

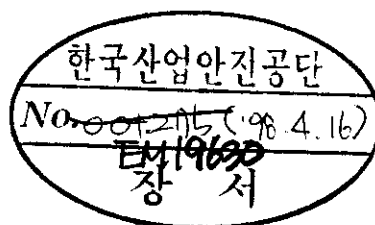
502.98
21617

연구보고서
안전연 97-14-35

가설공사 안전모델 개발에 관한 연구

(도괴재해사례를 중심으로)

1997. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산업안전연구개발” 사업의 일환으로 수행한
「가설공사 안전모델 개발에 관한 연구(도파재해사례를 중심으로)」의 최종 보고서로 제출 합니다.

1997년 12월 31일

주관연구부서 : 산 업 안 전 연 구 원
 건 설 안 전 연 구 실
연구책임자 : 책임연구원 최 순 주
공동연구기관 : 안 성 산 업 대 학 교
 안 전 공 학 과
연구책임자 : 전임강사 백 신 원
공동연구자 : 전임강사 최 동 욱

목 차

제1장 서 론	9
1. 연구의 배경 및 목적	9
가. 연구의 배경	9
나. 연구의 목적	9
2. 연구기간	10
3. 연구 목표 및 내용	10
4. 추진 방법	10
5. 연구 추진 체계	11
6. 기대성과 및 활용방안	13
 제2장 가설구조물의 재료특성	14
1. 거푸집널	14
가. 합판	14
나. 철재 요철판	16
다. 강재 갑판(DECK PLATE)	16
2. 장선 및 명에	18
가. 목재	19
나. 강관파이프	20
다. 각형강관	21
3. 동바리	22
가. 받침기둥 방식	23
나. LOAD TOWER 방식	28
다. 스테이지 방식	28
라. 기타 특수방식	30
 제3장 가설구조물의 구조계산 방법	32
1. 하중계산	32
2. 거푸집널 검토	32
3. 장선의 검토	33

4. 명예의 검토	34
5. 동바리의 검토	36
6. 변형량 기준	36

제4장 붕괴 · 도괴사례별 원인분석 38

1. 각 사례조사 배경	38
2. 각 사례별 구조해석 및 원인 분석	40

제5장 종합분석 및 예방대책 193

1. 구조해석 종합분석	193
2. 도괴재해 예방대책	195

제6장 결 론 197

참고 문헌	199
부록A. 산업안전기준에 관한 규칙	201
부록B. 구조해석 데이터	205
부록C. 구조해석 결과 사진	275

표 목 차

<표2-1> 합판의 규격 및 허용차	15
<표2-2> 휨강성 시험기준 및 휨탄성계수	15
<표2-3> 거푸집용 합판의 허용응력과 휨탄성계수	16
<표2-4> 철재 요철판의 규격 및 단면성능	16
<표2-5> 강재갑판의 종류	17
<표2-6> 강재갑판의 재료별 종류 및 허용응력	18
<표2-7> 목재의 제재규격(mm)	19
<표2-8> 미송의 허용응력도 비교	20
<표2-9> 강관파이프의 규격	21
<표2-10> 강관파이프의 기계적 성질 및 허용응력	21
<표2-11> 압축력을 받는 강관파이프의 지지길이별 허용하중	21
<표2-12> 각형강관의 규격	22
<표2-13> 각형강관의 기계적 성질 및 허용응력	22
<표2-14> 거푸집 동바리 방식의 종류	23
<표2-15> 강관받침기둥 규격 비교	24
<표2-16> 강관받침기둥의 종류 및 제원	24
<표2-17> 강관받침기둥의 허용하중	25
<표2-18> 받침기둥 방식의 분류	25
<표2-19> 층고와 슬래브 두께에 따른 선정	26
<표2-20> 층고와 보의 단면적에 따른 선정	26
<표2-21> 틀형비계의 허용하중	29
<표3-1> 변형 기준	37
<표4-1a> 동바리공 붕괴재해 목록	38
<표4-1b> 작업발판 붕괴재해 목록	39
<표4-1c> 엘리베이터 피트 작업발판 붕괴재해 목록	39
<표4-1d> 기타 붕괴재해 목록	39
<표4-2> 재해개요(사례1)	40
<표4-3> 구조해석 데이터(사례1,cm)	43
<표4-4> 부재검토 결과표(사례1)	47
<표4-5> 재해분석 비교(사례1)	48
<표4-6> 재해개요(사례2)	49

<표4-7> 구조해석 데이터(사례2,cm)	52
<표4-8> 부재검토 결과표(사례2)	55
<표4-9> 재해분석 비교(사례2)	56
<표4-10> 재해개요(사례3)	57
<표4-11> 구조해석 데이터(사례3,cm)	61
<표4-12> 부재검토 결과표(사례3)	64
<표4-13> 재해분석 비교(사례3)	65
<표4-14> 재해개요(사례4)	66
<표4-15> 구조해석 데이터(사례4,cm)	70
<표4-16> 부재검토 결과표(사례4)	73
<표4-17> 재해분석 비교(사례4)	73
<표4-18> 재해개요(사례5)	74
<표4-19> 구조해석 데이터(사례5,cm)	78
<표4-20> 부재검토 결과표(사례5)	81
<표4-21> 재해분석 비교(사례5)	82
<표4-22> 재해개요(사례6)	83
<표4-23> 구조해석 데이터(사례6,cm)	87
<표4-24> 부재검토 결과표(사례6)	90
<표4-25> 재해분석 비교(사례6)	91
<표4-26> 재해개요(사례7)	92
<표4-27> 구조해석 데이터(사례7,cm)	96
<표4-28> 부재검토 결과표(사례7)	99
<표4-29> 재해분석 비교(사례7)	100
<표4-30> 재해개요(사례8)	101
<표4-31> 구조해석 데이터(사례8,cm)	105
<표4-32> 부재검토 결과표(사례8)	108
<표4-33> 재해분석 비교(사례8)	109
<표4-34> 재해개요(사례9)	110
<표4-35> 구조해석 데이터(사례9,cm)	114
<표4-36> 부재검토 결과표(사례9)	117
<표4-37> 재해분석 비교(사례9)	118
<표4-38> 재해개요(사례10)	119
<표4-39> 구조해석 데이터(사례10,cm)	124
<표4-40> 부재검토 결과표(사례10)	127

<표4-41> 재해분석 비교(사례10)	128
<표4-42> 재해개요(사례11)	129
<표4-43> 구조해석 데이터(사례11,cm)	135
<표4-44> 부재검토 결과표(사례11)	138
<표4-45> 재해분석 비교(사례11)	139
<표4-46> 재해개요(사례12)	140
<표4-47> 구조해석 데이터(사례12,cm)	143
<표4-48> 부재검토 결과표(사례12)	146
<표4-49> 재해분석 비교(사례12)	147
<표4-50> 재해개요(사례13)	148
<표4-51> 구조해석 데이터(사례13,cm)	151
<표4-52> 부재검토 결과표(사례13)	154
<표4-53> 재해분석 비교(사례13)	155
<표4-54> 재해개요(사례14)	156
<표4-55> 구조해석 데이터(사례14,cm)	160
<표4-56> 부재검토 결과표(사례14)	163
<표4-57> 재해분석 비교(사례14)	164
<표4-58> 재해개요(사례15)	165
<표4-59> 구조해석 데이터(사례15,cm)	170
<표4-60> 부재검토 결과표(사례15)	173
<표4-61> 재해분석 비교(사례15)	174
<표4-62> 재해개요(사례16)	175
<표4-63> 구조해석 데이터(사례16,cm)	179
<표4-64> 부재검토 결과표(사례16)	183
<표4-65> 재해분석 비교(사례16)	184
<표4-66> 재해개요(사례17)	185
<표4-67> 구조해석 데이터(사례17,cm)	188
<표4-68> 부재검토 결과표(사례17)	191
<표4-69> 재해분석 비교(사례17)	192
<표5-1> 동바리높이별 붕괴건수	193
<표5-2> 구조해석 안전도 평가 총괄	194
<표5-3> 각 부재별 불안전율	194
<표5-4> 슬래브의 두께에 따른 동바리의 간격	196
<표5-5> 보의 크기에 따른 동바리의 간격	196

그림 목 차

[그림1-1] 연구 추진 체계	12
[그림2-1] 강재갑판의 단면치수 기준	17
[그림2-2] 받침기둥 방식	27
[그림2-3] LOAD TOWER 형식	28
[그림2-4] 틀형비계의 하중형태	29
[그림2-5] 틀형비계의 명칭	30
[그림2-6] 동바리공의 특수형식	31
[그림4-1] 개략 도면(사례1)	42
[그림4-2a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	43
[그림4-2b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	43
[그림4-3] 구조해석 모델링(사례1)	44
[그림4-4] 개략 도면(사례2)	51
[그림4-5a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례2)	52
[그림4-5b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례2)	52
[그림4-6] 구조해석 모델링(사례2)	53
[그림4-7] 개략 도면(사례3)	60
[그림4-8a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례3)	61
[그림4-8b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례3)	61
[그림4-9] 구조해석 모델링(사례3)	62
[그림4-10] 개략 도면(사례4)	69
[그림4-11a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례4)	70
[그림4-11b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례4)	70
[그림4-12] 구조해석 모델링(사례4)	71
[그림4-13] 개략 도면(사례5)	77
[그림4-14a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례5)	78
[그림4-14b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례5)	78
[그림4-15] 구조해석 모델링(사례5)	79
[그림4-16] 개략 도면(사례6)	86
[그림4-17a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례6)	87
[그림4-17b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례6)	87
[그림4-18] 구조해석 모델링(사례6)	88

[그림4-19] 개략 도면(사례7)	95
[그림4-20a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례7)	96
[그림4-20b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례7)	96
[그림4-21] 구조해석 모델링(사례7)	97
[그림4-22] 개략 도면(사례8)	104
[그림4-23a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례8)	105
[그림4-23b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례8)	105
[그림4-24] 구조해석 모델링(사례8)	106
[그림4-25] 개략 도면(사례9)	113
[그림4-26a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례9)	114
[그림4-26b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례9)	114
[그림4-27] 구조해석 모델링(사례9)	115
[그림4-28] 개략 도면(사례10)	123
[그림4-29a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례10)	124
[그림4-29b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례10)	124
[그림4-30] 구조해석 모델링(사례10)	125
[그림4-31] 개략 도면(사례11)	134
[그림4-32a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례11)	135
[그림4-32b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례11)	135
[그림4-33] 구조해석 모델링(사례11)	136
[그림4-34] 개략 도면(사례12)	142
[그림4-35a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례12)	143
[그림4-35b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례12)	143
[그림4-36] 구조해석 모델링(사례12)	144
[그림4-37] 개략 도면(사례13)	150
[그림4-38a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례13)	151
[그림4-38b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례13)	151
[그림4-39] 구조해석 모델링(사례13)	152
[그림4-40] 개략 도면(사례14)	159
[그림4-41a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례14)	160
[그림4-41b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례14)	160
[그림4-42] 구조해석 모델링(사례14)	161
[그림4-43] 개략 도면(사례15)	169
[그림4-44a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례15)	170

[그림4-44b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례15)	170
[그림4-45] 구조해석 모델링(사례15)	171
[그림4-46] 개략 도면(사례1)	178
[그림4-47a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	179
[그림4-47b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	179
[그림4-48] 구조해석 모델링(사례1)	180
[그림4-49] 개략 도면(사례1)	187
[그림4-50a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	188
[그림4-50b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)	188
[그림4-51] 구조해석 모델링(사례1)	189

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

가. 연구의 배경

산업안전보건법령(이하 “산안법”이라 한다)은 전반적으로 시공에 관한 규정으로 근원적 안전대책 수립에 필요한 계획단계에서의 가설구조물 설계에 필요한 구조설계기준(하중, 재료의 규격과 허용응력)에 대한 규정은 매우 열악한 실정에 있다. 또한 가설공사는 건설작업에서의 유해위험작업으로 분류되어 사전 안전성심사대상 작업으로 심사시 가설공사 작업개요서를 제출하여 사전 안전성 확보를 위한 심사를 받고 있으나 구조기준 및 설계지침이 확실히 확립되어 있지 않아 양측 모두 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제 해결을 위해서는 가설구조물에 대한 설계지침과 구조해석 방법의 개발이 시급히 요청되고 있는 실정이다.

가설공사는 구조물의 품질과 안전에 직접적인 영향을 미치기 때문에 가설구조물에 대한 안전을 고려한 공사관리계획의 수립과 계획에 필요한 설계 역시 구조물의 설계와 마찬가지로 확실한 안전성을 확보할 수 있도록 설계기준에 의한 구조계산이 선행되어야 한다.

안전시공과 구조물의 품질 및 안전을 확보하기 위해서는 공사계획수립 시점에서 가설구조에 대한 안전성 검증이 필연적이지만 가설구조물의 중요성을 인식하지 못하여 구조설계를 도외시 하고 그 동안의 경험에 의존하여 공사가 진행될 뿐만 아니라 가설구조물 공사시 현장근로자는 안전성이 검증되지 않은 과소단면의 부재, 결함재료, 현장 보유 재료 등을 이용하여 적당시공함으로써 빈번한 붕괴 및 도괴재해가 발생하고 있다.

나. 연구의 목적

1995년 한국산업안전공단에서 직접 조사한 건설중대재해 396건을 발생형태에 따라 분석한 결과, 7%에 해당하는 28건의 재해가 도괴재해인 것으로 나타났다. 특히 도괴재해는 건설재해에서 차지하는 비율은 낮으나 여타 건설재해 형태에 비하여 재해강도가 크고, 경제적 손실이 매우 큰 것이 특징으로 가설구조물을 구성하는 가설재의 재료결함, 구조결함, 작업방법 불량, 조립불량 등에 기인하여 재해가 발생하는 것으로 추정하고 있으나 정확한 재해발생 원인은 규명되지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 기 발생된 도피재해사례에 대한 조사분석과 구조해석을 통해 구조적 결함에 기인한 재해원인을 규명하여 대책을 제시함으로써 동종재해 재발을 방지하고자 한다.

2. 연구기간

1997. 1. 1 ~ 1997. 12. 31

3. 연구 목표 및 내용

본 연구에서는 건설재해중에서 재해의 강도와 경제적 손실이 비교적 큰 도피재해사례를 조사분석하고, 구조해석을 통해 도피재해의 근원적인 원인을 규명하는데 그 목적이 있으며 궁극적으로는 도피재해의 예방대책을 제시하여 앞으로 건설현장에서 발생하는 도피재해, 더 나아가 건설재해를 줄이고자 하는데 그 목적이 있다.

따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 연구 목표를 설정하여 수행하고자 한다.

- ① 도피재해 사례 조사분석에 기초한 재해원인 규명
- ② 도피재해의 구조적 재해원인에 대한 예방대책 제시

한편, 본 연구에서는 이러한 연구 목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구내용 및 범위내에서 연구를 수행하고자 한다.

- ① 도피재해의 정확한 사례의 수집('93년이후)
- ② 도피재해 사례의 광범위한 조사 및 분석
- ③ 도피재해 사례의 실제에 근접한 구조해석
- ④ 구조해석 결과분석을 통한 도피재해의 구조적 재해원인 규명
- ⑤ 도피재해의 근원적인 예방대책 수립
- ⑥ 가설공사 안전모델 개발

4. 추진 방법

본 연구에서는 건설재해중 도피재해에 대한 광범위한 사례조사와 분석을 통해 1차적으로 재해원인을 규명하고, 실제 도피재해 사례에 대한 기초적인 자료를 수집, 재해시의 가설구조의 구조해석을 통해 구조적인 재해원인을 규명, 도피재해에 대한 근원적인 예방대책을 도출하고자 한다. 이러한 결과도출을 위하여

일반적인 과정은 다음과 같이 크게 5단계로 나뉘어진다.

첫 번째 단계는 도괴재해의 사례발굴이다. '93년이후 발생한 도괴재해중 가장 큰 인명손실 및 경제적 손실을 일으킨 대표적인 30여가지의 사례를 선정한다.

두 번째 단계는 선정된 도괴재해 사례에 대한 각종 자료 수집이다. 재해발생 시 사용된 가설재의 종류, 제원, 특성 등에 대한 자료와 구조물용도 및 정확한 제원, 특성 등에 대한 자료를 입수한다.

세 번째 단계는 수집된 도괴재해 자료로 구조해석 입력자료를 작성한다. 일반적으로 구조해석 결과는 입력자료에 의해 좌우되기 때문에 실제 가설구조에 대한 정확한 모델링과 각종 재료의 특성치 등을 도괴재해시에 가장 근접하도록 입력데이터를 작성한다.

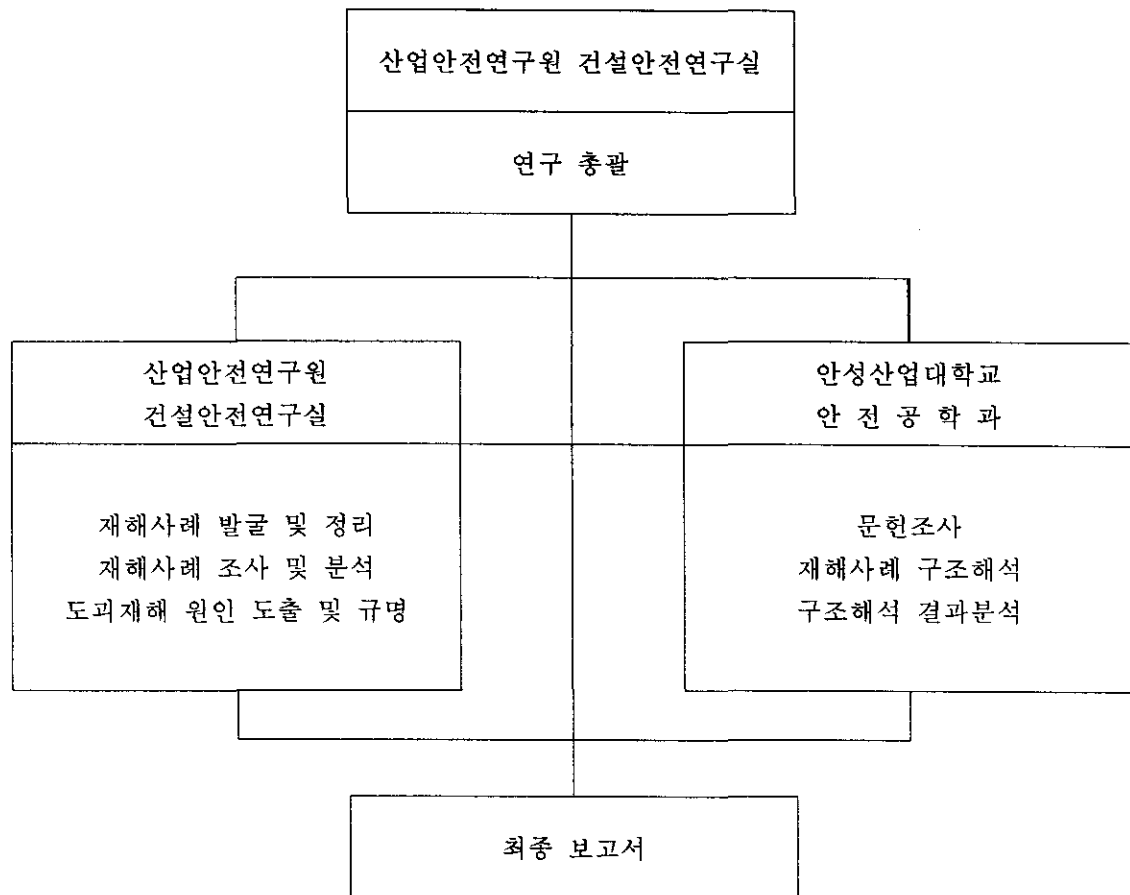
네 번째 단계는 구조해석을 수행하는 단계이다. 일반적으로 건설구조에 사용되는 범용 구조해석 프로그램은 ABAQUS, ADINA, SAP90 등과 국내에서 개발된 프로그램인 MIDAS 등인데, 현재 SAP90 구조해석 프로그램이 가장 널리 사용된다. 따라서, 본 연구에서도 SAP90 구조해석 프로그램을 이용하여 도괴재해에 대한 구조해석을 수행한다.

마지막으로 다섯 번째 단계는 구조해석 결과를 분석하여 도괴재해의 구조적 원인을 규명하고, 이를 토대로 한 도괴재해의 예방대책을 수립하는 것이다. 구조해석 결과는 가설구조의 취약한 부분을 나타내 줄 뿐만 아니라 구조물의 시공시 가설구조물에 가해지는 하중단계를 고려한 것이기 때문에 이들 결과로부터 도괴재해의 직접적인 원인을 규명할 수 있을 것이다. 최종적으로 가설구조물의 도괴재해에 대한 직·간접적인 원인을 도출하여 건설현장에서 발행하는 가설구조물의 도괴재해에 대한 예방대책이 수립될 것이다.

5. 연구 추진 체계

본 연구는 한국산업안전공단의 산업안전연구원과 안성산업대학교 안전공학과가 공동 위탁연구로 수행하며, 연구 수행의 총괄은 산업안전연구원의 건설안전연구실에서 맡고 구조해석분야는 안성산업대학교 안전공학과가 전적으로 수행하는 것으로 한다. 또한 '93년이후 건설현장에서 발생한 도괴재해 사례 발굴 및 조사분석, 도괴재해 원인 규명 및 도출 등은 산업안전연구원의 건설안전연구실에서 정확히 이루어질 수 있도록 안성산업대학교 안전공학과는 적극적인 협조를 아끼지 않는다.

따라서, 본 연구의 추진 체계를 도식적으로 표시하면 [그림1-1]과 같다.



[그림1-1] 연구 추진 체계

6. 기대성과 및 활용방안

일반적으로 건설재해중 도괴재해가 차지하는 비율은 비교적 낮지만 도괴재해는 인명피해가 클 뿐만 아니라 가설구조물과 본구조물의 도괴로 인한 직접손실과 가설구조물의 붕괴로 인한 공기의 연장 등 간접적인 손실까지를 감안한다면 국가적으로도 경제적 손실이 매우 큰 재해이며, 특히 도괴재해는 건설회사의 건설능력의 이미지 실추 뿐만 아니라 세계 건설시장에서 상당한 역할을 하고 있는 우리나라의 건설 이미지에도 상당히 나쁜 영향을 미치는 재해로서 근원적인 재해의 원인을 규명하여 예방대책을 수립하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 건설재해중 도괴재해에 대한 광범위한 사례조사와 분석을 통해 1차적으로 재해원인을 규명하고, 도괴재해가 발생한 가설구조물의 구조해석을 통해 구조적인 재해원인을 규명하여 건설재해중 도괴재해에 대한 근원적인 예방대책을 도출할 수 있을 것이다.

본 연구를 수행함으로써 국내 건설안전분야의 연구에서 그간 활발하지 못하였던 도괴재해에 대한 기본자료를 제공하게 될 수 있으며, 건설재해중 도괴재해의 예방기법의 토대를 마련할 수 있게 될 것이다. 또한 도괴재해의 구조상의 문제점이 도출됨으로 해서 가설구조물의 구조설계에 반영할 수 있으며, 유해위험방지 계획서 작성 및 심사에도 활용할 수 있고, 궁극적으로는 가설구조물의 구조기준을 정하는데 있어 토대를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

제2장 가설구조물의 재료특성

1. 거푸집널

거푸집널은 콘크리트와 직접 접하는 재료로서 기능적인 요구뿐만 아니라, 외장상의 요구도 만족되어야 한다. 특히 노출 콘크리트의 경우는 거푸집널이 직접 마무리면이 되므로 외장 및 내구성상의 요구에 적합하도록 표면에 마디, 구멍, 균열, 부풀음 등이 없어야 함은 물론 표면착색, 경화불량 등이 발생하지 않는 재료의 선택이 필요하다. 그외의 비노출 콘크리트 역시 표면에 심한 변형이나 부풀음 등이 생기게 되면 전체 콘크리트공사의 품질저하를 유발할 수 있으므로 변형기준에 적합하도록 하여야 한다.

거푸집널 재료로서 거의 모든 부위에 합판이 사용되고 있고, 철골조의 슬래브 부분에는 강재갑판(DECK PLATE)도 사용되고 있다. 근래에는 환경보존의 추세에 따라 플라스틱 거푸집 등, 다양한 거푸집널 재료가 개발되고 있고, 공업화 추세에 따라 페로우 데크(Ferro DECK) 등의 합성 슬래브 거푸집판이 등장하고 있다.

거푸집널의 자재비는 철근콘크리트공사에서 매우 큰 부분을 차지하며, 그 비용은 거푸집널의 재사용 횟수에 따라 크게 차이날 수 있다. 따라서 공사의 수준과 마감의 종류에 따라 적절한 사용재료의 선정과 구조계산 검토, 전용계획 및 재사용 횟수 계획 등이 이루어져야 한다.

가. 합판

합판은 원목(보통 남양재-활엽수가 사용)을 0.6~4mm 정도의 얇은 나무결로 켜서 격자로 재구성하여 접착제로 냉압 및 열합과정을 거쳐 재결합한 판재를 말한다. 이 판재의 한결을 PLY(US Standard에서는 LAYER)라 하며, 거푸집용으로는 KS에서는 5PLY 이상을 규정하고 있으나 보통 7PLY 이상이 사용된다. 합판의 종류는 일반용 합판(비내수합판-가구, 문짝용), 콘크리트 형틀용 합판(내수합판-거푸집용), 일반 구조용 합판(완전내수합판-선박, 공업용) 등이 있다. 콘크리트 형틀용 합판은 KS F 3110에서 구성단판, 강도, 접착성, 함수율, 판면 및 결모양의 품질기준, 규격 및 허용차 등을 정하고 있다. 즉, 합판은 KS 제품 생산업체의 제품을 사용하여야 하며, 보통 사용되는 합판의 규격 및 허용차는 <표2-1>에 따를 수 있다.

<표2-1> 합판의 규격 및 허용차

두께 (mm)	폭(mm)×길이(mm)	단판켜수	허 용 차		
			두께(%)	폭(mm)	길이(mm)
12	900×1800 1200×2400	7 PLY	±3	10~0	15~0
15		9 PLY			
18		11 PLY			

근래에 합판의 재사용 횟수를 늘릴 목적으로 합판 표면을 코팅하여 사용하는 경우가 있는데 이것을 보통 TEGO 합판이라 하며 콘크리트 형틀용 합판에 페놀수지를 함침시킨 Film(종이)를 부착하고 열과 압력을 가하여 수지가 나무로 침투하도록 형성되는 합판이다. TEGO 합판의 규격 및 부재성능은 콘크리트 형틀용 합판과 동일하다.

KS F 3110에는 합판의 부재성능 즉, 허용응력 및 휨탄성계수의 기준을 정하지 않고 있으며, 단지 일정하중에 따른 허용처짐의 크기만을 정하고 있다. 이것을 집중하중을 받는 단순보의 처짐공식 $\delta_{\max} = \frac{Pl^3}{48EI}$ 에 의하여 휨탄성계수를 구하면 <표2-2>와 같다. 그러나 콘크리트 형틀용 합판은 항상 습윤상태로 사용하므로 실제 거푸집 설계시 <표2-2>의 탄성계수의 80%를 취하면 <표2-3>과 같은 거푸집용 합판의 허용응력 및 탄성계수를 작성할 수 있다.

<표2-2> 휨강성 시험기준 및 휨탄성계수

합판 두께		12mm	15mm	18mm	21mm	24mm
폭 90cm 합판	하중(kg)	20	30	40	50	60
	처짐(cm)	1.55	1.25	1.05	0.9	0.65
	탄성계수 (kg/cm^2)	70,000	67,000	61,000	56,000	52,000
폭 120cm 합판	하중(kg)	20	40	50	50	50
	처짐(cm)	1.15	1.25	1.0	0.65	0.5
	탄성계수 (kg/cm^2)	71,000	67,000	60,000	58,000	51,000

<표2-3> 거푸집용 합판의 허용응력과 휨탄성계수(kg/cm^2)

구분 두께(mm)	허용응력		탄성계수	
	0°	90°	0°	90°
12	260	200	55,000	35,000
15	240	200	50,000	40,000
18	240	200	50,000	40,000

※ 0°, 90° 는 각각 섬유방향 및 섬유 직각방향

나. 철재 요철판

철재 요철판은 아파트 외벽에 사용되는 거푸집널재로서, 아파트 외벽의 요철 형상에 맞도록 합판과 목재 등의 띠장재를 일체화시켜 사용하는 자재이다. 철재 요철판에 대해 특별히 정해진 표준규격은 없으나 주택공사의 표준상세에 따르는 치수가 표준이 되고 있다. 표준 단면치수에서 요철의 핏치(B)는 100mm, 120mm도 있으나 단면성능은 큰 차이가 없으므로 <표2-4>의 값을 사용할 수 있다.

<표2-4> 철재 요철판의 규격 및 단면성능

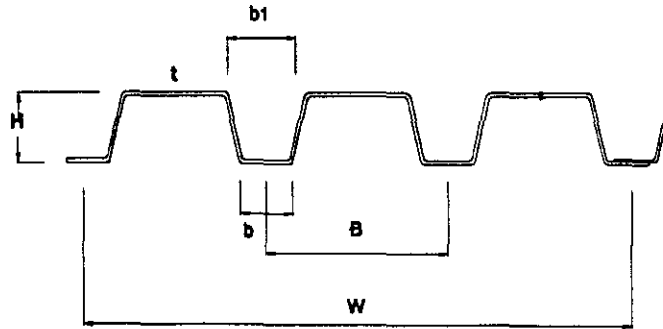
표준 단면 치수(mm)						단면 성능		무게 (kg/m^2)
H	W	B	b	bl	t	1m당 I (cm^4)	1m당 Z (cm^3)	
20	900	150	50	70	1.0	8.1	9.8	9.1
					1.2	9.5	11.5	10.9

* 단면치수 기준은 [그림2-1] 참조

다. 강재 갑판(DECK PLATE)

철골조 또는 철골철근콘크리트 건축물에서는 철골보에 강재갑판(DECK PLATE)을 걸쳐 슬래브 거푸집으로 사용하는 것이 통상의 방법으로 강재갑판의 역할에 따라 두가지 방식으로 구분할 수 있다. 첫째는 강재갑판을 단순한 거푸집 대용으로 생각하는 것으로 콘크리트 두께나 배근은 재래공법과 같으나, 거푸집이 매설되므로 거푸집 해체공정이 생략되고 작업이 간략화되어 현장이 깨끗하게 되는 장점이 있다. 둘째는 강재갑판을 구조재의 일부로 생각하여 그

위에 타설하는 콘크리트와 강도적으로 일체가 되어 작용하는 구조체로 생각하는 것이 있다. 이 방법은 강재갑판이 구조체의 일부가 되므로 슬래브의 배근을 줄일 수 있는 장점이 있으나 강재갑판과 콘크리트를 일체화하기 위한 조치와 더불어 내화피복 공사가 필요하다. 강재갑판의 종류 및 규격은 KS D 3602에서 정하고 있으며, 골의 모양과 끝부분의 모양에 따라 많은 종류가 있으나 건축공사의 거푸집용으로 사용되는 종류는 <표2-5> 정도이다.



[그림2-1] 강재갑판의 단면치수 기준

<표2-5> 강재갑판의 종류

기 호	표준 단면 치수(mm)						단면 성능		무게	
	H	W	B	b	b1	t	1m당 I (cm^4)	1m당 Z (cm^3)	kg/m	kg/m ²
SDP-ALC 12 16	50	614	205	40	60	1.2	61.1	17.9	8.22	13.40
						1.6	79.4	23.3	10.90	17.80
SDP-ALL 12 16	75	690	230	88	95	1.2	186.0	44.0	10.70	15.50
						1.6	243.0	57.6	14.20	20.58
SDP-ALH 12 16	75	600	200	58	65	1.2	180.0	39.1	9.85	16.40
						1.6	235.0	51.0	13.00	21.74

* 단면치수 기준은 [그림2-1] 참조

강재갑판은 KS D 3602에 명시된 1종 SDP1, 2종 SDP2, 3종 SDP3의 3종류가 있으나 보통 거푸집공사용으로는 1종이 사용되고 있다. 1종 중에서 두께가 1.2mm 이하는 냉간압연(Cold Rolled Galvanized Iron)으로, 두께가 1.6mm 이상은 열간압연(Hot Rolled Galvanized Iron)으로 생산된다. 현재 POSCO에서 공

급되고 있는 1종의 재료는 SPHT2(JIS 규격)로 인장강도가 340 N/mm^2 (3470 kg/cm^2) 이상이다. KS D 3602에서는 이 재료의 인장강도와 허용응력을 3000 kg/cm^2 및 2100 kg/cm^2 이상으로 지정할 수 있다고 되어 있으므로 이 값을 기준으로 한다.

실제 슬래브에 강재갑판을 사용하는 현장에서 콘크리트 타설시 강재갑판의 절곡현상이 종종 발생한다. 콘크리트 타설시 콘크리트가 쌓이거나 작업하중이 집중하는 것은 보통 발생하는 일로 일반적으로 사용되는 거푸집 구조에서는 거푸집널, 장선, 멍에 및 동바리를 통하여 하중이 분산 전달되지만, 강재갑판은 멍에·장선이나 동바리의 지지가 없이 단일부재로 사용되므로 멍에·장선에 의한 하중의 분산이 기대하기 어렵다. 따라서 일시적 하중은 철근콘크리트 하중의 100%로하여 보완하는 것이 바람직하다.

강재갑판은 보통 천정마감이 있는 부분에 사용되므로 처짐기준을 스펠에 대해 1/100을 만족하면 되지만, 3m 스펠의 경우 3cm 정도의 큰 처짐이 발생하게 되므로 콘크리트의 손실이 크고 사용상의 문제가 발생할 수 있다.

<표2-6> 강재갑판의 재료별 종류 및 허용응력(kg/m^2)

종류	기호	재료	인장강도	허용응력
1종	SDP 1	KS D 3501의 1종 및 KS D 3512의 1종	3000이상	2100이상
2종	SDP 2	KS D 3503의 2종(SS41)	4100이상	2400이상

2. 장선 및 멍에

장선은 거푸집널을 받쳐주고 거푸집널로부터 받는 하중을 멍에에 전달하는 부재이며, 멍에는 장선을 받쳐주고 장선에서 전달된 하중을 동바리, 긴결재 또는 버팀대로 전달한다. 멍에·장선재가 수직부재에 사용되는 경우에는 수평띠장·수직띠장이라고 한다. 멍에·장선재는 거푸집구조의 골격을 이루는 부재로서 거푸집널이나 자체에 과도한 변형이나 응력이 발생하지 않도록 배치되어야 한다.

멍에·장선재료는 전통적으로 목재가 많이 사용되고 있으나 근래에는 강관과 이프, 각형강관, 철재트러스, 알루미늄 보, 합성보 등도 많이 사용되고 있다.

가. 목재

목재는 전통적으로 명에·장선재로 가장 많이 사용되어 온 재료로 가공성이 좋고 경량이면서 강도가 비교적 커서 가설재로서의 장점을 모두 갖추고 있다. 국내에 유통되고 있는 대부분의 거푸집용 각재는 미송으로 통칭되는 DOUGLAS FIR, WHITE FIR 등의 북양재 침엽수종이다. 그러나 칠레송이라 부르는 목재는 미국의 RADIETA PINE을 칠레 등의 남미에서 인공조림하여 생산하는 남양재 침엽수로 생산속도가 빨라 싼 값에 공급되고 있으나 강도가 약해 거푸집용 자재로는 부적합하므로 주의깊게 구분하여 사용하여야 한다. 목재의 규격은 산림청고시 제8호(1983.7.6)에 제재규격이 있으나 활용되고 있지 않은 상태이며, 일반적으로 <표2-7>의 목재의 제재규격 정도가 주로 제재되고 있고 특수규격도 주문에 의해 가격차이 없이 제재될 수 있다.

좀더 주목해야 할 내용은 <표2-7>의 제재규격에 정미(正眉) 또는 이부인(二部刃) 등으로 구분 제재되어 판매되고 있다. 즉 90×90 각재의 경우, 90×90 정미와 90×90 이부인은 규격명은 같으나 실제 치수는 90×90과 84×84로 단면 성능에 큰 차이가 있으므로 부재선택시 주의가 요망된다.

<표2-7> 목재의 제재규격(mm)

구분	45	60	90	105
45	○	○	○	○
60	○		○	
90	○	○	○	
105	○			

예상되는 하중을 안전하게 지탱할 수 있도록 거푸집을 설계하기 위해서는 부재의 강도가 제시되어야 하나, 목재의 부재성능은 수종(樹種), 함수율, 재사용 회수, 등급, 부재의 규격, 재하기간에 따라 다르기 때문에 일정한 부재성능을 제시하기가 어렵다. 특히 국내에는 시험기준 또는 등급기준 등이 없어 가설용 목재에 대한 DATA가 부족한 실정이므로 각국에서 제시된 허용응력값을 비교하여 가장 실정에 맞는 값을 정하여 사용해야 한다. 국내에서 가설용 자재로 사용되고 있는 미송(HEM-LOCK)에 대해 각국의 규준에서 허용응력으로 정하고 있는 것을 비교하면 <표2-8>과 같다.

<표2-8> 미송의 허용응력도 비교(kg/cm^2)

국명	기준	휨	압축	전단	탄성계수
한국	콘크리트 표준 시방서	135	120	10.5	-
	건축법 구조기준 규격	90	80	7.0	-
미국	ACI	60	65	8.0	80,000
일본	건축기준법 시행령	95	75	8.0	-
	노동안전 위생 규칙	135	120	10.5	70,000
영국	BS	60	25	13.1	47,000

목재의 허용응력은 상기 <표2-8>과 같이 각국의 기준마다 큰 편차를 보이고 있고, 특히 거푸집용 목재는 수종과 함수율의 상태도 일정치 않아(실제 제재목 판매업체에서는 건조공정없이 판매하는 경우가 많음.) 강도의 변동이 심할 수 있다.

나. 강관파이프

강관파이프는 주로 비계용으로 사용되는 자재이나 부재성능이 균일하고 무게에 비해 강성이 좋아 거푸집 부재로의 사용이 증대되고 있는 추세이다. 거푸집 재료로 사용되는 부위로는 높이가 높거나 길이가 긴 벽이나 기둥 거푸집의 띠장재, 벽 거푸집의 버팀대, 받침기둥의 가새 또는 미등잡이로 사용된다. KS F 8002(강관비계)에서는 강관파이프의 규격 및 허용응력을 규정하고 있고 일반적으로 유통되고 있는 것도 KS 규격에 의해 생산된 제품들이다. 강관파이프의 허용응력은 KS D 8002에서 규정한 허용응력에 1.25배 한 값으로 한다. 따라서, 강관파이프의 규격은 <표2-9>와 같고 그 기계적 성질 및 허용응력은 <표2-10>과 같다.

<표2-9> 강관파이프의 규격

구분 종류	외경 (mm)	두께 (mm)	중량 (kg/m)	단면적 A (cm ²)	단면 2차모멘트 I (cm ⁴)	단면 2차반경 r (cm)	단면계수 Z (cm ³)
4종 (SPS 500)	48.6	2.4	2.73	3.40	9.34	1.64	3.83

<표2-10> 강관파이프의 기계적 성질 및 허용응력(kg/cm²)

종류	인장강도	항복강도	장기허용 응력	거푸집공사용 허용응력			
				인장	압축	휨	전단
SPS 500	5100	3800	2400	3000	3000	2370	1500

<표2-11> 압축력을 받는 강관파이프의 지지길이별 허용하중(kg)

지지길이(m)	2.0	3.0	4.0	6.0	6.0
허용좌굴하중(kg)	2000	1000	500	300	200

다. 각형강관

각형강관은 강관파이프보다 취급이 용이하고 폼타이 등의 목재용 체결도구를 그대로 사용할 수 있어 장선·명예재로서 활용도가 높은 자재이다. 목재와 비교하여 경량이며 잔재가 거의 없고 생환율이 높은 장점이 있으나 아직까지는 인식의 부족과 관련된 체결도구의 생산 및 개발이 활발하지 못해 많이 사용되고 있지는 않는 실정이다. 각형강관의 규격은 KS D 3568에 규정되어 있으나, 강관파이프와 같이 가설자재로는 규정되어 있지 않아 강도 및 두께의 종류가 여러 가지로 사용될 수 있다. 즉, 강도의 종류는 SPSR 400과 SPSR 490이 있고 두께는 1.2t에서 12.5t까지 있으나, 거푸집 부재용으로 사용될 수 있는 규격은 <표2-12>와 같은 정도이고, 또한 이러한 각형강관의 기계적 성질 및 허용응력은 <표2-13>과 같다. 특히 거푸집용으로 사용되는 각형강관의 재질은 SPSR 490이 보통이지만 아직 확정된 규정이 없으므로 거푸집 계획시에 그 종류를 확인하여야 한다.

<표2-12> 각형강관의 규격

변의 길이 (mm)	두께 (mm)	중량 (kg/m)	단면적 A (cm ²)	단면 2차모멘트 I (cm ⁴)	단면 2차반경 r (cm)	단면계수 Z (cm ³)
50×50	2.0	2.93	3.737	14.1	1.95	5.66
	2.3	3.34	4.252	15.9	1.93	6.34
75×45	2.3	4.06	5.172	38.9 (17.6)	2.74 (1.84)	10.40 (7.82)

()는 약축에 대한 값

<표2-13> 각형강관의 기계적 성질 및 허용응력(kg/cm²)

종류	인장강도	항복강도	장기허용응 력	거푸집공사용 허용응력
SPSR 400	4100	2400	1800	2000
SPSR 490	5000	3300	2200	2750

3. 동바리

동바리는 거푸집널 및 장선·명에재를 소정의 위치에 유지시키고, 수평부재가 받는 수직하중 및 수평하중을 하부구조에 전달하는 수직부재를 말한다. 거푸집 동바리의 방식으로는 받침기둥 방식이 가장 많이 사용되고 있으나, 층고가 높거나 슬래브의 두께 또는 보의 크기가 큰 경우 등의 조건과 상황에 따라서 <표2-14>와 같이 여러 가지 방식을 선택할 수 있다.

<표2-14> 거푸집 동바리 방식의 종류

형식	특징
받침기둥 방식	층고가 낮고 하중이 작은 곳 (일반적으로 가장 많이 사용되는 방식)
LOAD TOWER	'층고가 높고 하중이 큰 보 하부 등에 많이 사용
스테이지	하중이 크고 층고가 높으며 지지면적이 넓은 경우
강관 + 받침기둥 조합 방식	층고가 높은 지하기계실 또는 1층 부분

가. 받침기둥 방식

현재 강관받침기둥에 대해 참고되는 규격은 KS F 8001과 한국산업안전공단에서 제공하는 '가설기자재 성능검정규격'이 있으나, 이 두 종류의 규격이 서로 상이된 내용이 많고 강관받침기둥 제조업체에서도 이들 규격에 맞게 제작하고 있지 않는 실정이다. 그러나 향후 거푸집 자재에 대해서는 '가설기자재 성능검정규격'에 준하여 규격이 정립될 것으로 예상된다. 현재에는 둘 중의 어느 하나에 적합한 규격으로 사용하여야 한다. 두 규정을 비교하면 <표2-15>와 같다.

한편, 현재 국내에서 생산되는 강관받침의 종류는 <표2-16>과 같으며, <표2-17>은 이러한 강관받침의 종류에 대한 허용하중으로 이 값은 최대길이에 대한 것이고, 수평연결재가 없는 경우와 수평연결재가 있는 경우는 일본의 일건리스가 제공하는 허용하중을 기준으로 한 것이다.

<표2-15> 강관받침기둥 규격 비교

구분		KS F 8001	가설기자재 성능검정규격	비고
재료		내관,외관 : SPS 500 그외재료 : SB330, SB400	내관 : SPS 500 외관 : SPS 400 받이관, 바닥판 : SS 330	
길이		줄였을 때 2.3m 이하 늘였을 때 3.4m 이상	최대 사용길이 4m 이하	
외관	길이	-	최대 사용길이의 50% 이상	
	지름(외경)	60.5mm(±0.5)	외경 60.2mm 이상	
	두께	2.3mm(±0.3)	두께 2.0cm 이상	
내경	지름(외경)	48.6mm(±0.25)	외경 48.3mm 이상	
	두께	2.4mm(±0.3)	두께 2.2mm 이상	
지지판의 지름			φ 11mm 이상	
바닥판	규격	140×140mm	140×140mm	
	두께	6mm 이상	5.4mm 이상	
허용진폭		6cm 이상	최대 사용길이의 1/55이하	
겹침길이		28cm	28cm	
지지하중		3.4m 길이에서 나이프에지 : 1.7t 이상 수 압 면 : 1.7t 이상	나이프에지 : $P=1.82 \cdot 10^6 \cdot (146-0.15L)/$ 수압면 : 3.5m에서 3.6t 이상	L의 단위는 cm이고 14를 더한 수치임.

<표2-16> 강관받침기둥의 종류 및 재원

구분 종류	내경 (mm)		외경 (mm)		높이 (m)		고정판 조절 간격 (mm)	핸들 조정범 위 (mm)	내경단면 2차모멘트 I (cm ⁴)	내경단면 2차반경 r (cm)	중량 (kg)
	직경	두께	직경	두께	최고	최저					
V ₁	48.6	2.1	60.5	2.1	3.3	1.8	120	125	8.31	1.646	12.3
V ₂	48.6	2.1	60.5	2.1	3.5	2.0	120	130	8.31	1.646	12.7
V ₃	48.6	2.1	60.5	2.1	3.9	2.4	120	130	8.31	1.646	13.6
V ₄	48.6	2.1	60.5	2.1	4.2	2.7	120	130	8.31	1.646	14.8
V ₅	48.6	2.1	60.5	2.1	5.0	3.0	120	130	8.31	1.646	17.5

<표2-17> 강관받침기둥의 허용하중

구분 종류	수평연결재가 없는 경우 (kg)		수평연결재가 있는 경우 (kg)	비고
	상하부가 목재 등의 부재에 지지된 경우	하부가 평평한 지지상태일 때		
V ₁	1,300	1,800	2,000	※ 수평연결재가 있는 경우는 높이 2m마다 수평연결재를 2방향으로 설치하여 수평변위를 방지한 것을 의미한다.
V ₂	1,150	1,500		
V ₃	950	1,200		
V ₄	800	1,050		
V ₅	550	750		

받침기둥 방식은 전통적으로 가장 많이 사용되어온 동바리 구성방식으로 층고가 높지 않고, 슬래브의 두께가 두껍지 않은 곳에 보편적으로 사용되는 방식이다. 받침기둥 방식은 층고와 부재의 종류에 따라 <표2-18>과 같이 분류할 수 있고, 받침기둥 방식의 선정은 층고와 슬래브 두께 및 보의 단면적에 따라 <표2-19>와 <표2-20>과 같이 할 수 있다.

<표2-18> 받침기둥 방식의 분류

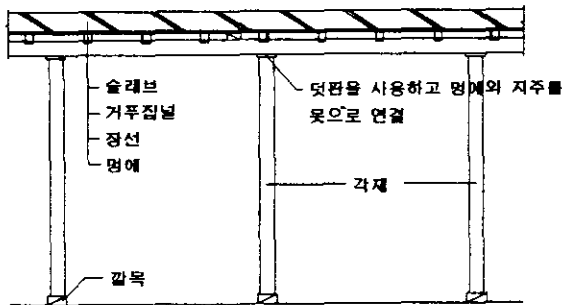
기호	명칭	주 구성부재	층고	수평연결재
a	목재받침기둥	목재받침기둥	2.0m 미만	유
b	목재받침기둥	목재받침기둥	2.0m 미만	무
c	표준 강관받침기둥	표준 강관받침기둥	2.0m이상 3.5m미만	유
d	표준 강관받침기둥	표준 강관받침기둥	2.0m이상 3.5m미만	무
e	긴 강관받침기둥	긴 강관받침기둥	3.5m이상 5.5m미만	유
f	연결 강관받침기둥	표준 강관받침기둥 + 표준 강관받침기둥	5.5m이상 7.0m미만	무

<표2-19> 층고와 슬래브 두께에 따른 선정

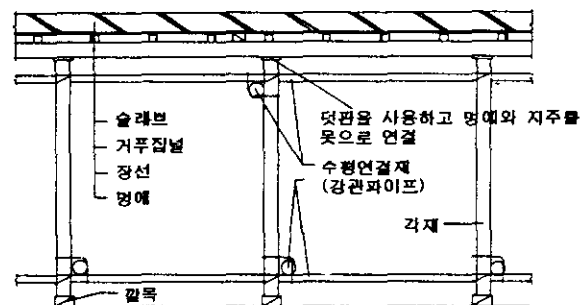
슬래브두께(cm) 층고(m)	$d \leq 25$	$25 < d \leq 60$	$60 < d$
$h \leq 2.0$	a, b	a, b	a
$2.0 < h \leq 3.5$	c, d	c	
$3.5 < h \leq 5.5$	e, f	e	
$5.5 < h \leq 7.0$	f		
$7.0 < h$			

<표2-20> 층고와 보의 단면적에 따른 선정

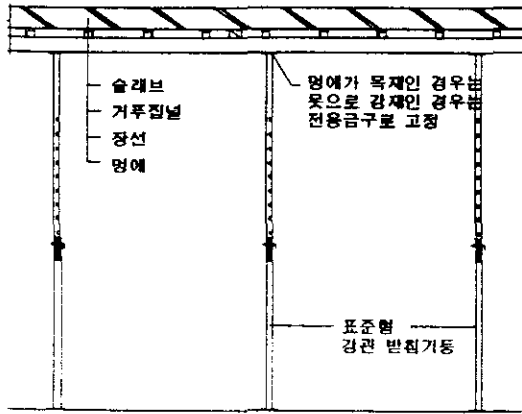
보 단면적(cm^2) 층고(m)	$A \leq 0.5$	$0.5 < A \leq 1.0$	$1.0 < A \leq 1.5$	$A > 1.5$
$h \leq 2.0$	a, b	a, b	a	
$2.0 < h \leq 3.5$	c, d	c, d	c	
$3.5 < h \leq 5.5$	e, f	e		
$5.5 < h \leq 7.0$	f			
$7.0 < h$				



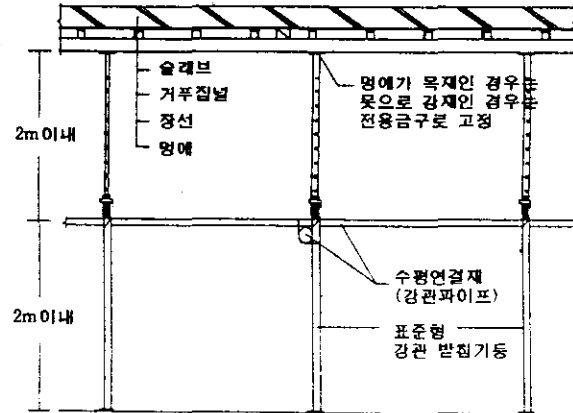
a. 목재받침기둥(수평연결재 없음)



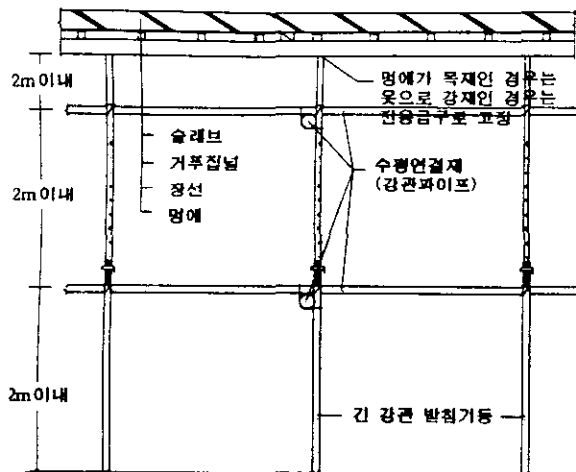
b. 목재받침기둥(수평연결재 있음)



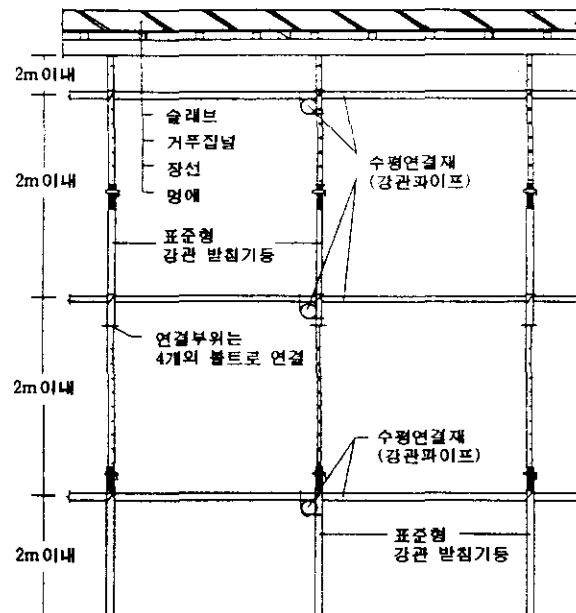
c. 표준형 강관받침기둥(수평연결재 없음)



d. 표준형 강관받침기둥(수평연결재 있음)



e. 긴 강관받침기둥(수평연결재 있음)

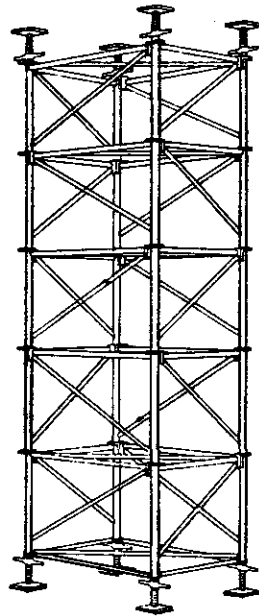


f. 연결 강관받침기둥

[그림2-2] 받침기둥 방식

나. LOAD TOWER 방식

LOAD TOWER 방식은 UNIT부재를 사면체로 조립하여 쌓아 올리는 방식으로 안정성이 높고 조립해체가 간단한 동바리 방식이다. 그 규격은 제조회사마다 여러 가지가 있을 수 있으나, 허용하중은 가설기자재 성능검정규격 등의 규정이 아직 없는 상태이므로 신뢰할 수 있는 시험기관으로부터 내력시험에 의해 지정된 허용하중을 확인한 후 사용하여야 한다. 설치되는 층의 높이가 높은 경우에는 자체의 유격 및 변형이 고려되어야 한다.



[그림2-3] LOAD TOWER 형식

다. 스테이지 방식

스테이지 방식은 하중이 크고 층고가 높으며 설치면적이 넓을 때 사용하는 방식이나 조립이 고소작업이 되고 작업통로의 확보가 어려워 충분한 사전계획이 필요하다. 스테이지 방식으로는 틀형비계가 가장 많이 사용되지만, 조립해체 속도가 빠른 체결형강관비계도 사용되고 있으며, 지반형상에 따라 틀형비계를 세울 수 없거나 틀형비계로 분할할 수 없을 경우에는 강관파이프를 사용하기도 한다.

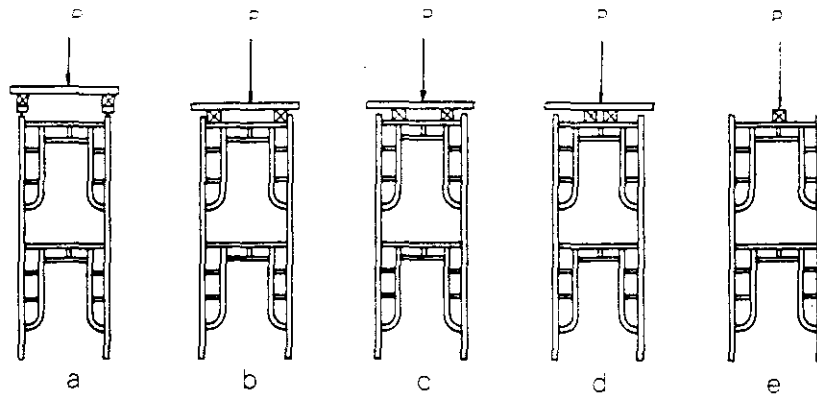
틀형비계에 대하여 참고되는 규격은 KS F 8003과 한국산업안전공단에서 제정한 '가설기자재 성능검정규격'이 있으며, 두 규격의 내용은 거의 동일하다. 틀형비계의 종류는 많으나 현재 국내 현장에서 가장 많이 쓰이고 있는 종류는 나비 1219mm, 높이 1700mm, 가새의 스패ن(틀형비계와 틀형비계 사이의 거리)

1800mm의 것이다.

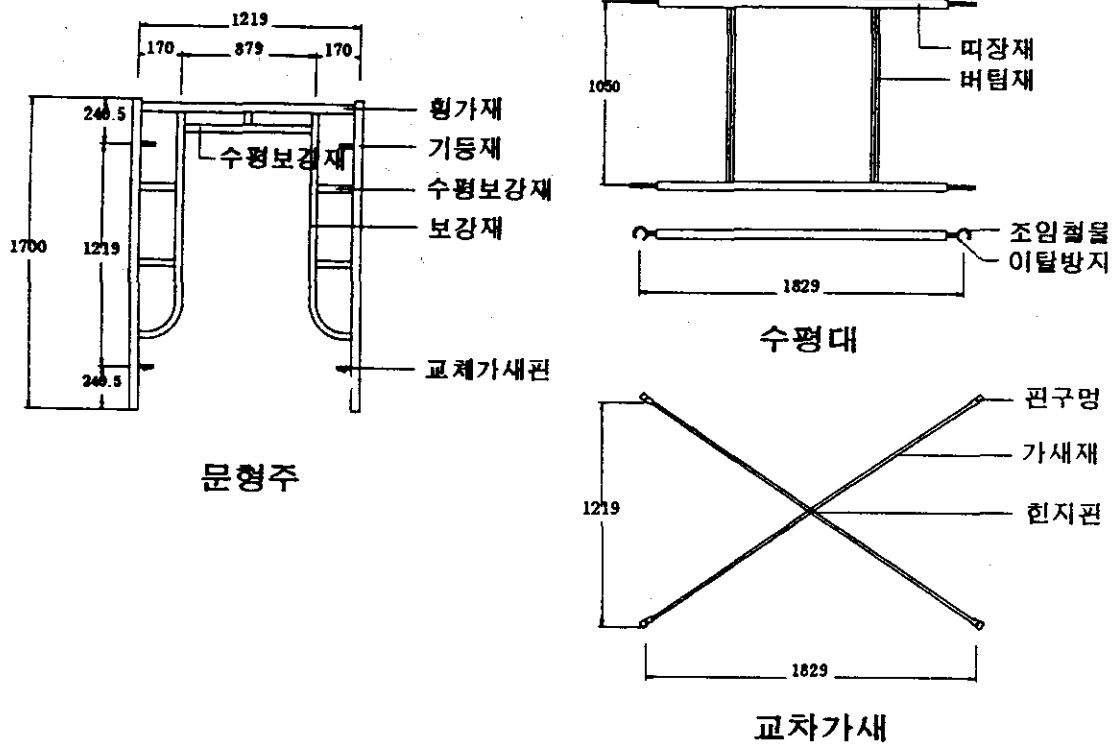
가설기자재 성능검정규격에서 정하는 표준형 틀형비계의 최대하중은 7.5t/틀 이상, 조정형 반침철물의 최대하중은 3.5t/본으로 규정하고 있다. 표준형 틀형비계의 허용하중은 일본의 일건리스의 가설재종합카탈로그에서 제공하는 허용하중을 기준하며, 그 값은 <표2-21>과 같다. 조정형 반침철물의 허용하중은 2t/본으로 한다. 틀형비계를 스테이지 방식으로 사용할 때에는 통상적으로 슬래브 두께가 30cm 이상, 보 단면적이 0.6 cm^2 이상인 구조물 즉, 틀형비계당 약 3t 이상의 고정하중을 받는 구조물에 대하여 [그림2-4]와 같이 2중으로 강관비계를 설치하는 것이 권장된다.

<표2-21> 틀형비계의 허용하중

하중형태	a	b	c	d	e
1틀당 허용하중(t)	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5



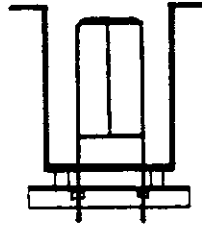
[그림2-4] 틀형비계의 하중형태



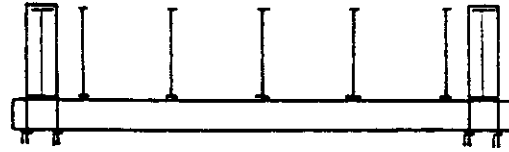
[그림2-5] 틀형비계의 명칭

라. 기타 특수방식

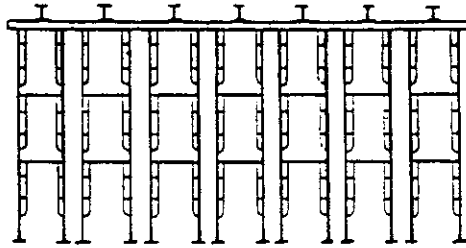
기타 동바리공의 특수형식은 하중이 대단히 크거나, 하부에 작업공간 및 통로가 필요한 경우에 설치하는 방식이다.



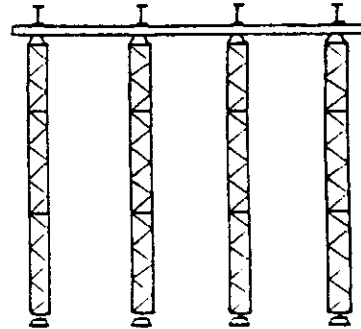
a. 행거(Hanger)방식,



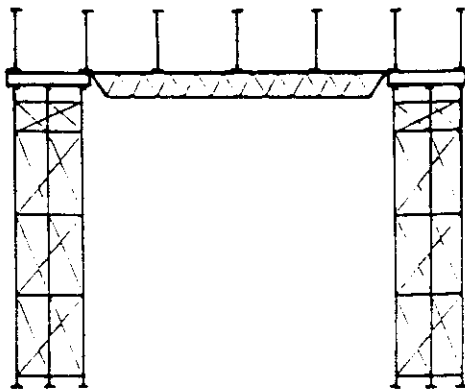
b. 행거 + 큰보 + 강관 받침기둥 방식,



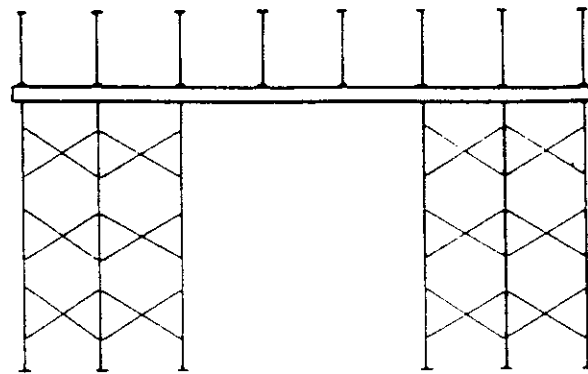
c. 스테이지 + 큰보 방식,



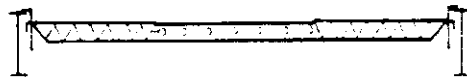
d. 조립강주 + 큰보 방식,



e. 조립강주 + 큰보 + 강관받침기둥 방식,



f. 스테이지 + 큰보 + 강관받침기둥 방식



g. 큰보 행거 방식

[그림2-6] 동바리공의 특수형식

제3장 가설구조물의 구조계산 방법

1. 하중계산

거푸집의 설계하중은 고정하중, 충격하중, 작업하중에서 구하는데, 다음 식으로 계산한다.

$$\begin{aligned} W &= \gamma t + 0.5 \gamma t + 150 \text{ kg/m}^2 \\ &= 1.5 \gamma t + 150 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

여기서, γ : 철근콘크리트의 단위중량(kg/m^3)

보통콘크리트 $\gamma = 2,400 \text{ kg/m}^3$

제1,3종경량콘크리트 $\gamma = 2,000 \text{ kg/m}^3$

제2종경량콘크리트 $\gamma = 1,700 \text{ kg/m}^3$

t : 슬래브 두께(cm)

2. 거푸집널 검토

거푸집널은 장선을 지점으로 연속인 부재이나 등분포하중이 작용하는 단순보로 보고 구조계산을 하기 때문에, 이때 발생하는 최대휨모멘트를 구하는 공식은 $M_{\max} = wl^2/8$ 으로

$$M_{\max} = \frac{1}{8} wl^2 \leq \sigma_a Z$$

여기서, $M_{\max}$: 거푸집널의 최대휨모멘트($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 장선의 간격(cm)

σ_a : 거푸집널의 허용응력(kg/cm^2)

Z : 거푸집널의 단면계수(cm^3)

허용응력을 비교하여, 장선의 한계간격 l_1 을 다음식으로 구한다.

$$l_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot f_b \cdot Z}{w}}$$

처짐에 대한 검토도 휨에 대한 검토와 마찬가지로, 등분포하중이 작용하는 보로 볼 때 중앙점의 최대처짐은 허용처짐보다 작아야 되므로, 다음과 같이 장선의 한계간격 l_2 를 다음식으로 구할 수 있으며,

$$\delta_{\max} = \frac{5wl^4}{384EI} \leq \delta_a$$

여기서, $\delta_{\max}$: 거푸집널의 최대휨모멘트(cm)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 장선의 간격(cm)

δ_a : 거푸집널의 허용처짐(cm)

E : 거푸집널의 탄성계수(kg/cm^2)

I : 거푸집널의 단면2차모멘트(cm^4)

이 때 장선의 간격은 l_1 과 l_2 중 작은 값보다 적어야 한다.

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{384EI \cdot \delta_a}{5w}}$$

3. 장선의 검토

장선재를 검토한다는 것은 멩에 간격을 결정하는 일이다. 따라서, 장선도 거푸집널과 마찬가지로 연속인 부재이나 등분포하중이 작용하는 단순보로 보고 거푸집널과 같이 계산한다.

$$M_{\max} = \frac{1}{8} wl^2 \leq \sigma_a Z$$

여기서, $M_{\max}$: 장선의 최대휨모멘트($kg \cdot cm$)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 멩에의 간격(cm)

σ_a : 장선의 허용응력(kg/cm^2)

Z : 장선의 단면계수(cm^3)

허용응력을 비교하여, 멩에의 한계간격 l_1 을 다음식으로 구한다.

$$l_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot f_b \cdot Z}{w}}$$

처짐에 대한 검토도 휨에 대한 검토와 마찬가지로, 등분포하중이 작용하는 보로 볼 때 중앙점의 최대처짐은 허용처짐보다 작아야 되므로 다음과 같이 멩에의 한계간격 l_2 를 다음식으로 구할 수 있다.

$$\delta_{\max} = \frac{5wl^4}{384EI} \leq \delta_a$$

여기서, $\delta_{\max}$: 장선의 최대휨모멘트(cm)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 멩에의 간격(cm)

δ_a : 장선의 허용처짐(cm)

E : 장선의 탄성계수(kg/cm^2)

I : 장선의 단면2차모멘트(cm^4)

이 때 멩에의 간격은 l_1 과 l_2 중 작은 값보다 적어야 한다.

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{384EI \cdot \delta_a}{5w}}$$

4. 멩에의 검토

연직하중은 장선재를 통하여 멍에재에 전달되기 때문에, 멍에재는 장선재와의 교점에서 집중하중을 받는 보로서 검토하는 것이 실제에 가깝지만, 일반적으로 등분포하중이 작용하는 단순보로서 검토하며, 내민부분에 대해서는 집중하중이 작용하는 캔틸레버(Cantilever)로 검토한다.

따라서, 앞에서의 너푸집널, 장선재와 마찬가지로 등분포하중이 작용하는 단순보로 보고 거푸집널과 같이 계산한다.

$$M_{\max} = \frac{1}{8} w l^2 \leq \sigma_a Z$$

여기서, $M_{\max}$: 멍에의 최대휨모멘트($kg \cdot cm$)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 동바리의 간격(cm)

σ_a : 멍에의 허용응력(kg/cm^2)

Z : 멍에의 단면계수(cm^3)

허용응력을 비교하여, 동바리의 한계간격 l_1 을 다음식으로 구한다.

$$l_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot f_b \cdot Z}{w}}$$

처짐에 대한 검토도 휨에 대한 검토와 마찬가지로, 등분포하중이 작용하는 보로 볼 때 중앙점의 최대처짐은 허용처짐보다 작아야 되므로 다음과 같이 동바리의 한계간격 l_2 를 다음식으로 구할 수 있다.

$$\delta_{\max} = \frac{5 w l^4}{384 E I} \leq \delta_a$$

여기서, $\delta_{\max}$: 장선의 최대휨모멘트(cm)

w : 단위분포하중(kg/cm)

l : 멍에의 간격(cm)

δ_a : 장선의 허용처짐(cm)

E : 장선의 탄성계수(kg/cm^2)

I : 장선의 단면2차모멘트(cm^4)

이 때 동바리의 간격은 l_1 과 l_2 중 작은 값보다 적어야 한다.

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{384EI \cdot \delta_a}{5w}}$$

5. 동바리의 검토

동바리에는 연직하중에 의하여 압축력이 작용하는데, 이 압축력이 동바리의 허용압축하중이하인가를 검토하는 것이 동바리의 검토이다.

따라서, 위의 명에의 검토에서 동바리의 간격을 결정하고, 이 동바리 간격에서 하나의 동바리에 작용하는 최대압축하중을 구하여 이 값이 동바리의 허용압축하중보다 적으면 부재별 검토가 끝나게 된다. 만약 반대의 경우에는 다시 명에의 검토 조건을 만족하는 동바리 간격을 결정하여 다음식이 만족할 때까지 반복한다.

$$P_{\max} \leq P_a$$

여기서, $P_{\max}$: 하나의 동바리에 작용하는 최대압축력(kg)

P_a : 동바리의 허용압축하중(kg)

6. 변형량 기준

거푸집 구조물은 응력계산에 대하여 충분히 안전하다 할지라도 거푸집의 변형이 문제가 되는 경우가 있다. 따라서 거푸집 설계시 필요한 거푸집 변형기준을 <표3-1>과 같은 마감종류에 따라 변형기준이하가 되어야 한다.

<표3-1> 변형 기준

구 분		변형 기준	비 고
거푸집 설계시	노출콘크리트 마감 전출마감	0.15cm	
	미장등 마감	0.30cm	
	강재갑판 사용시	1.50cm	
총처짐량 검토시	노출콘크리트 마감 전출마감	l/430	총처짐량의 기준길이는 긴결재와 긴결재사이 또는 받침기둥과 받침기둥사이의 대간선 길이로 한다.
	마감두께가 6mm이하	l/300	
	미장등 마감	l/100	
	영구매립 부분	l/60	

제4장 붕괴 · 도괴사례별 원인분석

1. 각 사례조사 배경

본 연구에서는 기 발생한 도괴재해사례에 대한 조사분석과 구조해석을 통해 구조적 결함에 기인한 재해원인을 규명하여 대책을 제시함으로써 동종재해 재발을 방지함을 목적으로 하기 때문에 한국산업안전공단의 중대재해 조사결과보고서중 1993년부터 1996년까지 4년동안의 자료중 총 49건의 자료를 수집하여 재해원인별로 분류하고, 이들 중 도괴재해인 동바리공의 붕괴로 인한 슬래브 붕괴에 해당하는 재해에 대해 사례별로 구조해석을 수행하여 각 가설 구조부재의 안전성 평가를 통해 도괴재해의 근본적인 원인을 도출할 수 있었다.

한편, 본 연구에서는 입수한 자료 총 49건 중 동바리공 붕괴재해 20건, 작업발판 붕괴재해 14건, 엘리베이터 피트 작업발판 붕괴재해 7건, 기타 붕괴재해 8건에 해당하는 것으로 나타났다. 특히, 본 연구에서는 동바리공 붕괴재해중 자료의 불충분으로 인해 구조해석이 불가능한 3건을 제외한 17건의 재해사례를 중심으로 구조해석을 수행하였다.

<표4-1a> 동바리공 붕괴재해 목록

연 번	발생일	현장명	발생 형태	재해자		재해개요
				사망	부상	
1	'93.01.12	근린생활시설	깔림	2		바닥 콘크리트 타설중 붕괴
2	'93.04.01	영락교회	깔림		5	지보공 붕괴
3	'93.04.09	봉양 우회도로	깔림		4	교량 콘크리트 타설중 붕괴
4	'93.04.16	삼정백조APT	깔림		2	바닥 지보공 붕괴
5	'93.05.23	신광공업공장증축	깔림	1	3	바닥 지보공 붕괴
6	'93.06.25	위천배수펌프장	깔림	2	1	바닥 콘크리트 타설중 붕괴
7	'93.11.04	실덕-음성간도로	깔림	3	2	도로 BOX 슬래브 타설중 붕괴
8	'93.12.04	삼원빌딩신축	깔림	1	1	콘크리트 타설후 바닥붕괴
9	'94.02.07	(주)우봉식품	깔림	1	3	바닥 콘크리트 타설중 붕괴
10	'94.03.08	고덕빗물펌프장	깔림	2	8	콘크리트 타설중 지보공 붕괴
11	'94.11.03	일반시설	깔림	3	4	콘크리트 타설중 바닥 붕괴
12	'95.05.04	분당정보통신센터	깔림	1	5	거푸집 지보공 붕괴
13	'96.04.13	신천배수장신축	깔림	2	6	바닥 콘크리트타설중 붕괴
14	'96.06.05	성남한국일보사옥	깔림	1		슬래브 붕괴
15	'96.09.05	하남현대베스코아	깔림	1		콘크리트 타설중 지보공 붕괴
16	'96.09.25	시설공사	깔림	1	9	바닥 콘크리트 타설중 붕괴
17	'96.10.08	흑산상수도	깔림	1	1	콘크리트 타설중 붕괴
18	'96.10.11	관광호텔증축	깔림	1	4	콘크리트 타설중 지보공붕괴
19	'96.11.15	근린생활시설	깔림	1	5	콘크리트 타설중 붕괴
20	'96.12.27	성원임대APT	깔림	1	4	콘크리트 타설중 거푸집 붕괴

<표4-1b> 작업발판 붕괴재해 목록

연 번	발생일	현장명	발생 형태	재해자		재해개요
				사망	부상	
1	'93.07.09	왜관원재한의원	갈림	1	2	작업발판 붕괴
2	'93.07.13	목양교회 증축	추락	1		작업발판 붕괴
3	'94.05.13	지하철 5-22공구	붕괴	1	1	작업발판 붕괴
4	'94.10.18	고령교 보수	추락	1	2	작업발판 붕괴
5	'94.11.14	삼해대림APT	추락	1		작업발판 붕괴
6	'95.03.28	대각빌딩 신축	붕괴	1		작업발판 붕괴
7	'95.09.05	신시가지APT	붕괴	1		작업발판 붕괴
8	'95.09.26	동인당 한방병원	붕괴	1	1	작업발판 붕괴
9	'96.01.30	장지-수서 도로	추락	1		작업발판 붕괴
10	'96.02.11	호남고속도로확장	붕괴	3	4	작업발판 붕괴
11	'96.08.24	엄순자 순박시설	추락		2	작업발판용 각재 붕괴
12	'96.10.09	분평 P.C APT	추락	1		발판 붕괴
13	'96.11.18	근린생활시설	추락	1	1	작업발판 붕괴
14	'96.12.03	지하철206공구	붕괴	1		작업발판 붕괴

<표4-1c> 엘리베이터 피트 작업발판 붕괴재해 목록

연 번	발생일	현장명	발생 형태	재해자		재해개요
				사망	부상	
1	'93.04.01	길동영업소	추락	1		E/V 피트 작업발판 붕괴
2	'93.04.16	여수부영APT	추락	1		E/V 피트 작업발판 붕괴
3	'93.05.22	고창 하이츠APT	추락	1		E/V 피트 작업발판 붕괴
4	'93.09.18	지산무학맨션	추락	1	2	E/V 피트 작업발판 붕괴
5	'93.11.27	린나이코리아사옥	추락	1	1	E/V 피트 작업발판 붕괴
6	'93.11.29	부영월암APT	추락	1		E/V 피트 작업발판 붕괴
7	'94.03.18	천해빌딩신축	붕괴	1	1	E/V 피트 작업발판 붕괴

<표4-1d> 기타 붕괴재해 목록

연 번	발생일	현장명	발생 형태	재해자		재해개요
				사망	부상	
1	'93.11.15	연수원 방수보수	갈림	1	1	옥상방수콘크리트 타설후 붕괴
2	'93.12.26	금림 빌딩신축	갈림	3		거푸집보수중 붕괴
3	'94.02.25	나주 천지회관	붕괴	1		E/V 기계실 슬래브 붕괴
4	'95.08.17	문화예술회관신축	붕괴	1		철근 과다적치로 지보공 붕괴
5	'95.09.25	그린시티APT	붕괴	3		E/V Pit 벽체위 작업발판 붕괴
6	'96.02.15	진주-소양 도로	갈림	1		거푸집조립작업중 붕괴
7	'96.08.05	옥포천주교도로	붕괴	1	1	건물 철거중 슬래브 붕괴
8	'96.09.01	노후주택 철거	붕괴	1		노후주택 철거중 슬래브 붕괴

2. 각 사례별 구조해석 및 원인 분석

[1] 사례1

가. 재해개요

<표4-2> 재해개요(사례1)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
이영희(개인)	근린생활시설 신축	1993. 1. 12	사망 2명

나. 재해 상황

① 당일 08:00부터 콘크리트 타설을 시작하여 기둥, 테두리보와 슬라브 순으로 작업을 진행하던 중, 1개 스팬(알미늄 샷쉬 대리점측) 슬라브 중앙부위가 처져 콘크리트가 밑으로 흘러내리는 변형이 발생했음에도 불구하고 나머지 3개 스팬에 콘크리트 타설을 진행하였다.(편심작용)

② 당초 허가도면은 조적조벽(외벽, 내벽) + 테두리보 + 슬라브지붕 구조로 설계되었으나 현장에서 철근콘크리트조 기둥(외벽모서리 및 내부칸막이벽과 교차하는 외벽지점) + 테두리보 + 슬라브지붕 구조로 변경하여 시공하였다.

③ 지주는 대부분 파이프썸포트를 사용하였으나, 단지 구배로 인해 확보된 파이프썸포트로는 길이가 짧아 사용할 수 없었던 하단부 1개 스팬(알미늄샷쉬 대리점측)은 테두리보를 제외한 슬라브 부위를 각재 지주(3.0寸×3.0寸)를 서로 이어서 설치하였고, 사용된 지주는 대부분 상부받이판, 하부 바닥판 고정(못질)이 제대로 되어 있지 않았고 높이가 3.5m임에도 불구하고 수평 버팀대도 설치하지 않았다.

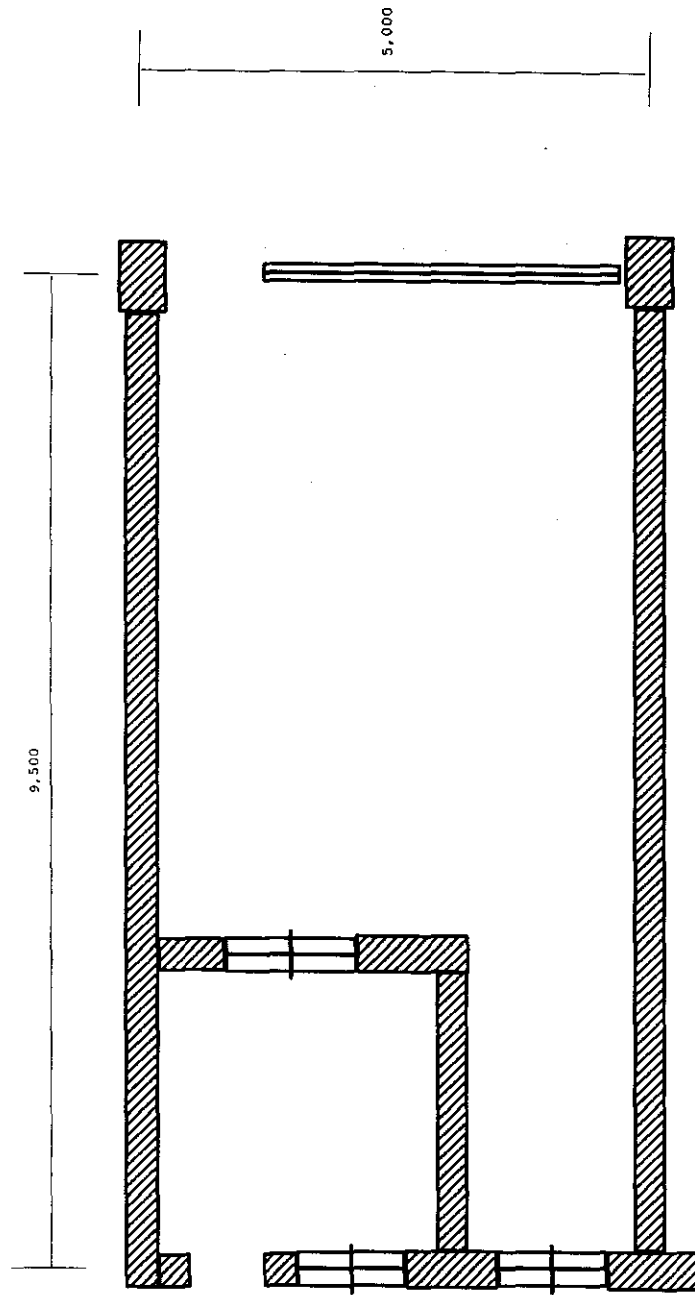
④ 기둥의 전도방지를 위한 버팀대등의 설치는 안되었거나 미흡했던 것으로 추정되며, 특히 하단부에 위치한 기둥은 알미늄샷쉬 대리점 경계선과 30cm 정도밖에 거리가 확보안되 버팀대 설치가 불가하였고 콘크리트타설중 이 부위에서 최초 변형이 발생되어 구조물 전체가 알미늄샷쉬 대리점 방향으로 전도되며 붕괴되었고 슬라브 하부에서 보강작업중이던 재해자 2명이 압사한 것으로 추정된다.

다. 시공적인 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

* 동바리공의 내력계산 검토(약산정)

- 동바리공(Steel 동바리)의 내력
 - $H = 3.5m, \quad 128\text{본} \times 1.5\text{Ton/본(가정)} = 192 \text{ Ton}$
- 하중(산출근거 : $1.5rt + 150kg/m^2$)
 - 고정하중 : $2.4 t/m^3 \times 44 m^3 = 105.6 t$
 - 충격하중 : 적재하중의 50% : $52.8 t$
 - 작업하중 : $0.15 t/m^2 \times 10.5 m \times 20 m = 31.5 t$
 - 총계 : $189.9 t$
- 붕괴된 부분의 동바리공 허용내력은 약 $192 t$ 으로 작업당시 하중에 대하여 지지력이 부족되는 구조는 아니었음.
- 동바리공의 안전조치 미흡
 - 지주의 상하부 고정 및 활동방지조치 미흡
 - 수평 연결재 미설치(높이 $3.5m$)
 - 이질재 혼용 사용(Pipe 동바리, 각재 동바리)
 - 기둥의 전도방지 조치 미흡
- 무리한 작업강행
 - 콘크리트 타설중 동바리공의 변형, 변위 등 이상 발생에도 불구하고 중단치 아니하고 작업 강행
- 상황 감시자 미배치(상하 동시작업)
- ii) 재해예방 대책
 - 거푸집 동바리공을 설치할 때는 조립도를 작성하고 그에 따라 조립한다.
 - 동바리공의 높이가 $3.5m$ 이상의 경우에는 높이 $2.0m$ 이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 만들고 수평연결재의 변위를 방지하여 하며, 동바리공이 활동할 수 없도록 지주의 두부와 각부는 견고하게 고정하여야 한다.
 - 부득이한 경우를 제외하고 지주는 동일한 재료를 사용하여 일직선상에 수직이 유지되도록 하고, 목재를 이어서 사용할 때에는 2본이상의 덧댐목을 대고 4개소이상 견고하게 묶은 후 상단을 보 또는 멍에에 고정시켜야 한다.
 - 콘크리트를 한 곳에만 치우쳐서 부어 넣으면 거푸집 전체가 기울어져 변형되거나 밀려나게 되므로 콘크리트 타설은 정해진 구획내에서 표면이 대략 수평되게 부어 거푸집에 편심하중을 주지 않도록 한다.
 - 콘크리트 타설중에는 감시자를 배치하여 거푸집 동바리공의 변형등을 감시하고 이상 발견시 즉시 작업을 중지하고 작업자를 대피시켜야 한다.
 - 구조 내력상 주요한 부위를 변경하여 시공할 때에는 구조 검토가 선행되어야 한다.



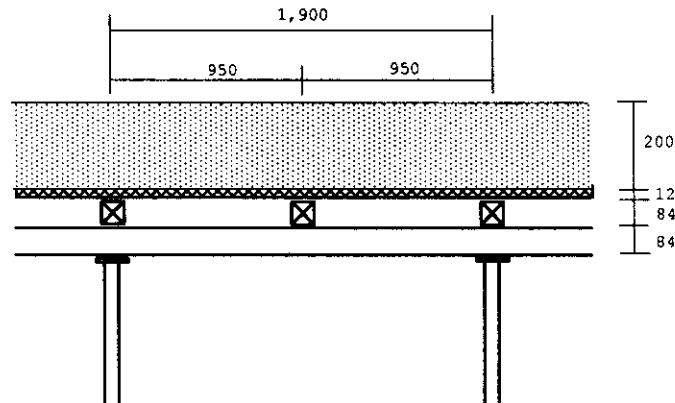
[그림4-1] 개략 도면(사례1)

라. 구조해석

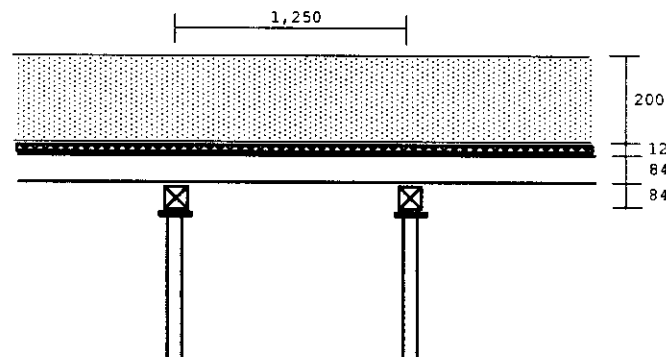
본 사례1에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-2a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-2b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-3]과 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-2>와 같다.

<표4-3> 구조해석 데이터(사례1, cm)

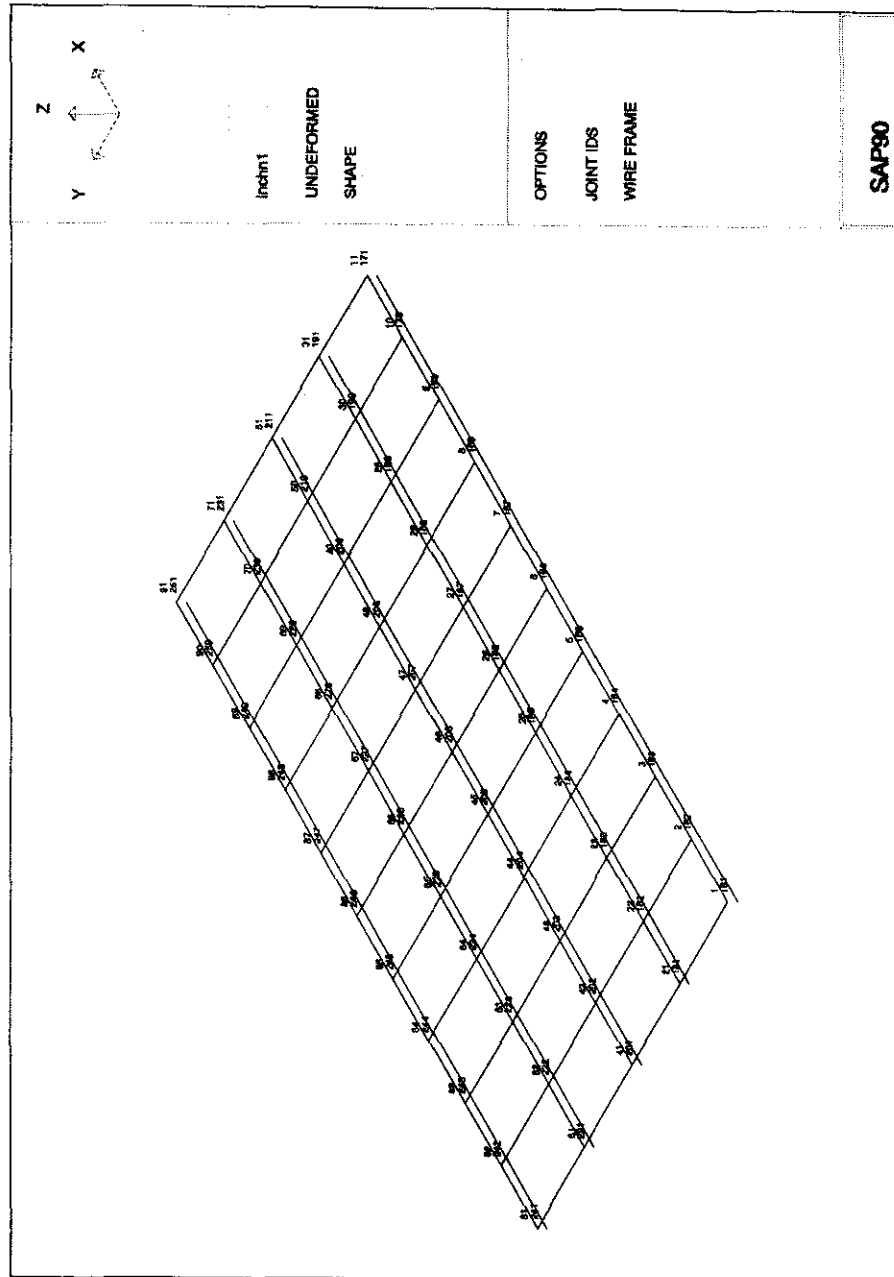
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
20	95 (가정)	125 (추정)	190×125 (추정)



[그림4-2a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)



[그림4-2b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례1)



[그림4-3] 구조해석 모델링(사례1)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 9.72 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{9.72}{0.24} = 40.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 2417.18 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{2417.18}{98.78} = 24.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 34202.41 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{34202.41}{98.78} = 346.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

i) Pipe 동바리인 경우

Pipe 동바리의 높이(H)가 3.5m이므로 V_2 의 Pipe 동바리가 사용된 것으로 가정하고 수평연결재가 없는 경우의 하부가 평평한 곳에 지지된 것으로 보면, 이 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1500 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2348.24 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

ii) 각재 동바리인 경우

일반적으로 좌굴하중은 양단의 지지조건에 따라 달라지는데, 오일러 공식을 이용하면 좌굴하중 P_{cr} 은 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2}$$

여기서, P_{cr} : 좌굴하중(kg)

E : 탄성계수(kg/cm^2)

I : 좌굴축에 대한 단면2차 모멘트(cm^4)

l_e : 유효좌굴길이(= kl)

k : 양단의 지지조건에 따른 계수

l : 좌굴길이(cm)

특히, 양단이 힌지인 경우에는 k 가 1.0이고, 양단이 고정인 경우에는 k 가

0.5이다. 이때 거푸집의 장선과 명예를 지지하는 각재 동바리의 경우의 지지조건은 양단이 힌지인 경우와 고정인 경우의 중간정도로 보면, 각재의 지지상태는 k 가 0.75이므로 각재 동바리($84 \times 84mm$ 미송)의 좌굴하중은 다음과 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{cr} &= \frac{\pi^2 EI}{(0.75l)^2} \\
 &= \frac{(\pi^2)(80000)(414.89)}{[(0.75)(350)]^2} \\
 &= 4755 kg
 \end{aligned}$$

또한, 일반적으로 허용하중은 좌굴하중의 50%로 보면 되므로, 각재 동바리($84 \times 84mm$ 미송)의 허용압축하중은 다음과 같다.

$$P_a = 2378 kg$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{max} = 2348.24 kg$$

$$\therefore P_{max} < P_a \quad \text{O.K}$$

<표4-4> 부재검토 결과표(사례1)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		동바리 (kg)			
						Pipe		각재	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력	허용 압축력	압축력
260	41	135	25	135	346	1500	2348	2378	2348
O.K		O.K		N.G		N.G		O.K	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례1에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 40.50kg/cm^2 로 그 허용응력 260kg/cm^2 보다 매우 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 24.47kg/cm^2 로 그 허용응력 135kg/cm^2 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전하나, 멍에에 작용하는 최대응력은 346.25kg/cm^2 로 그 허용응력 135kg/cm^2 보다 매우 큰 값을 보여 멍에는 매우 불안정한 결과를 보였다. 또한 본 사례1의 동바리는 각재와 Pipe 동바리를 혼용하여 사용하였기 때문에 각재와 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 2348.24kg 로 허용압축하중 1500kg 보다 매우 높아 충분한 지지력을 확보하지 못했던 것으로 사료되고, 각재는 허용압축하중 2378kg 보다 약간 낮아 단일부재로 사용하였다면 약간의 지지력은 있었던 것으로 사료되나, 본 사례1에서는 각재를 이어서 사용하였기 때문에 이 이음부분이 불완전하여 각재의 지지력도 충분하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례1의 근본적인 붕괴원인은 동바리 간격을 너무 크게 설치하여 멍에에 과도한 하중이 작용함과 동시에 Pipe 동바리도 큰 압축력이 작용하여 허용응력 및 허용하중을 크게 상회함으로써 발생한 것으로 사료되며, 또한 각재를 동바리로 사용하면서 서로 이어서 사용하였기 때문에 각재에 작용하는 하중을 이러한 이음부분에서 충분히 지지할 수 없었던 점을 들 수 있다.

<표4-5> 재해분석 비교(사례1)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리공의 허용내력이 부족한 구조는 아니나, 수평연결재 미설치, 각재 및 Pipe의 이질재 혼용사용, 지주의 상하부 고정 및 활동방지 미흡, 기둥의 전도방지 조치 미흡 등이 재해의 원인인 것으로 분석	본 가설구조물이 가정하고 추정한 대로 시공되었다면, 멍에의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[2] 사례2

가. 재해개요

<표4-6> 재해개요(사례2)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
원보건설(주)	영락교회 신축공사	1993. 4. 1	중상 4명, 경상 1명

나. 재해 상황

상판 슬래브 및 보 콘크리트 타설예정 수량은 슬래브 약 $286 m^3$ ($47.7 \times 30 \times 0.2m$), 보 $216 m^3$ ($L 30m \times 15열 \times (0.6 \times 0.8)$), 총 $500 m^3$ 정도로 추정되며, 상기 콘크리트 타설을 위하여 사고 당일 당해 현장에서 투입된 조영호 등 10여명은 입구쪽으로부터 콘크리트 타설작업에 착수하여 1차 포설을 끝낸 후, 상면고르기 작업을 진행하던중 상재하중을 견디지 못한 본당 부분의 취약동바리공이 붕괴하여, 동바리공, 슬래브 및 보 콘크리트와 함께 지하 2층 바닥으로 추락 그중 4명이 중상, 1명이 경상의 재해를 당한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 요인추정

지하 1~2층 본당(대예배실) 부분의 동바리높이가 10.07m(콘크리트 슬래브 두께 20cm)로 일반공사에서 접하기 어려운 특수구조라 할 수 있으나 동바리공을 일반 4~5m 동바리구조로 시공

① 임계좌굴하중 $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ 로 동바리높이(L)의 자승에 반비례 함을 고려하지 않았으며

② Pipe 동바리를 3단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용, 동바리 하중의 전달구조 및 고정상태가 취약하여 동바리공이 콘크리트 타설에 따른 하중을 견디지 못하고 붕괴된 것으로 추정됨.

○ 직접원인

- 거푸집 동바리공 조립도 미작성, 안전조치 미실시

본 건물과 같이 동바리높이가 높은 특수 구조물의 경우 상재하중, 작업-충격하중을 계상한 안전 거푸집 동바리공의 조립도를 설계, 작성하여 당해 조립

도에 의해 조립하여야 하나 이를 시행치 않았으며, 동바리를 3단 이상으로 하고 동바리 이음부(전용철물 사용 등)의 고정미흡 동바리공 조립상의 안전조치를 준수하지 아니하였다.

○ 간접원인

- 본 건물의 시공 건설업체로 되어있는 원보건설(주)는 92년 12월 건설업 면허가 취소된 상태로, 영락교회는 면허를 대여 받아 교회건축위원을 구성, 전문성 및 책임있는 시공이 이루어지지 아니함.

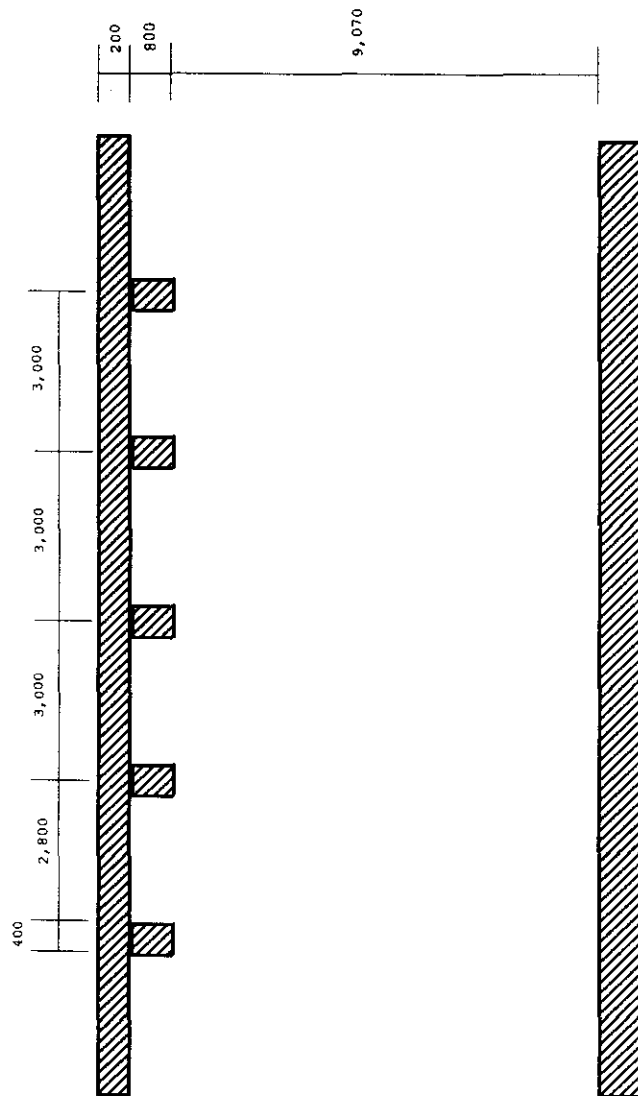
ii) 재해예방 대책

○ 기술적, 교육적, 관리적 대책

- 당해 건물의 본당과 같이 동바리높이(10.07m)가 높은 특수구조물의 경우 거푸집 동바리공은 ① 상재 슬래브 및 보 콘크리트 자중 ② 작업하중(150 kg/m^2) ③ 충격하중(안전율을 고려 자중의 50% 내외)을 산정, 전체 하중을 안전하게 지지할 수 있는 거푸집 동바리공 조립도를 작성, 이에 따라 조립하여야 한다.

- 또한 동바리공의 조립시에는 동바리를 3단이상 이어서 사용하지 아니하도록 하고 Pipe 받침을 이어서 사용하는 경우 4개 이상의 Bolt 또는 전용철물을 사용하여 힘의 전달 구조를 확실히 하는등 안전조치를 준수하여야 한다.

- 안전담당자의 지정 및 임무수행 철저



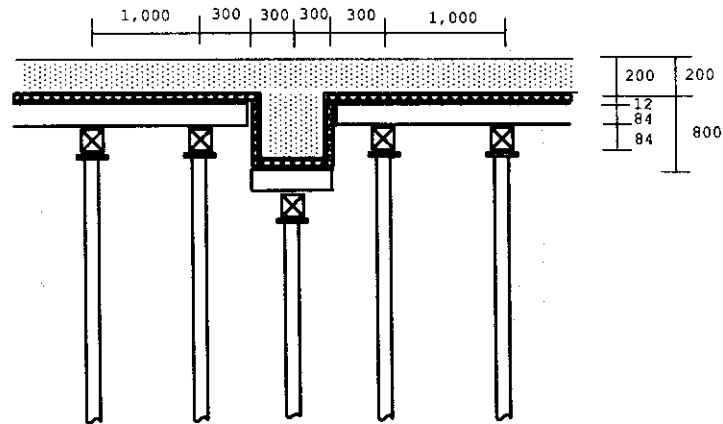
[그림4-4] 개략 도면(사례2)

라. 구조해석

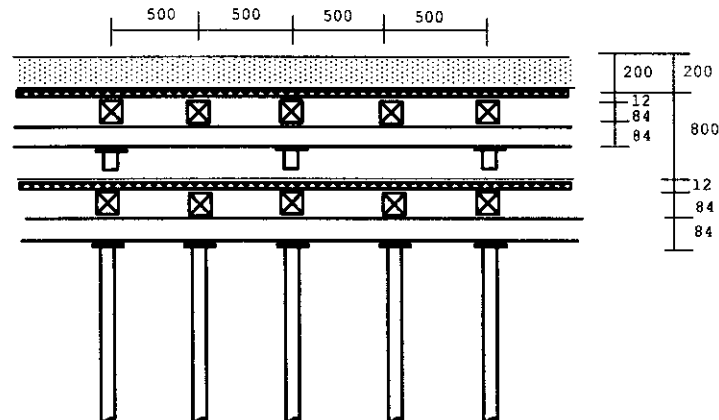
본 사례2에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-5a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-5b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-6]과 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-7>과 같다.

<표4-7> 구조해석 데이터(사례2, cm)

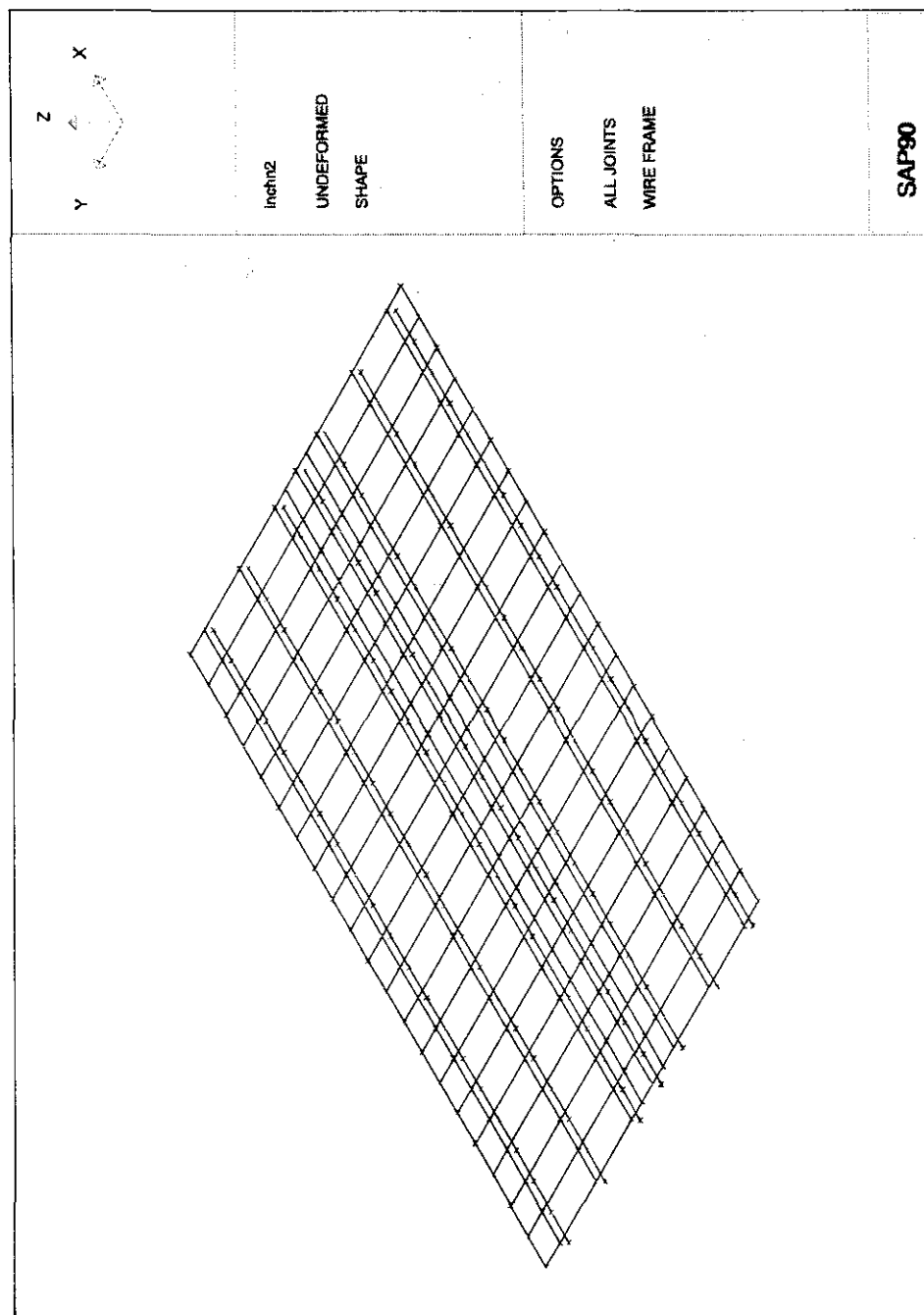
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
20	60×80	50 (가정)	50 (가정)	100 (가정)		100×100 (가정)	50 (가정)



[그림4-5a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례2)



[그림4-5b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례2)



[그림4-6] 구조해석 모델링(사례2)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 71.73 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{71.73}{0.24} = 298.89 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 15797.14 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{15797.14}{98.78} = 159.92 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 5279.97 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{5279.97}{98.78} = 53.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례2의 지하1~2층 본당(대예배실) 부분의 동바리높이가 10.07m로서 Pipe 동바리를 3단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_1 의 Pipe 동바리가 사용된 것으로 가정하고 수평연결재가 없는 경우의 상하부가 목재 등의 부재에 지지된 것으로 보면, 이 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1300 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1667.45 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-8> 부재검토 결과표(사례2)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	299	135	160	135	54	1300	1668
N.G		N.G		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례2에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $298.89kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 약간 높은 응력을 보여 합판은 약간 불안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $159.92kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 약간 높은 응력을 보여 장선도 약간 불안전하나, 명에에 작용하는 최대응력은 $53.45kg/cm^2$ 로 그

허용응력 135kg/cm^2 보다 매우 작은 값을 보여 명에는 매우 안전한 결과를 보였다. 또한 본 사례2의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1667.45kg 로 허용압축하중 1300kg 보다 높아 충분한 지지력은 확보할 수 없었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례2의 구조해석은 장선 및 명에, 동바리의 간격을 가정하여 구조해석을 실시하였다. 이와 같이 가정한 경우 장선의 간격과 명에의 간격이 약간 넓어 합판과 장선의 응력이 허용응력을 약간 넘는 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 매우 높아 지지력이 충분치 못했기 때문에 붕괴에 이르게 된 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례2의 근본적인 붕괴원인은 Pipe 동바리를 너무 넓게 배치하여 동바리에 과중한 하중이 작용한 것과 동바리높이가 10.07m 로 매우 특수한 경우인데도 Pipe 동바리를 3단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 각단의 Pipe 동바리를 일치시키지 않았을 뿐만 아니라 이음부를 확실하게 고정시키지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-9> 재해분석 비교(사례2)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리높이가 10.07m 로 일반공사에서 접하기 어려운 특수구조이나 동바리공을 일반 $4\sim 5\text{m}$ 구조로 시공하고, Support 하중의 전달구조 및 고정상태가 취약하여 재해가 발생한 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 합판, 장선의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[3] 사례3

가. 재해개요

<표4-10> 재해개요(사례3)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
신평건설(주)	봉양 우회도로 축조	1993. 4. 9	중상 1명

나. 재해 상황

동바리 설치를 위하여 하천을 횡단 교량설치 방향으로 도로절취 발파석을 이용 성토체 높이 4.6m중 약 4m 정도를 성토하고, 상부에는 사질토를 포설 Capping(약 60cm)하여 축조한 상태로 건조기에 들어 사질토가 건조되어 발파석 사이 공극으로 흘러 들어 하천수에 의하여 쇄굴 유출되어 성토체의 다짐효과를 볼 수 없는 상태였다. 성토체가 물막이 역할을 함으로써 흡관 $\phi 1000$ ③ 3열로 길이 25m를 설치하여 상부하천수를 흐르게 하였으나, 상부 성토 법면에는 마대 등의 하천수 유입방지공이 없음으로 인하여 발파석이 맹암거 역할을 하는 상태였다. 또한 Hume Pipe 이음부는 미시공 상태였으며, 사질토 지반을 정지하고 3×3in 각재를 이용 갈목으로 사용하고 Pipe 동바리(삼우철강 제품 tel 02)552-2823)을 이용 2단으로 5.4m 높이의 동바리를 설치하였고, 하부, 상부 Pipe 동바리 중간부에 3×3in 각재를 이용서로 직각되게 중간단을 설치하였으나, 하부 및 상부 Pipe 동바리의 단판과 각재간의 고정확실하지 아니한 상태였다. 하부 및 상부 Pipe 동바리는 높이가 각각 약 2.7m로서 각각 중간부에 단판 Pipe를 이용 수평연결대를 철선으로 고정시켜 놓은 상태였다.

콘크리트 타설은 '93. 3. 9 재해당일 좌,우 ABUT부에 PUMP CAR 2대를 투입하여 전장 50m 구간 상판 콘크리트 720 m^3 를 중간부에서부터 시작하여 좌,우로 각각 높이(Lift) 20cm씩 3회 타설하고, 마지막 마감타설을(잔락 Lift가 10cm 이어야 하나 실제 측정결과 20cm이상 남았음) 중간부 슬래브(폭 18cm) 하류측에서 타설하던중 붕괴된 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 요인추정

- 마지막 콘크리트타설을 교량폭 18m의 중앙부에서 시작하지 아니하고, 하천 하류측에서 시작 마감함으로써 거푸집 동바리에 편심이 발생되게 하였으며,

- Pipe 동바리의 2단 설치, 지주의 고정 미흡, 수평연결재 결속시 철선사용 등 동바리 역시 부실하게 조립되어 지주의 미끄러짐 및 좌굴에 의한 지지내력 감소를 초래하였으며,

- 성토체의 발파석 및 모래질 흙간의 입도불량 상태로 모래질 흙의 하천수에 의한 유실로 성토체의 침하요인 제공등 복합적인 원인에 의하여 붕괴된 것으로 사료됨.

○ 직접적인 원인

- ① 성토체 설치 불량
- ② 동바리 설치 불량
- ③ 콘크리트 타설방법 부적합

○ 간접적인 원인

- ① 조립도 미작성, 안전성 검토 미 실시
- ② 보호구 미지급
- ③ 안전관리비 미집행

ii) 재해예방 대책

○ 기술적 방법

① 성토체 설치방법 개선

- 하상부의 이토층등 압축, 압밀성 토질체거 치환한다.
- 성토체의 입도조정, 발파석과 사질토간에 Transition재를 설치하여 사질토가 발파석 사이로 유실되지 않게 한다.

- Hume관 설치시 이음부 시공은 철저히하여, 하천수가 성토체 내부로 유입되지 않게 하고,

- 성토 상류 법면에는 마대, 가마니 등을 이용 하천수가 성토체 내부로 유입되는 것을 억제토록 한다.

- 다짐을 철저히 하며, 강우유입 부등침하 방지를 위하여 무근 LEAN 콘크리트를 타설한다.

② 동바리 설치방법 개선

- 동바리 하단부 깔목을 2단으로 설치시 못으로 긴전시키고, Pipe 동바리 하단판도 깔목에 확실히 고정시켜야 한다.(대부분 위치 고정만을 위하여 깔목에 2in 못 하나를 박고, Pipe를 끼워 설치한다.)

- 하부 Pipe 동바리와 상부 Pipe 동바리 사이에 목재를 직각으로 2개 방향으로 중간 단상을 만들어 동바리를 설치하고 있으나, 이러한 방법은 미끄럼 발생 및 상, 하부간의 지지력의 편심이 발생됨으로 지양하고

- 동바리 설치높이가 높아 Pipe 동바리를 2단 시공하는 경우, 지지내력이 좌

굴로 급격히 약해짐으로 가능한 성토체를 높여 동바리 1본으로 지지하든가 아니면 좌굴내력이 강한 BT동바리공 및 안전성 검토에 의한 현장에 맞는 특수 동바리(H-BEAM이용)를 사용토록 함이 바람직하다.

- 동바리 설치전 조립도를 작성, 안전성 검토를 한 후 조립토록 한다.

③ 콘크리트 타설방법 개선

- 마지막 타설분은 표면마감 LEVEL을 고려하여 거푸집 설치면에서 시작하는 경우가 많은데 재해현장처럼 마지막 Lift가 20cm이상 됨으로써 집중타설중 편심이 많이 발생하는 것을 예상하여,

- 마지막 Lift를 5cm 이내로 줄이고, 거푸집 설치면에서 시작하든가

- 아니면 집중하중에 의한 편심이 염려되는 경우에는 중앙부에 표면마감 표식을 설치, 슬래브 중앙부(폭 18m의 중간)에서부터 마감하도록 해야 한다.

○ 관리적 대책

① 조립도 작성

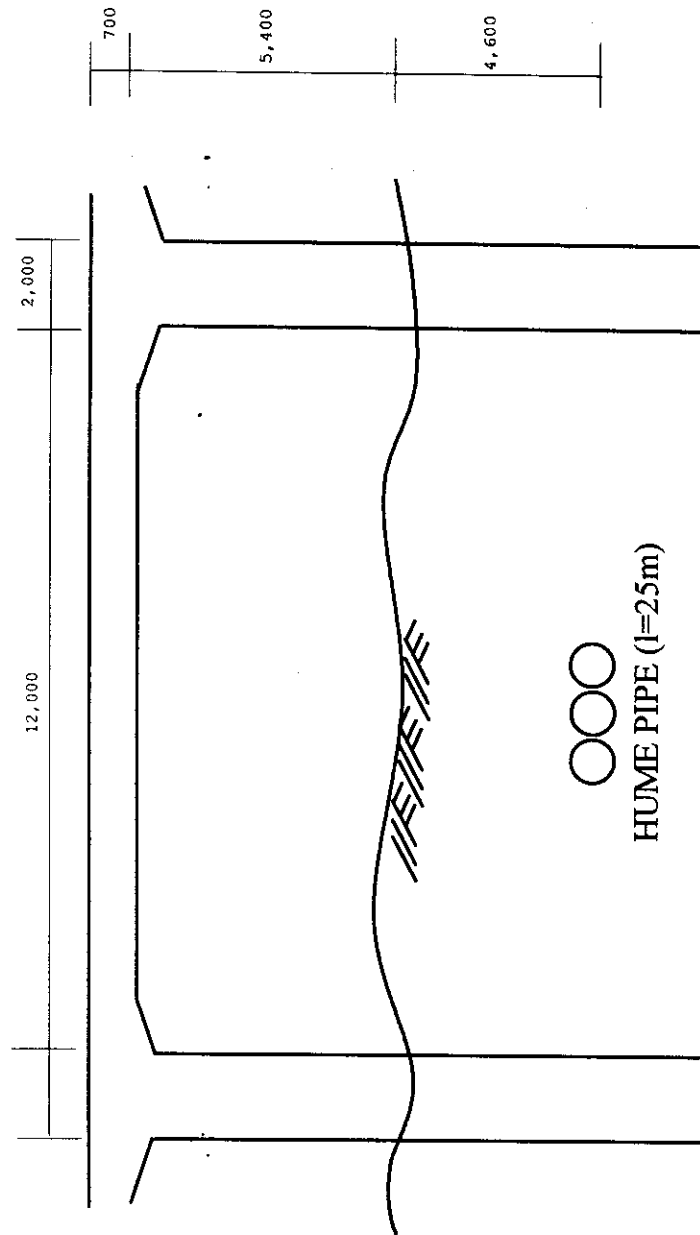
- 동바리 설치 이전에 조립도 작성, 안전성 검토 실시한 후 조립토록 해야 한다.

② 안전관리비 사용 집행.

- 근로자의 안전교육, 보호구 지급, 안전조치 등에 도급받은 안전관리비 전액을 사용토록 하고, 그 내용을 기록유지 해야 한다.

③ 안전관리 교육

- 위험작업시 특별교육을 실시하며, 특히 교량(H=5.4m 이상) 콘크리트 타설시의 유의사항은 작업원에게 사전에 주지시키도록 한다.



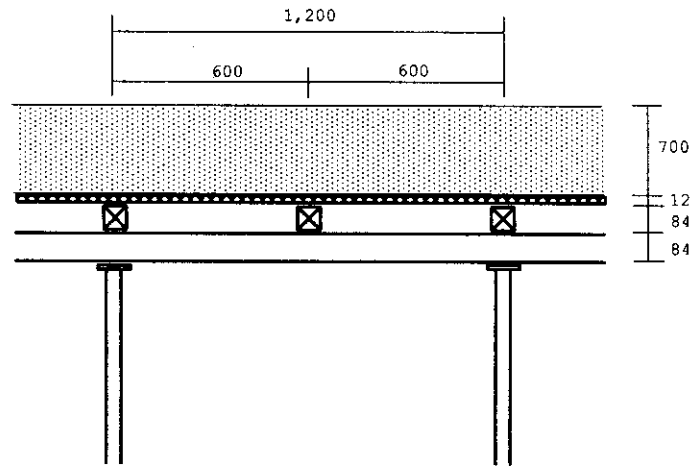
[그림4-7] 개략 도면(사례3)

라. 구조해석

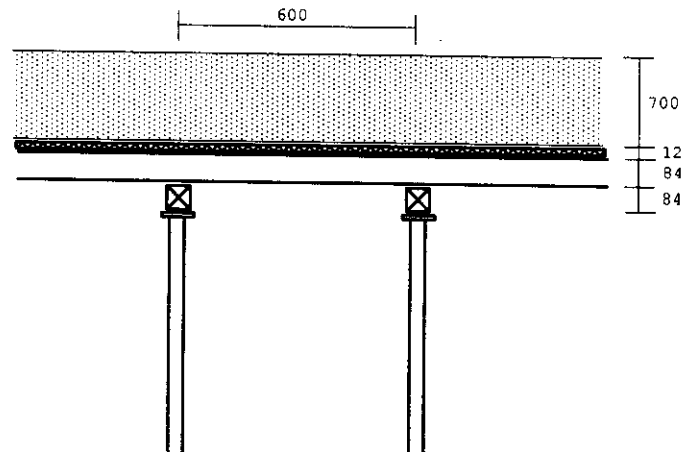
본 사례3에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-8a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-8b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-9]와 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-11>과 같다.

<표4-11> 구조해석 데이터(사례3, cm)

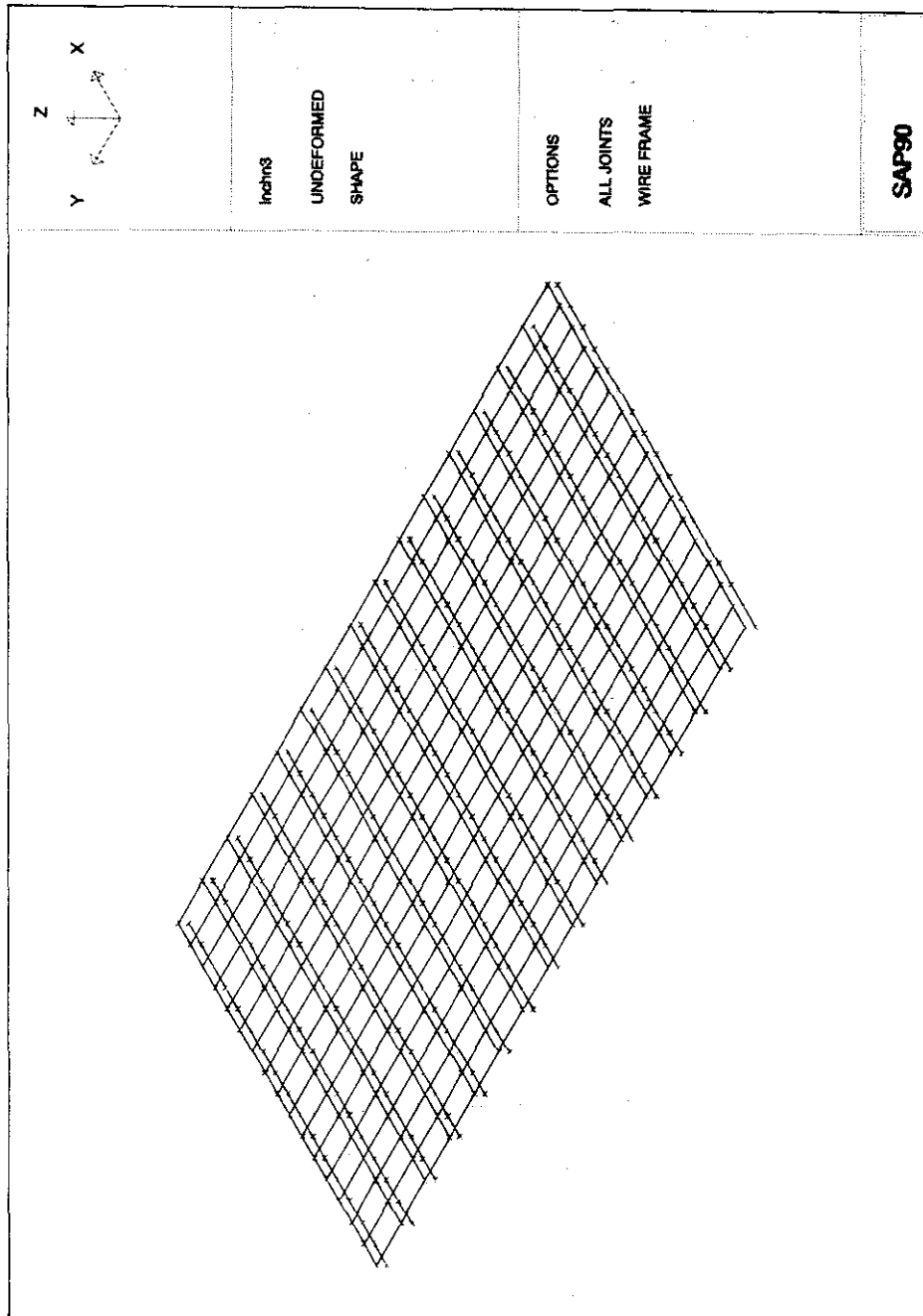
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
70	60 (가정)	60 (추정)	120×60 (추정)



[그림4-8a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례3)



[그림4-8b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례3)



[그림4-9] 구조해석 모델링(사례3)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 2.91 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{2.91}{0.24} = 12.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 10016.90 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{10016.90}{98.78} = 101.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 10248.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{10248.08}{98.78} = 103.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례3은 지간의 길이 14m, 폭 18m의 슬래브교량으로서 동바리높이가 5.4m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_1 의 Pipe 동바리가 사용된 것으로 가정하고 수평연결재가 없는 경우의 상하부가 목재 등의 부재에 지지된 것으로 보면, 이 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1300 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1736.52 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-12> 부재검토 결과표(사례3)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	12	135	101	135	104	1300	1737
O.K		O.K		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례3에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $12.13\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 훨씬 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $101.41\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 응력을 보여 장선도 안전하며, 명예에 작용하는 최대응력도 $103.75\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다

낮은 값을 보여 명에도 매우 안전한 결과를 보였다. 또한 본 사례3의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1736.52kg로 허용압축하중 1300kg보다 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례3의 구조해석은 재해조사결과보고서에서 동바리의 간격을 0.6m×0.6m로 배치한 것으로 나타나 이를 근거로 하여 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보이거나, 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중을 약간 상회하는 지지력이 불충분한 시공상태인 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례3의 근본적인 붕괴원인은 Pipe 동바리를 너무 넓게 배치하여 동바리에 과중한 하중이 작용한 것과 동바리높이가 5.4m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 각단의 Pipe 동바리를 일치시키지 않았을 뿐만 아니라 이음부를 확실하게 고정 시키지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-13> 재해분석 비교(사례3)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
콘크리트 타설을 중앙부에서 시작하지 않아 편심이 발생하고, Pipe Support에 대한 고정미흡, 수평연결재 결속부족, 미끄러짐 및 좌굴에 대한 고치미흡, 성토체 지반의 침하 등 복합적인 원인에 의해 붕괴된 것으로 분석	본 가설구조물이 가정하고 추정한 대로 시공되었다면, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[4] 사례4

가. 재해개요

<표4-14> 재해개요(사례4)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
삼정주택건설(주)	삼정백조아파트	1993. 4. 16	중상 2명

나. 재해 상황

오전 08:00부터 콘크리트 타설을 착수하여 옥상바닥 및 보를 먼저 타설하고, 북쪽에서 남쪽으로 Parapet 및 Canopy 부분을 타설중 ⑪~⑫ Line(지하주차장으로 통하는 램프구간) 부위에 이르러 콘크리트 하중에 못건던 동바리공이 붕괴되며 전 구간(L=52.0m)의 Canopy 및 Parapet의 거푸집 동바리공(파이프 서포트)이 하중을 견디지 못하고 연쇄적으로 붕괴되면서, 콘크리트타설중인 피해자 2명(콘크리트공 및 펌프카 기사)이 10m 도로상으로 추락하여 재해가 발생된 것으로 추정된다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 요인 추정

붕괴지점의 동바리공 상태 및 조립도 확인불가로 붕괴부분의 조립상태를 공사과장 및 목격자(현장기사)의 진술을 토대로 다음과 같이 여러 가지로 추정하였음.

- 시공상태 불량으로 동바리공이 붕괴되었을 것으로 추정됨.

1) 집중하중으로 인한 합판판넬 직,하단에 설치한 멩에재(각재 30×30)의 파괴가능성(추가적으로 웅이부분, 손상부분의 각재 사용 가능성)

2) 1단 Pipe 동바리 조립시 수직불량 및 수평 연결재 미설치로 편심하중에 의한 Pipe 동바리 전도에 의해 붕괴 가능성

3) 좌굴로 인한 Pipe 동바리의 전도 및 파괴 가능성

4) Pipe 동바리 상단부의 고정(못 설치) 미흡으로 진동, 충격, 편심 등에 의하여 Pipe 동바리의 이탈 가능성

5) 상가바닥 및 도로사이의 상가계단의 미시공으로 상부 Canopy 부분(CS_1)을 받치고 있는 Pipe 동바리(V_4) 하부에 깔목을 2단이상 끼우거나, 또는 경사진 도로에 설치한 동바리공 단판에 쉐기 등을 미설치하여 하부 고정 미흡으로 Pipe 동바리가 이탈될 가능성

- Canopy 및 Parapet 콘크리트 타설시 타설방법 등에 대한 철저한 관리감독이 요구되나, 관리감독의 소홀로 일부 부위에 집중 타설에 따른 편심하중이 발생되어 동바리공이 붕괴되었을 것으로 사료됨.

○ 직접원인

- 거푸집 동바리공 설치방법 불량(안전규칙 제363조)
 - Pipe 동바리 수평연결재 미설치
 - Pipe 동바리 상단부 장선 및 멍에재의 미고정 및 변형 또는 불량자재 사용 가능성
 - Pipe 동바리 하단부에 썰기 미설치, 깔목 2단 사용등으로 인한 고정상태 미비 및 수직상태 불량 가능성
- 콘크리트 타설방법 불량 가능성

○ 간접원인

- 거푸집 동바리공 조립도 미작성(안전규칙 제362조)
- 관리감독자의 관리감독 소홀
- 작업감시자의 업무이행 미비(안전규칙 제365조)
- 안전교육 미비(시행규칙 제33조)
신규채용시, 특별교육시 등 근로자에게 안전작업수행을 위하여 필요한 안전교육 미비

ii) 재해예방 대책

○ 기술적 대책

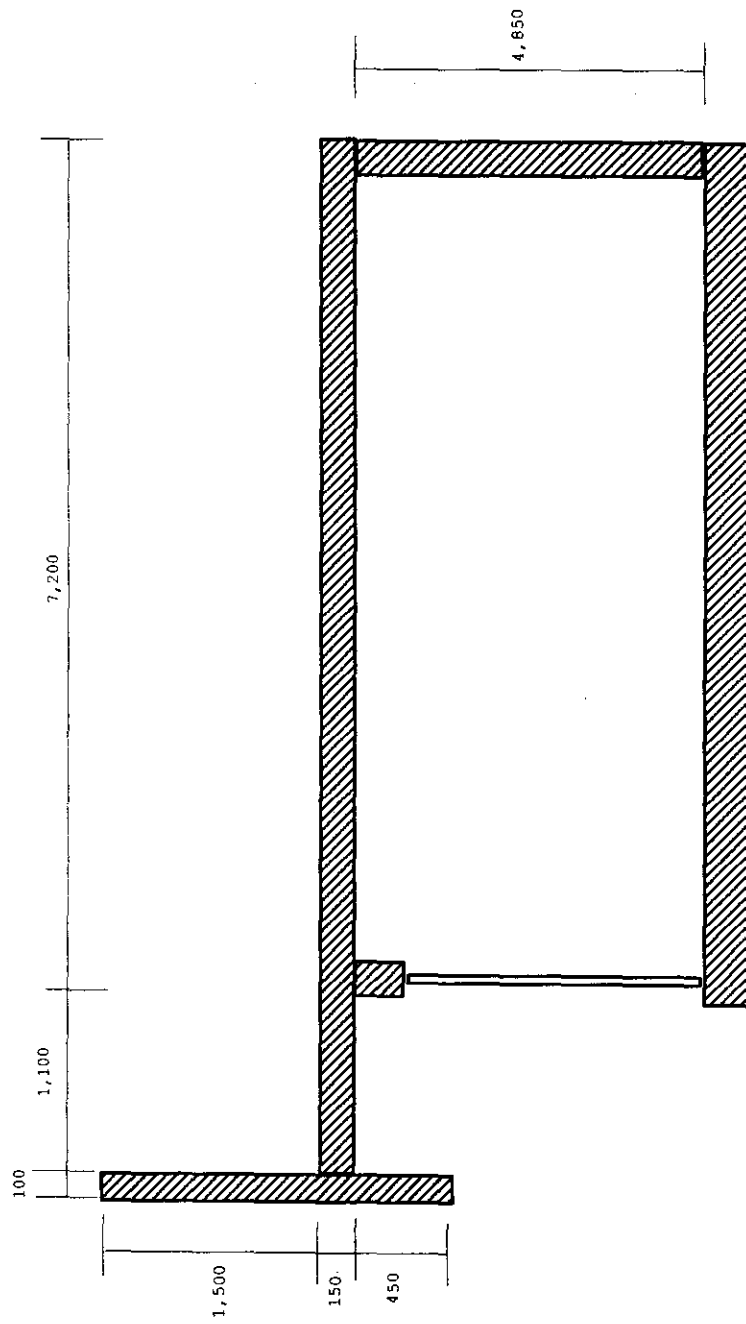
- 거푸집 동바리공 설치에 대한 조립도 작성 및 하중 검토
- 거푸집 조립 검사 실시
- 거푸집 동바리공 설치기준의 준수
 - Pipe 동바리 높이가 3.5m를 초과할 때에는 높이 각 2m이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 만들고 수평연결재의 변위를 방지
 - 동바리공의 상,하단 고정 및 멍에, 장선재의 고정
 - 침하, 활동 방지를 위한 조치

○ 교육적 대책

- 신규채용시 및 특별교육시 등 작업착수전에 근로자에 대하여 콘크리트 타설 작업수칙 교육을 포함한 작업의 위험성 및 안전작업 방법 등에 관한 충분한 교육을 실시한다.

○ 관리적 대책

- 작업의 안전유무를 확인하고, 콘크리트 타설방법에 대한 관리감독 철저
- 콘크리트 타설작업중에는 감시자를 배치하여 이상을 발견한 때에는 작업을 중지시키고 근로자를 대피시킬 수 있도록 업무이행 철저



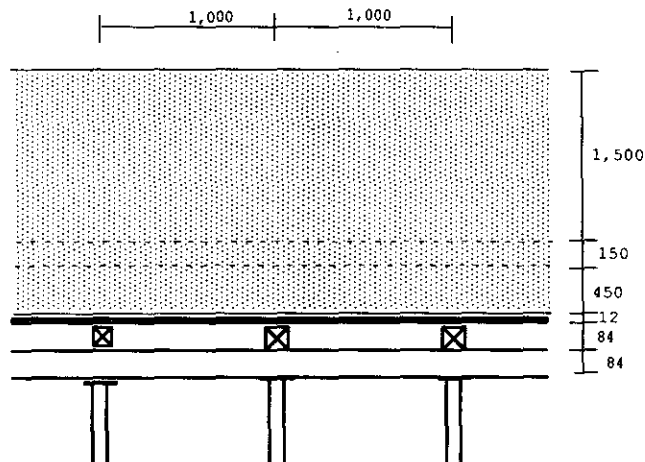
[그림4-10] 개략 도면(사례4)

라. 구조해석

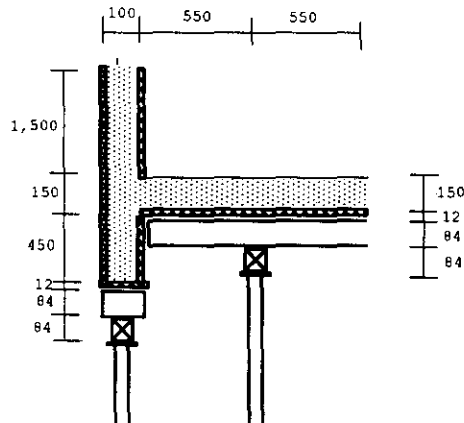
본 사례4에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-11a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-11b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-12]와 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-15>와 같다.

<표4-15> 구조해석 데이터(사례4, cm)

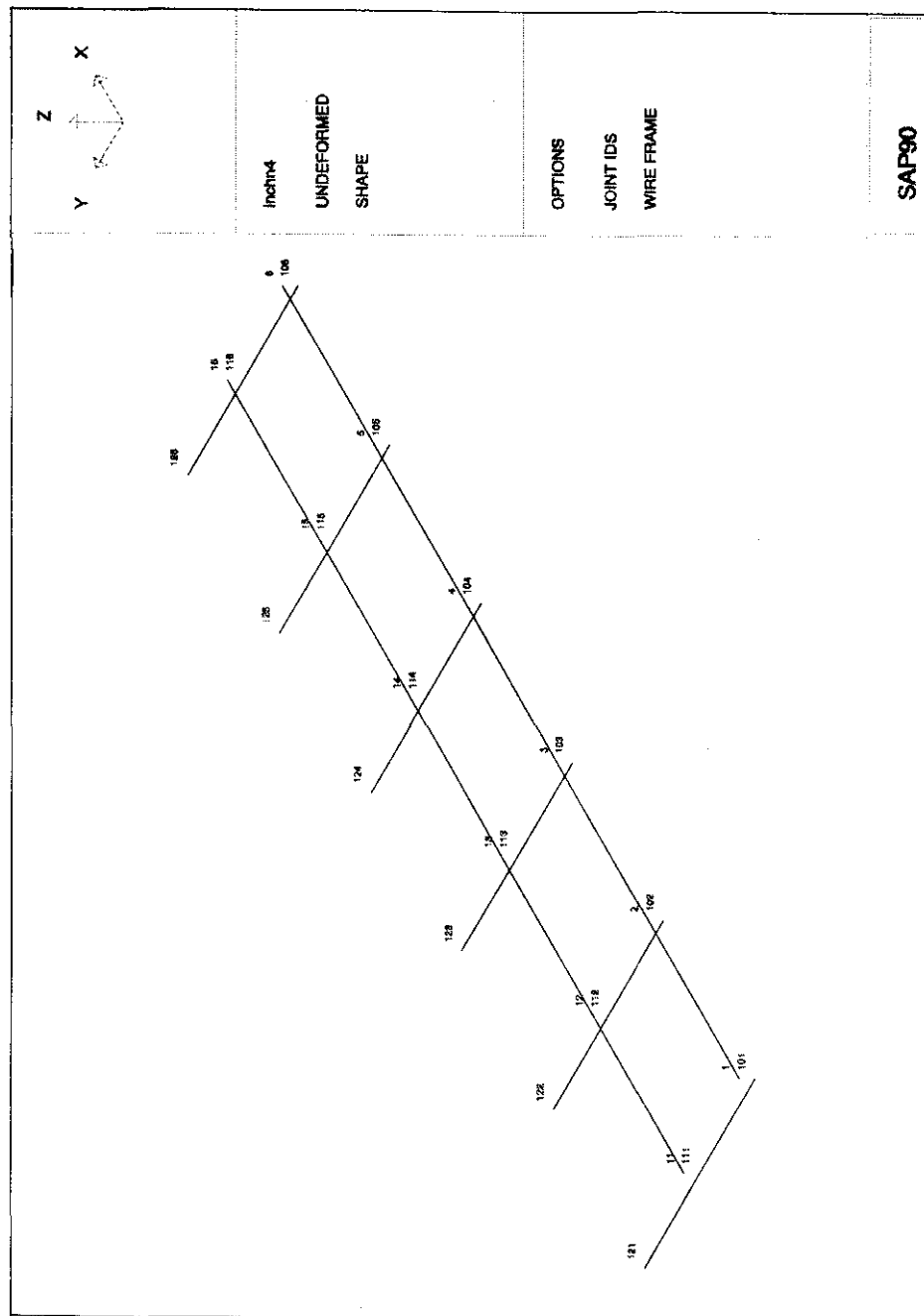
슬래브 두께	Canopy	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	Canopy	슬래브	Canopy	슬래브	Canopy
15	10	100 (가정)	100 (가정)	55 (가정)	-	100×55 (추정)	100 (추정)



[그림4-11a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례4)



[그림4-11b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례4)



[그림4-12] 구조해석 모델링(사례4)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 8155.89 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{8155.89}{98.78} = 82.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 68.58 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{68.58}{98.78} = 0.69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 동바리 압축력 검토

본 사례4의 Canopy부분은 높이가 약 4.2m이고 V_4 의 Pipe 동바리를 사용하여 지지를 하였으며, Parapet부분은 높이가 약 4.5m이고 V_5 의 Pipe 동바리를 사용하여 지지를 한 것으로 보고 구조검토를 하면, 이러한 V_5 의 Pipe 동바리 허용하중은 수평연결재가 없는 경우의 하부가 평평한 지지상태일 때에 해당이 되어 다음과 같다.

$$P_a = 550 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 876.76 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a \quad \text{N.G}$$

<표4-16> 부재검토 결과표(사례4)

장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용응력	응력	허용응력	응력	허용압축력	압축력
135	83	135	0.7	550	877
O.K		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례4에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 장선에 작용하는 최대응력은 $82.57\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 응력을 보여 장선은 안전하며, 명에에 작용하는 최대응력도 $0.69\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 훨씬 낮은 값을 보여 명에도 매우 안전한 결과를 보였다. 또한 본 사례4의 동바리는 V_4 의 Pipe 동바리와 V_5 의 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 V_5 의 Pipe 동바리에 작용하는 최대압축하중은 876.76kg 로 허용압축하중 550kg 보다 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례4의 근본적인 붕괴원인은 Pipe 동바리를 너무 넓게 배치하여 동바리에 과중한 하중이 작용하여 허용하중을 상회함으로써 발생한 것으로 사료되며, 특히 최대 동바리의 높이가 약 4.5m인데도 높이 각 2m마다 2방향으로 수평변위를 방지하기 위한 수평연결재를 시공하지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-17> 재해분석 비교(사례4)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
Pipe Support 수평연결재 미설치, Pipe Support 상단부 장선 및 명에재의 미고정 및 변형, 하단부 고정상태 및 수직상태 불량 등의 원인으로 붕괴된 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[5] 사례5

가. 재해개요

<표4-18> 재해개요(사례5)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
풍국건설(주)	신광공장 증축현장	1993. 5. 23	사망 1명, 부상12명

나. 재해 상황

사고당일 09:00부터 기둥(15개) 및 보의 콘크리트 타설을 완료하고 2층 바닥 슬래브 타설시 총 14대의 레미콘 예정량중 12대째 레미콘크을 타설하고 13대째의 레미콘카를 기다리며, 슬라브 상부에서 현장 소장포함 11명의 근로자가 타설된 레미콘을 정리하고 3명의 근로자가 슬라브 하부에서 계단실 콘크리트정리 등의 작업을 수행하고 있던중, 기존 공장동 반대편(계단실 부근)부터 슬라브가 붕괴되기 시작하여 동바리공이 동방향으로 도괴되면서 전체 슬라브가 동방향으로 붕괴되어, 계단실 콘크리트를 정리하던 근로자 1명이 매몰되어 사망하고 슬래브 상하부 작업자 12명이 부상당한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인 추정

(Case 1) 부식, 변형된 Pipe 동바리를 사용함으로써 동바리공 자체가 상부의 콘크리트 하중을 견디지 못하고 붕괴

(Case 2) 최초로 붕괴가 발생한 계단실 부근의 지반이 토사이고 반대편(기존 공장측) 지반의 일부가 콘크리트로 상대적으로 연약한 계단실 부근이 침하하여 부등침하로 인한 붕괴

(Case 3) 동바리공 도괴의 방향이 비교적 도괴되기 쉬운 단방향(2층 1바닥 슬라브의 짧은변)이 아닌 장방향으로 넘어간 것으로보아 수평연결재의 설치가 상대적으로 부식한 장방향으로 콘크리트 타설방법 불량에 따른 수평력이 발생하여 동바리공의 도괴에 따른 콘크리트 슬래브 붕괴

(Case 4) 30m 길이의 슬래브 콘크리트 타설시 맨측면(기존 공장측)부터 일방향으로 타설함에 따라 거푸집이 동바리공을 지점하는 연속체(연속보)로 작용하여 반대편(계단실 부근)에 부모멘트가 발생되어 거푸집이 들리는 현상이 발생됨에 따라 거푸집과의 연결 및 하부 고정시 불량한 동바리공이 도괴됨에 따른

콘크리트 슬래브 붕괴

(재해요인) 현장조사시 매몰되지 않은 동바리공의 상태를 미루어 추정할 때 동바리공 도괴 및 콘크리트 슬래브붕괴의 원인은 여러 경우가 복합적으로 작용했을 것으로 특히 Case 3의 수평변위 방지조치 미흡이 가장 주요한 원인으로 사료됨.

○ 직접원인

- 거푸집 동바리공 재료불량(안전규칙 제359조)

부식 및 변형이 심한 Pipe 동바리 사용(특히 양단부의 받침부가 휨에 따라 수평력에 대한 저항력 저하)

- 조립도 미작성(안전규칙 제365조)

동바리공의 조립도 및 사전계획 부재로 불규칙하고 부실한 동바리공 설치

- 거푸집 동바리공의 안전조치 미흡(안전규칙 제363조)

- 지주침하 방지를 위한 하부조치(갈목 등) 부식

· 파이프 연결시 보울트 등 전용철물이 아닌 철선사용(Sample 17개중 15개)으로 동바리공 기능저하

· 수평 연결재 설치부식 및 수평변위 방지조치 미실시로 수평력에 대한 저항력 저하

- 콘크리트 타설방법 불량

콘크리트 타설시 1측면부터 1방향으로 타설하므로써 수평력 또는 편심하중 발생

○ 간접원인

- 작업 감시자 미배치(안전규칙 제365조)

콘크리트 타설시 동바리공의 변형, 변위 및 침하유무를 감시토록 하는 작업감시자 미배치

ii) 재해예방 대책

○ 기술적 대책

- 거푸집 동바리공의 재료로 변형 또는 부식이 심한 재료는 사용을 금한다.

- 거푸집 동바리공의 작업전에 간격, 높이, 지주, 이음매, 마디 등의 부재의 배치와 횡수가 표시된 조립도를 작성하고 조립도에 의하여 설치한다.

- 동바리공의 하부는 지주의 침하방지를 위하여 갈목의 설치등 보강조치를 취한다.

- Pipe 동바리를 이어서 사용할 때는 4개 이상의 보울트 또는 전용 철물을 사용한다.

- Pipe 동바리의 경우 높이 3.5m 이내마다 수평연결재를 단판 또는 각재를

이용하여 누락된 동바리공없이 긴결하고 Bracing 등 수평변위 방지조치를 한다.

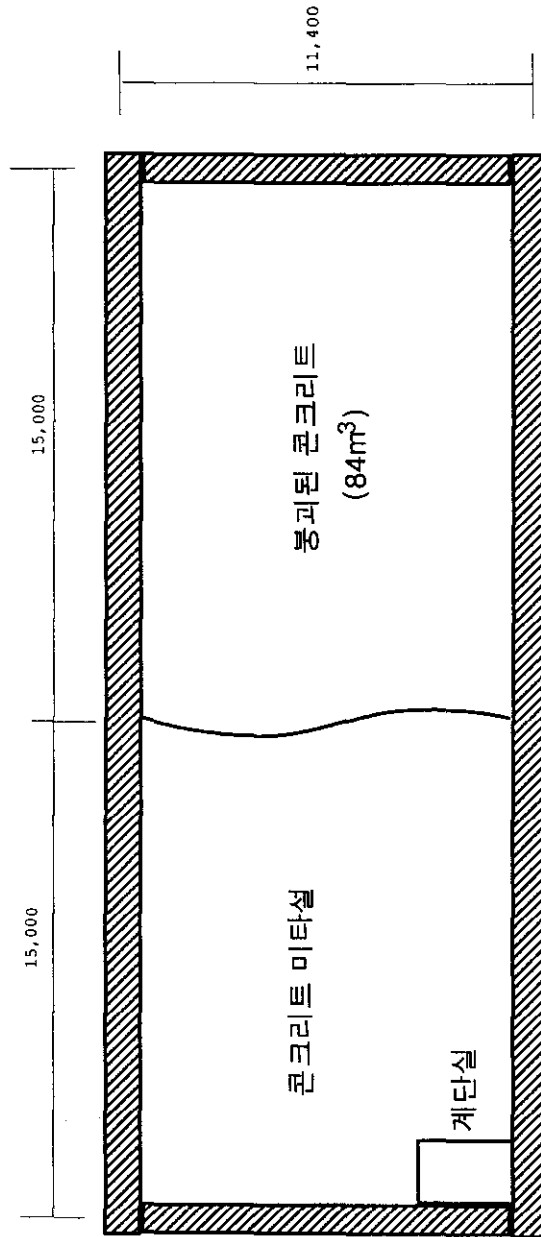
- 슬래브 콘크리트 타설시는 전면이 고른 하중을 받을 수 있도록 타설순서와 방법을 사전에 결정하여 작업한다.

○ 교육적 대책

- 거푸집 동바리공 조립작업에 종사하는 근로자에 대하여는 작업 시작전 안전한 설치 방법 등에 관한 특별안전교육을 2시간이상 실시한다.

○ 관리적 대책

- 콘크리트 타설시는 작업감시자를 배치하여 동바리공의 변형, 변위 및 침하 유무를 지속적으로 감시토록 하고 이상발견시 즉시 근로자를 대피시킬 것.



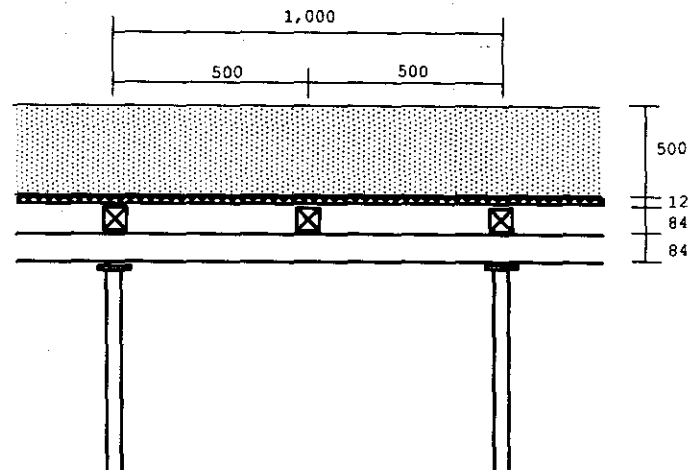
[그림4-13] 개략 도면(사례5)

라. 구조해석

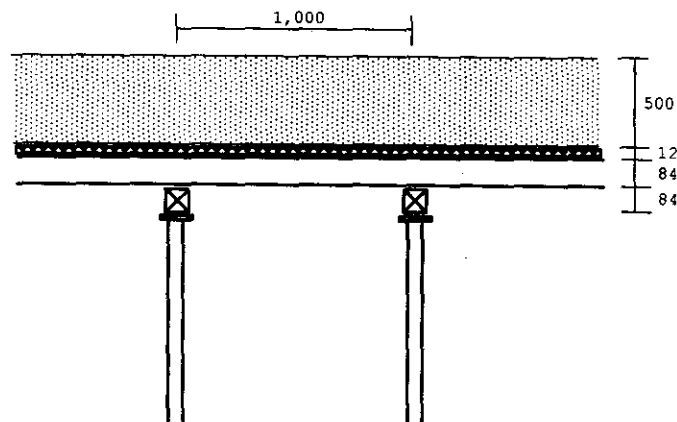
본 사례5에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-14a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-14b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-15]와 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-19>와 같다.

<표4-19> 구조해석 데이터(사례5, cm)

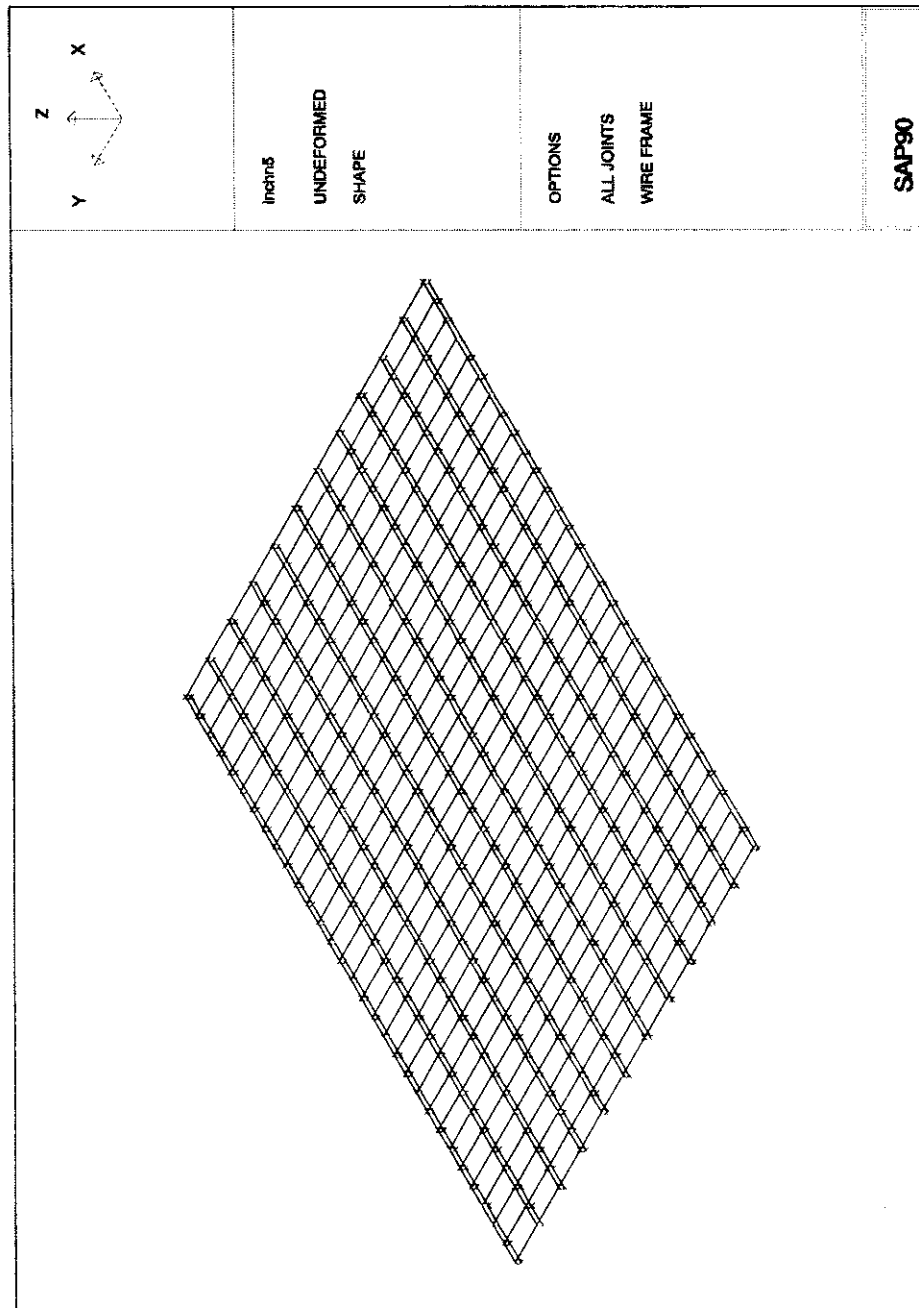
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
50 (추정)	50 (가정)	100 (추정)	100×100 (추정)



[그림4-14a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례5)



[그림4-14b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례5)



[그림4-15] 구조해석 모델링(사례5)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 4.64 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{4.64}{0.24} = 19.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 679.46 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{679.46}{98.78} = 6.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 16505.16 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{16505.16}{98.78} = 167.09 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례5는 공장 2층 바닥 슬래브의 동바리높이가 약 5.0m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_1 의 Pipe 동바리가 사용된 것으로 가정하고 수평연결재가 없는 경우의 상하부가 목재 등의 부재에 지지된 것으로 보면, 이 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1300 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2174.71 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-20> 부재검토 결과표(사례5)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	19	135	7	135	167	1300	2175
O.K		O.K		N.G		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례5에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $19.33\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 훨씬 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $6.88\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 응력을 보여 장선도 안전하며, 명에에 작용하는 최대응력은 $167.09\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 약간 높은 값을 보여 명에는 약간 불안정한 결과를 보였다. 또한 본 사례5의

동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 2175.71kg로 허용압축하중 1300kg보다 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례5의 구조해석은 재해조사결과보고서에서 동바리의 간격을 1.0m × 1.0m로 배치한 것으로 나타나 이를 근거로 하여 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멩에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보이나, 멩에에 작용하는 응력은 허용응력보다 약간 높아 불안정한 구조를 보이는 결과를 보였으며, 또한 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중을 크게 상회하는 지지력이 매우 불충분한 시공상태인 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례5의 근본적인 붕괴원인은 Pipe 동바리를 너무 넓게 배치하여 동바리에 과중한 하중이 작용한 것과 동바리높이가 최대 약 5.0m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부를 전용철패(볼트)를 사용하지 않고 철선을 이용하여 연결하므로써 상·하부 Pipe 동바리의 연결이 부실하였을 뿐만 아니라 동바리의 높이가 최대 약 5.0m이므로 약 2m 마다 2방향으로 수평연결재를 시공하여 수평변위를 방지하여야 했으나 짧은 방향으로 지면으로부터 약 1.8m 위치에 $\phi 19$ 이형철근과 약 2.5m 위치에 $\phi 9$ 이형철근을 철선으로 연결하였고, 긴 방향으로 지면으로부터 약 3m 위치에 $\phi 9$ 이형철근을 철선으로 연결하여 수평연결재를 부적절하게 시공한 점을 들 수 있다.

<표4-21> 재해분석 비교(사례5)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리로 부식 및 변형이 심한 Pipe Support 사용, 지주침하 방지조치 미흡, 파이프 연결시 전용철패 미사용, 수평연결재 부실설치 및 수평변위 방지조치 미실시 등으로 붕괴가 발생한 것으로 분석	본 가설구조물이 가정하고 추정된 대로 시공되었다면, 멩에의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[6] 사례6

가. 재해개요

<표4-22> 재해개요(사례6)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
동신건설(주)	위천 펌프장 공사	1993. 6. 25	사망 2명, 중상 1명

나. 재해 상황

사고당시, 옥탑옹벽 및 지붕 슬래브에 해당하는 당일예상 콘크리트 타설 물량 84 m^3 (레미콘 T/R 14대분)중, 먼저 지붕 슬래브 72 m^3 를 타설하여 대부분을 타설하고(지붕 슬래브 약 1 m^3 정도 미타설 옥탑층 부분만 미타설한 상태에서 콘크리트 타설중이던 콘크리트공(형틀공이 콘크리트 타설) 5명은 점심식사를 하기 위해 지붕 슬래브에서 내려가고, 바닥미장공 3명만이 남아서 바닥 면고르기 작업을 진행하던중(기온이 높은 여름철에 콘크리트의 경화가 조속히 진행되면 면고르기 작업을 하기 어려움.), 기타설된 콘크리트의 중량을 이기지 못한 동바리공의 붕괴가 중앙으로부터 급격히 진행되어 슬래브가 붕괴되어 일어난 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 직접원인

① 거푸집 동바리공 조립도 미작성

- 동바리공의 지주, 이음매, 마디등 부재의 치수 및 배치가 명시된 조립도를 미작성하였음.

② 거푸집 동바리공 설치구조 불량

- 슬래브의 높이가 6.2~8.0m인데도 지지강도가 불확실한 목재(2.7'×2.7'×9자)로 교차걸침목에 의한 3단 동바리공을 설치함으로 수평력 및 좌굴에 대한 안전성이 결여됨.

- 슬래브의 콘크리트 타설하중에 대한 동바리공의 사전 안전성 검토없이 경험에 의하여 설치

- 목재를 지주로 사용할 경우 높이 2m 이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 설치하고 수평연결재의 변위를 방지해야 하나 미 실시하였거나 설치불량

- 깔목과 지주의 고정, 지주와 걸침목의 고정, 지주와 멍에와의 고정, 걸침

목 교차부간의 고정, 걸침목간의 연결등 동바리공 설치시의 작업성 불량예상

③ 안전조치 미흡

- 콘크리트 타설작업시 거푸집 동바리공에 대한 점검을 소홀히 하여 급박한 위험발생시 작업중지 등의 조치를 취하고 근로자를 즉시 대피시켜야 하나 미 실시

○ 간접원인

① 안전담당자 직무소홀

- 안전담당자는 작업중 현장 제반여건을 고려하여 안전한 작업방법을 결정하고 작업을 감시하고 지휘감독해야 하나 직무소홀

② 안전관리 총괄책임자 직무소홀

- 콘크리트 타설시 거푸집 동바리공 감시자를 배치해야 하나, 점심식사로 철수

- 급박한 위험이 있을시 작업중지 및 근로자를 대피시켜야하나 미 실시

ii) 재해예방 대책

○ 기술적 대책

① 거푸집 동바리공 조립도 작성

- 거푸집 조립시는 안전성 검토후, 지주 이음매 마디등 부재의 치수 및 배치가 명시된 거푸집 동바리공의 조립도를 작성하고 조립도에 의하여 동바리공을 설치

② 동바리공 설치방법 개선

- 슬래브의 층고가 높은 경우는 자체 안전성이 높은 강관틀 동바리공(BT)등을 이용하여 동바리공을 설치하고 교차가새 설치, 수평연결대 설치 및 수평변위 방지조치를 한다.

○ 관리적 대책

① 작업전 점검 철저

- 콘크리트 타설 작업전 조립도의 준수여부 및 동바리공의 변형 변위 여부등을 조사하고 이상 발생시는 보수한다.

② 콘크리트 타설시 감시자 배치

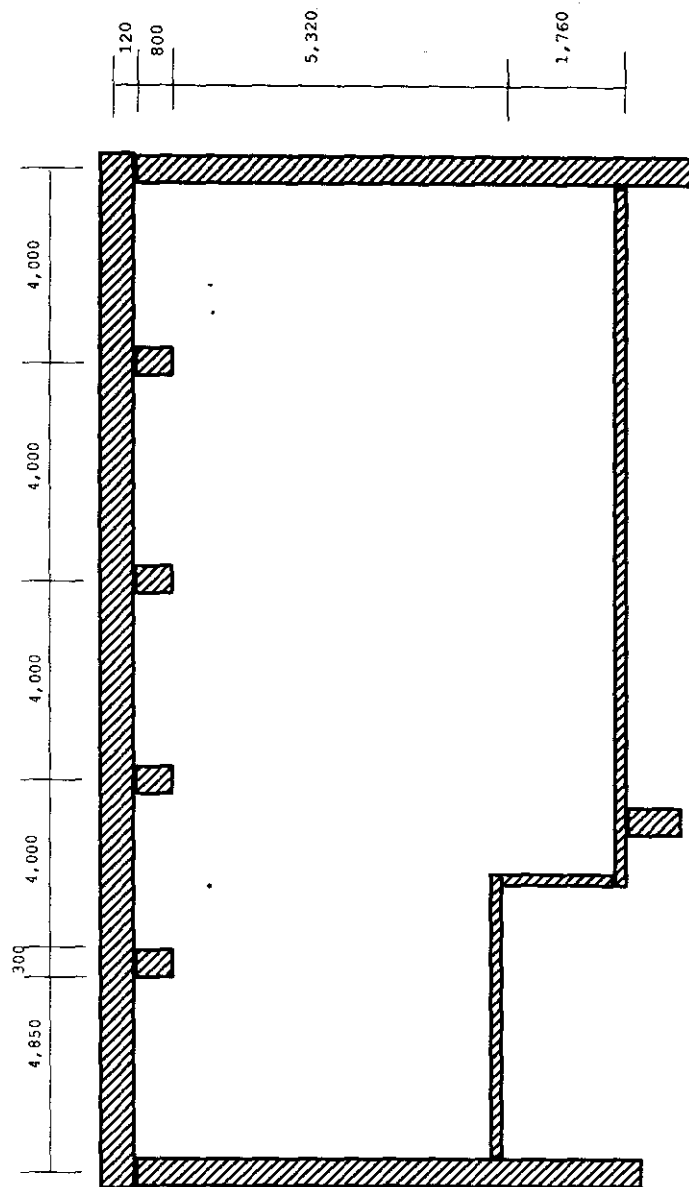
- 콘크리트 타설 작업중에는 감시자를 배치하여 거푸집 동바리공의 변형, 변위등 이상을 발견한 경우에는 작업중지 및 근로자를 대피시켜야 한다.

③ 안전관리자 직무충실

- 안전한 작업방법 결정 및 작업지휘
- 재료기구의 결함유무 결정, 불량품 제거
- 보호구 착용상태 감시

④ 안전관리 총괄책임자는 하도급자의 안전관리에 관련하여 총괄책임지도를 써 직무를 수행하여야 한다.

- 재해발생의 급박한 위험이 있을 시 작업중지 및 근로자 대치
- 도급사업에 있어서의 안전보건 조치



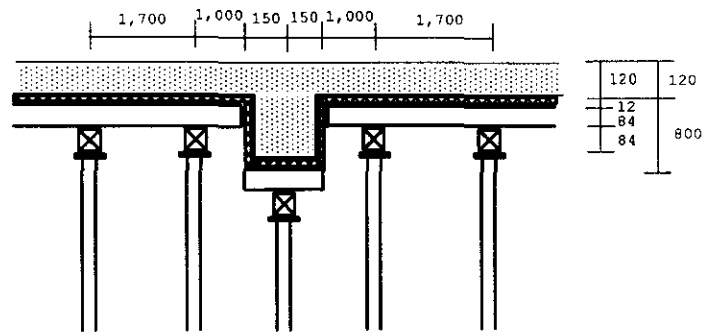
[그림4-16] 개략 도면(사례6)

라. 구조해석

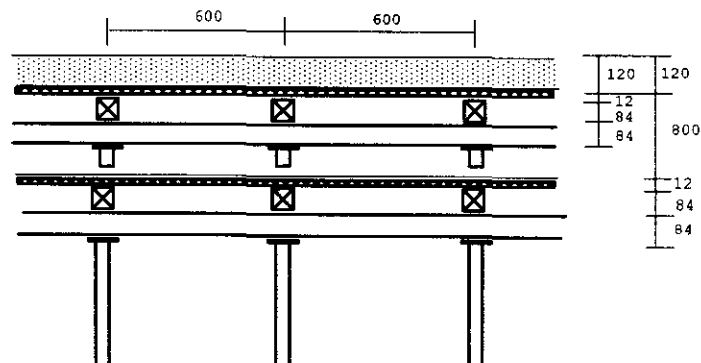
본 사례6에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-17a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-17b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-18]과 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-23>과 같다.

<표4-23> 구조해석 데이터(사례6, cm)

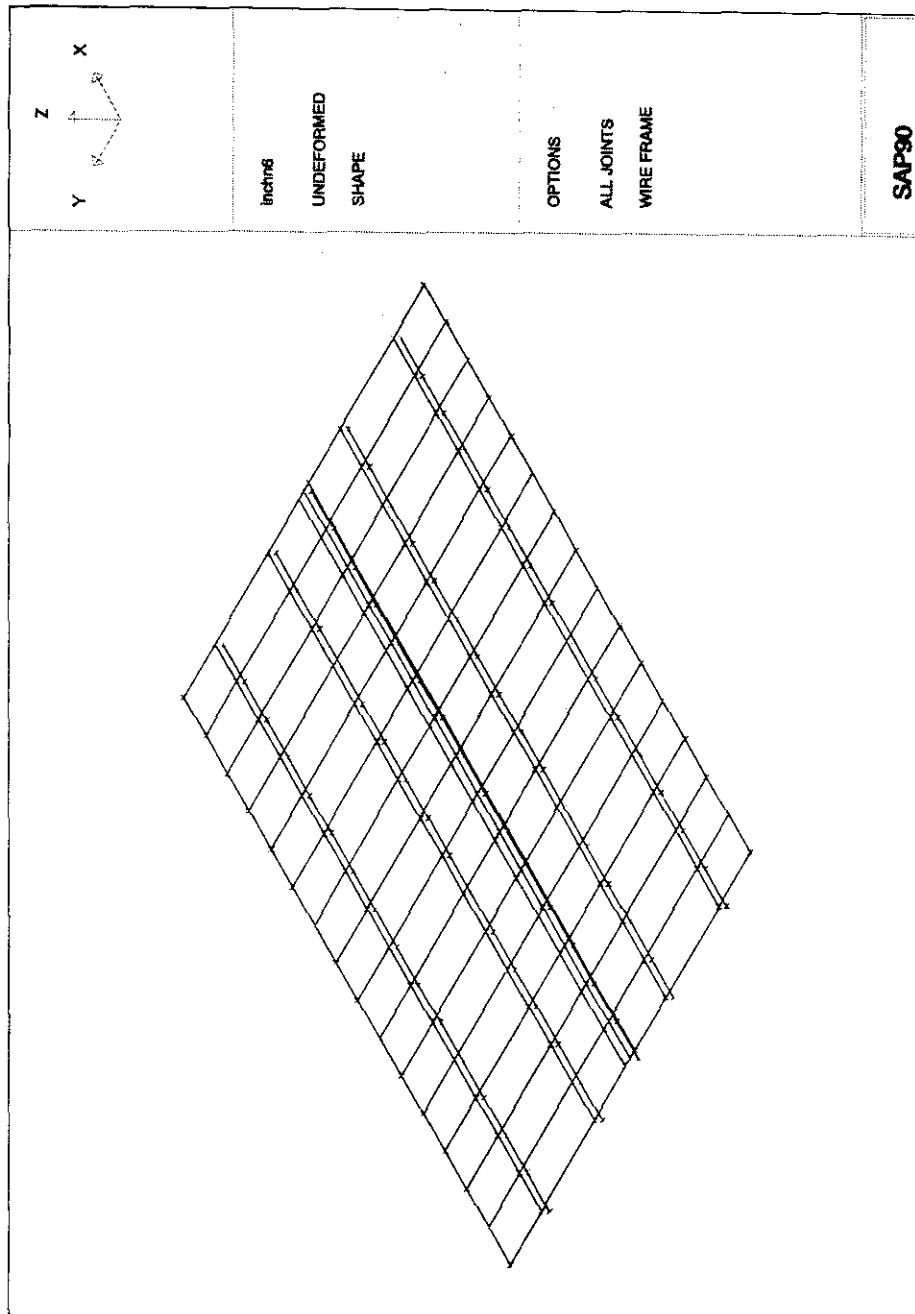
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
12	30×80	60 (가정)	60 (가정)	170 (가정)	-	170×60 (가정)	60 (가정)



[그림4-17a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례6)



[그림4-17b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례6)



[그림4-18] 구조해석 모델링(사례6)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 5.42 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{5.42}{0.24} = 22.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 20634.21 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{20634.21}{98.78} = 208.89 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 92.13 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{92.13}{98.78} = 0.93 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례6의 배수펌프장 지붕층 동바리높이가 약 8.0m로서 각재(84mm×84mm)를 3단으로 설치하고, 각재와 각재 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 이러한 각재의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 4084.6 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1302.95 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} < P_a$$

O.K

<표4-24> 부재검토 결과표(사례6)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	23	135	209	135	0.9	4085	1303
O.K		N.G		O.K		O.K	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례6에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $22.58kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 훨씬 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하나, 장선에 작용하는 최대응력은 $208.89kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 높은 응력을 보여 장선은 불안전하며, 명에에 작용하는 최대응력은 $0.93kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 매우 낮은 값을 보여 명에는 매우 불안정한 결과를 보였다. 또한 본 사례6의 동바리는 각재를 사용하였기 때문에 각재 동바리에 대한 압축력을 검토한

결과, 각재 동바리의 최대압축하중은 1302.95kg로 허용압축하중 4084.6kg보다 낮은 결과를 보여 수평연결재를 확실하게 시공했다면 지지력에는 문제가 없었을 것으로 사료된다.

한편, 본 사례6의 구조해석은 재해조사결과보고서의 재해상황도를 근거로 하여 동바리의 간격을 결정하여 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보이나, 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보이는 결과를 보였으며, 또한 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중보다 크게 낮아 동바리의 지지력은 슬래브와 보의 하중을 견딜 수 있는 정도는 되는 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례6의 근본적인 붕괴원인은 명에의 간격을 너무 크게 배치하여 장선에 과도한 하중이 작용하여 허용응력을 상회하였고, 각재 동바리는 적당하게 배치, 각재 동바리에 작용하는 하중이 허용하중보다 낮아 비슷하게 되어 지지력은 문제 없었던 것 같으나 동바리의 높이가 최대 약 8.0m로서 각재 동바리를 3단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 각단의 각재 동바리를 일치시키지 않았을 뿐만 아니라 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았고, 동바리의 높이가 최대 약 8.0m 임에도 불구하고 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 높이 2m마다 2방향으로 수평연결재를 시공하여야 하나, 본 사례에서는 이러한 수평연결재를 생략하여 시공한 점을 들 수 있다.

<표4-25> 재해분석 비교(사례6)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
슬래브의 높이가 6.2~8.0m인데도 목재 걸침목에 의한 3단 동바리공 설치로 수평력 및 좌굴에 대한 안전성 결여, 수평연결재 시공 불충분, 지보공의 고정 미흡 등으로 붕괴가 발생한 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 장선의 응력이 허용응력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[7] 사례7

가. 재해개요

<표4-26> 재해개요(사례7)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
중앙토건(주)	실덕-음성간 도로개수	1993. 11. 4	사망 3명, 부상 2명

나. 재해 상황

사고의 BOX 구조물은 일주일전부터 Remicon(25-210-8)과 Pump Car를 이용 콘크리트 타설을 해왔다고 하며, 사고전일에는 벽체타설을 완료하고 상부 슬래브의 전면을 약 1/2두께(70cm중 35cm) 정도를 타설하였다.

사고 당일에 70 m³를 타설하면 BOX가 완성될 예정이었으며 약 30 m³ 정도를 타설중에 하부에서 “찌그덩” 하는 울림소리와 함께 슬래브의 중앙부분이 무너져 내려 작업중이던 5명중 4명이 휩쓸려 들어갔고(3명사망, 1명부상), 1명은 BOX 바깥으로 뛰어 내렸다.

이때, 슬래브의 높이가 8m이므로 Pipe 동바리를 @600×1000 정도의 간격으로 2단을 설치하였으며 상,하단 사이는 각재(9cm×9cm)를 설치하였고, 상,하단의 동바리는 각재로 일방향 수평연결재를 1단씩 설치하였고, 슬래브는 완전히 함몰되었고, 양벽체의 하부 현치상부에서 내부쪽으로 부러져 상부현치부가 서로 맞대어 삼각텐트의 형상으로 붕괴되었다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인 추정

○ 높이 8m의 슬래브에 2단으로 Pipe 동바리(1단 설치높이 3.8m)를 연결 설치할 때에는 4개 이상의 BOLT나 전용철물을 사용하여 설치를 하였어야 하나, 상,하단 사이에 각재(9cm×9cm)를 사용함으로 인하여 상,하 동바리의 편심발생 또는 재질의 불연속으로 인한 응력집중 등으로 인한 각재의 부러짐으로 인하여 재해가 발생되었거나 또는

○ 사고전일 슬래브 두께의 1/2정도를 타설한 콘크리트가 응결이 어느 정도 완료된 상태에서 사고당일 콘크리트 타설작업시 진동 다짐기를 사용함으로 인해 거꾸집에 큰 진동이 전가되었을 것이며, Pump Car의 콘크리트 압송시 발생하는 큰 진동 및 횡력 등에 의해 슬래브 천정에 제대로 고정되지 않은 동바리

가 탈락되면서 재해가 발생된 것으로 추정됨.

○ 직접원인

① 강관지주(Steel Pipe 동바리) 설치 불량

- 강관지주를 2단설치 사용할 때는 BOLT나 전용철물을 사용하여 연결을 하여야 하나, 지주사이에 각재를 설치하여 정확한 이음이 되지 못했음.

② 수평연결재 설치부실

- 지주의 높이가 3.5m를 초과시 2m마다 2개 방향으로 수평연결재를 설치하였어야 하나, 1개 방향으로 각재 설치

③ 콘크리트 타설방법 불량

- 슬래브 콘크리트 타설은 전량을 1회 타설 완료함이 바람직하나 이 것이 불가피할 경우에는 부분적으로 콘크리트 타설을 완성해 나갔어야 하며, 슬래브를 상,하 2층으로 나누어 지는 것은 금하였어야 함.(전날 타설한 콘크리트가 철근에 부착하여 재해발생시 벽체를 잡아당기는 모멘트 하중으로 작용하여 순간적으로 붕괴됨.)

④ 철근조립 방법 불량

- D32 철근을 결속시에는 클립이나 압점을 하여야 하나 결속석(24번선)을 사용하여 약측벽의 이동을 방지할 수 없었음.

○ 간접원인

① 관리감독자 감독 소홀

② 거꾸집 동바리공 조립도 미작성

ii) 재해예방 대책

○ 기술적 대책

① 지주(Steel Pipe 동바리)의 이음은 BOLT나 전용철물을 사용

② 지주가 3.5m를 초과시에는 높이 2m마다 수평연결재를 2개 방향으로 설치하고 수평연결재의 변위를 방지

③ 슬래브 콘크리트 타설이 1회 완료가 불가할 경우는 구획으로 나눠치며, 상,하층으로 분리타설은 절대 금한다.

④ 32mm 이상의 굵은 철근은 정착에 문제가 있으므로 압점이음으로 하며, 철근의 이음위치를 동일선상에 하지 않고 엇갈리게 한다.

○ 교육적 대책

○ 특별안전교육 실시

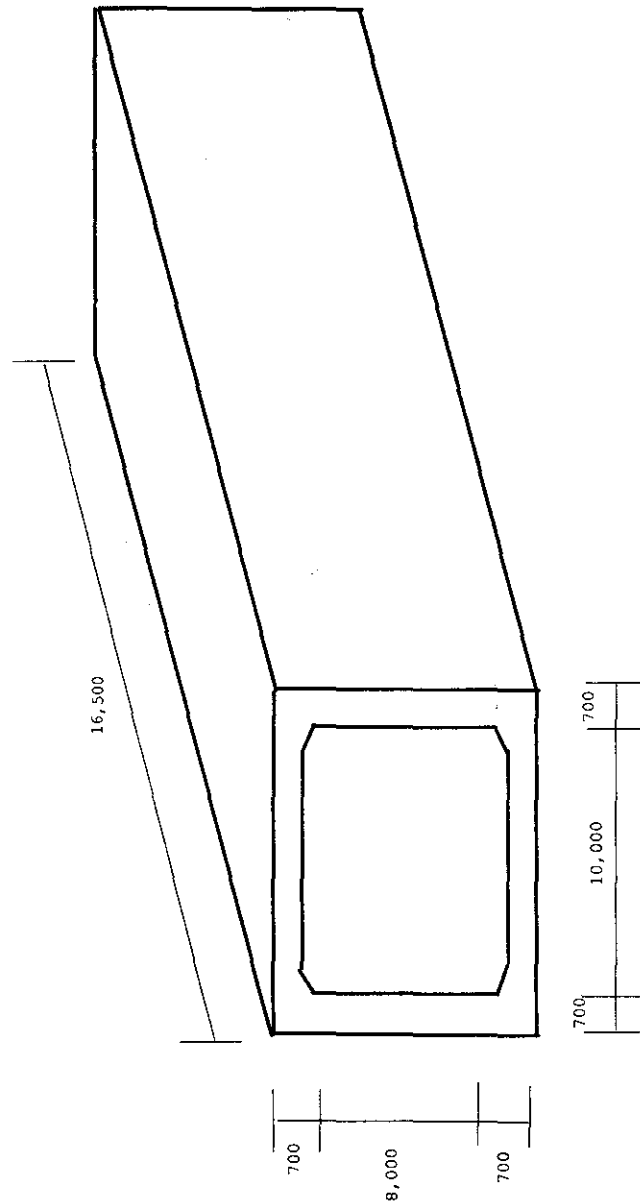
- 거꾸집 동바리공 설치방법 등에 관한 교육

○ 관리적 대책

① 관리감독자의 감독철저

- 거푸집 동바리공 설치방법 등 계획수립
- 콘크리트 타설전 점검 실시

② 거푸집 동바리공 조립도 작성



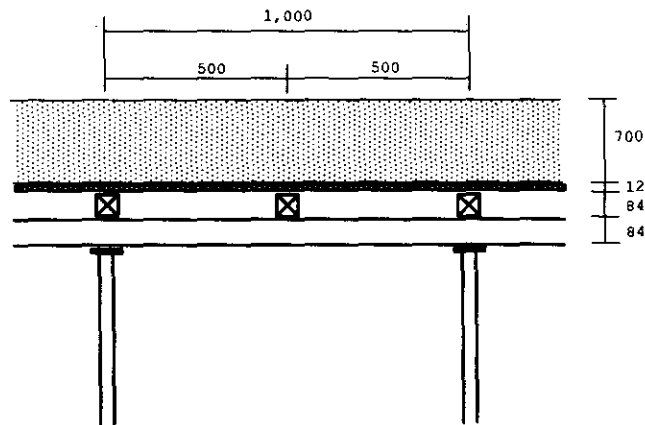
[그림4-19] 개략 도면(사례7)

라. 구조해석

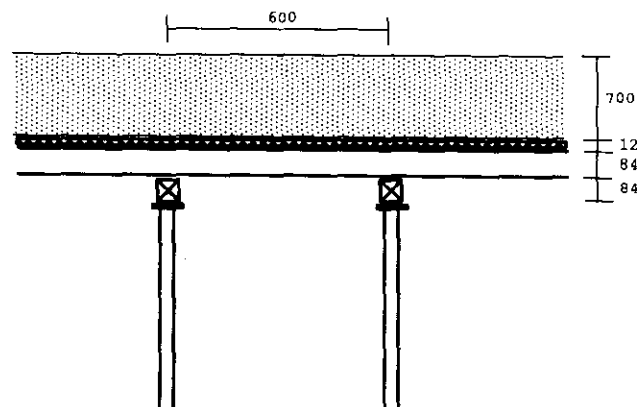
본 사례7에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-20a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-20b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-21]과 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-27>과 같다.

<표4-27> 구조해석 데이터(사례7, cm)

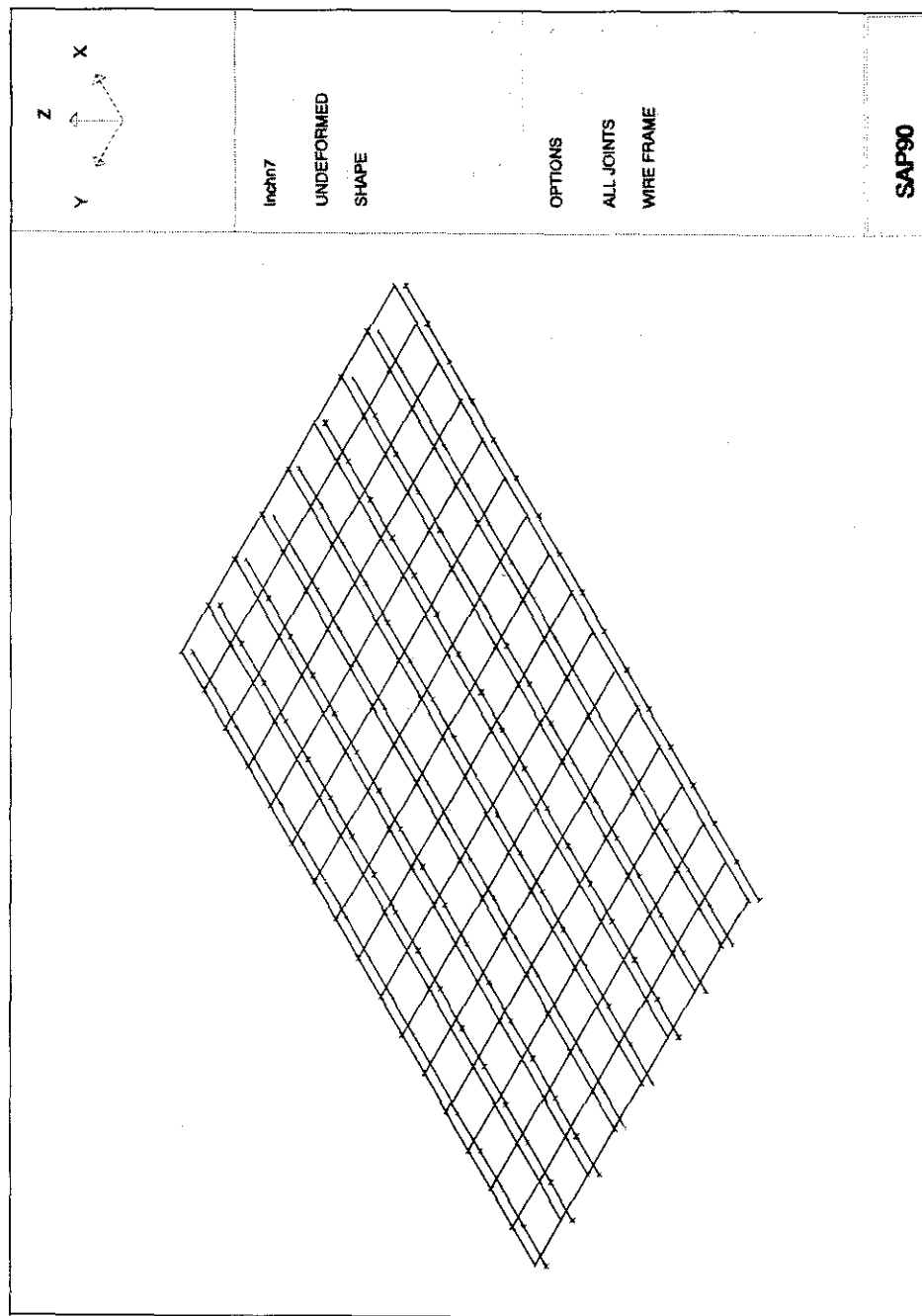
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
70	50 (가정)	60 (추정)	100×60



[그림4-20a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례7)



[그림4-20b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례7)



[그림4-21] 구조해석 모델링(사례7)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 3.94 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{3.94}{0.24} = 16.42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 171.87 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{171.87}{98.78} = 1.74 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 13836.62 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{13836.62}{98.78} = 140.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례7의 BOX 구조물 동바리높이가 약 8.0m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 Pipe 동바리가 사용된 것으로 가정하고 수평연결재가 없는 경우의 상하부가 목재 등의 부재에 지지된 것으로 보면, 이 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 950 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1738.07 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-28> 부재검토 결과표(사례7)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	16	135	12	135	140	950	1738
O.K		O.K		N.G		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례7에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $16.42kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 훨씬 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $11.86kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 낮은 응력을 보여 장선도 안전하나, 명에에 작용하는 최대응력은 $140.08kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 을 약간 상회하는 결과를 보여 명에는 어느 정도 안전한 것으로 나타났다. 또한

본 사례7의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1738.07 kg로 허용압축하중 950 kg보다 높은 결과를 보여 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례7의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 0.6m×1.0m로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멍에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 멍에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮거나 비슷한 안전한 구조를 보였으나, 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중보다 높아 동바리에 문제가 있었던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례7의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격을 너무 크게 배치하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 상회하였고, 동바리의 높이가 약 8.0m로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 각단의 Pipe 동바리를 일치시키지 않았을 뿐만 아니라 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았고, 동바리의 높이가 약 8.0m 임에도 불구하고 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 높이 2m마다 2방향으로 수평연결재를 시공하여야 하나, 각단에 일방향으로만 수평연결재를 설치한 점을 들 수 있다.

<표4-29> 재해분석 비교(사례7)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
강관동바리의 설치불량, 수평연결재 설치 불충분, 콘크리트 타설방법 불량, 철근조립방법 불량 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 멍에의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[8] 사례8

가. 재해개요

<표4-30> 재해개요(사례8)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
국태건설(주)	(주)우봉식품 신축공사	1994. 2. 7	사망 1명, 부상 3명

나. 재해 상황

지상 1층(포장실 및 창고, W=18m, L=40m) 옥상 Canopy(두께 10cm, 높이 H=1.2m), 작업장(20m×18m, H=8.5m), 옥상바닥(SLAB THK 150mm) 중 2층(사무실, 연구실, 다용도실, 화장실, 계단실부분, 10m×18m, H=3.5m), 옥상바닥(SLAB THK 150mm)에 사고당일 오전 9시부터 펌프카 2대가 반입되어 1대는 Canopy 부분, 나머지 1대는 옥상바닥 각각 콘크리트 타설중(콘크리트 타설예정량 약 280 m^3) 사고현장의 타설구간(30m×18m) 중 작업장 부분은 높이 5m까지 기둥, 보 부분만 콘크리트 타설된 상태이고, 2층 부분은 높이 5m바닥까지 콘크리트 타설되어 1층 골조가 완료되어 있는 상태였다.

10:30분경 약 100 m^3 타설된 상황에서 갑자기 거푸집 동바리공이 붕괴되기 시작하며 순식간에 전체 슬래브가 높이 약 8.5m 바닥으로 내려앉아 상부에서 작업중인 펌프카 기사 1명이 사망하고 작업자(콘크리트공) 3명이 부상을 입은 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인 추정

붕괴지점의 동바리공 상태 및 조립도 확인 불가로 붕괴부분의 조립상태를 목격자의 진술을 토대로 다음과 같이 여러 가지로 추정하였음.

1) 레미콘 기사의 타설작업 미숙 및 레미콘 차량의 신속한 타설을 위해 일부 구간에 집중 타설함으로써 붕괴지점에 집중하중이 작용되어 동바리공이 붕괴되었을 것으로 추정

2) 다음과 같은 내용의 시공상태 불량으로 동바리공이 붕괴되었을 것으로 추정

CASE 1. 합판판넬 직,하단에 설치한 각재(3'×3')의 파괴 가능성

(추가적으로 웅이 부분, 손상부분의 각재 사용 가능성)

CASE 2. 1,2단 Pipe 동바리 조립시 수직불량 및 외관, 내관을 반대로 설치한 다든가, 혹은 1단(하단) Pipe 동바리에 수평연결재 설치불량내지 미설치 등으로 편심하중에 의한 Pipe 동바리 전도에 의한 붕괴

CASE 3. Pipe 동바리 상단부 등의 고정(못설치) 미흡으로 진동, 충격, 편심 등에 의하여 Pipe 동바리가 미끄러지는 등 이탈 가능성

CASE 4. 1단(하단) 동바리공으로 Pipe 동바리 대신 주로 강관비계 조립에 의존하여 상용함에 따라, 접속부 및 교차부의 전용철물 상태 및 수평연결재의 상태가 불량내지 미설치등으로 휨변형에 의해 2단(상단) 동바리공이 전도, 붕괴가 발생되었을 가능성

CASE 5. 1,2단(상,하) 동바리공으로 사용한 Pipe 동바리 이음에 있어서 1단(하단) 동바리공위에 각재 및 합판을 깔고 상부 2단 동바리공 설치로 상하 Pipe 동바리 간격 및 이음위치가 일치하지 않고, 또한 이음부위에 보울트 또는 전용철물 등의 미사용으로 집중하중에 의해 Pipe 동바리 이탈 및 전도로 인하여 붕괴 가능성

* 목격자의 진술에 의하면 1단(하단) 동바리공위에 합판을 깔아놓은 상태에서는 1단 동바리공 바로 위에 2단 동바리공의 위치를 선정하기 매우 어려운 상태이기 때문에 이음부위의 일치가 거의 불가능한 상태라고 추정되며, 또한 이음부분에 4개 이상의 보울트 또는 전용철물대신 각재 및 합판에 못을 박아 연결된 것으로 추정되는 바 CASE 5의 경우로 인하여, 그리고 높이 3.5m를 초과하는 1단(하단) 동바리공에 수평연결재 설치(높이 2m 이내마다 2개 방향)가 직접 확인할 수 없어 CASE 2의 경우 등도 원인으로 추정됨.

○ 직접원인

- 거푸집 동바리공 설치구조 불량(안전규칙 제363조)
 - Pipe 동바리 수평연결재 설치불량 추정
 - Pipe 동바리 이음 상태 불량 추정
- 거푸집 동바리공 조립도 미작성(안전규칙 제362조)
- 콘크리트의 일부구간 집중타설등 타설방법 불량

○ 간접원인

- 콘크리트 타설작업시 감시자의 업무이행 미비(안전규칙 제365조)
- 안전교육 미비(시행규칙 제33조)
 - ii) 재해예방 대책

○ 기술적 대책

- 거푸집 동바리공 설치기준의 준수
 - 지주의 이음은 맞댄 이음으로 실시(상부 2단 동바리를 1단 동바리와 같

은 위치에 설치)

- Pipe 동바리를 이어서 사용할 때에는 4개 이상의 볼트 또는 전용철물을 사용하여 이을 것.

- 높이가 3.5m를 초과할 때에는 높이 2m이내마다 수평연결재를 2개방향으로 만들고 수평연결재의 변위를 방지(당 현장에서는 1단 Pipe 동바리의 높이가 4m를 초과하므로 수평연결재를 2단 설치하여야 함.)

- 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 하중검토후 조립도에 의거 설치

- Pipe 동바리 설치간격을 허용내력에 의한 등간격으로 설치

- 거푸집 조립검사 실시

- 콘크리트 타설방법의 개선

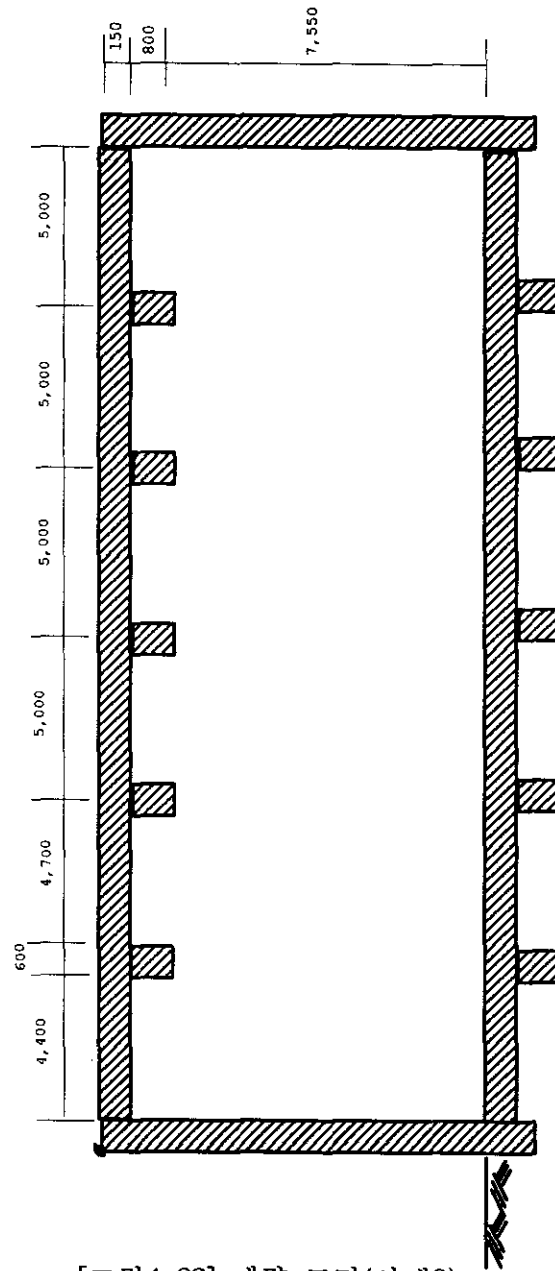
○ 교육적 대책

- 작업착수전에 근로자에 대하여 콘크리트타설 작업수칙교육을 포함한 작업의 위험성 및 안전한 작업방법 등에 관한 충분한 교육을 실시한다.

○ 관리적 대책

- 작업의 안전유무를 확인하고 콘크리트 타설방법에 대한 관리감독 철저

- 콘크리트 타설작업중에는 감시자를 배치하여 이상을 발견한 때(동바리공 변형시)에는 작업을 중지시키고 근로자를 대피시킬 수 있도록 업무이행 철저



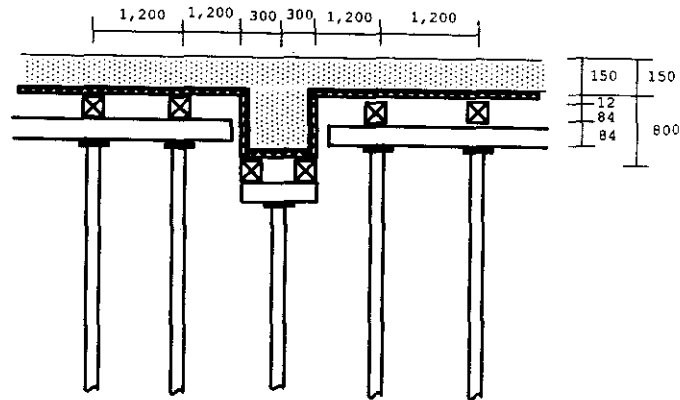
[그림4-22] 개략 도면(사례8)

라. 구조해석

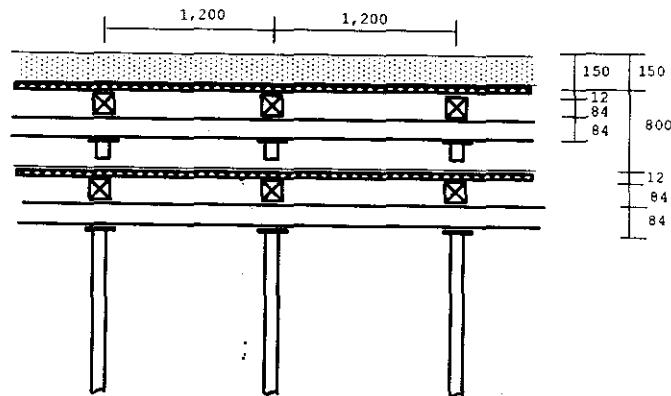
본 사례8에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-22a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-22b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-23]과 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-31>과 같다.

<표4-31> 구조해석 데이터(사례8, cm)

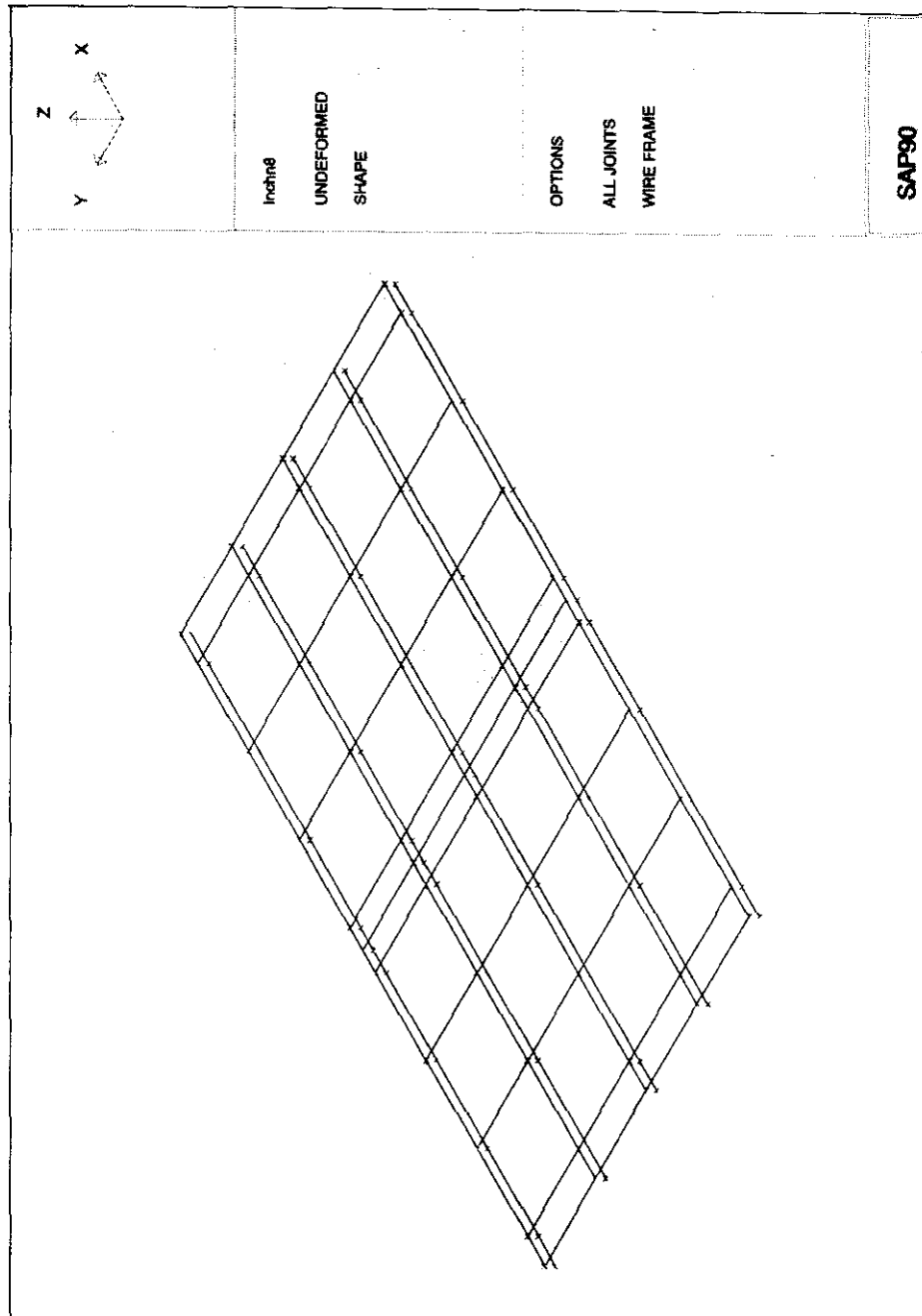
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
15	60×80 (가정)	120	60	120	120 (가정)	120×120	120 (가정)



[그림4-23a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례8)



[그림4-23b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례8)



[그림4-24] 구조해석 모델링(사례8)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 84.58 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{84.58}{0.24} = 352.42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 1978.23 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{1978.23}{98.78} = 20.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 32746.54 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{32746.54}{98.78} = 331.51 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례8의 신축건물 2층바닥 동바리높이가 약 8.5m로서 상부에 V_3 의 Pipe 동바리를 하부에 V_4 또는 V_5 의 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 950 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 3417.45 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-32> 부재검토 결과표(사례8)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	352	135	20	135	332	950	3418
N.G		O.K		N.G		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례8에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $352.42kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 크게 높은 응력을 보여 합판은 매우 불안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $20.03kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 훨씬 낮은 응력을 보여 장선은 안전하며, 명예에 작용하는 최대응력은 $331.51kg/cm^2$ 로 그 허용응

력 135kg/cm^2 을 크게 상회하는 결과를 보여 명에는 매우 불안정한 것으로 나타났다. 또한 본 사례8의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 3417.45kg 로 허용압축하중 950kg 보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례8의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ 로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 합판과 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례8의 근본적인 붕괴원인은 장선과 동바리의 간격을 너무 크게 배치하여 합판과 명에에 작용하는 응력이 허용응력을 크게 상회하였으며, 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 8.5m 로서 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 각단의 Pipe 동바리를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 동바리의 높이가 약 8.0m 임에도 불구하고 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 높이 2m 마다 2방향으로 수평연결재를 시공하여야 하나, 강관비계를 조립하여 수평연결을 시공하면서 접속부 및 교차부를 전용철물 등으로 확실하게 고정시키지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-33> 재해분석 비교(사례8)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
일부구간에 집중 타설함으로써 집중하중이 작용하고, 수평연결재 설치불량 및 미설치, 접속부 및 교차부 고정 미흡, 상하 Pipe Support의 간격 불일치 등으로 붕괴가 발생한 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 합판 및 장선의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[9] 사례9

가. 재해개요

<표4-34> 재해개요(사례9)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
세양산업(주)	고덕 펌프장 신설공사	1994. 3. 8	사망 2명, 부상 8명

나. 재해 상황

1994. 3. 8 14:30경 손필성(한중건설 작업반장)외 10명이 지붕 슬래브 콘크리트 타설작업중 손필성(목격자)은 지상 펌프카에서 콘크리트를 확인하고 있었으며 김영만(콘크리트공) 외 8명에 지붕으로 올라가 총 콘크리트물량 240 m^3 중 140 m^3 콘크리트 타설작업을 북쪽 단부에서부터 시작하여 남측방향으로 진행하여 나가 거꾸집 동바리공 전체가 수평력이 작용하게 되었으며, 파이프 받침(Pipe 동바리)의 설치간격이 넓어 상부하중을 견디지 못해 Pipe 동바리가 남서쪽 방향으로 전체적으로 기울면서 붕괴된 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

① 콘크리트 하중에 대한 파이프 받침(Pipe 동바리)의 설치간격이 넓어 지지력 부족

○ 콘크리트 타설시 작용하는 수직하중이 슬라브 지지용 Pipe 동바리(V_4)의 허용하중(1,050kg)을 초과하여 Pipe 동바리의 지지력이 부족하게 됨.

[파이프 받침의 종류별 허용하중]

종류	높이(mm)		고정편의 조절간격 (mm)	핸들의 조정 범위 (mm)	허용하중 (kg)	무게 (kg)
	최고	최저				
V_1	3,300	1,800	120	125	1800	12.3
V_2	3,500	2,000	120	130	1500	12.7
V_3	3,900	2,400	120	130	1200	13.6
V_4	4,200	2,700	120	130	1050	14.8
V_5	5,000	3,000	120	130	750	17.5

- 작용하중 산정

$$\begin{aligned} W &= 1.5rt + 150 \text{ (kg/m}^2\text{)} \\ &= 1.5 \times 2,400 \times 0.15 + 150 \\ &= 690 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

여기서, W : 작용하중

r : 철근콘크리트 단위중량(2,400 kg/m³)

t : 슬래브 두께(m)

파이프 받침 간격 : 1.5m × 1.5m

파이프 받침 1본당 부담하중 : 690 × 1.5 × 1.5 = 1,552.5kg

∴ 파이프 받침 1본당 부담하중(1,552.5kg) > 허용하중(1,050kg)

② 거푸집 동바리공의 파이프 받침 수평연결재 설치방법 불량 및 재료 부적합

○ 파이프 받침의 경우 설치높이가 3.5m를 초과할 때는 높이 2m마다 수평연결재를 2개 방향으로 만들고 수평연결재의 변위를 방지하여야 하나 설치높이 3.94m의 파이프 받침에 수평연결재를 각재(3cm×3cm 등)를 사용하여 1개 방향으로만 철선으로 긴결하여 작용하중에 의한 파이프 받침의 좌굴 및 변위를 방지하지 못함.

③ 콘크리트 타설방법 불안전

○ 콘크리트 타설시 한쪽에서부터 집중타설하여 하중의 불균형으로 편심하중에 의한 거푸집 동바리공 전체에 수평력이 작용하게 되었고 수평연결재의 조립상태 불량 및 파이프 받침의 조립방법 불량으로 인하여 붕괴됨.

라. 거푸집 동바리공 조립도 미작성

○ 거푸집 동바리공을 조립할 때에는 거푸집의 형상 및 콘크리트 타설방법 등에 따른 견고한 구조로 하기 위해 구조검토를 통한 부재의 재질, 치수, 설치간격 및 조립방법 등을 결정하고 조립도를 작성하여 조립도에 의하여 조립하여야 하나 미 실시

ii) 재해예방 대책

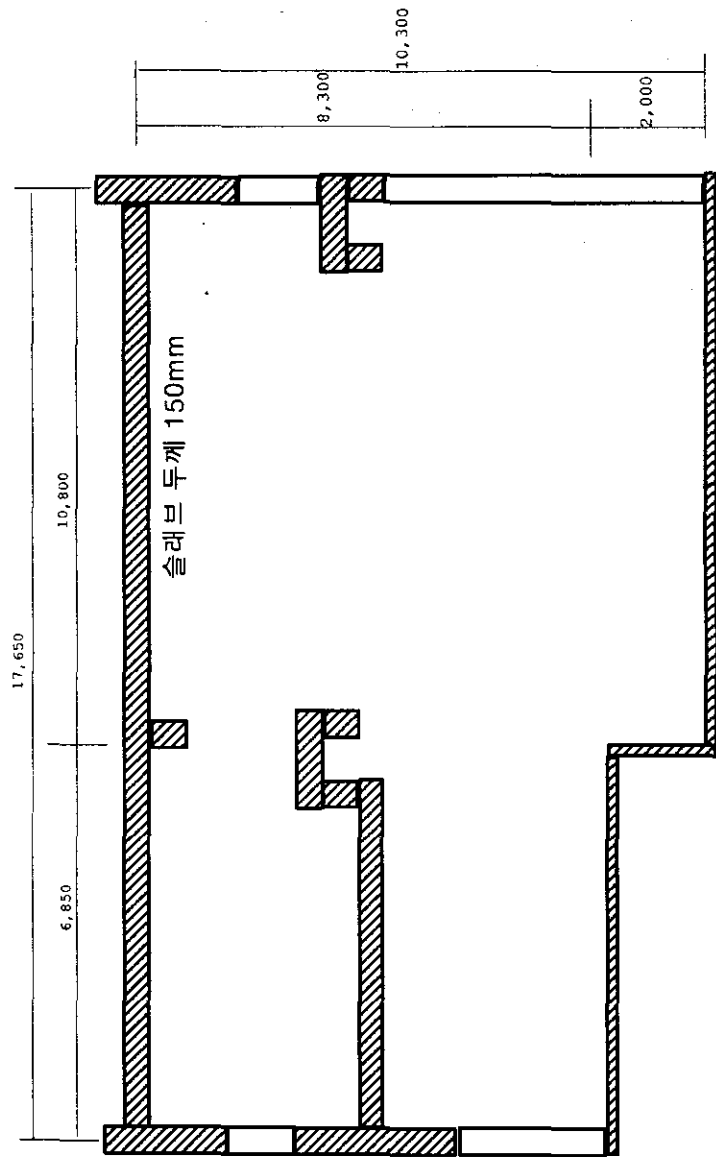
① 거푸집 동바리공 조립시에는 거푸집의 형상 및 콘크리트 타설방법 등을 고려해 구조검토를 통한 부재의 재질, 치수, 설치간격 및 조립방법 등을 명기한

조립도를 작성하고 조립도에 의해 거푸집 동바리공을 조립하여야 한다.

② 3.5m를 초과하는 파이프받침에는 수평연결재를 2m 이내마다 2개 방향으로 강관과 Clamp 등을 사용하여 견고히 설치도록 한다.

③ 콘크리트 타설시 한쪽에서부터 집중타설하면 하중 불균형으로 편심하중에 의해 거푸집 동바리공 전체에 수평력이 작용하게 되어 1개의 파이프 받침이 좌굴하는 것만으로도 연쇄적으로 쓰러져 붕괴가 되므로 편심하중이 생기지 않도록 하중의 균형을 고려하여 타설한다.

④ 파이프 받침의 상,하단부의 받이판과 바닥판은 2개소 이상 못 등으로 정시킨다.



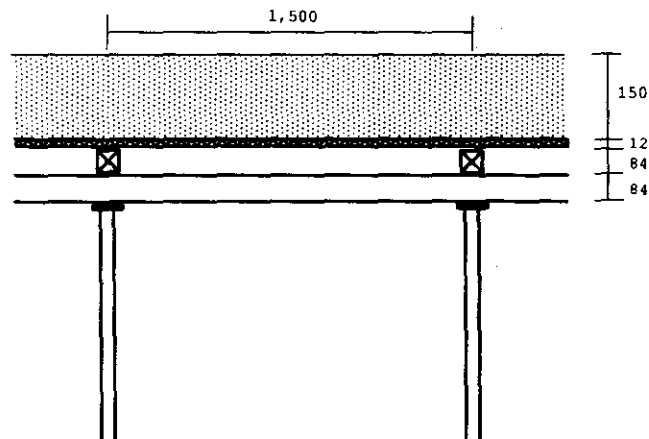
[그림4-25] 개략 도면(사례9)

라. 구조해석

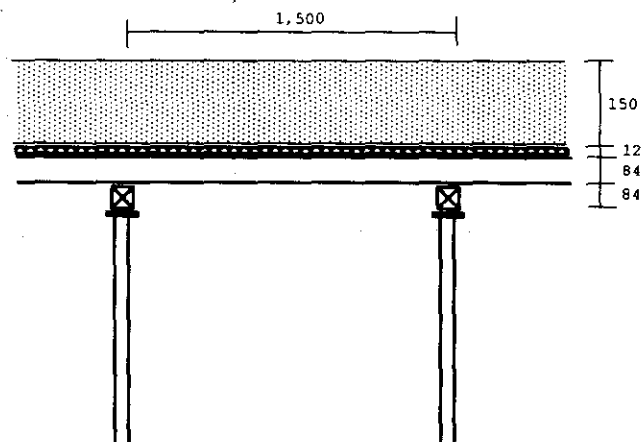
본 사례9에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-26a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-26b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-27]과 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-35>와 같다.

<표4-35> 구조해석 데이터(사례9, cm)

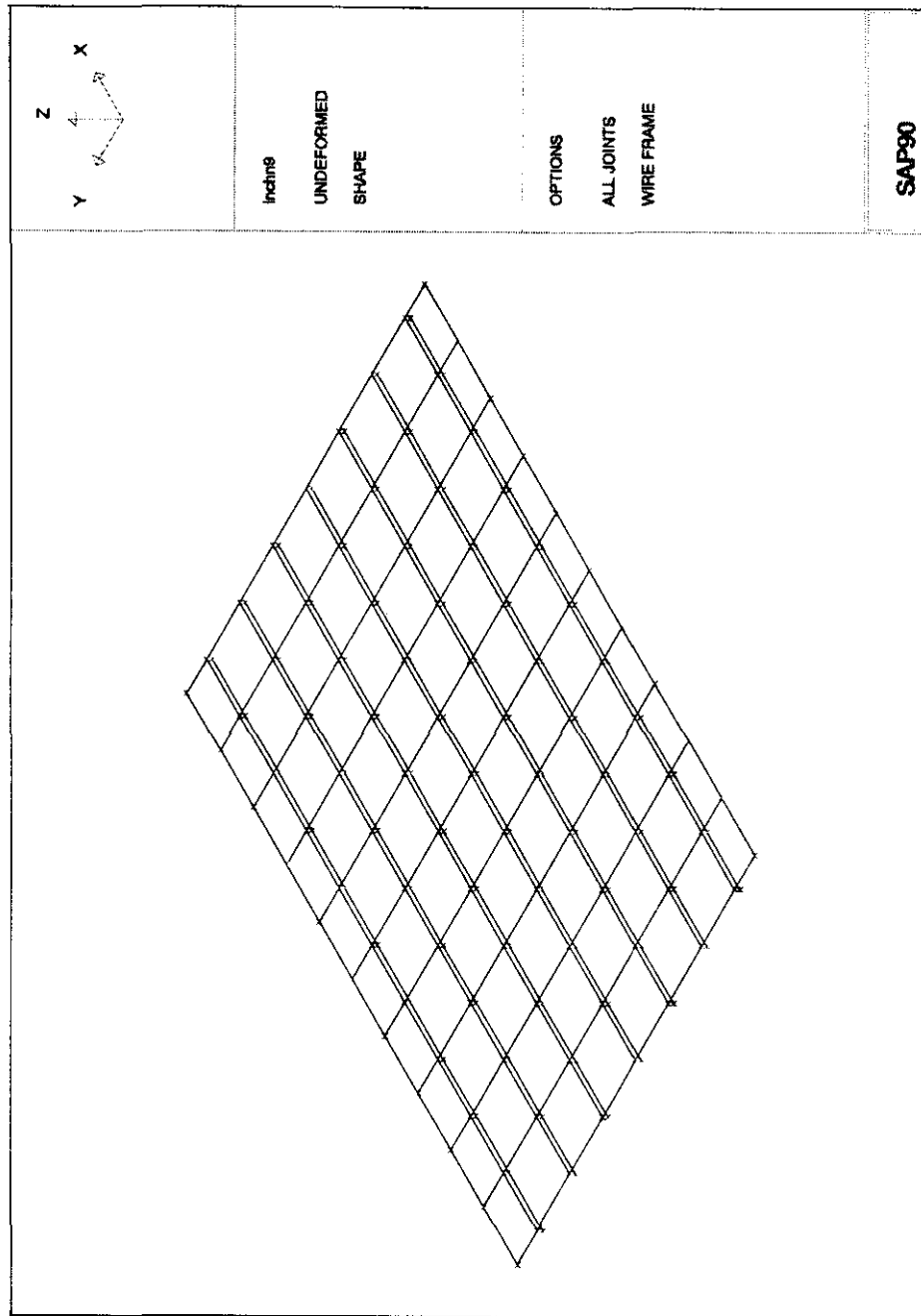
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
15	150 (가정)	150	150×150



[그림4-26a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례9)



[그림4-26b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례9)



[그림4-27] 구조해석 모델링(사례9)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 4.62 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{4.62}{0.24} = 19.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 40795.74 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{40795.74}{98.78} = 413.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 175.57 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{175.57}{98.78} = 1.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례9의 펌프장 지붕층 슬래브 동바리높이가 약 10.3m로서 상부에 V_4 의 Pipe 동바리를 하부에 $\phi 48.6$ 단관파이프를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_4 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 800 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2095.45 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-36> 부재검토 결과표(사례9)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	19	135	413	135	2	800	2096
O.K		N.G		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례9에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $19.25\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $413.00\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 높은 응력을 보여 장선은 매우 불안전하며, 명예에 작용하는 최대응력은 $1.78\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력

135kg/cm²보다 매우 낮은 결과를 보여 명에는 매우 안전한 것으로 나타났다. 또한 본 사례9의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 2095.45kg로 허용압축하중 800kg보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례9의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 1.5m×1.5m로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례9의 근본적인 붕괴원인은 명에의 간격을 너무 크게 배치하여 장선에 작용하는 응력이 허용응력을 크게 상회하였으며, 또한 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 10.3m로서 상부에 Pipe 동바리를 하부에 단관파이프를 2단으로 설치하고 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리와 하부의 단관파이프를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 설치한 수평연결재로 각재 또는 단관파이프를 사용, 철선으로 이음으로써 동바리와 수평연결재가 확실하게 고정되지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-37> 재해분석 비교(사례9)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
콘크리트 하중에 대한 Pipe Support의 지지력 부족, 수평연결재 설치방법 불량 및 부적합 등으로 붕괴된 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 장선의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[10] 사례10

가. 재해개요

<표4-38> 재해개요(사례10)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
두산건설(주)	정보통신센타 신축공사	1995. 5. 4	사망 1명, 부상 5명

나. 재해 상황

B Part 지상1층 바닥은 사고전일 철근을 검측하고, 95년 5월 4일 7경부터 콘크리트 타설을 시작, 당일 1026 m^3 를 타설할 예정이었는데, 거푸집 및 콘크리트 협력업체 유마건설(주)는 콘크리트공 11명(SLAB 상부 5명 기타 지원작업 6명) 형틀목공 2명(지하1층)의 인원을 투입하여, 오전에 기둥, 벽체부분은 먼저 타설하고(벽체 9.0m중 4.5m는 '94년 타설), 오후에 보부분을 타설한 후 슬래브부분을 타설, 수영장부 슬래브 콘크리트 타설 완료 단계에 있었다.

21시30경, 콘크리트 타설이 마무리 되어감에 딸 동료 형틀목공 권기오가 지하1층에서 먼저 나온후 피재자 강학희가 혼자 남아 랜턴을 들고 거푸집-동바리공의 이상유무를 살피던중 동바리공이 붕괴되어 동바리재-콘크리트에 매몰되었으며, 콘크리트 타설 및 상면 고르기 작업중이던 콘크리트공 5명은 21시45경 구조되고, 피재자 강학희는 다음날 09:20경 발굴된 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인 추정

- 슬래브 거푸집-동바리구조 취약 설계, 시공

1) 층고 9.0m, 슬래브 두께 40cm의 슬래브 거푸집-동바리를 상,하부 2층 Pipe 동바리 구조(상부 Steel Pipe 동바리, 하부 비계 Pipe 동바리) 동바리 간격 ① 60cm로 시공하여 구조적으로 안전율을 고려한 축(수직)하중 지지력이 불확실하였으며

2) 상,하단 동바리 - 수직시공 이음부 결속 미흡

동바리 중간부에 3"×3" 각재를 2단으로 삽입하고 상,하단 동바리의 중심을 정밀하게 수직으로 시공하지 않았으며 이음부 결속이 미흡하여 동바리에 축(수직)하중과 동시에 휨 모멘트가 발생, 연쇄 좌굴된 것으로 추정됨.

* 붕괴된 동바리류의 일부 노출된 상태가 절곡된 것이 많지 않은 것으로 보아 상,하 동바리 이음부(3"×3" 각재)에서 취약성이 노출된 것으로 추정됨.

슬래브 거푸집-동바리공 구조 검토

1) 조건, 슬래브 THK 400mm, 합판섬유방향 배치, 단순보로 가정
 총고 9000mm 허용처짐량 3mm

2) 사용재료

- 거푸집 : PLY WOOD THK 12mm
- 장선, 명에 : 미송각재 3'×3'
- 동바리 : Steel Pipe 동바리 V_5 , H=4.60m
 비계 Pipe 동바리, H=4.40m

3) 하중계산

$$\text{고정하중} : 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.4\text{m} = 960 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{충격하중} : 960 \times 0.5 = 480 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{작업하중} \qquad \qquad \qquad 1,590 \text{ kg/m}^2$$

4) Pipe 동바리 검토

가) Pipe 동바리 간격 0.60m×0.6m 일 때 1분당 축(수직)하중

$$1,590 \text{ kg/m}^2 \times 0.6\text{m} \times 0.6\text{m} = 572.4\text{kg}$$

이는 총고 H=4.60m인 경우(동바리가 수평-견고한 콘크리트 바닥에 설치된 경우)

$$572.4\text{kg} < \text{Steel Pipe 동바리 } V_5 \text{ (H=4.6m)}$$

$$\text{허용하중 750에 안전율 1.3을 고려 } 750/1.3 = 577\text{kg}$$

나) 비계 Pipe 동바리의 Critical Bulking Load(임계 좌굴하중, Euler 하중)
검토

$$\phi 48.6\text{mm } 2.4\text{T (STK 51)}$$

$$E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2, F_b = 2,400 \text{ kg/cm}^2, I = 9.32 \text{ cm}^4, Z = 3.83 \text{ cm}^2$$

$$L = 440\text{cm}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{k^2 L^2} = \frac{\pi^2 \times 2,100,000 \times 9.32}{k^2 440^2} = \frac{997}{k^2}$$

k : 단의 고정상태에 따른 계수로

일단 Hinge 일단 자유단(구속력이 없는 경우)인 경우 2

양단 Hinge인 경우 1이나 이 경우 1과 2의 중간값 1.5로 보면

$$P_{cr} = 997/2.25 = 443\text{kg}$$

지지단 고정상태에 따른 구속력의 부족으로 지지력을 확신하기 어려움.

다) 층고 9.0m에 단일 동바리 사용 검토

① 기성제품으로서의 Pipe 동바리는 6.0m 이상의 층고에 사용할 수 없으나 사용(가정) 검토해 보면

Steel Pipe Support 종류별 최대길이	허용하중(kg)
V1 3.30m	1800
V2 3.50m	1500
V3 3.90m	1200
V4 4.20m	1050
V5 5.00m	750

$$P_a = \frac{k}{L^2} \text{에서 } k \text{는 비례상수이고}$$

$$k = 750(5.0)^2 = 18,750\text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$L = 9.0\text{일 때 허용하중 } P = \frac{18,750}{9^2} = 231\text{kg}$$

② 비계 Pipe 동바리인 경우

$$P_{cr} = \pi^2 \times 2,100,000 \times 9.32 \times 10^2 = 238\text{kg} \quad (k=1 \text{인 경우})$$

따라서, 단일 동바리로 사용 가정시 동바리 양단의 지지구조를 확실히 한 경우 동바리 간격은

$$1,590 \times \chi^2 < 230/1.3 = 177$$

$$\chi^2 < 0.113$$

$$\chi < 0.34\text{m}$$

이는 실제작업이 곤란한 수치이며 사용할 수 없다.

라) 2층구조 Pipe 동바리 구조시 중간 3'×3' 각재에 대한 지지점 검토

위 가), 나)에서 검토한 바와 같이 상,하단 동바리 중간부가 하나의 슬래브처럼 동바리의 축력을 안전흡수, 지지할 수 있는 경우에는 사용가능하나 동바리 중심축의 정밀한 시공, 상,하 동바리 부재의 완전 이음-결속이 어려운(이음볼트, 전용철물을 구하기 어려움) 상황에서는 기둥부재로서의 상,하단 동바리 시공이 부적합함.

* Pipe 동바리의 허용하중은 동바리 밑 받침부분의 지지능력, 평탄성을 전제로 산출된 것임.

○ 재해발생 원인

○ 슬래브 거푸집 동바리공 설계, 시공 취약

- 당초 층고 9.0m 슬래브 두께 0.4m의 슬래브 거푸집 동바리공 조립도를 작성하긴 하였으나 동바리구조에 대한(역학적 및 시공상) 안전성 검토가 불확실하여 구조 검토 계산서 미작성 - 구조적으로 불안전하였고

- 또한 시공과정에서 상,하단 동바리의 이음부 결속, 동바리 Center의 수직성을 확보하는 시공이 이루어지지 않았음.

ii) 재해예방 대책

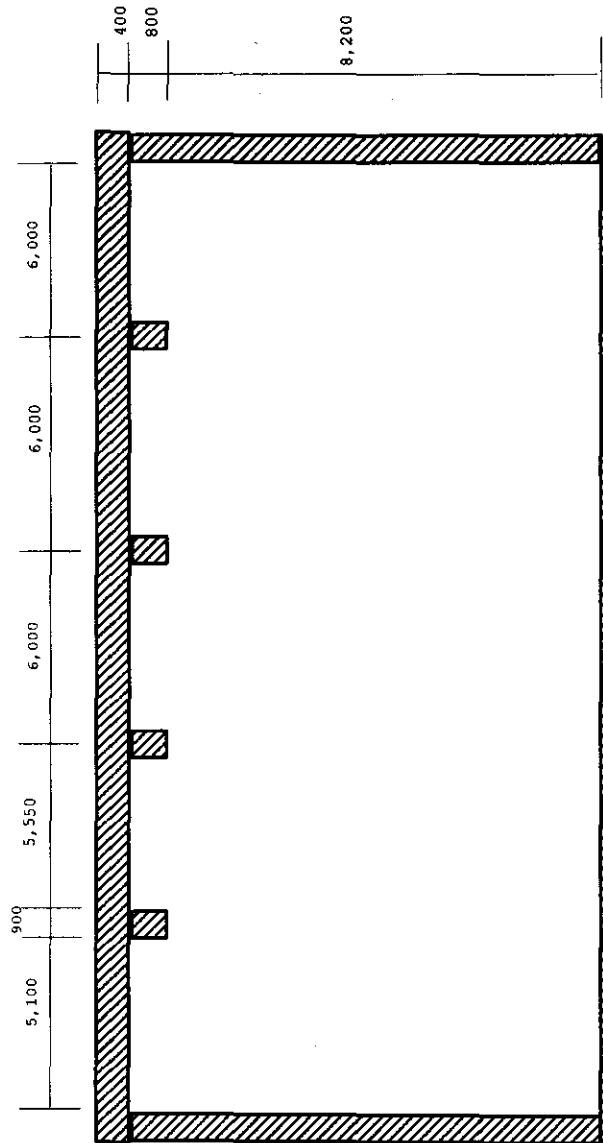
가) 거푸집 동바리공, 구조 안전성 검토에 의한 조립도 작성, 시공 철저

구조물의 벽, 기둥 슬래브 등 거푸집 동바리공은 슬래브 두께, 층고, 허용 처짐값 등 설계조건과 고정, 충격, 작업 등 모든 작업하중을 충분히 고려하여 사용재료 및 동바리(공) 구조를 검토하고, 안전율($F_s = 1.3$)을 감안하여 결정, 동바리 조립도(Shop Drawing)를 작성하여야 하며, 그에 따라 정밀하게 시공하여야 한다.

나) 사고부분과 같이 층고(H=9.0m), 슬래브 두께(40cm)가 두터운 경우의 동바리구조는

- 전체를 강관 틀비계(5단) 구조로 설계-시공하거나

- 하부에 틀비계를 3단 설치한 후 잔여높이(3.8~4.0m)를 Steel Pipe 동바리로 설계-시공하여 구조상 확실하고 안전하게 시공하여야 한다.



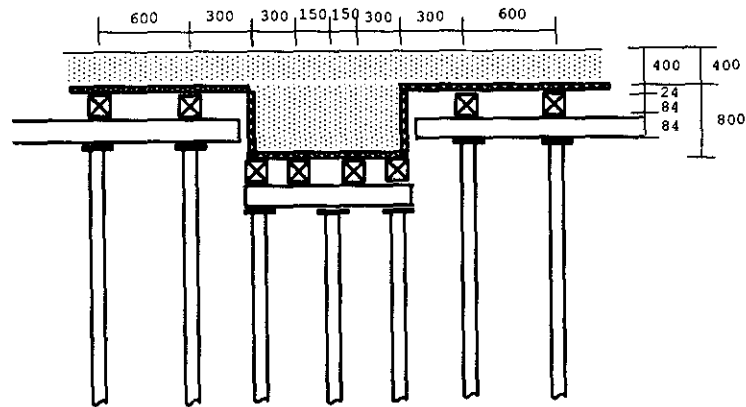
[그림4-28] 개략 도면(사례10)

라. 구조해석

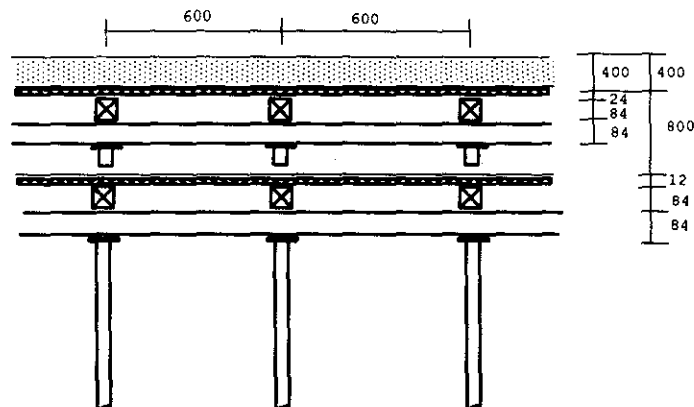
본 사례10에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-29a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-29b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-30]과 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-39>와 같다.

<표4-39> 구조해석 데이터(사례10, cm)

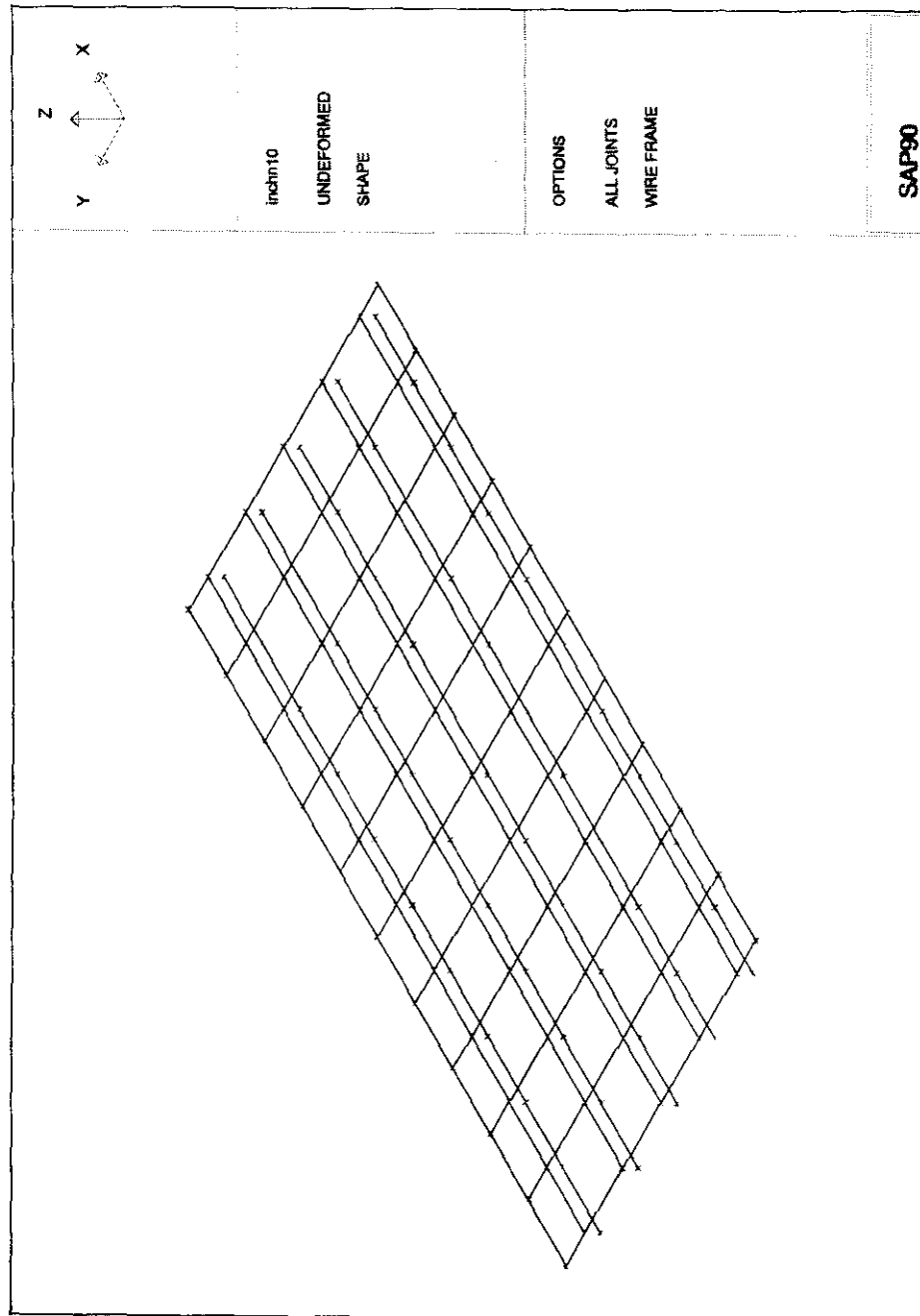
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
40	90×80	60	30	60	60	60×60	40×60



[그림4-29a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례10)



[그림4-29b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례10)



[그림4-30] 구조해석 모델링(사례10)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 26.78 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(2.4)^3}{12} = 1.152 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(2.4)^2}{6} = 0.96 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{26.78}{0.96} = 27.90 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 3874.93 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{3874.93}{98.78} = 39.23 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 6347.47 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{6347.37}{98.78} = 64.26 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K.}$$

④ 동바리 압축력 검토

본 사례10의 신축현장 지상1층 바닥 슬래브 동바리높이가 약 9.0m로서 상부에 V_4 의 Pipe 동바리를 하부에 $\phi 48.6$ 단관파이프를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_4 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 800 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1430.79 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a \quad \text{N.G.}$$

<표4-40> 부재검토 결과표(사례10)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	28	135	39	135	64	800	1431
O.K		O.K		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례10에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $27.90\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $39.23\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전하며, 명예에 작용하는 최대응력은 $64.26\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응

력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 낮은 결과를 보여 명에도 매우 안전한 것으로 나타났다. 또한 본 사례10의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1430.79kg 로 허용압축하중 800kg 보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례10의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 슬래브부분의 동바리 간격을 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 로, 보부분의 동바리 간격을 $0.4\text{m} \times 0.6\text{m}$ 로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례10의 근본적인 붕괴원인은 보부분의 동바리간격을 너무 크게 배치하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 9.0m 로서 상부에 Pipe 동바리를 하부에 단관파이프를 2단으로 설치하고 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 하단으로 정확하게 전달되도록 상·하단 동바리의 중심을 정밀하게 수직으로 시공하지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 상단 동바리 중간에 각재를 2방향으로 설치하고, 하단에 강재파이프 2단을 2방향으로 설치하였으나, 상부 Pipe 동바리와 하부 단관파이프 그리고 그 사이에 있는 각목을 이어주는 이음부 결속이 미흡한 점을 들 수 있다.

<표4-41> 재해분석 비교(사례10)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
지보구조에 대한 안전성 검토가 불확실하여 지보구조가 불안정하고, 상하단 Support의 이음부가 불충분하며, Support의 수직성을 확보하지 못한 것이 붕괴의 원인으로 분석	본 가설구조물이 조사보고서대로 시공되었다면, 지주로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[11] 사례11

가. 재해개요

<표4-42> 재해개요(사례11)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
중앙토건(주)	신천배수장 신축공사	1996. 4. 13	사망 2명, 부상 6명

나. 재해 상황

본 사고현장 건물은 배수장으로서 건물규모는 계단실 포함 $32.55\text{m} \times 13.1\text{m} \times$ 높이 7.2m 로써 1차로 하부기둥 및 중간 테두리보만 높이 4.85m , '96. 2. 26 콘크리트 타설후 상부 나머지 높이 2.35m 인 기둥, 상부 테두리보, 슬래브 콘크리트를 사고당일 타설중 붕괴사고가 발생되었다.

사고당일 집수장 옥벽과 사고건물(배수장) 기둥, 테두리보를 07:30분부터 $L=37\text{m}$ 콘크리트 Pump Car로 먼저 콘크리트를 타설하고 배수장 슬래브 콘크리트를 절반 정도 타설중인 12시30분경 슬래브 및 기둥, 테두리보가 붕괴되었다.

사고전 거푸집동바리 설치에 있어서 건물내부는 Steel 동바리 2단으로 설치하였고 수평연결재는 $L=6\text{m}$ 강관 Pipe로 하단은 어느 정도 설치하였으나 상단 설치는 미흡한 상태였으며, 건물 외부차양(켄틸레버 슬래브 $L=0.95\text{m}$) 부위 거푸집 동바리는 1차로 기타설된 콘크리트 창호개구부 상부인방(콘크리트조)에 비스듬히 설치된 상태였다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 사고발생 요인추정

'96. 4. 13 12:30분경 붕괴사고 발생후 17:20분경 사고발생 조사를 유선으로 접수 18:00경 현장 도착하여 재해발생 상황을 조사한 후 ;96. 4. 15 10:00~14:30 경남도경 형사실팀의 기술지원 요청에 따라 추가 재해조사시 복구된 현장과 목격자 진술청취 및 재해발생 현장조사를 토대로 다음과 같이 재해발생 요인을 추정함.

A. 응력검토

(설계조건)

- 기둥 : $400 \times 600 \times (2,350 - 120) \times 12EA$
 - 테두리보 : $H=900(780) \times 300 \times (28,500 \times 2EA - 10,600 \times 2EA - 5,320)$
 - 단면보(Girder) : 건물내부 THK = 120mm
차 양 THK = 130mm
- ※ ()은 슬래브 두께 제외치수임.

(응력계산)

1) 고정하중

- 콘크리트 물량산출(사고당시)

- 기둥 : $0.4 \times 0.6 \times 2.23 \times 16 \times 1/2 = 4.28 m^3$
- 테두리보 : $0.78 \times 0.3 \times (28.5 \times 2 - 5.32 + 10.6 \times 2EA) \times 1/2 = 8.53 m^3$
- 단면보 : $0.78 \times 0.4 \times 10.6 \times 9EA \times 1/2 = 14.88 m^3$
- 슬래브 : 내부 : $28.5 \times 10.6 \times 0.12 \times 1/2 = 18.12 m^3$
차양 : $83.2 \times 0.95 \times 0.13 \times 1/2 = 5.13 m^3$

$$\begin{aligned} \text{계} \quad & 50.94 m^3 \times 2,400 kg/m^3 \\ & = 122,256kg \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

※ 상기 물량은 사고당시 목격자 진술에 따라 계단실을 제외한 붕괴된 콘크리트 타설물량 산출임.

2) 충격하중

· 고정하중의 50% 적용

$$122,256kg \times 1/2 = 61,128kg \dots \textcircled{2}$$

3) 작업하중

m^2 당 150kg 적용

$$28.5 \times 10.6 \times 1/2 \times 150 = 22,657kg \dots \textcircled{3}$$

4) 적설하중 및 수평하중은 무시

$$\therefore 1) + 2) + 3) = 206.041 \text{ Ton 작용}$$

B. Steel 동바리 하중 검토

- 사고발생으로 사고전 몇본의 Steel 동바리가 설치되었으며 어떤 형태로

설치되었는지는 정확히 알 수 없는 상태임.

[파이프 받침의 종류별 허용하중]

종류	높이(mm)		고정편의 조절간격 (mm)	핸들의 조정 범위 (mm)	허용하중 (kg)	비고 (kg)
	최고	최저				
V ₁	3,300	1,800	120	125	1800	12.3
V ₂	3,500	2,000	120	130	1500	12.7
V ₃	3,900	2,400	120	130	1200	13.6
V ₄	4,200	2,700	120	130	1050	14.8
V ₅	5,000	3,000	120	130	750	17.5

상기 도표에 의거

- V₂를 적용(거푸집 동바리 높이 최대 6.5m이므로 V₂적용)하면 1본당 허용하중이 1,500kg으로써 용력과 비교 검토하면

$$206,041\text{kg} / 1,500\text{kg} = 137\text{본} \times 2 (\text{상,하}) \\ = 274\text{본 이상이면 안전한 상태}$$

- V₅를 적용하면

$$206,041\text{kg} / 1750\text{kg} = 274\text{본} \times 2 (\text{상,하}) \\ = 548\text{본 이상이면 안전한 상태}$$

상기 A, B의 용력검토, Steel 동바리 하중검토 등의 비교는 목격자 진술에 따라 배수장 상부 슬래브의 절반으로 비교분석한 것이므로 계단실과 여타부위는 제외한 것으로 아래와 같이 사고요인을 추정함.

첫째, 거푸집 동바리공 설치의 각 지점(상,하 Steel 동바리)의 이음이 불량하여 휨좌굴 발생으로 인해 Steel 동바리의 하중이 제대로 작용치 못하였던 것으로 판단 사료됨.

둘째, 목격자 진술에[의하거나 작업여건상 수평연결재 재료를 6m 강관 Pipe(Φ48.6mm)로 상,하단 일부 설치하였다고 하나 하단은 어느 정도 가능하나 상단설치는 강관 Pipe가 직선 자재로 두방향 설치가 불량한 것으로 판단되어 수평연결재의 두방향 설치가 불량한 것으로 판단 사료됨.

셋째, 외부 차양 슬래브, 테두리보, 기둥의 콘크리트를 선 타설로 인해 내

부 거푸집 동바리의 역변형((치솟음)으로 인해 내부 슬래브 콘크리트 타설시 콘크리트 하중에 따라 Steel 동바리가 미고정된 상태로 상,하 동바리의 직압축력 전달 불량으로 인해 사고가 발생된 것으로 사료됨.

○ 재해발생 원인

① 직접원인

○ 거푸집 동바리공 설치불량

- 높이 6.5m의 거푸집 동바리공 조립시 Steel 동바리 2단 설치로 각 지점 불량으로 좌굴현상에 따른 붕괴
- H=2m 이상시 수평연결재 설치불량으로 좌굴발생
- 높이 6.5m이면 하부는 톨비게(혹은 강재조립 지주) 설치 + 각재 + Steel 동바리 + 슬래브 거푸집 조립으로 설치하여야 했으나 미이행

② 간접원인

○ 거푸집 동바리공 조립도 미작성

○ 불안정한 상태

○ 거푸집 동바리공 설치불량

- 높이 6.5m의 거푸집동바리공 조립시 Steel 동바리 2단 설치로 인한 각 지점 불량으로 좌굴현상에 따른 붕괴
- H=2m 이상시 수평연결재 설치불량으로 좌굴 발생
- 높이 6.5m면 하부는 톨비게(혹은 강재조립 지주) 설치 + 각재 + Steel 동바리 + 슬래브 거푸집 조립으로 설치하여 했으나 미이행

ii) 재해예방 대책

① 거푸집 동바리공 안전기준

- 3분 이상을 이어서 사용하지 말 것
- 지주와 지주의 이음은 4개 이상의 볼트 또는 전용철물을 사용하고 높이조절용 핀은 전용철물을 사용할 것.
- 깔판, 깔목은 기초 또는 견고한 지반에 설치하고 지주는 깔목에 고정 시킬 것
- 지주높이 3.5m이상은 2m마다 수평연결재를 2방향으로 설치하고 강재를 수평연결재로 사용할 때는 볼트 또는 크래프 등 전용철물을 사용할 것.
- 지주는 진동, 충격, 편심 등에 의하여 이탈되지 않도록 상단부를 견고하게 고정할 것.
- 계단 등 경사부 거푸집에 설치하는 동바리공은 지주단판에 하중이 고루 전달될 수 있도록 췌기 등을 설치할 것.

② 펌프카에 의한 타설작업

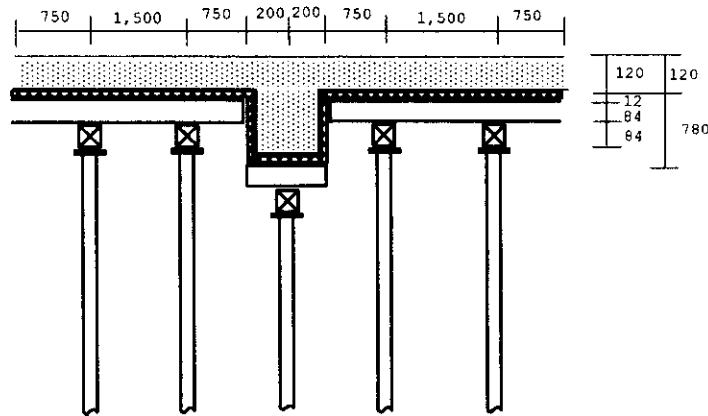
- 펌프카에 다른 차량과의 통행에 지장을 주지 않아야 한다.
- 펌프카를 정차시에는 타이어에 고임목으로 고정한다.
- 펌프 조각핸들을 운전수 이외의 작업원이 조작하지 않는다.
- 레미콘차에 유도자를 배치한다.
- 송급관의 으음에는 확실히 연결되고 배관이 통로 및 작업장소에 근접되게 설치하지 않는다.
- 송급관 아래에는 출입을 금지시켜야 한다.
- 후렉시블 호스는 반경 1m 이하로 구부리지 않는다.
- 압력은 3 kg/cm^2 로 조정하여 사용하여야 한다.
- 배관을 빼어낼 때 조금씩 빼어 콘크리트를 나오게하여 압력을 서서히 개방시켜야 한다.
- 타설배관의 두께가 0.5mm 이하의 것은 사용하지 않는다.
- 공기세정시에는 반드시 후렉시블 호스를 떼어내어야 한다.
- 엔진을 정지시킬 때에는 정지밸브를 잠궜야 한다.
- 슈트 굴절부분에 대한 협착위험을 주지시키고 이를 통제하여야 한다.

라. 구조해석

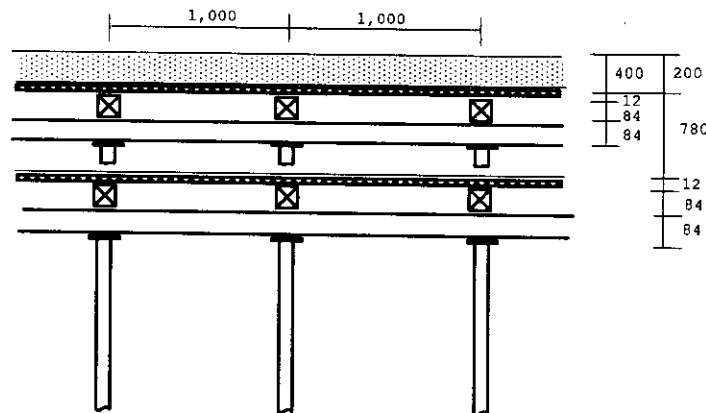
본 사례11에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-31a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-31b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-32]와 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-43>과 같다.

<표4-43> 구조해석 데이터(사례11, cm)

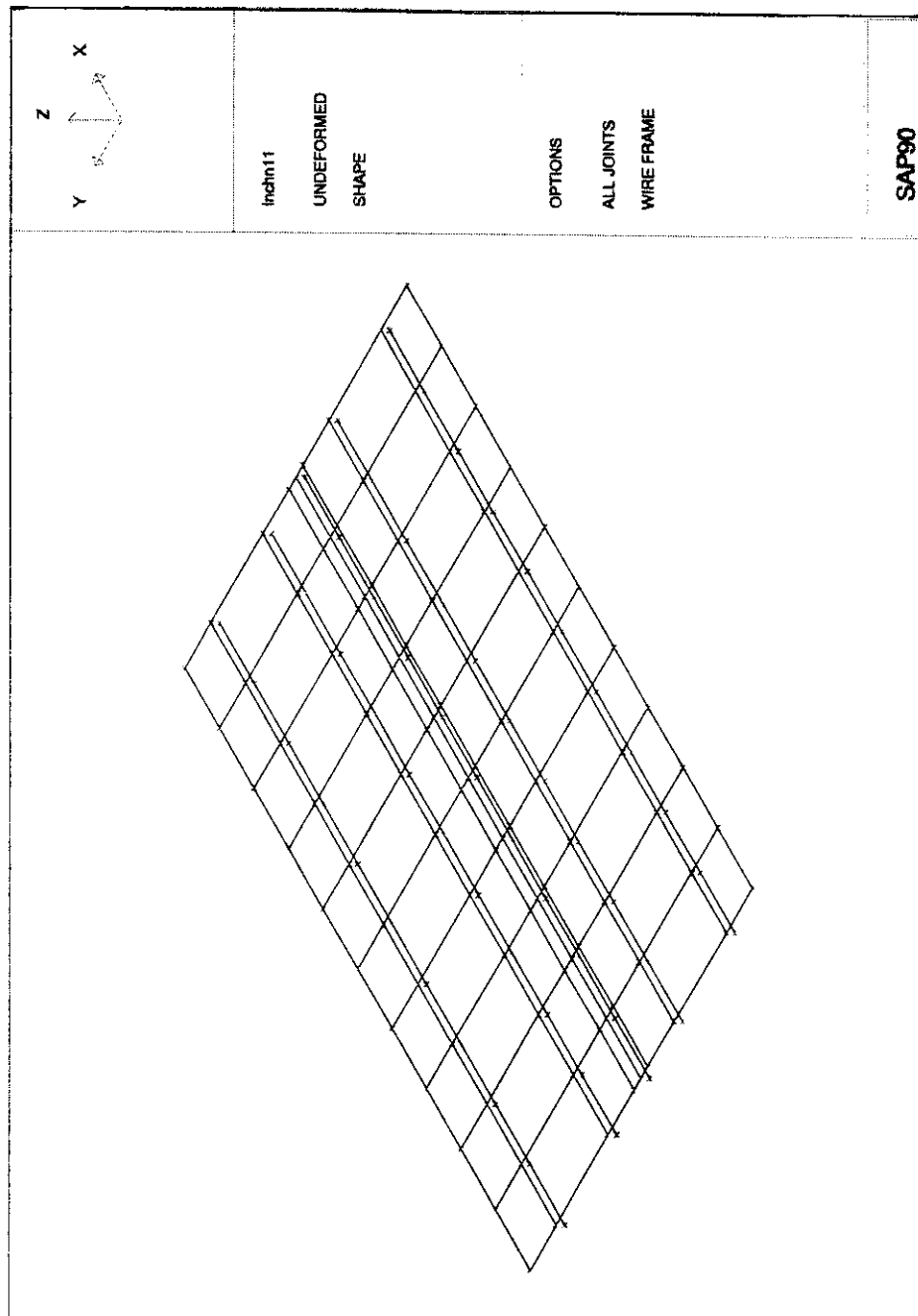
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
12	40×78	150 (가정)	100 (가정)	100 (가정)	100 (가정)	150×100 (가정)	100 (가정)



[그림4-32a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례11)



[그림4-32b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례11)



[그림4-33] 구조해석 모델링(사례11)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 1.84 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{1.84}{0.24} = 7.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 16243.21 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{16243.21}{98.78} = 164.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 67.73 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{67.73}{98.78} = 0.69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례11의 배수장 PUMP실 1층 상부 슬래브 동바리높이가 최대 6.5m로서 상·하부에 V_2 의 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_2 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1150 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1896.16 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-44> 부재검토 결과표(사례11)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	8	135	164	135	1	1150	1896
O.K		N.G		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례11에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $7.67kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $164.44kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 높은 응력을 보여 장선은 불안전하며, 명예에 작용하는 최대응력은 $0.69kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 매우 낮은 결과를 보여 명예는 매우 안전한 것으로 나타났다.

또한 본 사례11의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1896.16 kg로 허용 압축하중 1150 kg보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례11의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 가정하여 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멍에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 멍에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 약간 높아 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례11의 근본적인 붕괴원인은 멍에의 간격을 너무 크게 배치하여 장선에 작용하는 응력이 허용응력을 크게 상회하였으며, 또한 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 최대 6.4m로서 상·하부에 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리와 하부의 단관파이프를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 2m 높이마다 2방향으로 설치해야 하는 수평연결재를 상부 동바리에는 설치하지 않고, 하부 동바리에도 강관파이프로 불충분하게 설치하여 발생한 것으로 사료되며, 또한 건물 외부 차양부(캐틸레버 슬래브 L=0.95m)는 두께가 건물내부 12cm보다 두꺼운 13cm이고, 이 부분을 지지하는 동바리를 기 타설된 콘크리트 창호개구부 상부 인방(콘크리트조)에 비스듬히 설치한 점을 들 수 있다.

<표4-45> 재해분석 비교(사례11)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
거푸집동바리공 2단 시공시 이음부 불충분, 수평연결재 설치 불량 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 장선의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[12] 사례12

가. 재해개요

<표4-46> 재해개요(사례12)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
현대건설(주)	성남 한국일보 사옥	1996. 6. 5	사망 1명

나. 재해 상황

사고일 약 2주전부터 골조공사를 위한 거푸집 동바리공 설치 및 철근가공 조립을 사고전일까지 완료후, 사고일('96. 6. 5) 7시부터 지붕층 슬래브 콘크리트 타설작업을 시작하여, 약 20시30분까지 코너부분 콘크리트타설을 마치고 다음 타설구간으로 이동, 콘크리트 타설물량을 확인중, 약 20시40분경 코너부분의 거푸집 동바리공이 상부 콘크리트 하중을 견디지 못하고 붕괴하는 것을 목격한 피재자 조창현(건축기사, 28세)이 붕괴지점을 피하기 위하여 단차가 있는 슬래브 위로(높이 3.5m) 뛰어 내리다, 콘크리트 바닥에 머리를 부딪혀 사망한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인 추정

○ 불안정한 행동

- ① 높이 3.5m의 위치에서 뛰어 내림.
- ② 안전모 착용불량(턱끈 미사용)

○ 불안정한 상태

- ① 거푸집 동바리공 설치방법 불량
- ② 하중에 따른 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성 미흡

○ 재해발생 원인

① 거푸집 동바리공 설치상태 불량

- 지주의 하중 전달부분 불량(Pipe 동바리를 각재(90×90mm) 위에서 지지)

- 수평연결재 미설치

- 동바리공을 경사지게 설치하여 충분한 하중지지 불량

② 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성 시공불량

- 슬래브 콘크리트 하중에 대한 거푸집 동바리공 구조검토 미실시

- 거푸집 동바리공 조립도 미작성

③ 보호구 착용 불량

- 안전모 착용시 턱끈 미사용

ii) 재해예방 대책

○ 거푸집 동바리공 조립도 작성

- 거푸집 동바리공 조립할 때는 하중조건에 적합하고 구조적으로 안전한 거푸집 동바리공 조립도를 구조계산을 통해 작성하고 조립도에 따라 조립한다.

○ 거푸집 동바리공 조립시 안전조치 준수

- 이질 재료를 조합하여 지주(Pipe 동바리) 조립시 Pipe 동바리가 각재 위에서만 지지되는 경우가 생기지 않도록 하는 등 지주가 안전하 L재료의 부재에 지지되도록 한다.

- Pipe 동바리의 설치 높이가 3.5m를 초과할 경우 또는 일부 부재가 경사지게 설치되는 경우 높이 2m 이내마다 2개 방향으로 단관 Pipe와 Clamp 등 기성품을 사용하여 수평연결재를 설치한다.

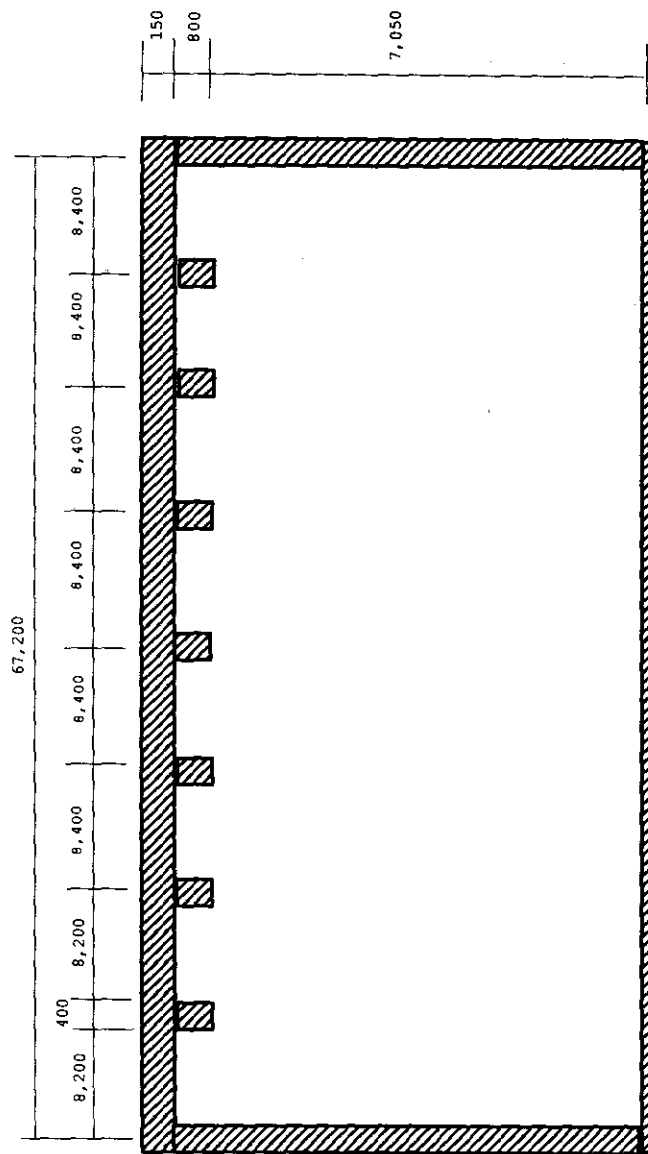
○ 안전모 착용시 턱끈을 반드시 조이도록 한다.

○ 동종재해 예방 대책

① 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성

② 거푸집 동바리공 설치시 조립도에 준하여 시공철저

③ 개인보호구의 올바른 착용



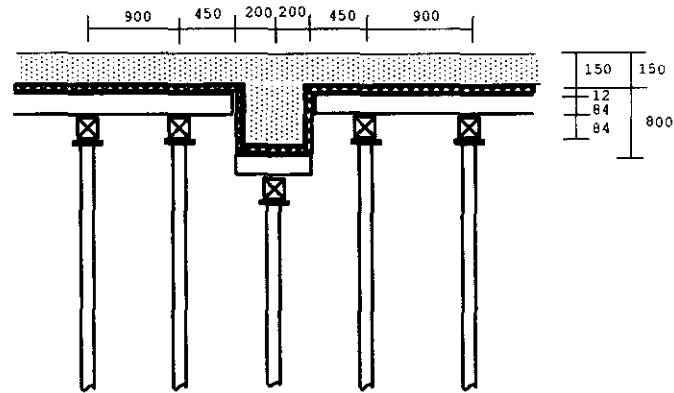
[그림4-34] 개략 도면(사례12)

라. 구조해석

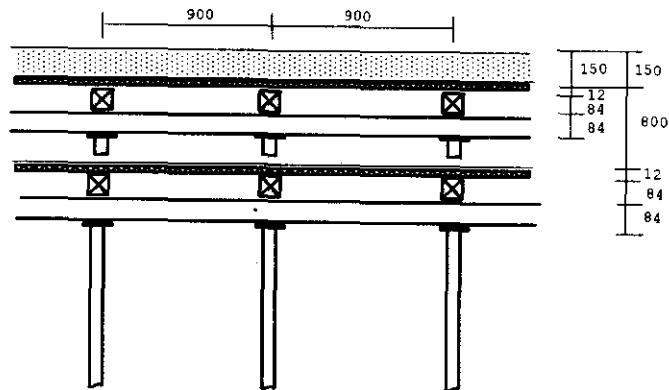
본 사례12에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-35a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-35b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-36]과 같이 거꾸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-47>과 같다.

<표4-47> 구조해석 데이터(사례12, cm)

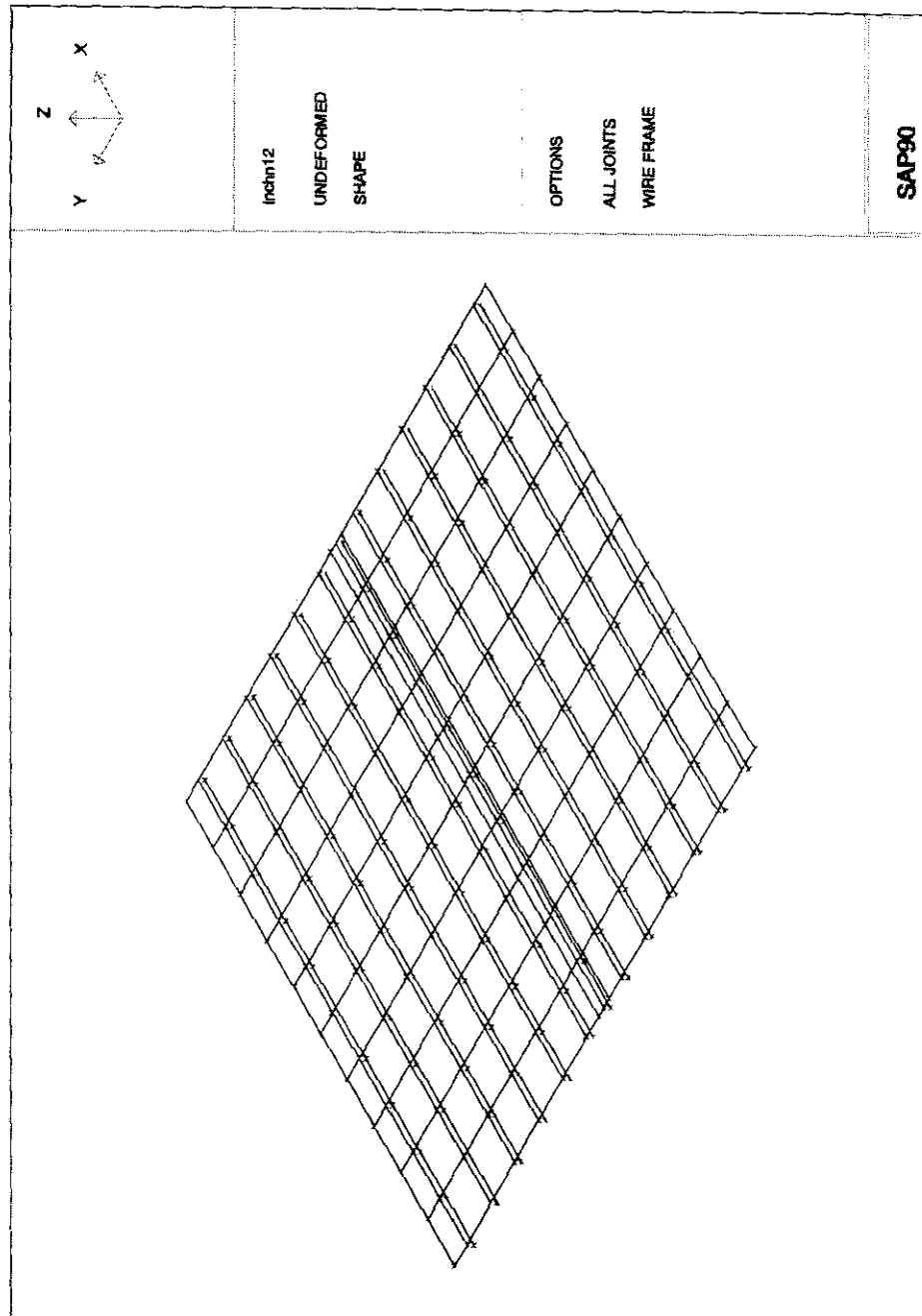
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
15	40×80 (가정)	90 (가정)	90 (가정)	90	-	90×90	90 (가정)



[그림4-35a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례12)



[그림4-35b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례12)



[그림4-36] 구조해석 모델링(사례12)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 0.79 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{0.79}{0.24} = 3.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 6898.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{6898.08}{98.78} = 69.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 44.93 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{44.93}{98.78} = 0.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a$$

O.K

④ 동바리 압축력 검토

본 사례12의 공장 지붕층 슬래브 동바리높이가 약 8.0m로서 상부에 V_2 의 Pipe 동바리를 하부에 $\phi 48.6$ 단관파이프를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하고, 단관파이프 하부에는 I형강($600 \times 200 \times 7 \times 19$)을 설치하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_2 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1150 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1580.34 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-48> 부재검토 결과표(사례12)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	3	135	70	135	0.5	1150	1580
O.K		O.K		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례12에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $3.29\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력은 $69.83\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전하며, 명에에 작용하는 최대응력은 $0.45\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력

135kg/cm²보다 매우 낮은 결과를 보여 명에도 매우 안전한 것으로 나타났다. 또한 본 사례12의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1580.34kg로 허용 압축하중 1150kg보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례12의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 0.9m×1.05m로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례12의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 8.0m로서 상부에 Pipe 동바리를 하부에 단관파이프를 2단으로 설치하고 동바리와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리와 하부의 단관파이프를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 2m 높이마다 2방향으로 설치해야 하는 수평연결재를 상부 Pipe 동바리에서는 설치하지 않아 발생한 것으로 사료되며, 또한 Pipe 동바리를 경사지게 설치하여 이 부분에서 충분한 지지력을 확보하지 못한 점을 들 수 있다.

<표4-49> 재해분석 비교(사례12)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리의 하중전달 부분불량, 수평연결재 미설치, 동바리공을 경사지게 설치하여 충분한 지지력 미확보 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[13] 사례13

가. 재해개요

<표4-50> 재해개요(사례13)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
현대건설(주)	하남 베스코아 신축공사	1996. 9. 4	사망 1명

나. 재해 상황

사고전일까지 지하 5층 바닥 슬래브(H=8.0m, T=250mm) 콘크리트 타설을 위한 거푸집 동바리공 조립 및 철근조립 작업완료하고, 사고일('96. 9. 4) 10시경부터 지하 5층 바닥 슬래브 콘크리트 타설작업을 재해자 포함 15명이 시작하였다.

당일 16시40분경까지 콘크리트 약 $650 m^3$ 정도 타설중 거푸집 동바리공이 상부 콘크리트 하중을 견디지 못하고 붕괴되면서 하부에서 거푸집을 점검중이던 피해자 위삼환(목공, 23세)이 콘크리트에 맞아 쓰러지고, 사고 약 5분후 119구조대가 도착하여 구조작업후 병원으로 후송중 사망한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인

① 거푸집 동바리공 설치상태 불량

- 지주의 하중 지지방법 불량(일부Pipe 동바리를 각재(90×90mm) 위에서 지지)

- 수평연결재 2개 방향 미설치(1개 방향으로만 시공)

- 수평연결재 사용자재(각재 5cm×5cm)의 강성부족 및 지주와 교차부분은 클램프 등 전용철물이 아닌 철선사용으로, 지주의 좌굴방지 및 수평하중을 안전하게 지지할 수 있는 수평연결재의 역할 미흡

② 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성 시공불량

- 슬래브 콘크리트 하중에 대한 거푸집 동바리공 구조검토시 현장에서 사용하는 Pipe 동바리(V_3 , 허용하중 1,200kg)의 허용하중을 2,000kg으로 계산 구조검토를 함.

- 거푸집 동바리공 조립도 미작성

③ 안전담당자 직무 소홀

- 콘크리트 타설전 거푸집 동바리공 조립시 조립도에 의한 동바리공 조립
작업 지휘감독 소홀

○ 불안전한 상태

- ① 거푸집 동바리공 설치상태 불량
- ② 하중에 따른 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성 미흡
- ③ 거푸집 동바리공 조립시 안전담당자의 작업지휘 소홀

ii) 재해예방 대책

○ 거푸집 동바리공 조립도 작성

- 거푸집 동바리공 조립할 때는 하중조건에 적합하고 구조적으로 안전한
거푸집 동바리공 조립도를 구조계산을 통해 작성하고 조립도에 따라 조립한다.

○ 거푸집 동바리공 조립시 안전조치 준수

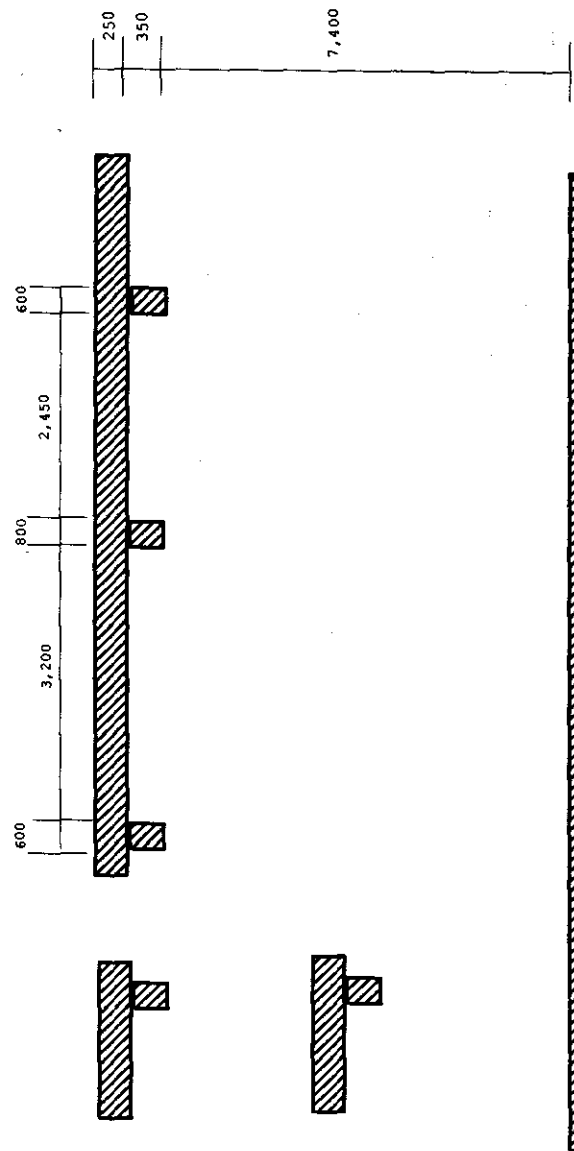
- 이질 재료를 조합하여 지주(Pipe 동바리) 조립시 Pipe 동바리가 각재 위
에서만 지지되는 경우가 생기지 않도록 하는 등 지주가 안전한 재료의 부재에
지지되도록 한다.

- Ferro Deck(슬래브용 철근과 거푸집이 일체화된 품)를 사용하여 콘크리
트 타설시 슬래브의 처짐 및 보 옆판 벌어짐을 방지하기 위하여 보에 Form
Tie 설치 또는 보 사이에 버팀대를 설치한다.

○ 거푸집 동바리공 조립작업시 안전담당자는 조립도에 의하여 동바리공 조립
작업을 지휘감독 철저

○ 동종재해 예방 대책

- ① 거푸집 동바리공 구조검토 및 조립도 작성
- ② 거푸집 동바리공 설치시 조립도에 준하여 시공철저
- ③ 거푸집 동바리공 설치시 안전담당자 직무수행 철저



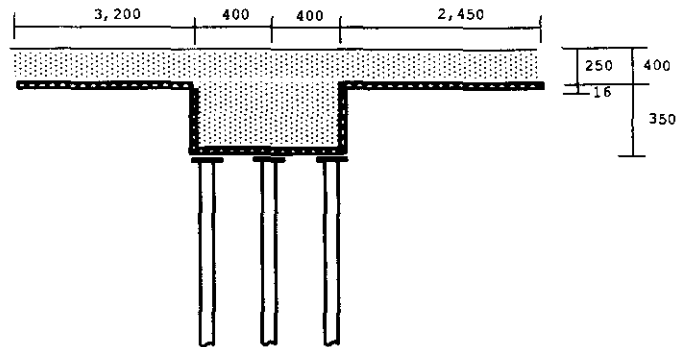
[그림4-37] 개략 도면(사례13)

라. 구조해석

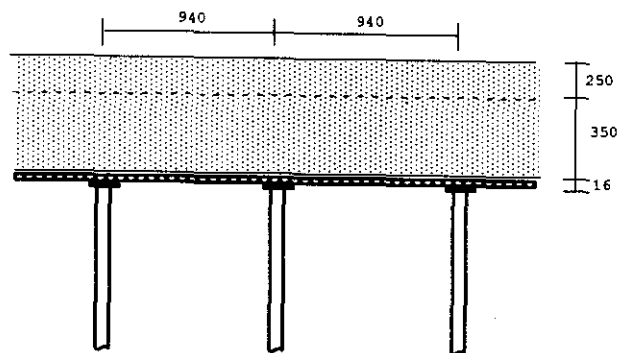
본 사례13에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-38a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-38b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-39]와 같이 거푸집은 Ferro Deck를 사용하였기 때문에 이 Ferro Deck를 SHELL ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표 4-51>과 같다.

<표4-51> 구조해석 데이터(사례13, cm)

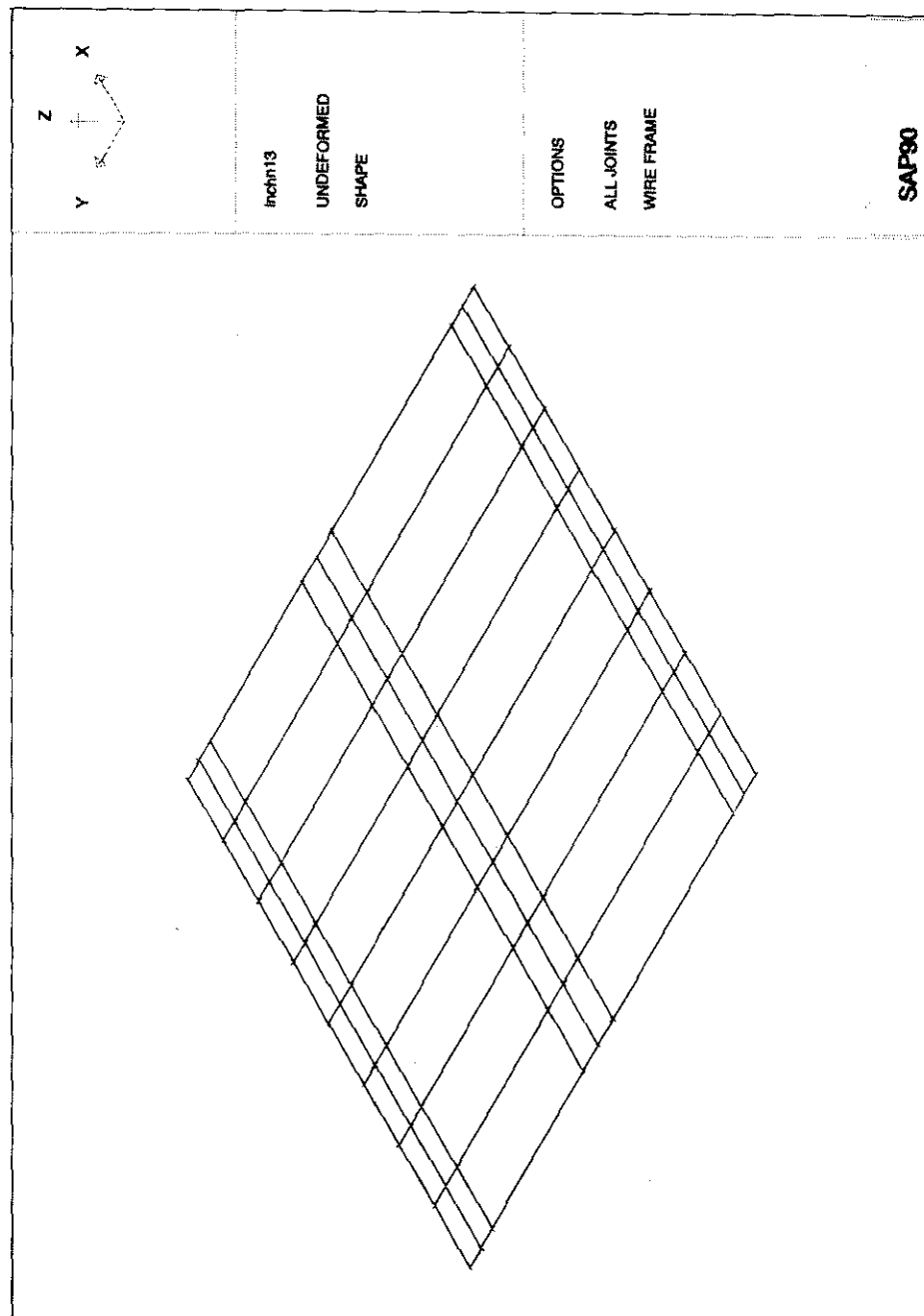
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
25	80×35	-	-	-	-	-	40×94



[그림4-38a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례13)



[그림4-38b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례13)



[그림4-39] 구조해석 모델링(사례13)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① Ferro DECK 판의 응력검토

$$M_{\max} = 110.38 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.6)^3}{12} = 0.34 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.6)^2}{6} = 0.427 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{110.38}{0.427} = 258.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 동바리 압축력 검토

본 사례13의 펌프장 지붕층 슬래브 동바리높이가 약 8.0m로서 상부에 V_3 의 Pipe 동바리를 하부에 2단의 틀비계를 설치하고, Pipe 동바리와 틀비계 사이 접속부 이음부에 각재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 950 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2663.45 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a \quad \text{N.G}$$

<표4-52> 부재검토 결과표(사례13)

Ferro DECK 판 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용응력	응력	허용압축력	압축력
1500	259	950	2664
O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례13에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, Ferro DECK판에 작용하는 최대응력은 $258.5kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $1500kg/cm^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 Ferro DECK판은 매우 안전하나, 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 $2663.45kg$ 로 허용압축하중 $950kg$ 보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례13의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 가정하여 해석을 실시하였다. 이렇게 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 Ferro DECK에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례13의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 8.0m로서 상부에 Pipe 동바리를 하부에 2단 틀비계를 설치하고 동바리와 틀비계 사이 접속부 이음부에 각재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리와 하부의 틀비계를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않아 발생한 것으로 사료된다. 또한 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 2m 높이마다 설치해야 하는 수평연결재를 1방향으로만 연결하였을 뿐만 아니라, 1방향으로 사용된 수평연결재도 강성이 부족한 $5cm \times 5cm$ 각재를 사용, 충분한 수평변위 방지를 도모하지 못하였으며, 동바리와 교차되는 부분은 클램프 등 전용철물로 고정을 하여야 하나 본 사례에서는 철선을 사용함으로써 수평하중을 안전하게 지지할 수 있는 수평연결재가 제기능을 발휘하지 못한 점을 들 수 있다.

<표4-53> 재해분석 비교(사례13)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리의 하중 지지방법 불량, 수평연결재 2개방향 미설치, 수평연결재 강성 부족, Pipe Support의 허용하중 잘 못 산정 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 조사보고서 대로 시공되었다면, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[14] 사례14

가. 재해개요

<표4-54> 재해개요(사례14)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
풍창건설(주)	96-75-2 시설공사	1996. 9. 15	사망 1명, 부상 9명

나. 재해 상황

당 현장은 군부대내 다목적 강당 신축공사로써 사고현장 강당 무대부분 (29.4m×5.6m, H=16m)의 하부옹벽(THK 250mm) 4m 정도 및 슬래브(THK 120mm)가 주 타설 구간이며, 층고 약 16m 거푸집 동바리공을 강관 Pipe(L=6m, 4m, 2m 등)를 이용하여 비계조립후(가로, 세로 약 1m 간격) 각재 및 합판을 설치하고 콘크리트를 타설하였는데, 재해 당일 오전부터 콘크리트타설을 시작하여 15시30분경 타설예정 약 123 m^3 중 약 5 m^3 가 남은 상황에서(118 m^3 타설추정) 슬래브가 붕괴되며 상부에서 작업중인 근로자(콘크리트공, 펌프 카 기사 등) 중 10명이 붕괴된 자재와 함께 약 16m 하부로 추락하였다. 이때 119에 의한 응급조치후 병원으로 후송하였으나, 9명 부상, 1명은 9월 26일 오전 11시경 사망한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인

○ 불안정한 행동

① 콘크리트 타설작업시 감시자 미배치

○ 불안정한 상태

① 거푸집 동바리공 설치상태 불량

② 거푸집 동바리공 조립도 미작성

③ 미검정 가설기자재 사용

○ 재해발생 원인

○ 직접원인

- 거푸집 동바리공 설치상태 불량

- 지주로 사용한 강관 Pipe 위에 보 또는 멍에를 설치시 지주상단에 강재의 단판을 부착하여 보 또는 멍에에 고정시켜야 하나 미실시한 것으로 추정

됨.

- 거푸집 동바리공 조립도 미작성

- 거푸집 동바리공 조립시 상세 조립도 작성 및 하중에 대한 검토가 필요하나 미 실시

- 미검정 가설기자재 사용

- 콘크리트 타설작업시 감시자 미배치

- 콘크리트 타설작업시 거푸집 동바리공의 변형 여부 등을 감시할 수 있는 감시자 미배치

- 간접원인

- 작업 관리 감독 소홀

- ii) 재해예방 대책

- 재해예방 대책

- 거푸집 동바리공 설치 기준의 준수

- 강판 Pipe로 지주 설치시 보 또는 명에를 상단에 올릴 때에는 지주 상단에 강재의 단판을 부착하여 보 또는 명에에 고정 조치

- 층고가 높은 거푸집 동바리공 설치시, 가급적 상부하중 지지의 구조적 신뢰도가 높은 틀비계 동바리공 사용

- 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 하중검토

- 거푸집 동바리공 조립시 부재의 배치 및 치수가 명시된 조립도 작성 및 하중검토후 조립도에 의한 시공

- 성능 검정품의 가설기자재 구입 사용

- 현장에서는 반드시 <안>자 마크가 각인된 성능 검정품의 가설기자재를 구입, 사용

- 콘크리트 타설작업시 감시자 배치 및 임무수행

- 콘크리트 타설작업중 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 즉시 작업중지시키고 근로자 대피

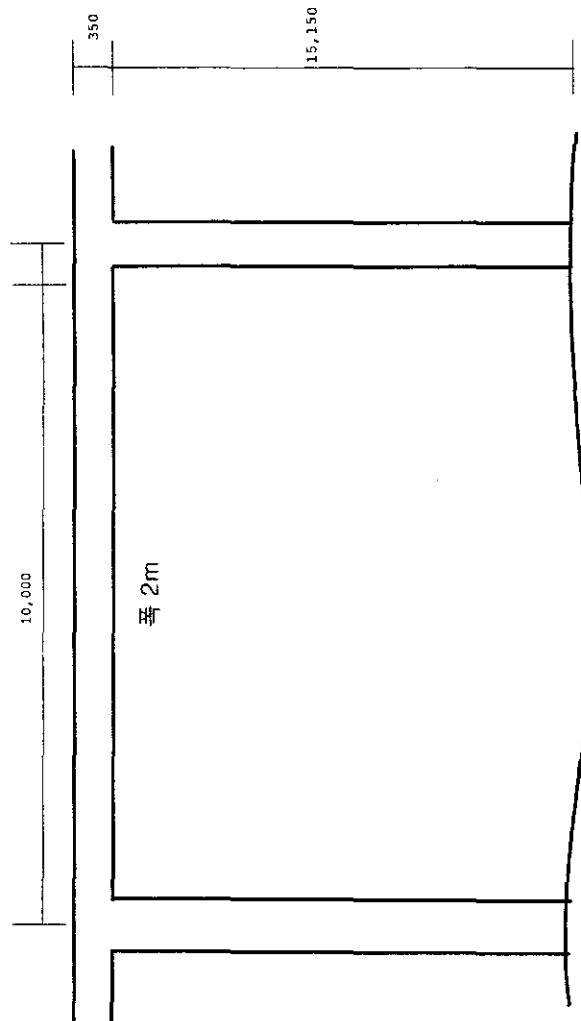
- 콘크리트 타설작업시 감시자 배치 및 임무수행

- 콘크리트 타설작업중 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 즉시 작업중지시키고 근로자 대피

- 작업 관리감독 철저

○ 동종재해 예방 대책

- ① 콘크리트 타설작업시 감시자를 배치하여 이상유무 감시
- ② 거푸집 동바리공 설치기준의 준수
- ③ 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 하중검토
- ④ 성능검정품의 가설기자재 구입 사용



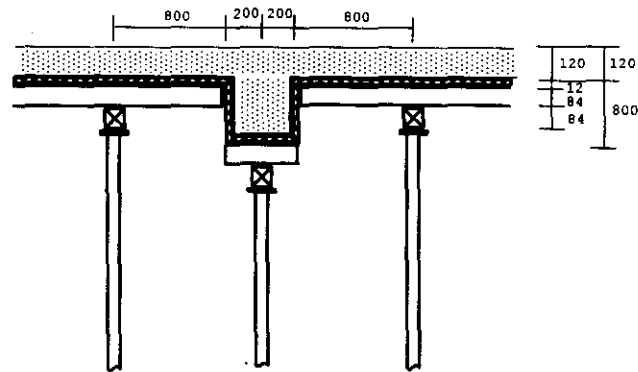
[그림4-40] 개략 도면(사례14)

라. 구조해석

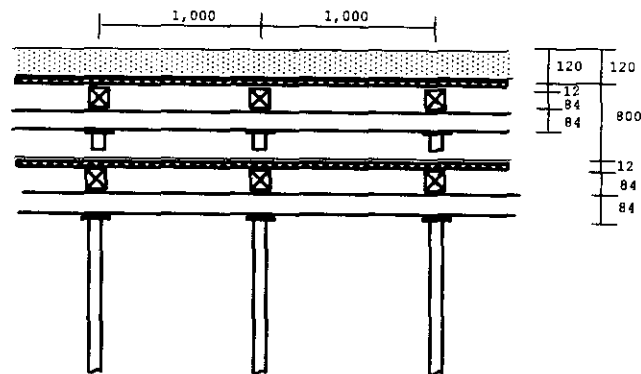
본 사례14에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-41a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-41b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-42]와 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-55>와 같다.

<표4-55> 구조해석 데이터(사례14, cm)

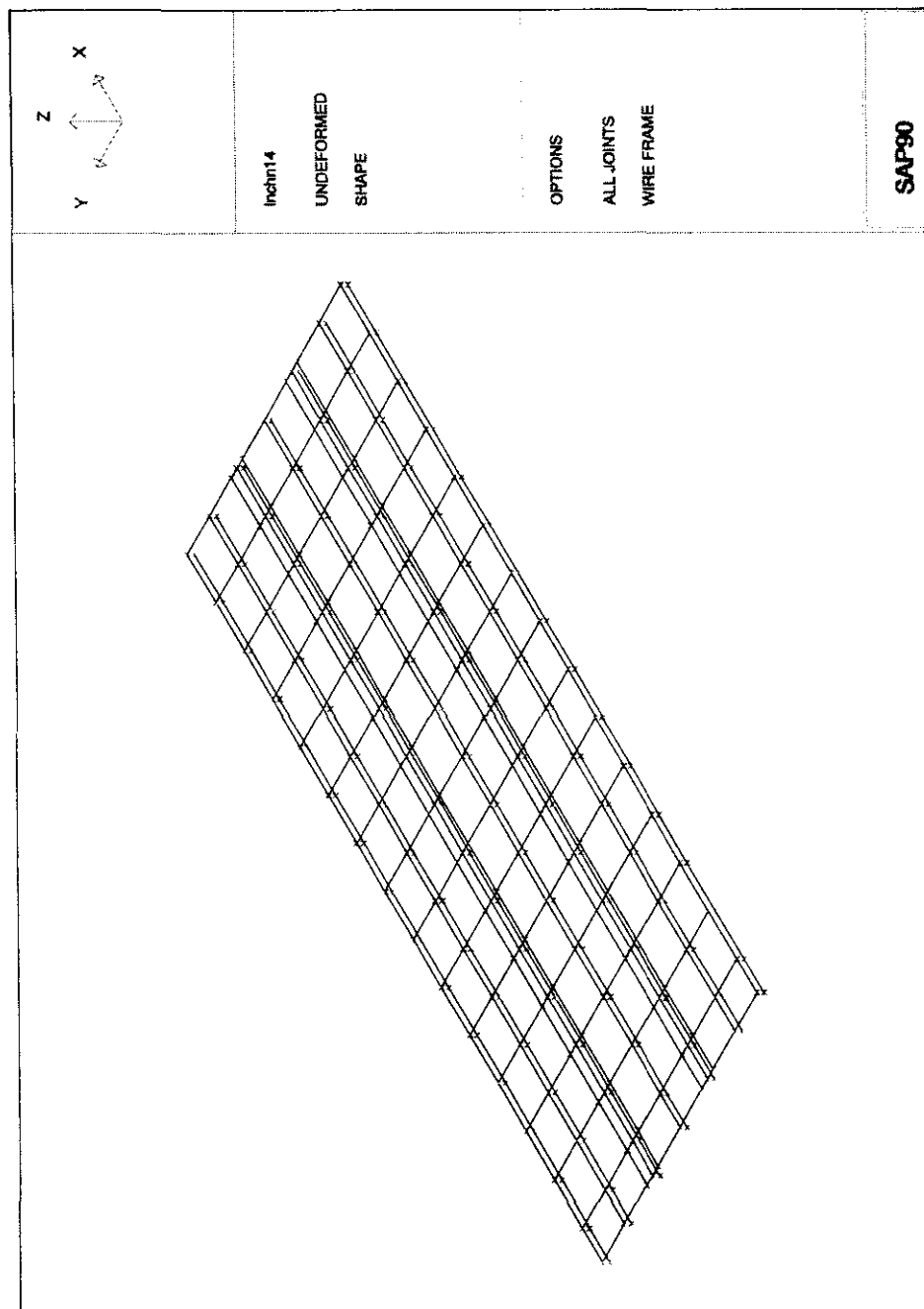
슬래브 두께	보	장선 간격		명에 간격		동바리 간격	
		슬래브	보	슬래브	보	슬래브	보
12	40×80 (가정)	100	100	80	-	80×100	100



[그림4-41a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례14)



[그림4-41b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례14)



[그림4-42] 구조해석 모델링(사례14)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 0.86 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{0.86}{0.24} = 3.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 7542.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{7542.25}{98.78} = 76.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩예의 응력검토

$$M_{\max} = 41.97 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{41.97}{98.78} = 0.42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

④ 동바리 압축력 검토

본 사례14의 신축공사 강당 무대부분 동바리높이가 약 16.0m로서 길이가 6m, 4m, 2m 등의 강관파이프를 조립하여 하중을 전달하는 구조를 사용하고 수평연결재를 2.3m마다 연결을 하였기 때문에 수평연결재가 2방향으로 완벽하게 시공이 되었다면 이 강관파이프의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 1000 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1760 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a \quad \text{N.G}$$

<표4-56> 부재검토 결과표(사례14)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	4	135	76	135	0.4	1000	1760
O.K		O.K		O.K		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례14에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $3.58\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $260\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $76.35\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전할 뿐만 아니라, 명예에 작용하는 최대응력도 $0.42\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 그 허용응력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 낮은 결과를 보여 명예는 매우 안전한 것으로 나타났다. 또한 본 사례14의 동바리는 $\phi 48.6$ 강관파이프를 사용하였기 때

문에 이 강관파이프에 대한 압축력을 검토한 결과, 강관파이프의 최대압축하중은 1760 kg로 허용압축하중 1000 kg보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례14의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 1.0m×1.0m로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멩에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 멩에에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 동바리에 작용하는 압축력은 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례14의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격배치를 너무 크게 하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 16.0m로서 길이가 6m, 4m, 2m 등의 강관파이프를 조립하여 동바리로서 하중을 전달하는 구조를 사용할 때 강관파이프의 수직방향으로 이음이 확실하게 이루어지지 않아 발생한 것으로 사료되며, 또한 수평연결재를 2방향으로 시공할 때도 수평변위를 확실하게 방지할 수 있도록 전용철물 등을 이용하여 고정을 하여야 하나 본 사례에서는 이러한 고정이 정확하게 시공되지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-57> 재해분석 비교(사례14)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리상단 고정 미흡, 미점검 가설재 사용 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[15] 사례15

가. 재해개요

<표4-58> 재해개요(사례15)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
동원건설(주)	흑산 제2수원지시설공사	1996. 10. 8	사망 1명, 부상 1명

나. 재해 상황

취수탑 도교공사는 96년 5월 기초 터파기후 96년 9월 중순경 Pier 구체공사를 완료하였고, 도교 상판부위에 대한 거푸집 동바리공 작업은 96년 10월초 시작하였으며, 96년 10월 6일경 거푸집 조립을 완료한 상태였다.

당해 도교상판에 대한 콘크리트 타설은 96년 10월 8일 7시30분경부터 시작하였으며, 작업은 도교측면에서 생콘크리트를 B/H를 이용, 도교상판의 손수레상에 올려 주면 상부작업자 5명이 손수레를 밀고가서 타설하는 순서로 작업을 실시하였다.

이때 제방내측에 있던 조승오 및 전진호(현장실습생)에 의하면 당일 15:10경 무너지는 소리와 함께 취수탑측에서 두 번째 도교상판 부위부터 붕괴되기 시작하여 상판에서 작업중인 근로자 2명이 15.5m 하부 지면으로 추락한 재해인데, 현장조사 결과 현장 도교 상판부위 동바리공 설치상태는- 도교 상판하부를 따라 $\phi 48.6\text{mm}$ 강관비계를 조립하고, 비계사이에 Pipe 동바리(V_3)를 3열로 5단을 설치하였으며, Pipe 동바리(V_3)간의 이음은 상,하부 단판(Hole 4EA)에 #10 철선 2~4개로 결속 또는 유로폼 결속용 후크부재 2개를 끼워넣어 이음을 하였다.

최초 붕괴지점으로 추정되는 취수탑에서 2번째 SPAN의 상판 하부의 동바리공 붕괴상태는 Pipe 동바리 4단과 5단의 상,하단 단판 결속부위에서 일률적으로 꺾여 있었으며, 이는 Pipe 동바리 상,하단의 한판결속을 위한 #10 철선이 파단 또는 유로폼 결속용 후크가 빠지면서 동바리공 전체가 붕괴된 것으로 추정된다.

따라서 금번 재해는 도교(높이: 최대 15.5m, 폭: 2.0m, 슬래브 두께 ; 350mm) 상판 거푸집 동바리공을 조립하면서 $\phi 46.8\text{mm}$ 강관비계를 조립하고 비계사이에 Pipe 동바리(V_3)를 3열로 5단을 설치하고, Pipe 동바리 간의 이음을 상,하부 단판에 #10 철선 또는 유로폼 결속용 후크부재 2개를 끼워넣어 조립을 실시하

여 상판 콘크리트 타설에 따른 상재하중이 작용하자 Pipe 동바리 간의 상,하단 결속부위에서 파단되면서 동바리공이 붕괴되고 연쇄하여 옆스판까지 붕괴한 것으로 추정된다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인

○ 불안정한 행동

① 콘크리트 타설작업시 거푸집 동바리공의 변형, 변위 유무등 점검 미 실시 및 작업 근로자 대피조치 미 실시

○ 불안정한 상태

① 거푸집 동바리공 조립도 미작성

② 파이프 받침(Pipe 동바리) 조립시 3본이상 조립 및 이음시 안전조치 미비

○ 재해발생 원인

1) 거푸집 동바리공 조립도 미작성

○ 최대높이 15.5m 인 도교 상판 거푸집 동바리공 조립시 조립도를 작성하지 않고 $\phi 46.8\text{mm}$ 강관비계와 Pipe 동바리(V_3)를 5단으로 동바리공을 설치하여 상판 콘크리트 타설에 따른 상재하중이 작용하자 붕괴에 이른 것으로 판단됨.

2) 파이프 받침(Pipe 동바리) 조립시 안전조치 미비

○ 최대높이 15.5m 도교상판 거푸집 동바리공 조립시 Pipe 동바리(V_3)를 5단으로 이어 조립하면서 상,하부 단판에 #10 철선 2~4개 또는 유로폼 결속요 후크 부재 2개를 끼워넣어 조립하여 상판 생 콘크리트 타설에 따른 상재하중 작용시 Pipe 동바리 간의 상,하단 결속부위에서 파단되면서 동바리공이 붕괴되고 연쇄하여 옆 스판까지 붕괴한 것으로 추정됨.

3) 콘크리트 타설작업시 안전조치 미비

○ 콘크리트 타설작업중에는 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 작업중지 또는 근로자를 대피시켜야 하나 미조치

ii) 재해예방 대책

○ 재해예방 대책

1) 거푸집 동바리공 조립전 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 구조검토 실시

○ 도교상판의 높이가 15.5m로 동바리공 조립계획 수립시 매우 신중한 검토

를 요하며, 공법선정시 틀조립비계, 대형 강관 틀비계 시스템을 이용하고, 조립 전 동바리공 조립도 작성 및 구조검토 실시

2) 동바리공 조립시 안전조치 준수

- 파이프 받침을 지주로 사용할 경우 파이프 받침을 3본이상 이어서 사용하지 않도록 할 것.

- 파이프 받침을 이어서 사용할 때에는 4개 이상의 볼트 또는 전용철물을 사용하여 이을 것.

3) 콘크리트 타설 작업시 안전조치 준수

- 작업시작전 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 점검하고, 이상 발견시 이를 보수할 것.

- 작업중에는 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 작업을 중지시키고 근로자를 대피시킬 것.

- 거푸집 동바리공 설치 기준의 준수

- 강관 Pipe로 지주 설치시 보 또는 명에를 상단에 올릴 때에는 지주 상단에 강재의 단판을 부착하여 보 또는 명에에 고정 조치

- 층고가 높은 거푸집 동바리공 설치시, 가급적 상부하중 지지의 구조적 신뢰도가 높은 틀비계 동바리공 사용

- 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 하중검토

- 거푸집 동바리공 조립시 부재의 배치 및 치수가 명시된 조립도 작성 및 하중검토후 조립도에 의한 시공

- 성능 검정품의 가설기자재 구입 사용

- 현장에서는 반드시 <안>자 마크가 각인된 성능 검정품의 가설기자재를 구입, 사용

- 콘크리트 타설작업시 감시자 배치 및 임무수행

- 콘크리트 타설작업중 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 즉시 작업중지시키고 근로자 대피

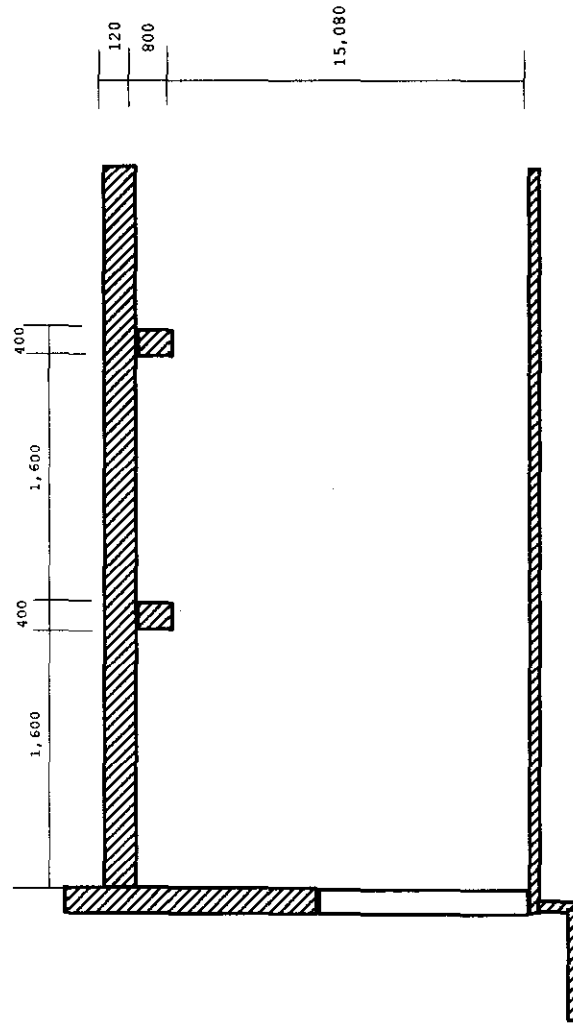
- 콘크리트 타설작업시 감시자 배치 및 임무수행

- 콘크리트 타설작업중 거푸집 동바리공 등의 변형, 변위 및 침하 유무 등을 감시할 수 있는 감시자를 배치하여 이상 발견시 즉시 작업중지시키고 근로자 대피

- 작업 관리감독 철저

○ 동종재해 예방 대책

- ① 거푸집 동바리공 조립전 거푸집 동바리공 조립도 작성 및 구조검토 실시
- ② 파이프 받침(Pope 동바리) 조립시 안전조치 준수
- ③ 콘크리트 타설작업중 거푸집 변형, 변위 유무감시 및 이상시 작업중지, 근로자 대처조치



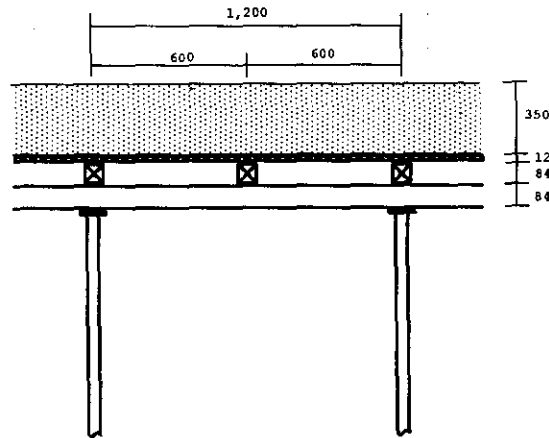
[그림4-43] 개략 도면(사례15)

라. 구조해석

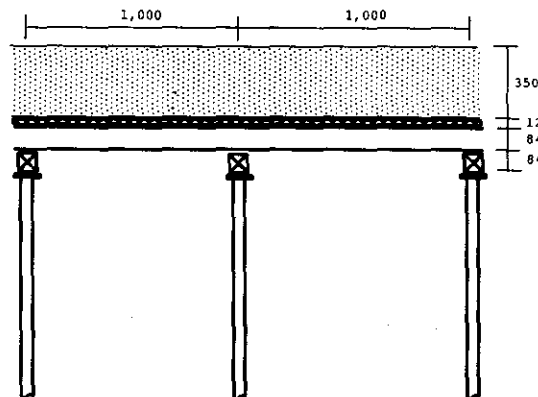
본 사례15에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-44a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-44b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-45]와 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-59>와 같다.

<표4-59> 구조해석 데이터(사례15, cm)

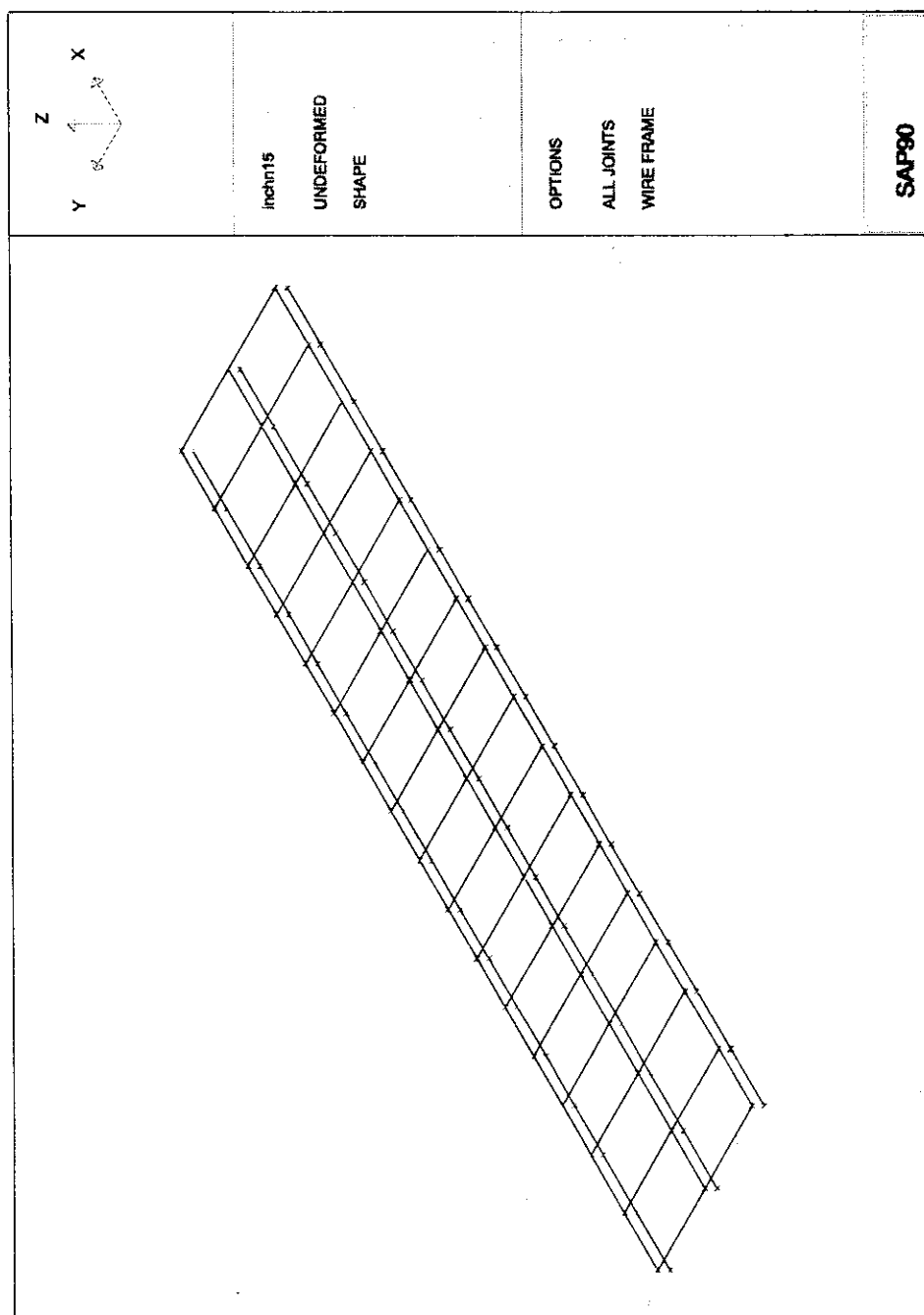
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
35	60 (가정)	100 (가정)	100×120 (가정)



[그림4-44a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례15)



[그림4-44b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례15)



[그림4-45] 구조해석 모델링(사례15)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 6.68 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{6.68}{0.24} = 27.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 3394.57 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{3394.57}{98.78} = 34.36 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 22132.40 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{22132.40}{98.78} = 224.06 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례15의 취수탑 연결도교 슬래브 상판 동바리높이가 최대 약 15.5m로서 V_3 의 Pipe 동바리를 5단을 설치하고, Pipe 동바리간의 이음을 상·하부 단판에 유로폼 결속용 후크부재 2개를 끼워넣어 #10 철선으로 결속하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 950 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2024.17 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-60> 부재검토 결과표(사례15)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 에 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	28	135	34	135	224	950	2024
O.K		O.K		N.G		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례15에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $27.83kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $34.36kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전하나, 명에에 작용하는 최대응력은 $224.06kg/cm^2$ 로 그 허용응

력 $135\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 매우 높은 결과를 보여 멩에는 매우 불안정한 것으로 나타났다. 또한 본 사례15의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 2024.17kg 로 허용압축하중 950kg 보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례15의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 $1.2\text{m} \times 1.0\text{m}$ 로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멩에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 멩에에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례15의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격을 너무 크게 배치하여 멩에에 작용하는 응력이 허용응력을 크게 상회하였고, 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리높이가 최대 약 15.5m 로서 V_3 의 Pipe 동바리를 5단을 설치하고, Pipe 동바리간의 이음을 상·하부 단판에 유로폼 결속용 후크부재 2개를 끼워넣거나 #10 철선으로 결속하여 이음부가 완벽하게 체결되지 않았고, 또한 $\phi 48.6$ 강관파이프로 비계를 설치하여 목재를 2.6m 높이마다 횡방향으로 수평연결재를 시공하였으나 이러한 수평연결재로는 2방향으로의 수평변위를 방지하는데 불충분했던 점을 들 수 있다.

<표4-61> 재해분석 비교(사례15)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리 상하 이음부 전용철물 미사용, 콘크리트 타설작업시 안전조치 미흡 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 멩에의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[16] 사례16

가. 재해개요

<표4-62> 재해개요(사례16)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
(주) 임하건설	관광호텔 증축공사	1996. 10. 11	사망 1명, 부상 4명

나. 재해 상황

사고발생 현장은 지하 1층의 전체 높이 7.7m중 3.6m~3.9m까지의 웅벽 및 기둥의 콘크리트 타설을 완료한 후 이에 연결하여 잔여 웅벽체, 기둥 및 1층 바닥(지하 1층 슬래브) 거푸집 동바리공을 설치한 상태였다.

외부 웅벽설치 부분의 동바리는 6m 단판 Pipe를 2열로 세우고 단판이 부착되지 않은 단판위에 중간 받침목으로 각재(2'×3')를 가로, 세로로 교차되게 설치한 후 각재(2'×3', 1.2m~0.7m)를 이용 동바리로 세워 상부 명예를 지지하였고(웅벽 철근 작업발판 설치를 위해 6m 단판 Pipe를 설치함), 중앙부 슬래브 부분의 동바리는 4m 단판 Pipe를 가로×세로 약 1.1m×0.9m 간격으로 세워 배치한 후 상부에 각재를 가로, 세로로 교차되게 설치한 상태에서 Pipe 동바리를 2단 동바리공으로 설치하여 명예를 지지한 상태로 설치하였다.

지주간의 수평연결은 4m 단판 설치부분의 경우 2개 방향으로 한방향으로는 높이 1.6m, 3.3m 부분에 단판을 이용하여 설치하였으나 나머지 방향으로 철근이나 철선(반생) 등의 자재를 혼용하여 설치하여 신뢰성이 없는 상태이고 그 외 Pipe 동바리 간의 연결 등은 수평연결로 보기 어려운 상태로 설치되었다.

콘크리트 타설당일 형틀 마무리 위해 목수 8명이 출근하였고, 콘크리트공 9명이 출근하여 C.P.C 2대를 이용하여 9시부터 콘크리트 타설작업을 실시하였는데, 먼저 전면에 설치된 C.P.C(A)는 기존 구조물과의 연결부에서부터 시작하여 외부 웅벽, 기둥, 보 등에 계획 타설높이의 1/2~1/3 높이까지 콘크리트 타설을 실시하였고, 건물 배면측에 위치한 C.P.C(B)는 계단실 웅벽과 계단을 먼저 타설하고 주변 웅벽에 계획 타설높이의 1/2~1/3 정도를 타설한 후 슬래브에 콘크리트 타설작업을 실시하여, 붕괴된 부분의 슬래브 약 1/2~2/3 정도의 면적에 콘크리트를 타설할 때쯤, 슬래브가 조금씩 내려 앉으며 이상조짐을 보이자 목수반장이 콘크리트 타설을 중지시키고 동바리가 설치된 슬래브 하부로 내려가서 확인하여 보니 동바리재가 한쪽으로 쏠리고 있었으며, 이에 목수반장은 목공 6명과 함께 슬래브 하부로 내려와 목공들에게 동바리 수평이음 및 버팀을

보완할 것을 지시한 후 콘크리트공에게 목공들이 동바리공 보강작업을 완료할 때까지 콘크리트 타설을 중지할 것을 요청하였고 그 후 개인적인 업무로 인해 현장을 떠난 후(이때 현장소장은 콘크리트 타설이 중지되어 레미콘 트럭이 현장으로 들어오는 통로를 가로막게 되자 도로로 나가 교통정리 중이었음), 목공들이 슬래브 하부에서 동바리 수평연결 실시로 동바리공 보완작업을 계속하여 실시하고 있던 상황에서 이미 한쪽으로 쏠려져 있던 동바리공이 상부의 콘크리트 하중을 더 이상 지탱하지 못하고 붕괴되며 하부에서 작업하던 목공들을 덮쳐 1명이 사망하고 4명이 부상당한 재해이다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석 및 예방대책

i) 재해발생 원인

○ 재해요인

○ 불안정한 행동

① 콘크리트 타설작업으로 붕괴될 우려가 높은 슬래브 하부에서 거푸집 동바리공 보강작업을 실시

○ 불안정한 상태

① 거푸집 동바리공 설치 상태 불량(콘크리트 타설에 대한 안전성 미확보)

○ 재해발생 원인

가. 직접원인

① 거푸집 동바리공 설치불량

- 높이 7.7m의 거푸집 동바리공을 설치하면서 별도의 안전성 검토없이 이질의 부재단관비계 + Pipe 동바리, 단관비계 + 각재)를 조합하여 동바리로 사용

- 각부재의 연결점이 불량하여(서로 구속되지 않음) 부재절점의 이완 및 동바리공 기둥재의 좌굴현상을 가속시킴.

- 동바리공의 높이가 7.7m 임에도 불구하고 수평연결대 설치가 불량함

- 지주의 상하부 고정이 불량함.

② 콘크리트 타설로 인하여 거푸집 동바리공의 붕괴 우려가 있는 슬래브 하부에서 별도의 안전조치 및 감시인없이 거푸집 동바리공 보강작업을 실시

나. 간접원인

① 거푸집 동바리공 표준조립도 미작성 및 안전성 검토 미실시

- 거푸집 동바리공 조립전 지주, 이음매, 마디등 부재의 배치 및 치수가 명시된 조립도 미작성

- 콘크리트 타설에 대한 거푸집 동바리공의 구조 안전성 검토 미실시

② 안전담당자 업무 소홀

- 작업중 안전한 작업방법을 결정하고 작업을 총괄지휘하여야 하나 미흡

ii) 재해예방 대책

○ 재해예방 대책

가. 기술적 대책

① 거푸집 동바리공 표준조립도 작성 및 안전성 검토

- 거푸집 동바리공 조립전 지주, 이음매, 마디 등 부재의 배치 및 치수가 명시된 표준조립도를 작성하고 조립도에 의거 조립작업 실시
- 콘크리트 타설에 대한 거푸집 동바리공의 구조 안전성 검토를 실시한다.

② 거푸집 동바리공 설치 안전기준 준수 철저

- 거푸집 동바리공의 지주는 동질의 재료를 사용하여 조립도에 의거 조립한다.
- 강재와 강재의 접속부 및 교차부는 전용철물을 사용하여 고정한다.
- 지주의 상하부는 고정하고 미끄럼 방지 조치를 실시한다.

나. 관리적 대책

- ① 붕괴위험의 우려가 있는 곳에서는 별도의 안전조치 실시등으로 안전성이 확보된 상태에서 안전담당자 및 감시인 배치하에 작업을 실시한다.

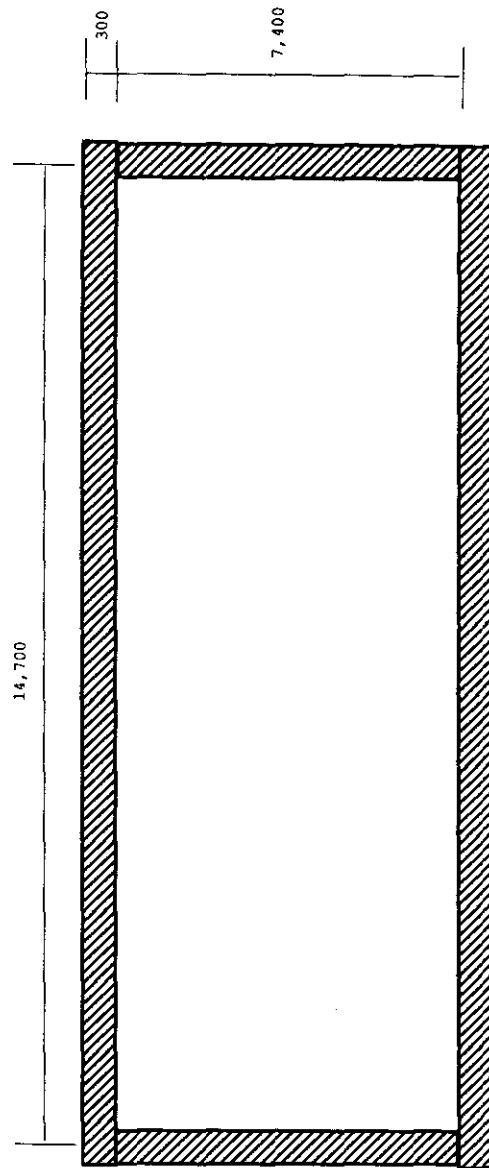
② 안전담당자 업무 철저

- 위험공종에는 안전담당자를 배치하여 안전한 작업방법을 결정하고 작업을 총괄 지휘토록 한다.

○ 동종재해 예방 대책

- ① 콘크리트 타설작업중에는 감시자를 배치하고 작업중 붕괴의 우려가 있을 경우는 즉시 작업을 중지하고 근로자를 대피시킨다.

- ② 거푸집 동바리공은 조립전 표준조립도를 작성하고 콘크리트 타설에 대한 구조안전성 검토를 실시한 후 조립도에 의거 조립한다.



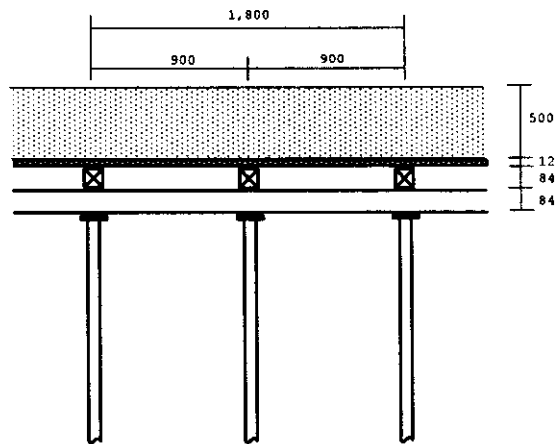
[그림4-46] 개략 도면(사례16)

라. 구조해석

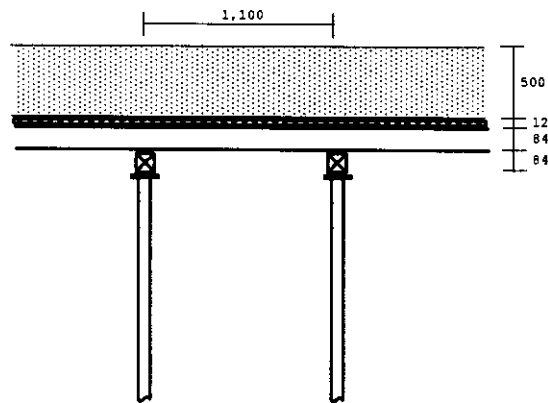
본 사례16에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-47a]와 같이 장선, 명에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-47b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-48]과 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 명에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-63>과 같다.

<표4-63> 구조해석 데이터(사례16, cm)

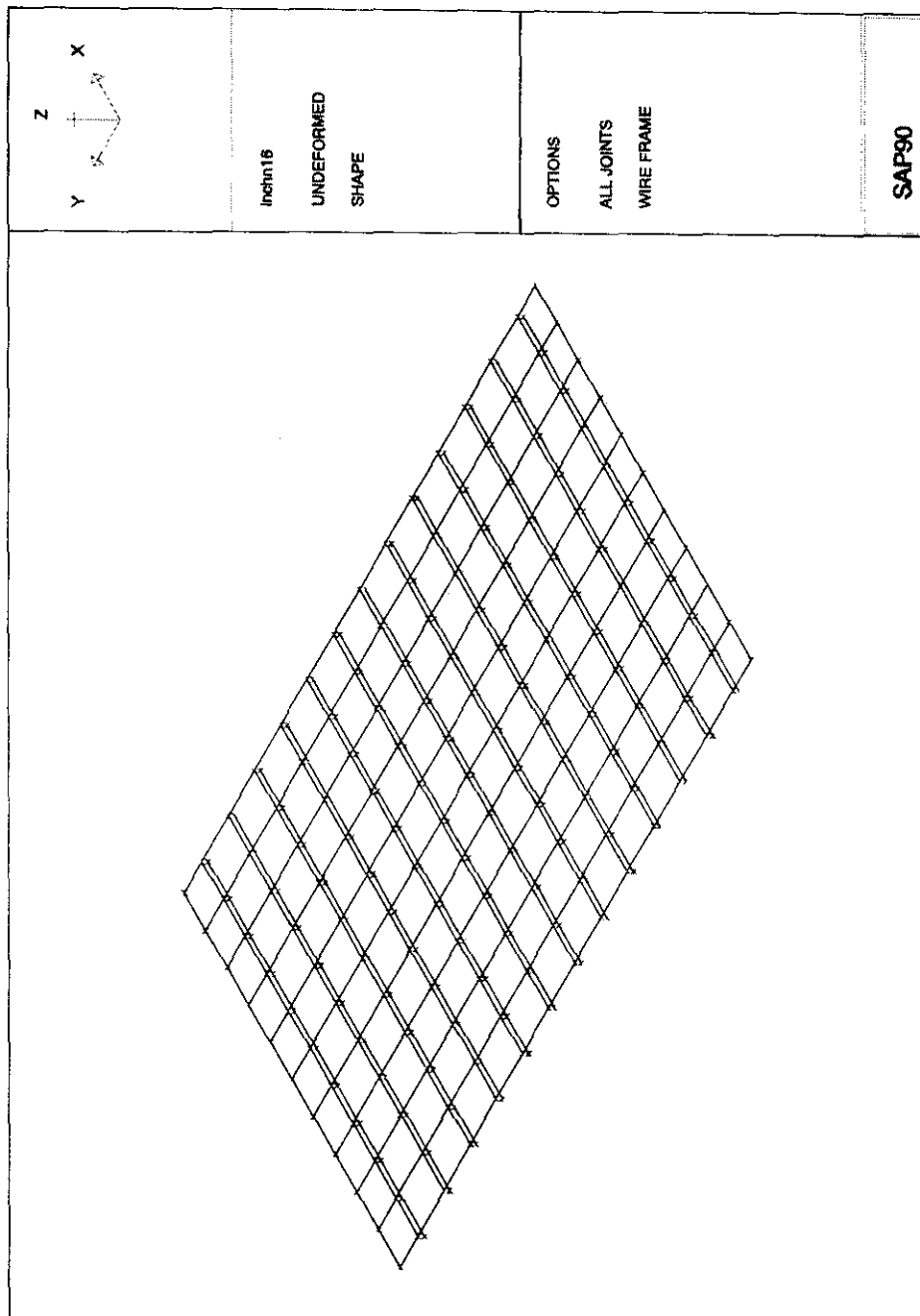
슬래브두께	장선 간격	명에 간격	동바리 간격
50	90	110	90×110
(가정)	(가정)	(가정)	(가정)



[그림4-47a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례16)



[그림4-47b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례16)



[그림4-48] 구조해석 모델링(사례16)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 132.57 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{132.57}{0.24} = 552.38 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 68331.67 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{68331.67}{98.78} = 691.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a \quad \text{N.G}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 20086.59 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{20086.59}{98.78} = 203.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례16의 관광호텔 증축공사 지하1층 슬래브 동바리높이가 약 7.7m로서 중앙 슬래브 부분은 상부에 V_3 의 Pipe 동바리를 하부에 길이가 4m인 $\phi 48.6$ 단관파이프를 2단으로 설치하고 기둥 부분의 슬래브는 상부에 약 1.7m의 각재 ($60\text{mm} \times 90\text{mm}$)를 6m인 $\phi 48.6$ 단관파이프를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리 및 각재와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 상부 Pipe 동바리와 각재의 허용하중은 다음과 같다.

$$\text{Pipe 동바리} : P_a = 950 \text{ kg}$$

$$\text{각재} : P_a = 3934.18 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1819.87 \text{ kg}$$

따라서, Pipe 동바리에 대한 결과는 다음과 같고,

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

각재에 대한 결과는 다음과 같다.

$$\therefore P_{\max} < P_a$$

O.K

<표4-64> 부재검토 결과표(사례16)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		동바리 (kg)			
						Pipe		각재	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력	허용 압축력	압축력
260	552	135	692	135	203	950	1820	3934	1820
N.G		N.G		N.G		N.G		O.K	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례16에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $552.38kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 매우 높은 응력을 보여 합판은 매우 불안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $691.76kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 매우 높은 응력을 보여 장선도 매우 불안전할 뿐만 아니라, 명에에 작용하는 최대응력은 $203.35kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 약간 높은 결과를 보여 명에도 약간 불안전한 것으로 나타났다. 또한 본 사례16의 동바리는 상부에 Pipe 동바리와 각재를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리 및 각재에 대한 압축력을 검토한 결과, 최대압축하중은 $1819.87kg$ 로 Pipe 동바리의 허용압축하중 $950kg$ 보다 매우 높은 결과를 보였고, 각재의 허용압축하중 $3934.18kg$ 보다는 낮아 Pipe 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례16의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 $1.1m \times 0.9m$ 로 하고, 또한 붕괴된 지하1층 슬래브의 두께를 $50cm$ 로 가정하고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 명에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판, 장선, 명에에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보였으며, Pipe 동바리 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례16의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격을 너무 크게 배치하여 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 $7.7m$ 로서 상부에 Pipe 동바리와 각재를 하부에 단관파이프를 2단으로 설치하고 동바리 및 각재와 단관파이프 사이 접속부 이음부에 2단의 목재를 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리 및 각재와 하부의 단관파이프를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 설

치한 수평연결재도 지점으로부터 1.6m, 3.3m 높이에 일방향으로만 하부 단관파이프부분에 설치하고, 상부 Pipe 동바리와 각재 부분에는 설치하지 않은 것들을 수 있다.

<표4-65> 재해분석 비교(사례16)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리로 단관비계와 Pipe Support, 단관비계와 각재의 서로 이질재를 조합하여 사용으로 충분한 지지력 미확보, 연결부 불충분, 수평연결재 불량, 동바리의 상하부 고정 불량 등으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정한 대로 시공되었다면, 합판, 장선 및 멩에의 용력이 허용용력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

[17] 사례17

가. 재해개요

<표4-66> 재해개요(사례17)

사업장명	현장명	재해일	인명피해
일조종합건설(주)	근린생활시설신축	1996. 11. 15	사망 1명, 부상 5명

나. 재해 상황

재해발생 당일 9시경부터 3층 벽체 및 4층바닥 슬래브 콘크리트 타설중, 13시30분경 펌프카를 이용하여 4층 바닥에 콘크리트를 부어놓는 작업을 완전히 마친후(타설 콘크리트 물량 타설 완료), 4층 바닥위에서 근로자 6명이 콘크리트 퍼기, 콘크리트 제물치장 작업등 마무리작업중, 3층 예배실 OPEN부위(층고 7.65m 구간) 중앙부분부터 무너져 내려, 4층 바닥 중앙부분에서 작업중이던 피재자 김종환이 제일 먼저 콘크리트와 함께 무너진 가설재에 묻혀 사망하였고, 중앙부분에서 멀리 떨어져 작업중이던 근로자는 경상의 재해를 당한 재해이다.

이때 붕괴된 3층 예배실 OPEN 부위(층고 7.65m 구간)의 동바리공 구조상태를 살펴보면, 하부에 철서포트를 설치하고 중간에 각재, 패널등을 대고, 그 위에 철서포트를 설치한 것으로 추정되며, 3층 콘크리트 타설중 붕괴되지 않은 부분(층고 3.1~4.35m 구간)의 동바리공 설치간격이 1.2~1.4m이고, 철근(HD13)으로 한쪽방향으로만 수평연결재가 설치된 것으로 보아 붕괴된 구간(층고 7.65m 구간)의 동바리공 설치간격도 1.2~1.4m이고, 수평연결재를 철근을 사용하여 한쪽방향으로만 설치한 것으로 보여진다.

다. 시공적인 재해발생 원인분석

○ 재해발생 원인

○ 거푸집 동바리공 설치불량

- 동바리공 설치간격이 넓어 상부 콘크리트 타설시 하중을 견디지 못하고 붕괴(거푸집 동바리공 구조점토 참조 : 구조계산상 1.2m 이내로 설치하여야 하나, 1.2~1.4m 간격으로 설치된 것으로 추정됨.)

- 동바리공 이음 불량

· 파이프 서포트를 이어서 사용할 때에는 4개 이상의 볼트 또는 전용철물을 사용하여야 하나

· 하부 파이프 서포트 위에 각재, 패널 등을 대고, 그 위에 파이프 서포

트를 설치하여 구조적으로 일체가 되지 않아 상부의 수직하중이 상부 파이프 서포트를 통하여 중간 이음각재, 하부 파이프 서포트로 전달이 제대로 되지 못하여 붕괴된 것으로 추정됨.

- 수평연결재 설치 미흡

· HD 13 철근을 사용하여 한쪽방향으로만 수평연결재 설치(추정)

* 거꾸집 동바리공 구조검토(Pipe 동바리 검토)

○ 상,하부 서포트의 접합부가 양호하고 수직이 정확하게 맞아 상부 콘크리트 타설하중이 상,하부 파이프 서포트에 일직선상으로 아래바닥으로 전달된다고 가정하였을 경우

○ 하중계산

- 고정하중 : $2,400 \text{ kg/m}^3 \times 0.12\text{m} \times 1.4\text{m} \times 1.4\text{m} = 564.48\text{kg}$

- 충격하중 : 고정하중의 50% = 282.24kg

- 작업하중 : $150 \text{ kg/m}^2 \times 1.4\text{m} \times 1.4\text{m} = 294\text{kg}$

Total : 1,140.72kg

○ Pipe 동바리의 허용축 하중검토

- $N = 1,140.72\text{kg}$

- Pipe 동바리 V_3 Type 허용하중 $F_c = 1,200\text{kg}$

Pipe 동바리의 허용하중을 안전율($F_s = 1.3$)을 적용하여 검토하면

$N = 1,140.72\text{kg} > 1,200/1.3 = 923.08\text{kg}$

∴ NG(구조적으로 불안전)

○ 안전한 Pipe 동바리 설치간격 산정

- Pipe 동바리 설치간격을 x m라고 가정하면

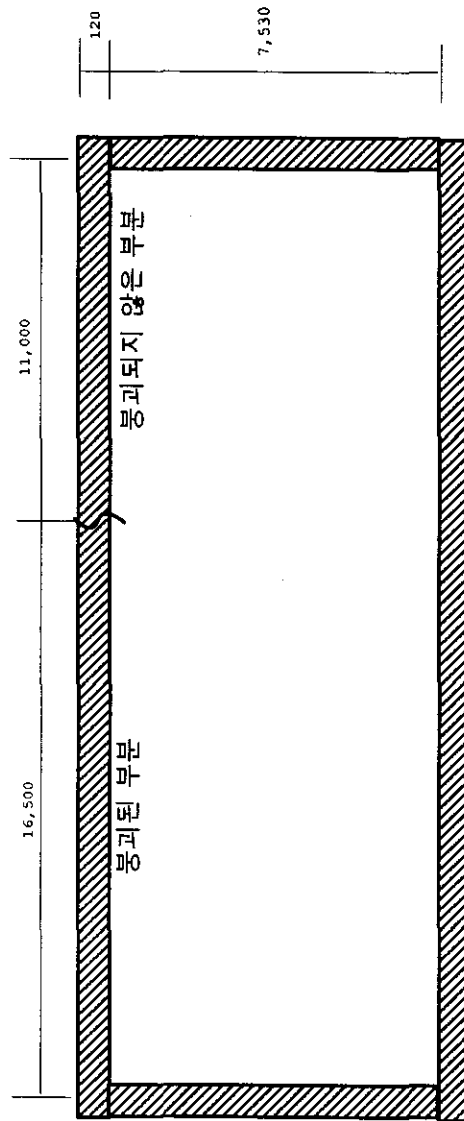
$2,400 \times 0.12 \times x \times x \times 1.5 + 150 \times x \times x < 923.08$

$582 x^2 < 923.08$

$x^2 < 1.58591$

$x < 1.259\text{m}$

∴ Pipe 동바리를 1.2m 이내로 설치하여야 함.



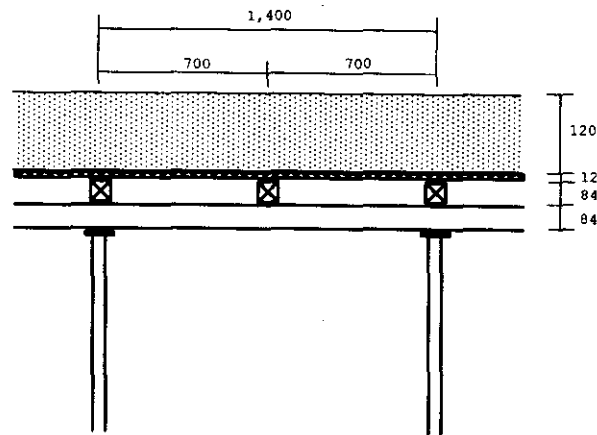
[그림4-49] 개략 도면(사례17)

라. 구조해석

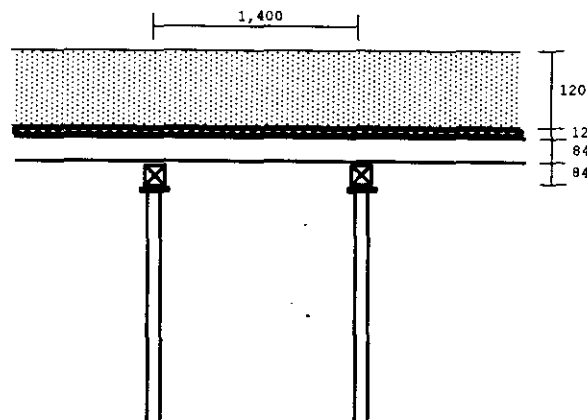
본 사례17에 대한 구조해석은 종방향으로 [그림4-50a]와 같이 장선, 멍에, 동바리로 이루어져 있고, 횡방향으로 [그림4-50b]와 같이 이루어져 있는 것으로 보고 [그림4-51]과 같이 거푸집 합판은 SHELL ELEMENT, 장선 및 멍에는 FRAME ELEMENT로 모델링하여 구조해석 전용프로그램인 SAP90을 이용 구조해석을 수행하였으며, 이때 구조해석에 필요한 데이터는 다음 <표4-67>과 같다.

<표4-67> 구조해석 데이터(사례17, cm)

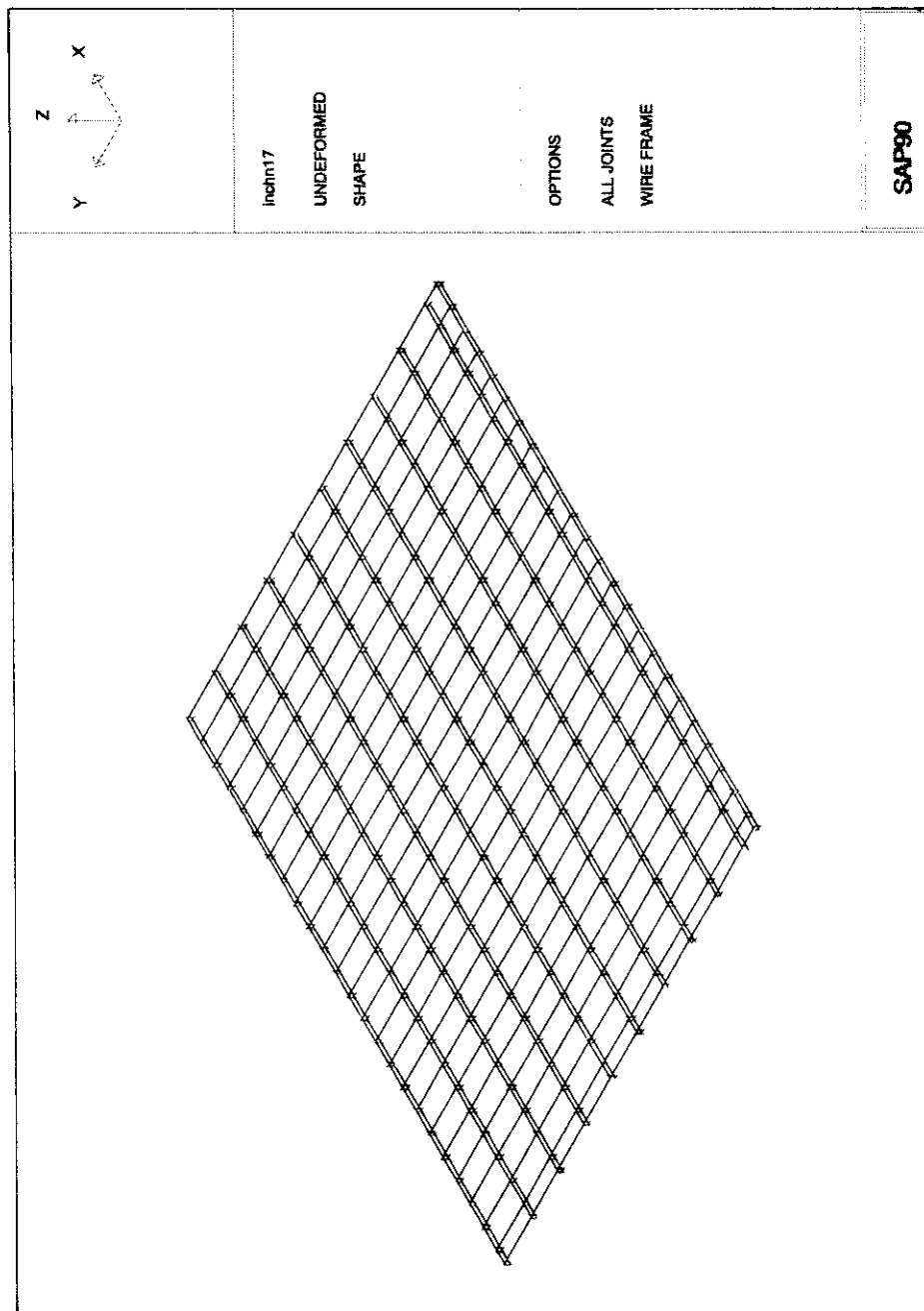
슬래브두께	장선 간격	멍에 간격	동바리 간격
12	70 (가정)	140 (가정)	140×140 (추정)



[그림4-50a] 종방향 가설재 및 부재 단면도(사례17)



[그림4-50b] 횡방향 가설재 및 부재 단면도(사례17)



[그림4-51] 구조해석 모델링(사례17)

마. 해석결과에 의한 각 부재검토

① 합판의 응력검토

$$M_{\max} = 5.69 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(1)(1.2)^3}{12} = 0.144 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(1)(1.2)^2}{6} = 0.24 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{5.69}{0.24} = 23.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 260 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

② 장선의 응력검토

$$M_{\max} = 1506.77 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{1506.77}{98.78} = 15.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} < \sigma_a \quad \text{O.K}$$

③ 멩에의 응력검토

$$M_{\max} = 19960.36 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(8.4)(8.4)^3}{12} = 414.89 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(8.4)(8.4)^2}{6} = 98.78 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{19960.36}{98.78} = 202.07 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 135 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore \sigma_{\max} > \sigma_a$$

N.G

④ 동바리 압축력 검토

본 사례17의 근린생활시설 신축공사 3층 슬래브 동바리높이가 약 7.65m로서 상·하부에 V_3 의 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고, Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 각재 및 판넬을 사용하여 동바리 하중을 전달하는 구조를 사용하였기 때문에 V_3 의 상부 Pipe 동바리의 허용하중은 다음과 같다.

$$P_a = 950 \text{ kg}$$

또한 구조해석을 통해 얻은 동바리의 최대압축력은 다음과 같다.

$$P_{\max} = 1743.41 \text{ kg}$$

$$\therefore P_{\max} > P_a$$

N.G

<표4-68> 부재검토 결과표(사례17)

합 판 (kg/cm^2)		장 선 (kg/cm^2)		명 예 (kg/cm^2)		Pipe 동바리 (kg)	
허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 응력	응력	허용 압축력	압축력
260	24	135	15	135	202	950	1743
O.K		O.K		N.G		N.G	

바. 구조해석에 의한 재해분석 및 조사기관 분석비교

본 재해사례17에 대한 구조해석 결과를 이용하여 각 부재에 대한 응력을 검토한 결과, 합판에 작용하는 최대응력은 $23.71kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $260kg/cm^2$ 보다 크게 낮은 응력을 보여 합판은 매우 안전하고, 장선에 작용하는 최대응력도 $15.25kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 매우 낮은 응력을 보여 장선도 매우 안전하나, 명예에 작용하는 최대응력은 $202.07kg/cm^2$ 로 그 허용응력 $135kg/cm^2$ 보다 높은 결과를 보여 명예는 불안정한 것으로 나타났다. 또한

본 사례17의 동바리는 Pipe 동바리를 사용하였기 때문에 Pipe 동바리에 대한 압축력을 검토한 결과, Pipe 동바리의 최대압축하중은 1743.41kg로 허용압축하중 950kg보다 매우 높은 결과를 보여 동바리에 매우 문제가 있었던 것으로 사료된다.

한편, 본 사례17의 구조해석은 재해조사결과보고서를 기초하여 동바리의 간격을 1.4m×1.4m로 보고 해석을 실시하였다. 이렇게 장선 및 멍에, 동바리의 간격을 모델링한 것과 같이 배치한 경우에는 합판과 장선에 작용하는 응력은 허용응력보다 낮아 안전한 구조를 보였으나, 멍에에 작용하는 응력은 허용응력보다 높아 불안정한 구조를 보였으며, 동바리에 작용하는 압축력도 허용하중보다 크게 높아 충분한 지지력을 확보하지 않았던 것으로 사료된다.

따라서, 본 사례17의 근본적인 붕괴원인은 동바리의 간격을 너무 크게 배치하여 멍에에 작용하는 응력이 허용응력을 상회하였고 동바리에 과도한 하중이 작용하여 허용하중을 넘었을 뿐만 아니라, 동바리의 높이가 약 7.65m로서 상·하부에 Pipe 동바리를 2단으로 설치하고 Pipe 동바리와 동바리 사이 접속부 이음부에 목재 및 판넬을 사용하면서 하중이 확실하게 하단으로 전달되도록 상부의 Pipe 동바리와 하부의 동바리를 일치시키지 않았고, 이음부를 확실하게 고정을 시키지 않았으며, 수평변위를 방지하고 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위해 2m 높이마다 2방향으로 설치해야 하나, 본 사례에서는 HD13의 철근으로 일방향으로만 시공하여 수평변위 및 좌굴을 방지하지 않은 점을 들 수 있다.

<표4-69> 재해분석 비교(사례17)

시공적인 재해원인	구조해석에 의한 재해원인
동바리의 설치간격이 너무 넓고, Support이음부 전용철물 미사용, 수평연결재 설치 미흡, Support의 구조가 일체가 이루어지지 않아 하중이 제대로 전달되지 못하는 등의 원인으로 붕괴가 일어난 것으로 분석	본 가설구조물이 가정하고, 추정된 대로 시공되었다면, 멍에의 응력이 허용응력을 초과하고, 동바리로 사용된 Pipe의 압축력이 허용압축력을 초과하여 재해가 일어난 것으로 분석가능

제5장 종합분석 및 예방대책

1. 구조해석 종합분석

본 연구에서는 1993년부터 1996년까지 일어난 건설재해 가운데 한국산업안전공단에서 직접 조사한 건설중대재해중 구조해석 가능한 17건의 도괴재해에 대한 구조해석을 수행하였다.

이러한 구조해석 결과로부터 가설구조의 각 부재별 응력 및 하중을 허용응력 및 허용하중과 비교하여 각 부재의 안전도를 평가하였다. 다만, 이러한 결과들은 재해조사보고서를 기초하여 가설구조에 대한 모델링을 실시하고, 또한 재해조사보고서에 나와 있지 않은 것은 가정을 하여 해석을 수행한 결과들로서 가정한 값이 실제와 다른 경우에는 그 결과 값들이 다를 수 있으나, 현장경험과 구조물의 특성을 분석하여 가정을 하였기 때문에 본 연구결과 분석은 추후 유사한 도괴재해를 예방하는데 그 근거를 제공할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서 다루어진 17건의 도괴재해를 동바리높이별로 나누어 보면 <표5-1>과 같다. <표5-1>에서 보는 바와 같이 동바리높이가 7.0m이상 9.0m 이하에서 7건의 도괴재해건수로 약 41%의 비율을 보임으로써 많은 자료의 통계수치는 아니지만, 도괴재해가 가장 많이 발생할 수 있는 동바리높이가 7.0m이상 9.0m 이하인 것으로 사료되는데, 이러한 결과를 보이는 것은 동바리높이가 낮은 경우에는 도괴확률이 낮고, 동바리높이가 매우 높은 경우에도 시공시 세심한 주의를 기울이나 중간정도의 높이에서는 동바리에 대한 시공이 정확하게 이루어지지 않고 있다는 것을 의미하는 것이다.

<표5-1> 동바리높이별 붕괴건수

지보높이 (H)	$H < 3.0m$	$3.0 \leq H < 5.0m$	$5.0 \leq H < 7.0m$	$7.0 \leq H < 9.0m$	$9.0 \leq H < 11.0m$	$11m \leq H$
붕괴건수	-	2	3	7	3	2

한편, 본 연구의 17건의 사례의 구조해석 안전도평가를 하나의 표로 작성해 보면 <표5-2>와 같으며, 또한 각 부재별로 불안전율을 작성하면 <표5-3>과 같다. <표5-3>에서 보는 바와 같이 가설구조물의 부재중에 거푸집널, 장선재, 멩에재, 동바리 순으로 불안전율이 높음을 알 수 있고, 또한 가장 중요시 여기

는 부재인 동바리에서 16건에서 불안전율을 보임으로써 본 사례의 도피재해는 구조적으로 매우 불안전하여 처음부터 붕괴의 가능성을 지니고 있었음을 알 수 있다.

<표5-2> 구조해석 안전도 평가 총괄

구분	합판	장선	멍에	동바리
사례1	○	○	●	●
사례2	●	●	○	●
사례3	○	○	○	●
사례4	-	○	○	●
사례5	○	○	●	●
사례6	○	●	○	○
사례7	○	○	●	●
사례8	●	○	●	●
사례9	○	●	○	●
사례10	○	○	○	●
사례11	○	●	○	●
사례12	○	○	○	●
사례13	○(Deck판)	-	-	●
사례14	○	○	○	●
사례15	○	○	●	●
사례16	●	●	●	●
사례17	○	○	●	●

○ : 부재의 구조해석 응력 및 축력이 허용응력 및 허용력 이하인 경우

● : 부재의 구조해석 응력 및 축력이 허용응력 및 허용력을 초과하는 경우

<표5-3> 각 부재별 불안전율

부재 종류	총 재해건수	불안전 건수	불안전율(%)
거푸집널	15	3	20.0
장선재	16	5	31.3
멍에재	16	7	43.8
지보	17	16	94.1

2. 도괴재해 예방대책

본 연구에서는 건설재해중 도괴재해에 대한 가설구조물의 구조해석을 통해 도괴재해의 구조적 재해원인을 규명하고 이러한 유사재해를 방지하기 위한 예방대책을 수립하는데, 그 목적이 있는데, 17건의 사례에 대한 구조해석 및 원인 규명으로부터 다음과 같은 도괴재해 예방대책을 제시하고자 한다. 다만, 이러한 예방대책은 부록1에 있는 산업안전기준에 관한 규칙을 1차적으로 지켜야 하며, 더불어 여기에 첨가된 대책도 가설구조 시공시 지켜진다면, 건설중 발생하는 도괴재해를 어느 정도 줄일 수 있을 것이다.

- ① 가설구조물의 구조해석이나 구조계산을 통해 안전도를 검사하고, 이를 근거로 하여 설계도를 반드시 작성한다.
- ② 동바리의 높이가 3.5m 이상일 경우에는 2m마다 수평연결재를 4개이상의 보울트 또는 전용철물로 2방향으로 설치한다.
- ③ 동바리를 2단 이상으로 할 때에는 반드시 동바리와 동바리의 이음판에 볼트와 너트(또는 전용철물)을 사용하여 단단히 체결될 수 있도록 한다.
- ④ 동바리와 동바리 사이 이음부에 각재를 넣는 것을 되도록 피하고 부득이 사용하고자 할 경우에는 상부 동바리와 하부 동바리가 일치하도록 설치하고, 이음부는 단단히 체결되도록 전용철물 등을 이용하여 고정한다.
- ⑤ Pipe 동바리 대신에 단관파이프를 사용할 때에는 상단에 강재의 단판을 부착하여 사용한다.(특히, 단관파이프의 이음은 2본이상 사용하지 않으며, 접이음시 충분한 이음길이를 확보한다.)
- ⑥ 동바리 지지점의 침하나 슬립이 일어나지 않도록 확실하게 고정시킨다.
- ⑦ 장선은 거푸집널에, 명에는 장선에, 동바리는 명에에 반드시 고정시킨다.
- ⑧ 내관과 외관을 연결하는 연결나사 부분이 마모되거나 부식된 동바리는 사용하지 않는다.
- ⑨ 변형된 동바리는 사용하지 않는다.
- ⑩ 부식된 동바리는 사용하지 않는다.
- ⑪ 전용수명의 기준을 정하여 전용수명이상인 가설재는 폐기처분한다.

- ⑫ 슬래브의 두께에 따른 동바리의 간격은 다음 <표5-4>를 준수한다.
(단, 동바리의 허용하중이 2,000kg인 경우)

<표5-4> 슬래브의 두께에 따른 동바리의 간격

슬래브 두께	동바리 간격	슬래브 두께	동바리 간격
10cm	1.97×1.97m이하	50cm	1.00×1.00m이하
20cm	1.50×1.50m이하	60cm	0.93×0.93m이하
30cm	1.25×1.25m이하	70cm	0.87×0.87m이하
40cm	1.10×1.10m이하	80cm	0.81×0.81m이하

- ⑬ 보의 크기에 따른 동바리의 간격은 다음 <표5-5>를 준수한다.
(단, 동바리의 허용하중이 2,000kg인 경우)

<표5-5> 보의 크기에 따른 동바리의 간격

보 (B×H)	30×60cm	40×80cm	50×100cm	60×120cm
동바리 간격	2.86m이하	1.63m이하	1.07m이하	0.74m이하

제6장 결 론

가설물공사는 구조물의 품질과 안전에 직접적인 영향을 미치므로 안전을 고려한 공사계획이 수립되어야 하며, 가설구조물의 설계 또한 구조물의 설계와 마찬가지로 확실한 안전성을 확보할 수 있도록 구조계산과 설계기준에 의거 정확하게 이루어져야 한다.

그러나 현장에서는 가설구조물의 중요성을 인식하지 못하여 그동안의 경험에 의존하여 가설물공사를 할 뿐만 아니라 안전성이 결여된 가설물 설계와 시공, 안전기준에 맞지 않은 재료의 사용 등으로 붕괴 및 도괴재해가 빈번히 일어나고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기 발생된 도괴재해사례에 대한 조사분석과 구조해석을 통해 구조적 재해원인을 규명하고 대책을 제시하는데 그 목적이 있으며, 이러한 목적하에 1993년부터 1996년까지 일어난 건설재해 가운데 17건의 한국산업안전공단 재해결과보고서를 기초로 구조해석을 수행하였다.

본 연구의 구조해석 대상인 17건의 도괴재해를 동바리높이별로 구분해 보면, 동바리높이가 7.0m이상 9.0m 이하에서 7건의 재해가 발생하여 약 41%의 비율을 차지했는데, 이러한 결과는 많은 자료의 통계는 아니지만, 7.0m이상 9.0m 이하인 동바리높이를 가지는 공사에서 도괴재해가 가장 많이 발생할 확률이 높음을 의미하는 것이며, 이러한 결과는 동바리높이가 낮은 경우에는 붕괴확률 자체가 낮고, 동바리높이가 반대로 매우 높은 경우에는 동바리에 대한 설계와 검사에 세심한 주의를 기울이나 7.0m이상 9.0m 이하의 중간정도의 동바리높이에서는 동바리에 대한 정확한 구조계산 및 설계가 잘 이루어지고 있지 않다는 것을 반영해 주는 것이다. 또한 본 연구의 구조해석을 통해 각 부재별 불안전율을 분석해 보면 가설구조물의 부재중 거푸집널, 장선재, 명에재, 동바리 순으로 불안전율이 높음을 알 수 있었으며, 또한 가설구조물중 가장 중요한 부재인 동바리는 16건에서 불안전을 보임으로써 본 도괴사례들은 구조적으로 불안정한 구조로서 처음부터 붕괴의 가능성을 지니고 있었음을 알 수 있었다.

한편, 각 사례별 구조해석을 통해 재해의 원인을 분석해 보면, 각 사례의 도괴재해는 산업안전기준에 관한 규칙의 거푸집 동바리공등의 안전조치를 철저히 준수하고, 정확한 구조계산이나 구조해석을 통해 안전성을 확보할 수 있는 가설구조물 설계가 이루어졌다면 미연에 방지할 수 있었을 것으로 사료된다. 따라서, 앞으로는 가설물 설계시 경험에 의존한 설계가 아닌 구조계산이나 구조해석을 통해 구조적으로 안전한 가설구조가 될 수 있도록 해야 하며, 특히 도

피재해 예방대책을 철저히 준수하여 다시는 거꾸집 붕괴와 같은 원시적인 사고가 발생되지 않도록 건설현장의 모든 관계자가 노력을 아끼지 않아야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) ———, “산업안전보건법”
- (2) 노동부, “산업재해분석”, 1993~1995
- (3) ———, “건축법”
- (4) 건설부, “건축구조 설계기준”
- (5) 건설부, “콘크리트공사 표준시방서”
- (6) 대한건축학회, “건축공사 표준시방서”
- (7) 쌍용건설기술연구소, “거푸집설계 및 시공지침안”, 1994. 2
- (8) 최순주, “거푸집공사 안전작업에 관한 연구”, 1993. 12
- (9) 최순주, “거푸집공사 시공작업에 관한 연구”, 1994. 12
- (10) 건설도서, “지하 가설구조물의 설계계산예”, 1992
- (11) 건설문화사, “가설구조물의 구조계산입문,” 1997
- (12) 건설문화사, “가설구조물의 해설,” 1996
- (13) 기문당, “거푸집공사의 이해와 시공,” 1995
- (14) ACI Committee 347, “Formwork for Concrete”, ACI SP4, 1979

여 백

부록 A. 산업안전기준에 관한 규칙

여 백

부록A. 산업안전기준에 관한 규칙

제363조 (거푸집 동바리공동의 안전조치) 사업주는 거푸집 동바리공등을 조립하는 때에는 다음 각호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 갈목의 사용, 콘크리트 타설, 말뚝박기 등 지주의 침하를 방지하기 위한 조치를 취할 것.
2. 개구부 상부에 지주를 설치하는 때에는 상부하중을 견딜 수 있는 견고한 받침대를 설치할 것.
3. 지주의 고정등 지주의 미끄러짐을 방지하기 위한 조치를 할 것.
4. 지주의 이음은 맞댄이음 또는 장부이음으로 하고 동질의 재료를 사용할 것.
5. 강재와 강재와의 접속부 및 교차부는 보울트·클램프 등 전용철물을 사용하여 단단히 연결할 것.
6. 거푸집이 곡면인 때에는 버팀대의 부착등 당해 거푸집의 부상을 방지하기 위한 조치를 할 것.
7. 지주로 사용하는 강관(파이프받침을 제외한다)에 대하여는 다음 각목의 정하는 바에 의할 것.
 - 가. 높이 2m이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 만들고 수평연결재의 변위를 방지할 것.
 - 나. 보 또는 명에를 상단에 올릴 때에는 당해 상단에 강재의 단판을 부착하여 보 또는 명에에 고정시킬 것.
8. 지주로 사용하는 파이프받침에 대하여는 다음 각목의 정하는 바에 의할 것.
 - 가. 파이프받침을 3본이상 이어서 사용하지 않도록 할 것.
 - 나. 파이프받침을 이어서 사용할 때에는 4개이상의 보울트 또는 전용철물을 사용하여 이을 것.
 - 다. 높이가 3.5m를 초과할 때에는 제7호 가목의 조치를 할 것.
9. 지주로 사용하는 강관틀에 대하여는 다음 각목의 정하는 바에 의할 것.
 - 가. 강관틀과 강관틀과의 사이에 교차가새를 설치할 것.
 - 나. 최상층 및 5층이내마다 거푸집동바리공의 측면과 틀면의 방향 및 교차가새의 방향에서 5개이내마다 수평연결재를 설치하고 수평연결재의 변위를 방지할 것.
 - 다. 최상층 및 5층이내마다 거푸집 동바리공의 틀면의 방향에서 양단 및 5개 틀이내마다의 장에의 교차가새의 방향으로 띠장틀을 설치할 것.
 - 라. 제7호 나목의 조치를 취할 것.

10. 지주로 사용한 조립강주에 대하여는 다음 각목의 정하는 바에 의할 것.
가. 제7호 나목의 조치를 취할 것.
나. 높이가 4m를 초과할 때에는 높이 4m이내마다 수평연결재를 2개 방향으로 설치하고 수평연결재의 변위를 방지할 것.
11. 지주로 사용하는 목재에 대하여는 다음 각목의 정하는 방에 의할 것.
가. 제7호 가목의 조치를 할 것.
나. 목재를 이어서 사용할 때에는 2본이상의 덧댐목을 대고 4개소이상 견고하게 묶은 후 상단을 보 또는 멍에에 고정시킬 것.
12. 보로 구성된 것은 다음 각목의 정하는 바에 의할 것.
가. 보의 양단을 지지물로 고정시켜 보의 미끄러짐 및 탈락을 방지할 것.
나. 보와 보와의 사이에 수평연결재를 설치하여 보가 옆으로 넘어지지 않도록 견고하게 할 것.

부록 B. 구조해석 데이터

여 백

LEE YOUNG HEE'S BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.0	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=950	Y=0.0	Z=0.0	
81	X=0.0	Y=500	Z=0.0	
91	X=950	Y=500	Z=0.0	Q=1,11,81,91,1,20
161	X=0.0	Y=0.0	Z=-12.6	
171	X=950	Y=0.0	Z=-12.6	
241	X=0.0	Y=500	Z=-12.6	
251	X=950	Y=500	Z=-12.6	Q=161,171,241,251,1,20

RESTRAINTS

161	R=1,1,1,0,0,0
163	R=1,1,1,0,0,0
165	R=1,1,1,0,0,0
167	R=1,1,1,0,0,0
169	R=1,1,1,0,0,0
171	R=1,1,1,0,0,0
181	R=1,1,1,0,0,0
183	R=1,1,1,0,0,0
185	R=1,1,1,0,0,0
187	R=1,1,1,0,0,0
189	R=1,1,1,0,0,0
191	R=1,1,1,0,0,0
201	R=1,1,1,0,0,0
203	R=1,1,1,0,0,0
205	R=1,1,1,0,0,0
207	R=1,1,1,0,0,0
209	R=1,1,1,0,0,0
211	R=1,1,1,0,0,0
221	R=1,1,1,0,0,0
223	R=1,1,1,0,0,0
225	R=1,1,1,0,0,0

227 R=1,1,1,0,0,0
 229 R=1,1,1,0,0,0
 231 R=1,1,1,0,0,0
 241 R=1,1,1,0,0,0
 243 R=1,1,1,0,0,0
 245 R=1,1,1,0,0,0
 247 R=1,1,1,0,0,0
 249 R=1,1,1,0,0,0
 251 R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

1,11,1 C=161,161,161,161,161,161 I=1,1,1,1,1,1
 21,31,1 C=181,181,181,181,181,181 I=1,1,1,1,1,1
 41,51,1 C=201,201,201,201,201,201 I=1,1,1,1,1,1
 61,71,1 C=221,221,221,221,221,221 I=1,1,1,1,1,1
 81,91,1 C=241,241,241,241,241,241 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0
 1 E=5.5E4 U=0.4 W=73.04E-3
 1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=10,4

FRAME

NM=2 Z=-1.0
 1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 1 1 21 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 5 2 22 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 9 3 23 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 13 4 24 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 17 5 25 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 21 6 26 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 25 7 27 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 29 8 28 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 33 9 29 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 37 10 30 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20
 41 11 31 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

45	161	162	M=1	LP=-2,0	G=9,1,1,1
55	181	182	M=1	LP=-2,0	G=9,1,1,1
65	201	202	M=1	LP=-2,0	G=9,1,1,1
75	221	222	M=1	LP=-2,0	G=9,1,1,1
85	241	242	M=1	LP=-2,0	G=9,1,1,1

YOUNGRAK CHURCH'S BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
21	X=1000.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,21,1
31	X=0.00	Y=40.0	Z=0.0	
51	X=1000.	Y=40.0	Z=0.0	G=31,51,1
61	X=0.00	Y=140.	Z=0.0	
81	X=1000.	Y=140.	Z=0.0	G=61,81,1
91	X=0.00	Y=240.	Z=0.0	
111	X=1000.	Y=240.	Z=0.0	G=91,111,1
121	X=0.00	Y=270.	Z=0.0	
141	X=1000.	Y=270.	Z=0.0	G=121,141,1
151	X=0.00	Y=300.	Z=0.0	
171	X=1000.	Y=300.	Z=0.0	G=151,171,1
181	X=0.00	Y=330.	Z=0.0	
201	X=1000.	Y=330.	Z=0.0	G=181,201,1
211	X=0.00	Y=360.	Z=0.0	
231	X=1000.	Y=360.	Z=0.0	G=211,231,1
241	X=0.00	Y=460.	Z=0.0	
261	X=1000.	Y=460.	Z=0.0	G=241,261,1
271	X=0.00	Y=560.	Z=0.0	
291	X=1000.	Y=560.	Z=0.0	G=271,291,1
301	X=0.00	Y=600.	Z=0.0	
321	X=1000.	Y=600.	Z=0.0	G=301,321,1
401	X=0.00	Y=40.0	Z=-12.6	
421	X=1000.	Y=40.0	Z=-12.6	G=401,421,1
431	X=0.00	Y=140.	Z=-12.6	
451	X=1000.	Y=140.	Z=-12.6	G=431,451,1
461	X=0.00	Y=240.	Z=-12.6	
481	X=1000.	Y=240.	Z=-12.6	G=461,481,1
491	X=0.00	Y=300.	Z=-12.6	
511	X=1000.	Y=300.	Z=-12.6	G=491,511,1
521	X=0.00	Y=360.	Z=-12.6	

541	X=1000.	Y=360.	Z=-12.6	G=521,541,1
551	X=0.00	Y=460.	Z=-12.6	
571	X=1000.	Y=460.	Z=-12.6	G=551,571,1
581	X=0.00	Y=560.	Z=-12.6	
601	X=1000.	Y=560.	Z=-12.6	G=581,601,1

RESTRAINTS

21	R=1,1,1,0,1,0
141	R=1,1,1,0,1,0
201	R=1,1,1,0,1,0
321	R=1,1,1,0,1,0
401,420,2	R=1,1,1,0,0,0
421	R=1,1,1,0,1,0
431,450,2	R=1,1,1,0,0,0
451	R=1,1,1,0,1,0
461,480,2	R=1,1,1,0,0,0
481	R=1,1,1,0,1,0
491,510,1	R=1,1,1,0,0,0
511	R=1,1,1,0,1,0
521,540,2	R=1,1,1,0,0,0
541	R=1,1,1,0,1,0
551,570,2	R=1,1,1,0,0,0
571	R=1,1,1,0,1,0
581,600,2	R=1,1,1,0,0,0
601	R=1,1,1,0,1,0

CONSTRAINTS

31,51,2	C=401,401,401,401,401,401	I=2,2,2,2,2,2
61,81,2	C=431,431,431,431,431,431	I=2,2,2,2,2,2
91,111,2	C=461,461,461,461,461,461	I=2,2,2,2,2,2
151,171,1	C=491,491,491,491,491,491	I=1,1,1,1,1,1
211,221,2	C=521,521,521,521,521,521	I=2,2,2,2,2,2
241,261,2	C=551,551,551,551,551,551	I=2,2,2,2,2,2
271,291,2	C=581,581,581,581,581,581	I=2,2,2,2,2,2

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=73.04E-3
 2 E=5.5E4 U=0.4 W=313.04E-3
 1 JQ=1,2,31,32 M=1 TH=1.2 G=20,4
 81 JQ=121,122,151,152 M=2 TH=1.2 G=20,2
 121 JQ=181,182,211,212 M=1 TH=1.2 G=20,4

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 1 1 31 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 11 122 152 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 13 3 33 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 23 124 154 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 25 5 35 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 35 126 156 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 37 7 37 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 47 128 158 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 49 9 39 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 59 130 160 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 61 11 41 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 71 132 162 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 73 13 43 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 83 134 164 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 85 15 45 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 95 136 166 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 97 17 47 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 107 138 168 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 109 19 49 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 119 140 170 M=1 LP=3,0 G=1,1,30,30
 121 21 51 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
 131 401 402 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1
 151 431 432 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1
 171 461 462 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1
 191 491 492 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1
 211 521 522 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1
 231 551 552 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1

251 581 582 M=2 LP=-2,0 G=19,1,1,1

BONGYANG BRIDGE

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
17	X=480.	Y=0.0	Z=0.0	
301	X=0.00	Y=900.	Z=0.0	
317	X=480.	Y=900.	Z=0.0	Q=1,17,301,317,1,20
401	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
417	X=480.	Y=0.0	Z=-12.6	
701	X=0.00	Y=900.	Z=-12.6	
717	X=480.	Y=900.	Z=-12.6	Q=401,417,701,717,1,20

RESTRAINTS

401,415,2	R=1,1,1,0,0,0
421,435,2	R=1,1,1,0,0,0
441,455,2	R=1,1,1,0,0,0
461,475,2	R=1,1,1,0,0,0
481,495,2	R=1,1,1,0,0,0
501,515,2	R=1,1,1,0,0,0
521,535,2	R=1,1,1,0,0,0
541,555,2	R=1,1,1,0,0,0
561,575,2	R=1,1,1,0,0,0
581,595,2	R=1,1,1,0,0,0
601,615,2	R=1,1,1,0,0,0
621,635,2	R=1,1,1,0,0,0
641,655,2	R=1,1,1,0,0,0
661,675,2	R=1,1,1,0,0,0
681,695,2	R=1,1,1,0,0,0
701,715,2	R=1,1,1,1,0,0
417,697,20	R=1,1,1,0,1,0
717	R=1,1,1,1,1,0

CONSTRAINTS

1,17,1	C=401,401,401,401,401	I=1,1,1,1,1,1
--------	-----------------------	---------------

21,37,1	C=421,421,421,421,421,421	I=1,1,1,1,1,1
41,57,1	C=441,441,441,441,441,441	I=1,1,1,1,1,1
61,77,1	C=461,461,461,461,461,461	I=1,1,1,1,1,1
81,97,1	C=481,481,481,481,481,481	I=1,1,1,1,1,1
101,117,1	C=501,501,501,501,501,501	I=1,1,1,1,1,1
121,137,1	C=521,521,521,521,521,521	I=1,1,1,1,1,1
141,157,1	C=541,541,541,541,541,541	I=1,1,1,1,1,1
161,177,1	C=561,561,561,561,561,561	I=1,1,1,1,1,1
181,197,1	C=581,581,581,581,581,581	I=1,1,1,1,1,1
201,217,1	C=601,601,601,601,601,601	I=1,1,1,1,1,1
221,237,1	C=621,621,621,621,621,621	I=1,1,1,1,1,1
241,257,1	C=641,641,641,641,641,641	I=1,1,1,1,1,1
261,277,1	C=661,661,661,661,661,661	I=1,1,1,1,1,1
281,297,1	C=681,681,681,681,681,681	I=1,1,1,1,1,1
301,317,1	C=701,701,701,701,701,701	I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=223.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=16,15

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

21 2 22 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

41 3 23 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

61 4 24 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

81 5 25 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

101 6 26 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

121 7 27 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

141 8 28 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

161 9 29 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

181 10 30 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

201 11 31 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

221 12 32 M=1 LP=3,0 G=14,1,20,20

241	13	33	M=1	LP=3,0	G=14,1,20,20
261	14	34	M=1	LP=3,0	G=14,1,20,20
281	15	35	M=1	LP=3,0	G=14,1,20,20
301	16	36	M=1	LP=3,0	G=14,1,20,20
321	17	37	M=1	LP=3,0	G=14,1,20,20
401	401	402	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
421	421	422	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
441	441	442	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
461	461	462	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
481	481	482	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
501	501	502	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
521	521	522	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
541	541	542	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
561	561	562	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
581	581	582	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
601	601	602	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
621	621	622	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
641	641	642	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
661	661	662	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
681	681	682	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1
701	701	702	M=2	LP=-2,0	G=15,1,1,1

BONGYANG BRIDGE

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
6	X=500.	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=0.00	Y=60.	Z=0.0	
16	X=500.	Y=60.	Z=0.0	Q=1,6,11,16,1,10
101	X=0.00	Y=0.0	Z=-8.4	
106	X=500.	Y=0.0	Z=-8.4	
121	X=0.00	Y=120.	Z=-8.4	
126	X=500.	Y=120.	Z=-8.4	Q=101,106,121,126,1,10

RESTRAINTS

101,106,1	R=1,1,1,1,1,1
111,116,1	R=1,1,1,1,1,1

CONSTRAINTS

1,6,1	C=101,101,101,101,101,101	I=1,1,1,1,1,1
11,16,1	C=111,111,111,111,111,111	I=1,1,1,1,1,1

FRAME

NM=2 NL=2 Z=-1

1	A=70.56	I=4.14893E2	E=8.0E4	G=2.5E3	W=0.0381
2	A=70.56	I=4.14893E2	E=8.0E4	G=2.5E3	W=0.0381
1	WL=0,-7.71,0				
2	WL=0,-7.59,0				
1	1	2	M=1	LP=-2,0	NSL=1 G=4,1,1,1
11	11	12	M=1	LP=-2,0	NSL=2 G=4,1,1,1
101	101	111	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10
111	102	112	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10
121	103	113	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10
131	104	114	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10
141	105	115	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10
151	106	116	M=2	LP=3,0	G=1,1,10,10

SINKWANG BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
31	X=1500.	Y=0.0	Z=0.0	
441	X=0.00	Y=1100.	Z=0.0	
471	X=1500.	Y=1100.	Z=0.0	Q=1,31,441,471,1,40
1001	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
1031	X=1500.	Y=0.0	Z=-12.6	
1441	X=0.00	Y=1100.	Z=-12.6	
1471	X=1500.	Y=1100.	Z=-12.6	Q=1001,1031,1441,1471,1,40

RESTRAINTS

1001,1031,2	R=1,1,1,0,0,0
1041,1071,2	R=1,1,1,0,0,0
1081,1111,2	R=1,1,1,0,0,0
1121,1151,2	R=1,1,1,0,0,0
1161,1191,2	R=1,1,1,0,0,0
1201,1231,2	R=1,1,1,0,0,0
1241,1271,2	R=1,1,1,0,0,0
1281,1311,2	R=1,1,1,0,0,0
1321,1351,2	R=1,1,1,0,0,0
1361,1391,2	R=1,1,1,0,0,0
1401,1431,2	R=1,1,1,0,0,0
1441,1471,2	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

1,31,1	C=1001,1001,1001,1001,1001,1001	I=1,1,1,1,1,1
41,71,1	C=1041,1041,1041,1041,1041,1041	I=1,1,1,1,1,1
81,111,1	C=1081,1081,1081,1081,1081,1081	I=1,1,1,1,1,1
121,151,1	C=1121,1121,1121,1121,1121,1121	I=1,1,1,1,1,1
161,191,1	C=1161,1161,1161,1161,1161,1161	I=1,1,1,1,1,1
201,231,1	C=1201,1201,1201,1201,1201,1201	I=1,1,1,1,1,1
241,271,1	C=1241,1241,1241,1241,1241,1241	I=1,1,1,1,1,1

281,311,1	C=1281,1281,1281,1281,1281,1281	I=1,1,1,1,1,1
321,351,1	C=1321,1321,1321,1321,1321,1321	I=1,1,1,1,1,1
361,391,1	C=1361,1361,1361,1361,1361,1361	I=1,1,1,1,1,1
401,431,1	C=1401,1401,1401,1401,1401,1401	I=1,1,1,1,1,1
441,471,1	C=1441,1441,1441,1441,1441,1441	I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1

1 E=5.5E4 U=0.4 W=163.04E-3

1 JQ=1,2,41,42 M=1 TH=1.2 G=30,11

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1	1	41	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
31	2	42	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
61	3	43	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
91	4	44	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
121	5	45	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
151	6	46	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
181	7	47	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
211	8	48	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
241	9	49	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
271	10	50	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
301	11	51	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
331	12	52	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
361	13	53	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
391	14	54	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
421	15	55	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
451	16	56	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
481	17	57	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
511	18	58	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
541	19	59	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
571	20	60	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
601	21	61	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
631	22	62	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
661	23	63	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40

691	24	64	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
721	25	65	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
751	26	66	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
781	27	67	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
911	28	68	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
941	29	69	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
971	30	70	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
1001	31	71	M=1	LP=3,0	G=10,1,40,40
2001	1001	1002	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2041	1041	1042	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2081	1081	1082	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2121	1121	1122	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2161	1161	1162	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2201	1201	1202	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2241	1241	1242	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2281	1281	1282	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2321	1321	1322	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2361	1361	1362	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2401	1401	1402	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1
2441	1441	1442	M=2	LP=-2,0	G=29,1,1,1

WICHUN DRAINAGE CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
16	X=1050.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,16,1
21	X=0.00	Y=100.	Z=0.0	
36	X=1050.	Y=100.	Z=0.0	G=21,36,1
41	X=0.00	Y=270.	Z=0.0	
56	X=1050.	Y=270.	Z=0.0	G=41,56,1
61	X=0.00	Y=370.	Z=0.0	
76	X=1050.	Y=370.	Z=0.0	G=61,76,1
81	X=0.00	Y=385.	Z=0.0	
96	X=1050.	Y=385.	Z=0.0	G=81,96,1
101	X=0.00	Y=400.	Z=0.0	
116	X=1050.	Y=400.	Z=0.0	G=101,116,1
121	X=0.00	Y=500.	Z=0.0	
136	X=1050.	Y=500.	Z=0.0	G=121,136,1
141	X=0.00	Y=670.	Z=0.0	
156	X=1050.	Y=670.	Z=0.0	G=141,156,1
161	X=0.00	Y=770.	Z=0.0	
176	X=1050.	Y=770.	Z=0.0	G=161,176,1
401	X=0.00	Y=100.	Z=-12.6	
416	X=1050.	Y=100.	Z=-12.6	G=401,416,1
421	X=0.00	Y=270.	Z=-12.6	
436	X=1050.	Y=270.	Z=-12.6	G=421,436,1
441	X=0.00	Y=385.	Z=-12.6	
456	X=1050.	Y=385.	Z=-12.6	G=441,456,1
461	X=0.00	Y=500.	Z=-12.6	
476	X=1050.	Y=500.	Z=-12.6	G=461,476,1
481	X=0.00	Y=670.	Z=-12.6	
496	X=1050.	Y=670.	Z=-12.6	G=481,496,1

RESTRAINTS

401,416,1 R=1,1,1,0,0,0

421,436,1 R=1,1,1,0,0,0
 441,456,1 R=1,1,1,0,0,0
 461,476,1 R=1,1,1,0,0,0
 481,496,1 R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

21,36,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
 41,56,1 C=421,421,421,421,421,421 I=1,1,1,1,1,1
 81,96,1 C=441,441,441,441,441,441 I=1,1,1,1,1,1
 121,136,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
 141,156,1 C=481,481,481,481,481,481 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=49.04E-3

2 E=5.5E4 U=0.4 W=289.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=15,3

46 JQ=61,62,81,82 M=2 TH=1.2 G=15,2

76 JQ=101,102,121,122 M=1 TH=1.2 G=15,3

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

11 2 22 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

21 3 23 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

31 4 24 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

41 5 25 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

51 6 26 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

61 7 27 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

71 8 28 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

81 9 29 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

91 10 30 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

101 11 31 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

111 12 32 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

121 13 33 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

131	14	34	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
141	15	35	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
151	16	36	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
201	401	402	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
221	421	422	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
241	441	442	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
261	461	462	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
281	481	482	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1

SINKWANG BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
17	X=800.	Y=0.0	Z=0.0	
161	X=0.00	Y=480.	Z=0.0	
177	X=800.	Y=480.	Z=0.0	Q=1,17,161,177,1,20
401	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
417	X=800.	Y=0.0	Z=-12.6	
561	X=0.00	Y=480.	Z=-12.6	
577	X=800.	Y=480.	Z=-12.6	Q=401,417,561,577,1,20

RESTRAINTS

401,415,2	R=1,1,1,0,0,0
421,435,2	R=1,1,1,0,0,0
441,455,2	R=1,1,1,0,0,0
461,475,2	R=1,1,1,0,0,0
481,495,2	R=1,1,1,0,0,0
501,515,2	R=1,1,1,0,0,0
521,535,2	R=1,1,1,0,0,0
541,555,2	R=1,1,1,0,0,0
561,575,2	R=1,1,1,1,0,0
417,557,20	R=1,1,1,0,1,0
577	R=1,1,1,1,1,0

CONSTRAINTS

1,17,1	C=401,401,401,401,401,401	I=1,1,1,1,1,1
21,37,1	C=421,421,421,421,421,421	I=1,1,1,1,1,1
41,57,1	C=441,441,441,441,441,441	I=1,1,1,1,1,1
61,77,1	C=461,461,461,461,461,461	I=1,1,1,1,1,1
81,97,1	C=481,481,481,481,481,481	I=1,1,1,1,1,1
101,117,1	C=501,501,501,501,501,501	I=1,1,1,1,1,1
121,137,1	C=521,521,521,521,521,521	I=1,1,1,1,1,1
141,157,1	C=541,541,541,541,541,541	I=1,1,1,1,1,1

161,177,1 C=561,561,561,561,561 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=223.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=16,8

FRAME

NM=2 Z=-1

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

21 2 22 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

41 3 23 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

61 4 24 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

81 5 25 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

101 6 26 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

121 7 27 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

141 8 28 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

161 9 29 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

181 10 30 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

201 11 31 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

221 12 32 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

241 13 33 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

261 14 34 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

281 15 35 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

301 16 36 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

321 17 37 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

401 401 402 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

421 421 422 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

441 441 442 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

461 461 462 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

481 481 482 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

501 501 502 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

521 521 522 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

541 541 542 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

561 561 562 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

YOUNGRAK CHURCH'S BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.00	Z=0.0	
81	X=0.00	Y=480.	Z=0.0	G=1,81,20
2	X=40.0	Y=0.00	Z=0.0	
82	X=40.0	Y=480.	Z=0.0	G=2,82,20
3	X=160.	Y=0.00	Z=0.0	
83	X=160.	Y=480.	Z=0.0	G=3,83,20
4	X=280.	Y=0.00	Z=0.0	
84	X=280.	Y=480.	Z=0.0	G=4,84,20
5	X=400.	Y=0.00	Z=0.0	
85	X=400.	Y=480.	Z=0.0	G=5,85,20
6	X=430.	Y=0.00	Z=0.0	
86	X=430.	Y=480.	Z=0.0	G=6,86,20
7	X=460.	Y=0.00	Z=0.0	
87	X=460.	Y=480.	Z=0.0	G=7,87,20
8	X=580.	Y=0.00	Z=0.0	
88	X=580.	Y=480.	Z=0.0	G=8,88,20
9	X=700.	Y=0.00	Z=0.0	
89	X=700.	Y=480.	Z=0.0	G=9,89,20
10	X=820.	Y=0.00	Z=0.0	
90	X=820.	Y=480.	Z=0.0	G=10,90,20
11	X=860.	Y=0.00	Z=0.0	
91	X=860.	Y=480.	Z=0.0	G=11,91,20
401	X=0.00	Y=0.00	Z=-12.6	
481	X=0.00	Y=480.	Z=-12.6	G=401,481,20
402	X=40.0	Y=0.00	Z=-12.6	
482	X=40.0	Y=480.	Z=-12.6	G=402,482,20
403	X=160.	Y=0.00	Z=-12.6	
483	X=160.	Y=480.	Z=-12.6	G=403,483,20
404	X=280.	Y=0.00	Z=-12.6	
484	X=280.	Y=480.	Z=-12.6	G=404,484,20
405	X=400.	Y=0.00	Z=-12.6	

485	X=400.	Y=480.	Z=-12.6	G=405,485,20
406	X=430.	Y=0.00	Z=-12.6	
486	X=430.	Y=480.	Z=-12.6	G=406,486,20
407	X=460.	Y=0.00	Z=-12.6	
487	X=460.	Y=480.	Z=-12.6	G=407,487,20
408	X=580.	Y=0.00	Z=-12.6	
488	X=580.	Y=480.	Z=-12.6	G=408,488,20
409	X=700.	Y=0.00	Z=-12.6	
489	X=700.	Y=480.	Z=-12.6	G=409,489,20
410	X=820.	Y=0.00	Z=-12.6	
490	X=820.	Y=480.	Z=-12.6	G=410,490,20
411	X=860.	Y=0.00	Z=-12.6	
491	X=860.	Y=480.	Z=-12.6	G=411,491,20

RESTRAINTS

401,461,20	R=1,1,1,0,0,0
402,462,20	R=1,1,1,0,0,0
403,463,20	R=1,1,1,0,0,0
404,464,20	R=1,1,1,0,0,0
406,466,20	R=1,1,1,0,0,0
408,468,20	R=1,1,1,0,0,0
409,469,20	R=1,1,1,0,0,0
410,470,20	R=1,1,1,0,0,0
411,471,20	R=1,1,1,0,1,0
481,490,1	R=1,1,1,1,0,0
491	R=1,1,1,1,1,0

CONSTRAINTS

1,81,20	C=401,401,401,401,401,401	I=20,20,20,20,20,20
2,82,20	C=402,402,402,402,402,402	I=20,20,20,20,20,20
3,83,20	C=403,403,403,403,403,403	I=20,20,20,20,20,20
4,84,20	C=404,404,404,404,404,404	I=20,20,20,20,20,20
5,85,20	C=405,405,405,405,405,405	I=20,20,20,20,20,20
7,87,20	C=407,407,407,407,407,407	I=20,20,20,20,20,20
8,88,20	C=408,408,408,408,408,408	I=20,20,20,20,20,20
9,89,20	C=409,409,409,409,409,409	I=20,20,20,20,20,20
10,90,20	C=410,410,410,410,410,410	I=20,20,20,20,20,20

11,91,20 C=411,411,411,411,411 I=20,20,20,20,20,20

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=58.04E-3

2 E=5.5E4 U=0.4 W=298.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=4,4

20 JQ=5,6,25,26 M=2 TH=1.2 G=2,4

40 JQ=7,8,27,28 M=1 TH=1.2 G=4,4

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

21 2 22 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

41 3 23 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

61 4 24 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

81 5 25 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

101 7 27 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

121 8 28 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

141 9 29 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

161 10 30 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

181 11 31 M=1 LP=3,0 G=3,1,20,20

201 401 402 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

221 421 422 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

241 441 442 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

261 461 462 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

281 481 482 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

KODUCK PUMP CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=1500.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,11,1
21	X=0.00	Y=90.	Z=0.0	
31	X=1500.	Y=90.	Z=0.0	G=21,31,1
41	X=0.00	Y=240.	Z=0.0	
51	X=1500.	Y=240.	Z=0.0	G=41,51,1
61	X=0.00	Y=390.	Z=0.0	
71	X=1500.	Y=390.	Z=0.0	G=61,71,1
81	X=0.00	Y=540.	Z=0.0	
91	X=1500.	Y=540.	Z=0.0	G=81,91,1
101	X=0.00	Y=690.	Z=0.0	
111	X=1500.	Y=690.	Z=0.0	G=101,111,1
121	X=0.00	Y=840.	Z=0.0	
131	X=1500.	Y=840.	Z=0.0	G=121,131,1
141	X=0.00	Y=990.	Z=0.0	
151	X=1500.	Y=990.	Z=0.0	G=141,151,1
161	X=0.00	Y=1080.	Z=0.0	
171	X=1500.	Y=1080.	Z=0.0	G=161,171,1
401	X=0.00	Y=90.	Z=-12.6	
411	X=1500.	Y=90.	Z=-12.6	G=401,411,1
421	X=0.00	Y=240.	Z=-12.6	
431	X=1500.	Y=240.	Z=-12.6	G=421,431,1
441	X=0.00	Y=390.	Z=-12.6	
451	X=1500.	Y=390.	Z=-12.6	G=441,451,1
461	X=0.00	Y=540.	Z=-12.6	
471	X=1500.	Y=540.	Z=-12.6	G=461,471,1
481	X=0.00	Y=690.	Z=-12.6	
491	X=1500.	Y=690.	Z=-12.6	G=481,491,1
501	X=0.00	Y=840.	Z=-12.6	
511	X=1500.	Y=840.	Z=-12.6	G=501,511,1
521	X=0.00	Y=990.	Z=-12.6	

531 X=1500. Y=990. Z=-12.6 G=521,531,1

RESTRAINTS

401,411,1	R=1,1,1,0,0,0
421,431,1	R=1,1,1,0,0,0
441,451,1	R=1,1,1,0,0,0
461,471,1	R=1,1,1,0,0,0
481,491,1	R=1,1,1,0,0,0
501,511,1	R=1,1,1,0,0,0
521,531,1	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

21,31,1	C=401,401,401,401,401,401	I=1,1,1,1,1,1
41,51,1	C=421,421,421,421,421,421	I=1,1,1,1,1,1
61,71,1	C=441,441,441,441,441,441	I=1,1,1,1,1,1
81,91,1	C=461,461,461,461,461,461	I=1,1,1,1,1,1
101,111,1	C=481,481,481,481,481,481	I=1,1,1,1,1,1
121,131,1	C=501,501,501,501,501,501	I=1,1,1,1,1,1
141,151,1	C=521,521,521,521,521,521	I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=58.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=10,8

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

31 2 22 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

61 3 23 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

91 4 24 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

121 5 25 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

151 6 26 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

181 7 27 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

211 8 28 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20

241	9	29	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
271	10	30	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
301	11	31	M=1	LP=3,0	G=7,1,20,20
511	401	402	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
541	421	422	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
571	441	442	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
601	461	462	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
631	481	482	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
661	501	502	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
691	521	522	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1

HANGUK COMMUNICATION CENTER(SLAB)

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=600.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,11,1
21	X=0.00	Y=30.	Z=0.0	
31	X=600.	Y=30.	Z=0.0	G=21,31,1
41	X=0.00	Y=90.	Z=0.0	
51	X=600.	Y=90.	Z=0.0	G=41,51,1
61	X=0.00	Y=150.	Z=0.0	
71	X=600.	Y=150.	Z=0.0	G=61,71,1
81	X=0.00	Y=210.	Z=0.0	
91	X=600.	Y=210.	Z=0.0	G=81,91,1
101	X=0.00	Y=270.	Z=0.0	
111	X=600.	Y=270.	Z=0.0	G=101,111,1
121	X=0.00	Y=300.	Z=0.0	
131	X=600.	Y=300.	Z=0.0	G=121,131,1
401	X=0.00	Y=30.	Z=-12.6	
411	X=600.	Y=30.	Z=-12.6	G=401,411,1
421	X=0.00	Y=90.	Z=-12.6	
431	X=600.	Y=90.	Z=-12.6	G=421,431,1
441	X=0.00	Y=150.	Z=-12.6	
451	X=600.	Y=150.	Z=-12.6	G=441,451,1
461	X=0.00	Y=210.	Z=-12.6	
471	X=600.	Y=210.	Z=-12.6	G=461,471,1
481	X=0.00	Y=270.	Z=-12.6	
491	X=600.	Y=270.	Z=-12.6	G=481,491,1

RESTRAINTS

401,411,1	R=1,1,1,0,0,0
421,431,1	R=1,1,1,0,0,0
441,451,1	R=1,1,1,0,0,0
461,471,1	R=1,1,1,0,0,0
481,491,1	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

```

21,31,1      C=401,401,401,401,401,401  I=1,1,1,1,1,1
41,51,1      C=421,421,421,421,421,421  I=1,1,1,1,1,1
61,71,1      C=441,441,441,441,441,441  I=1,1,1,1,1,1
81,91,1      C=461,461,461,461,461,461  I=1,1,1,1,1,1
101,111,1    C=481,481,481,481,481,481  I=1,1,1,1,1,1

```

SHELL

```

NM=1  Z=-1.0
1  E=5.0E4  U=0.4  W=66.79E-3
1  JQ=1,2,21,22  M=1  TH=2.4  G=10,6

```

FRAME

```

NM=2  Z=-1.0
1  A=70.56  I=4.14893E2  E=8.0E4  G=2.5E3  W=0.0381
2  A=70.56  I=4.14893E2  E=8.0E4  G=2.5E3  W=0.0381
1   1   21   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
31  2   22   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
61  3   23   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
91  4   24   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
121 5   25   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
151 6   26   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
181 7   27   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
211 8   28   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
241 9   29   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
271 10  30   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
301 11  31   M=1  LP=3,0  G=5,1,20,20
511 401 402   M=2  LP=-2,0  G=9,1,1,1
541 421 422   M=2  LP=-2,0  G=9,1,1,1
571 441 442   M=2  LP=-2,0  G=9,1,1,1
601 461 462   M=2  LP=-2,0  G=9,1,1,1
631 481 482   M=2  LP=-2,0  G=9,1,1,1

```

HANGUK COMMUNICATION CENTER(BEAM)

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
201	X=0.00	Y=600.	Z=0.0	G=1,201,20
2	X=30.	Y=0.0	Z=0.0	
202	X=30.	Y=600.	Z=0.0	G=2,202,20
3	X=45.	Y=0.0	Z=0.0	
203	X=45.	Y=600.	Z=0.0	G=3,203,20
4	X=60.	Y=0.0	Z=0.0	
204	X=60.	Y=600.	Z=0.0	G=4,204,20
5	X=90.	Y=0.0	Z=0.0	
205	X=90.	Y=600.	Z=0.0	G=5,205,20
401	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
601	X=0.00	Y=600.	Z=-12.6	G=401,601,20
402	X=30.	Y=0.0	Z=-12.6	
602	X=30.	Y=600.	Z=-12.6	G=402,602,20
403	X=45.	Y=0.0	Z=-12.6	
603	X=45.	Y=600.	Z=-12.6	G=403,603,20
404	X=60.	Y=0.0	Z=-12.6	
604	X=60.	Y=600.	Z=-12.6	G=404,604,20
405	X=90.	Y=0.0	Z=-12.6	
605	X=90.	Y=600.	Z=-12.6	G=405,605,20

RESTRAINTS

401,601,20	R=1,1,1,0,0,0
403,603,20	R=1,1,1,0,0,0
405,605,20	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

1,201,20	C=401,401,401,401,401,401	I=20,20,20,20,20,20
2,202,20	C=402,402,402,402,402,402	I=20,20,20,20,20,20
4,204,20	C=404,404,404,404,404,404	I=20,20,20,20,20,20
5,205,20	C=405,405,405,405,405,405	I=20,20,20,20,20,20

SHELL

NM=1 Z=-1.0

1 E=5.0E4 W=185.79E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=2.4 G=4,10

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=9,1,20,20

31 2 22 M=1 LP=3,0 G=9,1,20,20

61 4 24 M=1 LP=3,0 G=9,1,20,20

91 5 25 M=1 LP=3,0 G=9,1,20,20

511 401 402 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

541 421 422 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

571 441 442 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

601 461 462 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

631 481 482 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

661 501 502 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

691 521 522 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

721 541 542 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

751 561 562 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

781 581 582 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

811 601 602 M=2 LP=-2,0 G=3,1,1,1

SINCHUN DRAINAGE CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=1000.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,11,1
21	X=0.00	Y=75.	Z=0.0	
31	X=1000.	Y=75.	Z=0.0	G=21,31,1
41	X=0.00	Y=225.	Z=0.0	
51	X=1000.	Y=225.	Z=0.0	G=41,51,1
61	X=0.00	Y=300.	Z=0.0	
71	X=1000.	Y=300.	Z=0.0	G=61,71,1
81	X=0.00	Y=320.	Z=0.0	
91	X=1000.	Y=320.	Z=0.0	G=81,91,1
101	X=0.00	Y=340.	Z=0.0	
111	X=1000.	Y=340.	Z=0.0	G=101,111,1
121	X=0.00	Y=415.	Z=0.0	
131	X=1000.	Y=415.	Z=0.0	G=121,131,1
141	X=0.00	Y=565.	Z=0.0	
151	X=1000.	Y=565.	Z=0.0	G=141,151,1
161	X=0.00	Y=640.	Z=0.0	
171	X=1000.	Y=640.	Z=0.0	G=161,171,1
401	X=0.00	Y=75.	Z=-12.6	
411	X=1000.	Y=75.	Z=-12.6	G=401,411,1
421	X=0.00	Y=225.	Z=-12.6	
431	X=1000.	Y=225.	Z=-12.6	G=421,431,1
441	X=0.00	Y=320.	Z=-12.6	
451	X=1000.	Y=320.	Z=-12.6	G=441,451,1
461	X=0.00	Y=415.	Z=-12.6	
471	X=1000.	Y=415.	Z=-12.6	G=461,471,1
481	X=0.00	Y=565.	Z=-12.6	
491	X=1000.	Y=565.	Z=-12.6	G=481,491,1

RESTRAINTS

401,411,1 R=1,1,1,0,0,0

421,431,1 R=1,1,1,0,0,0
 441,451,1 R=1,1,1,0,0,0
 461,471,1 R=1,1,1,0,0,0
 481,491,1 R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

21,31,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
 41,51,1 C=421,421,421,421,421,421 I=1,1,1,1,1,1
 81,91,1 C=441,441,441,441,441,441 I=1,1,1,1,1,1
 121,131,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
 141,151,1 C=481,481,481,481,481,481 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=49.04E-3
 2 E=5.5E4 U=0.4 W=283.04E-3
 1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=10,3
 101 JQ=61,62,81,82 M=2 TH=1.2 G=10,2
 201 JQ=101,102,121,122 M=1 TH=1.2 G=10,3

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
 1 1 21 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 11 2 22 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 21 3 23 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 31 4 24 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 41 5 25 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 51 6 26 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 61 7 27 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 71 8 28 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 81 9 29 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 91 10 30 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 101 11 31 M=1 LP=3,0 G=7,1,20,20
 201 401 402 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1
 221 421 422 M=2 LP=-2,0 G=9,1,1,1

241	441	442	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
261	461	462	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
281	481	482	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1

SEONGNAM HANGUK BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
11	X=1000.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,11,1
21	X=0.00	Y=45.	Z=0.0	
31	X=1000.	Y=45.	Z=0.0	G=21,31,1
41	X=0.00	Y=135.	Z=0.0	
51	X=1000.	Y=135.	Z=0.0	G=41,51,1
61	X=0.00	Y=225.	Z=0.0	
71	X=1000.	Y=225.	Z=0.0	G=61,71,1
81	X=0.00	Y=315.	Z=0.0	
91	X=1000.	Y=315.	Z=0.0	G=81,91,1
101	X=0.00	Y=405.	Z=0.0	
111	X=1000.	Y=405.	Z=0.0	G=101,111,1
121	X=0.00	Y=495.	Z=0.0	
131	X=1000.	Y=495.	Z=0.0	G=121,131,1
141	X=0.00	Y=540.	Z=0.0	
151	X=1000.	Y=540.	Z=0.0	G=141,151,1
161	X=0.00	Y=560.	Z=0.0	
171	X=1000.	Y=560.	Z=0.0	G=161,171,1
181	X=0.00	Y=580.	Z=0.0	
191	X=1000.	Y=580.	Z=0.0	G=181,191,1
201	X=0.00	Y=625.	Z=0.0	
211	X=1000.	Y=625.	Z=0.0	G=201,211,1
221	X=0.00	Y=715.	Z=0.0	
231	X=1000.	Y=715.	Z=0.0	G=221,231,1
241	X=0.00	Y=805.	Z=0.0	
251	X=1000.	Y=805.	Z=0.0	G=241,251,1
261	X=0.00	Y=895.	Z=0.0	
271	X=1000.	Y=895.	Z=0.0	G=261,271,1
281	X=0.00	Y=985.	Z=0.0	
291	X=1000.	Y=985.	Z=0.0	G=281,291,1
301	X=0.00	Y=1075.	Z=0.0	

311 X=1000. Y=1075. Z=0.0 G=301,311,1
 321 X=0.00 Y=1120. Z=0.0
 331 X=1000. Y=1120. Z=0.0 G=321,331,1
 401 X=0.00 Y=45. Z=-12.6
 411 X=1000. Y=45. Z=-12.6 G=401,411,1
 421 X=0.00 Y=135. Z=-12.6
 431 X=1000. Y=135. Z=-12.6 G=421,431,1
 441 X=0.00 Y=225. Z=-12.6
 451 X=1000. Y=225. Z=-12.6 G=441,451,1
 461 X=0.00 Y=315. Z=-12.6
 471 X=1000. Y=315. Z=-12.6 G=461,471,1
 481 X=0.00 Y=405. Z=-12.6
 491 X=1000. Y=405. Z=-12.6 G=481,491,1
 501 X=0.00 Y=495. Z=-12.6
 511 X=1000. Y=495. Z=-12.6 G=501,511,1
 521 X=0.00 Y=560. Z=-12.6
 531 X=1000. Y=560. Z=-12.6 G=521,531,1
 541 X=0.00 Y=625. Z=-12.6
 551 X=1000. Y=625. Z=-12.6 G=541,551,1
 561 X=0.00 Y=715. Z=-12.6
 571 X=1000. Y=715. Z=-12.6 G=561,571,1
 581 X=0.00 Y=805. Z=-12.6
 591 X=1000. Y=805. Z=-12.6 G=581,591,1
 601 X=0.00 Y=895. Z=-12.6
 611 X=1000. Y=895. Z=-12.6 G=601,611,1
 621 X=0.00 Y=985. Z=-12.6
 631 X=1000. Y=985. Z=-12.6 G=621,631,1
 641 X=0.00 Y=1075. Z=-12.6
 651 X=1000. Y=1075. Z=-12.6 G=641,651,1

RESTRAINTS

401,411,1 R=1,1,1,0,0,0
 421,431,1 R=1,1,1,0,0,0
 441,451,1 R=1,1,1,0,0,0
 461,471,1 R=1,1,1,0,0,0
 481,491,1 R=1,1,1,0,0,0
 501,511,1 R=1,1,1,0,0,0

521,531,1 R=1,1,1,0,0,0
 541,551,1 R=1,1,1,0,0,0
 561,571,1 R=1,1,1,0,0,0
 581,591,1 R=1,1,1,0,0,0
 601,611,1 R=1,1,1,0,0,0
 621,631,1 R=1,1,1,0,0,0
 641,651,1 R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

21,31,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
 41,51,1 C=421,421,421,421,421,421 I=1,1,1,1,1,1
 61,71,1 C=441,441,441,441,441,441 I=1,1,1,1,1,1
 81,91,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
 101,111,1 C=481,481,481,481,481,481 I=1,1,1,1,1,1
 121,131,1 C=501,501,501,501,501,501 I=1,1,1,1,1,1
 161,171,1 C=521,521,521,521,521,521 I=1,1,1,1,1,1
 201,211,1 C=541,541,541,541,541,541 I=1,1,1,1,1,1
 221,231,1 C=561,561,561,561,561,561 I=1,1,1,1,1,1
 241,251,1 C=581,581,581,581,581,581 I=1,1,1,1,1,1
 261,271,1 C=601,601,601,601,601,601 I=1,1,1,1,1,1
 281,291,1 C=621,621,621,621,621,621 I=1,1,1,1,1,1
 301,311,1 C=641,641,641,641,641,641 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=58.04E-3

2 E=5.5E4 U=0.4 W=298.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=10,7

101 JQ=141,142,161,162 M=2 TH=1.2 G=10,2

201 JQ=181,182,201,202 M=1 TH=1.2 G=10,7

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=15,1,20,20

21 2 22 M=1 LP=3,0 G=15,1,20,20

41	3	23	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
61	4	24	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
81	5	25	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
101	6	26	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
121	7	27	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
141	8	28	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
161	9	29	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
181	10	30	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
201	11	31	M=1	LP=3,0	G=15,1,20,20
401	401	402	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
421	421	422	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
441	441	442	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
461	461	462	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
481	481	482	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
501	501	502	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
521	521	522	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
541	541	542	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
561	561	562	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
581	581	582	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
601	601	602	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
621	621	622	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
641	641	642	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1

HANAM HYUNDAI CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
9	X=752.	Y=0.0	Z=0.0	G=1,9,1
21	X=0.00	Y=30.	Z=0.0	
29	X=752.	Y=30.	Z=0.0	G=21,29,1
41	X=0.00	Y=60.	Z=0.0	
49	X=752.	Y=60.	Z=0.0	G=41,49,1
61	X=0.00	Y=380.	Z=0.0	
69	X=752.	Y=380.	Z=0.0	G=61,69,1
81	X=0.00	Y=420.	Z=0.0	
89	X=752.	Y=420.	Z=0.0	G=81,89,1
101	X=0.00	Y=460.	Z=0.0	
109	X=752.	Y=460.	Z=0.0	G=101,109,1
121	X=0.00	Y=705.	Z=0.0	
129	X=752.	Y=705.	Z=0.0	G=121,129,1
141	X=0.00	Y=735.	Z=0.0	
149	X=752.	Y=735.	Z=0.0	G=141,149,1
161	X=0.00	Y=765.	Z=0.0	
169	X=752.	Y=765.	Z=0.0	G=161,169,1

RESTRAINTS

1,9,1	R=1,1,1,1,1,1
23,27,2	R=1,1,1,1,1,1
41,49,1	R=1,1,1,1,1,1
61,69,1	R=1,1,1,1,1,1
83,87,2	R=1,1,1,1,1,1
101,109,1	R=1,1,1,1,1,1
121,129,1	R=1,1,1,1,1,1
143,147,2	R=1,1,1,1,1,1
161,169,1	R=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=2.04E6 U=0.3 W=152.225E-3

2 E=2.04E6 U=0.3 W=73.475E-3

1	JQ=1,2,21,22	M=1	TH=1.6	G=8,2
---	--------------	-----	--------	-------

101	JQ=41,42,61,62	M=2	TH=1.6	G=8,1
-----	----------------	-----	--------	-------

201	JQ=61,62,81,82	M=1	TH=1.6	G=8,2
-----	----------------	-----	--------	-------

301	JQ=101,102,121,122	M=2	TH=1.6	G=8,1
-----	--------------------	-----	--------	-------

401	JQ=121,122,141,142	M=1	TH=1.6	G=8,2
-----	--------------------	-----	--------	-------

FACILITY CONSTRUCTION(96-75-2)

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
21	X=0.00	Y=80.	Z=0.0	
41	X=0.00	Y=160.	Z=0.0	
61	X=0.00	Y=180.	Z=0.0	
81	X=0.00	Y=200.	Z=0.0	
101	X=0.00	Y=280.	Z=0.0	
121	X=0.00	Y=360.	Z=0.0	
141	X=0.00	Y=380.	Z=0.0	
161	X=0.00	Y=400.	Z=0.0	
181	X=0.00	Y=480.	Z=0.0	
201	X=0.00	Y=560.	Z=0.0	
2	X=70.0	Y=0.0	Z=0.0	
16	X=1470.	Y=0.0	Z=0.0	G=2,16,1
22	X=70.0	Y=80.	Z=0.0	
36	X=1470.	Y=80.	Z=0.0	G=22,36,1
42	X=70.0	Y=160.	Z=0.0	
56	X=1470.	Y=160.	Z=0.0	G=42,56,1
62	X=70.0	Y=180.	Z=0.0	
76	X=1470.	Y=180.	Z=0.0	G=62,76,1
82	X=70.0	Y=200.	Z=0.0	
96	X=1470.	Y=200.	Z=0.0	G=82,96,1
102	X=70.0	Y=280.	Z=0.0	
116	X=1470.	Y=280.	Z=0.0	G=102,116,1
122	X=70.0	Y=360.	Z=0.0	
136	X=1470.	Y=360.	Z=0.0	G=122,136,1
142	X=70.0	Y=380.	Z=0.0	
156	X=1470.	Y=380.	Z=0.0	G=142,156,1
162	X=70.0	Y=400.	Z=0.0	
176	X=1470.	Y=400.	Z=0.0	G=162,176,1
182	X=70.0	Y=480.	Z=0.0	
196	X=1470.	Y=480.	Z=0.0	G=182,196,1

202	X=70.0	Y=560.	Z=0.0	
216	X=1470.	Y=560.	Z=0.0	G=202,216,1
401	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
421	X=0.00	Y=80.	Z=-12.6	
441	X=0.00	Y=180.	Z=-12.6	
461	X=0.00	Y=280.	Z=-12.6	
481	X=0.00	Y=380.	Z=-12.6	
501	X=0.00	Y=480.	Z=-12.6	
521	X=0.00	Y=560.	Z=-12.6	
402	X=70.0	Y=0.00	Z=-12.6	
416	X=1470.	Y=0.00	Z=-12.6	G=402,416,1
422	X=70.0	Y=80.	Z=-12.6	
436	X=1470.	Y=80.	Z=-12.6	G=422,436,1
442	X=70.0	Y=180.	Z=-12.6	
456	X=1470.	Y=180.	Z=-12.6	G=442,456,1
462	X=70.0	Y=280.	Z=-12.6	
476	X=1470.	Y=280.	Z=-12.6	G=462,476,1
482	X=70.0	Y=380.	Z=-12.6	
496	X=1470.	Y=380.	Z=-12.6	G=482,496,1
502	X=70.0	Y=480.	Z=-12.6	
516	X=1470.	Y=480.	Z=-12.6	G=502,516,1
522	X=70.0	Y=560.	Z=-12.6	
536	X=1470.	Y=560.	Z=-12.6	G=522,536,1

RESTRAINTS

401,416,1	R=1,1,1,1,1,1
421,436,1	R=1,1,1,1,1,1
441,456,1	R=1,1,1,1,1,1
461,476,1	R=1,1,1,1,1,1
481,496,1	R=1,1,1,1,1,1
501,516,1	R=1,1,1,1,1,1
521,536,1	R=1,1,1,1,1,1

CONSTRAINTS

1,16,1	C=401,401,401,401,401,401	I=1,1,1,1,1,1
21,36,1	C=421,421,421,421,421,421	I=1,1,1,1,1,1
61,76,1	C=441,441,441,441,441,441	I=1,1,1,1,1,1

101,116,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
 141,156,1 C=481,481,481,481,481,481 I=1,1,1,1,1,1
 181,196,1 C=501,501,501,501,501,501 I=1,1,1,1,1,1
 201,216,1 C=521,521,521,521,521,521 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=2 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=49.04E-3

2 E=5.5E4 U=0.4 W=289.04E-3

1	JQ=1,2,21,22	M=1	TH=1.2	G=15,2
101	JQ=41,42,61,62	M=2	TH=1.2	G=15,2
201	JQ=81,82,101,102	M=1	TH=1.2	G=15,2
301	JQ=121,122,141,142	M=2	TH=1.2	G=15,2
401	JQ=161,162,181,182	M=1	TH=1.2	G=15,2

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1	1	21	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
21	2	22	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
41	3	23	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
61	4	24	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
81	5	25	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
101	6	26	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
121	7	27	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
141	8	28	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
161	9	29	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
181	10	30	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
201	11	31	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
221	12	32	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
241	13	33	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
261	14	34	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
281	15	35	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
301	16	36	M=1	LP=3,0	G=9,1,20,20
401	401	402	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
421	421	422	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1

441	441	442	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
461	461	462	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
481	481	482	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
501	501	502	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1
521	521	522	M=2	LP=-2,0	G=14,1,1,1

DRAINAGE CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.00	Z=0.0	
41	X=0.00	Y=200.	Z=0.0	G=1,41,20
2	X=70.	Y=0.00	Z=0.0	
42	X=70.	Y=200.	Z=0.0	G=2,42,20
3	X=140.	Y=0.00	Z=0.0	
15	X=860.	Y=0.00	Z=0.0	
43	X=140.	Y=200.	Z=0.0	
55	X=860.	Y=200.	Z=0.0	Q=3,15,43,55,1,20
16	X=930.	Y=0.00	Z=0.0	
56	X=930.	Y=200.	Z=0.0	G=16,56,20
17	X=1000.	Y=0.00	Z=0.0	
57	X=1000.	Y=200.	Z=0.0	G=17,57,20
401	X=0.00	Y=0.00	Z=-12.6	
441	X=0.00	Y=200.	Z=-12.6	G=401,441,20
402	X=70.	Y=0.00	Z=-12.6	
442	X=70.	Y=200.	Z=-12.6	G=402,442,20
403	X=140.	Y=0.00	Z=-12.6	
415	X=860.	Y=0.00	Z=-12.6	
443	X=140.	Y=200.	Z=-12.6	
455	X=860.	Y=200.	Z=-12.6	Q=403,415,443,455,1,20
416	X=930.	Y=0.00	Z=-12.6	
456	X=930.	Y=200.	Z=-12.6	G=416,456,20
417	X=1000.	Y=0.00	Z=-12.6	
457	X=1000.	Y=200.	Z=-12.6	G=417,457,20

RESTRAINTS

401,417,2	R=1,1,1,0,0,0
421,437,2	R=1,1,1,0,0,0
441,457,2	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

1,17,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
 21,37,1 C=421,421,421,421,421,421 I=1,1,1,1,1,1
 41,57,1 C=441,441,441,441,441,441 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0

1 E=5.5E4 U=0.4 W=118.04E-3

1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=16,2

FRAME

NM=2 Z=-1.0

1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381

1 1 21 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

21 2 22 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

41 3 23 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

61 4 24 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

81 5 25 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

101 6 26 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

121 7 27 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

141 8 28 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

161 9 29 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

181 10 30 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

201 11 31 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

221 12 32 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

241 13 33 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

261 14 34 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

281 15 35 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

301 16 36 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

321 17 37 M=1 LP=3,0 G=1,1,20,20

401 401 402 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

421 421 422 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

441 441 442 M=2 LP=-2,0 G=15,1,1,1

SOBAIKSAN HOTEL CONSTRUCTION

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.00	Z=0.0	
11	X=900.	Y=0.00	Z=0.0	G=1,11,1
21	X=0.00	Y=75.	Z=0.0	
31	X=900.	Y=75.	Z=0.0	
261	X=0.00	Y=1395.	Z=0.0	
271	X=900.	Y=1395.	Z=0.0	Q=21,31,261,271,1,20
281	X=0.00	Y=1470.	Z=0.0	
291	X=900.	Y=1470.	Z=0.0	G=281,291,1
401	X=0.00	Y=75.	Z=-12.6	
411	X=900.	Y=75.	Z=-12.6	
641	X=0.00	Y=1395.	Z=-12.6	
651	X=900.	Y=1395.	Z=-12.6	Q=401,411,641,651,1,20

RESTRAINTS

401,411,1	R=1,1,1,0,0,0
421,431,1	R=1,1,1,0,0,0
441,451,1	R=1,1,1,0,0,0
461,471,1	R=1,1,1,0,0,0
481,491,1	R=1,1,1,0,0,0
501,511,1	R=1,1,1,0,0,0
521,531,1	R=1,1,1,0,0,0
541,551,1	R=1,1,1,0,0,0
561,571,1	R=1,1,1,0,0,0
581,591,1	R=1,1,1,0,0,0
601,611,1	R=1,1,1,0,0,0

621,631,1 R=1,1,1,0,0,0
641,651,1 R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

21,31,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
41,51,1 C=421,421,421,421,421,421 I=1,1,1,1,1,1
61,71,1 C=441,441,441,441,441,441 I=1,1,1,1,1,1
81,91,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
101,111,1 C=481,481,481,481,481,481 I=1,1,1,1,1,1
121,131,1 C=501,501,501,501,501,501 I=1,1,1,1,1,1
141,151,1 C=521,521,521,521,521,521 I=1,1,1,1,1,1
161,171,1 C=541,541,541,541,541,541 I=1,1,1,1,1,1
181,191,1 C=561,561,561,561,561,561 I=1,1,1,1,1,1
201,211,1 C=581,581,581,581,581,581 I=1,1,1,1,1,1
221,231,1 C=601,601,601,601,601,601 I=1,1,1,1,1,1
241,251,1 C=621,621,621,621,621,621 I=1,1,1,1,1,1
261,271,1 C=641,641,641,641,641,641 I=1,1,1,1,1,1

SHELL

NM=1 Z=-1.0
1 E=5.5E4 U=0.4 W=103.04E-3
1 JQ=1,2,21,22 M=1 TH=1.2 G=10,14

FRAME

NM=2 Z=-1.0
1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
1 1 21 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
21 2 22 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
41 3 23 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
61 4 24 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
81 5 25 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
101 6 26 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
121 7 27 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
141 8 28 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
161 9 29 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20
181 10 30 M=1 LP=3,0 G=13,1,20,20

201	11	31	M=1	LP=3,0	G=13,1,20,20
401	401	402	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
421	421	422	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
441	441	442	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
461	461	462	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
481	481	482	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
501	501	502	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
521	521	522	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
541	541	542	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
561	561	562	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
581	581	582	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
601	601	602	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
621	621	622	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1
641	641	642	M=2	LP=-2,0	G=9,1,1,1

EUIJEONGBU BUILDING

C Using Constraints

SYSTEM

L=1

JOINTS

1	X=0.00	Y=0.0	Z=0.0	
2	X=40.	Y=0.0	Z=0.0	
25	X=1650.	Y=0.0	Z=0.0	G=2,25,1
31	X=0.0	Y=60.	Z=0.0	
301	X=0.0	Y=1320.	Z=0.0	G=31,301,30
32	X=40.	Y=60.	Z=0.0	
55	X=1650.	Y=60.	Z=0.0	
302	X=40.	Y=1320.	Z=0.0	
325	X=1650.	Y=1320.	Z=0.0	Q=32,55,302,325,1,30
401	X=0.00	Y=0.0	Z=-12.6	
402	X=40.	Y=0.0	Z=-12.6	
425	X=1650.	Y=0.0	Z=-12.6	G=402,425,1
431	X=0.0	Y=60.	Z=-12.6	
701	X=0.0	Y=1320.	Z=-12.6	G=431,701,30
432	X=40.	Y=60.	Z=-12.6	
455	X=1650.	Y=60.	Z=-12.6	
702	X=40.	Y=1320.	Z=-12.6	
725	X=1650.	Y=1320.	Z=-12.6	Q=432,455,702,725,1,30

RESTRAINTS

401,425,2	R=1,1,1,0,0,0
431,455,2	R=1,1,1,0,0,0
461,485,2	R=1,1,1,0,0,0
491,515,2	R=1,1,1,0,0,0
521,545,2	R=1,1,1,0,0,0
551,575,2	R=1,1,1,0,0,0
581,605,2	R=1,1,1,0,0,0
611,635,2	R=1,1,1,0,0,0
641,665,2	R=1,1,1,0,0,0
671,695,2	R=1,1,1,0,0,0
701,725,2	R=1,1,1,0,0,0

CONSTRAINTS

1,25,1 C=401,401,401,401,401,401 I=1,1,1,1,1,1
31,55,1 C=431,431,431,431,431,431 I=1,1,1,1,1,1
61,85,1 C=461,461,461,461,461,461 I=1,1,1,1,1,1
91,115,1 C=491,491,491,491,491,491 I=1,1,1,1,1,1
121,145,1 C=521,521,521,521,521,521 I=1,1,1,1,1,1
151,175,1 C=551,551,551,551,551,551 I=1,1,1,1,1,1
181,205,1 C=581,581,581,581,581,581 I=1,1,1,1,1,1
211,235,1 C=611,611,611,611,611,611 I=1,1,1,1,1,1
241,265,1 C=641,641,641,641,641,641 I=1,1,1,1,1,1
271,295,1 C=671,671,671,671,671,671 I=1,1,1,1,1,1
301,325,1 C=701,701,701,701,701,701 I=1,1,1,1,1,1

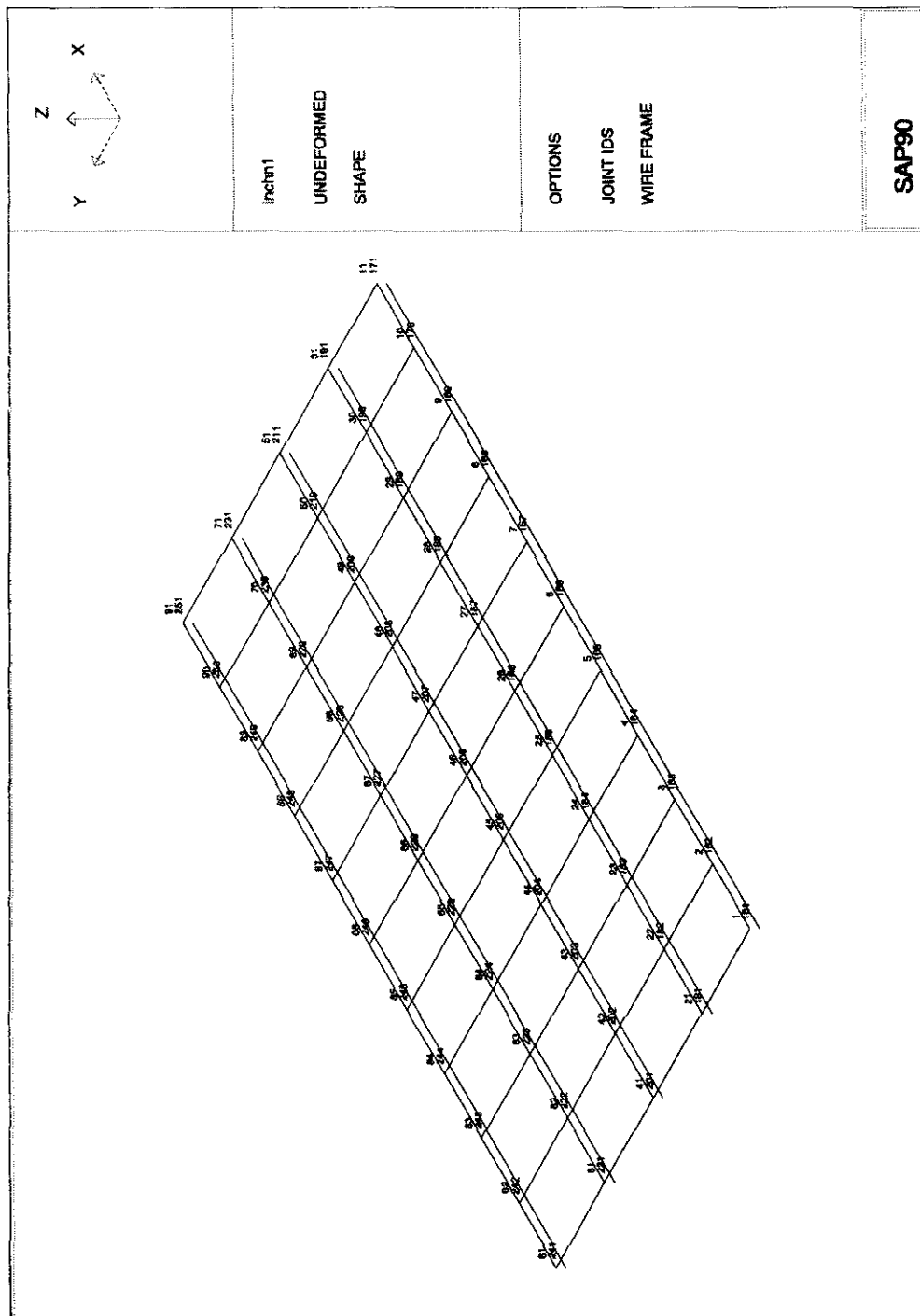
SHELL

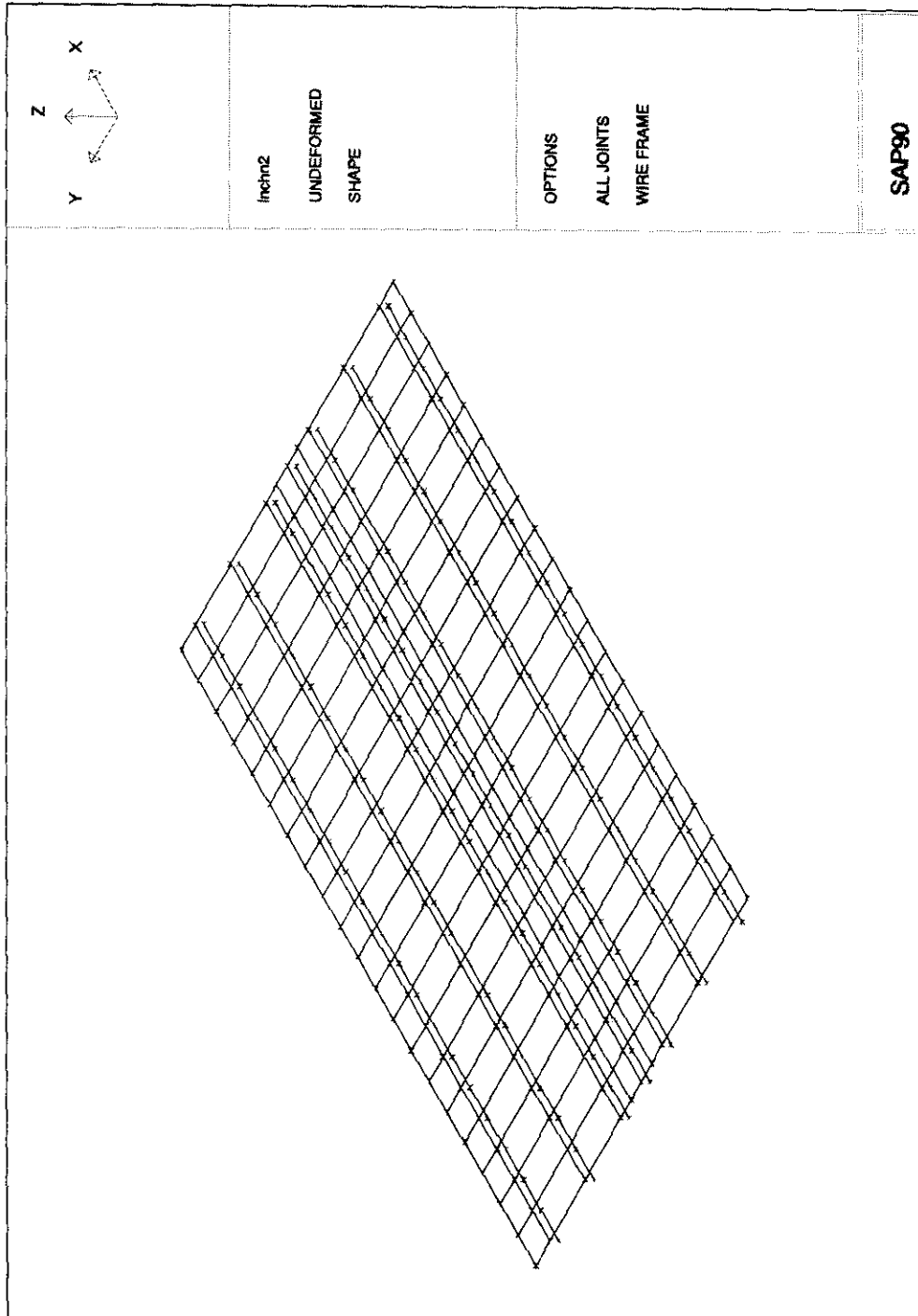
NM=1 Z=-1.0
1 E=5.5E4 U=0.4 W=72.415E-3
1 JQ=1,2,31,32 M=1 TH=1.2 G=24,10

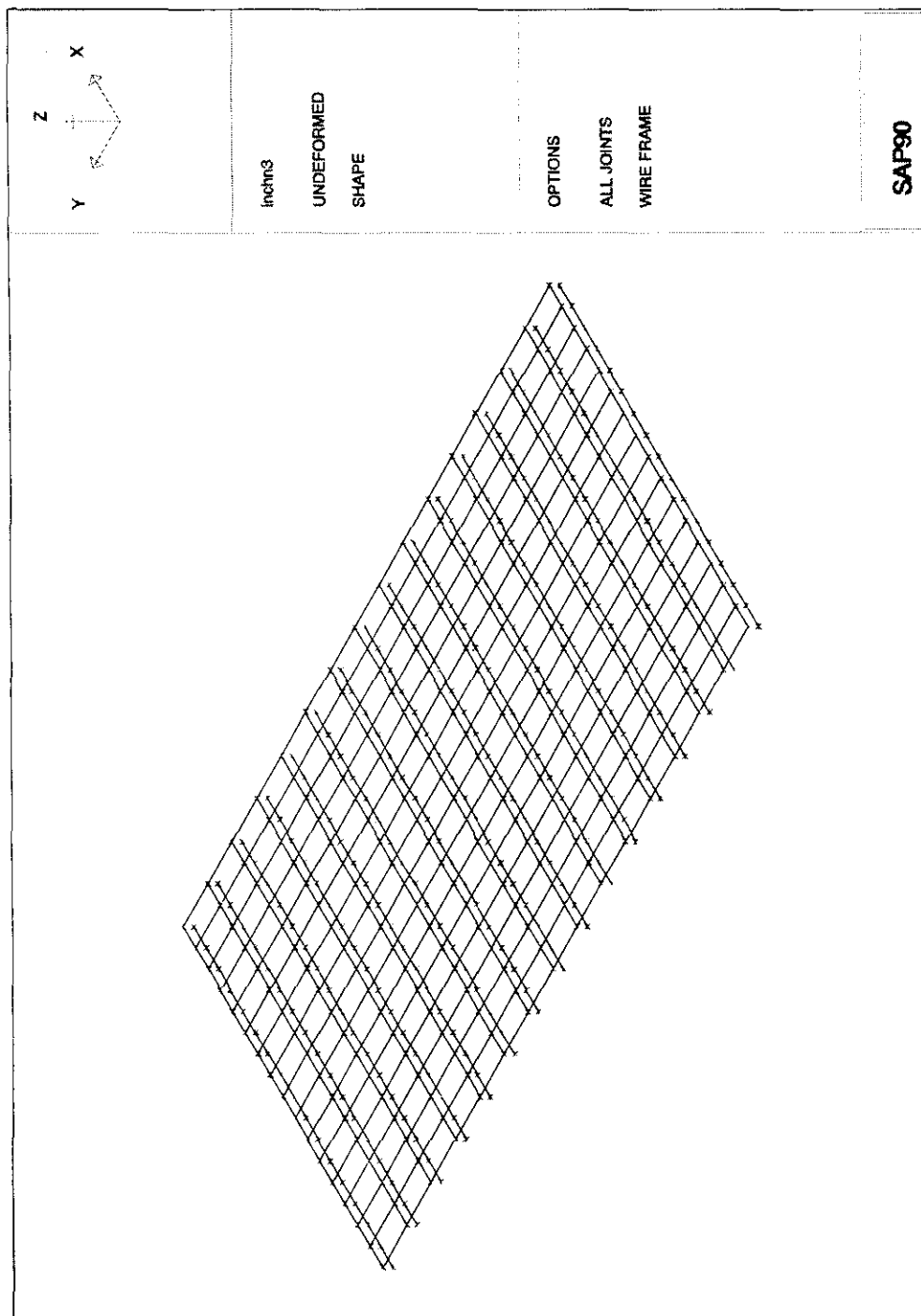
FRAME

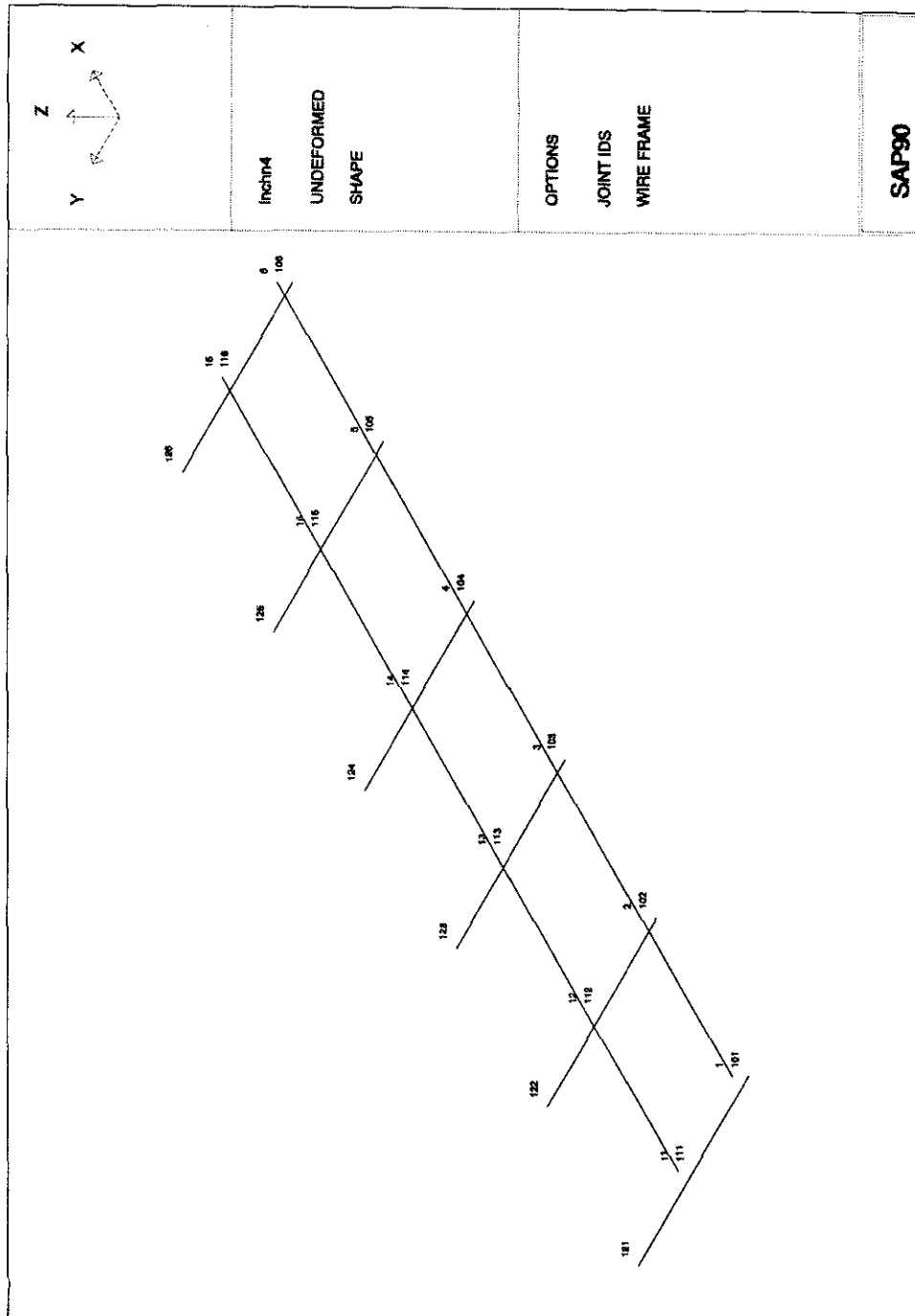
NM=2 Z=-1.0
1 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
2 A=70.56 I=4.14893E2 E=8.0E4 G=2.5E3 W=0.0381
1 1 31 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
21 2 32 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
41 3 33 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
61 4 34 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
81 5 35 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
101 6 36 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
121 7 37 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
141 8 38 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
161 9 39 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
181 10 40 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
201 11 41 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
221 12 42 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
241 13 43 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30
261 14 44 M=1 LP=3,0 G=9,1,30,30

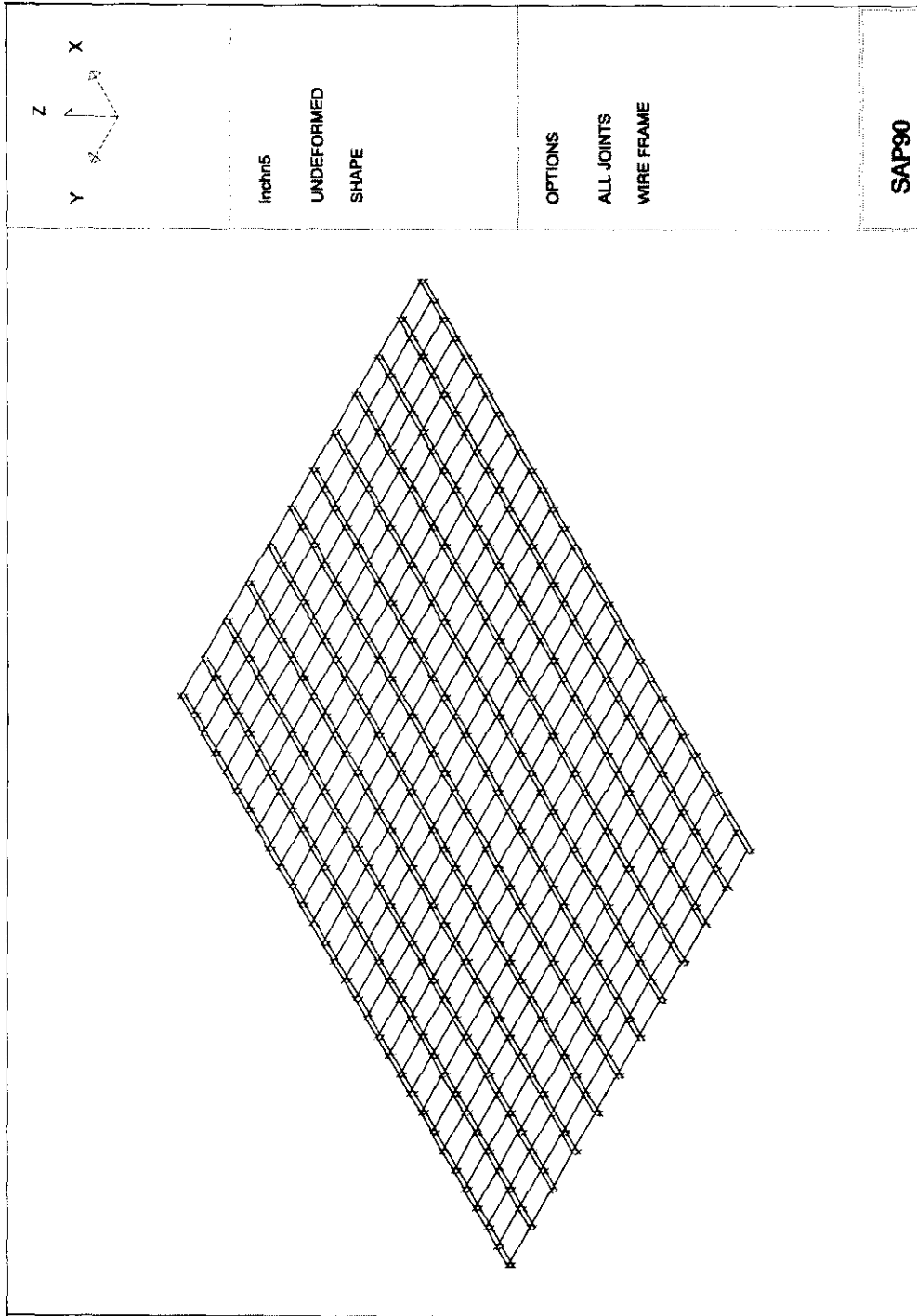
281	15	45	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
301	16	46	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
321	17	47	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
341	18	48	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
361	19	49	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
381	20	50	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
401	21	51	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
421	22	52	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
441	23	53	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
461	24	54	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
481	25	55	M=1	LP=3,0	G=9,1,30,30
601	401	402	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
631	431	432	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
661	461	462	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
691	491	492	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
721	521	522	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
751	551	552	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
781	581	582	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
811	611	612	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
841	641	642	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
871	671	672	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1
901	701	702	M=2	LP=-2,0	G=23,1,1,1

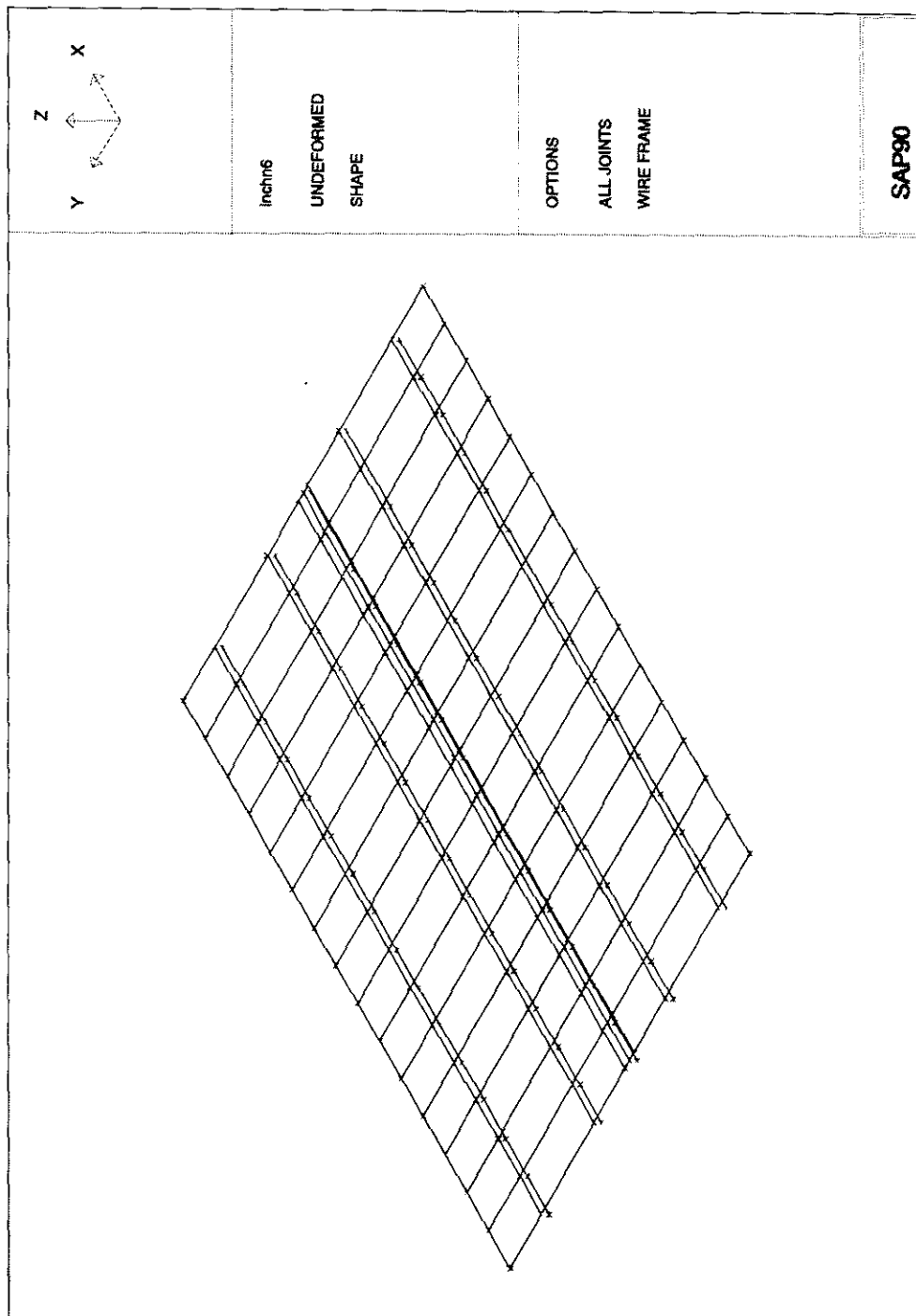


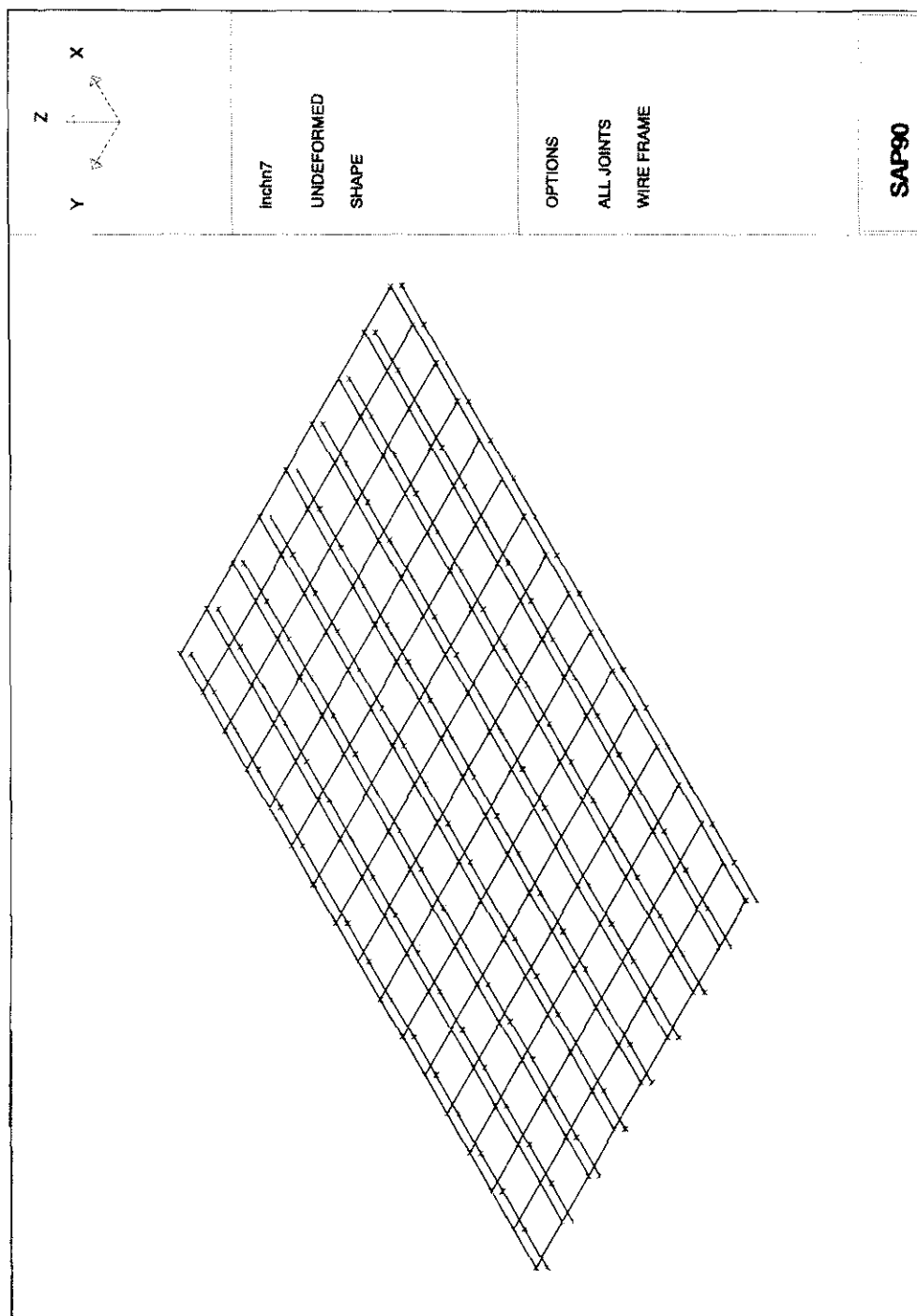


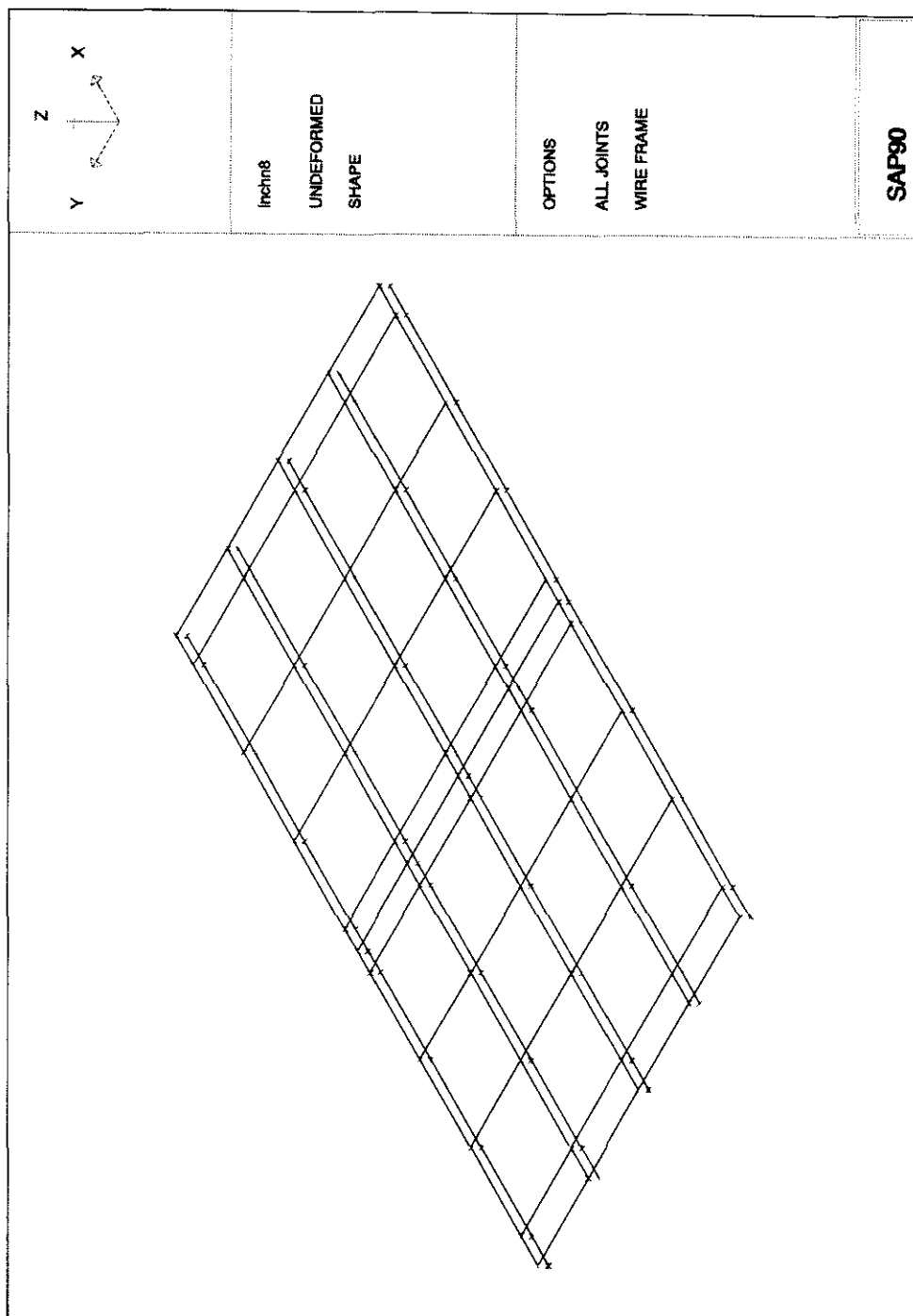


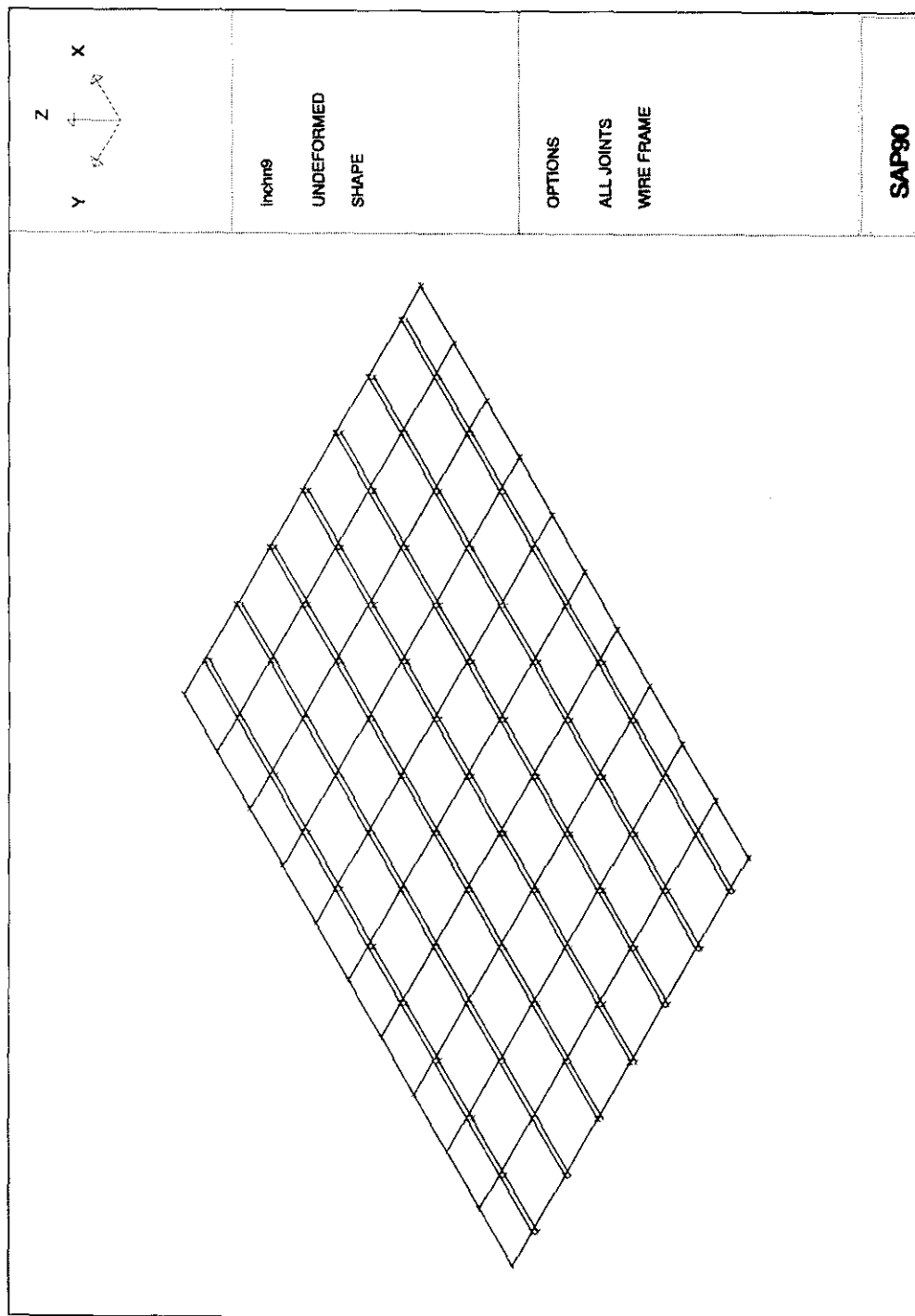


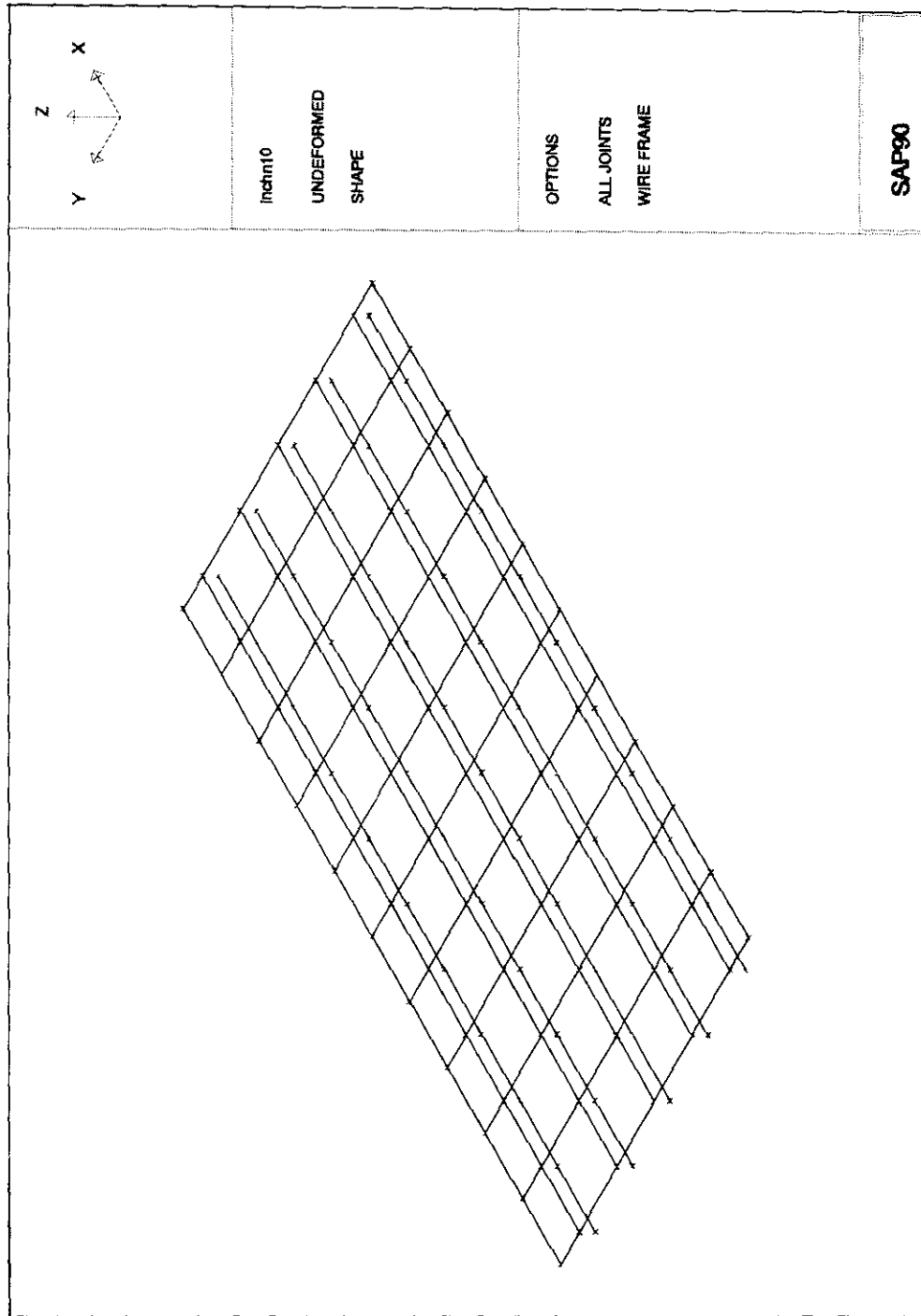


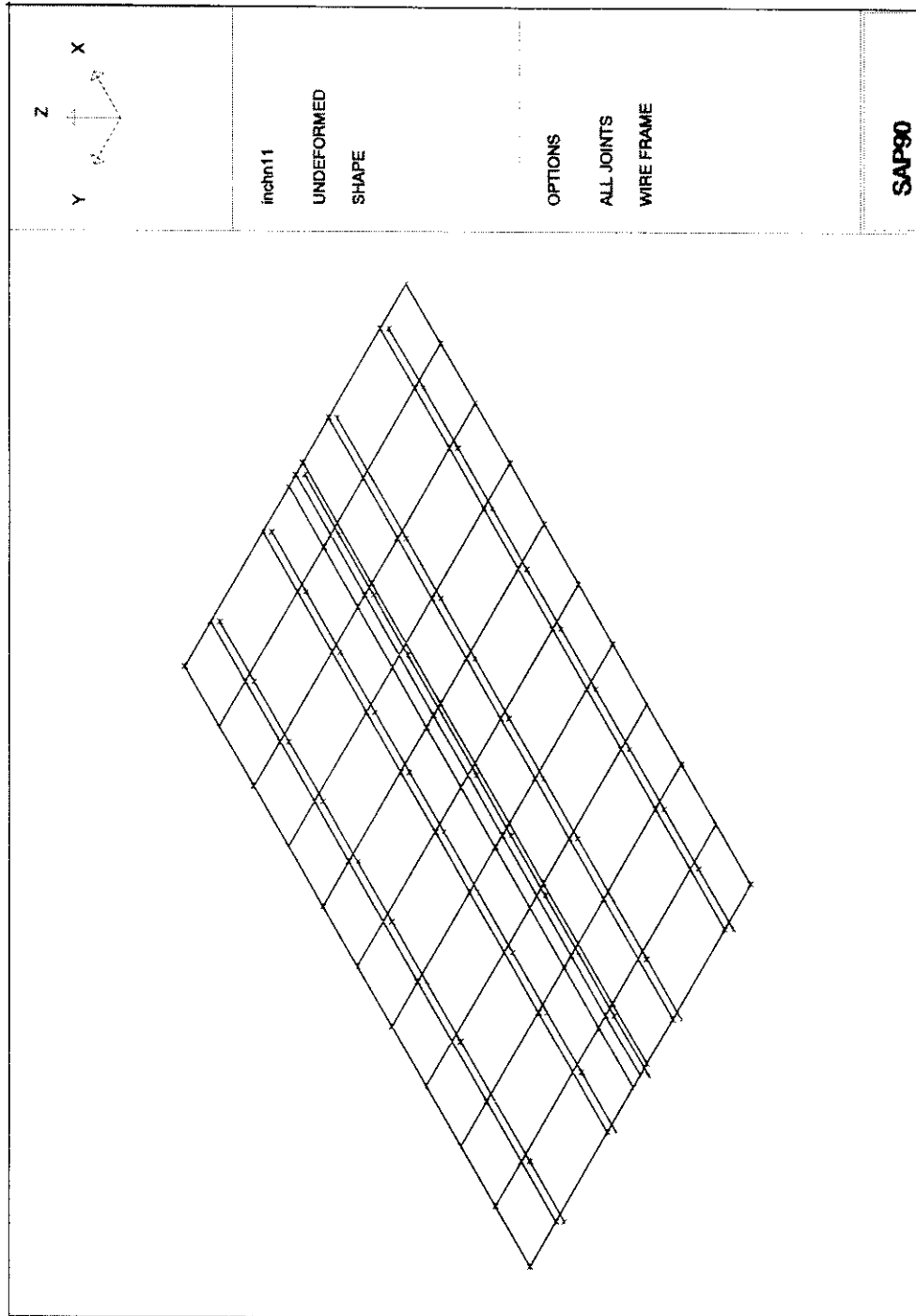


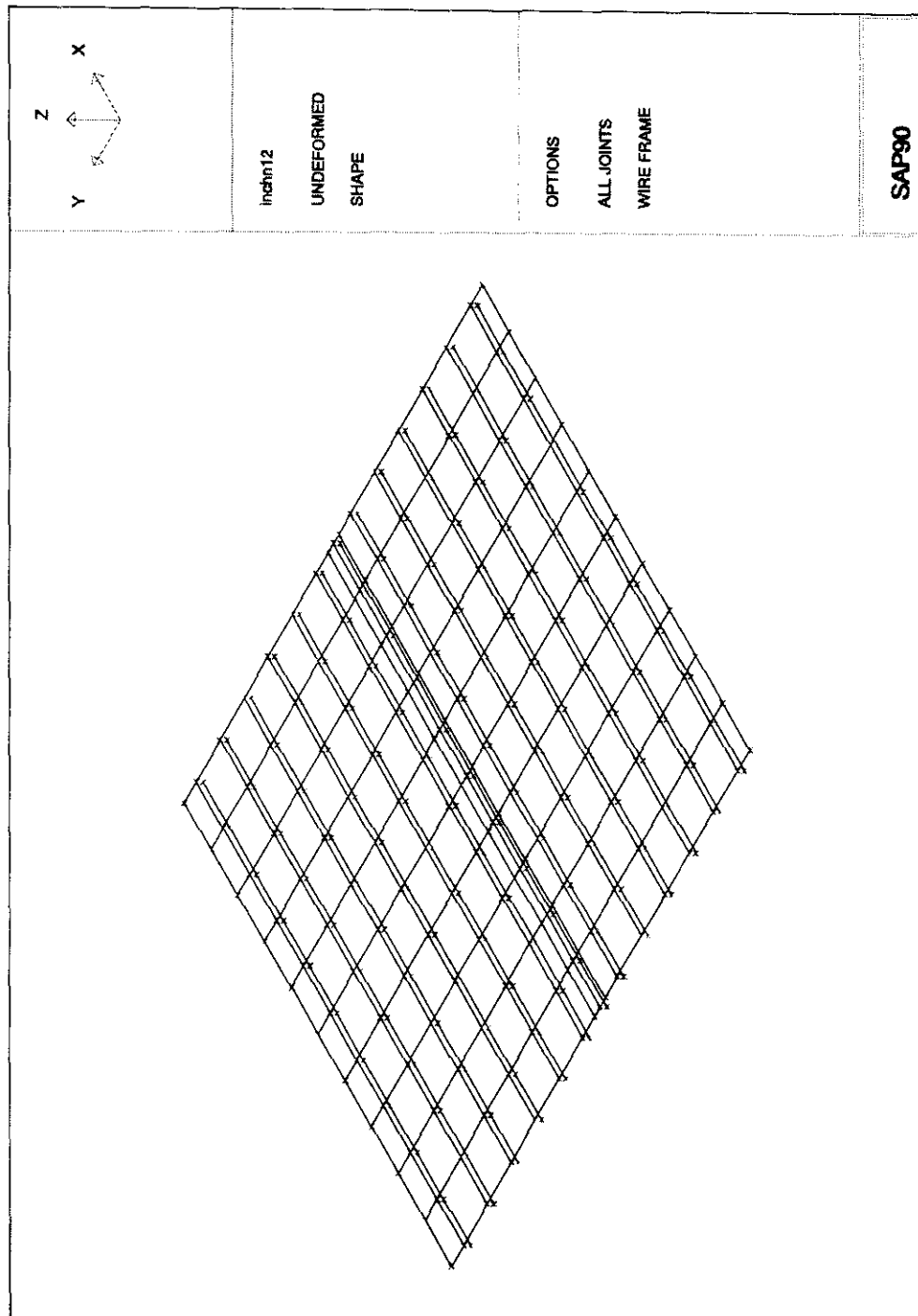


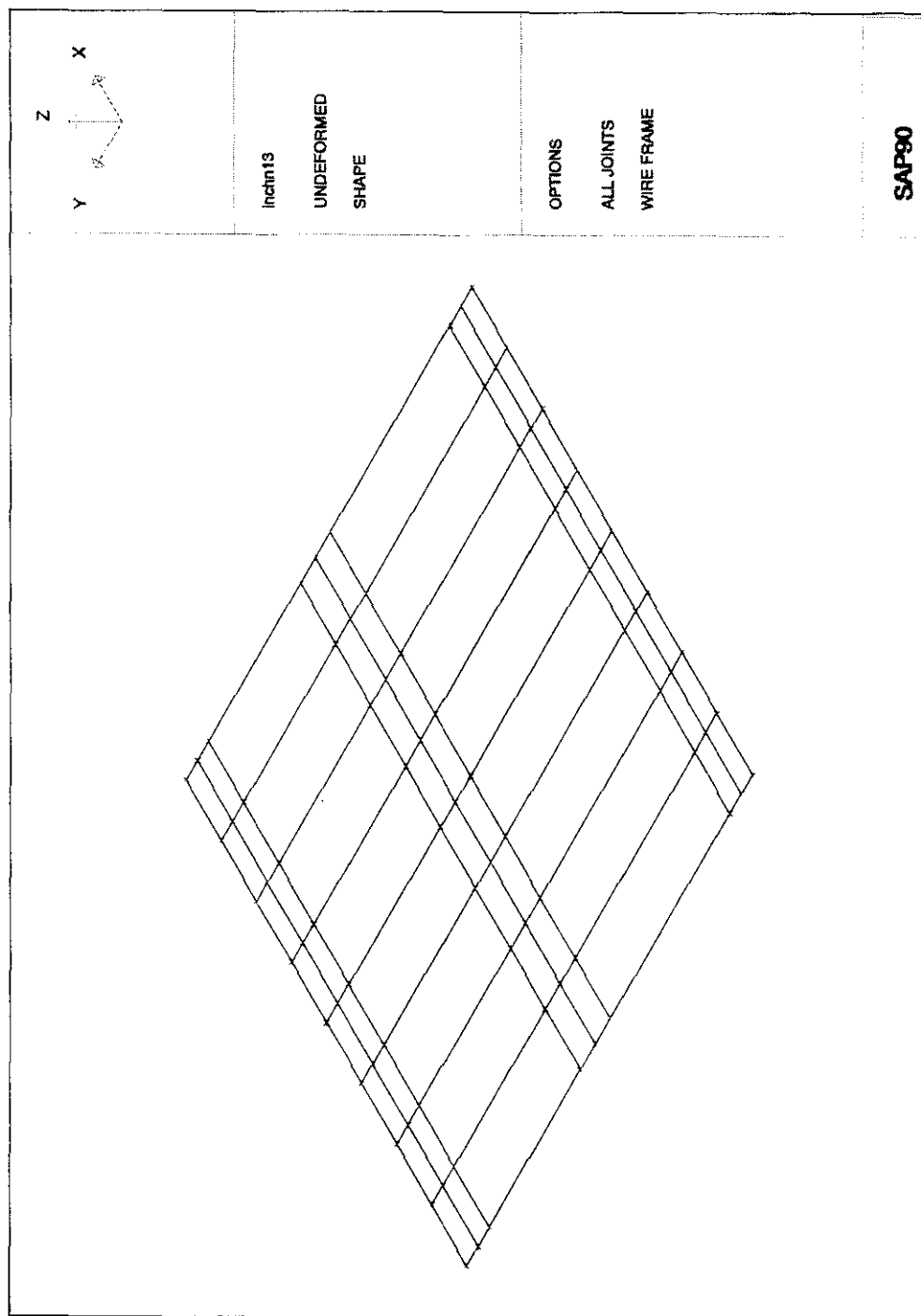


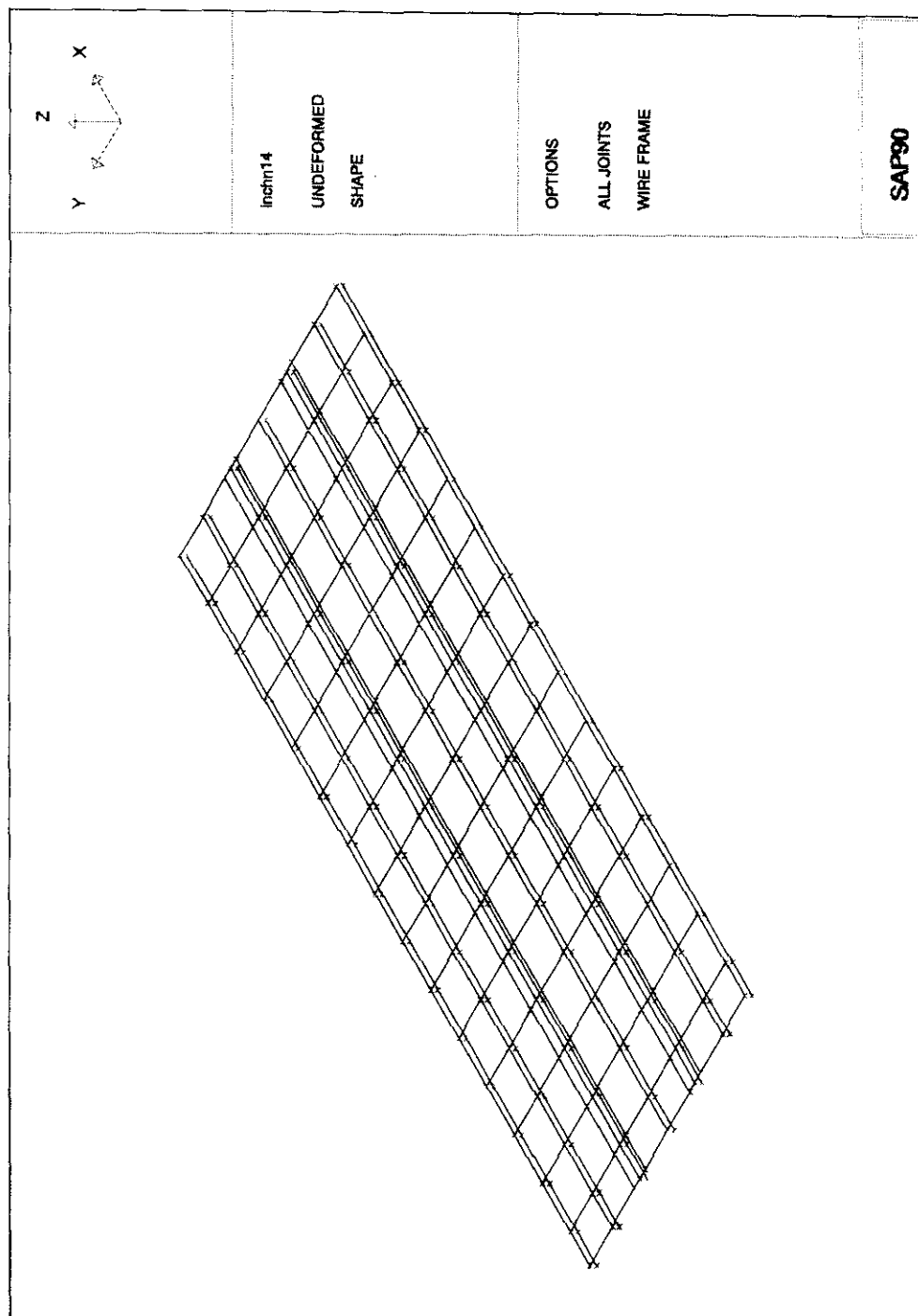


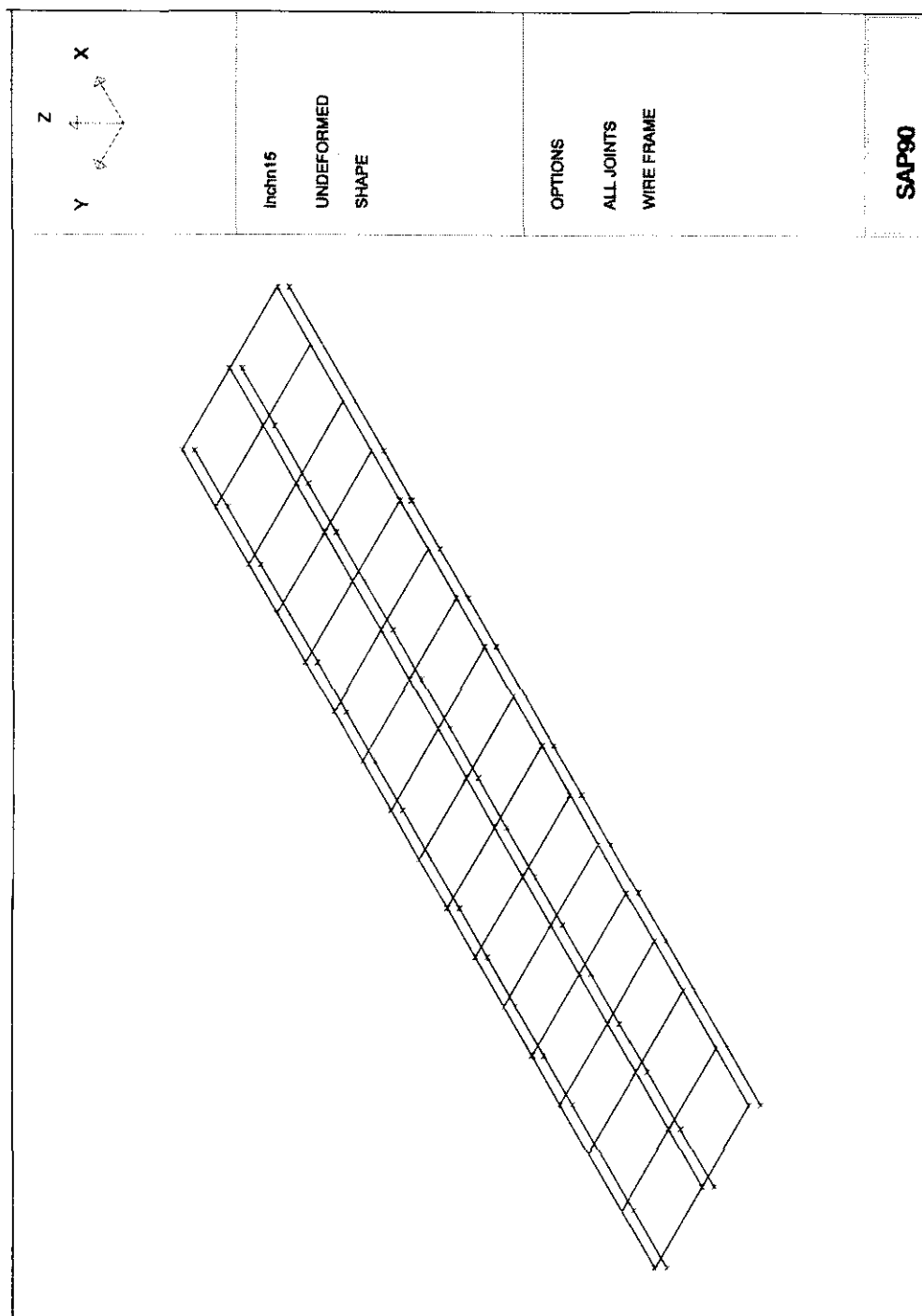


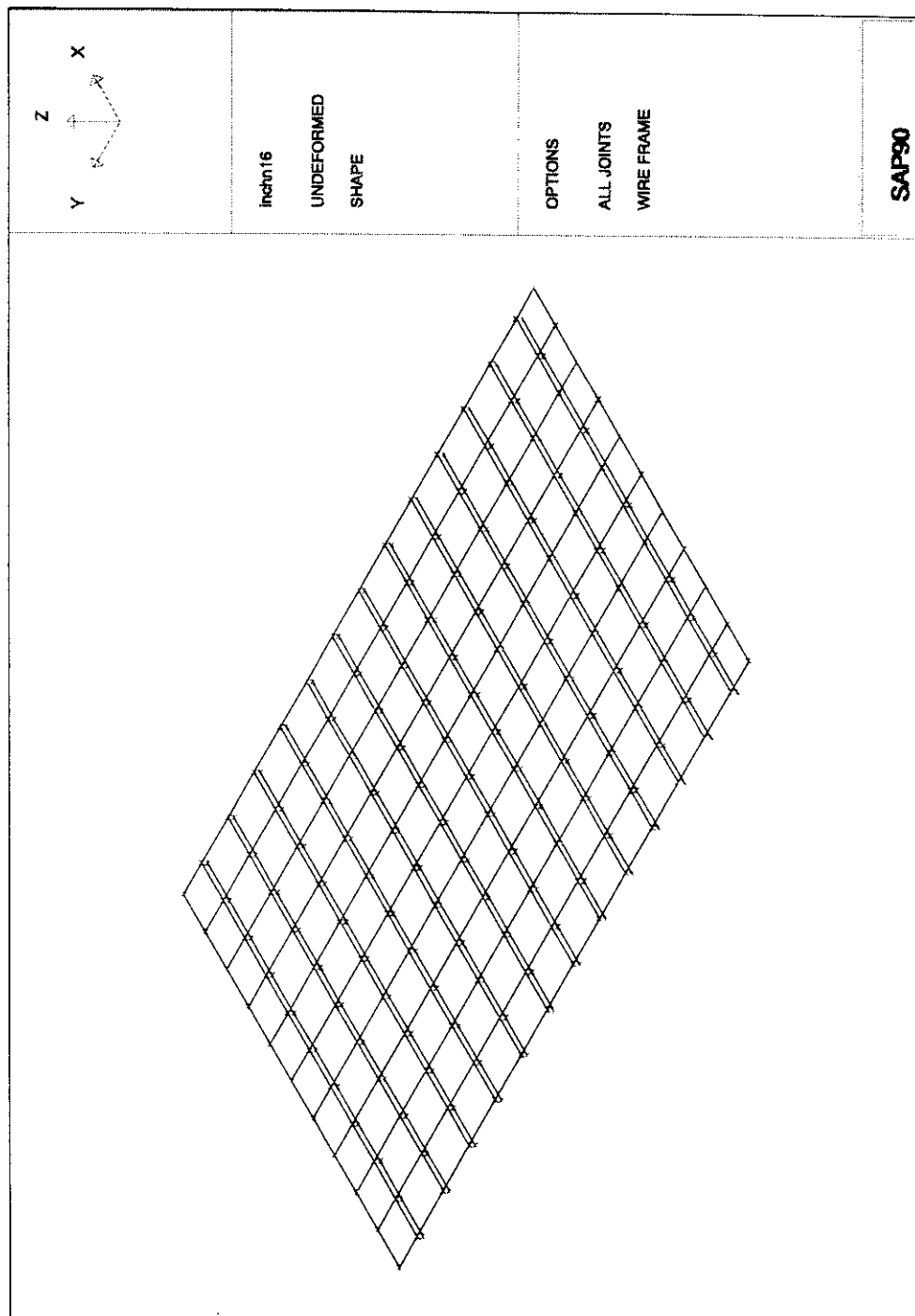


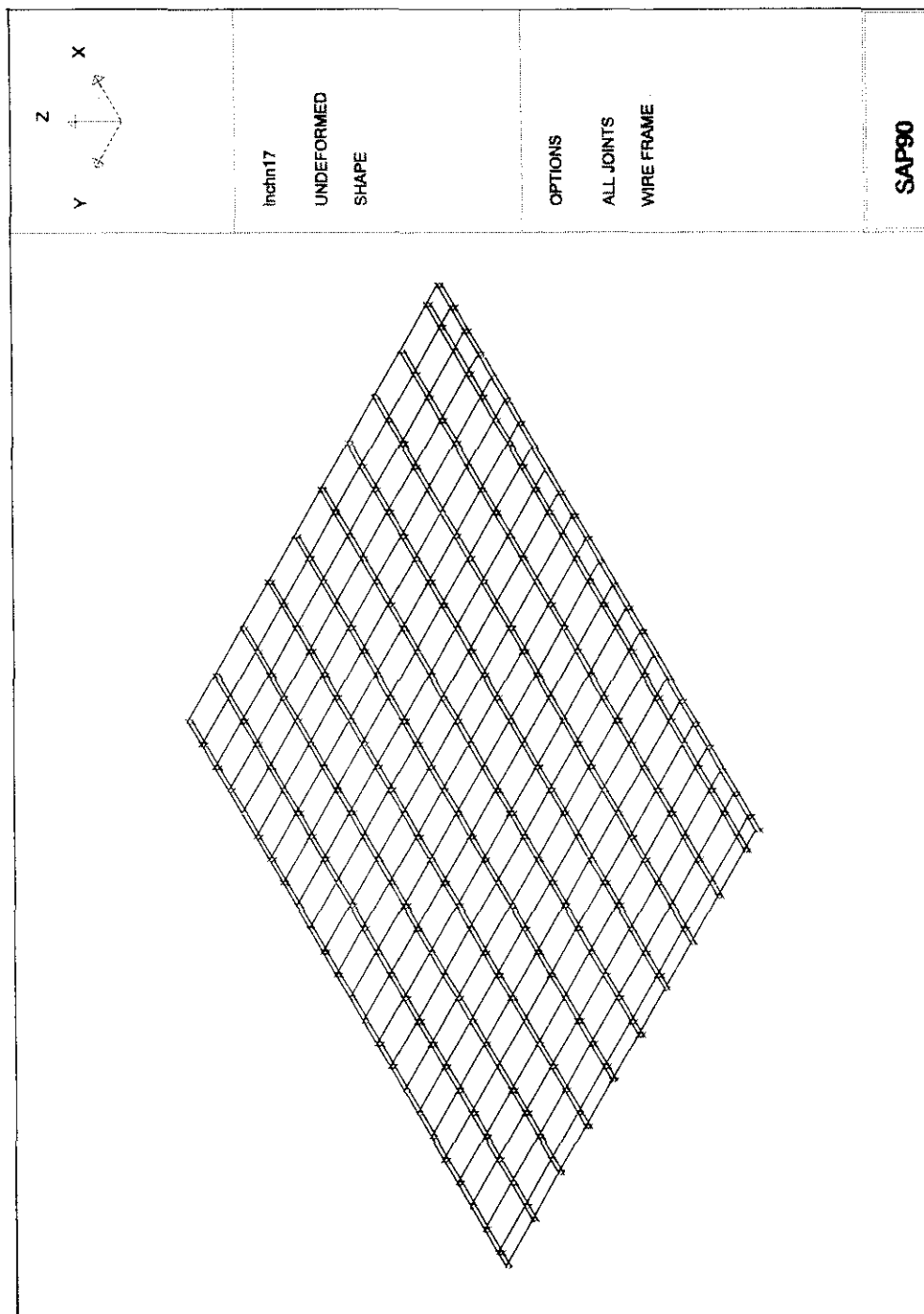












여 백

부록 C. 구조해석 결과 사진

여 백

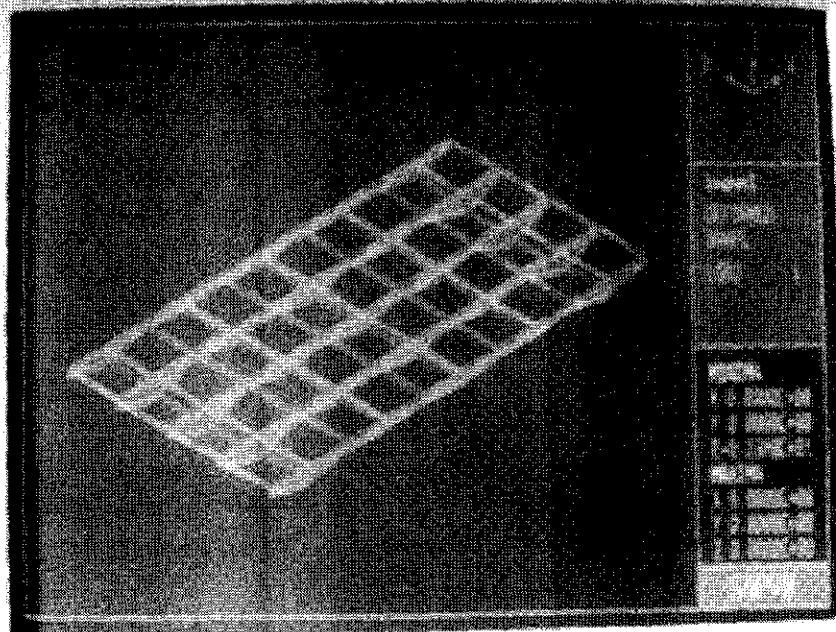


사진1. 구조해석 결과(사례1)

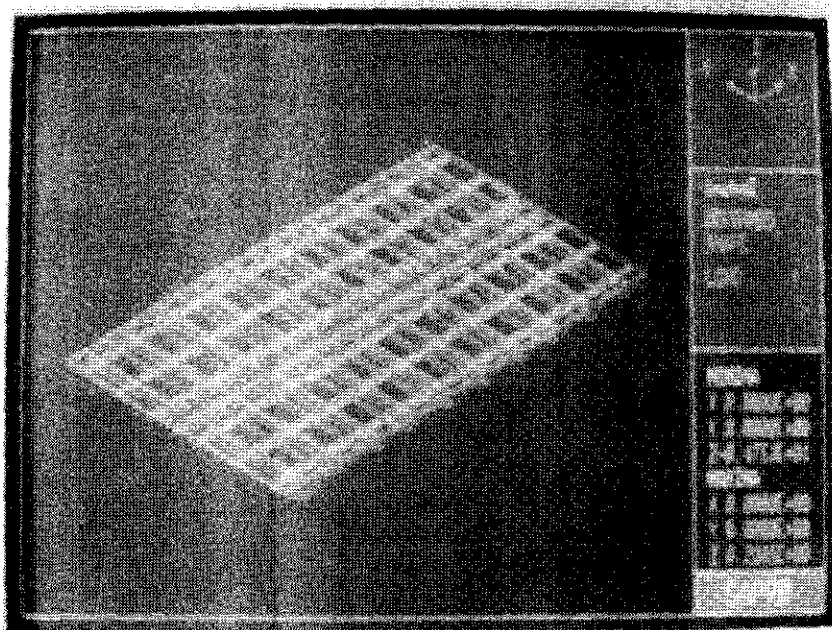


사진2. 구조해석 결과(사례2)

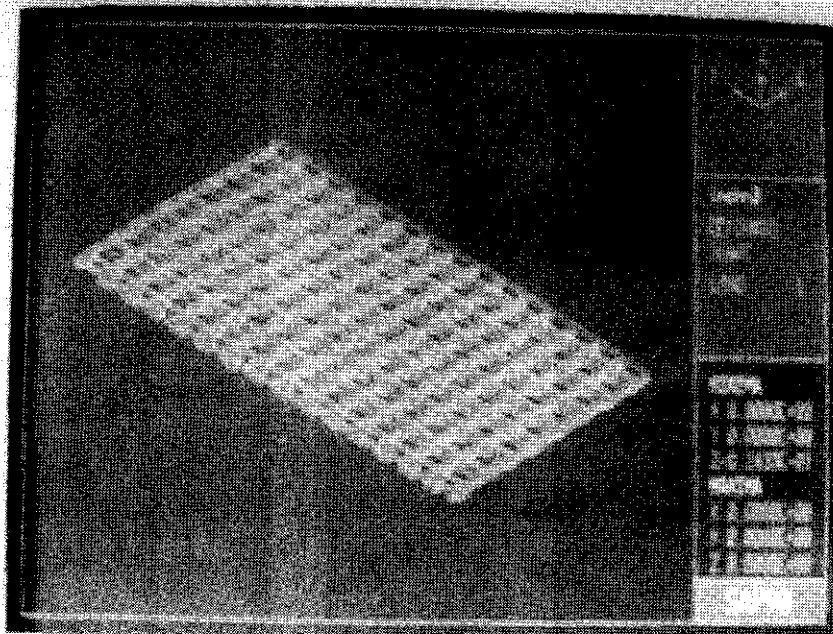


사진3. 구조해석 결과(사례3)

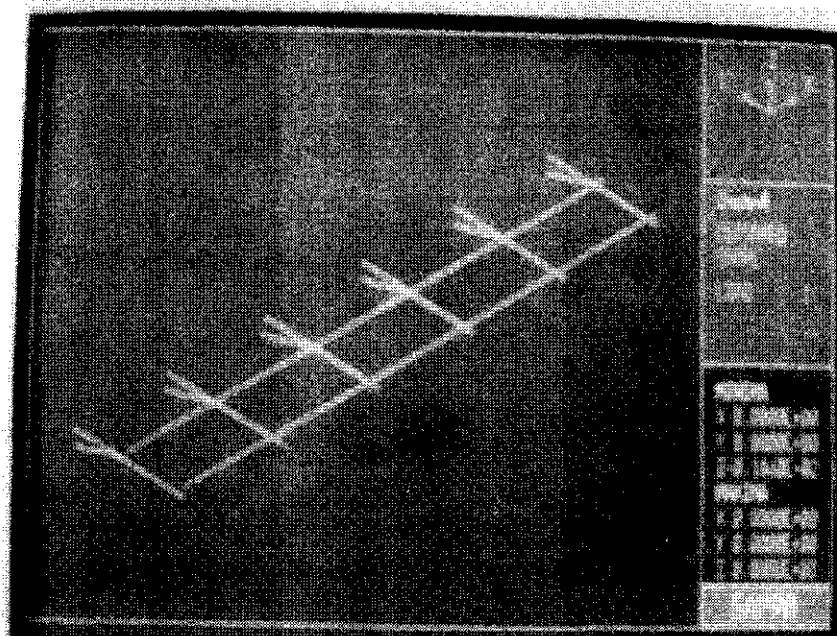


사진4. 구조해석 결과(사례4)

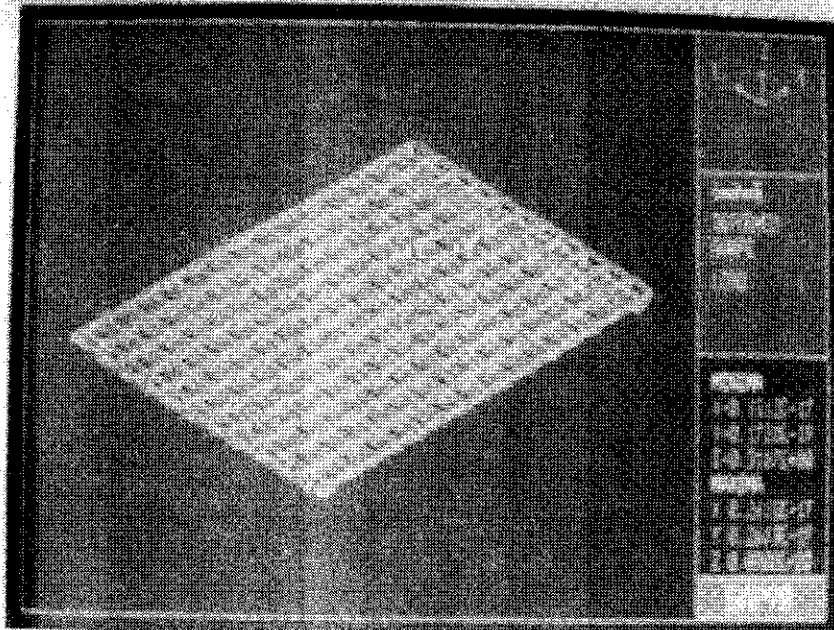


사진5. 구조해석 결과(사례5)

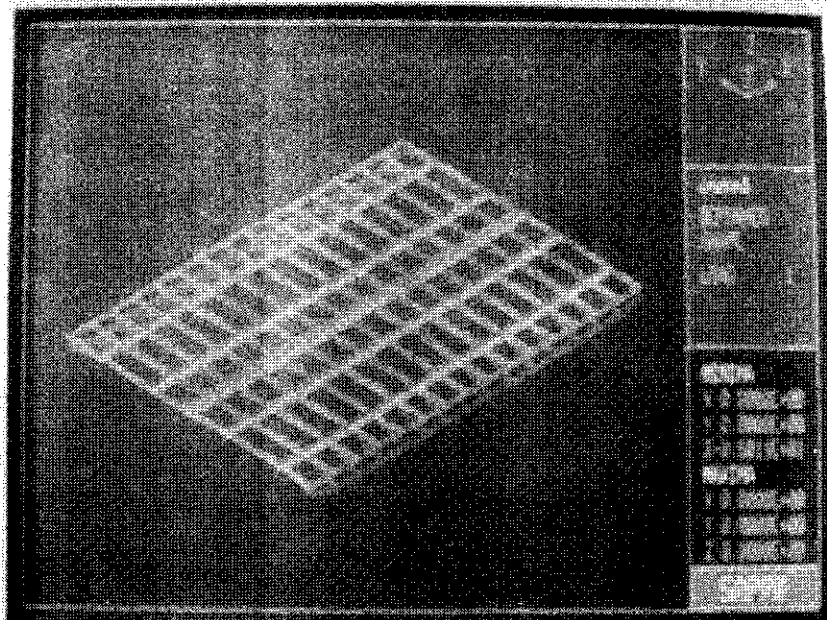


사진6. 구조해석 결과(사례6)

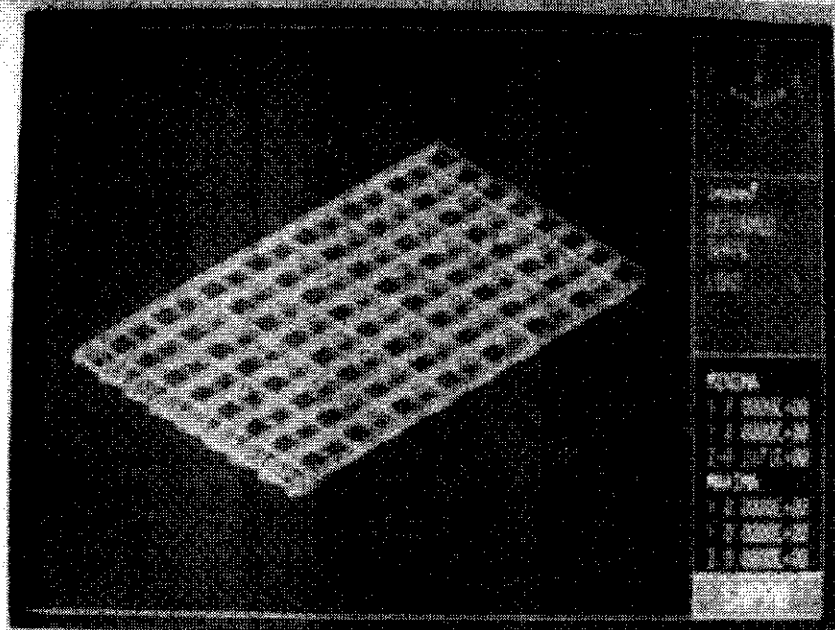


사진7. 구조해석 결과(사례7)

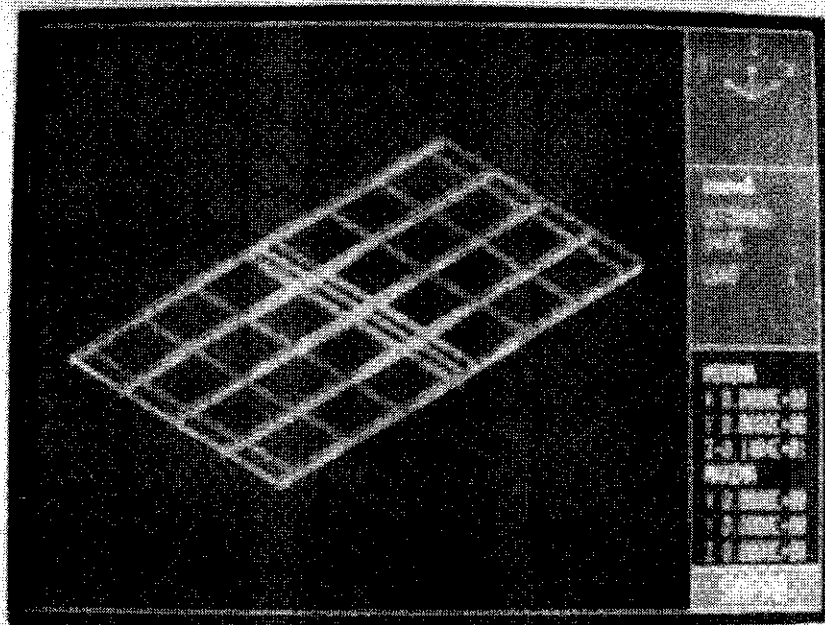


사진8. 구조해석 결과(사례8)

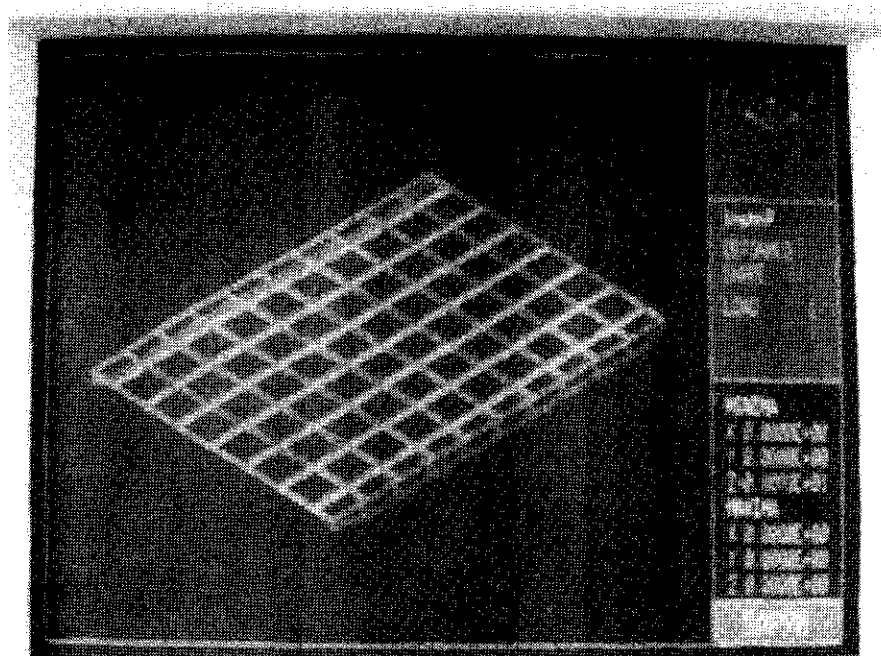


사진9. 구조해석 결과(사례9)

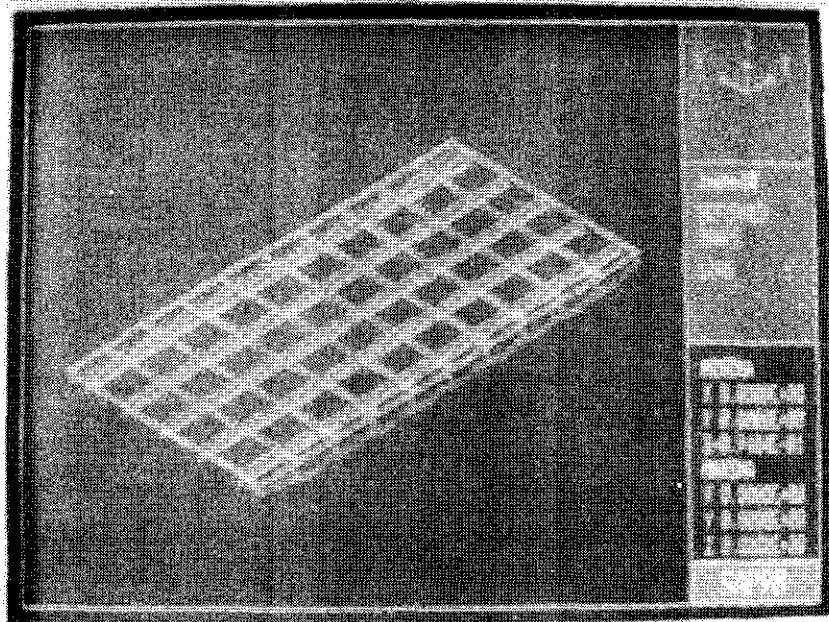


사진10. 구조해석 결과(사례10)

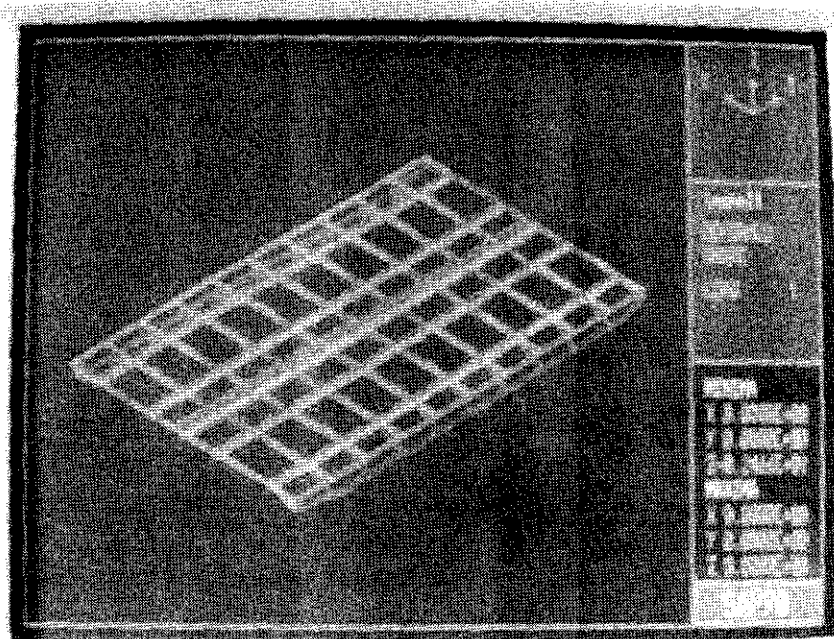


사진11. 구조해석 결과(사례11)

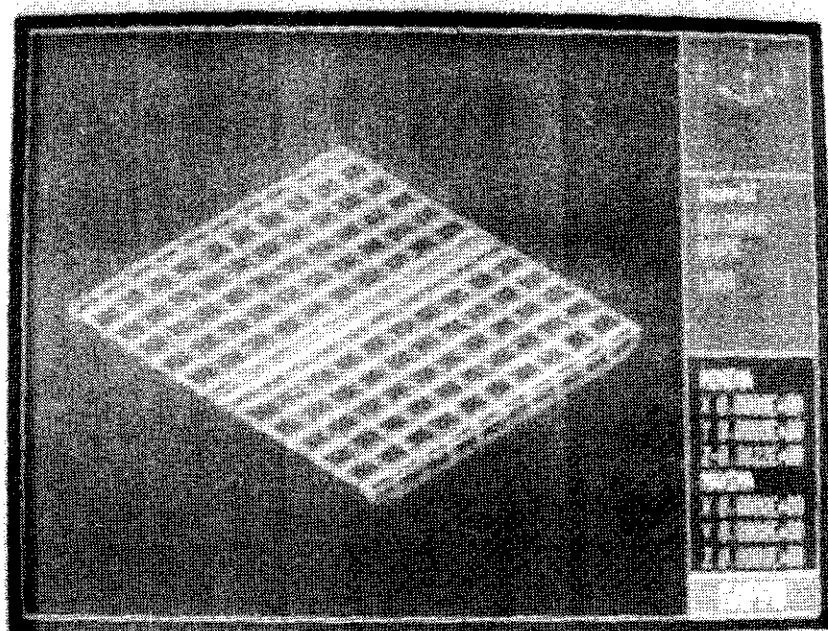


사진12. 구조해석 결과(사례12)

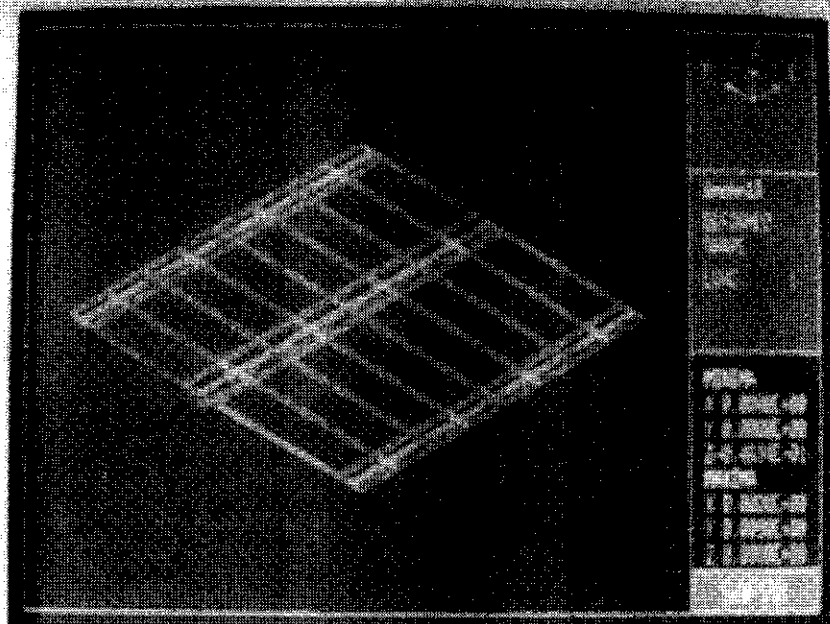


사진13. 구조해석 결과(사례13)

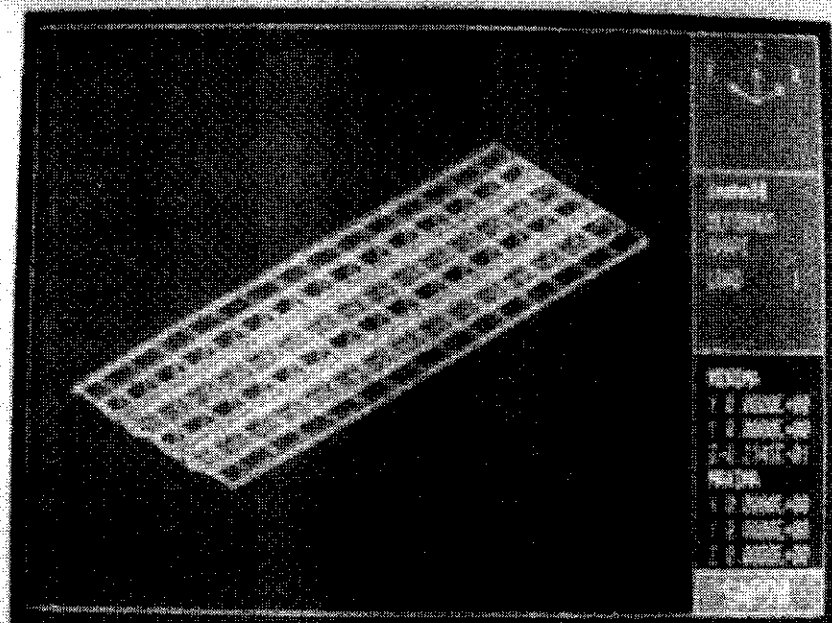


사진14. 구조해석 결과(사례14)

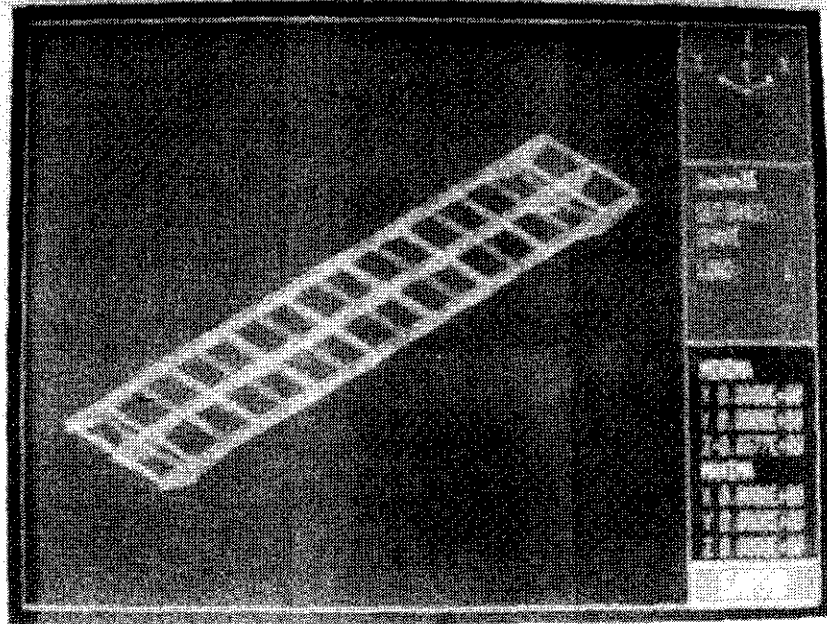


사진15. 구조해석 결과(사례15)

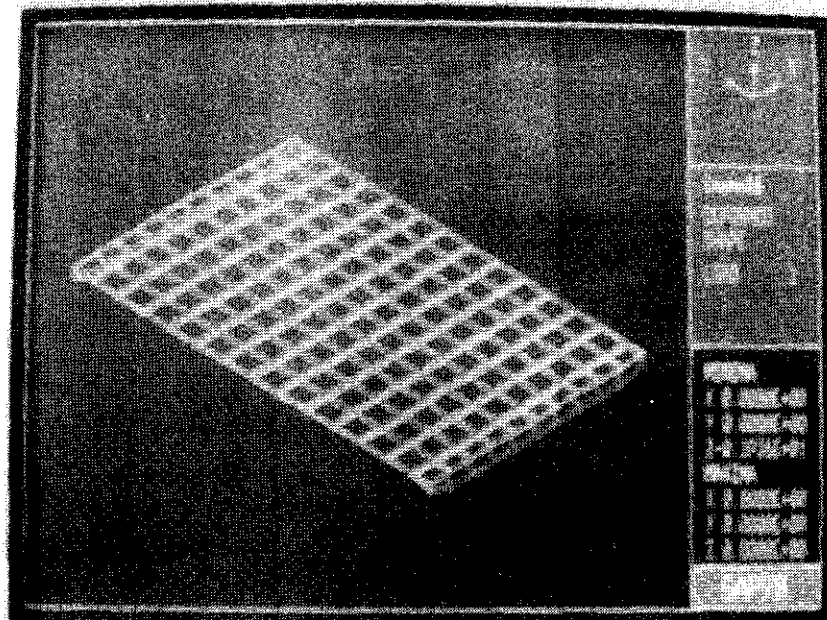


사진16. 구조해석 결과(사례16)

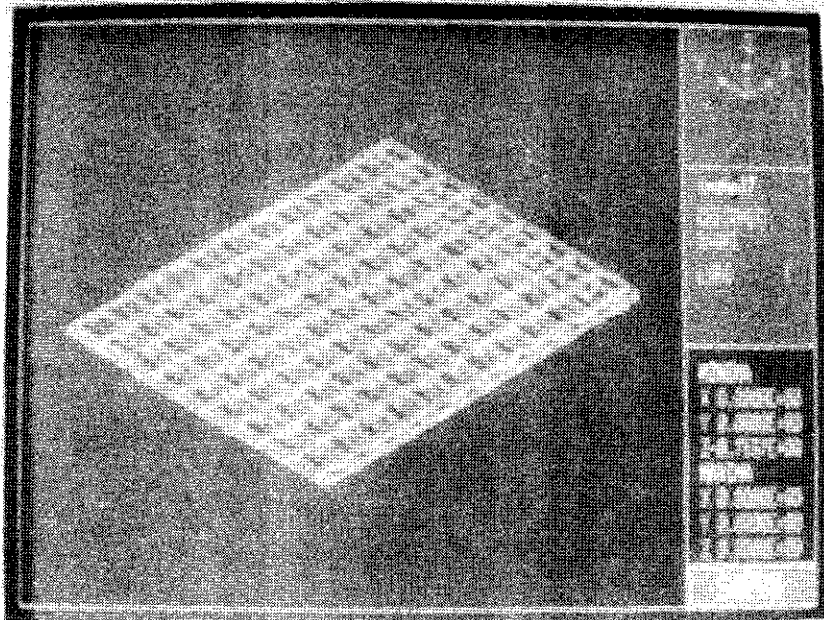


사진17. 구조해석 결과(사례17)

가설공사 안전모델 개발에 관한 연구

(도과재해사례를 중심으로)

연구보고서 (안전연 97-14-35)

발 행 일 : 1997. 12. 31

발 행 인 : 원 장 이 한 훈

연구책임자 : 책임연구원 최 순 주

공동연구자 : 안성산업대학교 전임강사 백 신 원

공동연구자 : 안성산업대학교 전임강사 최 동 욱

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업 안전 연구원

건설 안전 연구팀

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4

전 화 : 032) 5100-848~852

인쇄 : 성문사 ☎ (02) 392-0520