Visible = False
pi125.Visible = False
pi126.Visible = False
```

```
    End Sub

    Private Sub c21x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c21x.CheckedChanged



        c24.Visible = False
        c25.Visible = False

        c22s.Enabled = True
        c22p.Enabled = False
        c22x.Checked = True

    End Sub

    Private Sub c22s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c22s.CheckedChanged

        c23p.Enabled = True
        c23x.Checked = True

        c21x.Checked = True

        pi121.Visible = True

        c23s.Enabled = False
        c24s.Enabled = False
        c25s.Enabled = False
        c26s.Enabled = False
        c27s.Enabled = False

        c24.Text = c22.Text
        c25.Text = c23.Text

        c24.Visible = False
        c25.Visible = False
        e24.Visible = True
```

```
        e25.Visible = True


    End Sub

    Private Sub c22p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c22p.CheckedChanged

        c23s.Enabled = False
        c22x.Enabled = True
        c23p.Enabled = True

        c24.Visible = True
        c25.Visible = True
        e24.Visible = True
        e25.Visible = True
        g24.Visible = False
        g25.Visible = False
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False


        pi21.Visible = True
        pi22.Visible = False
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi121.Visible = False
        pi122.Visible = False
```

```
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

    End Sub

    Private Sub c22x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c22x.CheckedChanged

        c23s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        c23x.Checked = True

            e24.Visible = False
            e25.Visible = False
            g24.Visible = False
            g25.Visible = False
            i24.Visible = False
            i25.Visible = False
            k24.Visible = False
            k25.Visible = False
            m24.Visible = False
            m25.Visible = False
            o24.Visible = False
            o25.Visible = False


            pi21.Visible = False
            pi22.Visible = False
            pi23.Visible = False
            pi24.Visible = False
            pi25.Visible = False
            pi26.Visible = False

            pi121.Visible = False
            pi122.Visible = False
```

```
            pi123.Visible = False
            pi124.Visible = False
            pi125.Visible = False
            pi126.Visible = False



    End Sub

    Private Sub c23s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c23s.CheckedChanged

        c21x.Checked = True
        'c22x.Checked = True
        c24s.Enabled = False
        c24p.Enabled = True
        c25s.Enabled = False
        c26s.Enabled = False
        c27s.Enabled = False



        c24.Visible = False
        c25.Visible = False
        e24.Visible = False
        e25.Visible = False
        g24.Visible = True
        g25.Visible = True
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi21.Visible = False
        pi22.Visible = False
```

```
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi121.Visible = False
        pi122.Visible = True
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

        c24.Text = c22.Text
        c25.Text = c23.Text
        e24.Text = e22.Text
        e25.Text = e23.Text


    End Sub

    Private Sub c23p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c23p.CheckedChanged

        'pi121.Visible = True

        c24s.Enabled = False
        c23x.Enabled = True
        c24p.Enabled = True


        g24.Visible = True
        g25.Visible = True
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
```

```
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False



        pi22.Visible = True
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False



        pi122.Visible = False
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False


    End Sub

    Private Sub c23x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c23x.CheckedChanged

        c24s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        c24p.Enabled = False
        c24x.Checked = True

        g24.Visible = False
        g25.Visible = False
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
```

```
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi22.Visible = False
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi122.Visible = False
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False


    End Sub



    Private Sub c24s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c24s.CheckedChanged

        c21x.Checked = True
        'c22x.Checked = True
        c23x.Checked = True
        c25p.Enabled = True
        c22s.Enabled = False
        c23s.Enabled = False
        c25s.Enabled = False
        c26s.Enabled = False
        c27s.Enabled = False


        c24.Visible = False
```

```
c25.Visible = False
e24.Visible = False
e25.Visible = False
g24.Visible = False
g25.Visible = False
i24.Visible = True
i25.Visible = True
k24.Visible = False
k25.Visible = False
m24.Visible = False
m25.Visible = False
o24.Visible = False
o25.Visible = False

pi21.Visible = False
pi22.Visible = False
pi23.Visible = False
pi24.Visible = False
pi25.Visible = False
pi26.Visible = False

pi121.Visible = False
pi122.Visible = False
pi123.Visible = True
pi124.Visible = False
pi125.Visible = False
pi126.Visible = False

c24.Text = c22.Text
c25.Text = c23.Text
e24.Text = e22.Text
e25.Text = e23.Text
g24.Text = g22.Text
g25.Text = g23.Text
```

```
    End Sub

    Private Sub c24p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c24p.CheckedChanged

        c25s.Enabled = False
        c24x.Enabled = True
        c25p.Enabled = True

        i24.Visible = True
        i25.Visible = True
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi23.Visible = True
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

    End Sub

    Private Sub c24x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c24x.CheckedChanged

        c25s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        c25x.Checked = True
```

```
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False


    End Sub

    Private Sub c25s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c25s.CheckedChanged

        c21x.Checked = True
        c25p.Enabled = False
        c22s.Enabled = False
        c23s.Enabled = False
        c24s.Enabled = False
        c26s.Enabled = False
        c27s.Enabled = False
        c26p.Enabled = True

        c24.Visible = False
        c25.Visible = False
        e24.Visible = False
```

```
        e25.Visible = False
        g24.Visible = False
        g25.Visible = False
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = True
        k25.Visible = True
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi21.Visible = False
        pi22.Visible = False
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi121.Visible = False
        pi122.Visible = False
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = True
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

        c24.Text = c22.Text
        c25.Text = c23.Text
        e24.Text = e22.Text
        e25.Text = e23.Text
        g24.Text = g22.Text
        g25.Text = g23.Text
        i24.Text = i22.Text
        i25.Text = i23.Text


    End Sub
```

```
    Private Sub c25p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c25p.CheckedChanged

        'c25p.Checked = True
        c26s.Enabled = False
        c25x.Enabled = True
        c26p.Enabled = True

        k24.Visible = True
        k25.Visible = True
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi24.Visible = True
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False


    End Sub

    Private Sub c25x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c25x.CheckedChanged

        c26s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        c26x.Checked = True




        k24.Visible = False
```

```
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

    End Sub

    Private Sub c26s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c26s.CheckedChanged

        c26s.Checked = True
        c21x.Checked = True
        c26p.Enabled = False
        c22s.Enabled = False
        c23s.Enabled = False
        c24s.Enabled = False
        c25s.Enabled = False
        c27s.Enabled = False
        c27p.Enabled = True

        c24.Visible = False
        c25.Visible = False
        e24.Visible = False
        e25.Visible = False
        g24.Visible = False
        g25.Visible = False
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
```

```
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = True
        m25.Visible = True
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi21.Visible = False
        pi22.Visible = False
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False

        pi121.Visible = False
        pi122.Visible = False
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = True
        pi126.Visible = False

        c24.Text = c22.Text
        c25.Text = c23.Text
        e24.Text = e22.Text
        e25.Text = e23.Text
        g24.Text = g22.Text
        g25.Text = g23.Text
        i24.Text = i22.Text
        i25.Text = i23.Text
        k24.Text = k22.Text
        k25.Text = k23.Text

    End Sub

    Private Sub c26p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c26p.CheckedChanged
```

```
        'c26p.Checked = True
        c27s.Enabled = False
        c26x.Enabled = True
        c27p.Enabled = True

        m24.Visible = True
        m25.Visible = True
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi25.Visible = True
        pi26.Visible = False

        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

    End Sub

    Private Sub c26x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c26x.CheckedChanged



        c27s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        c27x.Checked = True

        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = False
        o25.Visible = False









        pi25.Visible = False
        pi26.Visible = False
```

```
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = False

    End Sub

    Private Sub c27s_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c27s.CheckedChanged

        c21x.Checked = True
        'c26p.Enabled = False
        c22s.Enabled = False
        c23s.Enabled = False
        c24s.Enabled = False
        c25s.Enabled = False
        c26s.Enabled = False

        c24.Visible = False
        c25.Visible = False
        e24.Visible = False
        e25.Visible = False
        g24.Visible = False
        g25.Visible = False
        i24.Visible = False
        i25.Visible = False
        k24.Visible = False
        k25.Visible = False
        m24.Visible = False
        m25.Visible = False
        o24.Visible = True
        o25.Visible = True

        pi21.Visible = False
        pi22.Visible = False
        pi23.Visible = False
        pi24.Visible = False
        pi25.Visible = False
```

```
        pi26.Visible = False

        pi121.Visible = False
        pi122.Visible = False
        pi123.Visible = False
        pi124.Visible = False
        pi125.Visible = False
        pi126.Visible = True

        c24.Text = c22.Text
        c25.Text = c23.Text
        e24.Text = e22.Text
        e25.Text = e23.Text
        g24.Text = g22.Text
        g25.Text = g23.Text
        i24.Text = i22.Text
        i25.Text = i23.Text
        k24.Text = k22.Text
        k25.Text = k23.Text
        m24.Text = m22.Text
        m25.Text = m23.Text

    End Sub

    Private Sub c27p_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c27p.CheckedChanged

        'c27s.Enabled = False
        c26x.Enabled = True
        c27p.Enabled = True

        o24.Visible = True
        o25.Visible = True

        pi26.Visible = True

        pi126.Visible = False
```

```
    End Sub

    Private Sub c27x_CheckedChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles c27x.CheckedChanged

        'c27s.Enabled = True
        'c21x.Checked = True
        'c27x.Checked = True

        o24.Visible = False
        o25.Visible = False

        pi26.Visible = False

     pi126.Visible = False


    End Sub

    Private Sub PRA_Load(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles MyBase.FormClosing

        Form3.Show()
        Me.Hide()

    End Sub


End Class

Public Class Form4


    Private Sub Button4_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button4.Click
```

```
        End


    End Sub

    Private Sub Button3_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles Button3.Click

        If ID.Text = "" Then

            MsgBox("ID를 입력하세요")

        Else

            user_ID = ID.Text
            Me.Hide()
            Form3.Show()


        End If


    End Sub
End Class
```

부록. C SPARC 프로그램 매뉴얼

C.1 프로그램의 시작



<그림 부록 C.1 SPARC 프로그램 시작화면>

SPARC 프로그램을 실행하면 초기화면으로 로그인 화면이 나타난다. 아이디와 패스워드를 입력한 뒤 로그인 버튼을 클릭하여 로그인한다. 사용자의 아이디는 상태평가를 위한 단면 정보를 서버에 업로드할 때 사용자를 구분하기 위해 사용된다.

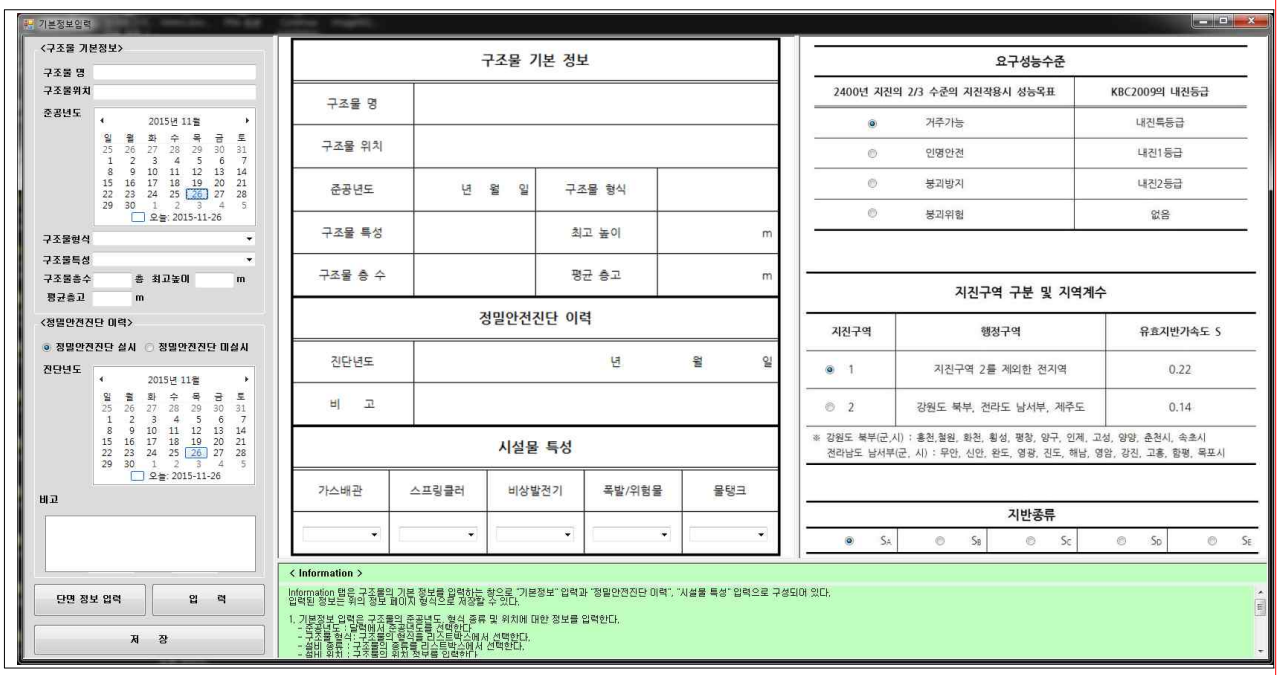
C.2 프로그램 모듈 선택



<그림 부록 C.2 SPARC 프로그램 선택화면>

프로그램에 로그인 하면 각 모듈을 선택하는 창이 열린다. SPARC 프로그램은 기본정보 입력, 상태평가, 위험도평가, m계수 산정 순으로 진행된다. 각 모듈을 실행 시키고 정보 입력 후 모듈창을 닫으면 다른 모듈을 선택 할 수 있도록 프로그램 선택 화면이 다시 열린다.

C.3 기본정보 입력



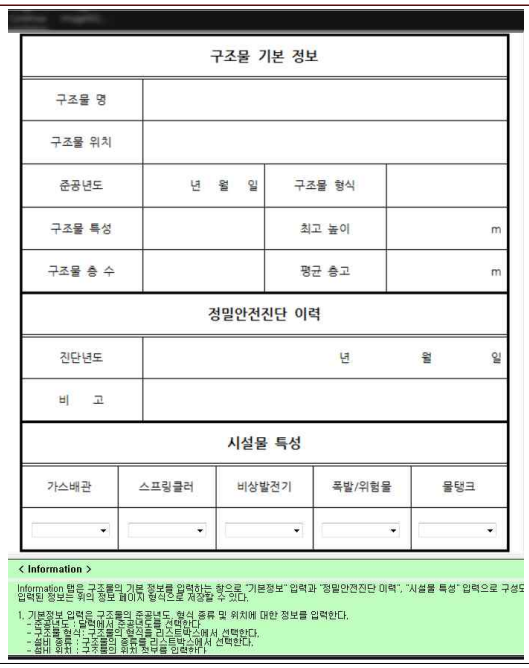
<그림 부록 C.3 기본정보입력 창>

기본정보 입력 모듈을 선택하면 기본정보 입력창이 열린다. 기본정보 입력 창은 정보 입력 창, 시설물 특성 선택, 요구 성능 및 지반 정보를 선택할 수 있는 창으로 구성된다.



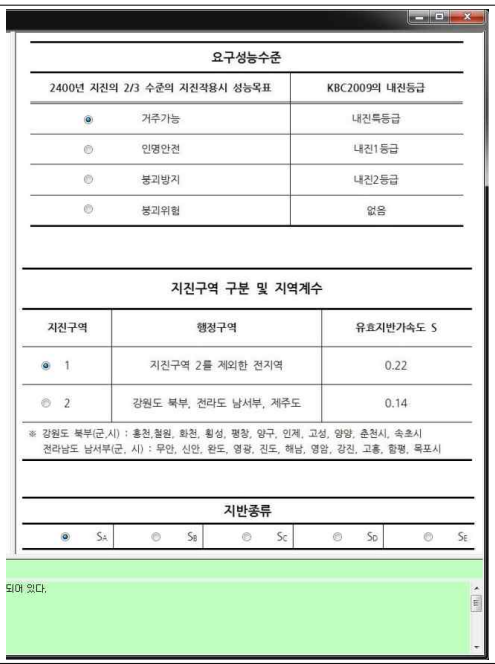
<그림 부록 C.4 정보입력 화면>

구조물의 기본 정보를 입력한다. 정밀 안전 진단이 실시된 구조물은 라디오 버튼으로 선택 할 수 있으며, 준공년도 및 정밀 안전 진단 년도는 스케줄 모듈로 선택한다.



<그림 부록 C.5 시설물 특성 선택 화면>

시설물 특성은 각 시설물의 설치 유무 또는 위치를 콤보 박스로 선택할 수 있다.



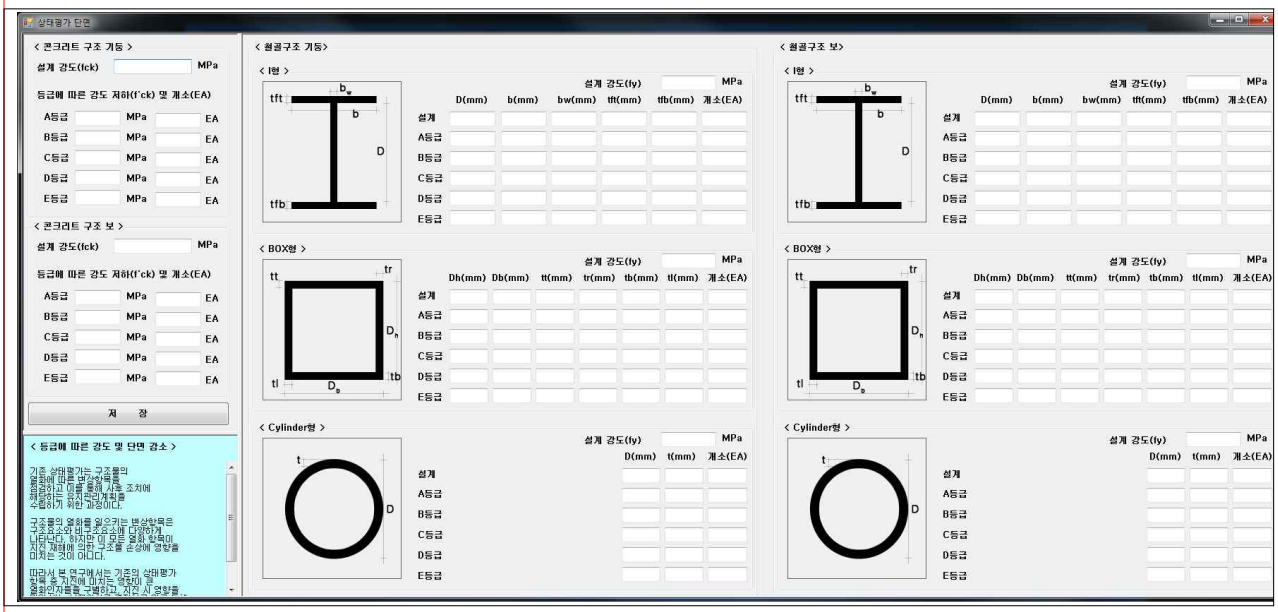
<그림 부록 C.6 요구 성능 및 지반 정보 선택 화면>

요구 성능 수준 및 지진구역, 지반종류는 라디오 버튼을 클릭하여 선택한다.



<그림 부록 C.7 단면 정보 입력 버튼>

상태평가를 위한 단면정보를 입력하기 위해 단면 정보 입력 버튼을 클릭하면 단면 정보 입력 창이 활성화 된다.



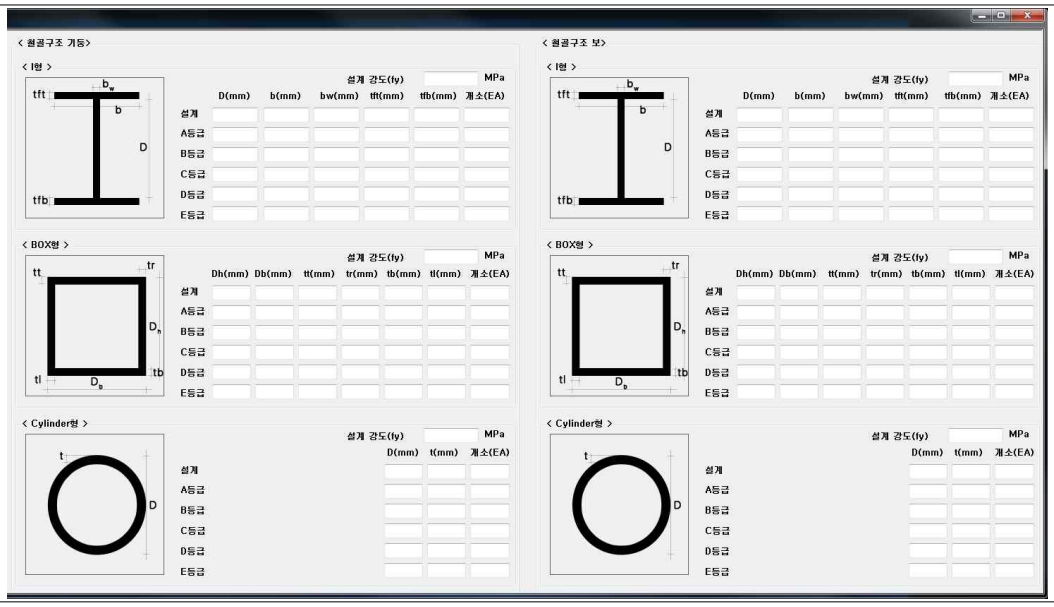
<그림 부록 C.8 단면 정보 입력 모듈>

단면 정보 입력 모듈에서는 상태평가 알고리즘 업데이트를 위한 단면의 기본 정보를 입력 할 수 있다. 단면 정보 입력 모듈은 콘크리트 구조, 철골구조의 등급 및 단면 정보를 입력 할 수 있는 화면으로 구성되어 있다.



<그림 부록 C.9 콘크리트 구조 등급 입력>

콘크리트 구조의 등급 입력 부분은 기둥과 보로 구성되어 있으며 설계 강도와 정밀 안전 진단 결과에 따른 등급 별 강도, 개소를 입력한다. 정밀 안전 진단을 실시하지 않은 구조물은 설계 강도만 입력한다.



<그림 부록 C.10 철골 구조 단면 정보 입력>

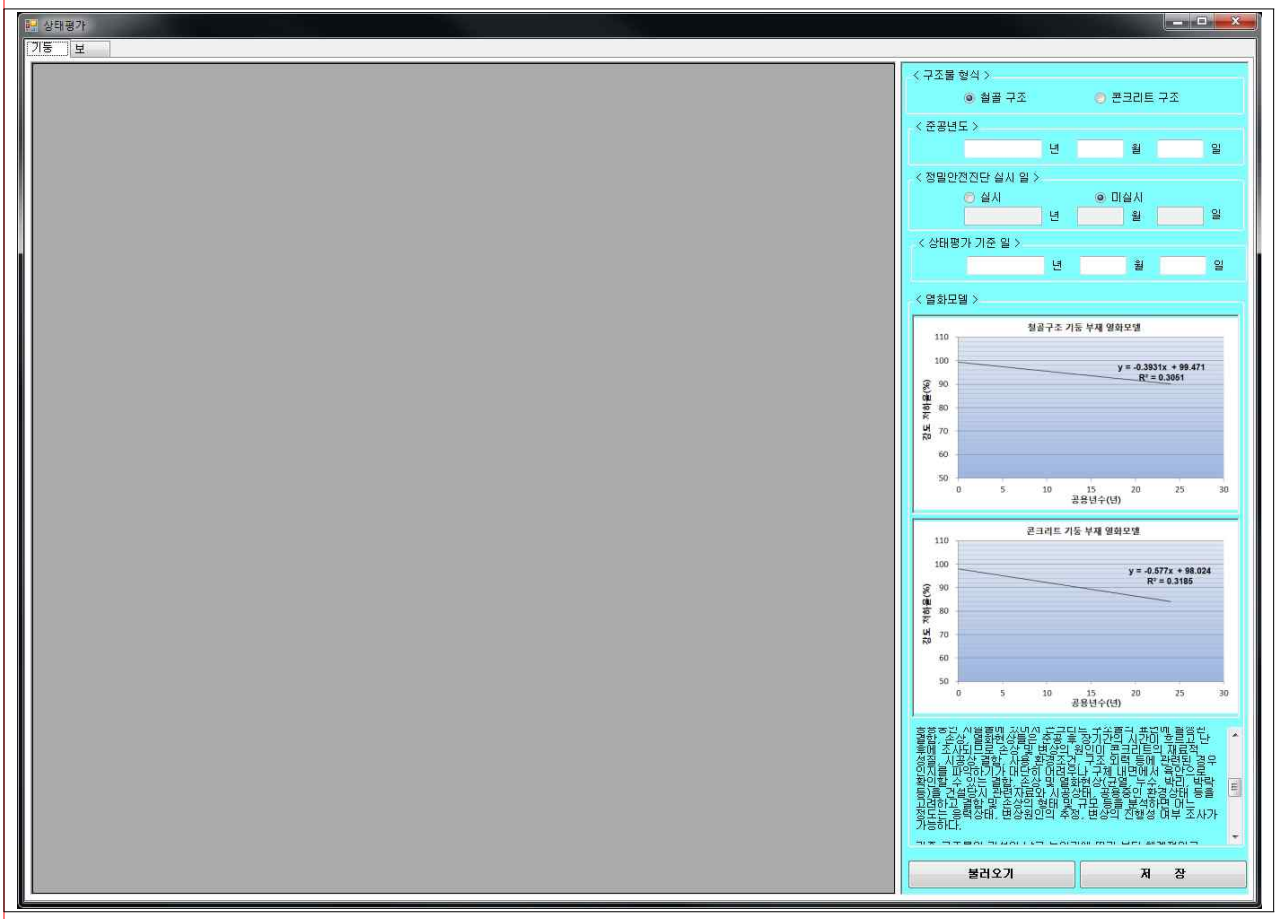
철골 구조의 단면 입력 부분 또한 기둥과 보로 구성되어 있으며 설계 강도 및 설계 단면 치수, 정밀 안전 진단 결과에 따른 등급 별 감소된 단면 치수와 개소를 입력한다. 정밀 안전 진단을 실시하지 않은 구조물은 설계 강도와 설계상 단면 치수만 입력한다. 철골 구조물의 단면 형상은 I형, Box형, 실린더형이 지원된다. 단면 정보 입력 후 저장 버튼을 클릭하여 입력된 정보를 저장한다.



<그림 부록 C.11 기본 정보 입력 버튼>

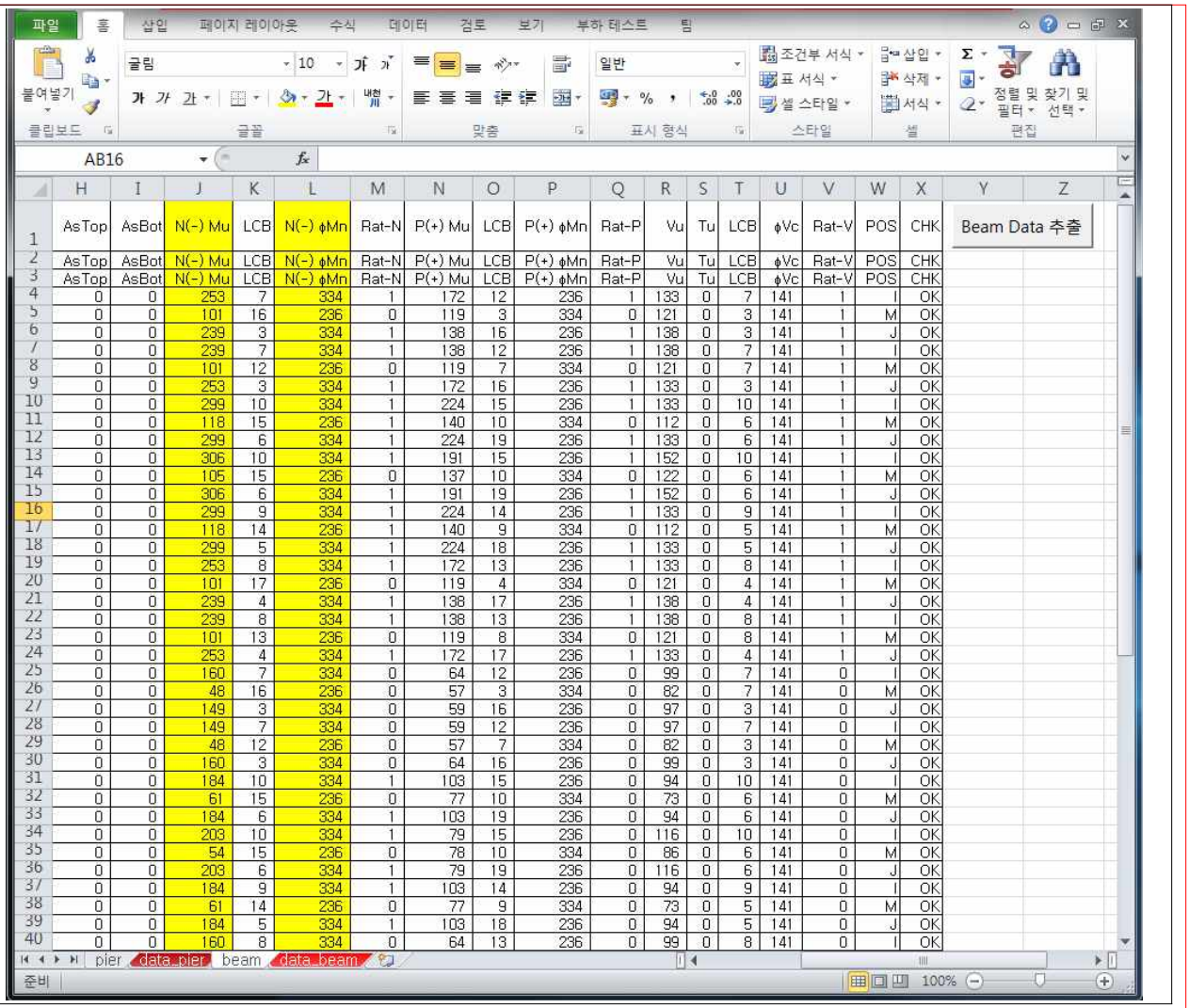
단면 정보 저장 후 구조물 기본 정보 입력 창의 입력 버튼을 클릭하면 시설물 특성 선택 영역의 상단에 입력된 정보가 반영되며 저장버튼을 클릭 하면 구조물의 기본 정보가 엑셀로 저장이 된다. 또한 입력된 기본 정보는 DB에 업로드가 된다.

C.4 상태평가



<그림 부록 C.12 상태평가 모듈>

기본 정보 입력 후 프로그램 선택 창에서 상태평가를 선택하면 상태평가 모듈이 활성화 된다. 상태평가는 MIDAS의 해석결과를 가져와서 정밀 안전 진단 결과 및 열화곡선에 의한 단면 및 강도 변화를 입력한다.



	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK	Beam Data 추출	
2	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK		
3	AsTop	AsBot	N(-) Mu	LCB	N(-) ϕMn	Rat-N	P(+) Mu	LCB	P(+) ϕMn	Rat-P	Vu	Tu	LCB	ϕVc	Rat-V	POS	CHK		
4	0	0	253	7	334	1	172	12	236	1	133	0	7	141	1	I	OK		
5	0	0	101	16	236	0	119	3	334	0	121	0	3	141	1	M	OK		
6	0	0	239	3	334	1	138	16	236	1	138	0	3	141	1	J	OK		
7	0	0	239	7	334	1	138	12	236	1	138	0	7	141	1	I	OK		
8	0	0	101	12	236	0	119	7	334	0	121	0	7	141	1	M	OK		
9	0	0	253	3	334	1	172	16	236	1	133	0	3	141	1	J	OK		
10	0	0	299	10	334	1	224	15	236	1	133	0	10	141	1	I	OK		
11	0	0	118	15	236	1	140	10	334	0	112	0	6	141	1	M	OK		
12	0	0	299	6	334	1	224	19	236	1	133	0	6	141	1	J	OK		
13	0	0	306	10	334	1	191	15	236	1	152	0	10	141	1	I	OK		
14	0	0	105	15	236	0	137	10	334	0	122	0	6	141	1	M	OK		
15	0	0	306	6	334	1	191	19	236	1	152	0	6	141	1	J	OK		
16	0	0	299	9	334	1	224	14	236	1	133	0	9	141	1	I	OK		
17	0	0	118	14	236	1	140	9	334	0	112	0	5	141	1	M	OK		
18	0	0	299	5	334	1	224	18	236	1	133	0	5	141	1	J	OK		
19	0	0	253	8	334	1	172	13	236	1	133	0	8	141	1	I	OK		
20	0	0	101	17	236	0	119	4	334	0	121	0	4	141	1	M	OK		
21	0	0	239	4	334	1	138	17	236	1	138	0	4	141	1	J	OK		
22	0	0	239	8	334	1	138	13	236	1	138	0	8	141	1	I	OK		
23	0	0	101	13	236	0	119	8	334	0	121	0	8	141	1	M	OK		
24	0	0	253	4	334	1	172	17	236	1	133	0	4	141	1	J	OK		
25	0	0	160	7	334	0	64	12	236	0	99	0	7	141	0	I	OK		
26	0	0	48	16	236	0	57	3	334	0	82	0	7	141	0	M	OK		
27	0	0	149	3	334	0	59	16	236	0	97	0	3	141	0	J	OK		
28	0	0	149	7	334	0	59	12	236	0	97	0	7	141	0	I	OK		
29	0	0	48	12	236	0	57	7	334	0	82	0	3	141	0	M	OK		
30	0	0	160	3	334	0	64	16	236	0	99	0	3	141	0	J	OK		
31	0	0	184	10	334	1	103	15	236	0	94	0	10	141	0	I	OK		
32	0	0	61	15	236	0	77	10	334	0	73	0	6	141	0	M	OK		
33	0	0	184	6	334	1	103	19	236	0	94	0	6	141	0	J	OK		
34	0	0	203	10	334	1	79	15	236	0	116	0	10	141	0	I	OK		
35	0	0	54	15	236	0	78	10	334	0	86	0	6	141	0	M	OK		
36	0	0	203	6	334	1	79	19	236	0	116	0	6	141	0	J	OK		
37	0	0	184	9	334	1	103	14	236	0	94	0	9	141	0	I	OK		
38	0	0	61	14	236	0	77	9	334	0	73	0	5	141	0	M	OK		
39	0	0	184	5	334	1	103	18	236	0	94	0	5	141	0	J	OK		
40	0	0	160	8	334	0	64	13	236	0	99	0	8	141	0	I	OK		

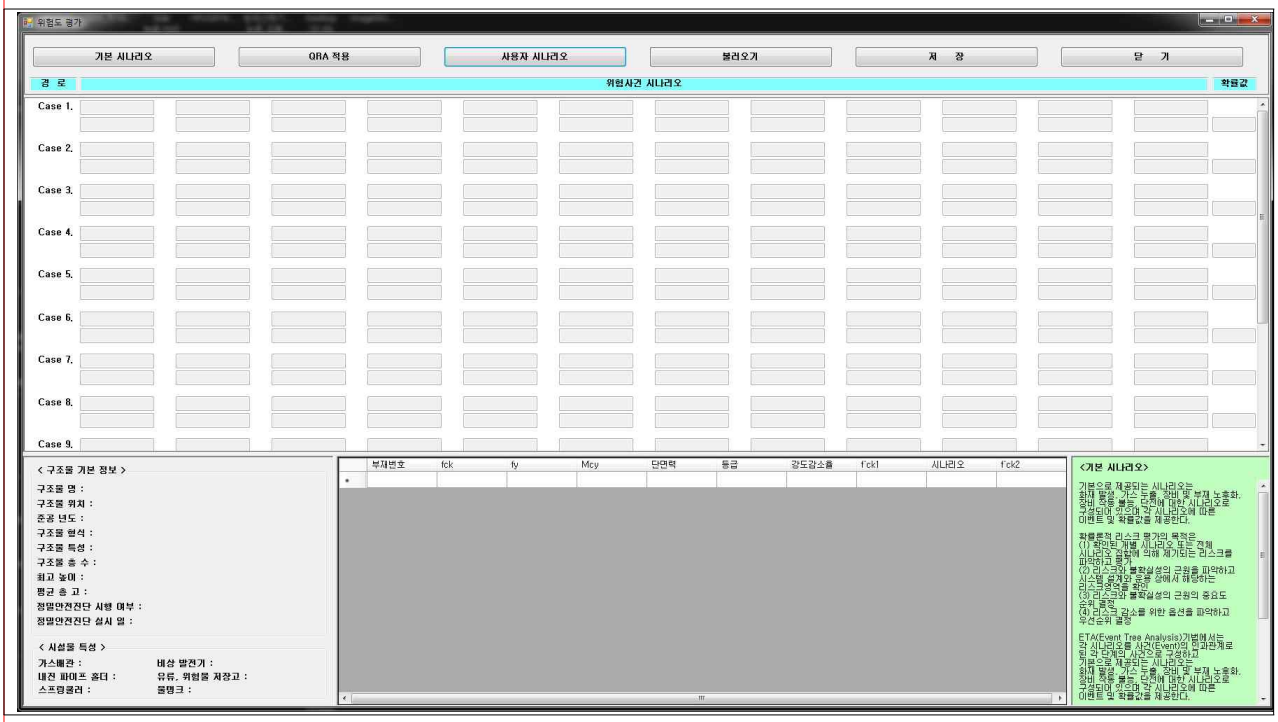
<그림 부록 C.13 MIDAS 데이터 추출용 시트>

MIDAS의 해석결과를 SPARC 프로그램에서 활용하기 위해서는 해석결과 중 필요한 Data를 추출해야 한다. Data의 추출은 SPARC 프로그램에서 제공하는 엑셀 시트를 사용한다. 엑셀 시트에 해석결과를 복사하여 붙혀놓고 Data 추출 버튼을 클릭하면 상태평가 모듈에서 사용가능한 형태의 Data로 추출이 된다.

상태평가 모듈의 구조물 형식, 준공년도 및 정밀 안전 진단 년도의 값은 기본 정보 입력 모듈에서 입력된 정보를 가져오며 상태평가 기준일은 분석 수행 날짜를 입력한다. 추출된 Data를 상태 평가 모듈에서 불러오면 각 Index가 자동으로 채워지며 정밀 안전 진단을 수행 하지 않았을 경우 본 프로그램에서 제공하는 열화곡선에 따라 단면 감소 및 강도 감소가 계산된다. 정밀 안전 진단을 실시했을 경우 “등급” Index가 추가되며 정밀 안전 진단 결과에 따른 구조물의 등급을 A~E로 입력하면 정밀 안전 진단의 결과가 반영된 단면 감소 및 강도 감소를 계산 한다.

상태평가 계산 후 저장 버튼을 클릭하면 계산된 결과는 *.sparc 파일형태로 저장된다.

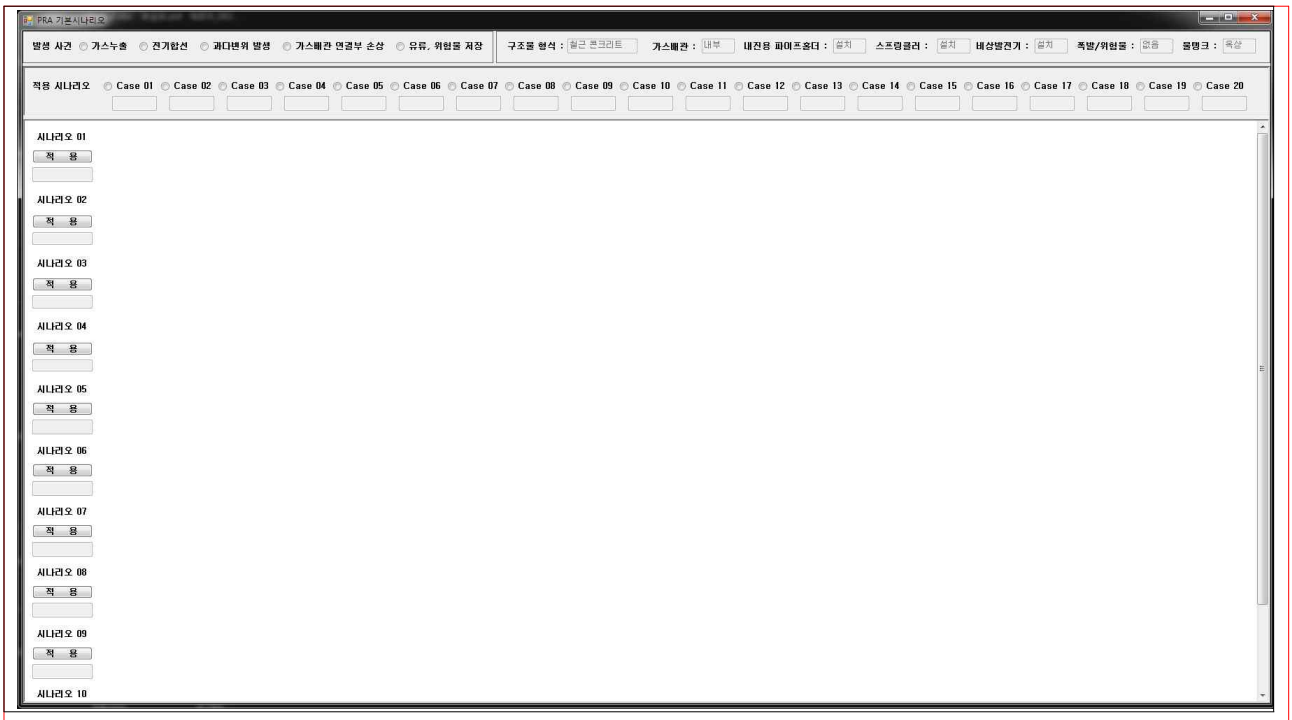
C.5 위험도평가



<그림 부록 C.14 위험도평가 모듈>

상태평가 계산 후 프로그램 선택에서 위험도평가를 선택하면 위험도평가 모듈이 활성화 된다. 위험도평가 모듈은 위험도 시나리오 생성과 구조물 기본정보 확인 시나리오 적용 부분으로 구성된다.

시나리오를 생성 한 뒤 상태평가 결과를 저장한 *.sparc 파일을 불러와서 각 부재에 적용할 시나리오 번호를 입력하면 부재 단면의 감소 및 강도 감소를 계산할 수 있다.

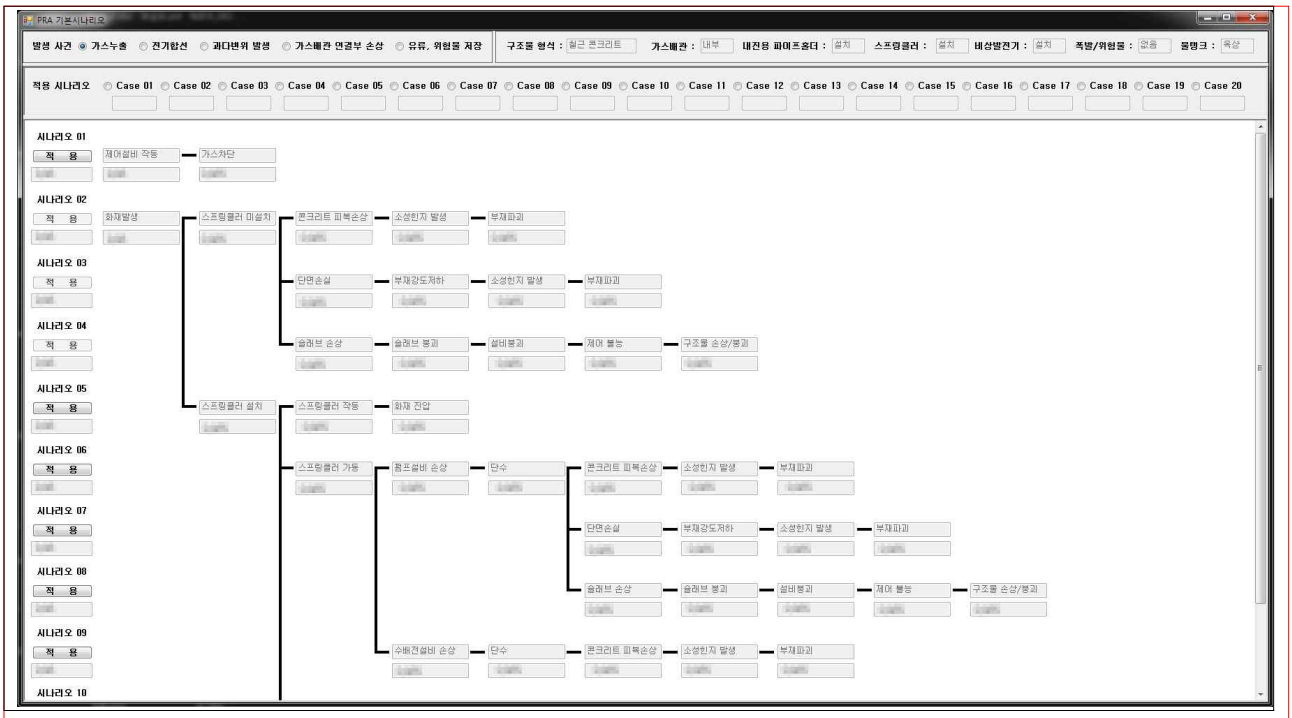


<그림 부록 C.15 기본 시나리오 생성 모듈>

위험도평가 시나리오는 기본 시나리오와 사용자 시나리오로 구성되어 있으며 위험도 평가 모듈의 기본 시나리오 버튼을 클릭하면 기본 시나리오 생성 모듈을 활성 할 수 있다.

기본 정보 시나리오는 가스누출, 전기합선, 과다변위 발생, 가스배관 연결부 손상, 유류 위험물 저장으로 구성되며 라디오 버튼으로 선택한다.

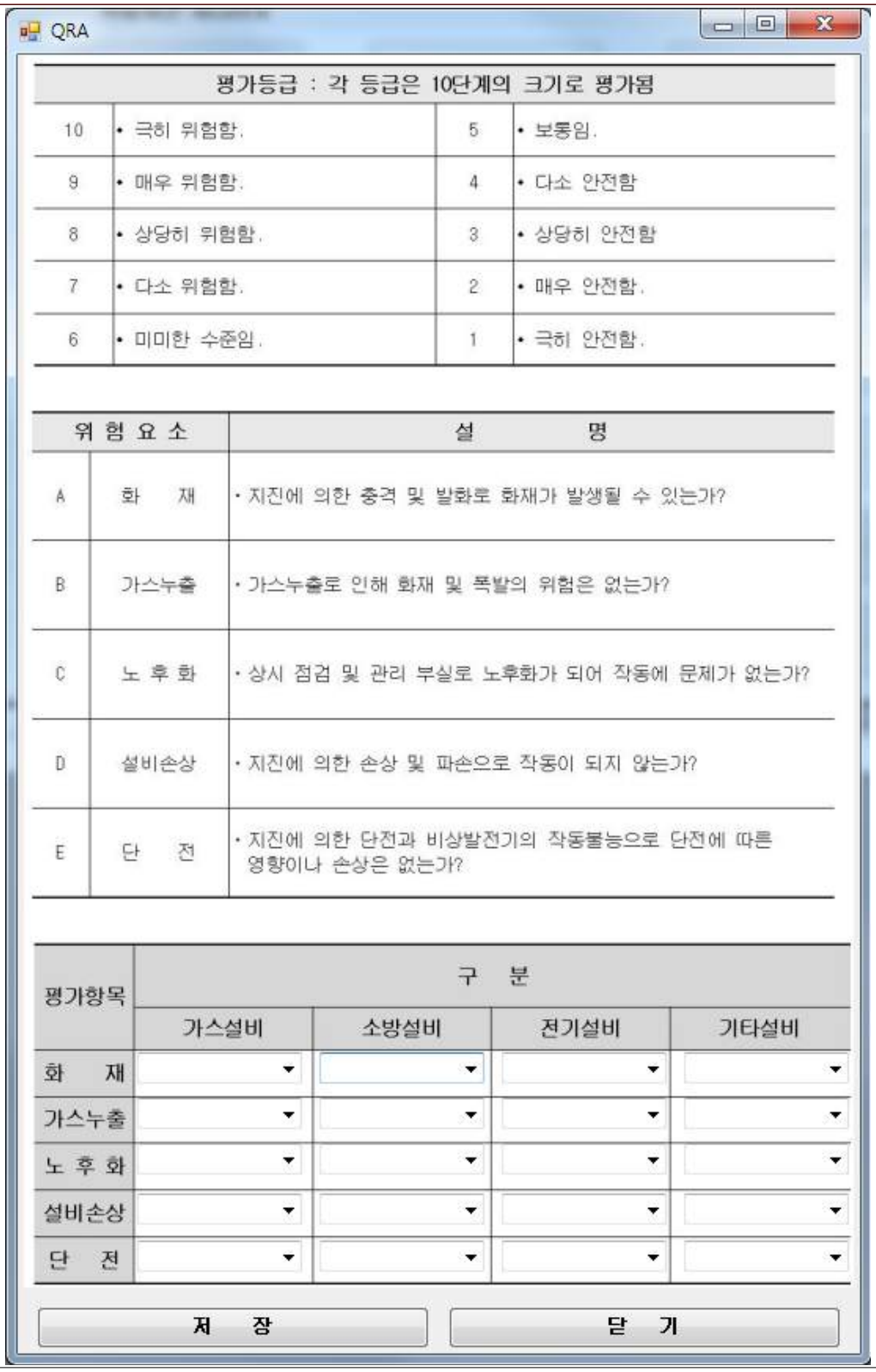
구조물 형식 및 시설물 특성은 기본 정보 입력 모듈에서 입력한 결과가 반영되며 이는 기본 시나리오 모듈 창의 상단에서 확인 할 수 있다.



<그림 부록 C.16 기본 시나리오 생성 모듈>

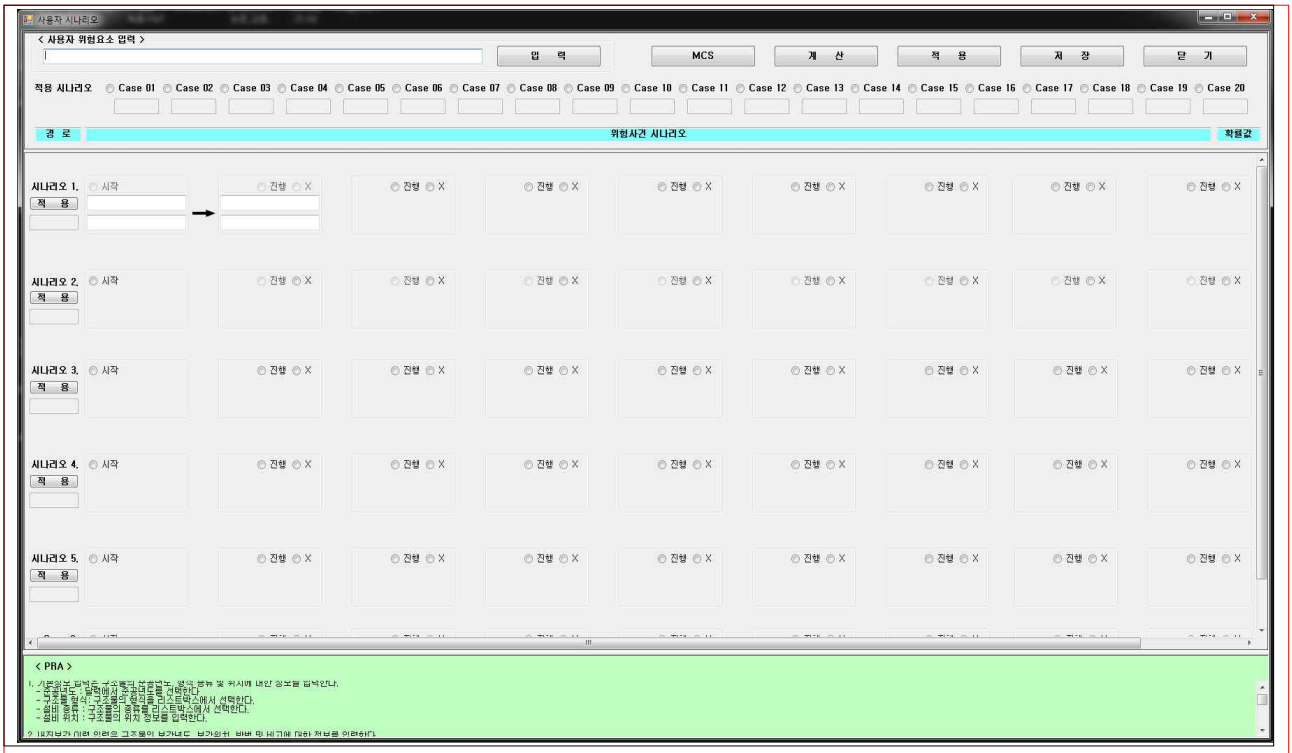
발생 사건을 라디오 버튼으로 선택하면 기본 시나리오가 생성된다. 생성된 시나리오는 각 시나리오별로 위험도 평가 모듈의 시나리오 Case에 적용할 수 있다. 상단의 Case 번호를 라디오 버튼으로 선택한 뒤 시라리오별 적용버튼을 클릭하면 시나리오가 선택한 Case에 입력이 된다.

생성된 시나리오는 각 시나리오 별로 정용할 수 있으나 시설물 특성에 의해 적용할 수 없는 시나리오는 적용 버튼이 활성화 되지 않는다.



<그림 부록 C.17 QRA 입력>

기본 시나리오를 입력 후 사용자는 QRA 결과를 적용할 수 있다. 위험도 평가 모듈의 QRA 적용 버튼을 클릭하면 QRA 입력 창이 활성화 되며 평가 항목에 대한 시설물의 가중치를 콤보 박스로 선택 할 수 있다. 입력한 정보는 설문 Data의 업데이트를 위해 DB에 업로드 된다.



<그림 부록 C.18 사용자 시나리오 생성>

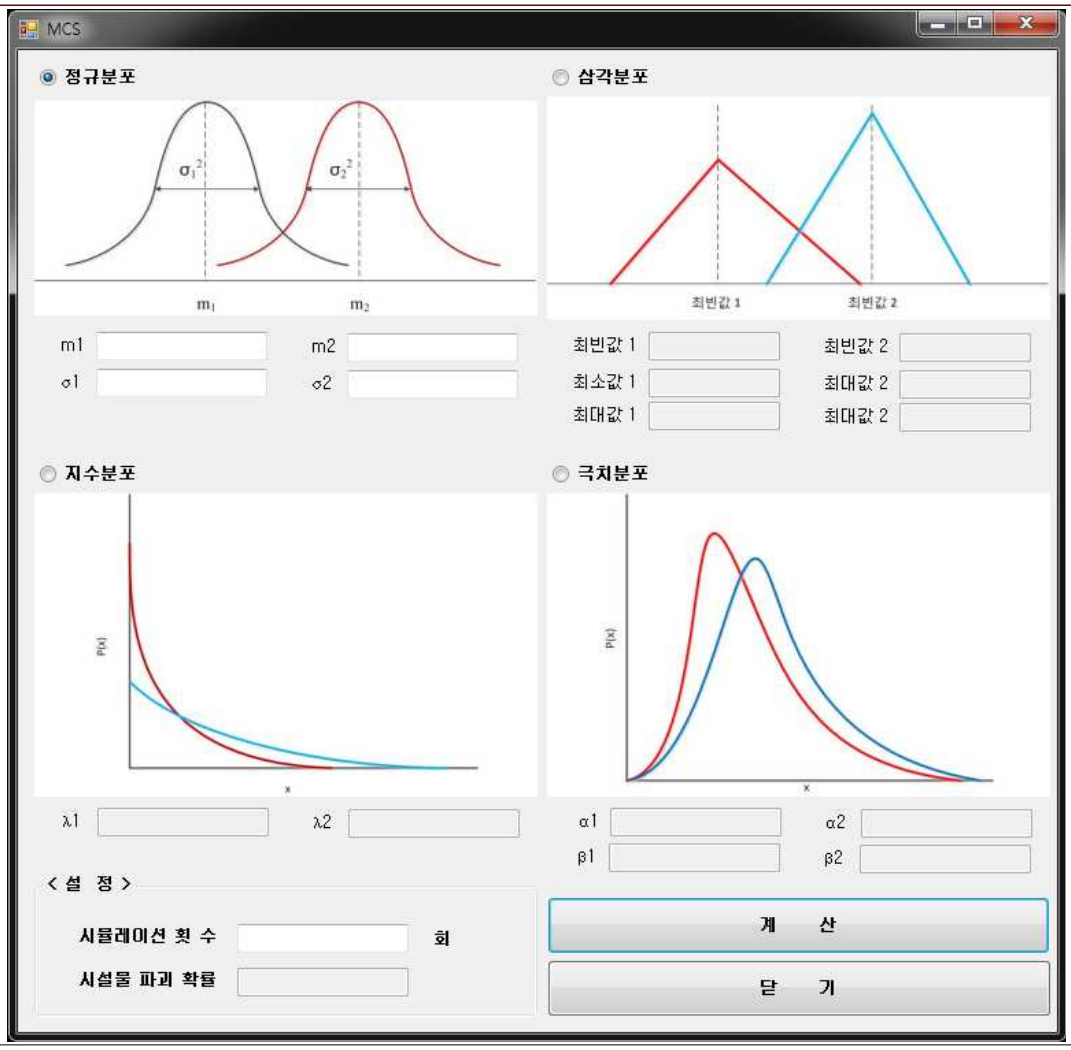
사용자 시나리오를 생성하기 위해 위험도 평가 모듈의 사용자 시나리오 버튼을 클릭하면 사용자 시나리오 생성 창이 활성화 된다. 사용자 시나리오 별 Case 적용 방법은 기본 시나리오와 같으며 이미 적용된 Case는 Case 번호 아래에 확률값이 표시된다.

시나리오의 생성 방법은 시나리오 첫 번째 이벤트 박스의 시작 버튼을 선택하면 박스가 활성화되고 계속 입력하기를 원할 경우 다음 이벤트 박스의 진행 버튼으로 끝낼 경우 X버튼을 선택하여 결정할 수 있다.

이벤트 별 확률값은 사용자가 직접 입력 할 수 있으며 확률값이 없을 경우 MCS 버튼을 클릭하여 MCS 계산 창을 활성화 할 수 있다.

사용자 시나리오를 모두 입력 한 뒤 계산 버튼을 클릭하면 시나리오 확률값을 계산 할 수 있으며 Case를 선택하여 시나리오를 적용할 경우 그 시나리오의 확률값은 자동으로 계산된다.

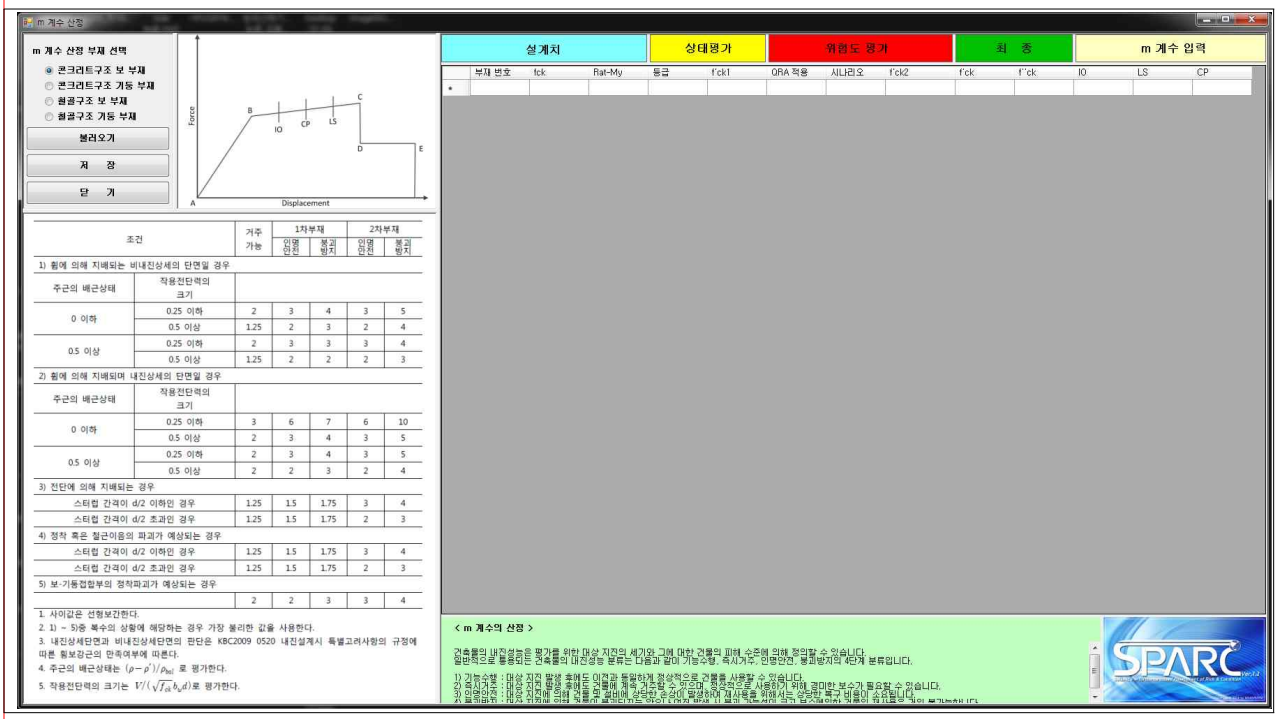
저장버튼을 클릭하면 생성한 시나리오를 엑셀로 저장할 수 있다.



<그림 부록 C.19 MCS 모듈>

사용자 시나리오 생성 시 이벤트 별 확률값이 없는 경우 MCS로 확률값을 계산 할 수 있다. MCS 모듈에서 적용할 분포특성을 선택한 뒤 필요한 요소를 입력하고 시뮬레이션 횟 수를 설정한 뒤 계산 버튼을 클릭하면 계산된 확률값을 확인 할 수 있으며 이 값을 복사하여 이벤트의 확률값으로 사용할 수 있다.

C.6 m 계수의 산정



<그림 부록 C.20 m계수 산정 모듈>

SPARC 프로그램의 결과를 내진성능평가에 적용하기 위해 MIDAS 구조해석의 인자인 m 계수를 산정하는 모듈이다. m 계수 산전 모듈을 활성화 하면 불러오기 버튼을 클릭하여 *.sparc 파일을 열 수 있다. 파일에는 기본 정보 입력 모듈에서 입력한 설계치와 상태평가와 위험도 평가의 결과에 따른 단면 및 강도 감소의 결과를 확인 할 수 있다.

좌측의 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(한국시설안전공단, 2011)의 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정기준과 본 연구과제에서 제시하는 기준표를 참조하여 m 계수 입력 Index의 Io, LS CP,의 값을 입력한 저장 하면 최종 결과를 *.sparc 파일과 보고서 폼으로 정리된 엑셀로 저장할 수 있다.