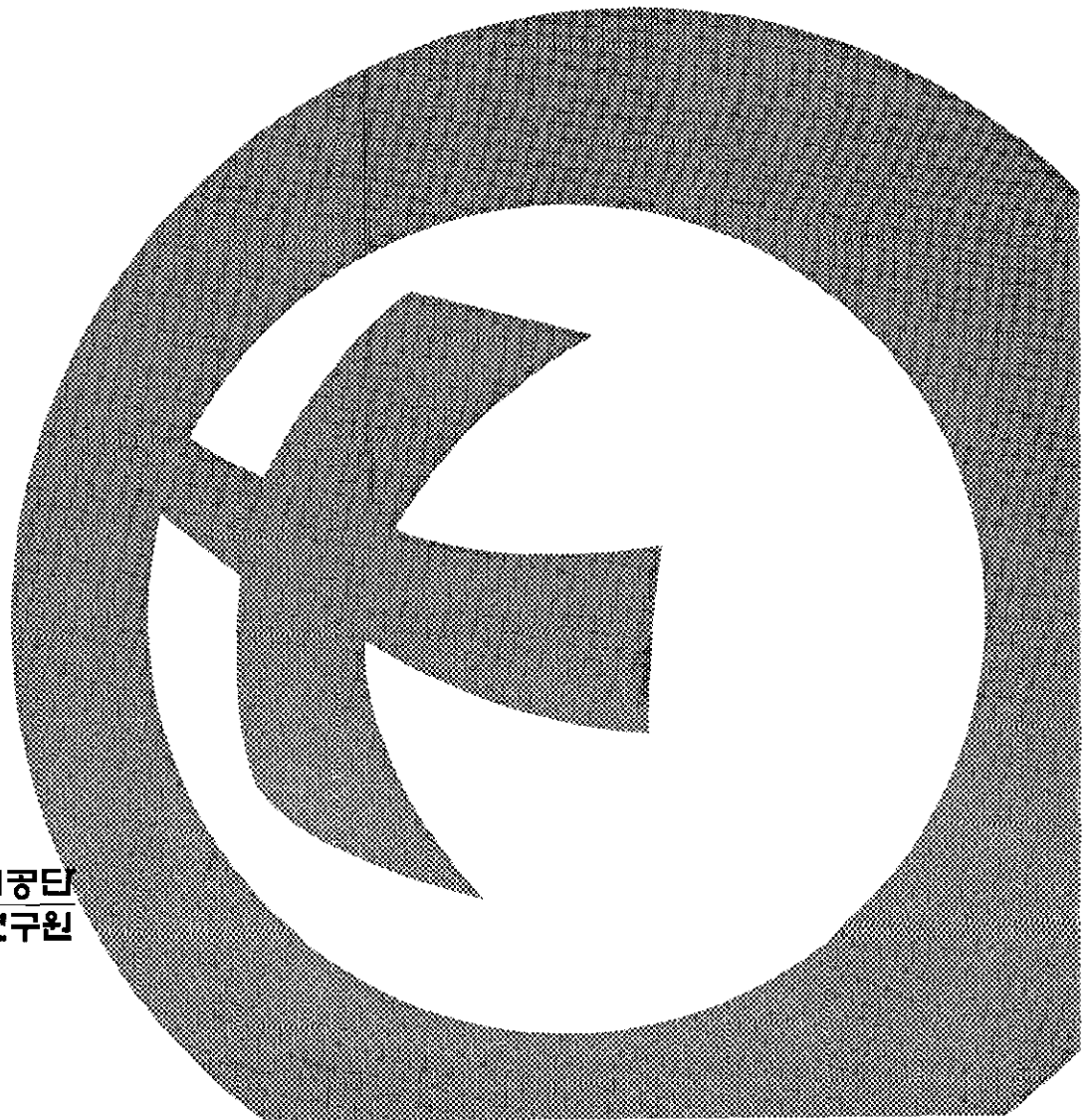


파이프 서포트의 내력에 관한 연구

A Study on the Strength of Steel Pipe Support



한국산업안전공단
산업안전보건연구원



제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산업안전 선진화3개년 계획”에 의거하여 건설
안전 연구사업의 일환으로 수행한 “파이프서포트의 내력에
관한 연구”의 최종 보고서로 제출합니다.

1999년 12월 31일

주 관 연 구 부 서: 산 업 안 전 보 건 연 구 원
안 전 공 학 연 구 실
연 구 책 임 자: 책 임 연 구 원 최 순 주
공 동 연 구 자: 이 영 욱(군산대학교 교수, 공학박사)
안 홍 섭(군산대학교 교수, 공학박사)
연 구 보 조 원: 허 정 레(군 산 대 학 교, 건축공학과)
박 정 아(군 산 대 학 교, 건축공학과)
이 승 헌(군 산 대 학 교, 건축공학과)
권 영 근(군 산 대 학 교, 건축공학과)
김 정 웅(군 산 대 학 교, 건 축 학 과)
조 재 순(군 산 대 학 교, 건 축 학 과)

요 약 문

1. 과 제 명 : 파이프 서포트의 내력에 관한 연구

2. 연구기간 : 1999. 1. 1 ~ 1999. 12. 31

3. 연 구 자 : 한국산업안전공단 안전보건연구원 안전공학연구실 책임연구원 최 순 주
군산대학교 건축공학과 조교수 이영욱, 안홍섭

4. 연구목적

거푸집 붕괴 재해를 방지하기 위하여서는 동바리를 포함한 거푸집의 구조계산 및 검토 수행이 필연적이므로, 동바리의 붕괴재해 사례를 통하여 원인을 분석하고 4m를 초과하는 파이프 서포트의 내력 실험을 통하여 내력의 크기와 영향 요인을 파악하고자 하였다.

5. 연구내용

- 동바리 붕괴재해 사례분석
- 4m, 5m, 5.8m 파이프 서포트의 내력 평가 실험
- 내력에 영향을 미치는 요인 분석

6. 활용계획

- 붕괴재해 사례분석 결과는 현장의 안전지도에 활용
- 내력에 영향을 미치는 요인 분석 결과는 파이프 서포트의 허용내력 산정 기초자료

로 활용하며, 현장의 안전지도를 위한 자료로 활용

7. 연구개요

‘94년부터 ‘98년까지의 거푸집 동바리 붕괴재해 사례조사 결과 조사된 전체 중대재해 사고 2,270건 중 붕괴재해는 총 47건으로서 붕괴재해로 인한 인적손실은 사망 53명, 부상 150명이 발생하였다. 건설중대재해 1건에 대한 재해자수는 평균 1.21명인데 반해 거푸집 동바리 붕괴재해로 재해자수는 4.32명으로서 인적손실이 매우 크고 물적손실이 수반된다.

본 연구 결과, 공사준비 과정에서 조립도 미작성 사례가 63.8%, 구조검토가 미흡한 사례가 51.1%로 계획단계에서의 문제점이 큰 것으로 나타났다. 특히 높이가 6m 이상의 거푸집 동바리의 경우에 붕괴재해사례의 83%를 차지하며 6m가 넘는 동바리의 조립도 작성 및 구조검토는 강화시킬 필요가 있는 것으로 나타났다.

파이프 서포트의 길이가 4m와 5m, 5.8m, 단품과 조립품, 수평연결재의 조건, 멩에의 유무, 비규격 지지편의 사용의 경우에 대하여 내력실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

파이프 서포트의 길이가 길어지면 내력이 현저하게 저하하므로 지지 높이가 5m를 넘지 않는 것이 적절하다고 사료된다. 또한 실험을 통하여, 초기 횡변위가 작을수록 내력이 크고 초기 횡변위는 진폭에 비례하는 사실을 확인되었으므로 진폭을 최소화하는 것도 내력의 확보 방안 중에 하나로 나타났다.

산업안전기준에 관한 규칙’에 따라 수평연결재를 설치하면, 4, 5, 5.8m의 모든 서포트의 내력이 4,000 kgf 이상 확보됨을 알 수 있었다. 지지편으로 이형철근(D10)을 사용하는 경우는 규격 지지편을 사용하는 경우보다 내력이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

8. 중 심 어

파이프 서포트, 동바리, 붕괴재해, 내력, 멩에, 수평연결재, 진폭, 초기 횡변위

목 차

제 1 장 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구방법 및 범위	2
제 2 장 동바리 붕괴재해 사례분석	5
1. 재해사례 분석 개요	5
2. 재해분석	8
3. 작업분석	16
4. 재해원인	19
3. 재해예방대책	21
제 3 장 파이프 서포트의 내력실험	23
1. 실험개요	23
2. 실험방법	25
3. 실험결과	30

제 4 장 실험 결과 분석	37
1. 길이의 영향	37
2. 수평연결재의 영향	42
3. 멩에의 영향	43
4. 지지편 및 기타의 영향 요인들	45
5. 이론식과의 비교	48
6. 파이프써포트설계	51
제 5 장 결 론	58
참고문헌	63

부 록

- 부 록 A 거푸집 동바리 붕괴재해 사례
- 부 록 B 파이프 서포트 하중-변위도
- 부 록 C 파이프 서포트 내력의 산정식
- 부 록 D 파이프 서포트 검사성적서

표 목 차

<표 2-2(1)> 거푸집 동바리 붕괴재해 개요	8
<표 2-1(2)> 거푸집 동바리 붕괴재해 개요	9
<표 2-1(3)> 거푸집 동바리 붕괴재해 개요	10
<표 2-2> 동바리 붕괴재해의 인적손실	11
<표 2-3> 사망재해 1건에 대한 경제적 피해	12
<표 2-4> 바닥슬라브 두께별 재해현황	13
<표 2-5> 동바리 높이별 재해현황	14
<표 2-6> 동바리 사용 재료별 재해현황	15
<표 2-7> 지지단면 형상별 재해현황	16
<표 2-8> 재해현장의 조립도 작성 및 구조검토현황	17
<표 2-9> 붕괴재해 영향요인	18
<표 2-10> 공사단계별 재해원인과 예방대책	22
<표 3-1> 실험장비의 주요사양	27
<표 3-2> 시편 기호	28
<표 3-3> 실험 시편의 개수	30
<표 3-4> 시편의 검정시험 결과	31
<표 3-5> 파이프 재료시편의 시험결과	31
<표 3-6> 4m 시편의 내력실험 결과	33

<표 3-7> 5m 시편의 내력실험 결과	34
<표 3-8> 5.8m 시편의 내력실험 결과	36
<표 4-1> 삼입길이와 진폭의 관계	42

그 립 목 차

[그림 2-1] 동바리 붕괴재해 사례분석 과정	7
[그림 2-2] 바닥슬라브 두께별 붕괴건수	13
[그림 2-3] 붕괴재해 현장의 동바리	17
[그림 2-4] 붕괴재해 현장의 극단적인사례	19
[그림 2-5] 일반적인 붕괴재해의 흐름	21
[그림 3-1] 실험장치 개념도	25
[그림 3-2] 실험장치 전경	26
[그림 3-3] 평판재하실험전경	26
[그림 3-4] 나이프에지 실험	28
[그림 3-5] 수평연결재의모습	28
[그림 3-6] 명예를 받이판에 부착한 모습	29
[그림 3-7] 4m 시편의 내력 분포	33
[그림 3-8] 5m 시편의 내력분포	34

[그림 3-9]	5.8m 시편의 내력 분포	36
[그림 4-1]	내력-길이 관계(나이프 에지 실험)	38
[그림 4-2]	내력-길이 관계(평판재하실험)	38
[그림 4-3]	4m 시편에 대한 내력비(나이프 에지 실험)	40
[그림 4-4]	4m 시편에 대한 내력비(평판 재하 실험)	41
[그림 4-5]	4m 시편에 대한 내력비(멍에+평판재하 실험)	41
[그림 4-6]	수평연결재와 내력의 관계	43
[그림 4-7]	P 모델에 대한 P-T 모델의 내력비	44
[그림 4-8]	P모델과 P-T 모델의 내력 관계	44
[그림 4-9]	지지편의 파괴 모습 (KS5-P-L1 시편)	46
[그림 4-10]	하중과 초기 횡변위의 관계 (나이프 에지 실험)	50

제 1 장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

가. 연구 배경

동바리로 사용되는 파이프 서포트는 ‘가설기자재 성능검정규격(이하, 검정규격)’이 있어 근원적인 안전성을 확보하고 있으나, 건설현장에서는 기준을 위반한 설치 사용 등으로 붕괴재해가 발생하고 있다. 또한 규격 제품이 아닌 4m이상의 파이프 서포트는 근원적인 안전성 확보를 위한 성능검정규격과 설치기준이 마련되어 있지 않다.

일반적인 건설현장에서 층고가 4m 이상이 되는 경우가 종종 발생하므로, 이러한 경우에는 규격에 준한 설치 및 사용이 지켜지지 않고 있다. 파이프 서포트의 길이가 4m가 넘는 경우는 4m를 초과하는 비규격제품이 사용되거나 V4 규격에 보조지주를 부착하여 사용되며, 비규격 제품이 현장에서 일반적으로 사용된다. 비규격 제품 뿐만아니라, 4m 규격제품에 보조지주를 부착하는 경우에도 내력이 검정규격에 명시되어 있지 않아 안전관리상 큰 문제점으로 지적되고 있다.

파이프 서포트는 가설기자재이므로 단기간 사용되거나 자연에 노출되어 부식등에 의하여 열화되기 쉬우므로, 내력이 사용회수에 따라 감소된다. 또한 현장에서 사용되는 조건에 따라 파이프 서포트의 강도가 달라질 수 있다. 예를 들면, 명예의 상태와 반이판 또는 받침판의 상태, 부재의 역립 사용, 비규격 핀의 사용, 전용회수 등을 들 수 있다. 이러한 종합적인 사안들을 고려하여 파이프 서포트의 허용 내력이 설정되어야 할 것이

다.

현행 검정규격에서 규정하고 있는 파이프 서포트의 강도는 거푸집의 설계시 사용되는 허용 내력값은 아니다. 허용내력을 설정하기 위하여서는 안전율의 설정하여야 하는데, 이는 각 국의 시공 관행과 기술 수준에 따라 설정되어야 하는 값이다. 또한 이러한 안전율은 설계 하중과도 관련이 있으므로 종합적인 판단이 필요하다. 현재, 국내에서는 거푸집 설계를 위한 동바리의 허용내력과 설계하중에 대한 규정이 없는 실정이다.

나. 연구목적

거푸집 붕괴 재해를 방지하기 위하여서는 동바리를 포함한 거푸집의 구조설계 및 검토 수행이 필연적이다. 앞에서 언급한 바와 같이 이 부문에 대한 국내의 기준 및 자료가 미비하므로 본 연구에서는 파이프 서포트에 대한 다음과 같은 기초적인 자료를 작성하고자 하였다.

- (1) 동바리를 사용한 붕괴재해 사례를 분석하여 주요 원인을 찾고자 하였으며
- (2) 4m를 초과하는 파이프 서포트의 내력실험을 통하여, 내력의 분포와 내력에 영향을 미치는 요인을 확인하고자 하였다.

2. 연구방법 및 범위

가. 연구방법

- (1) 기초자료 조사 및 분석

(가) 문헌조사 및 검토

(나) 사례조사 및 분석

(2) 파이프 서포트 내력 실험

(가) 실험과 관련된 기준

- 1) 가설기자재 성능검정 규격 또는 KS규격에 따른 하중 재하방법 사용
- 2) 수평연결재의 사용은 산업안전기준에 관한 규칙을 적용

(나) 현장조건을 반영하기 위한 실험

- 1) 목재 멩에가 파이프 서포트의 받이판에 부착된경우의 내력 실험
- 2) 비규격 지지판 사용에 따른 내력의 변동
- 3) 비정상적인 수평연결재의 사용에 따른 내력의 변동

(다) 내력의 분석

- 1) 내력에 영향을 주는 요인 분석
- 2) 이론식과 실험결과의 비교 검토

나. 연구범위

(1) 동바리 붕괴재해 사례분석

분석대상은 '94에서 '98까지의 한국산업안전공단 중대재해사례 조사보고서를 중심으로 하였음.

(2) 파이프 서포트 내력실험

(가) 파이프 서포트의 길이는 4m, 5m, 5.8m의 3가지 종류로 구분

(나) 파이프 서포트 신폼에 대하여 실험을 수행함.

(다) 사용조건 변화에 따른 강도비를 확인하고자 동일사의 제품을 주요 실험 대상으로 하였음.

제 2 장 동바리 붕괴재해 사례분석

1. 재해사례 분석 개요

가. 목 적

거푸집은 타설된 콘크리트가 구조체로서 충분한 강도가 발현되어 소정의 형상으로 경화되기까지 콘크리트를 지지하고 보호해 주는 가설구조물로서 일시성이 강하며 불완전한 구조가 될 가능성이 높다. 특히 공사비와 공기에 영향이 클 뿐 아니라 작업과정에서 근로자의 안전작업 수행에 걸림돌이 되는 유해위험 요인을 많이 가지고 있다.

동바리 붕괴재해에 대한 사례분석은 기존에 발생된 재해사례를 수집하여 파이프 서포트 등 동바리 구조를 중심으로 공통된 붕괴요인을 규명하여 거푸집 동바리 구조의 개선을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

나. 사례분석 대상

- 동바리 붕괴재해 관련 참고문헌 및 재해조사보고서
- '94년부터 '98년까지의 한국산업안전공단 중대재해사례 조사보고서 중 동바리에 기인한 붕괴사고

다. 분석내용

(1) 일반사항

(가) 연도별 중대재해 및 동바리 붕괴 사고건수

(나) 전체 중대재해사고 조사 건수 중 동바리 붕괴재해 건수의 비중

(다) 사고별 재해자수 등

(2) 붕괴요인 분석 항목

(가) 사전검토

1) 조립도 작성 여부

2) 구조검토 여부

(나) 사용재료

1) 비검정 가설기자재의 사용 정도

2) 사용재료의 불량 여부

3) 이질재료의 혼용 등

(다) 조립상태

1) 수직연결 상태

2) 고정 및 활동방지조치 여부

3) 수평연결재 설치 여부

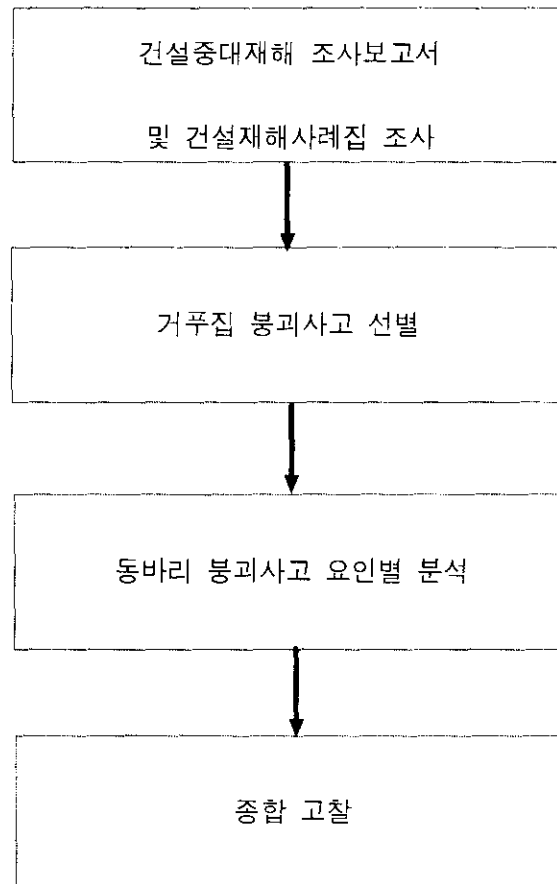
4) 좌굴방지 조치 상태

5) 동바리의 수직도 등

(라) 기타 요인

1) 콘크리트 집중타설

2) 과다적재 등



[그림 2-1] 동바리 붕괴재해 사례분석 과정

2. 재해분석

거꾸집 동바리 붕괴재해사례 조사대상은 한국산업안전공단에서 조사한 국내 건설현장에서 '94년부터 '98년까지 발생한 중대재해 중 2,270건으로 하였다. 전체 재해 건수에서 동바리 붕괴재해는 47건이었으며, 전체 조사재해건수에서 동바리 붕괴재해가 차지하는 비중은 2.1%로 나타났다. 분석대상 재해사례 목록은 <표 2-1>과 같으며, 재해사례별 사고요인 분석표는 <부록>에 첨부하였다.

<표 2-1(1)> 거꾸집 동바리 붕괴재해 개요

연 번	발 생 일	현 장 명	사 망	부 상	재 해 개 요
1	94-02-07	(주)○○식품	1	3	바닥슬라브 콘크리트 타설중 슬라브 붕괴
2	94-02-25	○○회관	1	0	엘리베이터 기계실 바닥 콘크리트 타설중 거꾸집 동바리 붕괴
3	94-03-08	○○ 펌프장 신설	2	8	콘크리트 타설중 거꾸집 동바리 붕괴
4	94-04-29	○○ 기술공장 신축	1	0	슬라브 거꾸집 동바리에 철근 과다적재로 거꾸집 동바리 붕괴
5	94-06-14	(주)○○ 물류창고 신축	1	2	창고 신축현장 슬라브 붕괴 매몰
6	94-10-21	○○농장 신축	1	13	1층 슬라브철근배근과 동바리 수평연결재 설치
7	94-11-01	○○ 신축공사	3	4	콘크리트 타설 작업중, 슬라브가 붕괴
8	94-11-03	○○시설공사	3	4	콘크리트 타설작업중 슬라브 붕괴
9	95-05-04	○○정보통신센타신축	1	5	콘크리트 타설작업중 거꾸집 동바리 붕괴
10	95-06-24	○○혼례식장	1	4	예식장경사지붕 콘크리트 타설중 붕괴
11	95-08-17	○○예술회관	1	0	슬라브 거꾸집 상부 철근 과적재에 의한 동바리 붕괴
12	95-08-22	○○고등학교 실습동 신축	1	0	6.5m 높이의 건물 슬라브 콘크리트 타설 작업중 붕괴

<표 2-1(2)> 거꾸집 동바리 붕괴재해 개요

연 번	발생일	현 장 명	사 망	부 상	재 해 개 요
13	95-09-18	○○회관 신축공사	0	1	3층 바닥 슬라브 콘크리트 타설중 슬라브거꾸집 이 붕괴
14	96-02-15	○○도로 확, 포장	1	0	교량현장 거꾸집 동바리 붕괴로 목공 붕괴 사망
15	96-03-12	○○농수산물시장	0	2	지상 1층 슬라브콘크리트 타설중 붕괴
16	96-04-13	○○신축공사	2	6	배수 펌프실 슬라브 콘크리트 타설중 슬라브 붕 괴
17	96-04-25	○○금산공장	0	3	2층 바닥슬라브 콘크리트 타설중 붕괴
18	96-05-29	○○공장 신축	1	3	공장옥상 슬라브 거꾸집 동바리 조립중 붕괴
19	96-06-05	○○공장신축	1	0	붕괴되는 슬라브에서 뛰어내리다 건축기사 충돌 사망
20	96-09-03	○○호텔사우나 신축	1	0	거꾸집 동바리가 붕괴
21	96-09-04	○○ 신축	1	0	콘크리트 타설작업중 동바리가 붕괴
22	96-09-25	○○-75-2	1	9	슬라브 콘크리트 타설중 붕괴
23	96-10-08	○○상수도 원시시설	1	1	콘크리트 타설 작업중 붕괴
24	96-10-11	○○호텔 증축	1	4	슬라브 콘크리트 타설작업중 동바리 붕괴
25	96-10-22	○○마트21현장	1	2	바닥슬라브 철근 과다적재로 거꾸집 붕괴
26	96-11-15	○○시설신축공사	1	5	콘크리트 타설중 붕괴
27	96-12-27	○○임대아파트	1	4	지하주차장램프부위 콘크리트 타설중 거꾸집 붕괴
28	97-02-24	○○온천 종합상가	1	0	슬라브 콘크리트 타설중 슬라브 붕괴
29	97-04-04	○○아파트신축	1	7	2층 콘크리트 타설중 슬라브보, 기둥의 거꾸집동 바리 붕괴
30	97-05-22	○○농산물공판장	0	9	슬라브 콘크리트 타설중 동바리 붕괴
31	97-08-07	○○처리장 증축	1	3	콘크리트 타설중 거꾸집 동바리 붕괴
32	97-09-12	○○화력발전소	2	0	슬라브 콘크리트 타설중 동바리 붕괴
33	97-10-16	○○도시철도1-7-1공구	1	3	콘크리트 타설중 거꾸집동바리 붕괴

<표 2-1(3)> 거꾸집 동바리 붕괴재해 개요

연 번	발생일	현장명	사 망	부 상	재해개요
34	97-10-30	○○시험시설	1	4	콘크리트 타설중 돌풍으로 인해 동바리 붕괴
35	97-11-07	○○변전소 토건공사	1	7	콘크리트 타설중 동바리 붕괴
36	97-11-19	○○대 2차 건축	2	0	콘크리트 타설중 슬라브 붕괴
37	98-02-03	○○상수도 5단계 송 수시설	5	6	슬라브 콘크리트 타설 후 양생준비중 동바리 붕괴
38	98-02-13	○○그랜드호텔 신축 공사	0	2	지하1층 콘크리트 타설 중 붕괴
39	98-02-22	(주) ○○공장신축	1	2	공장동 옥상바닥 슬라브 타설 도중 붕괴
40	98-05-07	○○목장 부대시설 증축	1	3	퇴비장 슬라브 콘크리트 타설중 동바리 붕괴
41	98-06-25	○○종합문화회관	2	3	문화회관 무대전면 콘크리트 타설중 동바리 붕괴
42	98-07-07	○○연수구청사 신축	1	0	지하주차장 램프부위 콘크리트 타설중 동바리 붕괴
43	98-07-28	○○노인종합복지회 관 신축	0	0	콘크리트 타설중 거꾸집 동바리 붕괴로 피해 없음(천천 히 붕괴)
44	98-08-30	○○고등학교 체육관	1	0	무대지붕 슬라브 콘크리트 타설중 붕괴
45	98-11-09	○○공단폐수종말시 설공사	1	6	콘크리트 타설작업중 슬라브 거꾸집 동바리 붕괴
46	98-12-22	○○문화의 전당신축	2	5	벽체 콘크리트 타설작업중 붕괴
47	98-12-26	○○빌딩	1	0	콘크리트 타설중 슬라브 거꾸집 동바리 붕괴

가. 인적피해

공단에서 조사한 건설 중대재해 2,270건에서 4,754명의 인적손실이 발생하였으며 그중 2,351명의 근로자는 사망하였다. 그러나 재해가 발생하면 재해 당사자인 부상자도 모두가 사망에 이를 수 있는 개연성은 가지고 있다. 건설중대재해 1건에서 발생하는 인적손실은 평균 1.21명의 재해자가 발생하였으나 콘크리트 공사에서 거푸집 붕괴재해로 인한 인적손실은 표 2-2에서 보는 바와 같이 재해 1건당 4.32명의 재해자가 발생하였다.

<표 2-2> 동바리 붕괴재해의 인적 손실

연도	조 사 중 대 재 해				붕 괴 재 해			
	재해 건수	재해자수			재해 건수	재해자수		
		계	사망	부상		계	사망	부상
'94	429	546	452	94	8	47	13	34
'95	396	489	425	64	5	14	4	10
'96	510	632	523	109	14	52	13	39
'97	521	623	545	78	9	43	10	33
'98	414	464	406	58	11	47	13	34
계	2,270	2754	2,351	403	47	203	53	150
비고	재해자수/재해건수							
	1.21				4.32			

나. 경제적 피해

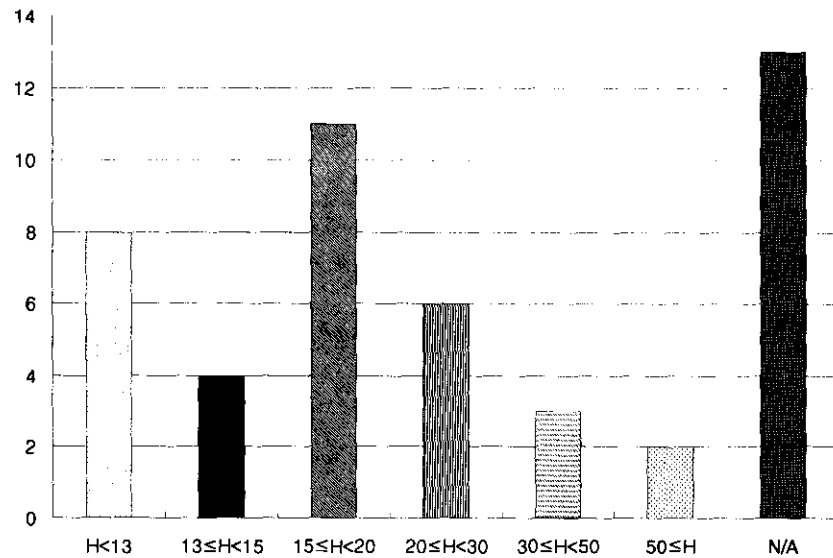
SK 건설에서 96년에 발생한 재해에서 사망재해 1건에서 발생하는 경제적 피해를 산출한 결과는 표 2-3과 같다. 사망재해자 1명 발생으로 인한 직·간접최소한의 손실비용을 약 2억원의 손실비용이 발생한 것으로 보고 있다.

<표 2-3> 사망재해 1건에 대한 경제적 피해

구 분	손 실 내 역	세 부 내 역	금 액(₩)
직접손실비용	유족보상관계비용	산재외 추가합의금	29,916,000
	산재보험료	산재보험료 증감액	55,786,000
	사고수습비용	사고처리 제반 비용	28,283,000
소 계			113,985,000
간접손실비용	공사중단과 작업능률 저하에 따른 손실	공사중단 손실	8,219,000
		공사지연에 따른 추가 임금 부담	23,330,000
		작업효율 저하에 따른 손실	5,034,000
		작업에 따른 공기지연 임금 부담	14,289,000
	P.Q 감점에 의한 손실	입찰경쟁력 악화에 따른 손실	35,350,000
	기 타	회사 이미지와 기업 신뢰도 저하	-
소 계			86,223,000
총 계			200,208,000

다. 콘크리트 타설 바닥 두께

재해현장의 슬라브 두께별 재해현황은 표 2-4와 같이 두께 15cm이상과 30cm이하인 경우가 17건 재해가 발생하여 36.2%를 차지하고 있다



[그림 2-2] 바닥슬라브 두께별 붕괴건수 (단위:m)

<표 2-4> 바닥슬라브 두께별 재해현황

구 분	계	바닥슬라브 두께(cm)					
		t<13	13≤t<15	15≤t<30	30≤tH<50	50≤t	미상
건수	47	8	4	17	3	2	13
구성비	100	17.0	8.5	36.1	6.3	4.2	27.6

라. 동바리 조립 높이

건설현장에서 가장 많이 사용하는 동바리는 파이프 받침 동바리이며, 파이프 받침 동바리는 조립하는 경우 노동부 고시인 가설기자재 성능검정 규격 대상 파이프받침 동바리의 높이는 4m이하이다. 그리고 산업안전기준에 관한 규칙에서는 동바리 2분까지 연결과 보조지주의 사용을 허용하고 있다. 그러나 재해현장의 대부분이 상기 기준을 위반하고 있으며, 재해현장의 높이별 재해현황은 표 2-5에서 보는 바와 같이 높이가 4m를 넘는 경우에 46건 재해가 발생하여 97.87%를 차지하고 있다. 이는 동바리 구조가 파이프 받침과 보조지주, 2분의 파이프 받침, 강관틀 비계와 파이프 받침을 조합한 2단 이상의 정상적 연결구조라기 보다는 연결부의 구조적 취약점과 잘못된 연결 방법, 안전기준의 위반 등으로 재해가 발생하고 있다.

<표 2-5> 동바리 높이별 재해현황

구 분	계	동바리 높이(m)					
		H<4	4≤H<5	5≤H<6	6≤H<7	7≤H<9	9≤H
건수	47	1	3	4	7	17	15
구성비	100	2.1	6.3	8.5	14.8	36.1	31.9

마. 동바리 구조

거푸집 동바리 재료는 일반적으로 합판(널)과 각재(장선과 멍에), 강관받침기둥(동바리)을 주로 사용한다. 붕괴재해발생 현장에서 사용한 동바리는 표 2-6과 같이 단일 재료를 사용한 현장은 10개로 21.3%이었으며, 2가지 이상의 재료를 혼용 사용한 현장이 37개로 78.7%이었다. 또한 동바리는 반복 사용함으로써 노후, 변형 등으로 강도가 저하된 상태로 사용하는 경우도 흔하다..

<표 2-6> 동바리 사용 재료별 재해현황

구 분	사용 재료	건수	구성비
단 품	파이프서포트	7	14.8
	시스템동바리	2	4.2
	단관파이프	1	2.1
	소 계	10	21.2
혼 합	틀비계+파이프서포트 (2단)	1	2.1
	파이프서포트+파이프서포트 (2단)	18	38.2
	파이프서포트+파이프서포트 (3단)	4	8.5
	단관파이프+파이프서포트 (2단)	12	25.5
	각재+파이프서포트 (2단)	1	2.1
	시스템서포트+파이프서포트(2단)	1	2.1
	소 계	37	78.7
총 계		47	100

바. 지지단면 구조

재해현장의 지지단면 구조별 재해현황은 표 2-7에서 보는 바와 같이 경사단면은 2건으로 7.4%, 평면단면은 45건으로 95.7%을 차지하고 있었다.

<표 2-7> 지지단면 형상별 재해현황

구 분	계	지지단면 형상	
		평면	경사
건 수	47	45	2
구성비	100	95.7	7.4

3. 작업분석

가. 계획단계

산안법에서의 유해위험방지 계획의 수립과 조립도 작성 규정의 취지는 구조검토의 선행에 있으며, 구조검토 과정에서 당해 구조물에 적합한 동바리 구조의 사용재료의 선정, 부재의 단면과 배치 간격 등이 검토되어 조립도가 작성된다. 그러나 표 2-8과 같이 재해현장에서는 조립도 미작성 건설현장이 30개로 63.8%, 구조검토가 미흡한 건설현장이 24개로 51.1%를 차지하고 있어 계획단계에서의 문제점이 크게 나타났다. 특히 높이가 6m이상의 거푸집 동바리의 경우에 재해현장 중 97.87% 차지함으로써 6m가 넘는 동바리의 조립도 작성 및 구조검토는 반드시 해야할 것으로 사료된다.

<표 2-8> 재해현장의 조립도 작성 및 구조검토 현황

구 분	계	조립도			구조검토		
		작성	미작성	언급없음	확인	미흡	언급없음
건 수	47	?	30	17	?	24	23
구성비	100	?	63.8	7.4	?	51.0	48.9

나. 재료의 결함

재료사용에 있어서는 단일 재료를 사용한 현장은 21.3%, 2단 이상으로 2가지 이상의 재료를 사용한 현장은 78.7%로 높은 비중을 차지하였다. 또한 재료 측면에서 비검정 가설기자재의 사용으로 인한 붕괴는 21.27%, 사용재료의 불량으로 인한 붕괴는 25.53%, 이질재료의 혼용으로 인한 붕괴는 10.64%를 차지하였다.



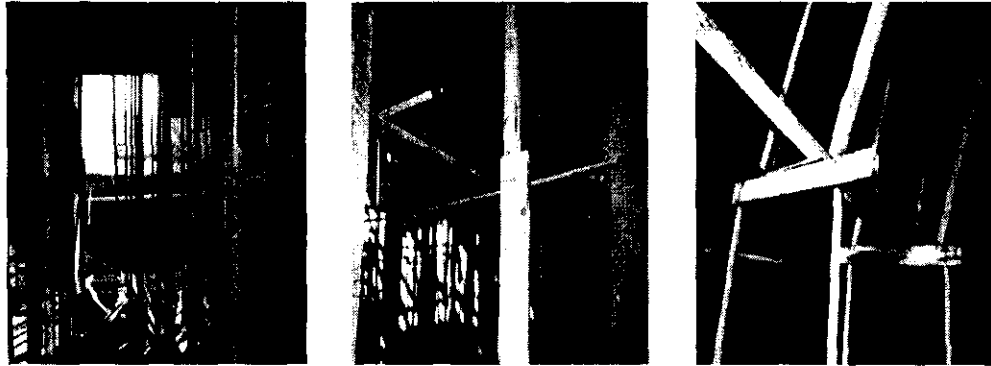
[그림 2-3] 붕괴재해 현장의 동바리

다. 동바리 조립 결함

총 47건의 재해현장 동바리 조립실태에서 붕괴재해 발생에 영향을 미친 것으로 판단되는 주요 재해원인을 요약하면 표 2-9와 같으며, 붕괴 재해 현장의 동바리 설치상태의 극단적 사례는 그림 2-4와 같다.

<표 2-9> 붕괴재해 영향 요인

구 분		재해영향건수	구성비(%)
재료의 선정 및 사용	비검정 가설기자재 사용	10	21.3
	사용재료 불량	12	25.5
	이질재료 혼용	5	10.6
동바리 구조적 결함	동바리 수직 연결 불량	20	42.6
	고정 및 활동방지 조치불량	21	44.7
	수평 연결재 미설치	22	46.8
	수평 연결재 설치 불량	20	42.6
	전도방지 조치 불량	4	9
	좌굴방지 조치 불량	18	38.3
	수직도 불량	9	19.1
	1방향 집중 타설	16	34
콘크리트 타설 및 적재하중	과다적재	8	17



[그림 2-4] 붕괴재해 현장의 극단적 사례

라. 콘크리트 타설

콘크리트의 1방향 집중타설로 인한 붕괴는 34.04% 차지하였다. 거푸집 작업시 자재 과다적재로 인한 붕괴는 17.02% 차지하였다.

4. 재해원인

가. 근원적 재해 원인

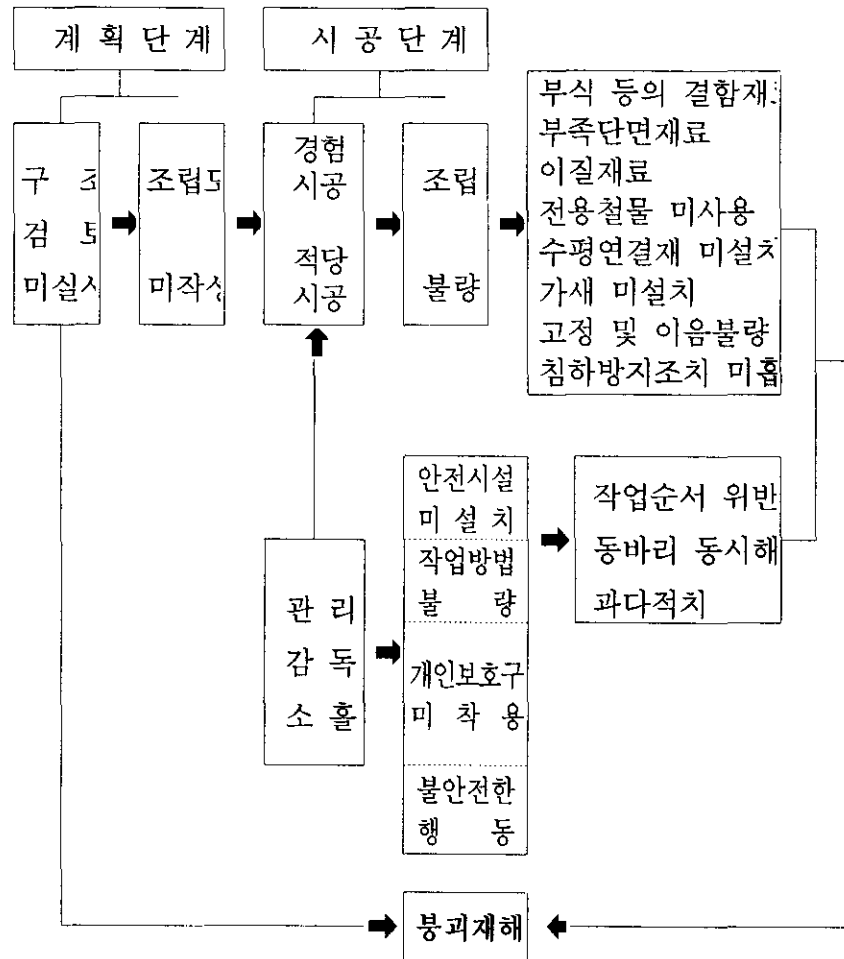
거푸집은 근로자의 안전은 물론 최종 건설생산품의 품질에도 직접적인 영향을 미치므로 안전을 고려한 공사계획을 수립하여야 한다. 따라서, 거푸집의 설계 또한 구조물의 설계와 마찬가지로 확실한 안전성을 확보할 수 있도록 구조계산과 설계기준에 따라 정확하게 이루어져야 한

다.

구조 계산은 공사 착공 이전에 안전성을 확보에 기초가 되고 있으나 계획단계에서의 구조검토에 근거한 조립도의 부실과 미작성은 거푸집 공사에서의 총체적 부실을 잉태하게 됨으로 재해의 근원적 원인이 라 할 수 있다. 이는 재해분석에서 나타난 바와 같이 6m이상의 동바리 구조에서 재해가 97.8% 발생하였으며, 작업분석에서 나타난 바와 같이 구조검토의 부실과 조립도를 작성하지 않은 현장에서 재해 발생율이 높게 나타난 사실이 이를 뒷받침하고 있다.

나. 구체적 재해 원인

동바리 붕괴재해는 어느 한가지 원인에 의해 발생한다고 단언할 수 없으며, 사전 안전성의 수립에 기초가 되는 계획단계에서의 구조검토에 근거한 조립도의 부실과 미작성, 조립 이전 단계에서의 부적절한 재료의 선정과 결합재료의 사용, 조립과정에서의 동바리 설치 지반의 연약함, 연결부재의 결함과 결손, 수직도 불량에 의한 편심 하중의 작용, 콘크리트 타설 작업에서의 타설 순서 위반과 1방향 집중 타설 등 붕괴재해는 다양한 원인들이 복합적 작용으로 재해가 발생한다고 할 수 있으며, 이를 도식화하면 그림 2-5와 같다.



[그림 2-5] 일반적 붕괴재해의 흐름

5. 재해예방대책

재해분석에서 도출된 붕괴재해의 원인은 매우 다양하며 이러한 개개의 원인들이 복합적 작용으로 붕괴재해는 발생한다. 결국 붕괴재해는 계

획단계, 조립단계, 콘크리트 타설작업 등에서의 총체적 부실이 재해를 발생시키고 있다. 결국 이러한 재해원인들은 대부분 산업안전에 관한 기준 규칙의 위반과 불안전한 작업방법 등에 기인함을 알 수 있다.

따라서, 재해원인을 작업 단계로 구분하여 재해원인에 따른 예방대책의 주요내용을 정리하면 표 2-10과 같고, 유사 사고의 방지를 위해서는 우선 산업안전기준에 관한 규칙의 준수가 선행하여야 하며, 특히 각 작업단계에서의 안전작업을 위한 세부내용은 다음과 같다.

<표 2-10> 공사 단계별 재해원인과 예방대책

구분	재 해 원 인	예 방 대 책
계획	조립도 미작성	구조검토에 의한 조립도 작성
시공	불량재료 사용	성능검정 규격품 사용 재사용 기준 준수
	이질재료 사용	혼용사용 금지
	침하방지 조치 불량	다짐철저, 깔판 깔목 사용
	고정 불량	못 등으로 고정
	동바리 연결 불량	전용철물 또는 4개 이상의 볼트로 연결
	동바리 설치 불량	수직도 유지
	수평연결재 미설치 및 설치 불량	2개 방향 수평연결재 설치 철근, 각재 사용금지
	가새 미설치	테두리 주변은 반드시 설치
작업	콘크리트 타설방법 불량	집중타설 금지
		타설순서 준수
		상·하 동시작업 금지
		출입제한 악천후시 작업금지

제 3 장 파이프 서포트의 내력실험

1. 실험개요

가. 기존의 관련 연구

국내의 경우, 파이프 서포트의 내력에 대한 규격시험은 여러 공인기관에서 수행되고 있으나 내력의 성능에 대한 연구는 그다지 활성화 되어 있지 않다.

1997년 한국건설가설협회 기술실에서는 4m와 4.5m, 5.8 m의 경우에 대하여 파이프 서포트에 대하여 내력실험을 수행하였다. 총 시험편수 16개이며, 모든 시험체의 내력은 평판과 나이프에지 시험에 대하여 측정하였다. 단품의 경우에 2개 시편의 내력을 측정하였다. 서포트 길이가 5.8m 조립품의 경우에 대하여 고정식과 삼입식과 겸용식 보조 지주의 3가지 종류를 사용할 때의 내력을 측정하였다. 또한 5.8m의 경우 수평연결재를 사용한 경우, 단품과 조립품 각 1개에 대한 내력을 측정하였다.

1998년 가설기자재 시험연구소에서는 24개의 시편에 대하여 6m 파이프 서포트의 내력 측정 실험을 수행하였다. 3개사의 제품을 사용하였으며, 단품과 보조지주를 연결한 조립품에 대하여 각 3개의 내력을 측정하였다. 앞의 연구와 마찬가지로 평판재하와 나이프 에지 사용시의 내력을 측정하였다. 이 연구에서는 수치해석 프로그램을 이용하여 실험결과를 비교 분석하였다.

파이프 서포트는 외관과 내관이 지지편에 의하여 연결되고 상하부에 받이판과 바닥판을 용접하게 되므로 파이프 서포트 내력의 변동요인이 된다. 또한 파이프 서포트의

전용회수와 관리상태에 따라 내력은 상당히 변화된다. 이렇게 다양한 변동요인을 지니고 있는 파이프 서포트의 내력을 실험으로 규명하기 위하여서는 매우 포괄적이고 방대한 실험이 요구 된다. 아직까지 국내 기존의 연구에서는 실험 시편의 수가 절대적으로 부족함으로 서포트의 내력 평가에 대하여 신뢰성있는 결과가 도출되지 않은 상태이다.

나. 실험 개요

본 실험의 주요 목적은 강관 파이프 서포트의 내력 특성에 초점을 두고 있다. 기존의 연구가 파이프 서포트 단품과 조립품에 대한 내력을 비교한 것에 비하여, 본 연구에서는 내력에 영향을 미치는 주요 변수를 확인하고자 하였다. 따라서 동일사 제품을 주로 하여 파이프 서포트의 길이 및 명에를 받이판에 부착한 경우, 수평연결재의 상황 등에 따른 내력의 변화를 고찰하고자 하였다.

(1) 실험의 목적

본 실험에서는 두가지 목적이 있다. 첫째, 파이프 서포트 길이의 변화에 따른 부재의 내력의 변동을 살펴보고자 하였다. 즉, 부재의 길이는 서포트의 내력에 직접적인 영향을 주는 요인이므로 이를 관계를 파악하고자 하였다. 둘째, 파이프 서포트에 횡방향의 변형을 방지하기 위하여 부착되는 수평연결재와 받이판의 상부에 위치하는 명에가 내력에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

(2) 실험의 범위

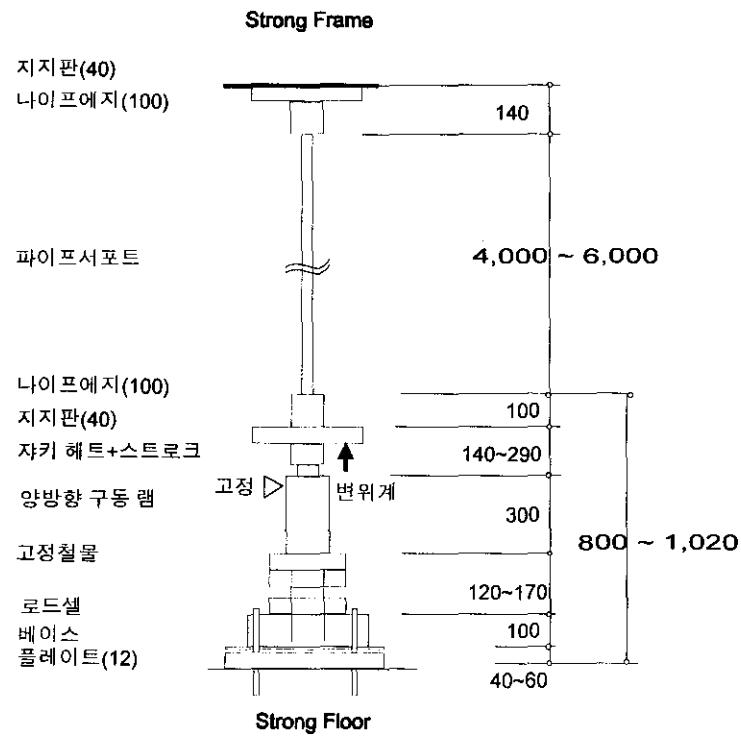
파이프 서포트의 내력을 확인하기 위하여 실험을 수행하였으며 실험의 범위는 다음과 같다.

- 동일단면의 파이프 서포트를 사용한다.

- 사용제품은 신품의 경우에만 국한한다.
- 파이트 서포트의 길이는 4, 5, 5.8m를 대상으로 한다.

2. 실험방법

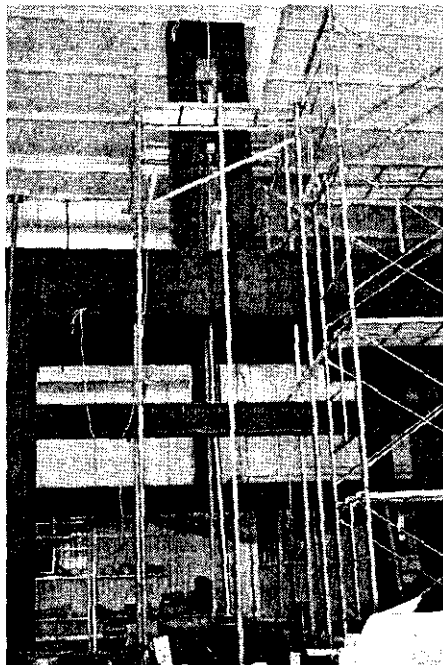
가. 실험방법



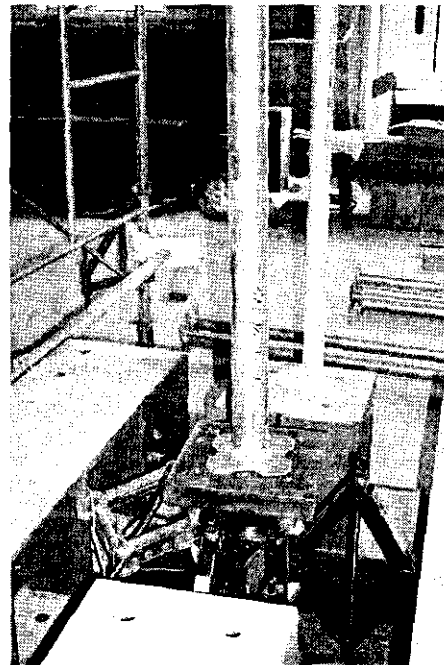
[그림 3-1] 실험장치 개념도

수직 높이 7m 반력 프레임을 설치한후 [그림3-1] [그림 3-2참조]과 같이 하부에 유압 구동 양방향 구동 램(Ram)과 로드셀(Load Cell)을 설치(그림 3-3참조)하였다.

하중 가력시 양방향 구동 램의 좌우 이동을 방지하기 위하여 4방에 스크류 자키를 이용하여 구동 램의 상부를 고정시켰다. 하부 지지판 밑에 2개의 변위계를 설치하여 변위이력을 측정하였다. 본 실험에서 사용한 장비의 사양은 <표3-1>과 같다.



[그림 3-2] 실험장치 전경



[그림 3-3] 평판재하실험전경

<표 3-1> 실험장비의 주요사양

장 비 명	주 요 사 양
데이터 로거	측정속도 : 20채널/sec
로드 셀	용량 : 압축인장 50 tonf 정격출력 : 1.994 mV/V 비직선성 : 0.15% F.S.
변위계	용량 : 100 mm 정격출력 : 5.0 mV/V 비직선성 : 0.20% F.S.

나. 시편의 종류

(1) 시편의 기호

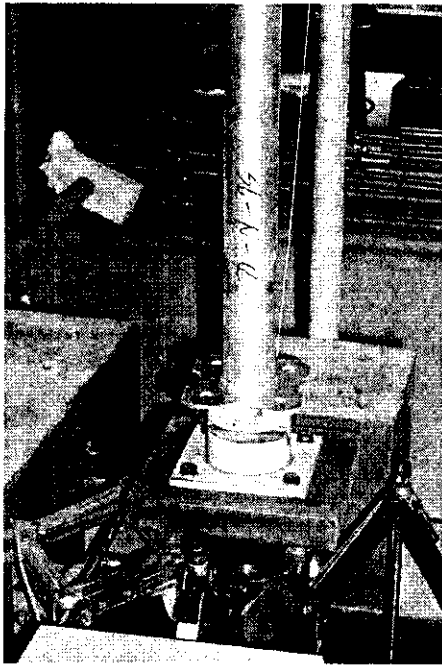
본 시험에 사용된 시편 기호를 <표3-2>와 같은 각열의 조합으로 구성되었다. 첫 번째 열은 제조사를 표기하고 두 번째 열은 시편의 종류를 표기한 것으로 V는 단품이고 S는 보조지주를 V4에 연결한 조립품이다. 세 번째 열은 시편의 길이를 나타내며 4는 4m, 5는 5m, 6은5.8m의 길이를 나타낸다.

그 다음 열에서 검정규격 시험방법에 따른 하중의 재하방법인 나이프 에지 시험(그림 3-4참조)은 N으로 평판재하 시험(그림 3-3 참조)은 P로 구분하였다.

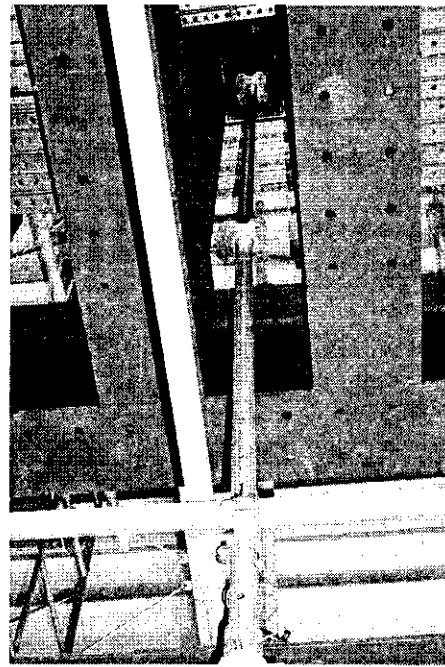
마지막 열에 부재를 역립한 경우는 R, 규격편이 아닌 D10 철근을 사용한 경우는 B, 수평연결재를 부착한 경우(그림 3-5 참조)는 L, 멩에를 받이판에 부착한 경우는 T(그림 3-6 참조)로 표기하였다.

<표 3-2> 시편 기호

K	V	4		N		R
H	S	5	-	P	-	B
S		6				L
						T
제조회사	시편종류	길이		재하방법		조건

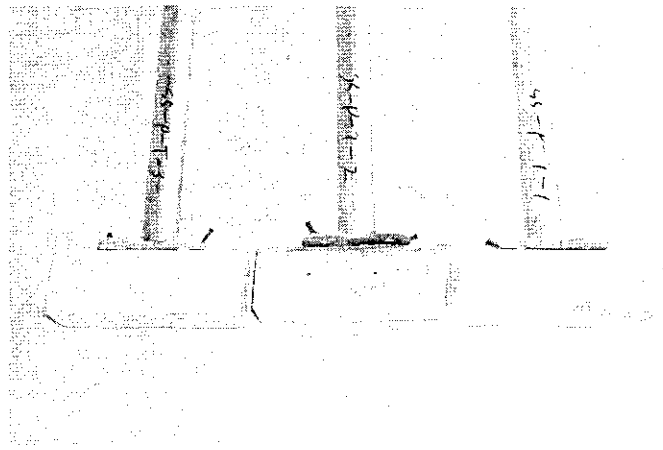


[그림 3-4] 나이프에지 실험



[그림 3-5] 수평연결재의모습

4m 시편의 경우 L 모델은 3개 모두 2m 높이 지점에 수평연결재로 단관 파이프를 직교형 클램프로 연결하였으나, 5m 이상의 시편에서는 수평연결재의 조건을 다음의 3가지로 구분하여 실험을 수행하였다. 첫 번째 L1은 강관을 직교형 클램프로 2 곳을 연결한 경우이고, 두 번째 L2는 강관을 직교형 클램프로 1 곳을 연결한 경우이고, 세 번째 L3는 철선(직경 5mm)으로 1 곳을 고정한 경우이다. 5m 시편(KV5와 KS5)의 경우 수평연결된 위치는 하부로부터 2m와 3.8m 지점이고, 5.8m 시편(KV6와 KS6)의 경우는 하부로부터 2m와 4m 지점으로 하였다.



[그림 3-6] 멩에를 받이판에 부착한 모습

(2) 시편의 개수

앞의 기호를 사용하여 조합된 시편의 개수는 <표 3-3>에서와 같이 총 142개이다. 다음 제3장 3절에서 나타나는 실험결과에도 각 시편의 개수가 표시되어 있으며 자세한

시편의 데이터는 부록 B에 정리하였다.

<표 3-3> 실험 시편의 개수

시편기호	나이프에지	평 압					비 고
		P	P-R	P-B	P-T	P-L	
KV4	5	4	1	1	3	8	단품 4m
SV4	5	10	0	0	10	0	단품 4m
KV5	5	5	1	1	5	3	단품 5m
HV5	5	5	0	0	5	0	단품 5m
KS5	5	5	1	1	5	3	V4+보조지주, 5m
KV6	5	5	1	1	5	3	단품 5.8m
KS6	5	5	1	1	5	3	V4+보조지주, 5.8m
합 계	35	39	5	5	38	20	총 142 시편

3. 실험결과

가. 치수검정결과

각 파이프 서포트에 대하여 검정 규격에 따른 검사를 실시하고 그 결과를 부록B에 정리하였다. <표 3-4>은 각 시편 종류별에 대한 평균값을 정리한 것으로 검정 규격에서 정의하는 단면의 크기를 만족시키고 있다. 표에서 파이프 서포트의 길이는 변화하나 단면의 크기가 거의 일정함을 알 수 있다.

<표 3-4> 시편의 검정시험 결과

단위(mm)

시편기호		KV4	KV5	KV6	SV4	HV5	보조 지주
총 길이		3995	5000	5800	4000	4936	1795
외 관	길이	1697	2197	2198	1703	2202	
	직경	60.4	60.4	60.3	60.4	60.7	
	두께	2.15	2.20	2.15	2.36	2.4	
내 관	직경	48.5	48.5	48.4	48.6	48.6	48.5
	두께	2.33	2.30	2.36	2.38	2.46	2.36
받이판 두께		5.61	5.53	5.56	5.77	5.47	5.46

나. 강관의 재료시험

강관 파이프 서포트에서 채취한 강관의 재료 시편에 대한 시험 결과는 <표 3-5>와 같이 검정규격을 만족시키고 있다.

<표 3-5> 파이프 재료시편의 시험결과

	검 정 규 격	항복강도 실 험 치	시 편 개 수
내관 파이프	재질 SPS 500 $F_y = 3550 \text{ kg/cm}^2$	4674 kg/cm^2	5
외관 파이프	재질 SPS 400 $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$	4216 kg/cm^2	4

다. 4m 시편의 실험결과

4m 길이에 해당되는 시편의 내력 실험 결과는 <표3-6>에 정리하였으며, 하중과 변위 곡선은 부록 C에 정리하였다.

<표3-6>에 따르면 평판재하 시험의 경우 수평연결재를 부착한 경우를 제외한 모든 시편의 강도는 검정규격에서 요구하는 최소값 3600 kgf에 미치지 못하였다. 또한 나이프 에지의 실험값은 검정규격의 요구강도에 비하여 KV4의 경우는 89.5%를 SV4는 93.1%로 나타났다.

수평부재를 연결한 경우(KV4-P-L)의 강도는 3,600 kgf를 이상으로 나타났으며, 받이판에 동바리를 부착한 경우(KV4-P-TL)도 마찬가지로 나타났다. 본 연구에서 파이프 서포트를 직교형 클램프로 연결한 경우에는 파이프 서포트에 작용하는 축력이 강판 비계에 축력이 전달되지 않도록 클램프를 느슨하게 체결하였다.

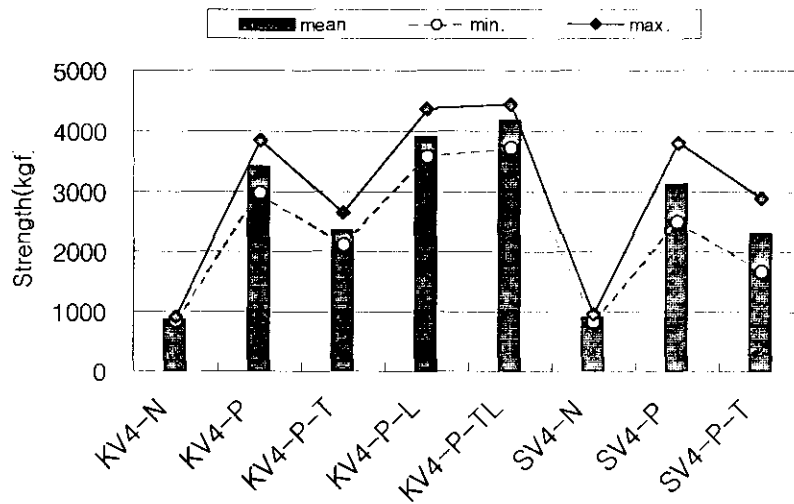
4m 시편의 내력의 분포를 고찰하고자 [그림 3-7]과 같이 평균값과 최대값, 최소값을 표시하였다. 나이프 에지 실험의 경우는 편차가 작으나, 평판 재하 실험의 경우는 편차가 심하게 나타남을 볼 수 있다.

라. 5m 시편의 실험결과

<표 3-7>에서 나이프 에지 시험의 내력은 검정규격의 제한치인 522 kgf보다 약간 크게 나타났다. 평압시험인 경우의 내력은 약 1,500 kgf를 상회하는 것으로 나타나고 있다. <표3-7>에서 동일사이고 동일 길의 KV5-P와 KS5-P의 내력을 비교하면 진폭이 증가할수록 내력이 감소함을 알 수 있다. 받이판에 멩에를 부착한 시편의 내력은 동일 조건에서 멩에를 부착하지 않은 경우보다 내력이 저감됨을 볼 수 있다.

<표 3-6> 4m 시편의 내력실험 결과

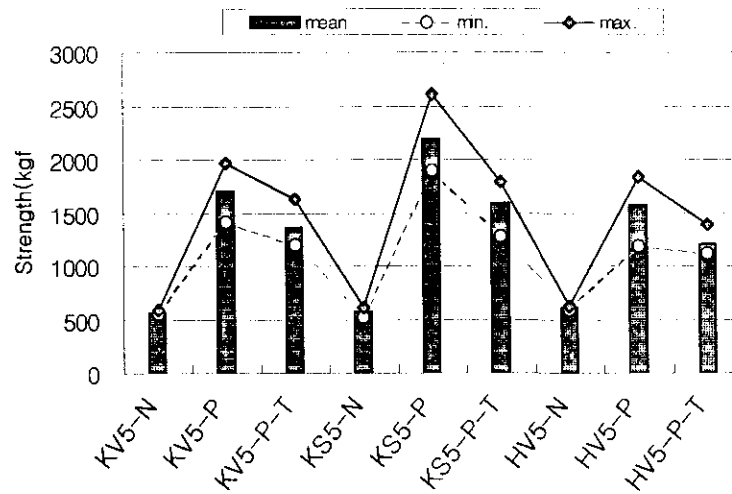
시험체번호	삽입길이(mm)	진 폭(mm)	평균강도(kgf)	시편개수
KV4- (4m)	N	281	878	5
	P	281	3405	4
	P-R	284	3150	1
	P-B	279	2150	1
	P-T	280	2341	3
	P-L	282	3918	3
	P-L-R	283	3744	1
	P-L-B	283	2289	1
	P-TL	283	4179	3
SV4- (4m)	N	284	912	5
	P	285	3134	10
	P-T	287	2300	10



[그림 3-7] 4m 시편의 내력 분포

<표 3-7> 5m 시편의 내력실험 결과

시험체번호	삽입길이(mm)	진 폭(mm)	평균강도(tonf)	시편개수
KV5-(5m)	N	279	112	560
	P	278	122	1709
	P-R	271	125	1505
	P-B	283	110	1828
	P-T	282	112	1363
	P-L1	275	118	4478
	P-L2	279	117	4415
	P-L3	274	121	4154
HV5-(5m)	N	254	82	606
	P	253	103	1580
	P-T	253	99	1206
KS5-(5m)	N	1072	56	569
	P	1070	68	2194
	P-R	1065	64	1.89
	P-B	1068	65	2.61
	P-T	1069	55	1602
	P-L1	1073	67	4589
	P-L2	1071	52	3495
	P-L3	1064	70	3893



[그림 3-8] 5m 시편의 내력분포

5m 시편의 경우 '산업안전기준에 관한 규칙'에 따라 수평연결재를 2곳에 설치한 시편(L1 모델)의 내력은 검정규격의 소요 내력 3,600 kgf을 확보하는 것으로 나타났다. 그러나 수평연결재를 1곳에 설치한 시편 중 KS-P-L2 내력은 3,600 kgf 이하로 나타났다.

[그림 3-8]과 같이 나이프 에지 실험에서는 내력의 편차 분포가 작으나, 평판재하 실험에서는 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 4m 시편의 경우와 동일하다.

마. 5.8m 시편의 실험결과

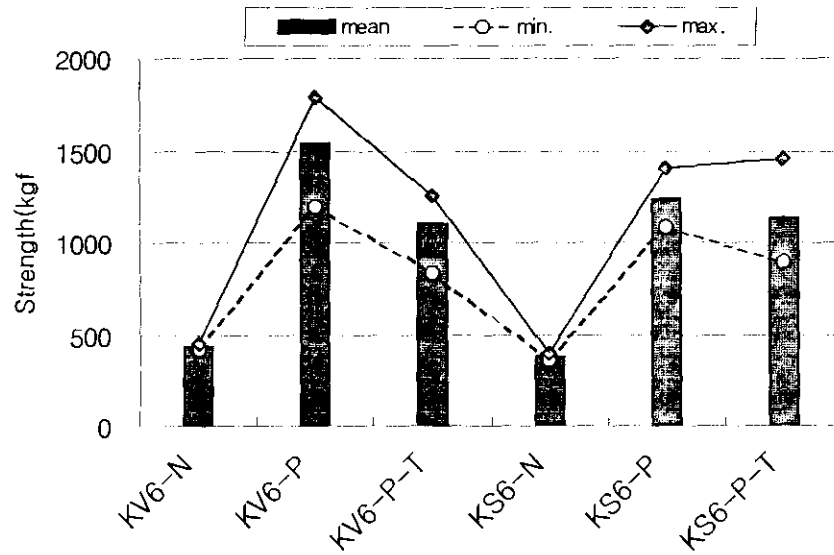
5.8m의 경우도 5m 실험의 결과와 거의 유사하게 나타났다. 내력은 4m 시편에 비하여 약 50%이하의 값의 분포를 보여 주고 있다.

<표3-8>에서 수평연결재를 '산업안전기준에 관한 규칙'에 따라 2곳에 설치한 시편의 내력은 모두 4,000 kgf를 초과하였으며, 1곳에 설치한 경우의 내력은 3,600kgf 이하로 나타났다.

또한 파이프 서포트의 길이가 동일한 경우에 진폭이 증가할수록 내력이 감소함을 볼 수 있으며 이는 앞의 4m와 5m의 결과와 같다. [그림 3-10]에 내력의 분포를 나타내었고, 앞의 결과들과 마찬가지로 평판재하 시험의 경우에 편차가 더 크게 나타나고 있다. 즉, 평판재하 실험에서는 서포트의 양단부의 받이판 또는 바닥판이 회전에 대하여 구속을 하는데 이러한 구속력이 일정하지 않기 때문이다.

<표 3-8> 5.8m 시편의 내력실험 결과

시험체번호		삽입길이(mm)	진 폭(mm)	평균내력(tonf)	시편개수
KV6- (5.8m)	N	476	134	433	5
	P	482	94	1545	5
	P-R	300	115	1679	1
	P-B	300	108	1430	1
	P-T	475	80	1102	5
	P-L1	480	88	4714	1
	P-L2	476	104	3271	1
	P-L3	469	105	3109	1
KS6- (5.8m)	N	279	190	383	5
	P	281	165	1239	5
	P-R	282	172	1368	1
	P-B	281	222	1505	1
	P-T	282	165	1132	5
	P-L1	282	167	4602	1
	P-L2	281	160	2214	1
	P-L3	281	160	2251	1



[그림 3-9] 5.8m 시편의 내력 분포

제 4 장 실험 결과 분석

1. 길이의 영향

가. 나이프 에지 시험시의 좌굴하중

상하 양단이 힌지(hinge)로 간주되는 나이프 에지 시험의 좌굴은 부록 D에 나타난 것과 같이 sin 곡선으로 가정할 수 있으며, 이러한 가정은 실험에서도 관찰될 수 있다. 이러한 가정에 따라 에너지 법을 이용하여 좌굴 하중을 구하면 다음의 식과 같이 된다.

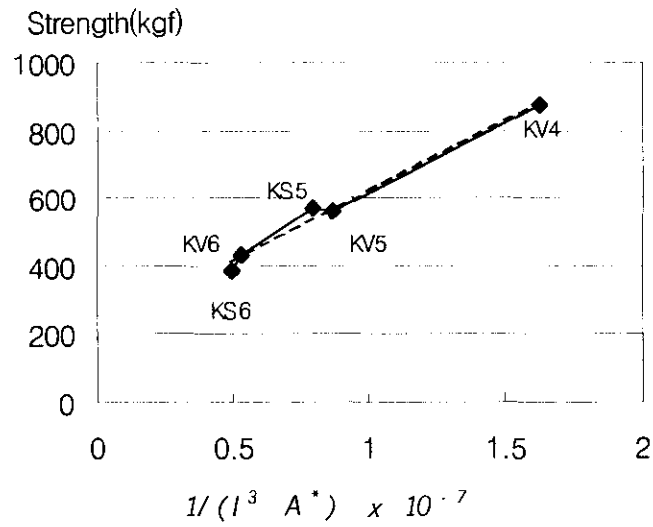
$$P_{cr} = \frac{EI_2 \pi^2}{l^2} \frac{1}{A^*} \quad (4.1)$$

$$A^* = \frac{l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \frac{l_1}{l} + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \sin \frac{2\pi l_2}{l} \quad (4.2)$$

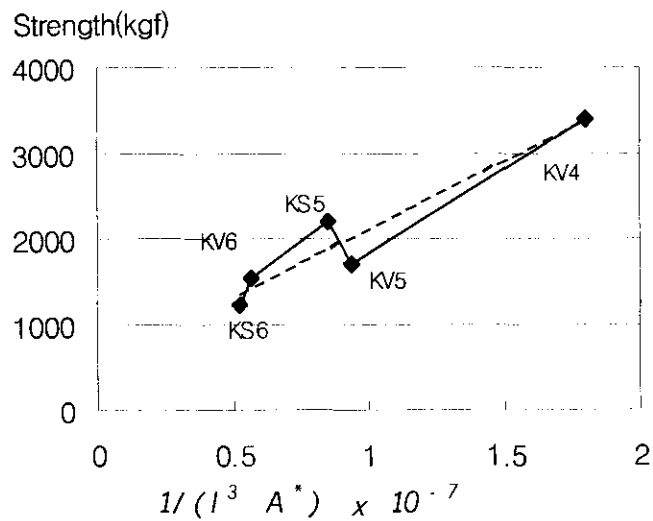
단, l_1 과 l_2 는 외관과 내관의 길이이고 I_1 과 I_2 는 외관과 내관의 단면 이차모멘트이다. 위의 식은 Euler의 좌굴하중식과 동일한 형태를 지니고 있다. 상수 A^* 는 파이프의 단면의 대표값으로 I_2 를 사용할 때 내관과 외관의 단면과 길이의 영향을 반영하는 의미를 지니고 있다.

나. 초기 횡변위의 영향

앞의 제3장 3절의 실험결과에서 내력은 진폭에 반비례함을 보았다. 이 진폭은 파이프



[그림 4-1] 내력-길이 관계(나이프 에지 실험)



[그림 4-2] 내력-길이 관계(평판재하 실험)

중앙부의 초기 횡변위에 비례한다. (4-1)식에 의하여 계산된 좌굴하중은 초기 횡변위가 없는 경우의 내력이므로 실험에서 측정된 내력보다 크게 나타난다. 파이프 서포트는 지지편에 의하여 내관과 외관이 연결되므로 초기 변형이 필연적으로 발생한다.

이 초기변형은 파이프 서포트의 진폭과 비례적인 관계가 있으나, 파이프 서포트를 수평으로 설치하고 측정된 진폭의 값과는 다르다. 즉, 진폭은 인위적으로 횡방향으로 이동시키면서 측정된 값이며, 초기 변형은 수직으로 설치되었을 때 나타나는 편심이다.

이 초기 변형에 축하중이 가하여지면 모멘트가 서포트에 발생하고 또 발생한 모멘트에 의하여 횡변위는 더욱 증가하게 되어 더 큰 모멘트가 발생하게 되므로 초기 횡변위의 증가는 내력을 감소를 초래 한다. 따라서 서포트의 내력이 초기 횡변위에 반비례한다고 가정할 수 있다. 또한 진폭은 실험결과에서 보듯이 부재의 길이에 비례하므로 초기 횡변위의 크기는 서포트의 길이에 비례한다고 가정할 수 있다.

앞의 (4-1)식과 위의 가정에 따르면 서포트의 내력 P는

$$P \propto \frac{1}{l^3 A^*} \quad (4-3)$$

이라고 할 수 있다. 즉 서포트의 내력은 길이의 세제곱에 반비례한다고 가정할 수 있다. 이러한 가정을 확인하기 위하여, 나이프 에지 실험(N 모델)과 평판 재하 실험(P 모델)의 경우에 대하여 [그림 4-1]과[그림 4-2]와 같이 내력과 (4-3)식의 우변과의 관계를 도식하였다.

[그림 4-1]과 [그림 4-2]의 경우 모두 내력은 길이의 3제곱에 반비례함을 볼 수 있다. 따라서 앞에서 가정한 내력은 초기 횡변위에 반비례하며 이 횡변위는 길이와 비례함이 적합하다고 볼 수 있다. 그러나 나이프 에지 실험에서는 선형적 관계식에 편차가 작으나, 평판재하 실험에서는 편차가 큼을 알 수 있다. 이러한 편차의 요인은 다분히 파이프 서

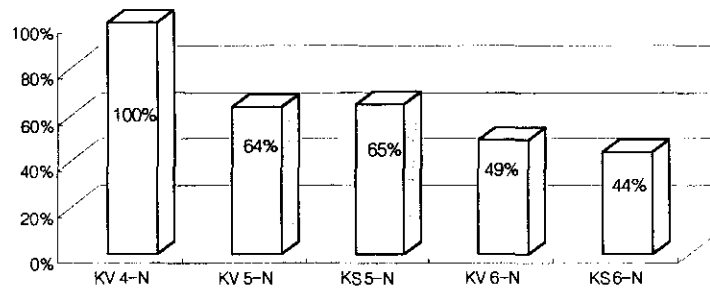
포트의 상하부의 받이판과 바닥판의 영향이라고 할 수 있다.

다. 길이의 변화에 따른 내력비

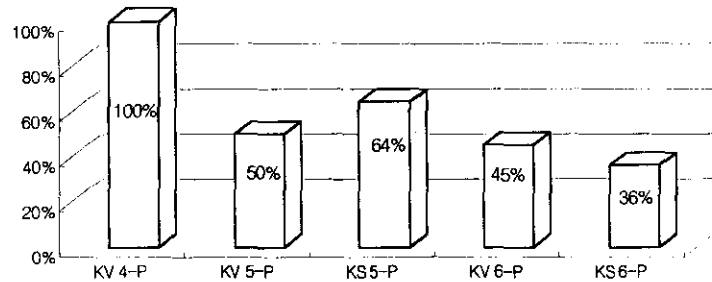
부재의 상대 내력 비율을 [그림 4-3]에서 [그림 4-5]에 나타내었다. [그림 4-3]은 나이프 에지 실험시, 4m 서포트에 대한 내력의 비율로서 길이가 4m에서 5m와 5.8m로 증가함에 따라 내력이 50% 이하 까지 점진적으로 감소함을 볼 수 있다.

[그림 4-4]는 평판재하시의 경우이고 [그림 4-5]는 멩에를 받이판에 부착하여 평판재하 실험시의 한 경우이다. 모든 그림에서 길이의 증가에 따라 내력이 감소 추세를 보이거나 감소비율은 실험별로 일정하지 않음을 알 수 있다.

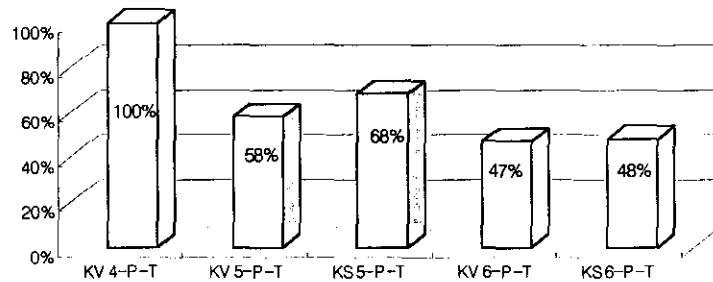
현장의 조건과 가장 유사한 멩에를 부착한 경우(그림 4-5참조)를 기준으로 하여 보면 5m 의 경우는 63%로 5.8m의 경우는 47%의 내력비를 보이고 있다. 서포트의 길이가 5.8m가 되면 내력이 V4(4m)의 절반 이하로 감소되므로 내력에 문제가 있다고 판단된다.



[그림 4-3] 4m 시편에 대한 내력비(나이프 에지 실험)



[그림 4-4] 4m 시편에 대한 내력비(평판 재하 실험)



[그림 4-5] 4m 시편에 대한 내력비(명에 + 평판재하 실험)

라. 삼입길이 또는 진폭의 영향

각 시편의 측정된 삼입길이와 진폭은 <표3-3>과 같다. KS5의 경우를 제외하고는 진폭이 기준치인 $L/55$ 보다 크게 나타났다. 길이가 5m로 동일한 KV5와 KV5의 값을 비교하면 삼입길이가 길수록 진폭이 작아진다. KV6와 KS6를 비교하면 동일길이에서 KV6의 값이 더 크게 나타나는데 이는 보조지주와 V4 서포트 연결부위에서 변형이 발생하기 때문이다.

제 3장 3절의 실험결과에서 보듯이 동일 길이의 서포트에서 진폭이 클 경우의 내력이 상대적으로 작음을 관찰하였다. 따라서 진폭의 증가는 초기 횡변위의 증가를 초래하고 이로 말미암아 부재의 내력을 감소시키므로 초기 횡변위를 억제하기 위하여서는 충분한 삽입길이가 요구된다.

<표 4-1> 삽입길이와 진폭의 관계

단위(mm)

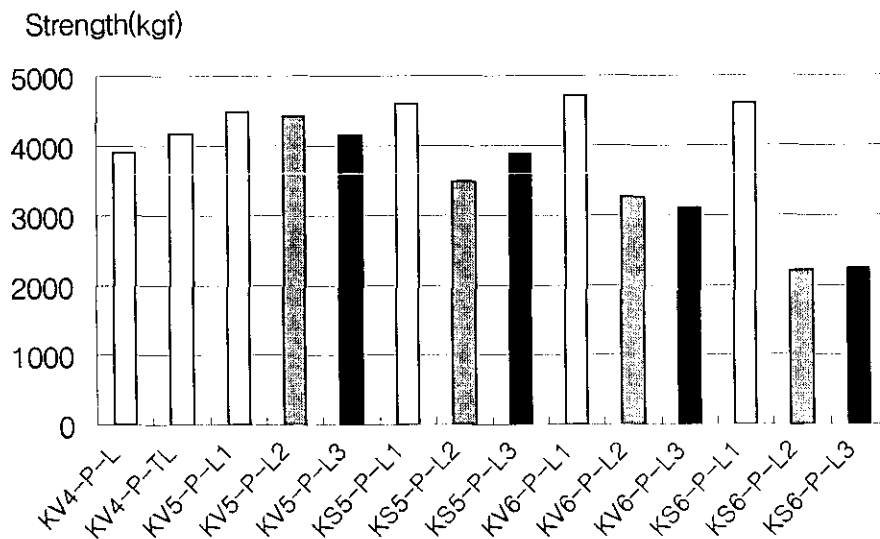
모 델 명	삽입길이	진 폭		비 고
		검정규격(L/55)	측 정 치	
KV4	281.1	72.7	91.8	21 시편의 평균값
KV5	276	90.9	105.3	20 시편의 평균값
KS5	1069.3	90.9	63	20 시편의 평균값
KV6	500.5	105.5	102.5	20 시편의 평균값
KS6	301.3	105.5	162.3	15 시편의 평균값

2. 수평연결재의 영향

기준이 되는 4m 시편에서는 하부로부터 2m 높이 지점에 수평연결재를 설치하여 명에 가 있는 경우(KV4-P-TL)와 없는 경우(KV4-P-L)에 대한 평판재하 실험을 하였다. [그림 4-6]에서 보듯이 이 경우 모두 3600 kgf를 초과하고 있으므로 수평연결재가 설치되는 경우에는 명에의 사용유무에 관계없이 파이프 서포트가 충분한 내력을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 5m 이상의 부재에서는 앞의 제3장 2절의 설명에서와 같이 3가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. ‘산업안전기준에 관한 규칙’에 따라 2개소에 수평연결재를 설

치한 L1 모델은 모두 4000 kgf를 초과하는 것으로 나타났다.

수평연결재를 중앙부 1개소에 설치한 경우(L2 모델)의 내력은 5m의 경우에 3500kgf를 상회하나 5.8 m의 경우는 내력이 크게 감소함을 볼 수 있다. 수평연결재를 대신하여 철사를 사용한 경우(L3의 모델)은 L2의 모델과 비슷한 내력을 보이고 있는데, 이는 실험시 철선을 반력 골조에 연결하였기 때문이다. 만약 현장에서 철선만으로 사용하여 파이프 서포트를 수평연결하여 사용한다면 '산업안전기준에 관한 규칙'에 따라 수평연결재를 사용하는 경우보다 내력이 현저하게 저하하게 될 것이다.

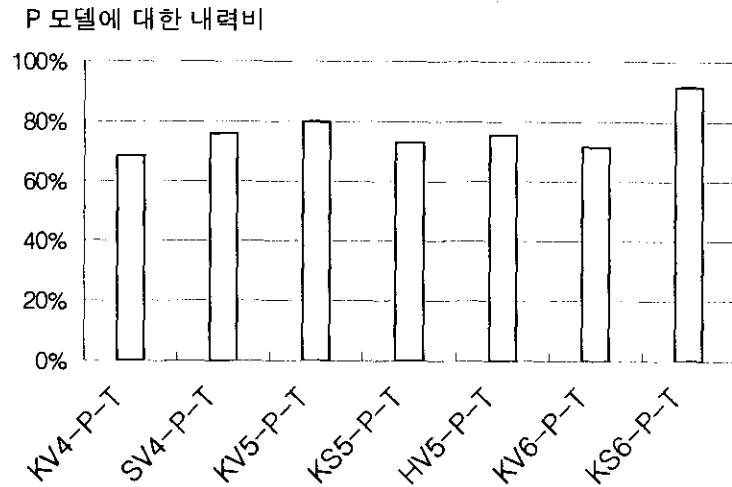


[그림 4-6] 수평연결재와 내력의 관계

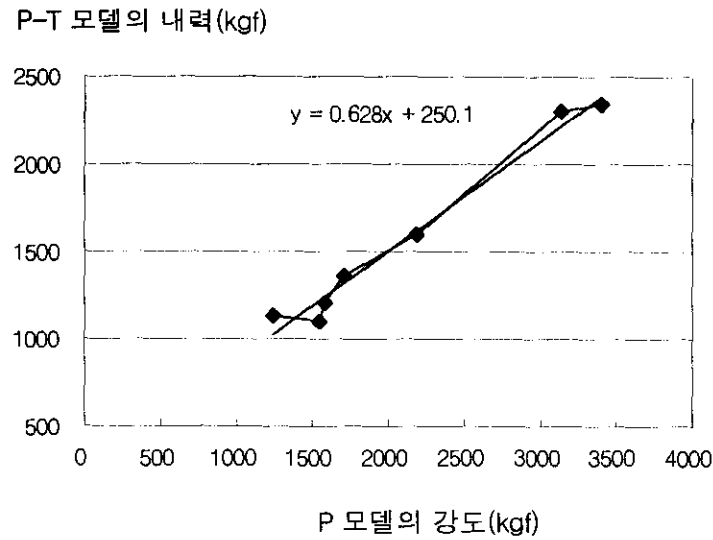
3. 멍에의 영향

평판재하 시편(P모델)에 대한 멍에를 부착한 시편(P-T 모델)의 내력 비율을 [그림 4-7]에 도시하였다. 내력 비율의 평균값은 76.5 %로 나타난다. 이와 같이 멍에를 받이판에 부착한 경우의 내력이 감소되는 원인은 목재 멍에의 사용으로 부재의 유효길이의 증가

및 단부 지지조건이 고정보다는 힌지의 상태에 가까워졌기 때문이라고 판단된다. [그림 4-7]의 경우 내력의 감소비율은 서포트 길이와는 일정한 연관이 없음을 보여주고 있다.



[그림 4-7] P 모델에 대한 P-T 모델의 내력비



[그림 4-8] P모델과 P-T 모델의 내력 관계

[그림 4-8]에서는 멩에를 서포트에 부착한 시편(P-T 모델)과 멩에를 부착하지 않고 평판재하 시편(P 모델)의 내력의 값을 2차원에 도시한 것이다. 이를 선형 회귀분석한 결과를 보면 선형적인 관계가 뚜렷함을 알 수 있다. 즉, 평판재하의 내력을 알 수 있으면, 이 관계식으로부터 멩에가 부착된 경우의 내력을 예측할 수 있다. 이러한 이유는 서포트에 하중이 증가함에 따라 이 높은 하중이 멩에의 지지조건을 고정단에 가까워지도록 만들기 때문이라고 판단된다.

4. 지지판 및 기타의 영향 요인들

가. 지지판의 영향

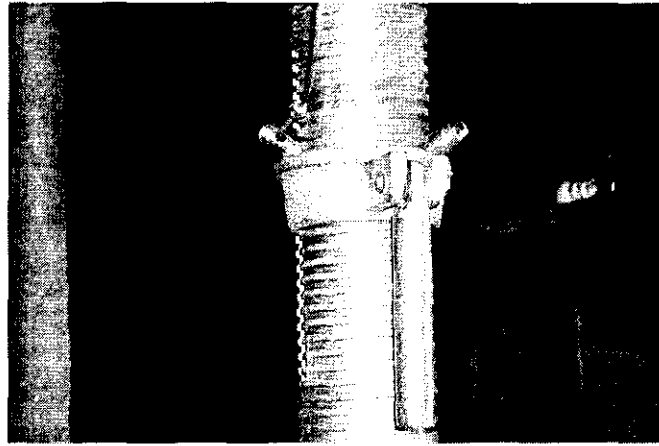
(1) 지지판의 내력

파이프 서포트의 지지판은 내관의 하중을 외관으로 전달하므로, 이 지지판에는 전단력과 모멘트가 발생하게 되며, 내관과 외관에는 지압응력이 발생하게 된다. 지지판이 먼저 항복을 하거나 또는 강관에 지압파괴가 발생하게 되면 서포트의 내력은 감소하게 된다. 부위별 파괴기구는 다음과 같이 예상될 수 있다.

(가) 지지판의 파괴

지지판은 전단 또는 휨 모멘트에 의하여 파괴기구가 형성된다. 전단파괴 강도와 휨항복 강도를 비교하여 보면 전단파괴 강도가 2.5배 이상 크게 계산된다. 단, 하중이 골고루 분포되고 내관과 외관이 지지판에 의하여 대칭적으로 지지될 경우의 값이다. 또 휨항복 강도는 지지판의 단부의 응력이 항복응력에 도달할 때의 값이다.

따라서 일반적인 경우에 지지판은 [그림 4-9]와 같이 휨에 의하여 항복이 발생하게 된



[그림 4-9] 지지핀의 파괴 모습 (KS5-P-L1 시편)

다. 항복이 발생할 때의 하중 $P_M = \frac{\pi D^3}{16a} F_y$ 으로 표시될 수 있다. 여기서 D 는 지지핀의 직경, a 는 외관과 내관의 중심 간격, F_y 는 지지핀의 항복응력(3,100 ~ 4,000 kgf)이다. 이를 계산하면 약 1,350 kgf가 나온다. 그러나 원형단면의 소성모멘트는 항복모멘트의 1.7배이므로, 축하중이 2,300 kgf 이상이 작용하여야 지지핀이 휘게 되는 현상이 발생한다.

일반적으로 가지고 있는 재료의 안전율을 1.3이라고 가정하면 지지핀에 휨에 의한 손상이 발생하려면 하중이 3,000 kgf 이상 작용하여야 한다. 실험의 관측 결과 대체로 3000 kgf이상의 하중이 작용하였을 때 가시적인 지지핀의 휨 변형을 볼 수 있다.

(나) 파이프의 지압파괴

내관의 두께와 강도가 외관보다 크므로 먼저 외관에 국부적인 지압파괴가 일어날 가능성이 있다. 한편의 지압파괴 강도 $R_n = 3.0 F_u d t = 3.0(2,400)(1.1)(0.23) = 1,820 \text{ kgf}$

이다. 지압이 두 개의 연결핀 부위에서 균등히 발생한다면 지압파괴 강도는 2배인 3,640 kgf이 될 것이다. 그러나 실제로 파이프 서포트의 진폭에 따른 초기 변위에 따라 두 부위에서 균등한 지압파괴가 발생하기는 어려우며, 한 쪽 부위에서 먼저 지압파괴가 발생할 것으로 예측된다.

(2) 지지핀의 영향

앞에서 지지핀의 내력에 대한 이론적 강도를 고찰하면, 지지핀의 휨파괴가 선행되어 지지핀의 기능이 상실됨을 알 수 있다. 따라서 지지핀의 휨에 대한 내력은 직경의 세제곱에 비례하므로 1.1 mm 직경의 규격핀을 사용하지 않고 이형 철근 D10을 사용하면 지지핀의 저항능력은 현저히 감소하게 될 것이다.

비규격 지지핀과 규격 지지핀의 항복응력이 동일한 경우 내력은 25% 정도 감소하게 될 것이다. 그러나 일반적으로 현장에서 사용되는 이형철근 D10의 항복강도는 2,400kgf가 대부분이므로, 이러한 철근을 사용한다면 총 내력이 60%정도 감소하게 되어 지지핀의 역할을 상실하게 된다.

제3장 3절의 실험결과 연결핀을 철근D10으로 사용한 경우의 내력(KV4-P-B)은 2,150 kgf로 현저하게 감소되었다. 수평연결재를 연결하고 비규격 핀을 사용했을 때의 내력(KV4-P-L-B)은 수평연결재를 사용하지 않은 경우와 비슷한 2,289kgf로 나타났으므로 항복내력의 현저한 저하를 볼 수 있다.

나. 역립의 경우

제3장 3절의 <표 3-6>과 <표 3-7>, <표3-8>에서 파이프 서포트를 역립시의 내력을 정립시의 경우와 비교하여 보면, 거의 유사함을 알 수 있다. KV4, KV5, KS5 모델에서는 역립의 경우가 약간 작게 나타났고, KV6, KS6에서는 약간 크게 나타났다. 수평연결재를 체결한 4m 시편의 경우에도, 정립과 역립은 비슷한 내력을 보여 주고 있다.

다. 단품과 조립품의 내력

동일한 길이와 동일한 재질의 파이프 서포트가 단품인 경우와 조립품의 경우에 대한 내력결과를 <표3-7>과 <표3-8>에서 비교하면 다음과 같다.

5m의 경우에 단품인 KV5-P의 내력이 조립품 KS5-P보다 작으나, 5.8m의 경우에는 단품인 KV6-P의 내력이 조립품 KS6-P보다 크게 나타났다. 물론, 나이프 에지의 내력도 동일한 현상을 보였다. <표3-7>과 <표3-8>에서 진폭과 내력을 비교하면, 진폭의 길이가 작은 경우에 내력이 증가함을 볼 수 있다.

따라서, 단품과 조립품의 경우의 내력의 크기는 진폭이 주요 요인이라고 할 수 있다. 본 실험에서 사용된 1.8 m 보조지주를 사용하는 경우 5m 길이(KS5)에서는 내관의 삽입길이가 길어지므로 진폭이 줄어들고, 5.8m 길이(KS6)에서는 내관이 최소로 삽입되므로 진폭이 늘어났다.

보조지주를 V4규격 제품에 삽입하여 사용하면, 연결 부위가 완전히 고정되지 않으므로 진폭이 증가하게 된다. 그러므로 5.8m의 길이를 조립품으로 사용하는 경우, 동일조건의 단품으로 사용하는 경우보다는 진폭이 증가하며 내력은 감소할 것이다.

5. 이론식과의 비교

가. 하중과 초기 횡변위의 관계

나이프 에지 실험의 경우 파이프 서포트에 초기 변위가 없다고 가정하면 좌굴하중은 식 (4.1)으로 표현될 것이다. 그러나 파이프 서포트의 허용진폭에 의하여 초기 변위는 내력의 감소를 초래하게 된다. 즉, 초기 변위와 축력에 의한 횡 변위는 모멘트의 증대를 초래

하게 된다.

일반적인 경우 모멘트의 증대는 좌굴하중을 감소시키며 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\frac{P}{P_n} + \frac{M}{M_p} = 1 \quad (4-1)$$

여기서, P_n = 파이프 서포트의 공칭축하중, M_p = 파이프 서포트에 축력이 없을 때의 공칭휨모멘트이다. 위의 식은 초기변위를 고려하지 않은 경우이고, 부록D의 (D-20)식은 초기변위를 고려한 경우이다. 이 수식을 이용하여 모멘트 증대 항을 포함한 축력-모멘트 관계식을 표현하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{P}{P_n} + \frac{M}{M_p} \frac{1}{1 - \alpha^*} = 1 \quad (4-2)$$

여기서 $\alpha^* = P/P_e^*$ (부록 D 참조) 이고 P_e^* 는 초기변위가 없는 경우의 파이프 서포트의 좌굴하중이다. 파이프 서포트가 매우 세장한 경우의 공칭축하중 P_n 는 좌굴하중 P_e^* 가 되므로, (4-2)식은

$$\frac{P}{P_e^*} + \frac{M}{M_p} \frac{1}{1 - \alpha^*} = 1 \quad (4-3)$$

또한, 모멘트=축하중×편심거리($M = P\delta_0$) 이므로 (4-3) 식은

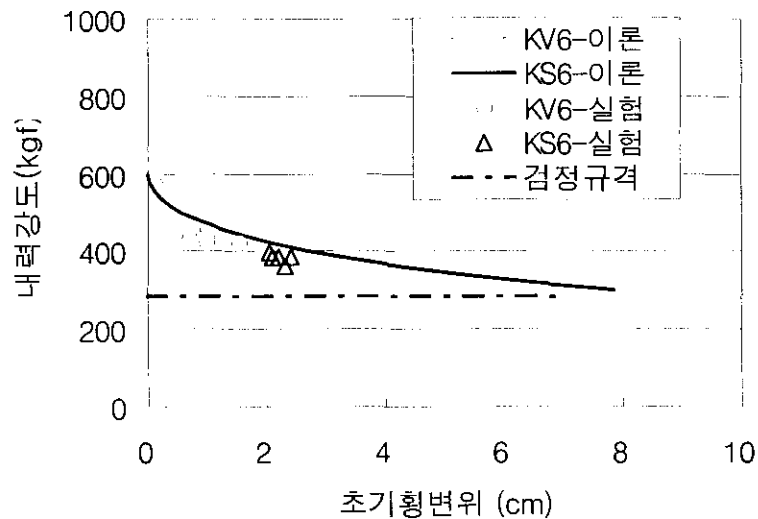
$$\frac{P}{P_e^*} + \frac{P}{M_p} \frac{\delta_0}{1 - \alpha^*} = 1 \quad (4-4)$$

나. 실험결과와의 비교

주어진 축력에 대한 모멘트 M_o 를 (4-4)식에서 구하고, 이를 축력 P 로 나누면 초기변위와 하중과의 관계곡선을 구할 수 있다. 부록B에 있는 실험결과 중 5.8m 시편의 나이프 에지 실험결과를 [그림 4-10]에서 비교하였다. 그림에 표시한 점은 5개의 각 시편의 실험 값이고 선은 이론치이다.

[그림 4-10]에서 보면 이론에 의하여 유도된 수식은 실험결과와 잘 일치함을 보여 주고 있으므로 본 실험의 결과의 신뢰성이 검증되었다고 판단된다.

[그림 4-10]에서 검정규격의 나이프 에지 내력산정식은 초기변위가 작은 범주에서는 이론식과 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 파이프 서포트의 길이가 5m를 초과하는 경우에 검정규격의 나이프 에지 내력 산정식의 사용은 불합리하다고 판단된다.



[그림 4-10] 하중과 초기 횡변위의 관계 (나이프 에지 실험)

6. 파이프 서포트의 설계

본 연구에서는 파이프 서포트의 내력에 대한 실험을 통하여 내력의 분포와 내력저하의 원인을 고찰하고자 하였다. 이러한 일련의 실험은 파이프 서포트 구조설계를 위한 기초 자료를 제공하는데 그 의의가 있다.

현재 국내의 경우 거푸집을 포함한 파이프 서포트 구조설계 기준이 정립되어 있지 않은 실정으로 거푸집 공사시 붕괴의 한 요인을 제공하고 있다. 물론 가설기자재 검정기준 및 콘크리트 표준시방서에서는 내력 및 설계 방법을 기술하고 있으나 구체적인 내용이 없으므로 설계시 어려움이 예상된다.

파이프 서포트를 포함한 가설재의 구조설계를 위하여서는 설계하중 및 부재내력 등에 대한 규정이 설정되어야 한다. 이러한 규정은 결국 국내 실정에 적절한 안전율을 설정하는 것이 논지의 핵심이라 할 수 있다. 일반적으로 과도한 안전율은 건설공사의 안전도를 확보하지만 경제성에 배치된다.

가. 각국의 가설재 설계기준

국내외 가설재의 설계 기준을 <표 6-1>에 정리하였다. 각 국의 기준에서 보면 설계방법과 부재의 내력 또는 허용응력 및 설계방법의 안전율이 유사함을 볼 수 있다.

일본과 국내의 경우는 수직 설계 하중에 충격하중을 포함하고 있으며, 미국에서는 작업하중을 크게 설정하여 충격하중을 포함하고 있다. 총 수직하중의 크기는 별 차이 없으나, 국내 또는 일본의 경우가 미국의 경우에 비하여 슬래브의 두께가 증가할수록 수직하중이 크게 설정된다.

각국의 안전율은 허용응력도에서 설정하는 안전율을 채택하고 있는데 대부분 2정도가

된다. 일본의 경우는 최대응력을 단기 허용응력도보다 작게함으로 안전율의 변동을 고려할 수 있도록 하고 있으나, 국내의 경우는 장기와 단기의 평균 허용응력을 사용하도록 규정하고 있다.

<표 6-1> 각국의 파이프 서포트 설계방법 비교

	미 국	영 국	일 본	국 내
1. 설계 수직하중	R/C자중 2.4 t/m ³ 거푸집 50 kg/m ² 작업하중 250 kg/m ²	R/C 자중 2.5 t/m ³ 거푸집 50 kg/m ² 작업하중 150 kg/m ²	R/C 자중 2.4 t/m ³ 충격하중 0.5 D.L 작업하중 150 kg/m ²	R/C 자중 2.4 t/m ³ 충격하중 0.5 D.L 작업하중 150 kg/m ² 충격+작업하중은 250 kg/m ² 이상
2. 설계방법 및 안전율	허용응력도 설계법에 따르며 안전율은 1.92	- BS 1139에 따르며 안전율은 2 - 중고품의 경우 최 대 허용응력은 0.85 배로 저감	- 최소응력도는 단기 허용응력도보다 작음. - 일반적인 경우 장 기와 단기 허용응력 의 평균치 사용 - 장기 허용응력시의 안전율은 2.17	- 허용응력은 건축물 의 구조기준등에 관 한 규칙에 정한 장기 와 단기 허용응력의 평균치 - 설계법에서의 안전 율은 2.17/1.25 = 1.74
3. 기타 제한사항	AISC 세장비 200 이하	BS 1139 : 세장비 207 이하	사용길이 2400 mm 이상이고 수평연결을 한 경우 최대 사용강 도 2000 kgf	기둥의 세장비는 200 이하
4. 관련근거	ACI Committe 347	BS 5975	JASS 5 철근콘크리 트 편	콘크리트 표준시방서 (1999)

<표 6-1>에서 보듯이 각 국은 부재의 세장비를 200 이하의 조건에서 사용하도록 규정하고 있다. 또, 영국의 경우는 중고 제품의 내력 저감을 85% 수준으로 함으로써 신품과 중고품의 내력에 대한 차이를 두고 있다.

나. 국내 강구조 설계기준의 안전율

파이프 서포트는 철강재이므로 내력에 관한 사항은 강구조 설계기준을 따르는 것이 적합하리라고 판단된다. 다만, 하중과의 관계를 고려하여 안전율에 대하여 일관성있는 제정이 필요하다고 판단된다. 현재 국내의 설계법으로는 1998년에 ‘강구조 한계상태 설계기준’이 제정되어 기존의 ‘강구조 설계기준’과 병용되고 있다.

(1) 허용응력도 설계법

‘강구조계산기준’의 경우 허용압축응력도에서 한계세장비(λ_p)보다 작은 경우의 안전율 n 은

$$n = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \quad (6.1)$$

의 2차식의 형태로 세장비가 증가함에 따라 1.5에서 13/6의 크기로 감소 변화하고, 한계세장비보다 큰 경우에는 13/6을 사용하고 있다.

또한 압축재의 경우 세장비는 250이하로, 기둥재에서는 200이하, 가개 기타 2차부재에서는 240 이하로 규정하고 있다.

(2) 한계상태 설계법

‘강구조 한계상태 설계기준’의 압축재에서는 설계압축강도

$$\phi_c P_n = A_g F_{cr} \quad (6.2)$$

$\lambda_c \leq 1.5$ 인 경우

$$F_{cr} = (0.65^{\lambda_c^2}) F_y \quad (6.3)$$

$\lambda_c > 1.5$ 인 경우

$$F_{cr} = \left(\frac{0.85}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (6.4)$$

여기서,

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E_s}} \quad (6.5)$$

압축에 대한 저항계수 $\phi_c = 0.85$

A_g : 부재의 총단면적

F_y : 항복강도

E_s : 탄성계수

K : 유효길이 계수

L : 부재의 비지지길이

r : 좌굴축에 대한 단면2차반경

이 수식에서 세장비가 0에 근접하는 경우에 부재의 안전율은 $1/0.85=1.18$ 임을 쉽게 알 수 있다. $\lambda_c > 1.5$ 인경우에 식 (6.5)를 식 (6.4)에 대입하면

$$F_{cr} = 0.85 \frac{\pi^2 E_s I}{(KL)^2} \quad (6.6)$$

이므로 안전율은 저항계수 ϕ_c 를 포함하여 $1/(0.85)^2=1.57$ 이다.

또한 안전율은 하중계수에도 포함되어 있으므로 이를 고려하여야 한다. 수직하중이 작용하는 경우의 하중계수와 하중조합은

$$1.4 D \quad (\text{식 6.7})$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5(L_r \text{ 또는 } S) \quad (\text{식 6.8})$$

이므로 하중계수의 평균값을 1.4로 가정한다면, $\lambda_c > 1.5$ 의 안전율은 $1.57 \times 1.4 = 2.2$ 정도가 됨을 알 수 있다. 이는 허용응력도 설계법의 안전율 $13/6=2.17$ 과 거의 유사한 수준이다.

또한 이 기준에서는 세장비 $\frac{KL}{r}$ 은 200을 초과하지 않도록 규정하고 있다.

다. 설계기준 제정시 고려사항

국내 철근 콘크리트 표준시방서 제 5장에서 거푸집의 구조계산시 '허용응력은 건축물의 구조 기준등에 관한 규칙에 정한 장기 허용응력과 단기 허용응력의 평균치로 한다'라고만 기술하고 있으므로 구체적인 사항이 미비되어 있다고 판단되며, 파이프 서포트와 같은 동바리의 설계 자료 작성을 위하여서는 다음과 같은 사항이 보완되어야 할 것이다.

(1) 설계방법의 결정

앞에서 고찰한 바와 같이 기둥의 설계에 있어서는 '허용응력도법'과 '한계상태 설계법'의 안전율이 거의 동일한 수준이다. 따라서 어느 방법에 따라 동바리의 구조 설계를 수행하더라도 거의 비슷한 결과가 예측된다.

그러나 허용응력도 설계법을 따르면 안전율에 대한 정의가 좀더 명확하므로 이 방법을 사용하는 것이 적절하다고 판단된다. 그리고 현재 콘크리트 표준시방서의 내용에서는 '장기와 단기 허용응력도의 평균치를 사용한다'라고 규정하고 있으므로, 허용 응력도 설계방법의 사용을 엄두에 두고 있음을 알 수 있다.

(2) 유효 세장비의 결정방안

허용응력도 설계법에서는 부재의 세장비에 따라 허용응력이 결정되므로 세장비에 대한 구체적인 언급이 필요하다. 이 세장비는 부재의 길이와 단면의 크기, 지지조건에 의하여 결정된다.

가설기자재 검정기준에서는 평판재하시의 파이프 서포트의 최소 내력이 3600 kgf 이상이라는 단일 값으로 규정하고 있지만, 추후로는 유효세장비에 따라 내력을 설정되어야 할 것이다.

파이프 서포트는 내관과 외관의 두가지 단면이 존재하므로, 이를 고려한 세장비를 결정하는 방법이 제시되어야 한다. 본 연구에서 유도한 식 (4.2)을 참조하여, 파이프 서포트의 유효 단면2차모멘트의 값을 결정할 수도 있다.

파이프 서포트의 경우는 받이판과 바닥판이 있으므로 회전에 대한 구속력을 어느정도 확보하고 있다. 이 구속 지지조건은 유효길이를 결정하는데 매우 큰 영향을 미치므로 안전성이 확보되는 범위안에서 적절한 값이 설정되어야 한다.

(3) 수평이동의 문제

일반적으로 구조체에 가새가 설치되어 있는 경우를 수평이동이 구속된 경우라 말하며, 수평이동이 구속된 경우와 구속되지 않은 경우의 유효길이는 많은 차이가 있다.

현재, '산업안전 기준에 관한 규칙'에 의하여 수평연결재가 설치된 경우라 하더라도, 이는 어느 정도 수평이동이 허용되는 시스템이라고 볼 수 있다. 가새가 있거나 고정된 구조물에 동바리가 연결된 경우는 수평이동이 없다고 가정할 수 있으나, 수평연결재만을 사용한 경우에는 수평이동이 허용된다. 이러한 경우에 대한 적절한 유효길이 산정 방법이 제시되어야 할 것이다.

(4) 중고제품의 내력 저하 문제

신품 파이프 서포트의 내력에 비하여 중고제품의 내력은 분명히 저하가 되며, 그 정도도 다양할 것이다. 따라서 중고제품은 그 관리 상태에 따라 내력을 감소시켜 설계하는

것이 안전한 설계방법이라고 판단된다.

(5) 멩에의 영향

본 연구의 실험결과와 같이 받이판 위에 목재 멩에가 설치되는 경우의 내력은 멩에가 설치되지 않는 경우의 내력에 비하여 75% 정도로 감소하므로, 멩에의 영향은 안전을 산정시 반드시 고려되어야 할 사항이다.

제 5 장 결 론

파이프 서포트의 근원적인 붕괴재해를 방지하기 위하여서는 거푸집의 구조설계 및 검토의 수행이 필요하나, 현재 국내에는 이 부분의 기준이나 자료가 미비한 상황이다. 본 연구에서는 이러한 부문에 대하여 파이프 서포트의 기초자료를 작성하고자, 재해현황을 조사하고 분석하였으며, 4m, 5m, 5.8m 3종류의 파이프 서포트에 대한 내력 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 붕괴재해의 원인과 예방대책

가. 거푸집 동바리 붕괴요인 및 해소방안

- (1) 공사준비 과정에서 조립도 미작성 사례가 63.8%, 구조검토가 미흡한 사례가 51.1%로 계획단계에서의 문제점이 큰 것으로 나타났다.
- (2) 파이프 서포트를 1단으로 사용한 사고의 대부분은 허용 지지높이 4m를 초과한 경우에 발생하였다. 또한 2단이상 또는 2가지 이상의 재료를 사용한 경우의 붕괴가 78.7%로 높은 비중을 차지하여, 재료의 혼용을 방지할 수 있는 방안의 강구가 필요한 것으로 나타났다.
- (3) 동바리의 조립상태별 붕괴요인으로서는 동바리 수직연결 불량(42.6%), 고정 및 활동방지조치 불량(44.7%), 수평연결재 미설치(46.8%), 수평연결재 설치불량(42.6%), 전도 방지조치 불량(8.5%), 좌굴 방지조치 불량(38.3%), 수직도 불량(19.2%) 등 전반적으로 조립상태가 불안정한 것으로 나타났으며, 기능인력의 동

바리 조립방법에 대한 교육과 점검의 강화 등 근원적인 대책이 필요하다고 판단된다.

(4) 콘크리트 타설시 1방향 집중타설로 인한 붕괴가 16건(34.0%)이므로, 콘크리트 타설시 철저한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

나. 주요과제 및 예방전략

(1) 파이프 서포트를 1단으로 사용시 붕괴 사례는 모두 지지 높이가 4m를 초과한 경우이므로, 지지 높이가 4m이상 6m까지 경우에 대한 대책 수립이 필요하며 기존 파이프 서포트의 내력이 부족한 경우 내력 향상에 대한 강구가 필요하다.

(2) 동바리 붕괴재해의 대부분은 지지높이 6m 이상(83%), 2단 이상의 동바리 구조에서 발생하는 것으로 나타났다. 외형상으로는 동바리의 불안정한 조립상태를 개선하는 것이 바람직하나 실제 공사현장에서는 이러한 작업들이 관행으로 이루어지고 있어 일시에 개선을 기대하기는 어려우므로 1단의 지지단수로 전체 높이를 지지할 수 있는 시스템 서포트와 같이 노동력이 적게 드는 안전한 동바리 시스템의 보급이 필요한 것으로 판단된다.

(3) 기둥, 벽체 등 수직부재와 슬라브 등 수평부재의 콘크리트를 분리하여 타설하는 등 간접적인 붕괴억제 수단도 장려할 필요가 있다.

2. 파이프 서포트의 내력 확보방안

가. 파이프 서포트의 내력

(1) 파이프 서포트의 내력은 길이에 반비례하며, 길이가 길어질수록 초기 횡변위가 증가하므로 내력이 현저하게 감소됨이 관찰되었다. 특히 5.8 m의 서포트는 4m 시편에 비하여 내력이 50%이하로 감소되므로 사용상 많은 문제점이 예측된다.

(2) '산업안전기준에 관한 규칙'에 따라 수평연결재를 설치하면, 4m, 5m, 5.8m의 모든 서포트의 내력이 4,000 kgf 이상 확보됨을 알 수 있었다. 그러나 5m와 5.8m의 경우 수평연결재의 필요 개수보다 작은 1개의 수평연결재를 설치하면 내력이 3600 kgf에도 미치지 않음을 알 수 있었다.

(3) 일반적인 현장의 사용 조건시의 내력을 확인하기 위하여 명예를 서포트의 받이판에 부착하여 실험을 수행한 결과(P-T 모델), 이 경우의 내력은 명예를 부착하지 않는 시편(P 모델)에 비하여 75% 수준으로 감소함을 알 수 있었다. 또한 실험결과에서 P-T 모델과 P 모델의 내력은 선형적인 관계가 있음을 볼 수 있었다.

(4) 지지편으로 이형철근(D10)을 사용하는 경우는 규격 지지편을 사용하는 것보다 내력이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 부재를 역립으로 설치한 시편의 내력은 정립한 경우의 내력과 동일한 수준으로 나타났다.

나. 내력의 확보방안

(1) 서포트의 길이가 길어지면 내력이 현저하게 저하하므로 사용최대길이가 5m를 넘지 않는 것이 적절하다고 사료된다. 또한 초기 횡변위가 작을수록 내력이 크고 초기 횡변위는 진폭에 비례하는 사실이 실험을 통하여 확인되었으므로 진폭을 최소화하는 것도 내력의 확보 방안 중에 하나이다. 특히 파이프 서포트의

길이가 길어지거나 조립품을 사용하는 경우 진폭의 증가가 예상되므로, 적절한 수준으로 허용 진폭을 설정하여야 할 것이다.

(2) 길이가 4m 이상이 되면 수평연결재를 사용하여야만 내력이 4000 kgf 이상 확보될 수 있다. 만약, 파이프 서포트의 길이가 5m 이상을 초과한다면 2개소에 수평연결재를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 그러나 현장에서 수평연결재를 2개소에 설치하는 것은 시공상 어려우므로, 파이프 서포트의 수평 연결방법의 개선에 대한 노력이 필요하다.

(3) 일반적으로 현장에서 흔히 사용되는 이형철근 D10과 같은 비규격 지지핀은 내력의 현저한 저하를 초래하므로, 비규격 핀의 사용은 절대적으로 방지되어야 할 것이다.

3. 추후 연구과제

가. 중고품 파이프 서포트의 내력저하

파이프 서포트는 전용회수가 증가함에 따라 파이프 및 받이판에 손상이 발생하며, 이에 따라 내력이 감소할 것이다. ‘가설기자재 검정기준’ 등의 내력에 관한 사항은 신제품에 대한 사항이므로, 중고 파이프 서포트 제품의 내력 저하에 대한 평가가 필요하다고 판단된다.

파이프 서포트의 관리상태에 따라 중고제품의 내력저하 정도가 다르게 나타날 것으로 판단되므로, 관리상태의 정도에 따른 중고제품의 내력 저하에 대하여 실험을 통한 평가가 필요하다.

나. 세장비의 설정 방안

앞 절에서 언급한 바와 같이 파이프 서포트의 세장비는 수평이동의 구속상태, 단부의 지지조건, 지지 길이, 단면의 크기 등에 영향을 받는다. 이러한 사항들을 종합하여 파이프 서포트의 세장비를 구체적으로 설정할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

특히, 현재와 같이 수평연결재만을 설치하는 경우는 동바리의 수평이동이 가능하므로 이에 대한 유효좌굴길이를 설정하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. ———, “가설기자재 검정규격”
2. ———, “산업안전기준에 관한 규칙”
3. 한국산업안전공단, “중재재해조사보고서”, 1994 ~ 1998
4. 쌍용건설기술연구소, “거푸집설계 및 시공지침안”, 1994. 2
5. 강구조 한계상태 설계기준 및 해설, 대한건축학회, 1999
6. 강구조계산기준 및 해설, 대한건축학회, 1983
7. 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999
8. 가설구조물의 구조계산입문 II, 명문사, 조병구 외, 1990
9. 6m 파이프 서포트의 구조성능 및 안전성 평가, 가설기자재 시험연구소, 1998. 8.
10. 최순주, 이영욱, 안홍섭, “파이프 서포트의 내력에 관한 연구” 한국산업안전공단 연구 중간 보고서, 1999.8
11. 이영욱, 최순주, 안홍섭, “Strength of Pipe Support Over 4m” 제1회 한·일 산업안전공학 학술발표대회 1999.11
12. 안홍섭, 이영욱, 최순주, “A Case Study on the Collapse Accidents of Form-work Using Steel Pipe Support” 제1회 한·일 산업안전공학 학술발표대회 1999.11
13. 최순주, “거푸집·동바리 붕괴재해 사례분석을 통한 재해원인과 예방대책”, 한국콘크리트학회 제19회 기술강좌 1999.12
14. C.G. Salmo and J.E. Johnson, Steel Structures, Harpers & Collins, 4th Ed., 1996.

15. Code of Practice for Falsework, BS 5975, 1996

16. Formwork for Concrete, Hurd, M.K., 1992

감사의 글

본 연구과제의 원활한 수행을 위해 실험용 파이프썬포트(시험편)를 무상으로 제공하여 주신 금강공업 주식회사와 정건가설공업 주식회사에 진심으로 감사를 드립니다.

부록 A

거꾸집 동바리 붕괴재해 사례

여 백

거꾸집 동바리 붕괴사고 사례 [1/5]

번호	바닥 슬라브 두께 (mm)	동바리 높이 (m)	동바리 구성	기반 단면 구조	사 망 자 수	부 상 자 수	붕괴 원인															비 고
							계 획		재 료			조 립							타설	기타		
							조립도 미작성	구조 검토 미흡	비검정 가설기자 재 사용	사용 재료 불량	이질 재료 혼용	동바리 수직연결 불량	고정 및 활동방지 조치불량	수평 연결재 미설치	수평 연결재 설치불량	전도 방지조치 불량	좌굴 방지조치 불량	수직도 불량	1방향 집중 타설	과다 적재		
1	150	8.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	3	○					○				○			○			
2	150	22.0	파이프서포트+ 파이프서포트 (6단)	평면	1	0	○	○											○			
3	150	10.3	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	2	8	○	○		○			○	○					○	○		
4	?	5.05	파이프서포트 1단	평면	1	0	○	○					○	○	○	○			○		horry beam	
5	150	7.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	2	○	○					○	○						○		
6	?	6.7	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	13	○	○					○	○	○	○	○					
7	?	7.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	3	4	○	○				○	○			○						
8	120	10.83	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	3	4	○	○				○	○					○				
9	400	9.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	5		○		○			○				○	○				
10	200	10.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	4	○			○				○			○					

거푸집 동바리 붕괴사고 사례 [2/5]

번호	바닥 슬라브 두께 (mm)	동바리 높이 (m)	동바리 구성	기반 단면 구조	사 망 자 수	부 상 자 수	붕괴 원인													비 고		
							계 획		재 료			조 립									타설	기타
							조립도 미작성	구조 검토 미흡	비검정 가설기자재 사용	사용 재료 불량	이질 재료 혼용	동바리 수직연결 불량	고정 및 활동방지 조치불량	수평 연결재 미설치	수평 연결재 설치불량	전도 방지조치 불량	좌굴 방지조치 불량	수직도 불량	1방향 집중 타설		과다 적재	
11	?	6.0	파이프서포트 1단	평면	1	0											○		○	horry beam		
12	?	6.7	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0					○		○				○					
13	?	9.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0	○	○				○		○	○		○					
14	?	4.5	파이프서포트 1단	평면	1	0	○						○					○		○		
15	150	7.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	0	2				○				○			○		○			
16	120	6.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	2	6	○					○		○			○					
17	120	3.9	파이프서포트 1단	평면	0	3			○	○		○	○	○				○				
18	?	5.6	파이프서포트 1단	평면	1	3	○	○	○				○	○					○	horry beam		
19	150	8.0	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0	○	○				○		○				○				
20	?	4.9	파이프서포트 1단	평면	1	0											○		○	horry beam		

거푸집 동바리 붕괴사고 사례 [3/5]

번호	바닥 슬라브두 께 (mm)	동바리 높이 (m)	동바리 구성	기반 단면 구조	사 망 자 수	부 상 자 수	붕괴요인													비고
							계 획		재 료			조 립						타설	기타	
							조립도 미착상	구조 검토 미흡	비검정 가설기자재 사용	사용 재료 불량	이질 재료 혼용	동바리 수직연결 불량	고정 및 활동방지 조치불량	수평 연결재 미설치	수평 연결재 설치불량	전도 방지조치 불량	좌굴 방지조치 불량	수직도 불량	1방향 질중 타설	
21	150	8.0	틀비계2단+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0	○	○				○	○	○						
22	120	16.0	강관파이프비계조립	평면	1	9	○	○	○			○								
23	350	15.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (5단)	평면	1	1	○					○								
24	150	7.7	강관파이프비계조립+ 파이프서포트,각재 혼 용 (2단)	평면	1	4		○					○	○			○			
25	?	5.3	파이프서포트 1단	평면	1	2			○					○			○			○
26	120	7.65	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	5		○				○	○		○					
27	250	7.3	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	경사	1	4						○	○	○	○					램프
28	300	7.2	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0	○	○						○						
29	150	5.9	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	7	○	○				○	○		○				○	
30	200	7.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	0	9							○	○	○				○	

거꾸집 동바리 붕괴사고 사례 [4/5]

번호	바닥 슬라브 두께 (mm)	동바리 높이 (m)	동바리 구성	기반 단면 구조	사 망 자 수	부 상 자 수	붕괴요인															비고
							계 획		재 료			조 립							타설	기타		
							조립도 미작성	구조 검토 미흡	비검정 가설기자재 사용	사용 재료 불량	이질 재료 혼용	동바리 수직연결 불량	고정 및 활동방지 조치불량	수평 연결재 미설치	수평 연결재 설치불량	전도 방지조치 불량	좌굴 방지조치 불량	수직도 불량	1방향 집중 타설	과다 적재		
31	120	4.8	각재+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	3	○	○	○	○	○	○	○	○								
32	1,000	21.0	시스템서포트	평면	2	0	○									○		○				
33	1,300	13.0	파이프서포트+ 파이프서포트+ 파이프서포트 (3단)	평면	1	3	○				○					○				○		
34	150	8.0	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	4						○									돌풍으로 제한 붕괴	
35	120	8.0	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	7	○	○		○		○	○			○		○				
36	130	6.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	2	0	○				○			○				○				
37	150	11.1	파이프서포트+ 파이프서포트+ 파이프서포트 (3단)	평면	5	6		○	○					○		○	○	○				
38	200	6.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	0	1	○	○			○		○				○					
39	200	13.4	강관파이프비계조립+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	2	○	○	○					○		○		○				
40	130	7.6	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	3		○		○	○	○	○		○			○				

거꾸집 동바리 붕괴사고 사례 [5/5]

번 호	바닥 슬라브 두께 (mm)	동바리 높이 (m)	동바리 구성	기반 단면 구조	사 망 자 수	부 상 자 수	붕괴요인														비 고	
							계 획		재 료			조 립								타설		기타
							조립도 미작성	구조 검토 미흡	비검정 가설기자재 사용	사용 재료 불량	이질 재료 혼용	동바리 수직연결 불량	고정 및 활동방지 조치불량	수평 연결재 미설치	수평 연결재 설치불량	전도 방지조치 불량	좌굴 방지조치 불량	수직도 불량	1방향 집중 타설	과다 적재		
41	200	14.0	파이프서포트+ 파이프서포트+ 파이프서포트 (3단)	평면	2	3	○				○			○			○					
42	135	10.8	시스템서포트+ 파이프서포트 (2단)	경사	1	4					○		○				○	○	○			
43	120	6.6	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	0	0		○			○	○			○							
44	135	10.59	파이프서포트+ 파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	0	3	○		○					○								
45	?	8.5	파이프서포트+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	6	○		○	○	○				○			○	○			
46	?	8.6	시스템서포트	평면	1	6													○			
47	?	8.5	파이프서포트+각재+ 파이프서포트 (2단)	평면	1	0	○		○	○					○							
계					54	149	30	24	10	12	5	20	21	22	20	4	18	9	16	8		

여 백

부록 B

파이프 서포트 하중-변위도

여 백

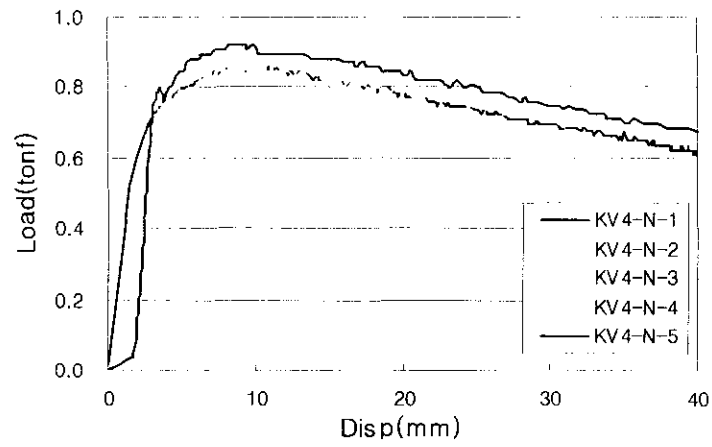


그림 B-1 KV4-N(나이프 에지 시험) 실험결과

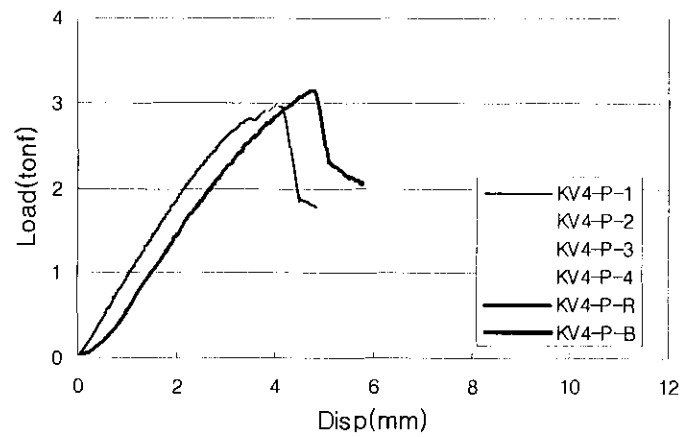


그림 B-2 KV4-P(평압 시험) 실험결과

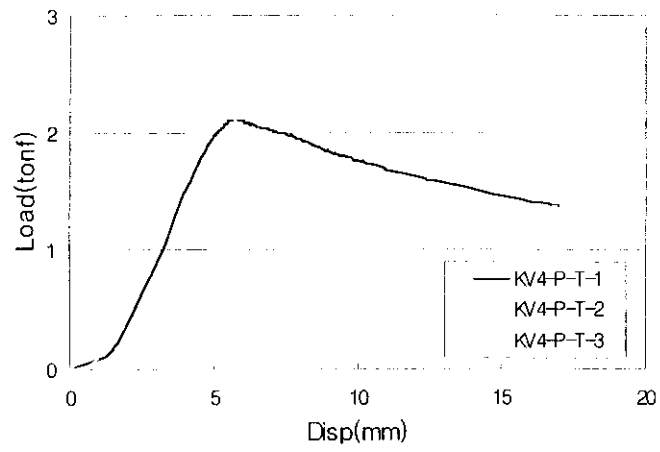


그림 B-3 KV4-P-T(평압에 멩에부착 시험) 실험결과

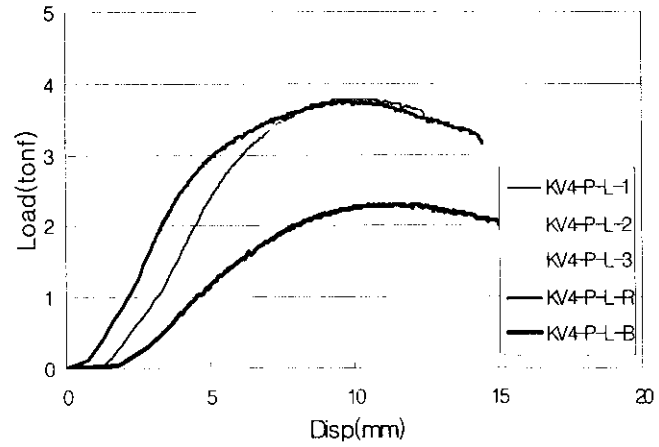


그림 B-4 KV4-P-L(수평연결 시험) 실험결과

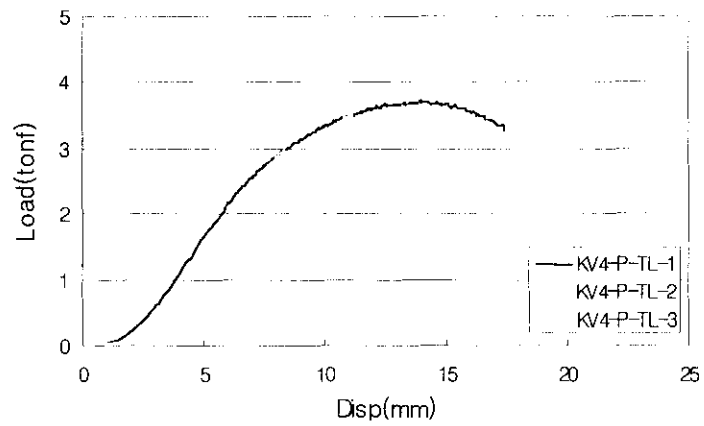


그림 B-5 KV4-P-TL(수평연결 멍에부착 시험)
실험결과

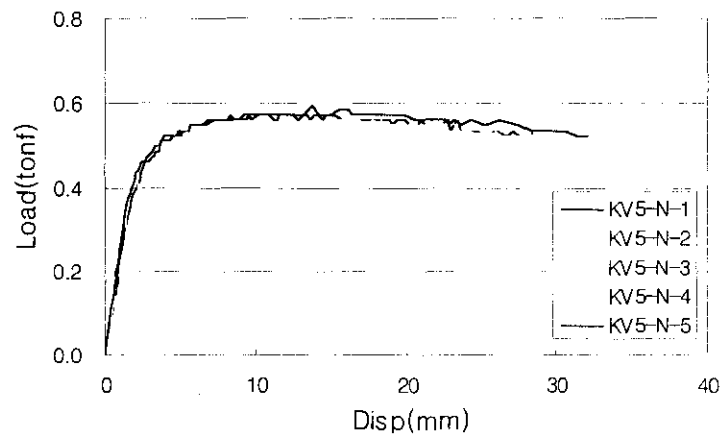


그림 B-6 KV5-N(나이프 에지 시험) 실험결과

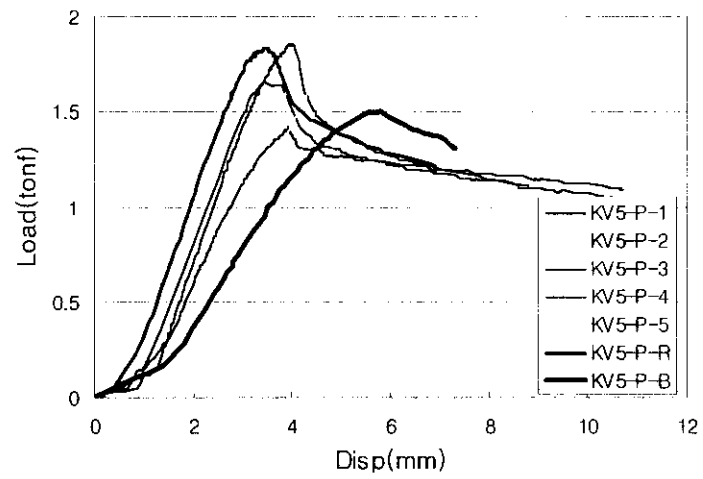


그림 B-7 KV5-P(평압 시험) 실험결과

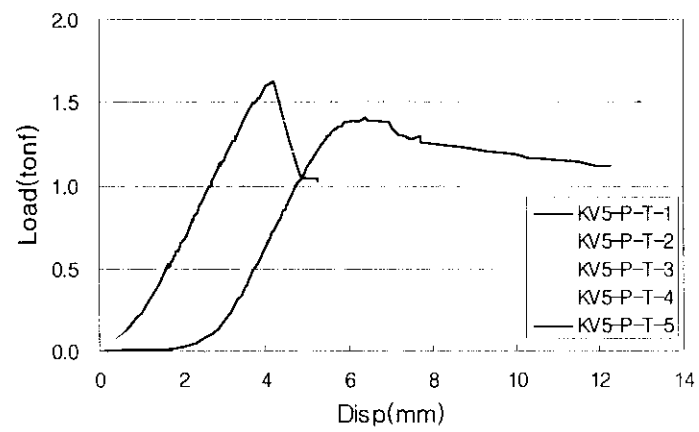


그림 B-8 KV5-P-T(평압에 멩에부착 시험) 실험결과

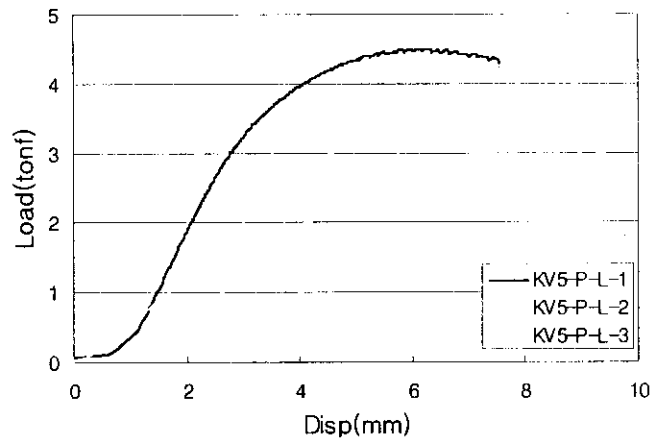


그림 B-9 KV5-P-L(수평연결 시험) 실험결과

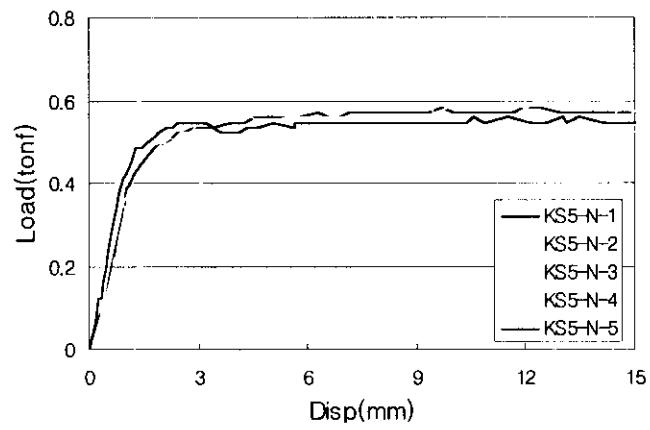


그림 B-10 KS5-N(나이프 예지 시험) 실험결과

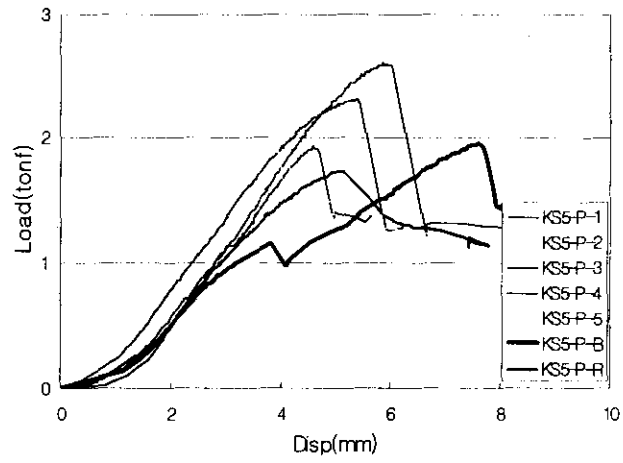


그림 B-11 KS5-P(평압 시험) 실험결과

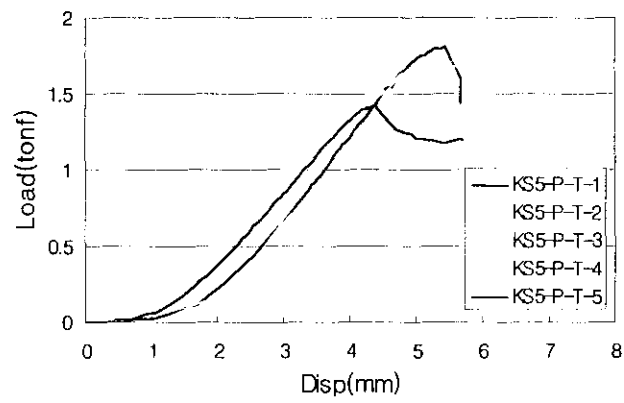


그림 B-12 KS5-P-T(평압에 명에부착 시험) 실험결과

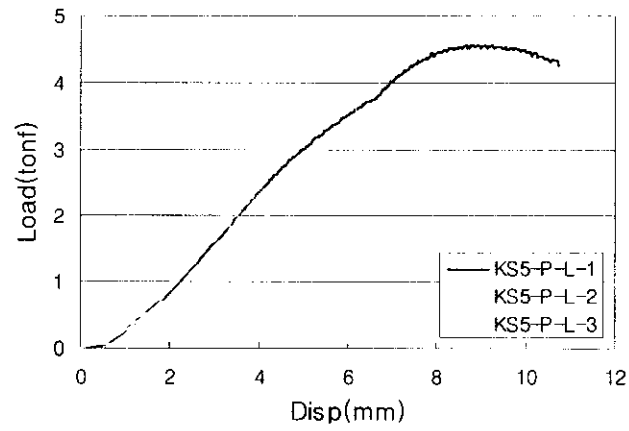


그림 B-13 KV5-P-L(수평연결 시험) 실험결과

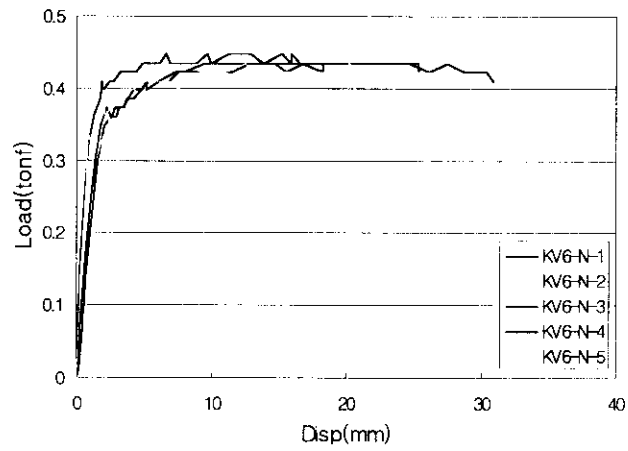


그림 B-14 KV6-N(나이프 에지 시험) 실험결과

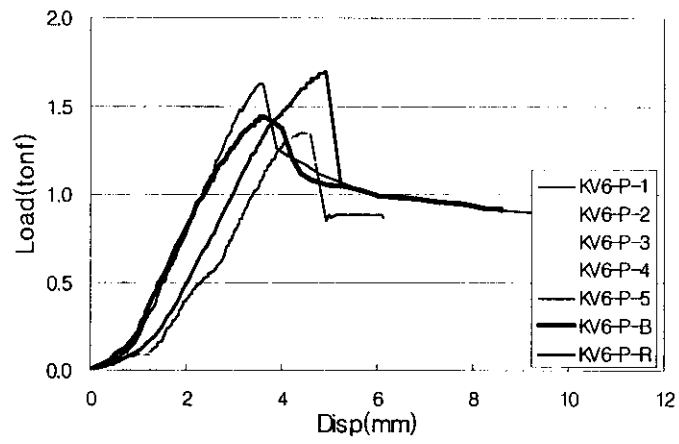


그림 B-15 KV6-P(평압 시험) 실험결과

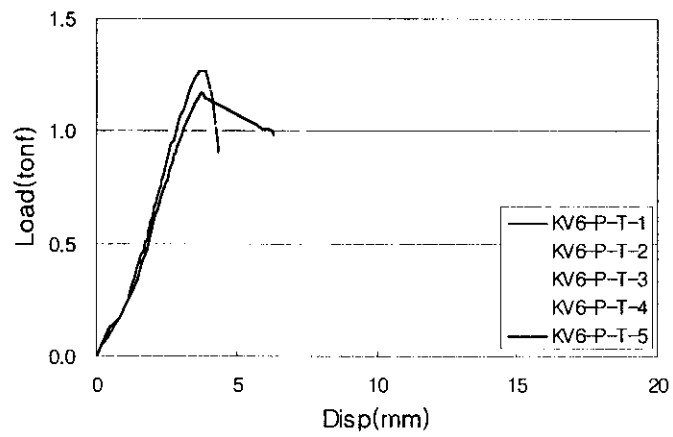


그림 B-16 KV6-P-T(평압에 명에부착 시험) 실험결과

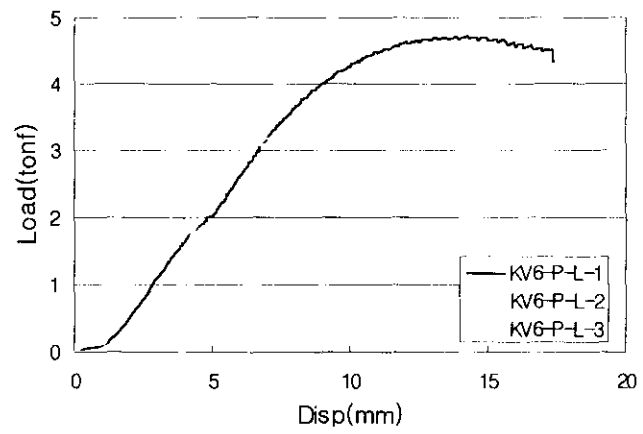


그림 B-17 KV6-P-L(수평연결 시험) 실험결과

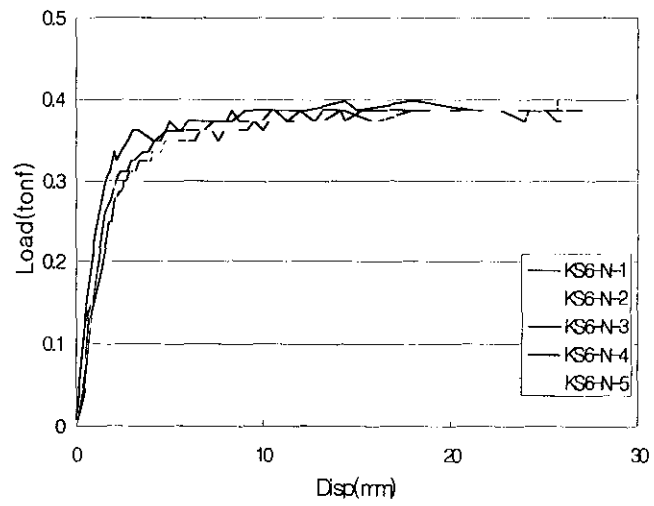


그림 B-18 KS6-N(나이프 에지 시험) 실험결과

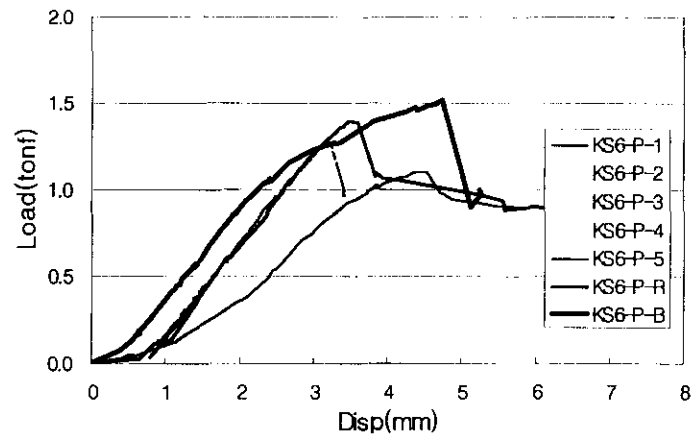


그림 B-19 KS6-P(평압 시험) 실험결과

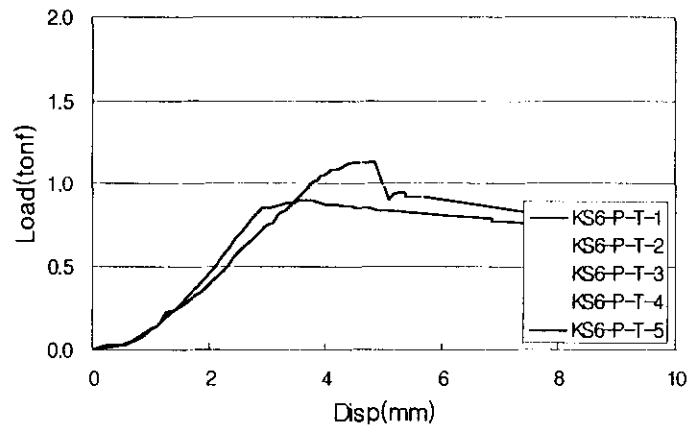


그림 B-20 KS6-P-T(평압에 멩에부착 시험) 실험결과

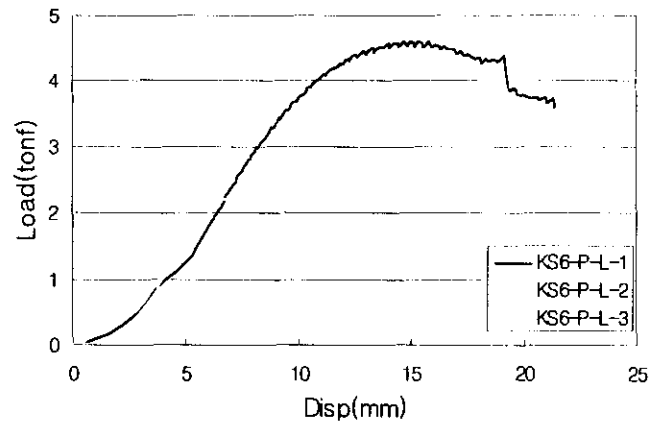


그림 B-21 KS6-P-L(수평연결 시험) 실험결과

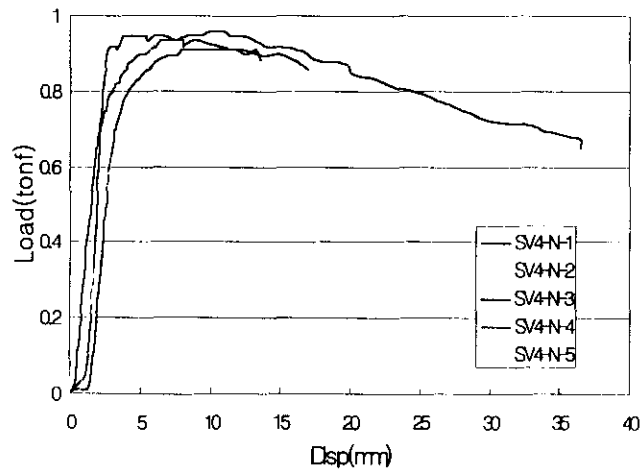


그림 B-22 SV4-N(나이프 에지 시험) 실험결과

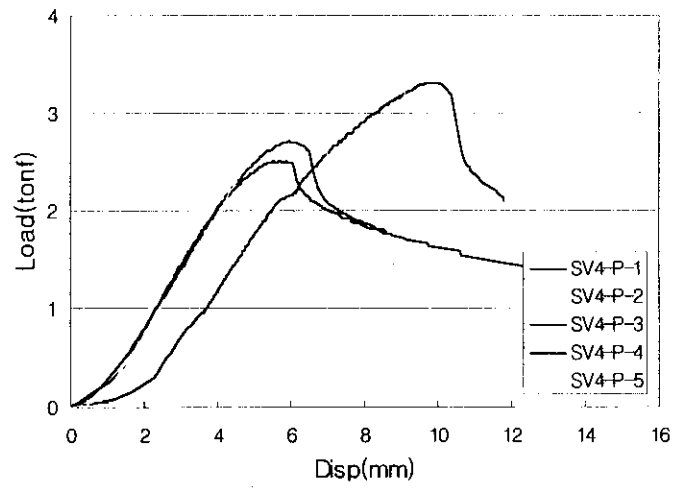


그림 B-23 SV4-P(평압 시험) 실험결과

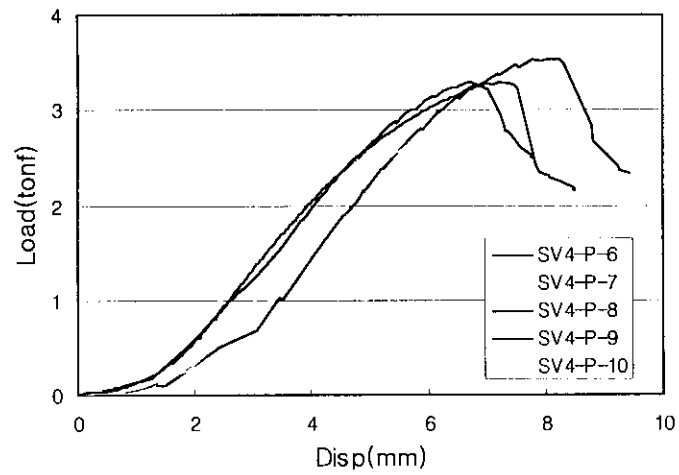


그림 B-24 SV4-P(평압 시험) 실험결과

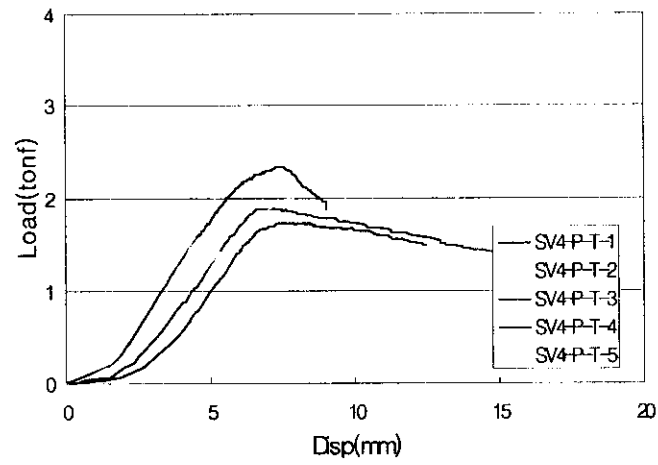


그림 B-25 SV4-P-T(평압에 명에부착 시험)
실험결과

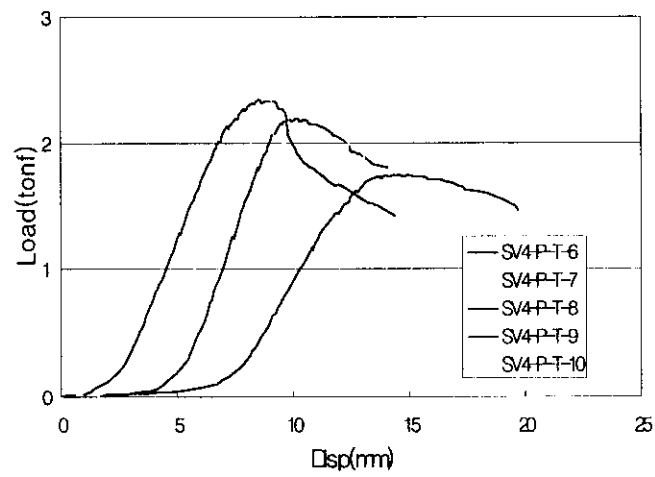


그림 B-26 SV4-P-T(평압에 명에부착 시험)
실험결과

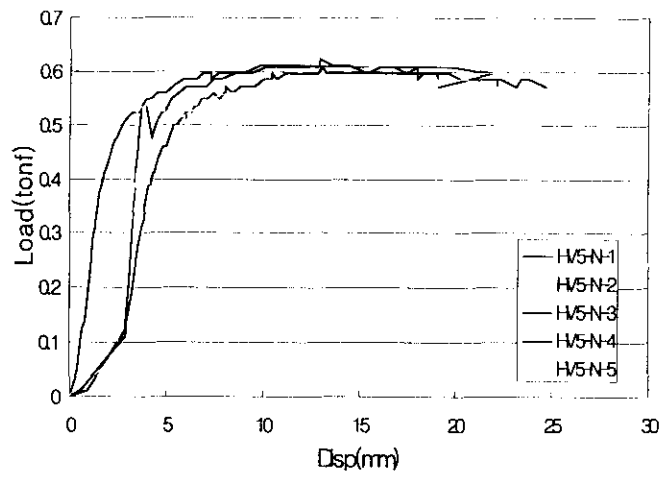


그림 B-27 HV5-N(나이프 에지 시험) 실험결과

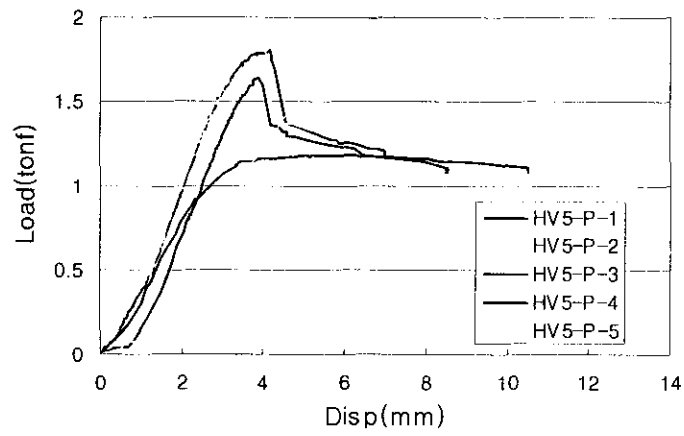


그림 B-28 HV5-P(평압 시험) 실험결과

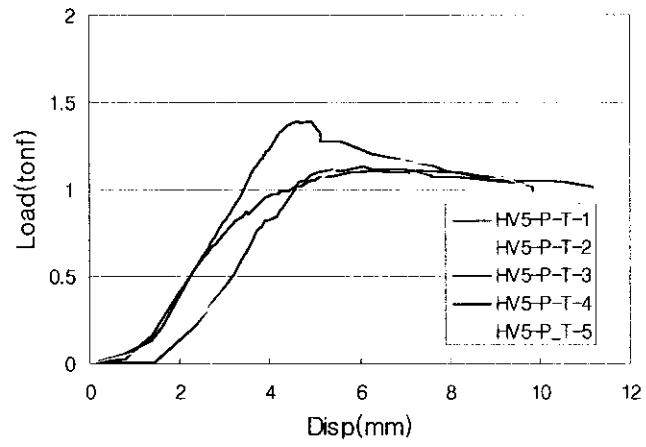


그림 B-29 HV5-P-T(평압에 멩에부착 시험) 실험결과

여 백

부록 C

파이프 서포트 내력의 산정식

여 백

C-1. 양단 단순지지 경우의 좌굴하중

내관의 단면이차모멘트와 길이를, 외관 단면이차모멘트와 길이를 라 하고 전체의 길이를 L이라고 하자.

좌굴에 의하여 변형된 형상의 모습을 sin함수의 반파장과 같은 형태이므로 변위 y를 다음과 같이 가정하자.

$$y = \delta \sin \pi \frac{x}{l} \quad (C-1)$$

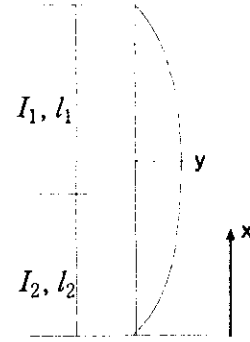


그림 C-1 좌굴
(양단힌지)

축력 P에 의한 모멘트 M은

$$M = Py = P \delta \sin \pi \frac{x}{l} \quad (C-2)$$

가 된다. 변형에 의하여 내부에 축적된 에너지 ΔU

$$\begin{aligned} \Delta U &= \int_0^{l_2} \frac{M^2}{2EI_2} dx + \int_{l_2}^l \frac{M^2}{2EI_1} dx \\ &= \frac{P^2 \delta^2}{2EI_2} \left[\int_0^{l_2} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx + \frac{I_2}{I_1} \int_{l_2}^l \sin^2 \pi \frac{x}{l} dx \right] \\ &= \frac{1}{2} \frac{P^2 \delta^2}{2EI_2} \left[l_2 - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \left\{ (l - l_2) + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_2}{l} \right\} \right] \\ &= \frac{P^2 \delta^2}{4EI_2} \left[l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 + \frac{l}{2\pi} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \sin \frac{2\pi l_2}{l} \right] \quad (C-3) \end{aligned}$$

$$<\text{참조}> \int \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx = \int \frac{1 - \cos \frac{2\pi}{l} x}{2} dx = \frac{1}{2} \left[x - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} x \right]$$

이 되고 외력 P에 의한 외부 일 ΔT 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{P}{2} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx = \frac{P}{2} \int_0^l \left(\delta \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \right)^2 dx \\ &= \frac{P}{2} \frac{\delta^2 \pi^2}{l^2} \int_0^l \cos^2 \frac{\pi x}{l} dx \\ &= \frac{P}{2} \frac{\delta^2 \pi^2}{l^2} \cdot \frac{1}{2} \left[x + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{l} x \right]_0^l \\ &= \frac{P \delta^2 \pi^2}{4l} \end{aligned} \tag{C-4}$$

외력과 내력의 에너지 크기는 동일하므로 식 (C-3)과 (C-4)에 의하여

$$\therefore P = \frac{EI_2 \pi^2}{l^2} \frac{1}{\left[\frac{l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \frac{l_1}{l} + \frac{1}{2\pi} \left(-\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \sin \frac{2\pi l_2}{l} \right]} \tag{C-5}$$

위의 식을 $P = \frac{EI_2 \pi^2}{l^2} \frac{1}{A^*}$ 로 표시하면, 단면이 외관으로 균등한 경우의 좌굴

하중을 A^* 의 값으로 나눈 것이 된다. 파이프 서포트의 외관의 단면이차모멘트가

내관의 것보다 크므로 A^* 는 1보다 큰 상수가 되어야 한다.

C-2. 단부 모멘트를 고려한 좌굴하중

파이프 서포트의 양단부의 받이판과 바닥판에 의하여 단부의 회전이 구속된다 이러한 경우의 받이판과 바닥판은 회전 스프링으로 작용한다고 간주할 수 있다. 받이판과 바닥판의 회전을 구속하는 경우의 변위의 양은 양단이 힌지와 고정된 경우의 중간임을 예측할 수 있다. 좌굴의 형상이 양단힌지의 경우와 다르겠지만 실험시 나타나는 변위의 형태는 sin함수이므로 앞의 (C-1)식과 가정할 수 있다.

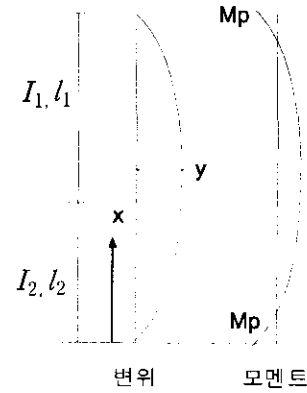


그림 C-2 좌굴
(양단 스프링)

$$y = \delta \sin \frac{\pi x}{\ell} \quad (C-1)$$

단부에서의 회전각 θ 는 다음과 같이 계산되며

$$\theta = y'_{x=0} = \delta \frac{\pi}{\ell} \cos \frac{\pi \cdot 0}{\ell} = \frac{\delta \pi}{\ell} \quad (C-6)$$

모멘트 M 은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} M &= -M_p + P_y = -k_s \theta + P_y = -k_s \frac{\delta \pi}{\ell} + P \delta \sin \frac{\pi x}{\ell} \\ &= \delta \left(P \sin \frac{\pi x}{\ell} - k_s \frac{\pi}{\ell} \right) \end{aligned} \quad (C-7)$$

내부 변형에너지 ΔU 는 다음의 식과 같다.

$$\Delta U = \int_0^{\ell_2} \frac{M^2}{2EI_2} dx + \int_{\ell_2}^{\ell} \frac{M^2}{2EI_1} dx + \frac{1}{2} k_s \theta^2 \quad (C-8)$$

여기서 k_s 는 받이판, 바닥판의 회전 스프링의 강성이다.

$M^2 = \delta^2 \left(p^2 \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} - 2pk_s \frac{\pi}{\ell} \sin \frac{\pi x}{\ell} + k_s^2 \frac{\pi^2}{\ell^2} \right)$ 이므로 1,2 번째의 적분항은 식(C-9)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} & \int_0^{\ell_2} M^2 dx \\ &= \delta^2 \left[\int_0^{\ell_2} p^2 \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} dx - 2pk_s \frac{\pi}{\ell} \int_0^{\ell_2} \sin \frac{\pi x}{\ell} dx + k_s^2 \frac{\pi^2}{\ell^2} \ell^2 \right] \\ &= \delta^2 \left[p^2 \frac{1}{2} \left(\ell_2 - \frac{\ell}{2\pi} \sin \frac{2\pi \ell_2}{\ell} \right) + 2pk_s \frac{\pi}{\ell} \frac{\ell}{\pi} \cos \frac{\pi \ell_2}{\ell} + k_s^2 \frac{\pi^2}{\ell^2} \ell^2 \right] \\ &= \delta^2 \left[\frac{p^2}{2} \left(\ell_2 - \frac{\ell}{2\pi} \sin 2\pi \frac{\ell_2}{\ell} \right) + 2pk_s \left(\cos \pi \frac{\ell_2}{\ell} - 1 \right) + k_s^2 \frac{\pi^2}{\ell^2} \ell^2 \right] \end{aligned} \quad (C-9.1)$$

$$\begin{aligned} & \int_{\ell_2}^{\ell} M^2 dx \\ &= \delta^2 \left[-\frac{p^2}{2} \left(\ell - \ell_2 + \frac{\ell}{2\pi} \sin \frac{2\pi \ell_2}{\ell} \right) + 2pk_s \left(-1 - \cos \frac{\pi \ell_2}{\ell} \right) \right. \\ & \quad \left. + k_s^2 \frac{\pi^2}{\ell^2} (\ell - \ell_2) \right] \end{aligned} \quad (C-9.2)$$

따라서

$$\int_0^{\ell_2} \frac{M^2}{2EI_2} dx + \int_{\ell_2}^{\ell} \frac{M^2}{2EI_1} dx$$

$$\begin{aligned}
&= \delta^2 \left[\frac{P^2}{4E I_2} d_x \left\{ l_2 - \frac{\ell}{2\pi} \sin 2\pi \frac{\ell}{l} + \frac{I_2}{I_1} \left(l - l_2 + \frac{\ell}{2\pi} \sin \frac{2\pi \ell}{l} \right) \right\} \right. \\
&\quad + \frac{2p k_2}{2E I_2} \left\{ \cos \frac{\pi \ell}{l} - \frac{I_2}{I_1} \left(1 + \cos \frac{\pi \ell}{l} \right) \right\} \\
&\quad \left. + \frac{k_s^2 \frac{\pi^2}{l^2}}{2E I_2} \left(l_2 + \frac{I_2}{I_1} \right) \right] \\
&= \delta^2 \left[\frac{P^2}{4E I_2} \left\{ l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_2}{l} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \right\} \right. \\
&\quad \left. + \frac{P K_s}{E I_2} \left\{ \left(-1 - \frac{I_2}{I_1} \right) + \cos \frac{\pi l_2}{l} \left(1 - \frac{I_2}{I_1} \right) \right\} + \frac{K_s^2 \frac{\pi^2}{l^2}}{2E I_2} \left(l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 \right) \right]
\end{aligned}$$

(C-10)

회전 스프링의 세 번째 항은 다음과 같아.

$$\frac{K_s}{2} \theta^2 = \frac{\delta^2}{2} K_s \left(\delta \frac{\pi}{l} \right)^2 = \frac{K_s}{2} \frac{\pi^2}{l^2} \delta^2$$

(C-11)

내부의 변형에너지와 외부의 일(식 C-4)은 같으므로 식 C-10과 C-11의 결과를 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$AP^2 + BP + C = 0$$

(C-12)

$$\text{단, } A = \frac{1}{4E I_2} \left\{ l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 + \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_2}{l} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \right\}$$

$$B = \frac{K_s}{E I_2} \left\{ \left(1 - \frac{I_2}{I_1} \right) \cos \frac{\pi l_2}{d} - \left(1 + \frac{I_2}{I_1} \right) \right\} - \frac{\pi^2}{4l}$$

$$C = \frac{K_s^2}{2E I_2} \frac{\pi^2}{l^2} \left(l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 \right) + \frac{K_s}{2} \frac{\pi^2}{l^2}$$

식 C-12의 이차방정식의 해의 범위는 앞의 양단힌지 경우인 식(C-5)의 값보다 커야 하며 4배 이하(양단 고정시)이어야 한다.

다음은 회전스프링의 강성을 결정하여야 하는데 이 강성은 경우에 따라 유동성이 있으므로 적정한 값을 가정하기로 한다. 받이판이나 바닥판이 휨에 의하여 변형이 발생하게 되는데 압축과 인장이 모두 항복응력에 도달하는 경우의 모멘트 M_p 는 다음과 같다.

$$M_p = \frac{B t^2 f_y}{6} \quad (C-13)$$

단, B = 받이판 또는 바닥판의 폭(140mm)

t = 받이판 또는 바닥판의 두께(5.4mm)

f_y = 받이판 또는 바닥판 강판의 항복응력이다.

또한 이때의 곡률(curvature) ϕ_y 는 다음과 같다.

$$\phi_y = \frac{2\varepsilon_y}{t} = \frac{2f_y}{E_s t} \quad (C-14)$$

위에서 E_s = 강판의 탄성계수이다.

받이판의 강성은 회전각에 대한 강성이므로 이를 구하기 위하여는 식 C-14를 이용하면 된다. 받이판의 휨이 발생하는 길이를 H라(그림 C-3)하면 항복시의 변형각

$$\theta_y = \phi_y H = \frac{2 f_y H}{E_s t} \quad (C-15)$$

따라서 구하고자 하는 받이판의 휨강성은 식 C-13과 C-15로 부터

$$K_s = \frac{M_p}{\phi_y} = \frac{E_s B t^3}{12H} \quad (C-16)$$

이 된다.

H값에 따라 강성이 변화할 수 있다. 실험시 고찰결과 받이판이 휘는 부분은 파이프와 판의 만나는 부분으로 매우 작은 범위임을 알 수 있다.

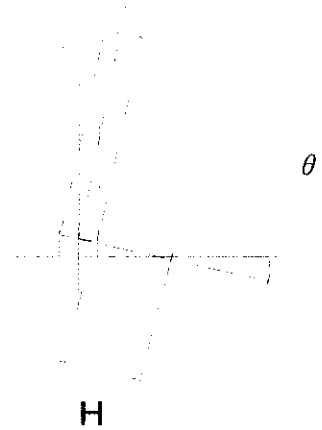


그림 3 받이판의 휨

C.3 초기 변위에 의한 모멘트의 증대(양단 힌지)

일반적으로 파이프 서포트는 허용진폭에 의하여 초기변위 δ_0 가 존재한다. 이러한 초기변위는 모멘트를 증대시킴으로 식 C-5의 좌굴하중보다 작은 값을 나타내게 된다. 초기변위의 값은 나이프 에지 실험과 평판재하 시험마다 상이하게 존재하나, 진폭의 값과 관계가 있다.

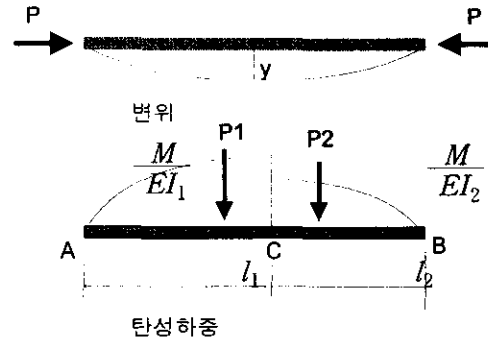


그림 4 양단힌지시 모멘트와 변위

초기변위 및 모멘트의 증가로 인한 추가 변위를 y_1 이라 하고, 전체 변위의 형상을 $\sin$ 반파장이라고 가정하면 임의의 거리 x 에서 변위 y 는

$$y = (y_1 + \delta_0) \sin \frac{\pi}{L} x \quad (C-17)$$

이 되고 이 변위에 의한 모멘트

$$M = Py = P(y_1 + \delta_0) \sin \frac{\pi}{L} x \quad (C-18)$$

이 된다.

탄성하중의 그림에서 왼쪽 포물선의 등가하중을 P_1 이라 하면

$$P_1 = \int_0^{l_1} \frac{P}{EI_1} (y_1 + \delta_0) \sin \frac{\pi}{L} x dx = \frac{P}{EI_1} (y_1 + \delta_0) \frac{L}{\pi} (1 - \cos \frac{\pi l_1}{L}) \quad (C-19)$$

이 되고 우측의 등가하중 P_2 는

$$P_2 = \int_{l_1}^L \frac{P}{EI_2} (y_1 + \delta_0) \sin \pi \frac{x}{L} dx = \frac{P}{EI_2} (y_1 + \delta_0) \frac{L}{\pi} (1 + \cos \pi \frac{l_1}{L})$$

(C-20)

이차곡선으로 구성된 면적 A1 의 단면일차 모멘트 S1는

$$S_1 = \frac{L^2 P}{\pi^2 EI_1} (y_1 + \delta_0) \left(\frac{\pi}{L} l_1 - \sin \pi \frac{l_1}{L} \right)$$

이 되고 C점으로부터 하중의 중심거리 $\overline{x_1}$ 는

$$\overline{x_1} = \frac{S_1}{P_1} = \frac{l_1 - \frac{L}{\pi} \sin \pi \frac{l_1}{L}}{1 - \cos \pi \frac{l_1}{L}} \quad (C-21)$$

마찬가지로 C점으로부터 하중의 중심거리 $\overline{x_2}$

$$\overline{x_2} = \frac{S_2}{P_2} = \frac{l_2 - \frac{L}{\pi} \sin \pi \frac{l_2}{L}}{1 + \cos \pi \frac{l_1}{L}} = \frac{l_2 - \frac{L}{\pi} \sin \pi \frac{l_2}{L}}{1 - \cos \pi \frac{l_2}{L}}$$

(C-22)

회전각 θ_A 는 반력에 해당되므로 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_A = \frac{P_1(l_2 + \overline{x_1}) + P_2(l_2 - \overline{x_2})}{L}$$

(C-23)

$0 \leq x \leq l_1$ 에서 수직변위 y_1 는 다음과 같이 표시된다.

$$y_1 = \theta_A x - S$$

(C-24)

$$\text{단, } S = \frac{L^2 P}{\pi^2 EI_1} (y_1 + \delta_0) \left(\frac{\pi}{L} x - \sin \pi \frac{x}{L} \right) \quad (\text{C-25})$$

$$\theta_A = \frac{P}{\pi EI_2} (y_1 + \delta_0) \left[\frac{I_2}{I_1} \left(L - l_2 \cos \pi \frac{l_1}{L} - \frac{L}{\pi} \sin \pi \frac{l_1}{L} \right) + l_2 \cos \pi \frac{l_1}{L} + \frac{L}{\pi} \sin \pi \frac{l_2}{L} \right]$$

(C-26)

식 C-25, 26을 식 C-24에 대입하여 정리하면

$$y_1 = \frac{PL^2}{\pi^2 EI_2} (y_1 + \delta_0) C^* = - \frac{P}{\frac{\pi^2 EI_2}{L^2 C^*}} (y_1 + \delta_0) = \frac{P}{P_e^*} (y_1 + \delta_0)$$

(C-27)

$$\text{단, } P_e^* = \frac{P_e}{C^*}$$

$$P_e = \frac{EI_2 \pi^2}{L^2}$$

$$C^* = \frac{I_2}{I_1} \left(\sin \pi \frac{x}{L} - \pi \frac{l_2}{L} \frac{x}{L} \cos \pi \frac{l_1}{L} - \frac{x}{L} \sin \pi \frac{l_1}{L} \right) + \pi \frac{l_2}{L} \frac{x}{L} \cos \pi \frac{l_1}{L} + \frac{x}{L} \sin \pi \frac{l_2}{L}$$

(C-28)

식 C-27을 y_1 에 대하여 정리하면 추가 처짐량은 다음과 같다.

$$y_1 = \delta_0 \frac{\frac{P}{P_e^*}}{1 - \frac{P}{P_e^*}} = \delta_0 \frac{a^*}{1 - a^*}$$

(C-29)

$$\text{단 } a^* = \frac{P}{P_e^*}$$

최대변위 및 최대모멘트는 다음의 식과 같이 된다.

$$y_{\max} = y_1 + \delta_0 = \frac{1}{1-\alpha^*} \delta_0$$

(C-30)

$$M_{\max} = P y_{\max} = \frac{P \delta_0}{1-\alpha^*} = \frac{M_0}{1-\alpha^*}$$

(C-31)

이 된다. 식 C-31의 의미는 초기변형에 의한 모멘트 M_0 는 추가변형에 의하여 모멘트가 증대되고 증가되는 계수는 $1/(1-\alpha^*)$ 이다.

여 백

부록 D

파이프 서포트 검사성적서

KV4	-----	105
KV5	-----	111
KS5	-----	116
KV6	-----	121
KS6	-----	126
보조지주	-----	131
SV4	-----	136
HV5	-----	141

여 백

(V4)

시험체번호	KV4-N		일련번호		제 조 사		K 사			
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에				측정일자		1999. 7. 14.			
수 평 연 결	유, (무)				시험일자		1999. 7. 29.			
측 정 항 목			기 준 치		측 정 결 과 (mm)					
					1	2	3	4	5	평 균
					0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)			4,000mm이하		3998	3995	3997	3992	3994	3995
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이			280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상		280	282	282	281	281	281.2
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상			1697	1698	1699	1695	1696	1697
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상			60.6	60.25	60.04	60.5	60.5	60.38
	두 개	2.3±0.3mm 이상			2.15	2.15	2.2	2.1	2.15	2.15
내 관	길이(mm)				2599	2600	2600	2599	2600	2600
	바깥지름	48.6±0.3mm이상			48.6	48.55	48.4	48.6	48.55	48.54
	두 개	2.5±0.3mm이상			2.3	2.35	2.35	2.3	2.35	2.33
지지판의 지름			11.0mm 이상							
받 이 판 바 닥 판	두 개	5.4mm 이상			5.5	5.5	5.45	5.5	5.45	5.48
	두 개	5.4mm 이상			5.6	5.7	5.5	5.6	5.65	5.61
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개								
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개								
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)					93	103	113	94	92	99
초 기 변 위 (mm)										
비 고										
최 대 강 도 (tonf)					0.858	0.858	0.871	0.883	0.92	0.878
최대 강도시 변위 (mm)					10.86	9.33	11.07	17.71	9.89	11.77

(V4)

시험체번호		KV4-P	일련번호		제 조 사		K 사	
구 속 조 건		나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자		1999. 7. 14.	
수 평 연 결		유,(무)			시험일자		1999. 7. 28.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0		
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	3994	3997	3996		3996
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	280	280	284	279		280.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1698	1694	1699	1698		1697
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.45	60.5	60.4	60.1		60.36
	두 겹	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2600	2600	2600	2600		2600
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.5	48.4	48.55	48.45		48.48
	두 겹	2.5±0.3mm이상	2.5	2.65	2.45			2.533
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상	5.5	5.65	5.4	5.4		5.488
	두 겹	5.4mm 이상	5.5	5.55	5.7	5.5		5.563
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			86	103	116	78		95.75
초 기 변 위 (mm)			22.5	15	21	10.5		17.25
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			2.97	3.35	3.84	3.46		3.405
최대 강도시 변위 (mm)			4.01	4.81	8.12	6.47		5.853

(V4)

시험체번호	KV4-P-R,B		일련번호		제 조 사	K 사		
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에				측정일자	1999. 7. 14.		
수 평 연 결	유.(무)				시험일자	1999. 7. 28.		
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			R	B				
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	3997				3997
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	284	279				281.5
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1695	1697				1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.25	60.45				60.35
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2600	2598				2599
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.7	48.5				48.6
	두께	2.5±0.3mm이상	2.4	2.3				2.35
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.45				5.5
	두께	5.4mm 이상	5.5	5.6				5.55
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			84	76				
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			3.15	2.26				2.705
최대 강도시 변위 (mm)			4.79	9.07				6.93

(V4)

시험체번호	KV4-P-T		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)					측정일자	1999. 7. 14.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 7. 28.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	3996	3999			3997
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	281	280	279			280
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1697	1695	1699			1697
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.25	60.25	60.2			60.23
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2600	2599	2598			2599
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.45	48.55	48.55			48.52
	두께	2.5±0.3mm이상	2.45	2.3	2.8			2.517
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.45	5.5	5.65			5.533
	두께	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.65			5.55
	물트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			98	98	99			98.33
초 기 변 위 (mm)			36	17	23			25.33
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			2.11	2.65	2.26			2.34
최대 강도시 변위 (mm)			5.67	6.48	5.17			5.773

(V4)

시험채번호	KV4-P-L		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 14.	
수 평 연 결	(유), 무					시험일자	1999. 7. 28.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	R	B	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3997	3994	3989	3999	3994	3995
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	282	283	283	283	282.6
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1699	1698	1698	1700	1696	1698
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.15	60.5	60.3	60.25	60.34
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2599	2599	2598	2600	2600	2599
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.45	48.5	48.5	48.6	47.5	48.31
	두께	2.5±0.3mm이상	2.5	2.5	2.3	2.3	2.5	2.42
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.52
	두께	5.4mm 이상	5.7	5.6	5.7	5.5	5.5	5.6
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
전폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			106	85	70	102	81	88.8
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			3.78	4.38	3.94	3.74	2.29	3.626
최대 강도시 변위 (mm)			9.67	12.22	9.99	10.26	12.32	10.89

(V4)

시험체번호	KV4-P-TL	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자	1999. 7. 14.			
수 평 연 결	(유), 무			시험일자	1999. 7. 28.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			L1	L1	L1			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	3997	3996			3996
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이 가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	283	283			282.7
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1697	1696	1694			1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.4	60.35			60.38
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관			2599	2598	2599			2599
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.4	48.5	48.5			48.47
	두께	2.5±0.3mm이상	2.3	2.4	2.3			2.333
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.75	5.6	5.55			5.633
	두께	5.4mm 이상	5.5	5.55	5.5			5.517
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			100	90	105			98.33
초 기 변 위 (mm)								
비 고			KV4-P-TL-3 : 나사부분 파손					
최 대 강 도 (tonf)			3.72	4.43	4.39			4.18
최대 강도시 변위 (mm)			14.01	17.96	18.77			16.91

(V5)

시험체번호	KV5-N		일련번호		제 조 사		K 사	
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에				측정일자		1999. 7. 14.	
수 평 연 결	유, (무)				시험일자		1999. 8. 2.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5000	5000	4998	5000	5000	5000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	283	275	277	280	281	279.2
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2199	2197	2194	2197	2199	2197
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.4	60.4	60.2	60.45	60.37
	두께	2.3±0.3mm 이상	2.15	2.25	2.2	2.25	2.15	2.2
내 관	길이(mm)		3112	3098	3102	3107	3109	3106
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.55	48.35	48.35	48.55	48.5	48.46
	두께	2.5±0.3mm이상	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.5	5.55	5.6	5.5	5.54
	두께	5.4mm 이상	5.55	5.5	5.55	5.55	5.5	5.53
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			102	128	112	109	108	111.8
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.57	0.55	0.56	0.59	0.58	0.57
최대 강도시 변위 (mm)			15.06	22.49	18.03	16.56	16.13	17.65

(V5)

시험채번호	KV5-P		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 14.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 7. 29.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5000	5000	5000	5000	5000	5000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	273	275	280	281	278.2
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2194	2197	2197	2196	2196	2196
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.1	60.25	60.45	60.25	60.29
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3109	3098	3100	3107	3110	3105
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.6	48.3	48.35	48.4	48.5	48.43
	두께	2.5±0.3mm이상	2.25	2.3	2.3	2.35	2.3	2.3
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.55	5.6	5.6	5.45	5.55
	두께	5.4mm 이상	5.5	5.55	5.5	5.55	5.55	5.53
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			122	125	110	112	118	117.4
초기변위(mm)			14	19	24	15	27	19.8
비 고								
최대강도 (tonf)			1.65	1.97	1.42	1.85	1.65	1.708
최대강도시 변위 (mm)			3.43	5.13	3.93	4.02	4.97	4.296

(V5)

시험체번호	KV5-P-R,B		일련번호		제 조 사		K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에				측정일자		1999. 7. 14.	
수 평 연 결	유, (무)				시험일자		1999. 7. 29.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			R	B				
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5000	5000				5000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	271	283				277
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2197	2196				2197
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.1	60.05				60.08
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3097	3108				3103
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.3	48.35				48.33
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.5				5.55
	두께	5.4mm 이상	5.45	5.55				5.5
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			121	112				116.5
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.51	1.83				1.67
최대 강도시 변위 (mm)			5.82	3.51				4.665

(V5)

시험체번호	KV5-P-T		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)					측정일자	1999. 7. 14.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 7. 31.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5000	5000	5000	5000	5000	5000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	286	284	278	283	277	281.6
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2196	2195	2195	2196	2195	2195
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.45	60.1	60.5	60.1	60.4	60.31
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3110	3108	3100	3108	3101	3105
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.5	48.55	48.35	48.4	48.3	48.42
	두께	2.5±0.3mm이상	2.35	2.35	2.4	2.3	2.3	2.34
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.45	5.5	5.6	5.6	5.54
	두께	5.4mm 이상	5.55	5.45	5.45	5.6	5.6	5.53
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			114	114	116	116	109	113.8
초 기 변 위 (mm)			14	19	24	15	27	19.8
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.63	1.21	1.19	1.41	1.38	1.364
최대 강도시 변위 (mm)			4.18	6.27	6.84	4.3	6.36	5.59

(V5)

시험체번호	KV5-P-L		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 14.	
수 평 연 결	(유), 무					시험일자	1999. 8. 2.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			L1	L2	L3			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4994	5000	5000			4998
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	275	279	274			276
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2189	2196	2196			2194
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.3	60.4			60.4
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3100	3099	3099			3099
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.3	48.25	48.35			48.3
	두께	2.5±0.3mm이상	2.4	2.3	2.3			2.333
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.5	5.6			5.567
	두께	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.5			5.5
	몰트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			107	109	100			105.3
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			4.49	4.44	4.15			4.36
최대 강도시 변위 (mm)			7.76	10.89	8.44			9.03

(V4)

시험체번호	KS5-N	일련번호				제 조 사	K 사	
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 15.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 8. 2.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3998	3995	3996	3996	3994	3996
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	1075	1071	1072	1073	1069	1072
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1696	1693	1696	1691	1696	1694
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.45	60.45	61	60.3	60.4	60.52
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2597	2598	2598	2598	2597	2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.3	48.55	48.45	48.5	48.5	48.46
	두께	2.5±0.3mm이상	2.3	2.25	2.3	2.25	2.3	2.28
지지편의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	두께	5.4mm 이상	5.6	5.75	5.6	5.6	5.6	5.63
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			54	58	60	51	58	56.2
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.57	0.61	0.53	0.59	0.56	0.572
최대 강도시 변위 (mm)			22.49	1.39	17.76	17.3	13.47	14.48

(V4)

시험체번호	KS5-P	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+엣에	측정일자	1999. 7. 15.					
수 평 연 결	유, (무)	시험일자	1999. 7. 29.					
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3994	3997	3995	3991	3995	3994
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	1070	1074	1073	1066	1068	1070
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1694	1693	1697	1694	1700	1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.1	60.4	60.3	60.5	60.5	60.36
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2599	2599	2598	2597	2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.4	48.55	48.5	48.5	48.5	48.49
	두께	2.5±0.3mm이상	2.5	2.3	2.3	2.2	2.3	2.32
지지판의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.65	5.7	5.7	5.5	5.75	5.66
	두께	5.4mm 이상	5.8	5.8	5.7	5.6	5.7	5.72
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			65	63	85	50	75	67.6
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.92	1.89	3.61	2.31	2.24	2.394
최대 강도시 변위 (mm)			4.67	3.96	5.86	5.39	3.83	4.742

(V4)

시험체번호	KS5-P-R,B	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 7. 29.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			R	B				
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3990	3994				3992
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	1065	1068				1067
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1694	1697				1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.45				60.48
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2598				
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.6	48.7				48.65
	두께	2.5±0.3mm이상	2.25	2.4				2.325
지지판의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.45				5.475
	두께	5.4mm 이상	5.56	5.6				5.58
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			64	65				64.5
초 기 변 위 (mm)			6	19				12.5
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.73	1.95				1.84
최대 강도시 변위 (mm)			5.13	7.6				6.365

(V4)

시험체번호	KS5-P-T	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 7. 30.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3994	3995	3995	3992	3994	3994
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	1072	1070	1068	1067	1070	1069
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1697	1697	1697	1695	1695	1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.45	60.5	60.5	60.4	60.3	60.43
	두 겹	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2600	2598	2598	2598	2597	2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.6	48.5	48.8	48.8	48.7	48.68
	두 겹	2.5±0.3mm이상	2.4	2.5	2.6	2.3	2.3	2.42
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상						
	두 겹	5.4mm 이상	5.75	5.65	5.6	5.6	5.6	5.64
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			49	47	56	62	62	55.2
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.79	1.28	1.73	1.79	1.43	1.604
최대 강도시 변위 (mm)			5.35	6.98	5.46	5.94	4.4	5.626

(V4)

시험체번호	KS5-P-L	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	(유), 무			시험일자	1999. 8. 2.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			L1	L2	L3			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	3995	3991			3994
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	1073	1071	1064			1069
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1698	1697	1697			1697
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.3	60.5	60.4			60.4
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2598	2595			2597
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.8	48.7	48.7			48.73
	두께	2.5±0.3mm이상	2.6	2.4	2.5			2.5
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상						
	두께	5.4mm 이상	5.7	5.55	5.55			5.6
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			67	52	70			63
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			4.56	3.48	3.88			3.973
최대 강도시 변위 (mm)			9.05	8.52	6.03			7.867

(V6)

시험체번호	KV6-N		일련번호		제 조 사		K 사	
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에				측정일자		1999. 7. 15.	
수 평 연 결	유, (무)				시험일자		1999. 8. 5.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5800	5800	5800	5800	5800	5800
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	477	476	472	475	481	476.2
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2199	2197	2197	2198	2199	2198
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.3	60.25	60.15	60.35	60.4	60.29
	두 겹	2.3±0.3mm 이상	2.1	2.15	2.2	2.1	2.2	2.15
내 관	길이(mm)		4102	4099	4102	4100	4110	4103
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.3	48.3	48.55	48.35	48.35	48.37
	두 겹	2.5±0.3mm이상	2.3	2.25	2.45	2.35	2.45	2.36
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상	5.55	5.5	5.5	5.55	5.45	5.51
	두 겹	5.4mm 이상	5.55	5.55	5.6	5.55	5.55	5.56
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			137	137	138	119	140	134.2
초 기 변 위 (mm)			16	21.5	16	13.5	13	16
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.44	0.42	0.44	0.45	0.42	0.434
최대 강도시 변위 (mm)			25.38	23.35	27.51	15.22	27.59	23.81

(V6)

시험체번호	KV6-P		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 15.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 8. 3.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5800	5800	5800	5800	5800	5800
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	469	483	482	484	482	480
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2193	2196	2197	2198	2197	2196
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	64	60.2	60.2	60.5	60.45	61.07
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		4097	4111	4111	4111	4111	4108
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.2	48.45	48.4	48.5	48.5	48.41
	두께	2.5±0.3mm이상	2.3	2.3	2.35	2.3	2.3	2.31
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받이판 바닥판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.5	5.5	5.5	5.55	5.53
	두께	5.4mm 이상	5.75	5.5	5.5	5.5	5.5	5.55
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			109	85	92	87	96	93.8
초기변위(mm)			26	25	15	28	16	22
비 고								
최대강도 (tonf)			1.34	1.78	1.79	1.19	1.63	1.546
최대강도시 변위 (mm)			4.6	6.32	5.75	4.58	3.53	4.956

(V6)

시험체번호	KV6-P-R,B		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 15.	
수 평 연 결	유, (무)					시험일자	1999. 8. 3.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			R	B				
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5800	5800				5800
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	480	476				478
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2194	2187				2191
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	62.5	65.5				64
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		4110	4110				4110
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.6	48.55				48.58
	두께	2.5±0.3mm이상	2.5	2.35				2.425
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.7	5.55				5.625
	두께	5.4mm 이상	5.6	5.7				5.65
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			115	108				111.5
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.69	1.44				1.565
최대 강도시 변위 (mm)			4.92	3.61				4.265

(V6)

시험체번호	KV6-P-T		일련번호		제 조 사		K 사	
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+명예)				측정일자		1999. 7. 15.	
수 평 연 결	유, (무)				시험일자		1999. 8. 4.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5800	5800	5800	5800	5800	5800
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	472	472	480	474	476	474.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2195	2195	2196	2193	2195	2195
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	64	64	64.5	60.55	60.45	62.7
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		4099	4100	4110	4100	4101	4102
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.4	48.4	48.4	48.3	48.3	48.36
	두께	2.5±0.3mm이상	2.55	2.25	2.4			2.4
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.7	5.75	5.75	5.5	5.55	5.65
	두께	5.4mm 이상	5.65	5.6	5.6	5.5	5.55	5.58
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			95	69	83	68	85	80
초 기 변 위 (mm)			17		22	18	21	19.5
비 고								
최 · 대 강 도 (tonf)			1.27	1.18	0.85	1.08	1.17	1.11
최대 강도시 변위 (mm)			3.89	4.3	8.82	5.61	6.27	5.778

(V6)

시험체번호	KV6-P-L		일련번호			제 조 사	K 사	
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에					측정일자	1999. 7. 15.	
수 평 연 결	(유), 무					시험일자	1999. 8. 4.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			L1	L2	L3			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5800	5800	5800			5800
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	482	481	480			481
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2197	2197	2197			2197
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.3	60.55			60.45
	두 개	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		4111	4110	4111			4111
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.4	48.4	48.45			48.42
	두 개	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 개	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.5			5.5
	두 개	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.55			5.517
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			88	104	105			99
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			4.71	3.27	3.11			3.697
최대 강도시 변위 (mm)			14.27	7.92	7.04			9.743

(V4)

시험체번호	KS6-N	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 5.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3993	3989	3991	3994	3996	3993
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	281	278	280	277	279	279
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1695	1692	1694	1693	1699	1695
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.5	60.25	60.2	60.15	60.3
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2599	2596	2598	2596	2598	2597
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.5	48.5	48.65	48.6	48.4	48.53
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.45	5.5	5.5	5.5	5.51
	두께	5.4mm 이상	5.55	5.55	5.65	5.6	5.55	5.58
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			63	95	85	62	65	74
초 기 변 위(mm)			26.5	29	30	28	27	28.1
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.4	0.37	0.39	0.39	0.39	0.388
최대 강도시 변위 (mm)			25.7	24.43	25.09	27	26.1	25.66

(V4)

시험체번호	KS6-P	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5791	5789	5786	5794	5793	5791
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	281	282	281	281	281	281.2
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1694	1696	1693	1697	1697	1695
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.6	60.4	60.5	60.5	60.5	60.5
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2598	2598	2598	2597	2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.5	48.55	48.55	48.5	48.45	48.51
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.6	5.45	5.45	5.4	5.48
	두께	5.4mm 이상	5.55	5.55	5.55	5.5	5.6	5.55
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			185	170	176	130	162	164.6
초 기 변 위 (mm)			22	9.5	21	16	20	17.7
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.27	1.33	1.16	1.42	1.09	1.254
최대 강도시 범위 (mm)			3.21	3.61	2.86	4.64	4.53	3.77

(V4)

시험체번호	KS6-P-R,B	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			R	B				
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5792	5788				5790
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	281				281.5
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1697	1694				1696
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.4				60.45
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2597				2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.55	48.5				48.53
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.5				5.525
	두께	5.4mm 이상	5.65	5.6				5.625
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			172	222				197
초 기 변 위 (mm)			20	14				17
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.39	1.52				1.455
최대 강도시 변위 (mm)			3.48	4.73				4.105

(V4)

시험체번호	KS6-P-T		일련번호		제 조 사	K 사		
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)				측정일자	1999. 7. 15.		
수 평 연 결	유, (무)				시험일자	1999. 8. 4.		
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5789	5789	5789	5791	5793	5790
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	281	282	281	283	281.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1694	1694	1693	1694	1697	1694
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.5	60.4	60.5	60.5	60.5	60.48
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2598	2597	2598	2598	2598	2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.4	48.4	48.4	48.6	48.5	48.46
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.7	5.7	5.5	5.55	5.45	5.58
	두께	5.4mm 이상	5.7	5.6	5.65	5.7	5.5	5.63
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			150	180	140	178	175	164.6
초 기 변 위 (mm)			17		9	11	17	13.5
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.13	1.26	1.47	1	0.9	1.152
최대 강도시 변위 (mm)			4.55	4.28	4.84	5.18	3.76	4.522

(V4)

시험체번호	KS6-P-L	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	(유), 무			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			L1	L2	L3			
최대사용길이(L)		4,000mm이하	5790	5793	5792			5792
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	282	281	281			281.3
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1697	1697	1696			1697
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.25	60.1	60.3			60.22
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2599	2598	2598			2598
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.6	48.55	48.55			48.57
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.6	5.55			5.55
	두께	5.4mm 이상	5.6	5.5	5.65			5.583
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			167	160	160			162.3
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			4.6	2.21	2.25			3.02
최대 강도시 변위 (mm)			15.33	6.77	7.41			9.837

보조지주

시험체번호	KS5-N	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 2.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1794	1794	1795	1793	1794
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.4	48.5	48.5	48.5	48.6	48.5
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	200	200	200
지지편의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.6	5.5	5.55	5.55	5.56
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS5-P	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 7. 29.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1795	1795	1793	1793	1794
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.4	48.4	48.5	48.6	48.5	48.48
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	200	200	200
지지편의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.55	5.55	5.55	5.55	5.54
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS5-P-R,B	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 7. 29.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1794				1795
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.5	48.55				48.53
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200				200
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.5				5.5
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS5-P-T	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 7. 30.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1795	1794	1794	1795	1795
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.4	48.45	48.4	48.35	48.4	48.4
	두 개	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	200	201	200.2
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두 개	5.4mm 이상	5.35	5.5	5.5	5.4	5.6	5.47
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS5-P-L	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	(유), 무			시험일자	1999. 8. 2.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1794	1794			1794
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.45	48.55	48.6			48.53
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	201	200	200			200.3
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.45	5.4	5.4			5.417
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS6-N	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 5.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1792	1794	1793	1794	1793	1793
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.5	48.4	48.45	48.5	48.3	48.43
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	200	201	200.2
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.5	5.4	5.6	5.4	5.49
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS6-P	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유. (무)			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1794	1793	1794	1794	1794
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.4	48.45	48.55	48.45	48.4	48.45
	두 개	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	200	200	200
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두 개	5.4mm 이상	5.55	5.45	5.4	5.6	5.4	5.48
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS6-P-R,B	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1795	1795				1795
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.5	48.45				48.48
	두께	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200				200
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두께	5.4mm 이상	5.55	5.55				5.55
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS6-P-T	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	유, (무)			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1794	1795	1795	1795	1795	1795
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.45	48.7	48.45	48.6	48.5	48.54
	두 겹	2.2±0.3mm이상	2.3	2.35	2.4	2.35	2.4	2.36
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200	199	199	199.6
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두 겹	5.4mm 이상	5.4	5.5	5.5	5.5	5.4	5.46
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

보조지주

시험체번호	KS6-P-L	일련번호		제 조 사	K 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 7. 15.			
수 평 연 결	(유), 무			시험일자	1999. 8. 4.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
최대사용길이(L)		1,800mm이하	1794	1795	1794			1794
주 관	바깥지름	48.3±0.3mm이상	48.4	48.55	48.55			48.5
	두 겹	2.2±0.3mm이상						
삽입나사부 길이		200mm 이상	200	200	200			200
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판	두 겹	5.4mm 이상	5.5	5.5	5.5			5.5
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
비 고								

(V4)

시험체번호	SV4-N		일련번호		제 조 사		S 사	
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에				측정일자		1999. 9. 10.	
수 평 연 결	유,(무)				시험일자		1999. 9. 28.	
측 정 항 목		가 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4000	4000	4000	4000	4000	4000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	284	284	284	284	283	284
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1704	1703	1703	1704	1703	1703
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.75	60	60.6	60.5	60.35	60.44
	두 겹	2.3±0.3mm 이상	2.4	2.2	2.4	2.4	2.4	2.36
내 관	길이(mm)		2612	2612	2612	2613	2613	2612
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.8	48.75	48.7	48.15	48.6	48.6
	두 겹	2.5±0.3mm이상	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.38
지지판의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상	5.65	5.9	5.5	5.9	5.9	5.77
	두 겹	5.4mm 이상	6.1	6	5.85	5.6	5.6	5.83
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			100	103	114	96	119	106.4
초 기 변 위 (mm)			22	15.4	14.8	13.5	25.5	18.24
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.96	0.93	0.91	0.93	0.83	0.912
최대 강도시 변위 (mm)			10.98	5.25	12.2	8.81	11.52	9.752

(V4)

시험체번호	SV4-P	일련번호		제 조 사	S 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 9. 10.			
수 평 연 결	유,(무)			시험일자	1999. 9. 11.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	3996	4000	4000	4000	4000	3999
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	286	283	286	284	283	284.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1691	1703	1701	1701	1703	1698
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.25	60.4	60.4	60.35	60.6	60.4
	두 개	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2611	2610	2611	2610	2610	2610
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	49	49	48.75	48.8	48.65	48.84
	두 개	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상	11.9	11.8	11.85	11.85	11.85	11.85
받 이 판 바 닥 판	두 개	5.4mm 이상	6.1	5.9	5.6	5.8	6.25	5.93
	두 개	5.4mm 이상	5.65	5.6	5.9	5.8	5.9	5.77
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			66	98	98	102	102	93.2
초 기 변 위 (mm)			16	9.5	22.3	21	19.5	17.66
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			3.31	3.8	2.71	2.51	3.04	3.074
최대 강도시 변위 (mm)			9.93	8.57	5.95	5.88	6.12	7.29

(V4)

시험체번호	SV4-P	일련번호		제 조 사	S 사			
구 속 조 건	나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자	1999. 9. 10.			
수 평 연 결	유,(무)			시험일자	1999. 9. 21.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			6	7	8	9	10	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4000	4000	4000	4000	4000	4000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	289	285	286	285	287	286.3
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1710	1703	1701	1703	1703	1705
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.75	60.65	60.6	60.5	60.5	60.6
	두 개	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2612	2611	2612	2614	2612	2612
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.9	48.85	49	48.8	48.95	48.9
	두 개	2.5±0.3mm이상						
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두 개	5.4mm 이상	6	6.1	5.8	5.9	5.8	5.92
	두 개	5.4mm 이상	5.65	5.8	5.85	5.8	5.85	5.79
	몰트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구 멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			96	102	80	92	106	95.2
초 기 변 위(mm)			17	21.5	17.5	14	13.5	16.7
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			3.3	2.71	3.3	3.53	2.8	3.128
최대 강도시 변위 (mm)			7.23	5.98	6.72	8.27	6.59	6.958

(V4)

시험체번호	SV4-P-T		일련번호			제 조 사	S 사	
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)					측정일자	1999. 9. 10.	
수 평 연 결	유,(무)					시험일자	1999. 9. 11.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4000	4000	4000	4000	4000	4000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	283	287	287	286	287	285.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1701	1709	1700	1702	1699	1703
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.35	60.5	60.55	60.6	60.48
	두 겹	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2611	2612	2613	2612	2612	2612
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.65	48.7	48.75	48.75	48.85	48.74
	두 겹	2.5±0.3mm이상						
지지판의 지름		11.0mm 이상	11.85	11.85	11.85	11.8	12	11.87
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상	5.75	5.7	5.9	5.8	5.7	5.77
	두 겹	5.4mm 이상	5.9	5.9	5.75	5.6	5.8	5.79
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			103	109	102	98	96	101.6
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.89	2.28	2.33	1.68	2.89	2.214
최대 강도시 변위 (mm)			7.18	9.75	7.55	9.21	7.78	8.294

(V4)

시험체번호	SV4-P-T	일련번호		제 조 사	S 사			
구 속 조 건	나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자	1999. 9. 10.			
수 평 연 결	유,(무)			시험일자	1999. 9. 21.			
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			6	7	8	9	10	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4000	4000	4000	4000	4000	4000
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	283	287	287	286	287	285.8
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	1703	1705	1705	1702	1709	1704
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.4	60.4	60.6	60.6	60.4	60.48
	두 개	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		2612	2613	2613	2612	2610	2612
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.9	49	48.8	48.9	48.9	48.9
	두 개	2.5±0.3mm이상						
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
발 이 판 바 닥 판	두 개	5.4mm 이상	5.9	5.5	5.9	5.6	5.65	5.71
	두 개	5.4mm 이상	5.5	5.7	5.7	5.85	5.85	5.72
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			106	92	105	83	106	98.4
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			2.19	2.23	2.33	1.74	2.43	2.184
최대 강도시 변위 (mm)			10.22	8.02	9.25	14.72	9.88	10.42

(V5)

시험체번호	HV5-N		일련번호			제 조 사	H 사	
구 속 조 건	(나이프에지), 평판, 평판+멍에					측정일자	1999. 9. 10.	
수 평 연 결	유,(무)					시험일자	1999. 9. 28.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4933	4935	4935	4938	4939	4936
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	254	254	255	254	254	254.3
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2201	2204	2202	2206	2203	2202
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.25	60.75	60.8	60.9	60.85	60.71
	두께	2.3±0.3mm 이상	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
내 관	길이(mm)		3010	3009	3010	3010	3010	3010
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.55	48.5	48.7	48.65	48.75	48.63
	두께	2.5±0.3mm이상	2.5	2.4	2.45	2.4	2.55	2.46
지지핀의 지름		11.0mm 이상						
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.5	5.35	5.5	5.55	5.5	5.48
	두께	5.4mm 이상	5.4	5.35	5.6	5.6	5.4	5.47
	볼트구멍	Φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	Φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			79	73	72	112	73	81.8
초 기 변 위 (mm)			18.9	29	25.6	34.6	19.4	25.5
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			0.61	0.61	0.62	0.6	0.59	0.606
최대 강도시 변위 (mm)			18.55	16.5	12.94	18.02	20.61	17.32

(V5)

시험체번호		HV5-P	일련번호		제 조 사		H 사	
구 속 조 건		나이프에지, (평판), 평판+멍에			측정일자		1999. 9. 10.	
수 평 연 결		유,(무)			시험일자		1999. 9. 11.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4939	4939	4938	4940	4935	4938
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	253	253	253	254	254	253.3
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2207	2206	2207	2206	2203	2207
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.35	60.75	60.75	60.15	60.7	60.54
	두께	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3010	3010	3009	3009	3010	3010
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.55	48.5	48.55	48.65	48.6	48.57
	두께	2.5±0.3mm이상						
지지핀의 지름		11.0mm 이상	11.6	11.75	11.95	11.6	11.85	11.75
받 이 판 바 닥 판	두께	5.4mm 이상	5.6	5.4	5.45	5.5	5.45	5.48
	두께	5.4mm 이상	5.3	5.5	5.4	5.55	5.45	5.44
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			117	118	82	100	97	102.8
초 기 변 위 (mm)			27	16	20.5	32	16	22.3
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.8	1.84	1.64	1.18	1.44	1.58
최대 강도시 변위 (mm)			4.14	3.97	3.91	6.31	4.79	4.624

(V5)

시험체번호		HV5-P-T	일련번호		제 조 사		H 사	
구 속 조 건		나이프에지, 평판, (평판+멍에)			측정일자		1999. 9. 10.	
수 평 연 결		유.(무)			시험일자		1999. 9. 11.	
측 정 항 목		기 준 치	측 정 결 과 (mm)					
			1	2	3	4	5	평 균
			0	0	0	0	0	
최대사용길이(L)		4,000mm이하	4939	4938	4937	4942	4934	4938
내관과 지지부분 파이프 겹침 길이		280mm(최대사용길이가 2,500mm미만일 때 150mm) 이상	256	251	251	251	254	252.3
외 관	길이(mm)	최대사용길이의 50%(그 수치가 1,600을 넘을때 1,600) 이상	2207	2204	2204	2205	2201	2205
	바깥지름	60.5±0.3mm 이상	60.6	60.85	60.6	60.4	60.7	60.63
	두 겹	2.3±0.3mm 이상						
내 관	길이(mm)		3011	3009	3008	3011	3009	3010
	바깥지름	48.6±0.3mm이상	48.7	48.5	48.5	48.5	48.5	48.54
	두 겹	2.5±0.3mm이상						
지지편의 지름		11.0mm 이상	11.15	12	11.8	11.8	11.6	11.67
받 이 판 바 닥 판	두 겹	5.4mm 이상	5.5	5.4	5.4	5.45	5.4	5.43
	두 겹	5.4mm 이상	5.35	5.5	5.5	5.6	5.3	5.45
	볼트구멍	φ12mm 이상 4개						
	못 구멍	φ4mm 이상 2개						
진폭(L/55=72.7, 90.9, 10.9mm이하)			95	120	85	84	113	99.4
초 기 변 위 (mm)								
비 고								
최 대 강 도 (tonf)			1.11	1.23	1.12	1.39	1.18	1.206
최대 강도시 변위 (mm)			6.3	4.21	7	4.9	6.27	5.736

감사의 글

본 연구과제의 원활한 수행을 위해 실험용 파이프써포트(시험편)를 무상으로 제공하여 주신 금강공업주식회사와 정건가설공업주식회사에 진심으로 감사를 드립니다.

파이프 써포트의 내력에 관한 연구
건설분야 연구보고서 (연구원 : 2000-19-139)

발 행 일 : 1999. 12. 31
발 행 인 : 원 장 정 호 근
연구책임자 : 책임연구원 최 순 주
발 행 처 : 한국산업안전공단
산업안전보건연구원
안전공학연구실
주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4
전 화 : (032)5100-851
F A X : (032)5100-867

인 쇄 처 : 영진인쇄사 (02)734-3713