

**방폐물 IP-2형 운반용기 안전성
입증시험 용역보고서**

**Contract Report for Safety Test of Type
IP-2 Radioactive Waste Transport Package**

KAERI

2007. 12.

한국원자력연구원
(주)코네스코퍼레이션

제 출 문

(주)코네스코퍼레이션사장 귀하

본 보고서를 “방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험” 용역의
결과보고서로 제출합니다.

2007. 12.

용역명 : 방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

용역기관 : 한국원자력연구원

용역책임자 : 이 주 권

용역참여자 : 서 기 석

방 경 석

최 우 식

임 남 진

남 경 오

요 약 문

방사성폐기물 IP-2형 운반용기는 국내외 법규에서 규정하는 직충 및 낙하시험조건에서 구조적 건전성이 입증되어야 한다. 본 과제의 목적은 직충 및 자유낙하 조건에서 운반용기의 안전성을 입증하는데 있다. IP-2형 운반용기의 0.9 m 낙하시험 및 직충시험을 수행하였으며, 각각의 시험 후 운반 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않았다. 또한, 운반용기 외부표면에서의 방사선량률이 20% 이상 증가할 수 있는 차폐 능력의 상실이 발생하지 않았다. 따라서 IP-2 운반용기는 직충 및 낙하시험 조건에서 구조적 건전성이 입증되었다. 본 연구 결과는 IP-2형 운반용기의 설계 자료로 활용될 예정이다.

Summary

Type IP-2 radioactive waste transport package is required to prove the safety under the stacking and free drop conditions according to the domestic and foreign related regulations. The objective of this project is to prove the structural integrities for the stacking and free drop conditions. Stacking and 0.9 m free drop tests were conducted for IP-2 transport package. After the safety tests, there were no loss or dispersal of radioactive contents, and no loss of shielding integrity which would result in more than 20 percents increase in the radiation level at the external surface of the package. Therefore, it was found that the structural integrities of the package were maintained under stacking and free drop conditions. It is expected that the results obtained from this project will be used as design data for the type IP-2 radioactive waste transport package.

- Contents -

Chapter 1. General Information	1
1. Overview of the Project	1
2. Objectives and Scope of the Project	1
3. Plan and Results of the Project	2
Chapter 2. Establishment of Safety Test Procedure	3
1. Requirement and Test Condition	3
2. Safety Test Model	5
3. Safety Test Method and Procedure	6
Chapter 3. Safety Test	15
1. Stacking Test	15
2. Drop Test	27
Chapter 4. Conclusions	75
References	77
Appendices	79

- 목 차 -

제 1 장 서 론	1
1. 용의 개요	1
2. 용역 목표 및 내용	1
3. 추진계획 및 실적	2
제 2 장 안전성 입증시험 절차수립	3
1. 기술기준 및 시험조건	3
가. 안전성시험 기술기준	3
나. 적응시험 조건	3
다. 낙하시험 조건	3
2. 안전성시험 모델	5
3. 안전성시험 방법 및 절차	6
나. 적응시험 방법 및 절차	6
가. 낙하시험 방법 및 절차	7
제 3 장 안전성 입증시험	15
1. 적응시험	15
가. 적응시험	15
나. 식층해석	23
다. 적응시험 결과 및 평가	26
2. 낙하시험	27
가. 바닥 수직낙하시험	27
나. 두께 수직낙하시험	36
다. 장변 수평낙하시험	45
라. 폭지점 낙하시험	54
마. 모서리 낙하시험	63
바. 낙하시험 결과 및 평가	73
제 4 장 결 론	75

참고문헌	77
부록	79
부록 1. 적중시험 절차서	80
부록 2. 낙하시험 절차서	90
부록 3. Quality Plan	103
부록 4. 적중시험 결과표	109
부록 5. 낙하시험 결과표	114



- 표 목 차 -

표 2-1 운반불의 중량에 따른 낙하시험 높이	4
표 2-2 IP-2 운반용기 시험모델의 세원	5
표 2-3 NI-PXI 데이터 취득시스템 사양	11
표 2-4 가속도 센서 사양	12
표 2-5 스트레인 게이지 사양	12
표 3-1 적층시험 시 변형률과 변위 측정결과	21
표 3-2 모서리 기둥의 변형률 및 변위의 계산과 시험결과 비교	21
표 3-3 적층시험 결과 요약	22
표 3-4 낙하시험 종류 및 시험모델	26
표 3-5 최대가속도 측정결과(바닥수직낙하조건)	33
표 3-6 최대변형률 측정결과(바닥수직낙하조건)	33
표 3-7 최대가속도 측정결과(뚜껑수직낙하조건)	42
표 3-8 최대변형률 측정결과(뚜껑수직낙하조건)	42
표 3-9 최대가속도 측정결과(정면수평낙하조건)	51
표 3-10 최대변형률 측정결과(상면수평낙하조건)	51
표 3-11 최대가속도 측정결과(꼭지점 낙하조건)	60
표 3-12 최대변형률 측정결과(꼭지점 낙하조건)	60
표 3-13 최대가속도 측정결과(모서리 낙하조건)	70
표 3-14 최대변형률 측정결과(모서리 낙하조건)	70
표 3-15 낙하시험 결과 요약	72

- 그림목차 -

그림 2-1 IP-2형 운반용기 시험모넵	5
그림 2-2 IP-2형 운반용기 적중시험	6
그림 2-3 운반용기 낙하시험설비	8
그림 2-4 낙하시험 설비 및 측정계통	9
그림 2-5 낙하시험 측정시스템	10
그림 2-6 센서 부착 그림	10
그림 2-7 NI PXI System 구성 및 데이터 취득 흐름도	11
그림 3-1 320L 드럼용 IP-2형 운반용기 적중시험	15
그림 3-2 레이저 변위센서 설치	15
그림 3-3 스트레인 게이지 설치	15
그림 3-4 레이저 변위센서 데이터 취득 장치	16
그림 3-5 스트레인 게이지 데이터 취득 장치	16
그림 3-6 #1 게이지에서의 Loading Strain 측정결과	17
그림 3-7 #1 게이지에서의 Unloading Strain 측정결과	17
그림 3-8 #2 게이지에서의 Loading Strain 측정결과	18
그림 3-9 #2 게이지에서의 Unloading Strain 측정결과	18
그림 3-10 레이저 변위센서의 Loading 변위 측정결과	19
그림 3-11 레이저 변위센서의 Unloading 변위측정 결과	19
그림 3-12 세로방향(x-방향)의 변형량 contour	23
그림 3-13 높이방향(y-방향)의 변형량 contour	23
그림 3-14 가로방향(z-방향)의 변형량 contour	24
그림 3-15 높이방향(y-방향)의 변형량 contour	24
그림 3-16 IP-2형 200리터 운반용기 바닥수직낙하시험	27
그림 3-17 바닥수직낙하 가속도센서 측정위치	28
그림 3-18 바닥수직낙하 변형률 측정위치 #1	28
그림 3-19 바닥수직낙하 변형률 측정위치 #2	28
그림 3-20 바닥수직낙하 볼트 변형률 측정위치	29
그림 3-21 바닥수직낙하에서의 가속도 측정결과 선도	30
그림 3-22 바닥수직낙하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	31
그림 3-23 바닥수직낙하의 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	31

그림 3-24 바닥수직낙하의 볼트 변형률 측정결과 선도	32
그림 3-25 바닥수직낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 선도	32
그림 3-26 내부검사에서 충격흡수용 고무패드 이탈	34
그림 3-27 내부검사에서 드럼 밴드(band) 변형	34
그림 3-28 IP-2형 200리터 운반용기 무정수직낙하시험	35
그림 3-29 무정수직낙하 가속도센서 측정위치	36
그림 3-30 무정수직낙하 스트레인 게이지 측정위치 #1	37
그림 3-31 무정수직낙하 스트레인 게이지 측정위치 #1	37
그림 3-32 무정수직낙하 볼트 변형률 측정위치	38
그림 3-33 무정수직낙하에서 가속도 측정결과 선도	39
그림 3-34 무정수직낙하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	40
그림 3-35 무정수직낙하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	40
그림 3-36 무정수직낙하에서의 볼트 변형률 측정결과 선도	41
그림 3-37 무정수직낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 선도	41
그림 3-38 드럼과 충돌로 인한 무정 프레임 변형	43
그림 3-39 드럼 밴드의 변형	43
그림 3-40 IP-2형 320리터 운반용기 장변 수평낙하시험	44
그림 3-41 장변수평낙하 가속도센서 측정위치	45
그림 3-42 장변수평낙하 스트레인 게이지 측정위치 #1	46
그림 3-43 장변수평낙하 스트레인 게이지 측정위치 #2	46
그림 3-44 장변수평낙하 볼트 변형률 측정위치	47
그림 3-45 장변수평낙하에서 가속도 측정결과 선도	48
그림 3-46 수평낙하에서 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	49
그림 3-47 수평낙하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	49
그림 3-48 수평낙하에서 볼트 변형률 측정결과 선도	50
그림 3-49 수평낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 측정결과 선도	50
그림 3-50 충격흡수용 고무 패드 이탈	52
그림 3-51 드럼 풀림으로 인한 밴드 변형	52
그림 3-52 IP-2형 320리터 운반용기 꼭지삼 낙하시험	53
그림 3-53 꼭지점낙하 가속도센서 측정위치 #1	54
그림 3-54 꼭지점낙하 가속도센서 측정위치 #2	55
그림 3-55 꼭지점낙하 스트레인 게이지 측정위치	55
그림 3-56 꼭지점 낙하시험에서 볼트 변형률 측정위치	56

그림 3-57	복사침 낙하에서 가속도 측정결과 선도	57
그림 3-58	복사침낙하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	58
그림 3-59	복사침낙하의 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	58
그림 3-60	복사침낙하에서 볼트 변형률 측정결과 선도	59
그림 3-61	복사침낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 측정결과 선도	59
그림 3-62	낙하중돌로 인한 복사리치 변형	61
그림 3-63	드럼 셀 부위의 부분 좌굴	61
그림 3-64	IP-2형 320리터 유반용기 모서리 낙하시험	62
그림 3-65	모서리낙하 가속도센서 측정위치 #1	63
그림 3-66	모서리낙하 가속도센서 측정위치 #2	64
그림 3-67	모서리낙하 스트레인 게이지 측정위치	64
그림 3-68	모서리낙하 볼트 변형률 측정위치	65
그림 3-69	모서리낙하에서 가속도 측정결과 선도	66
그림 3-70	모서리낙하에서 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	67
그림 3-71	모서리낙하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도	67
그림 3-72	모서리낙하의 볼트 변형률(#1, #2, #3, #4) 측정결과 선도	68
그림 3-73	모서리낙하에서 볼트 변형률(#5, #6) 측정결과 선도	68
그림 3-74	모서리낙하에서 볼트에 작용하는 축하중(#1, #2, #3, #4)	
	측정결과 선도	69
그림 3-75	모서리낙하에서 볼트에 작용하는 축하중(#5, #6) 측정결과 선도	69
그림 3-76	드럼 변형	71
그림 3-77	드럼 가속력 변형	71

제 1 장 서 론

IP-2형 운반용기는 국내 원자력발전소에서 발생한 중·저준위 방사성폐기물을 정전하여 운반하기 위한 용기로서 8개의 폐기물드럼을 운반할 수 있으며, 국내 과학기술부고시 제 2001-23호[1], IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1[2] 및 US NRC 10 CFR Part 71[3]의 기준에 맞도록 설계되었다.

안전성 입증시험의 목적은 운반 관련 기술기준 및 설계요건에 따른 중·저준위 방사성폐기물 IP-2형 운반용기의 구조적 안전성을 평가하는데 있다. 안전성시험은 국내 과기부고시 및 IAEA에 규정된 운반 관련 기술기준에 따라 적중시험 및 낙하시험을 수행하였다.

1. 용역 개요

- 용 역 명 : 병폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험
- 의뢰기관 : (주)코베스코퍼레이션
- 수행기관 : 한국원자력연구원
- 용역기간 : 2007. 5. 1 ~ 2007. 12. 31 (8개월)
- 용 역 비 : 70,000,000원

2. 용역목표 및 내용

- 용역 목표
 - 중·저준위 방사성폐기물의 해상 및 육상운반을 위한 IP-2형 운반용기의 구조분야 안전성시험
- 안전성시험 관련법규
 - 과학기술부고시 제 2001-23호
 - IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1
 - US NRC 10 CFR Part 71

ㄷ 용역 내용

1) 유방용기 안전성모델 설계노면 및 제좌도면 검토

- 안전성시험 도면 도면 검토
- 시험 적용성 검토 : 센서부착, 케이블 연결 및 모델용기 취급조건
- 낙하시험 방향 길잡이를 위한 낙하해적 결과 검토

2) 안전성시험 측정계통 구성 및 시험전처치 작성

- 안전성시험 측정계통 구성
- 격중시험 및 낙하시험 설치서 작성

3) 운반용기 안전성시험

- 0.9 m 자유낙하시험
- 변형률, 변형률, 가속도 측정
- 격중시험
- 안전성 입증시험 결과보고서 작성

3. 추진계획 및 실적

	2017년											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
안전성시험도면 설계도면 검토												
안전성시험도면 제좌도면 검토												
안전성시험 측정계통 구성 및 시험전처치서 작성												
낙하시험 및 격중시험												
시험보고서 작성 제출												

제 2 장 안전성 입증시험 절차수립

1. 기술기준 및 시험조건

가. 안전성시험 기술기준

IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1 및 국내 과기부고시 제 2001-23호에 규정되어 있는 IP-2형 운반용기의 주요 기술기준은 다음과 같다.

IP-2형 운반용기는 정상운반조건에 대한 입증시험 중 적중시험 및 낙하시험을 기전 후에 방사성 내용물의 유출 또는 분산이 없고 외부표면에서의 방사선양분이 20% 이상 증가할 수 있는 차폐 능력의 상실이 없어야 한다.

나. 적중시험 조건

IAEA 및 과기부고시에서는 운반용기가 위로 적중이 가능한 정상일 경우에 적중시험을 수행하도록 규정하고 있으며, 시험조건은 다음의 하중 중에서 큰 하중으로 시험물의 마수보는 양변에 균등하게 작용하도록 24시간 동안 압축하는 조건이다.

- 운반물 중량의 5배에 해당하는 하중
- 운반물의 수직투영 면적에 13 kPa을 압한 값에 해당하는 하중

IP-2형 운반용기의 최대 중량이 약 6.4톤이므로 5배에 해당하는 하중은 약 32톤이다. 운반용기의 수직투영 면적이 5.44 m (3.4 m x 1.6 m)이므로 수직 투영 면적에 13 kPa을 곱하면 적용 하중은 70,720 kN(약 7.2톤)이다. 따라서 운반물의 5배 하중이 훨씬 큰 하중이므로 운반물 중량의 5배 하중으로 24시간 동안 적중시험을 수행하여 안전성을 평가하였다.

다. 낙하시험 조건

법규에서 규정하는 낙하시험 조건은 표 2-1과 같이 운반용기의 중량에 따라 지정된 높이에서 자유낙하시키는 조건이다. 중·저준위 방사성폐기물 IP-2형 운반용기의 경우 운반용기 최대 중량이 약 6.4톤이므로 0.9 m 높이에

시 자유낙하시험을 수행하여 안전성을 평가하였다.

표 2-1 운반물의 중량에 따른 낙하시험 높이

운반물 중량 (kg)	자유낙하높이 (m)
운반물 중량 < 5,000	1.2
5,000 ≤ 운반물 중량 < 10,000	0.9
10,000 ≤ 운반물 중량 < 15,000	0.6
15,000 ≤ 운반물 중량	0.3



2. 안전성시험 모델

200리터 드럼 및 320리터 드럼용 IP-2형 운반용기의 실물크기 시험모델을 제작하여 원자력법에서 규정하는 시험조건에 따라 낙중시험 및 낙하시험을 수행하였다. 시험모델은 용기본체, 용기 뚜껑부, 상·하부 모서리쇠, 내부 상위용 드럼 등으로 구성되며, 표 2-2와 그림 2-1에는 해석대상 운반용기의 제원 및 형상을 나타내었다. 운반용기의 외형 치수는 3.4 m x 1.6 m x 1.2 m 이며, 내부 드럼을 포함한 총 운반용기의 중량은 200리터 드럼용 운반용기가 약 6.43톤, 320리터 드럼용 운반용기가 약 6.25톤이다.

표 2-2 IP-2 운반용기 시험모델의 제원

구 분	치 수
외형치수	3,400mm x 1,600mm x 1,200mm H
치폐 두께	12mm
상부 모서리쇠	172.5 x 157 x 116(H)
하부 모서리쇠	164.5 x 146 x 133.5(H)
200L-Drum	D386mm x H884mm x T1.2mm
320L-Drum	D680mm x H955mm x T1.2mm.

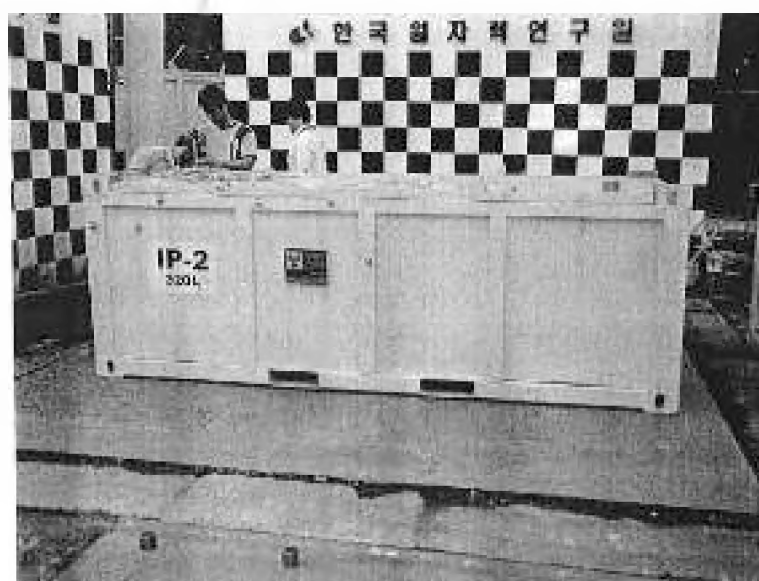


그림 2-1 IP-2형 운반용기 시험모델

3. 안전성시험 방법 및 절차

가. 적중시험 방법 및 절차

II-2형 운반용기의 적중시험 방법은 운반용기를 평평하고 단단한 바닥에 내려놓고 그림 2-2와 같이 운반용기 중량의 5배에 해당하는 하중체를 올려놓은 상태에서 24시간 동안 압축하는 시험이다. 320리터 드럼 운반용기의 시험모델에 대하여 적중시험을 수행하였으며, 하중체의 중량은 보수성을 감안하여 운반용기 중량의 5배보다 약간 부족한 32.6톤의 하중을 적용하였다.

부록 1의 적중시험 절차서에 따라 시험을 수행하여 운반용기의 건전성을 평가하였다. 시험모델 내부에는 8개의 모의 드럼을 장착하였으며, 29.5 kgf·m의 토크로 뚜껑 볼트를 체결하였다. 적중시험 시 시험모델의 모서리 기능에 레이저 변위센서 및 스트레인게이지를 설치하여 모서리 기능의 변형량 및 변형률을 측정하여 해석검증 자료를 생산하였다.

적중시험에 대한 평가는 시험 후 용기 뚜껑 볼트의 체결상태 및 플러그토크, 본체와 뚜껑 사이의 간극을 측정하여 방사성물질의 유출 또는 분산 여부를 판정하였다. 또한, 초음파 두께 측정기를 이용한 시험 전후의 차폐체 두께 측정 및 주요 부위에 대한 치수변화를 측정하여 용기 표면신장률이 20% 이상 증가하는 차폐손실 여부를 판정하였다.

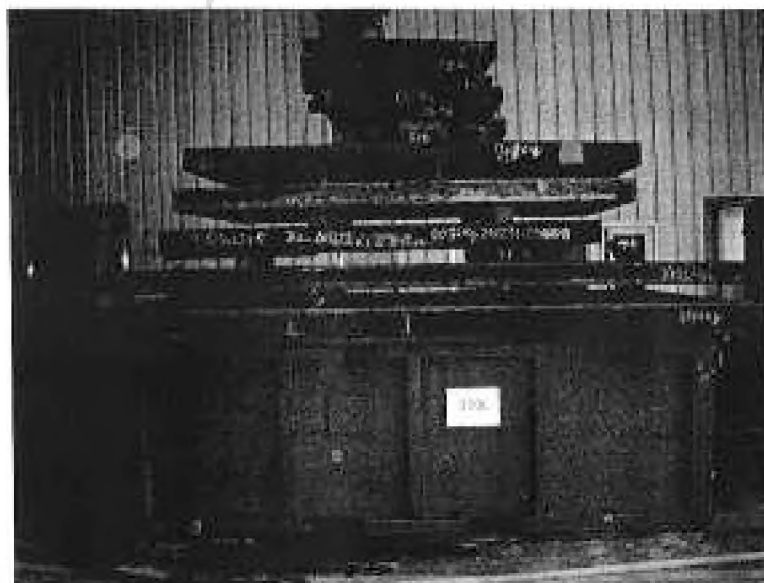


그림 2-2 II-2형 운반용기 적중시험

나. 낙하시험 방법 및 절차

IR-2형 운반용기의 낙하시험은 200리터 드럼 운반용기 시험모델에 대하여 바닥 및 뚜껑 수직낙하시험을 수행하였다. 또한, 320리터 드럼 운반용기 시험모델에 대하여 수평, 꼭지점 및 모서리 낙하시험 등 총 5종류의 방향에 대하여 0.9 m 높이에서 자유낙하시험을 실시하였다.

부록 2의 낙하시험 절차서에 따라 낙하시험을 수행하여 운반용기의 안전성을 평가하였다. 시험모델 내부에는 각각 8개의 모의 드럼을 장착하였으며, 29.5 kgf·m의 토크로 뚜껑 볼트를 체결하였다. 시험모델의 주요 부위에 스트레인 게이지 및 가속도 센서를 설치하고 뚜껑 살브에는 볼트센서를 설치하여 변형률, 가속도 및 볼트의 연장률을 측정하였다. 시험 전후에 주요부위의 치수, 자체계 두께, 본체와 뚜껑 사이의 간극 등을 측정하였다. 또한, 시험 후에는 뚜껑 볼트의 풀림 토크를 측정하였다.

1) 낙하시험 설비 및 측정계통

중·저준위 방사성폐기물 IR-2형 운반용기의 낙하시험은 한국원자력연구원 내의 수송용기 안전성시험시설에 설치된 낙하시험설비를 이용하였다. 낙하설비는 16면 23과 같이 낙하타워, 10톤 용량의 호이스트, Release mechanism, 낙하타깃 등으로 구성된다.

낙하타워는 H-beam truss구조의 구조물로 crane hook와 다졌의 높이가 15 m이며, 하부 8 m×8 m, 상부 4 m×4 m의 구조로 되어 있다. 낙하타깃은 강판 및 철근 강화 콘크리트의 구조로 강판 4 m×4 m×0.1 m, 철근강화콘크리트 5 m×5 m×1.5 m의 구조로 중량이 103 톤이다. 낙하타깃에는 10톤 용량의 호이스트와 2.8톤 및 5톤 용량의 보조크레인이 설치되어있다. 자유낙하를 위한 Release mechanism은 Opening Tung Type의 구조에 전기로 제어하는 유압으로 작동된다.

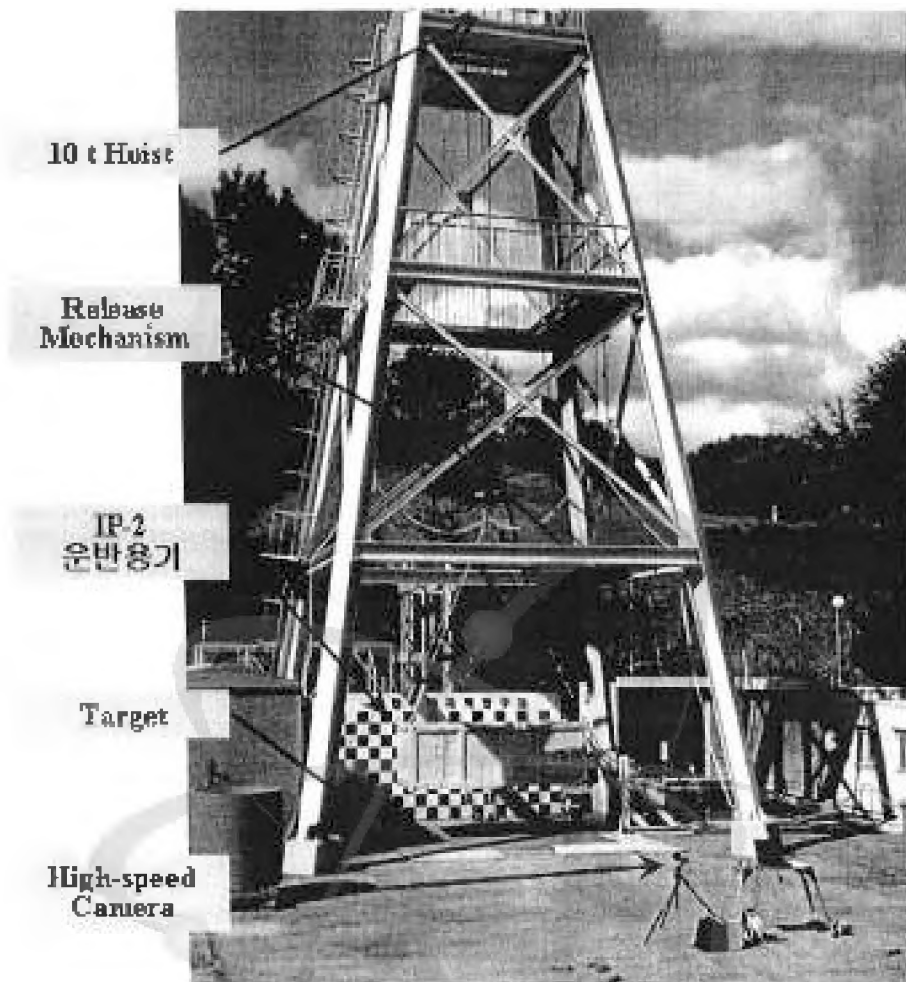


그림 2-3 운반용기 낙하시험설비

그림 2-4는 IP-2형 운반용기의 낙하시험 설비 및 측정계통을 나타내며, 낙하설비를 이용하여 시험모형을 0.9 m 높이까지 위양하여 낙하 타겟에 자유낙하시킨다. 낙하시험 조건에서 운반용기의 변형률 및 가속도, 붕괴인장력을 측정하기 위하여 스트레인 게이지 및 가속도 센서, 붕트 센서를 부착하였다. 이러한 센서로부터 낙하시험을 실시하는 도중에 데이터를 취득 저장하기 위한 데이터 취득/저장 시스템으로 구성된다.

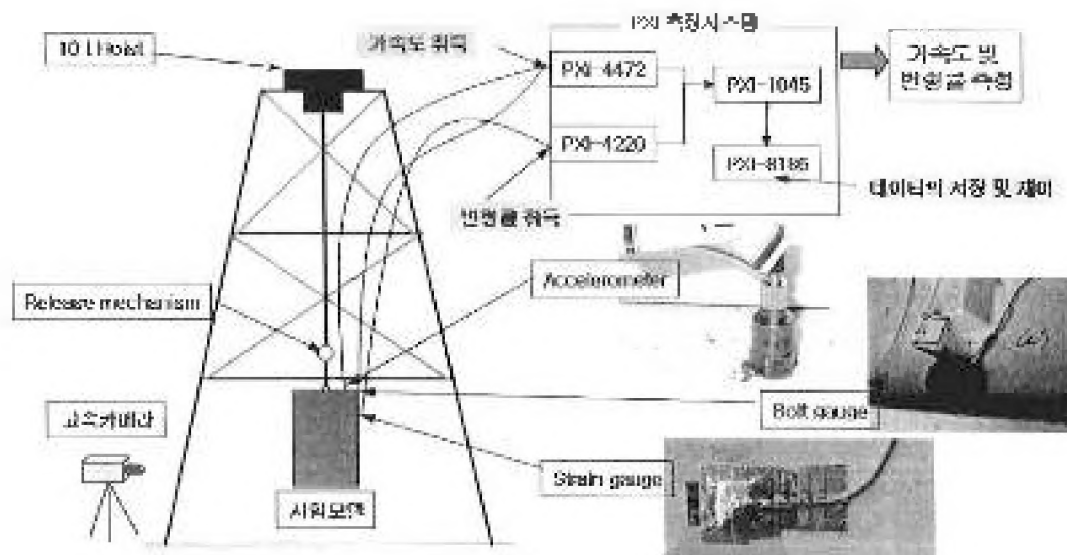


그림 2-4 낙하시험 설계 및 측정시스템

그림 2-5는 데이터 취득/저장 시스템이다. NI사의 PXI 시스템으로 총 14개의 변형률과 16개의 가속도를 측정할 수 있다. PXI-1045의 18-slot chassis에 로컬제어를 위한 Windows XP 기반의 2.2 GHz processor와 1 GB의 DDR RAM을 가진 PXI-8186 embedded controller가 탑재되어 변형률 취득을 위한 모듈인 PXI-4220(7개 모듈, 총 14채널)과 가속도 취득을 위한 PXI-4472B 모듈(2개 모듈, 총 16채널)을 이용하여 변형률 및 가속도를 취득한다. 원격제어를 위하여 PCG-GRT40ZLP 모델이 Ethernet으로 연결된다.

PXI-4220 모듈은 2채널의 변형률 증폭/취득모듈(strain gauge amplifier/conditioner module)로 채널당 200 KHz의 대역폭이 가능하다. PXI-4472B 모듈은 24 bit 해상도에 110 dB 동적범위에서 1024 kS/s의 최대 sampling rate을 갖는 가속도를 취득하기 위한 모듈이다. 이러한 측정시스템을 운용하기 위하여 National Instrument사의 Labview 프로그램을 이용하여 작성한 시험제어 프로그램을 사용한다. 이 프로그램은 크게 데이터의 취득 및 저장을 위한 부분과 저장된 데이터를 충돌시간 동안의 데이터만을 추출하거나 주파수 분석 및 필터링 등을 실시하는 분석 부분으로 나누어진다. 데이터의 취득 및 저장을 위한 부분은 다시 데이터의 취득 및 저장을 위한 센서에 대한 변수와 저장파일 이름과 같은 기타 각종 변수들의 셋업을 위한 부분, 취득한 데이터를 모니터링하는 부분으로 구성된다. 그림

2-6은 가속도 센서, 스트레인 게이지, 볼트 센서를 장착한 모습이다. 그림 2-7은 NI-PXI 장비의 데이터 취득 시스템이다. 표 2-3은 NI-PXI 장비 사양, 표 2-4 및 2-5는 각각 가속도 센서 그리고 스트레인 게이지 사양을 보여주고 있다.

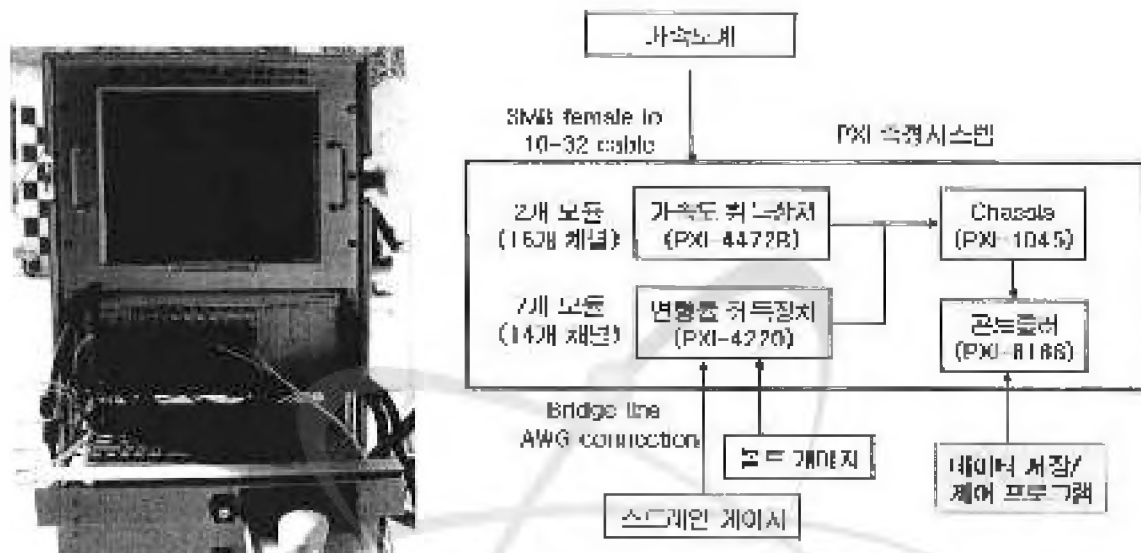


그림 2-5 낙하시험 측정시스템

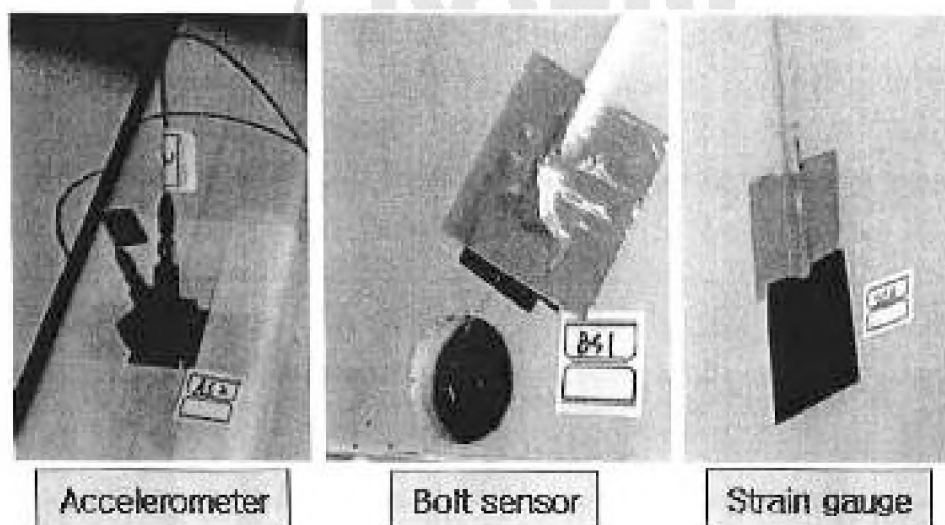


그림 2-6 센서 부착 그림

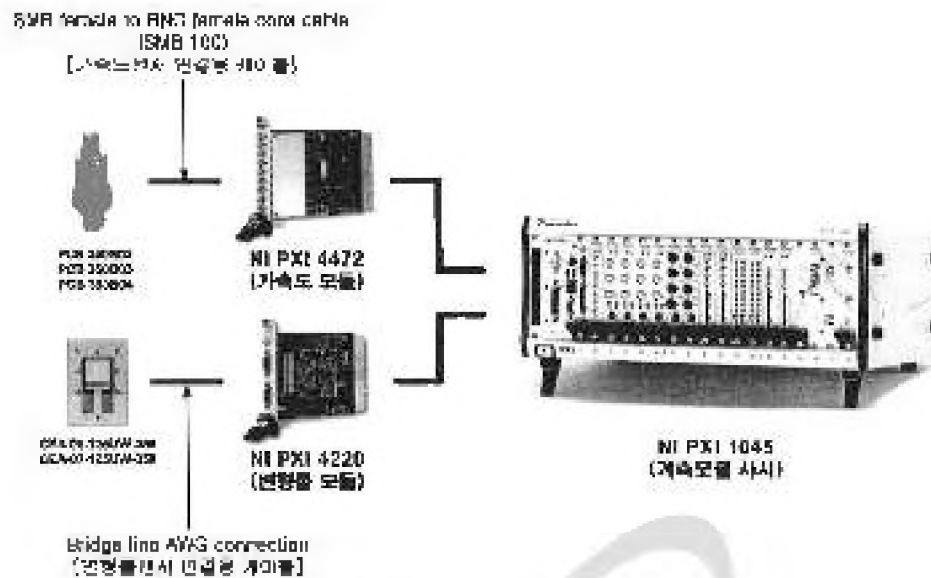


그림 2-7 NI PXI System 구성 및 데이터 취득 흐름도

표 2-3 NI-PXI 데이터 취득시스템 사양

Model	Specification
NI PXI 1045 (차시)	• 18-슬롯 PXI 차시 • 3U PXI 와 3U Compact PCI modules 모두 가능 • bus segments와 trigger routing 사이의 프로그래밍화 가능 • External 10 MHz reference clock with BNC I/O connectors • High-performance power supply with universal AC input • 0 - 55 °C operating Temp. range • Temperature controlled fan speed
NI PXI 4472 (가속도 계측)	• 24-bit resolution • 110 dB dynamic range • 1024 kS/s maximum sampling rate • 45 kHz alias-free bandwidth • ± 10 V range • AC/DC coupling • IEPE conditioning - software configurable • Multiple-device synchronization • 8 simultaneously sampled analog inputs, vibration measurement
NI PXI 4220 (변형률 계측)	• Direct sensor/signal connectivity • 200 kS/s, 16-bit resolution • Self-calibration for accuracy over time • Input range : 10.01 V to ± 10 V • Analog Input : Quarter, Half, Full bridge

표 2-4 가속도 센서 사양

Model	Specification
PCB 350B02	- 민감도: ($\pm 30\%$) 0.1 mV/g (0.01 mV/(m/s²)) - 측정범위: ± 50000 g pk (± 490000 m/s² pk) - Frequency Range: (± 1dB) 4 to 10000 Hz - Mechanical Filter Resonant Frequency: 23 kHz - Weight: (without cable) 0.15 oz (4.2 gm)
PCB 350B03	- 민감도: ($\pm 30\%$) 0.5 mV/g (0.05 mV/(m/s²)) - 측정범위: ± 10000 g pk (± 98000 m/s² pk) - Frequency Range: (± 1dB) 0.4 to 10000 Hz - Mechanical Filter Resonant Frequency: 23 kHz - Weight: 0.16 oz (4.5 gm)
PCB 350B04	- 민감도: ($\pm 30\%$) 1.0 mV/g (0.10 mV/(m/s²)) - 측정범위: 15000 g pk (± 49000 m/s² pk) - Frequency Range: (± 1dB) 0.4 to 10000 Hz - Mechanical Filter Resonant Frequency: 23 kHz - Weight: 0.16 oz (4.5 gm)

표 2-5 스트레인 게이지 사양

Model	Specification
탄소강용 (CRA-406-125UW-350)	- 적용 : 일반적인 목적의 정적 및 동적 거동/변형률 - Type : uni-axial - 게이지 길이 × 전체 길이 : 3.18 × 8.26mm - Resistance : 350 Ohms$\pm 0.3\%$ - Gauge factor : 2.120
스테인레스강용 (CRA-409-125UW-350)	- 적용 : 일반적인 목적의 정적 및 동적 거동/변형률 - Type : uni-axial - 게이지 길이 × 전체 길이 : 3.18 × 8.26mm - Resistance : 350 Ohms$\pm 0.3\%$ - Gauge factor : 2.120

2) 낙하시험 평가방법

200리터 및 320리터 드럼 운반용기에 대하여 낙하방향을 달리하여 총 3회의 낙하시험을 수행하였다. 각각의 낙하시험에 대하여 시험모델의 변형률, 가속도 및 뚜껑 볼트의 인장력을 측정함으로써 해석검증 자료를 생산하였다.

낙하시험 후에는 먼저 육안검사를 실시하여 운반용기 주요부위의 변형이나 결함여부를 확인하였다. 운반 내용물의 유실 및 분산 여부는 시험모델 뚜껑 볼트의 풀림 토크를 측정하고, 뚜껑과 본체사이의 간극을 시험 전후에 측정하여 평가하였다. 또한, 운반용기 내부의 드럼의 뚜껑 체결 상태를 확인하고 드럼 내부 내용물의 유실 및 분산 여부를 확인하였다. 운반용기의 차폐손실 여부는 낙하시험 전후 운반용기의 지수측정 및 초음파 측정기를 이용한 차폐체 두께를 측정함으로써 평가하였다.



제 3 장 안전성 입증시험

승·저운위 방사성폐기물 IP-2형 운반용기의 구조안전성 평가를 위해 안전성 입증시험을 수행하였다. 안전성 입증시험은 IAEA Safety Standards Series, No. TS-R-1, 과기부고시 제2003-23호에 규정된 시험조건 및 평가기준에 따라 적중시험과 낙하시험으로 구분하여 수행하였다. 본 보고서의 제 3장에서는 안전성시험 결과를 상세히 기술하였으며, 안전성시험에 대한 품질계획, 적중시험 및 낙하시험 결과표를 부록 3-5에 수록하였다.

1. 적중시험

가. 적중시험

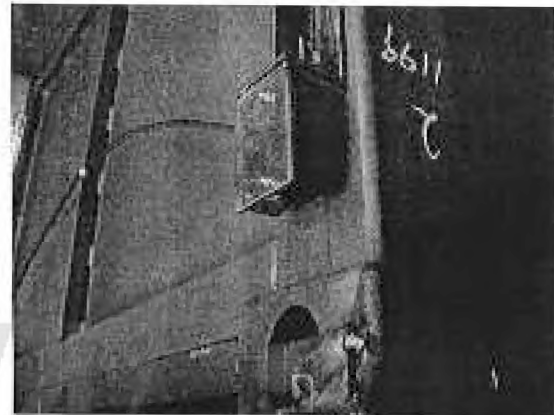
IP-2형 운반용기의 적중시험에 대한 안전성 평가를 위해 운반물 중량의 5배에 해당하는 중량을 24시간 동안 운반용기 상부에 적재하는 적중시험을 수행하였다.

운반용기에는 레이저 변위센서, 스트레인 게이지를 설치하여 모서리 기둥부의 변위 및 변형률을 측정하였다. 또한 적중시험 전후에는 외형 지수, 차폐체 두께, 볼트 토크 등을 측정하였고, 최종적으로 용기의 두께를 계량하여 내부감사를 실시하였다.

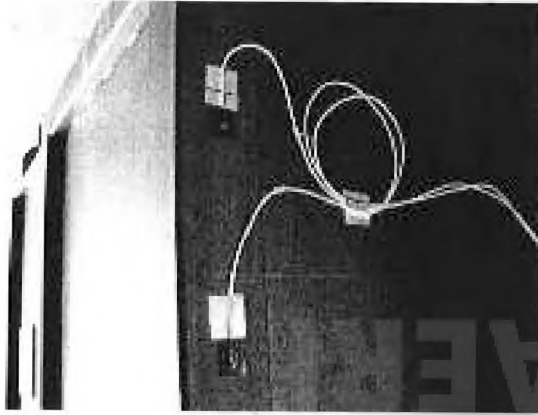
IP-2형 운반용기의 최대 중량은 약 6.4톤이며, 적중시험 시 적용 중량은 보수성을 감안하여 운반용기의 5배보다 다소 무거운 약 32톤의 하중체를 적재하였다. 하중체는 그림 3-1과 같이 120 mm 두께의 강판을 사용하였으며, 중량물을 24시간동안 운반용기의 모서리부에 등분포 되도록 하였다.

모서리 기둥의 높이방향 변형률 측정에는 레이저 변위센서 및 스트레인 게이지가 사용되었고, 2개의 모서리 기둥에는 레이저 변위센서를 2개의 모서리 기둥에는 각 2개씩의 스트레인 게이지를 부착하였다. 그림 3-2와 3-3은 변위센서 및 스트레인 게이지 설치 1면이며, 그림 3-4와 3-5는 변위 및 변형률 데이터 취득 장치를 보여주고 있다.

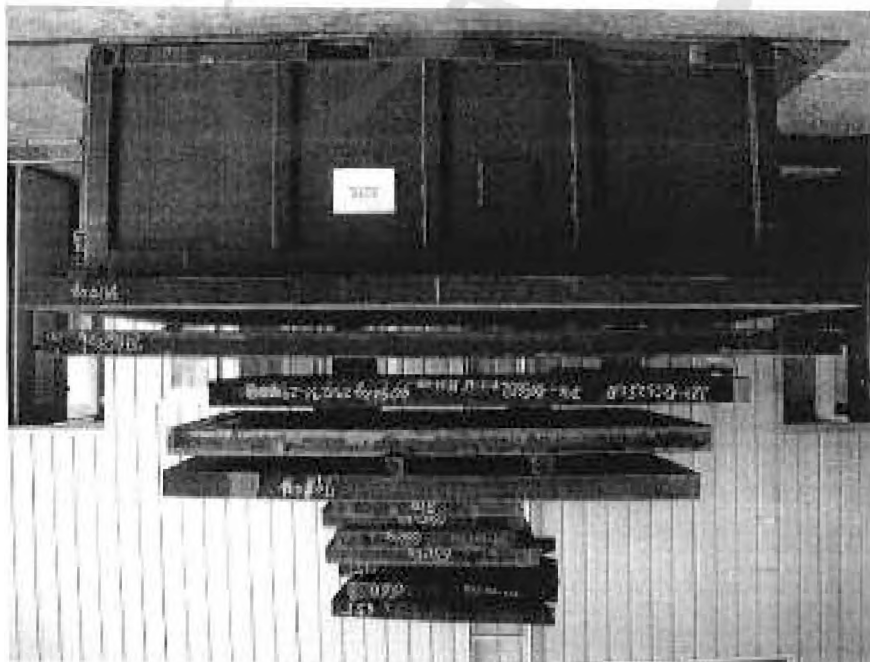
21번 3-2 레이어 비워센서 설치



21번 3-3 스트레이인 케이블 설치



21번 3-1 320L 드린을 IP-2형 문반용기 적용시험



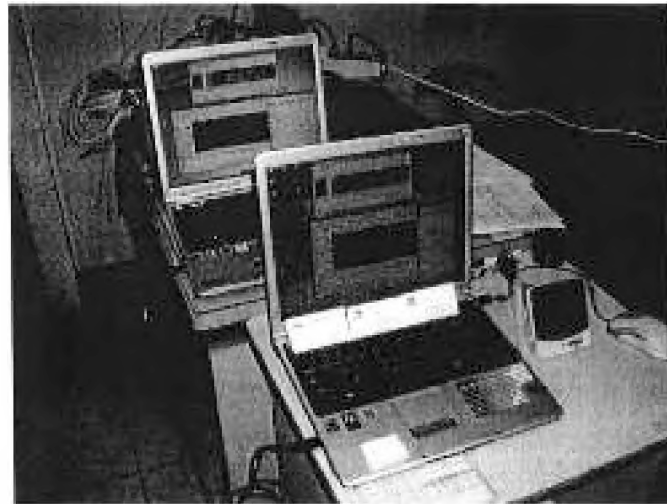


그림 3-4 레이저 변위센서 데이터 취득 장치



그림 3-5 스트레인 게이지 데이터 취득 장치

적용시험에서 스트레인 게이지를 이용한 변형률 결과는 그림 3-6 ~ 3-11에 나타내었다. 그림 3-6과 3-7은 세이지 #1번의 적층전 후의 변형을 변화를 나타내며, 그림 3-8과 3-9는 세이지 #2의 변형률 변화를 나타낸다. 하중제거 적재파변시 압축으로 인한 변형들이 발생하며, 적재가 완료된 후 24시간 동안은 거의 일정한 변형률을 보여주고 있다. 또한, 하중제거 하역되면서 변형률이 조금 감소로 원상 복귀되는 상황을 보여주고 있다. 따라서 식층시험조건에서 완성한도 이내의 응력이 적용되는 것으로 분석되었다.

레이저 변위센서를 이용한 변위 측정결과는 그림 3-10 및 3-11과 같다. 변

위 측정결과도 변형률과 마찬가지로 하중체가 삭제되면서 보석리 기둥의 앞
측이 밀생하고 적재가 완료된 후 24시간 동안은 거의 밀생한 변위를 보여주
고 있다. 또한, 하중체의 하역이 되면서 변위가 초기 값으로 회복되는 경향
을 보여주고 있다.

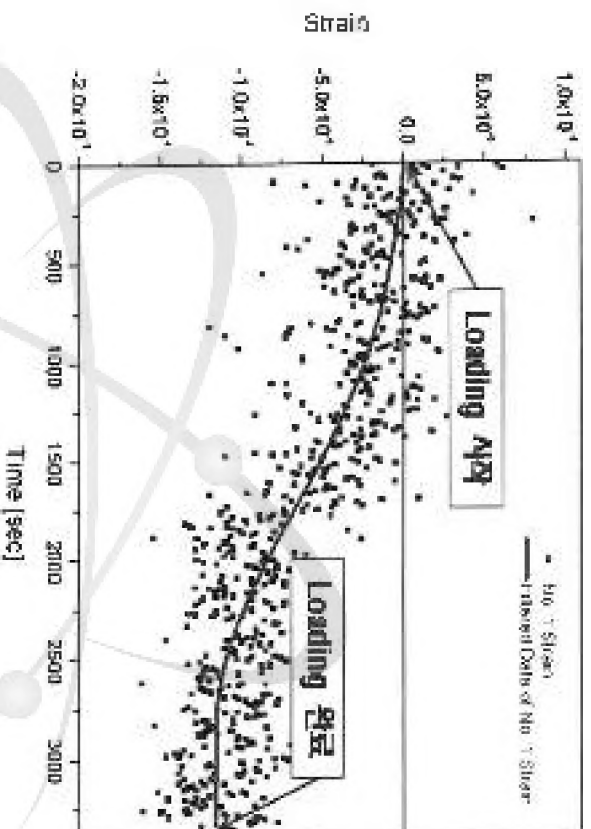


그림 3-6 #1 게이지에서의 Loading Strain 측정결과

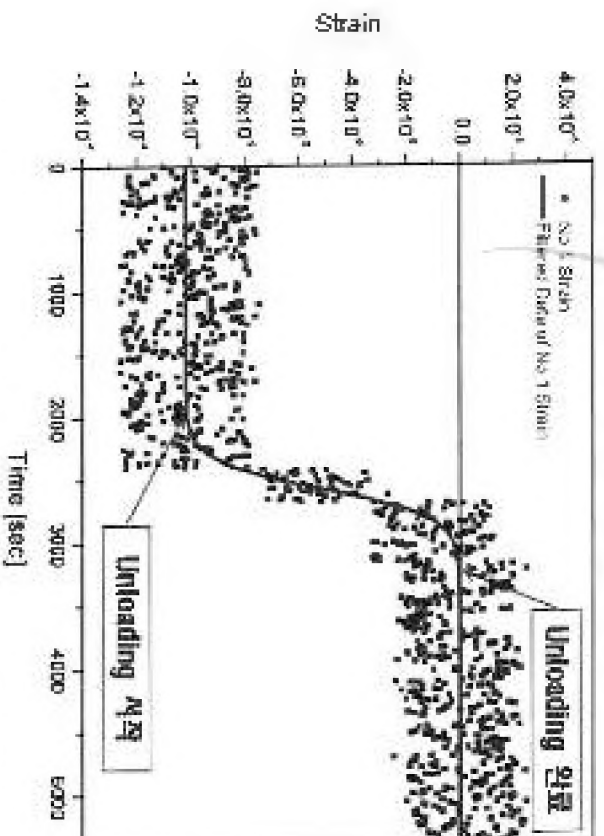


그림 3-7 #1 게이지에서의 Unloading Strain 측정결과

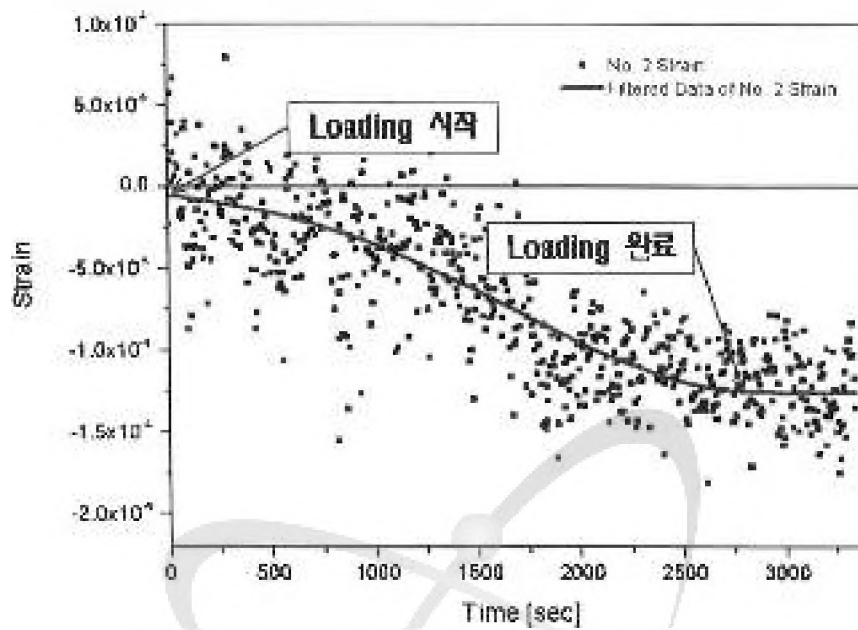


그림 3-8 #2 세이지에서의 Loading Strain 측정결과

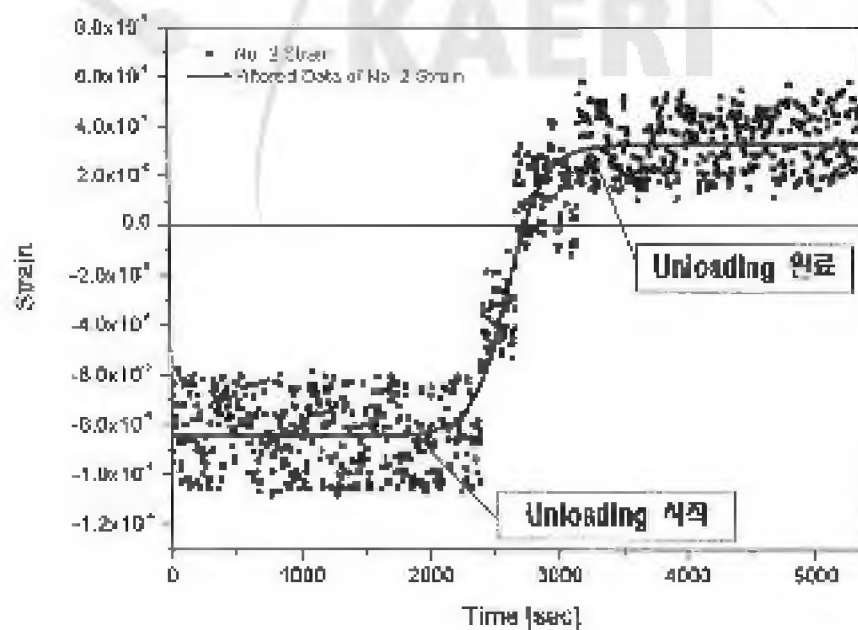


그림 3-9 #2 세이지에서의 Unloading Strain 측정결과

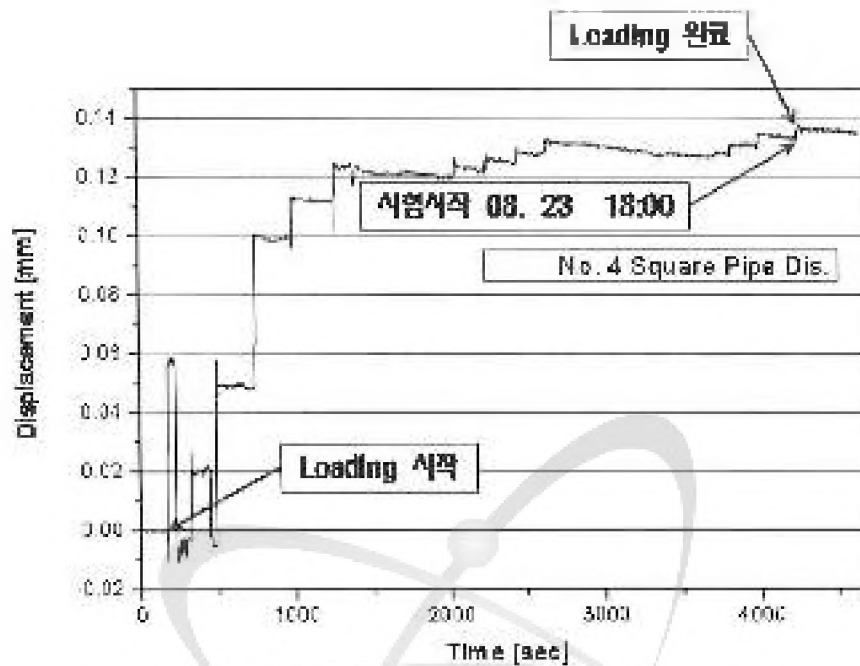


그림 3-10 레이저 변위센서의 Loading 변위 측정결과

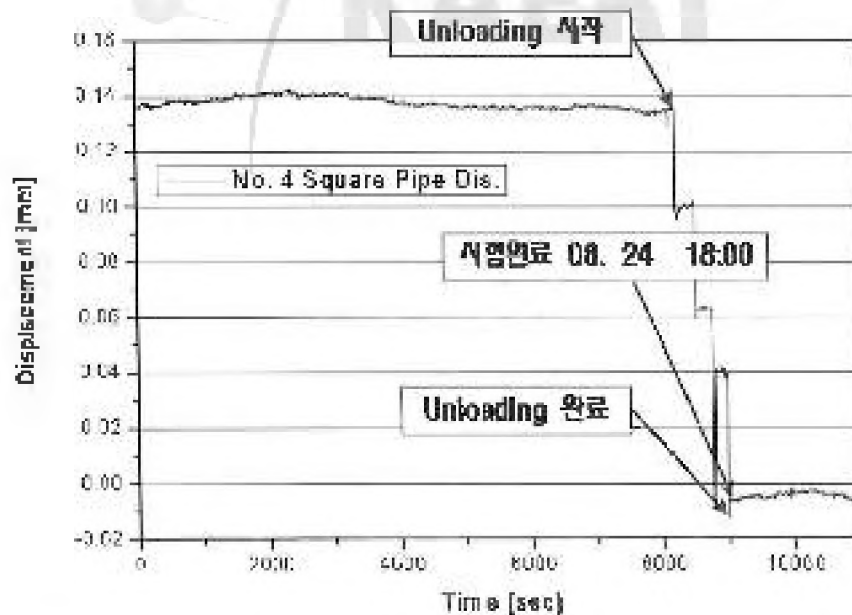


그림 3-11 레이저 변위센서의 Unloading 변위측정 결과

표 3-1에는 IP-2형 윤반용기의 식충시험 시 모서리 기둥에서 측정된 변형률과 변위 측정결과를 요약하여 나타내었다. 변형률은 0.157E-4 및 0.567E-4로 측정되었으며, 이를 값을 변위로 환산하면 각각 0.105 mm, 0.143 mm이다. 레이저 센서를 이용하여 측정된 변위는 0.141 mm로 변형률 측정결과로부터 계산된 변위와 비슷한 값을 보이고 있다.

IP-2형 윤반용기의 식충시험 조건에서 변형률 및 변위를 간단한 관계식으로 계산하면 다음과 같다.

- 용기단면적 : 27.63 cm^2
- 사각파이프 길이 : 91 cm
- 항복강도 : $2.1 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수(SS400 또는 SS41) : $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
- 응력 : $\frac{F}{A} = \frac{8000 \text{ kgf}}{27.63 \text{ cm}^2} = 289.5 \text{ kgf/cm}^2$ [항복강도의 약 12% 응력발생]
- 변형률 : $\epsilon = \frac{E}{\sigma} = \frac{289.5}{2.1 \times 10^6} = 1.379 \times 10^{-4}$
- 변위 : $91 \text{ cm} \times 1.379 \times 10^{-4} = 0.0125 \text{ cm} = 0.125 \text{ mm}$

위의 계산결과에서 윤반용기 중량의 5배 하중에 대한 식충조건에서 모서리 기둥의 응력은 289.5 kgf/cm^2 으로 계산되어 항복강도의 약 12%의 응력이 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서 윤반용기의 약 40배 중량을 적재하여도 소성변형이 발생하지 않고 탄성한도 이내의 응력이 발생할 것으로 판단된다.

표 3-2는 식충시험조건에서 모서리 기둥의 변형률 및 변위에 대한 수계산 및 시험결과를 비교하여 나타내었다. 표에서 변형률 측정전과는 2시점의 평균값이며, 수계산과 측정치가 약 1%의 오차를 보였다. 변위도 수계산 결과와 측정치가 13%의 오차로 비교적 잘 일치하였다. 따라서 적충시험에서 측정된 변형률 및 변위 값에 대한 신뢰성이 입증되었다.

표 3-1 적층시험 시 변형률과 변위 측정결과

위치	측정대상	시험 전	시험 중	시험완료	편 차	변 위
#1-1	변형률	0.000	-1.157E-4	1.9E-7	1.157E-4	0.105 mm
#1-2	변형률	0.000	-1.256E-4	3.2E-5	1.576E-4	0.143 mm
#4	변위	0.000	0.138 mm	-0.003 mm	0.141 mm	0.141 mm

표 3-2 보서리 가동의 변형률 및 변위의 계산과 시험결과 비교

항 목	수 계산	측정치	오차
변형률	1.379E-4	1.376E-4	1 %
변 위	0.125 mm	0.141 mm	13 %

적층시험 전후의 차폐재 두께 변화는 조음과 측정기, 본체와 부속 사이의 간극 측정은 두께게이지를 이용하여 측정하였다. 또한 토크 렌치를 이용하여 볼트 토크의 변화를 측정하였으며, 시험 후 볼트를 해제한 후 내부검사를 수행하였다. 표 3-3에는 적층시험 결과를 요약하여 정리하였으며, 시험 직후의 차폐재 두께의 감소가 발생하지 않았다. 또한 용기 본체와 부속 사이의 간극이 1.85 mm로 본체와 부속의 단차 40 mm에 비하여 훨씬 작게 측정되었으며, 볼트의 체결상태도 양호하게 유지되었다. 따라서 IP-2형 운반용기는 적층 시험조건에서 범규에서 요구하는 운반 내용물의 유선 및 차폐체의 손상이 발생하지 않아 구조적 건전성이 입증되었다.

표 3-3 적중시험 결과 요약

측 정 항 목	측정결과	허용치	평가
좌/우측 두께의 평균 변화량(mm)	±0.01	-6.0	만족
뚜껑/본체 사이의 최대 간극(mm)	1.85	40.0 (뚜껑단차)	만족
볼트의 평균 토크 (N·m)	245	289.1	만족
볼트의 파손 및 풀림 여부	무	무	만족
유한 내용물의 유출 여부	무	무	만족

나. 직충해석

IP-2형 유반용기의 직충조건에 대한 안전성평가를 위해 높이방향의 변형량을 시험결과 비교하고, 가로 및 세로방향에 대한 측정이 어렵기 때문에 이데 대한 내안으로 해석을 통해 안정성을 평가하였다. 또한 적재하중에 대한 최대 처짐 주성이 어렵기 때문에 해석을 통해 안전성을 평가하였다. 그림 3-12에서 3-14는 직충조건에서의 3방향 변형량을 보여주고 있다.

특히 높이의 변형량 0.1105 mm는 수계산 결과인 0.125와는 약 10%의 오차를 보이고 있다. 적충조건에서의 적재하중에 최대 처짐 해석결과는 그림 3-15와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 바닥면의 정 중앙부에서 최대 처짐이 발생하며 그 값은 0.2310 mm를 보였다. 이는 평가기준인 6 mm보다 매우 작은 값으로 안전성이 확보되었음을 알 수 있다.



그림 3-12 서로방향(X-방향)의 변형량 contour

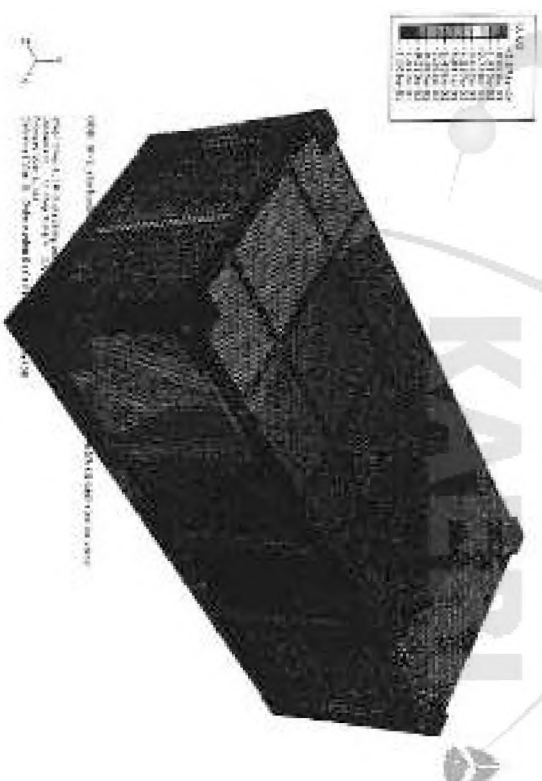


그림 3-13 V-방향(V-방향)의 변형량 contour



그림 3-14 가로방향(z-방향)의 변형량 contour



그림 3-15 높이방향(y-방향)의 변형량 contour

다. 적충시험 결과 및 평가

IP-2형 운반용기의 적충시험에 대한 안전성 평가를 위해 운반물 중량의 5배에 해당하는 중량을 24시간 동안 운반용기 상부에 적재하는 적충시험을 수행하였다. 적충시험 전·후에는 외형 치수, 차폐체 두께, 볼트 도크 등을 측정하였고, 최종적으로 용기의 뚜껑을 개방하여 내부검사를 실시하였다. 아울러 레이저 변위센서, 스트레인 게이지를 설치하여 모서리 기둥부의 변위 및 변형률을 측정하였다. 또한 수계산 및 전산해석을 통해 용기의 변형 및 응력 분포를 계산하였다. 적충시험 및 적충조건에 대한 전산해석 결과 규규에서 요구하는 차폐능이 유지되었고, 운반 내용물의 유실 및 분산이 발생하지 않았다. 따라서 규규에서 요구하는 적충시험조건에서 IP-2형 운반용기의 구조적 건전성이 입증되었다.



2. 낙하시험

IP-2형 운반용기의 낙하 시고조건에 대한 안전성 평가를 위해 0.9 m 높이에서 드럼을 모두 적재한 후 자유낙하시험을 수행하였다. 낙하시험에 사용된 IP-2형 운반용기는 200리터 드럼 또는 320리터 드럼 8개를 적재할 수 있는 용기 2개를 사용하였다.

낙하시험은 표 3-4와 같이 낙하방향과 시험모델에 따라 시험계획을 수립하였다. 낙하방향은 운반 중 발생할 수 있는 다양한 사고조건을 고려하여 운반용기에 대한 바닥수직, 뚜껑수직, 후면 수평, 뚜껑부 꼭지점, 뚜껑부 모서리 낙하로 결정하였다. 또한 운반용기에는 충격 가속도 센서, 스트레인 게이지, 볼트 스트레인 게이지를 설치하여 충격 시 용기의 가속도, 변형 그리고 볼트의 축방향 변형률을 측정하였다.

용기의 자체 및 적재 안전성 평가를 위해 낙하시험전 후에는 와형 치수, 차폐체 두께, 볼트 토크 및 본체와 뚜껑 사이의 간극을 측정하였고, 최종적으로 용기의 추경을 개방하여 내부검사를 실시하였다. 자세한 결과는 첨부 3의 시험결과표에 기록하였다.

표 3-4 낙하시험 종류 및 시험모델

순서	낙하 종류	시험모델	시험일시
1	바닥 수직낙하	200 리터 드럼	2007. 09. 13
2	뚜껑 수직낙하	200 리터 드럼	2007. 09. 20
3	장면 수평낙하	320 리터 드럼	2007. 10. 04
4	뚜껑 꼭지점 낙하	320 리터 드럼	2007. 10. 11
5	뚜껑 모서리 낙하	320 리터 드럼	2007. 10. 18

가. 바닥 수직낙하시험

IP-2형 200리터 드럼용 운반용기의 바닥수직낙하시험을 수행하고 낙하시험결과로부터 측정된 기 측정위치에 따른 충격 가속도, 변형률, 볼트의 축방향 변형을 선도 그리고 볼트의 하중변화 선도를 구했다. 또한 최대충격가속도, 최대변형률 값을 요약하였다. 그림 3-16은 IP-2형 200리터 드럼용 운반용기의 0.9 m 높이에서의 바닥수직낙하시험 준비상태를 보여주고 있다.

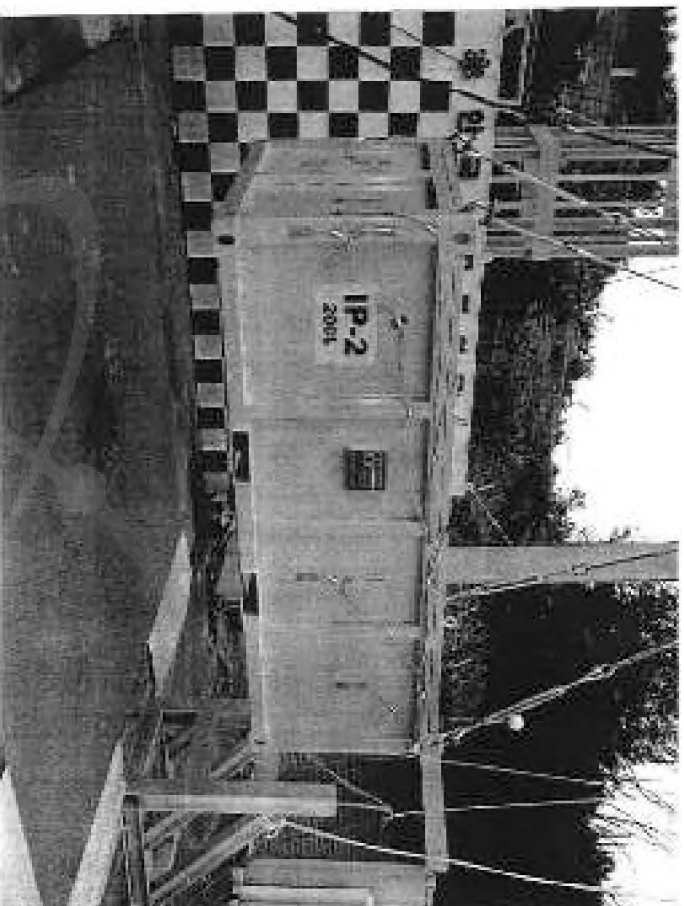


그림 3-16 IP-2형 200리터 윤반용기 바닥수직낙하시험

그림 3-17은 바닥 수직낙하시험에서의 가속도 측정위치를 보여주고 있다. 가속도 센서 설치 위치는 총 4곳으로 루팅 중앙부에 1개, 보שר기 기둥부에 1개 그리고 측면 및 건물 차폐 플레이트(plate)에 2개를 설치하였다. 그림 3-18과 3-19는 변형률 측정위치를 보여주고 있다. 스트레인 게이지는 총 10개를 부착하였으며 루팅에 2개, 대각에 위치하는 기둥부에 4개 그리고 측면 및 천장 차폐 플레이트에 4개를 부착하였다. 그림 3-20은 낙하 시 볼트에 삽입하는 하중변화를 관찰하기 위해 볼트 게이지가 삽입된 볼트가 직용된 위치를 보여주고 있다. 볼트 게이지가 삽입된 볼트는 총 4개를 사용하였으며 1, 5, 8, 11번 볼트 위치에 각기 설치하였다.

가속도와 변형률은 20 kHz로 데이터를 취득하였으며, 볼트 변형률은 1 kHz로 데이터를 취득하였다. 가속도 센서는 최대 10,000g 까지 기록할 수 있는 감도를 가지며, 스트레인 게이지는 모두 1축 게이지를 사용하였다. 가속도 및 변형률 데이터 취득은 NI-PXI 장비로 이용하였다. 또한, 볼트용 스트레인 게이지가 삽입된 볼트의 축 변형률은 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터를 취득하였다.

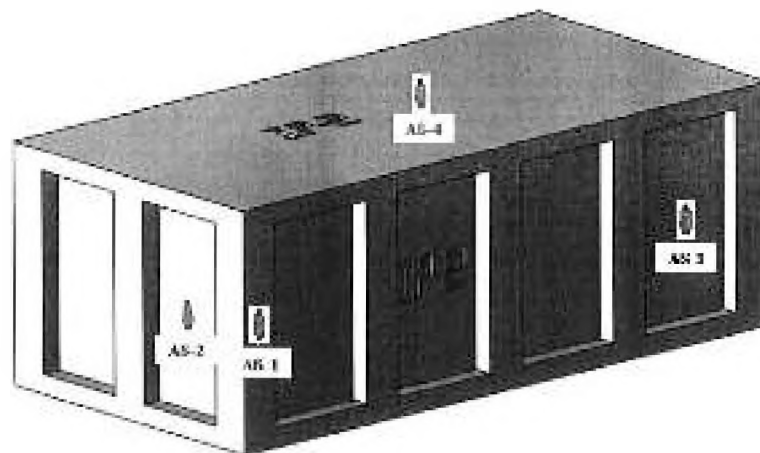


그림 3-17 박다수직낙하 가속도센서 측정위치

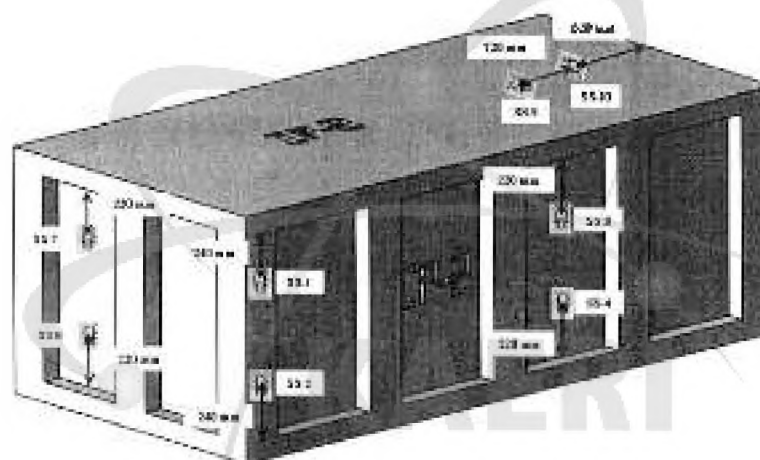


그림 3-18 바닥수직낙하 변형률 측정위치 #1

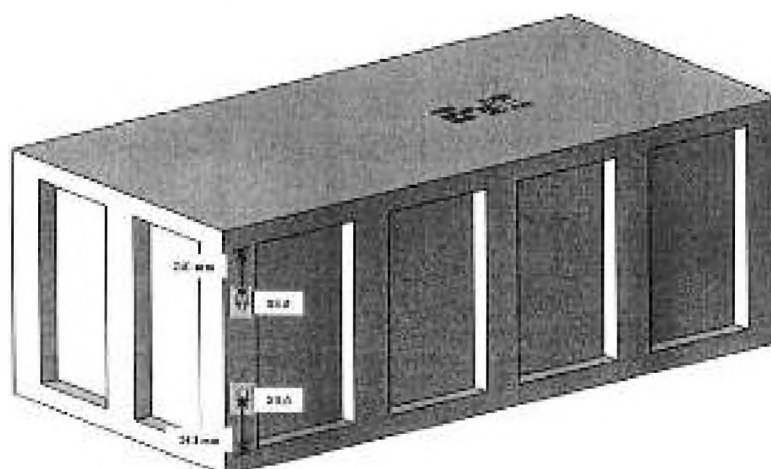


그림 3-19 바닥수·식낙하 변형률 측정위치 #2

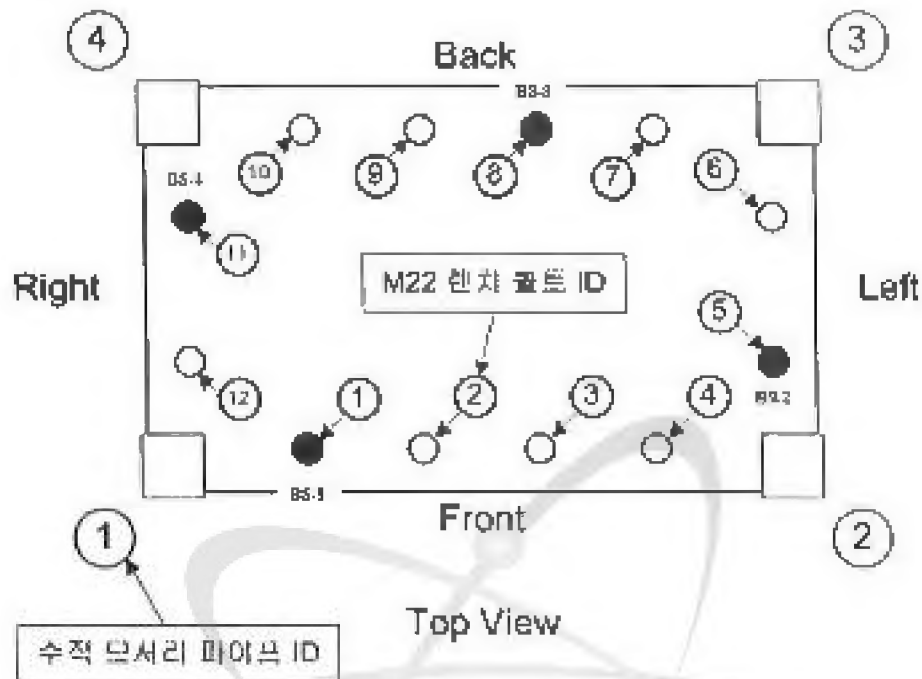


그림 3-20 바닥수직낙하 볼트 변형률 측정위치

그림 3-21은 바닥수직낙하시험에서의 가속도 측정결과를 보여주고 있다. 1번에서 용기의 반동에 의한 2차 충격이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3-22는 가속도 측정결과를 600 Hz low pass 필터링한 결과선도를 보여주고 있다. 결과선도에서 1번과 2번 가속도가 가장 큰 결과를 보였다.

그림 3-23은 변형률 측정결과를 보여주는 결과로 데이터는 600 Hz low pass 필터링한 결과를 보여주고 있다. 변형률은 전방 자패 벽면 하부에 부착된 스트레인 게이지에서 낙하충돌 시 가장 많이 압축된 것을 확인할 수 있다. 그림 3-24는 볼트 변형률 변화를 보여주는 선도로 볼트가 규정된 도크로 체결된 이후 낙하시험에 의한 충돌 시 볼트의 축방향 변형률 변화는 1번 위치에 사용된 1번 게이지 볼트에서 가장 큰 변화를 보였다.

그림 3-25는 볼트 변형률을 하중으로 환산한 선도로 1번 볼트가 충돌 후 3.5 kN 정도 세질 인장력이 떨어진 것을 확인할 수 있다. 표 3-5와 3-6은 최대 충격가속도 및 최대 변형률을 정리한 것으로 충격 가속도는 모서리 기둥에 설치된 AS-2에서 500g, 최대 변형률은 측정 위치 SS-9에서 2R-3 정도로 가장 큰 측정 결과를 보였다.

낙하시험전·후의 외형 치수, 차폐체 두께, 볼트 토크, 뚜껑 열림량 측정 및 내부 검사 등을 실시하였다. 외형 치수는 낙하시험전·후에 거의 변화가 없었으며, 초음파 두께측정기를 통한 차폐체 두께 측정에서도 차폐체 두께의 변화가 발생하지 않았다. 따라서 바다 수직낙하조건에서 20% 이상의 차폐능력 손실이 발생하지 않아 차폐성능이 유지되는 것으로 평가되었다.

낙하 시험 후 뚜껑 볼트의 토크는 97.5 ~ 175.5 N·m (평균 125.3 N·m)로 제진 토크 289.1 N·m에 미하여 50% 이상 풀림이 발생하였지만 완전히 풀린 볼트가 없고 볼트의 파손이나 손상이 발생하지 않았다. 또한, 시험 직후에 용기본체와 뚜껑 사이의 간극의 변화가 거의 발생하지 않았으므로 운반 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않은 것을 확인하였다. 낙하시험 후 운반 용기 내부 검사에서도 운반내용물의 유실이나 분산 등이 발생하지 않았다. 따라서 비박수직낙하시험에서 운반용기의 차폐 및 적납에 대한 구조적 건전성이 유지되는 것으로 평가되었다.

그림 3-26은 내부검사 중 뚜껑부의 충격흡수용 고무패드가 충격으로 인해 이팅된 그림이며, 그림 3-27은 드럼이 반동으로 뚜껑부와 충돌하면서 멘드부에 약간의 변형이 발생한 그림이다. 그러나 전반적으로 차폐나 적납에 영향을 줄 수 있는 변형을 발견할 수 없었다.

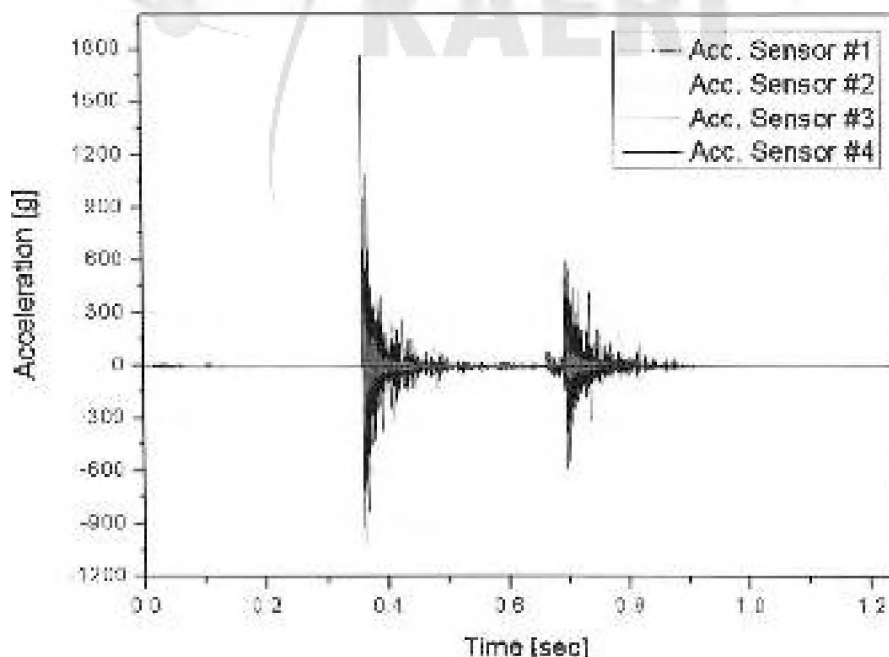


그림 3-21 비박수직낙하에서의 가속도 측정결과 신호

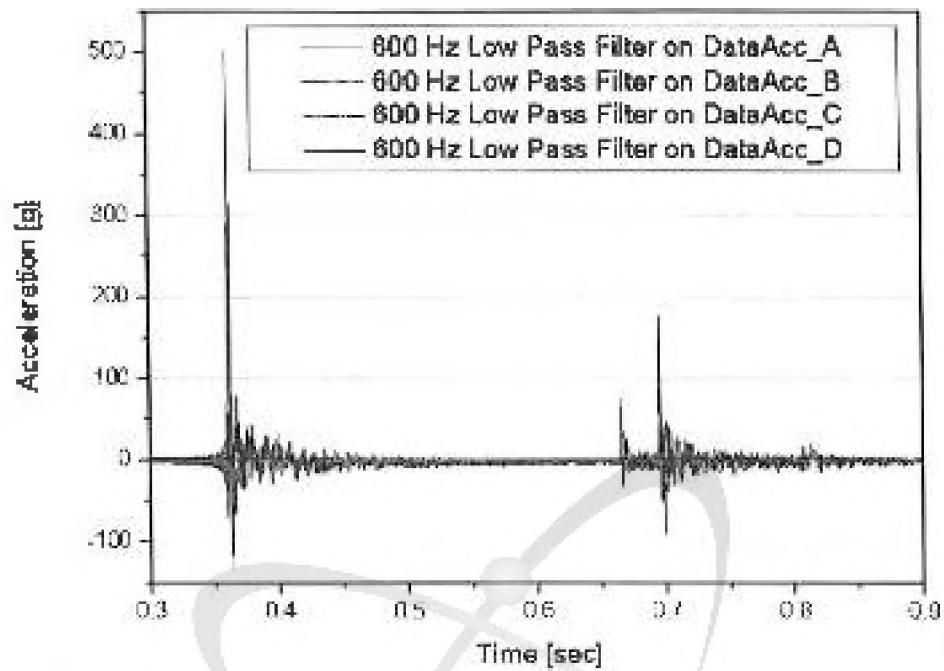


그림 3-22 바닥수직낙하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

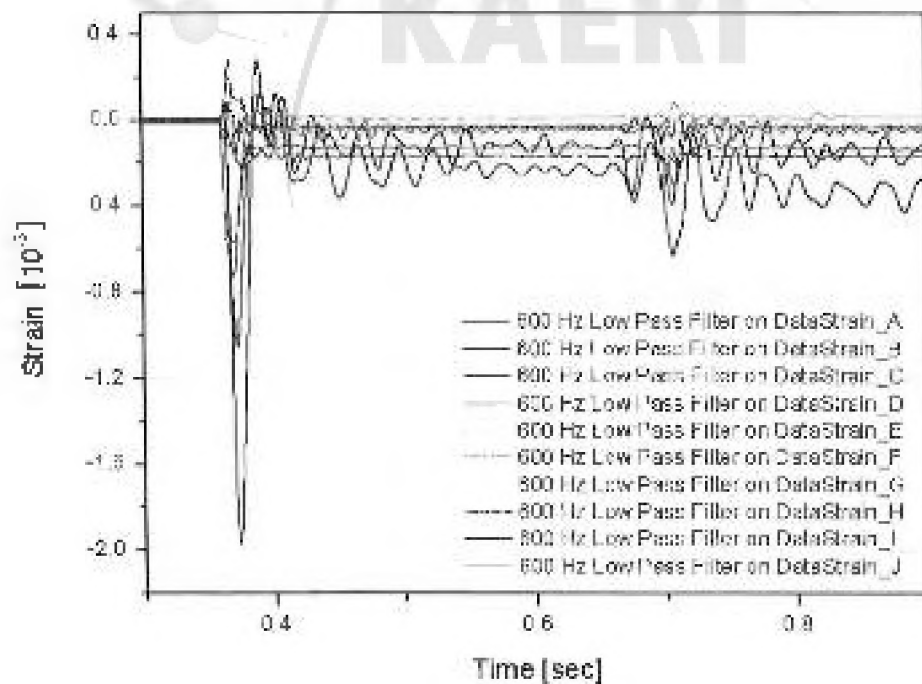


그림 3-23 바닥수직낙하의 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

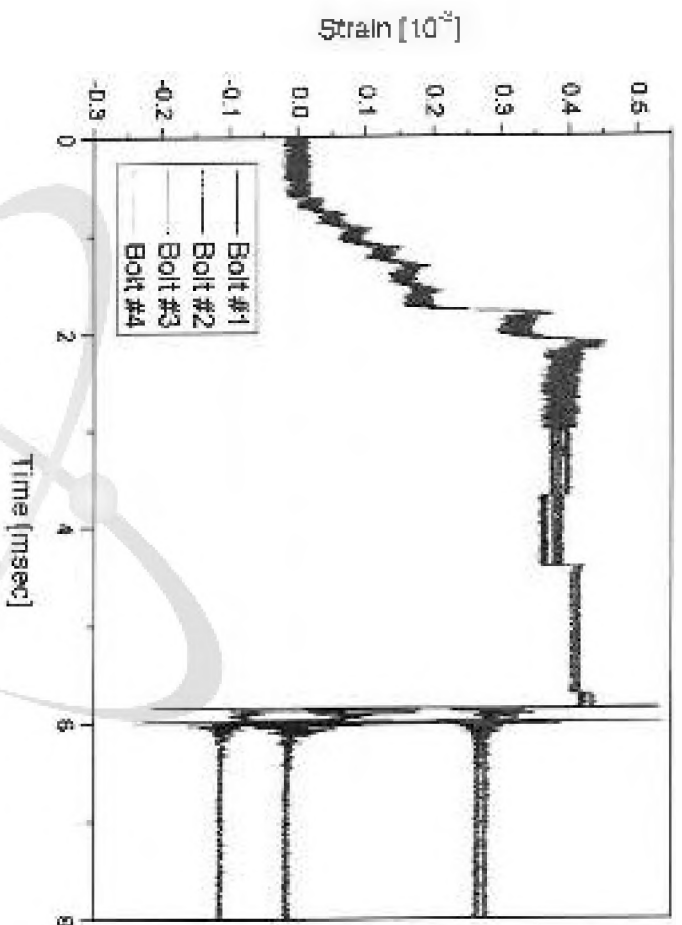


그림 3-24 바타수적나하의 플트 변형률 측정결과 선도

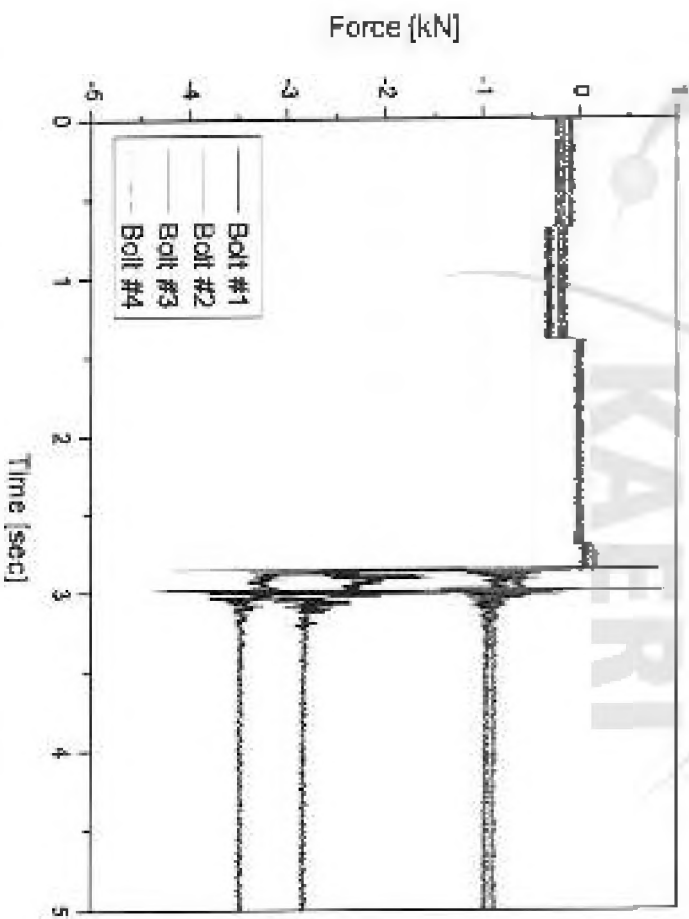


그림 3-25 바타수적나하에시 플트에 작용하인 축하중 선도

표 3-5 최대가속도 측정결과(바닥수직낙하조건)

가속도 No.	최대 충격 가속도 (g)
AS-1	480.7
AS-2	500.6
AS-3	290.7
AS-4	failed

표 3-6 최대변형률 측정결과(바닥수직낙하조건)

스트레인 게이지 No.	최대 변형률
SS-1	+ 0.08284E-3
SS-2	- 0.72218E-3
SS-3	+ 0.27916E-3
SS-4	- 0.21604E-3
SS-5	- 0.12840E-3
SS-6	- 0.57220E-3
SS-7	+ 0.17399E-3
SS-8	+ 0.19763E-3
SS-9	- 1.96873E-3
SS-10	- 1.05562E-3



그림 3-26 내부점사에서 중식흡수용 고무패드 이탈

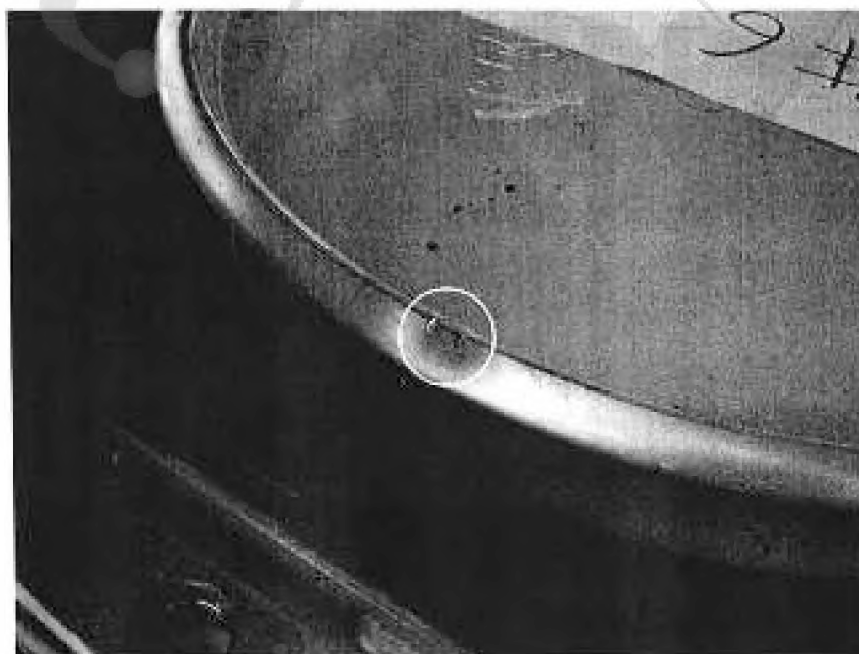


그림 3-27 내부점사에서 드립 밴드(drop band) 변형

나. 부정 수직낙하시험

IP-2형 200리터 드럼용 운반용기의 부정수직낙하시험을 수행하고 낙하시위결과로부터 측정된 각 측정위치에 따른 충격 가속도, 변형률, 볼트의 극한항 변형률 선도 그리고 볼트의 하중변화 선도를 구했다. 또한 최대충격가속도, 최대변형률 값을 요약하였다. 그림 3-28은 IP-2형 200리터 드럼용 운반용기의 0.9 m 높이에서의 부정파단수직낙하시험 준비상태를 보여주고 있다.



그림 3-28 IP-2형 200리터 운반용기 부정수직낙하시험

그림 3-29는 부정수직낙하시험에서의 가속도 측정원지를 보여주고 있다. 가속도 센서 설치 위치는 총 5곳으로 바닥에 2개, 기둥에 1개 그리고 측면 플레이트에 2개를 설치하였다. 그림 3-30과 3-31은 변형률 측정위치를 보여주고 있다. 스트레인 게이지는 총 12개를 부착하였으며 두께에 2개, 기둥에 4개, 측면 플레이트에 4개 그리고 하부에 2개를 부착하였다.

그림 3-32는 볼트 게이지가 삽입된 볼트의 직경위치를 보여주고 있다. 볼트 게이지가 삽입된 볼트는 총 2개를 사용하였으며 1, 8번 볼트 위치에 설치하였다. 가속도와 변형률은 20 kHz로 데이터를 취득하였으며, 볼트 변형률은 1 kHz로 데이터를 취득하였다.

가속도 센서는 최대 5,000mg 까지 측정할 수 있는 강도를 가지며, 스트레인 게이지는 모두 1축 게이지를 사용하였다. 가속도 및 변형률 데이터 취득은 NI-47XI 장비를 이용하였다. 또한, 분뇨용 스트레인 게이지가 삽입된 볼트의 축 변형률은 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터를 취득하였다.

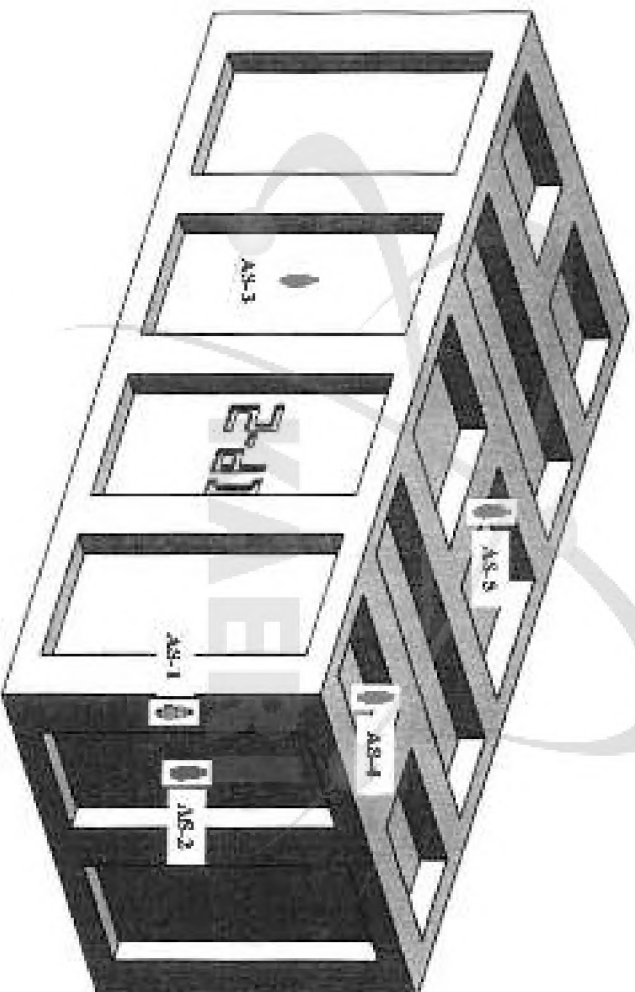


그림 3-29 무정수적박하 가속도센서 측정위치

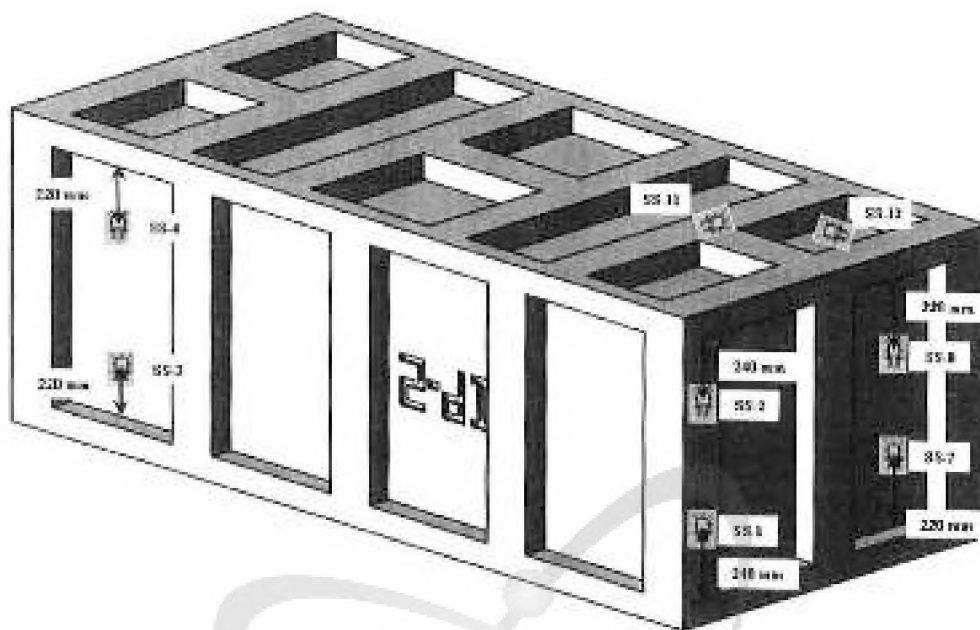


그림 3-30. 투경수직박하 스트레인 게이지 측정위치 #1

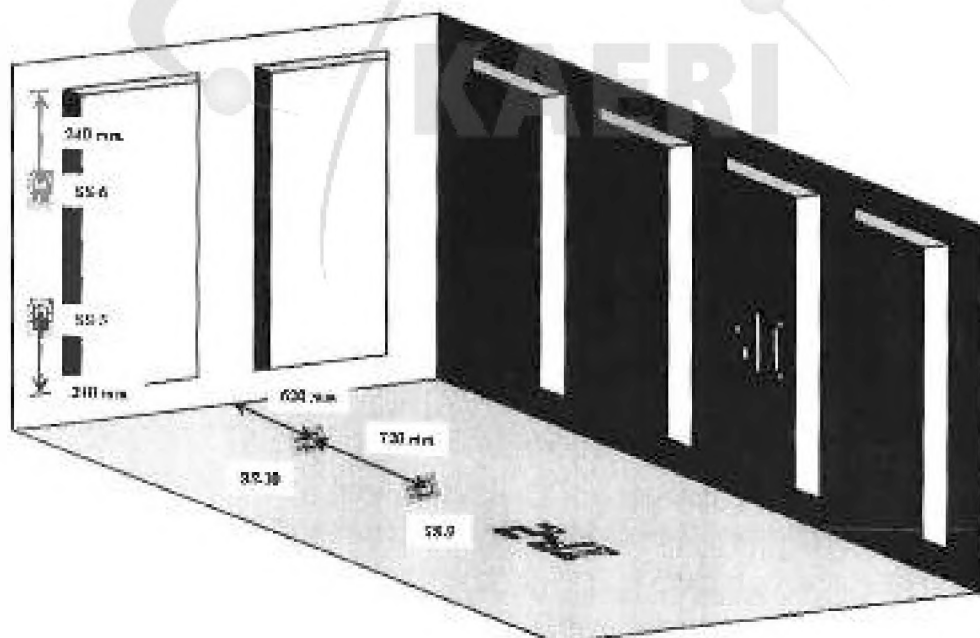


그림 3-31. 투경수직박하 스트레인 게이지 측정위치 #2

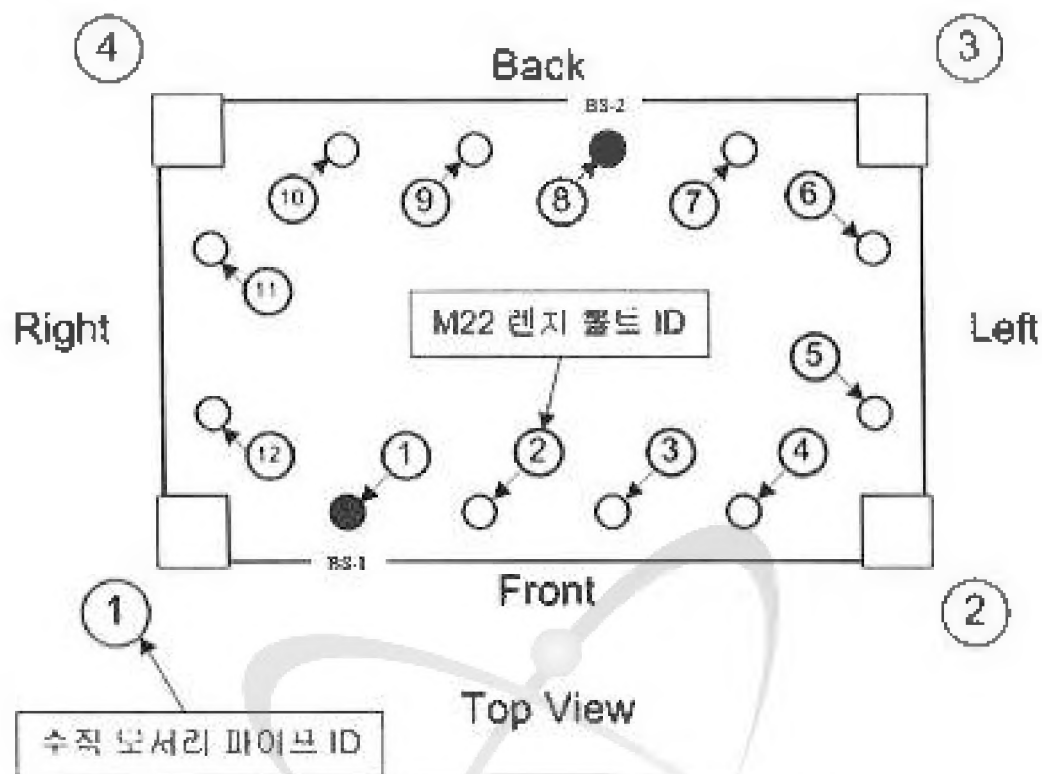


그림 3-32 무중수직낙하 볼트 변형률 측정위치

그림 3-33은 무중수직낙하시험에서의 가속도 측정결과를 보여주고 있다. 그림에서 용기의 반동에 의한 2차 충동이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3-34는 가속도 측정결과를 600 Hz low pass 필터링한 결과선도를 보여주고 있다. 결과선도에서 1번 가속도가 충돌 시 가장 큰 결과를 보였다. 그림 3-35는 변형률 측정결과를 보여주는 선도로 데이터는 600 Hz low pass 필터링한 결과를 보여주고 있다. 변형률은 하부면 프레임에 부착된 스트레인 게이지에서 충돌 시 가장 많이 압축된 것을 확인할 수 있다.

그림 3-36은 볼트 변형률 변화를 보여주는 선도로 볼트가 규정된 모크로 체결된 이후 낙하시험에 의한 충돌 시 볼트의 수방향 변형률 변화는 8번 위치에 사용된 2번 게이지 볼트에서 가장 큰 변화를 보였다. 그림 3-37은 볼트 변형률을 하중으로 환산한 선도로 2번 볼트에 충돌 시 12 kN 정도 위장하중이 작용한 것을 확인할 수 있었다. 표 3-7과 3-8은 최대 충격가속도 및 최대 변형률을 정리한 것으로 충격 가속도는 AS-4에서 726g, 최대 변형률은 게이지 SS-11에서 4.8E-3 정도로 가장 큰 측정 결과를 보였다.

뚜껑 수직낙하시험 전·후의 외형 치수, 차폐체 두께, 볼트 토크, 본체와 뚜껑 사이의 간극 측정 및 내부 검사 등을 실시하였다. 외형 치수검사 결과 낙하시험전·후에 치수의 변화가 없었으며, 차폐체 두께 측정에서도 차폐체의 두께 변화가 발생하지 않았다. 따라서 뚜껑 수직낙하조건에서 20% 이상의 치폐능력 손실이 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

낙하 시험 후 뚜껑 볼트의 토크는 17 ~ 129 N·m (평균 77 N·m)로 제값 토크 289.1 N·m에 비하면 약 3/4 정도의 풀림이 발생하였지만 완전히 풀린 볼트가 없고 볼트의 파손이나 손상이 발생하지 않았다. 또한, 낙하시험 후에 용기본체와 뚜껑 사이의 간극이 약 0.5 mm 정도 증가되었지만 용기 본체와 뚜껑 사이의 단지가 40 mm이므로 운반 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 낙하시험 후 운반용기 내부 검사에서도 운반내용물의 유실이나 분산 등이 발생하지 않았다. 따라서 뚜껑 수직낙하시험에서도 운반용기의 구조적 건전성이 입증되었다.

그림 3-38은 충돌 시 드럼이 뚜껑과 충돌하면서 뚜껑 프레임에 변형이 발생한 그림이며, 그림 3-39는 뚜껑과의 충돌로 인해 드럼 밴드에 변형이 발생한 그림이다. 그러나 차폐나 격납에 영향을 줄 수 있는 변형은 없었다.

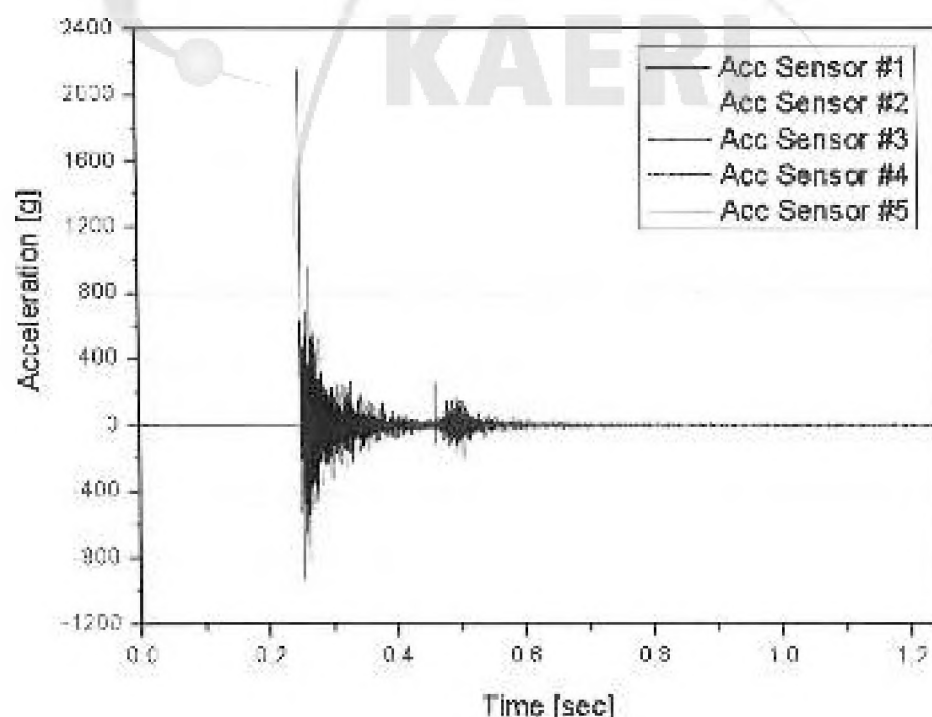


그림 3-33 뚜껑수직낙하에서 기록도 측정결과 선도

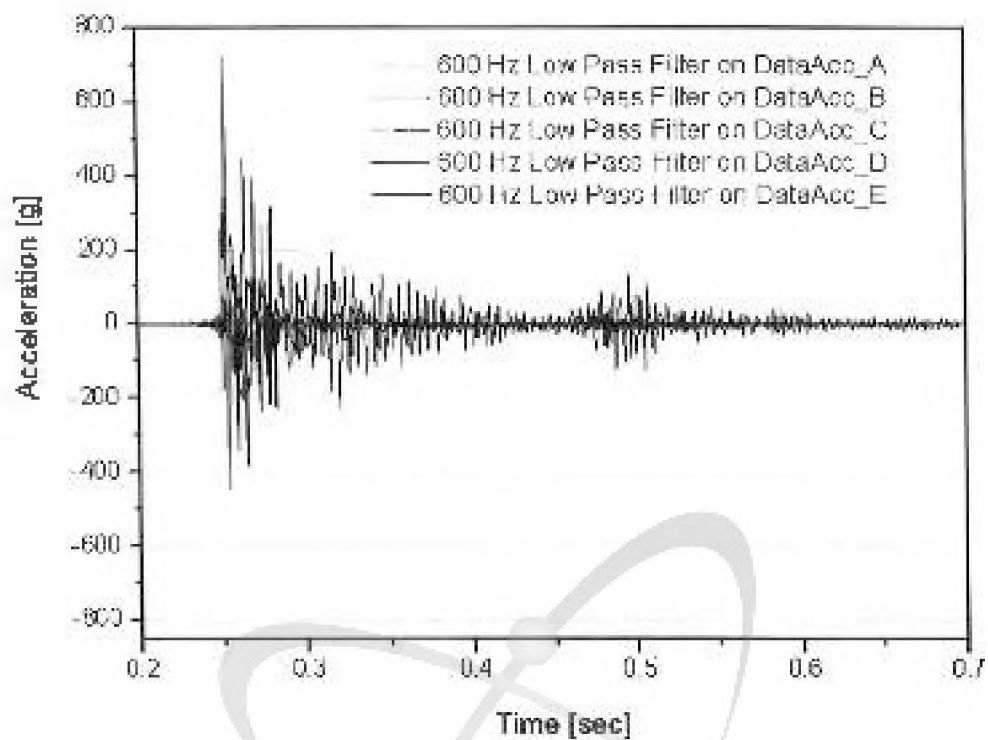


그림 3-34 두정수척박하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

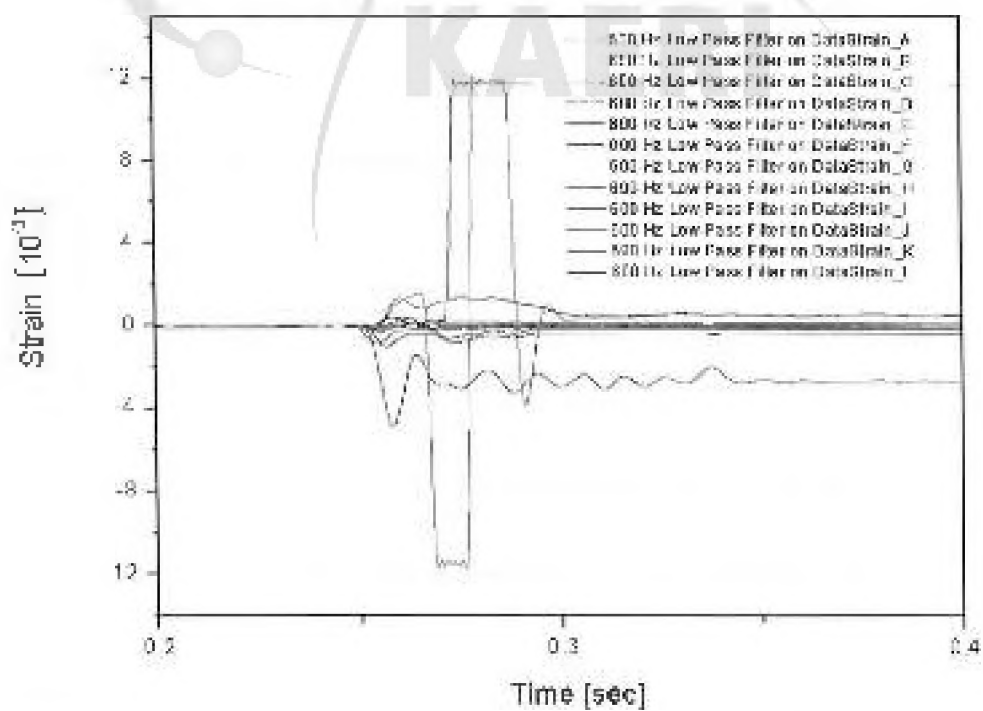


그림 3-35 두정수척박하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

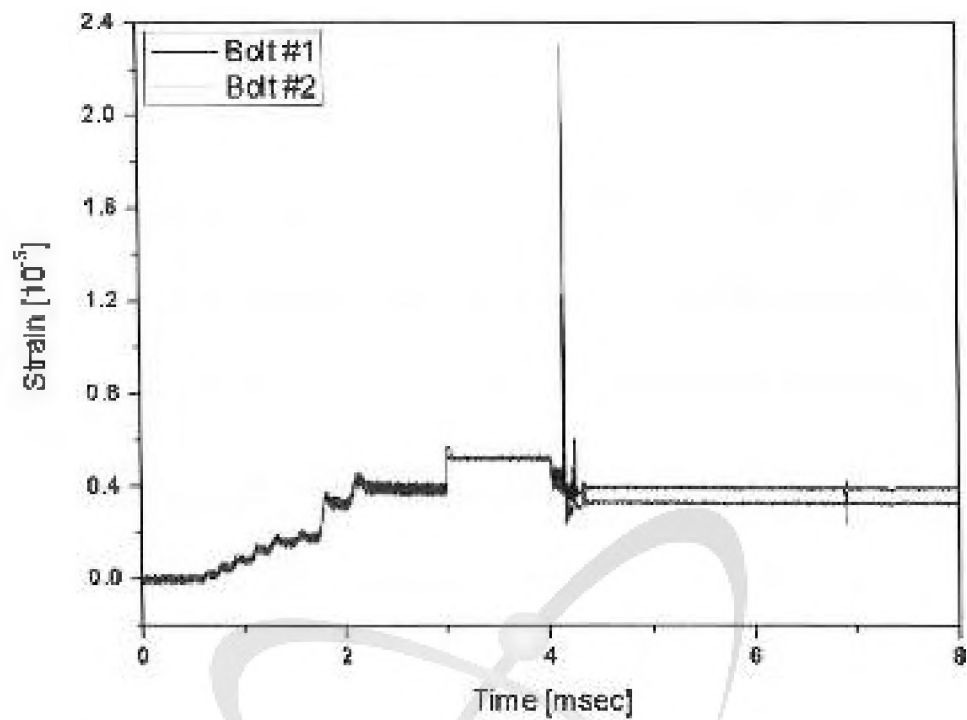


그림 3-36 두쌍수직낙하에서의 볼트 변형률 측정결과 선도

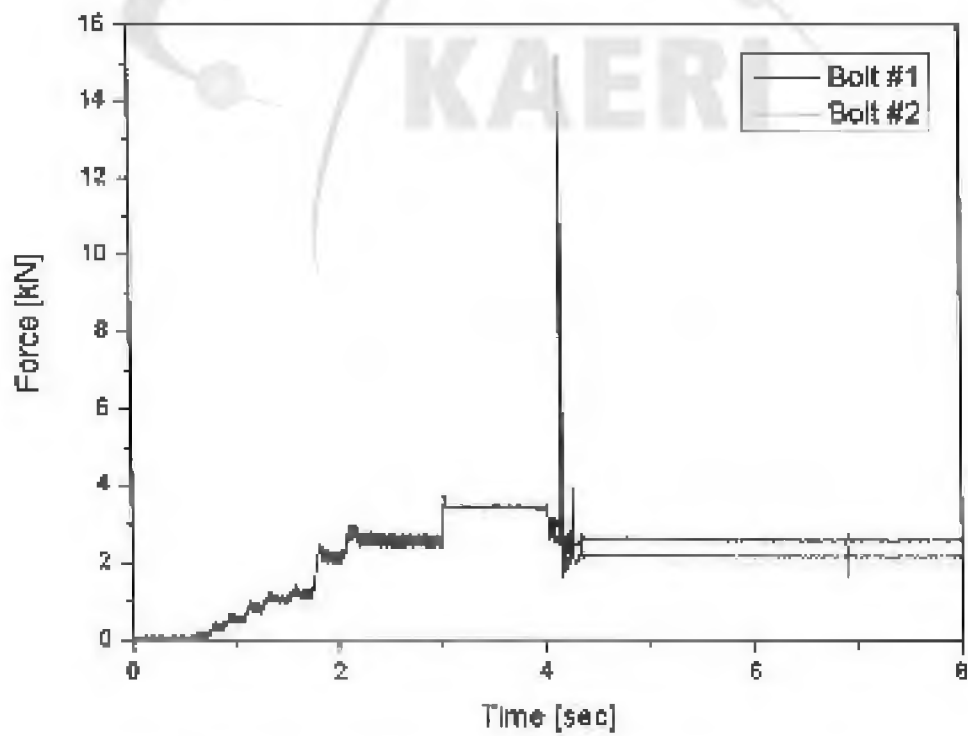


그림 3-37 두쌍수직낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 선도

표 3-7 최대가속도 측정결과(무정수식낙하조건)

가속도 No.	최대 충격 가속도 (g)
AS-1	failed
AS-2	297.1
AS-3	342.0
AS-4	725.6
AS-5	240.5

표 3-8 최대변형률 측정결과(무정수식낙하조건)

스트레인 게이지 No.	최대 변형률
SS-1	- 0.85975E-3
SS-2	- 0.16215E-3
SS-3	+ 0.39163E-3
SS-4	+ 0.41894E-3
SS-5	- 1.03929E-3
SS-6	- 0.15537E-3
SS-7	+ 0.04799E-3
SS-8	- 0.03292E-3
SS-9	+ 1.54394E-3
SS-10	+ 1.32294E-3
SS-11	- 4.87220E-3
SS-12	- 0.28514E-3

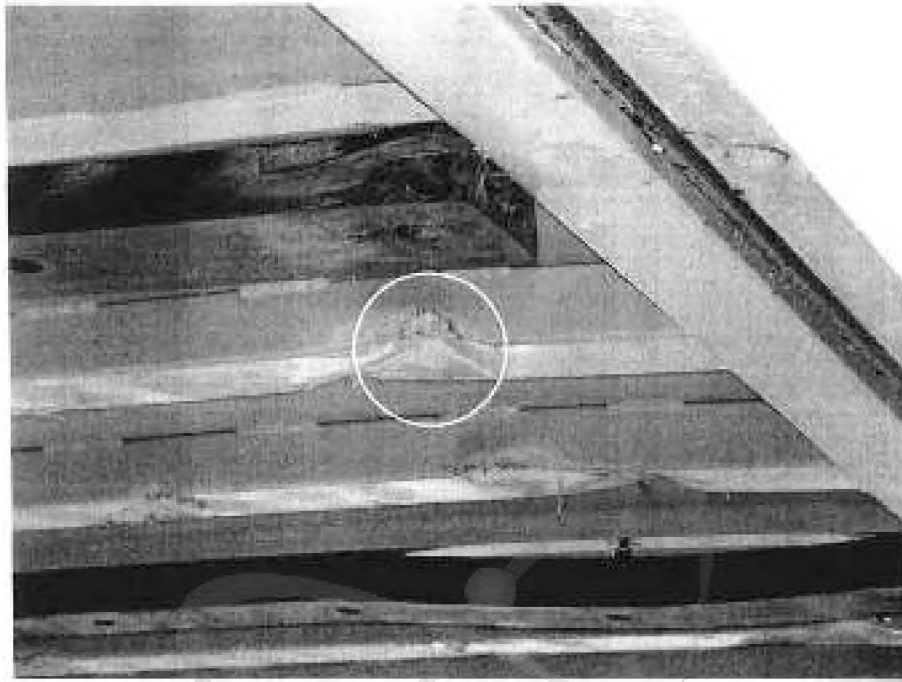


사진 3-38 드림과 층들로 인한 뚜껑 프레임 변형

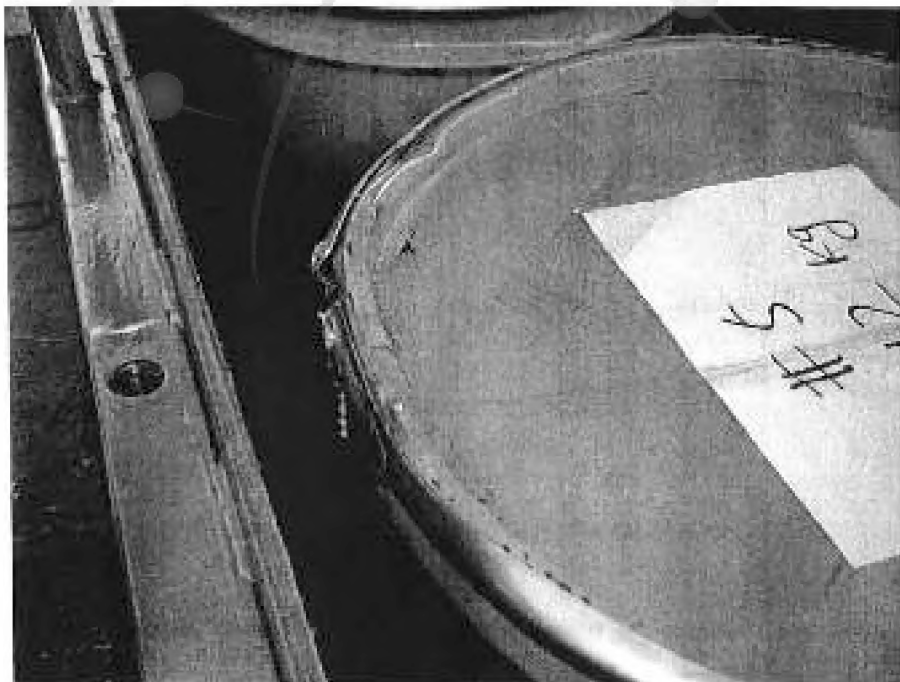


사진 3-39 드림 밴드의 변형

다. 상변 수평낙하시험

IP-2형 320리터 드럼용 운반용기의 상변수평낙하시험을 수행하고 낙하시험결과로부터 측정된 각 측정위치에 따른 충격 가속도, 변형률, 볼트의 축방향 변형률 선도 그리고 볼트의 하중변화 선도를 구했다. 또한 최대충격가속도, 최대변형률 값을 요약하였다. 그림 3-40은 IP-2형 200리터 드럼용 운반용기의 0.9 m 높이에서의 상변수평낙하시험 준비상태를 보여주고 있다.

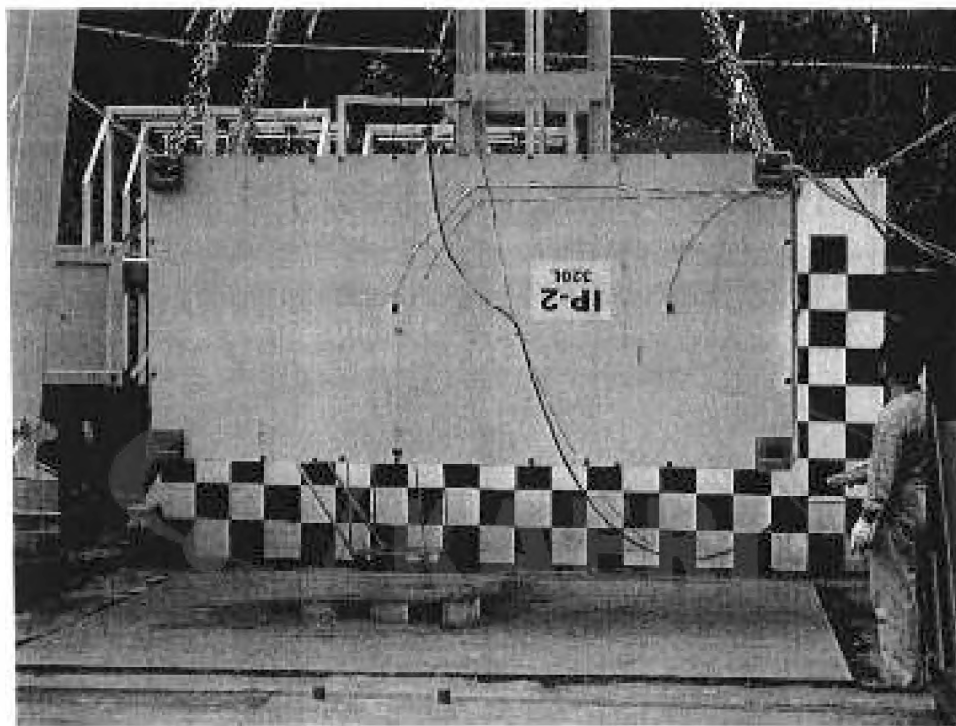


그림 3-40 IP-2형 320리터 운반용기 상변 수평낙하시험

그림 3-41은 상변수평낙하시험에서의 가속도 측정위치를 보여주고 있다. 가속도 센서 설치 위치는 총 3곳으로 전방 중앙에 1개, 우측 상하 레일에 각각 1개씩을 설치하였다. 그림 3-42와 3-43은 변형률 측정위치를 보여주고 있다. 스트레인 게이지는 총 8개를 부착하였으며 뚜껑에 2개, 우측 상하 레일에 2개, 차폐 플레이트에 1개 그리고 하부 플레이트와 차폐 플레이트에 각 2개 및 1개를 부착하였다.

그림 3-44는 볼트 게이지가 삽입된 볼트의 직용위치를 보여주고 있다. 볼트 게이지가 삽입된 볼트는 총 2개를 사용하였으며 1, 8번 볼트 위치에 설치

하였다. 가속도와 변형률은 20 kHz로 데이터를 취득하였으며, 볼트 변형률은 1 kHz로 데이터를 취득하였다.

가속도 센서는 최대 5,000g 까지 개측할 수 있는 감도를 가지며, 스트레인 게이지는 모두 1축 게이지를 사용하였다. 가속도 및 변형률 데이터 취득은 NI-PCI 장비를 이용하였다. 또한, 본트용 스트레인 게이지가 삽입된 볼트의 축 변형률은 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터를 취득하였다.

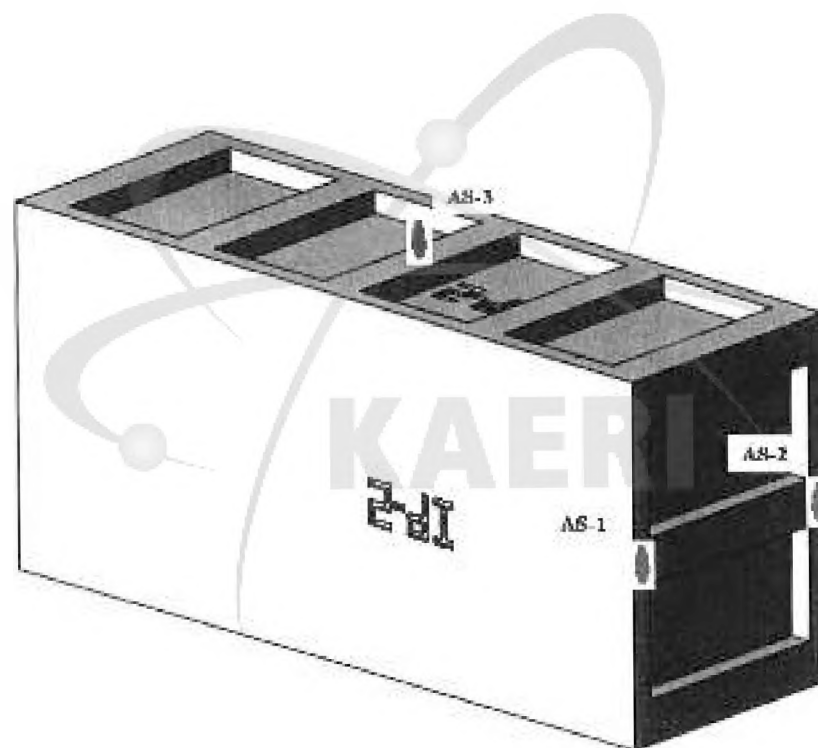


그림 3-41 장변수평낙하 가속도센서 측정위치

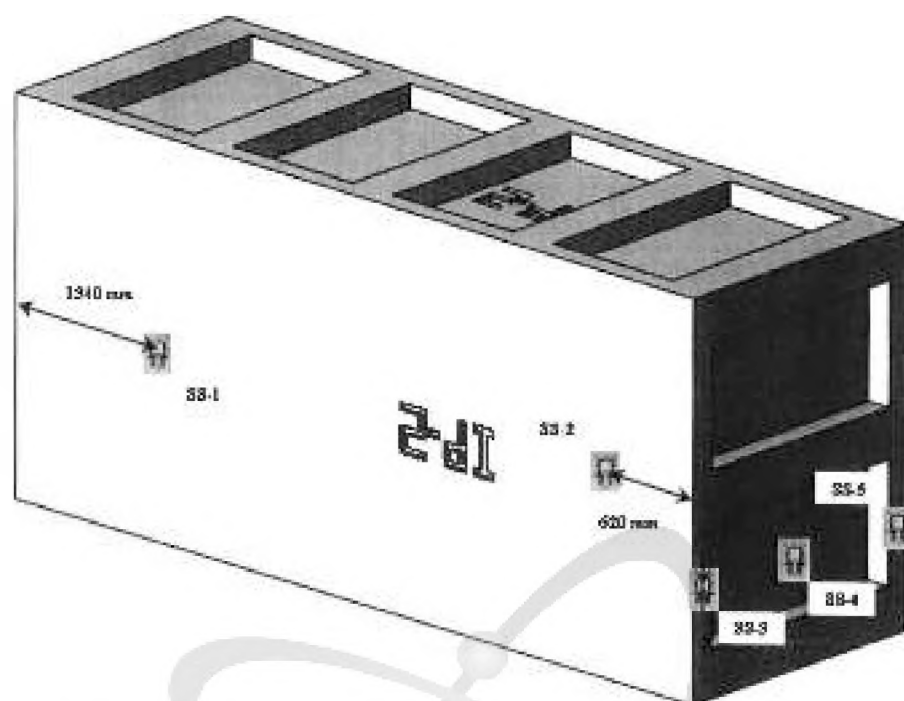


그림 3-42 장변수평낙하 스트레인 게이지 측정위치 #1

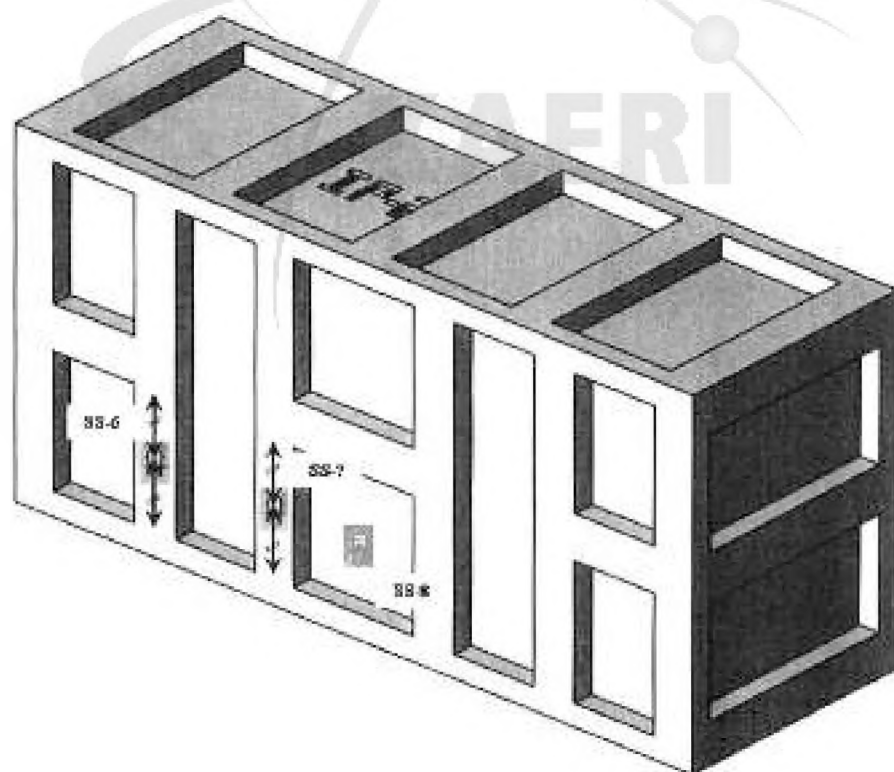


그림 3-43 장변수직낙하 스트레인 게이지 측정위치 #2

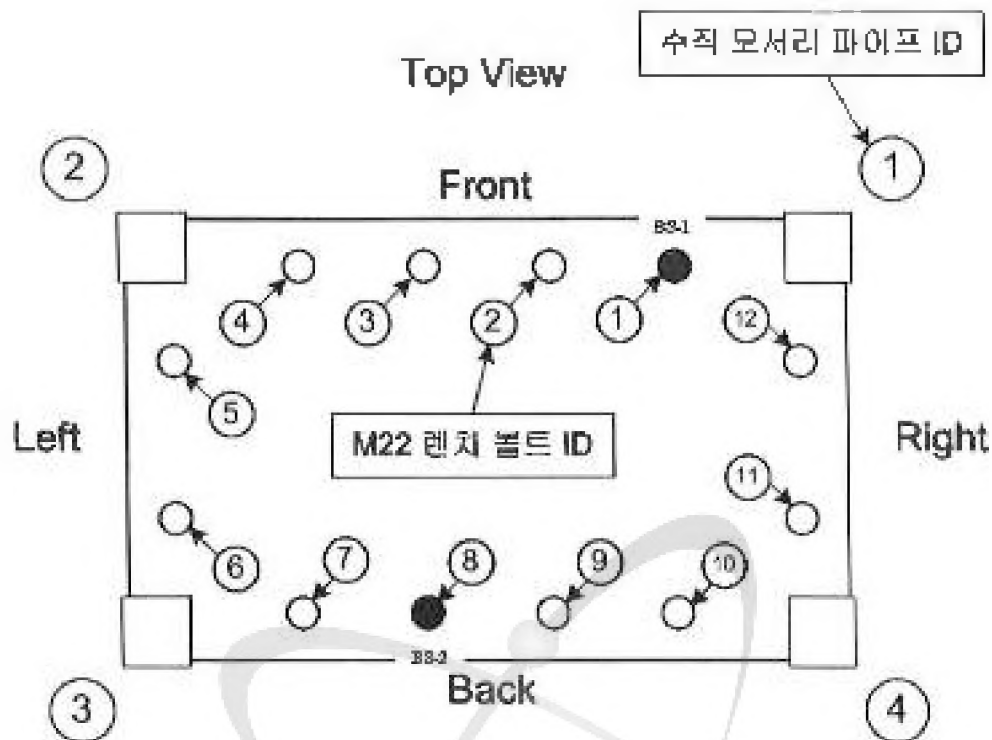


그림 3-44 장변수평낙하 볼트 변형률 측정위치

그림 3-45는 장변수평낙하시험에서의 가속도 측정결과를 보여주고 있다. 그림에서 용기의 흔들림에 의해 두번째 2차 충돌이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3-46은 가속도 측정결과를 600 Hz low pass 필터링한 결과선도를 보여주고 있다. 결과선도에서 2번 가속도가 가장 큰 결과를 보였다. 그림 3-47은 변형률 측정결과를 보여주는 결과로 데이터는 600 Hz low pass 필터링한 결과를 보여주고 있다. 변형률은 우측 차폐 플레이트에 부착된 스트레인 게이지에서 가장 많이 압축된 것을 확인할 수 있다.

그림 3-48은 볼트 변형률 변화를 보여주는 선도로 볼트가 규정된 도크로 체결된 이후 낙하시험에 의한 충돌 시 볼트의 축방향 변형률 변화는 8번 위치에 사용된 2번 게이지 볼트에서 가장 큰 변화를 보였다. 그림 3-49는 볼트 변형률을 하중으로 환산한 선도로 2번 볼트에 충돌 시 2.5 kN 정도 인장하중이 작용한 것을 확인할 수 있다.

표 3-9와 3-10은 최대 충격가속도 및 최대 변형률을 정리한 것으로 충격 가속도는 AS-2에서 346g, 최대 변형률은 SS-4에서 1.6E-3 정도로 가장 큰 측정 결과를 보였다.

낙하시험전·후의 외형 치수, 차폐체 두께, 볼트 토크, 본체와 뚜껑 사이의 간극 측정 및 내부 검사 등을 실시하였다. 치수검사 결과 낙하시험전·후에 외형치수 및 차폐체 두께의 변화가 거의 발생하지 않았다. 따라서 뚜껑 수직 낙하조건에서 20% 이상의 차폐능력 손실이 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

낙하시험 후 뚜껑 볼트의 평균 토크는 171.3 N·m로 체결 토크 289.1 N·m에 비하여 약 1/3 정도의 풀림이 발생하였지만 볼트의 피손이나 손상이 발생하지 않았다. 또한, 낙하시험 후에 용기 본체와 뚜껑 사이의 간극은 시험 전에 대하여 약간 감소하였으며, 운반용기 내부 검사에서 운반내용물의 유실이나 분산 등이 발생하지 않았다. 따라서 수평 낙하시험에서도 운반용기의 구조적 건전성이 입증되었다.

그림 3-50은 충돌 시 드럼이 뚜껑과 충돌하면서 충격흡수용 고무 패드가 이탈한 그림이며, 그림 3-51은 드럼이 충돌 시 본체로 쏠리면서 드럼의 상부가 본체와 충돌로 발생한 변형된 그림이다. 그러나 차폐나 격납에 영향을 줄 수 있는 변형은 없었다.

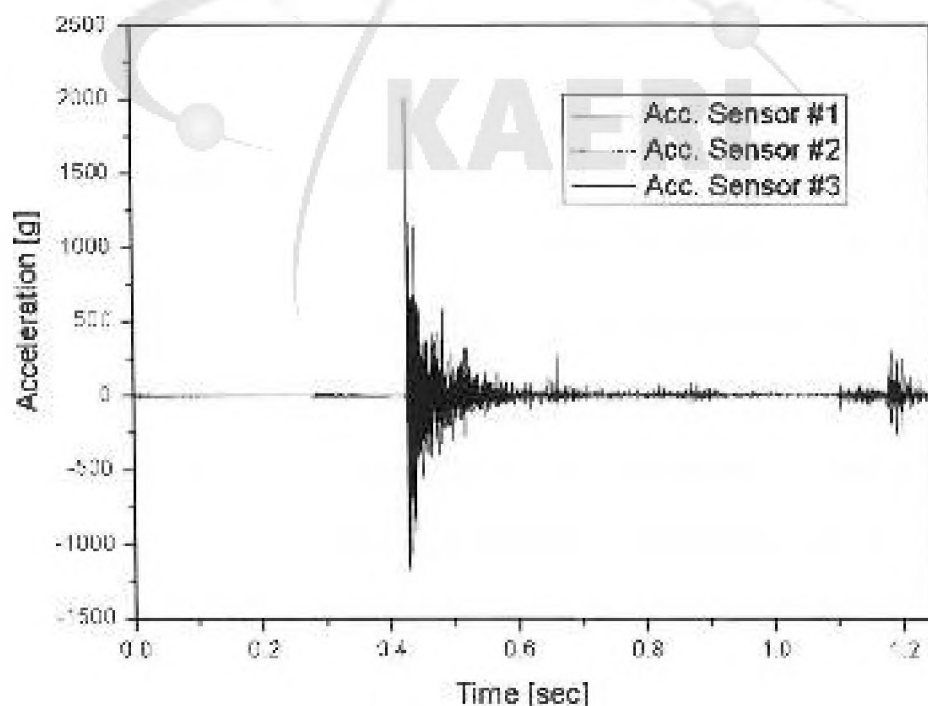


그림 3-15 장변수평낙하에서 가속도 측정결과 신호

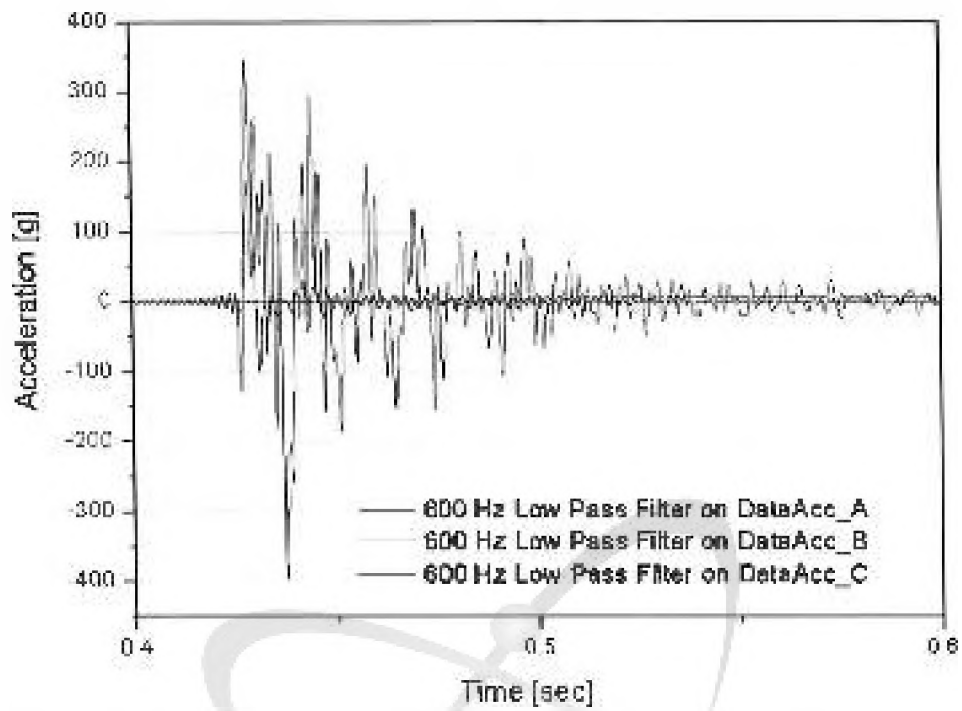


그림 3-46 수평낙하에서 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

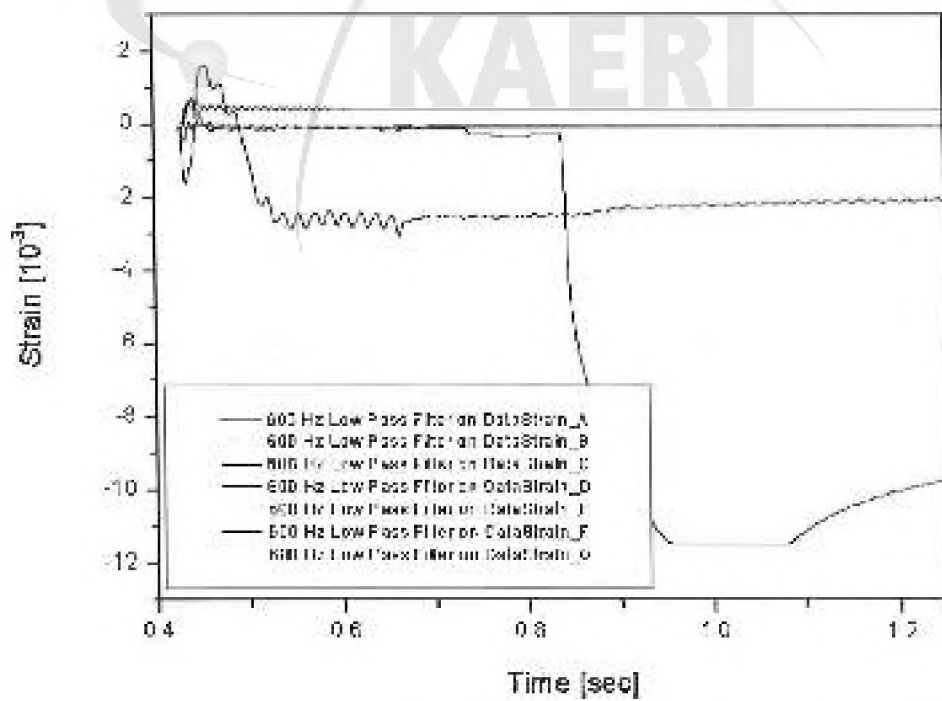


그림 3-47 수평낙하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

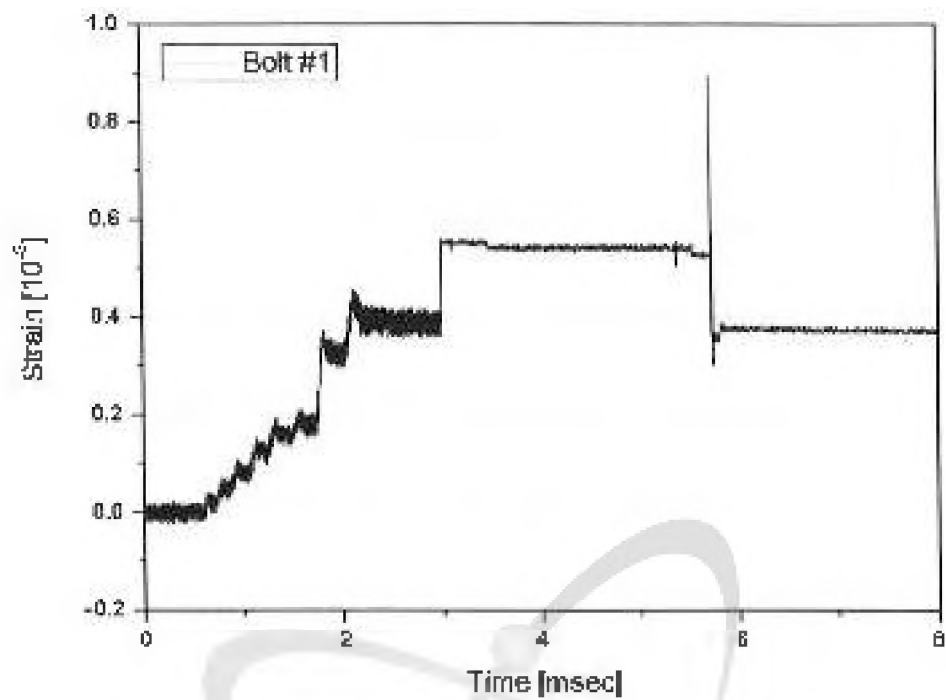


그림 3-48 수평낙하에서 볼트 변형률 측정결과와 선도

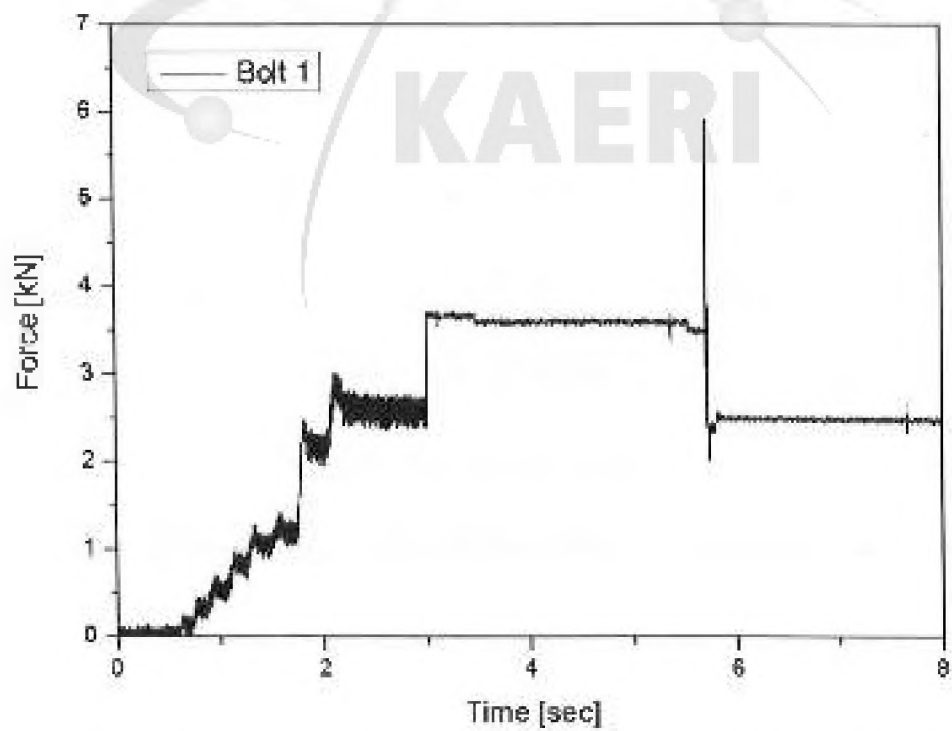


그림 3-49 수평낙하에서 볼트에 작용하는 축하중 측정결과와 선도

표 3-9 최대가속도 측정결과(장변수평낙하조건)

가속도 No.	최대 충격 가속도 (g)
AS-1	failed
AS-2	345.7
AS-3	268.9

표 3-10 최대변형률 측정결과(장변수평낙하조건)

스트레인 게이지 No.	최대 변형률
SS-1	+ 0.71153E-3
SS-2	+ 0.68406E-3
SS-3	+ 0.07609E-3
SS-4	+ 1.63079E-3
SS-5	- 0.12521E-3
SS-6	- 0.45948E-3
SS-7	+ 0.37373E-3



그림 3-50 중직흡수용 고무 패드 이탈

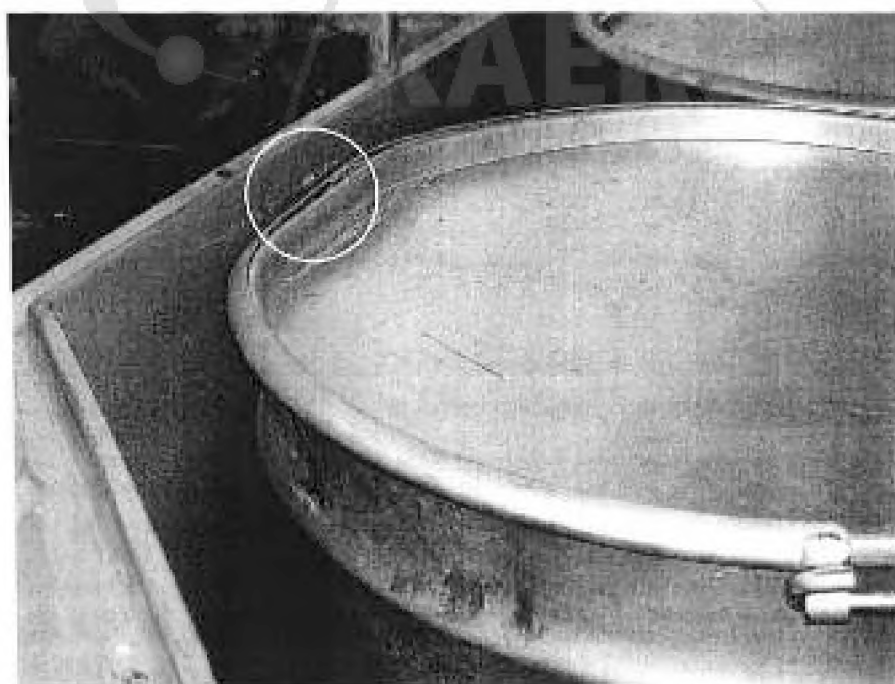
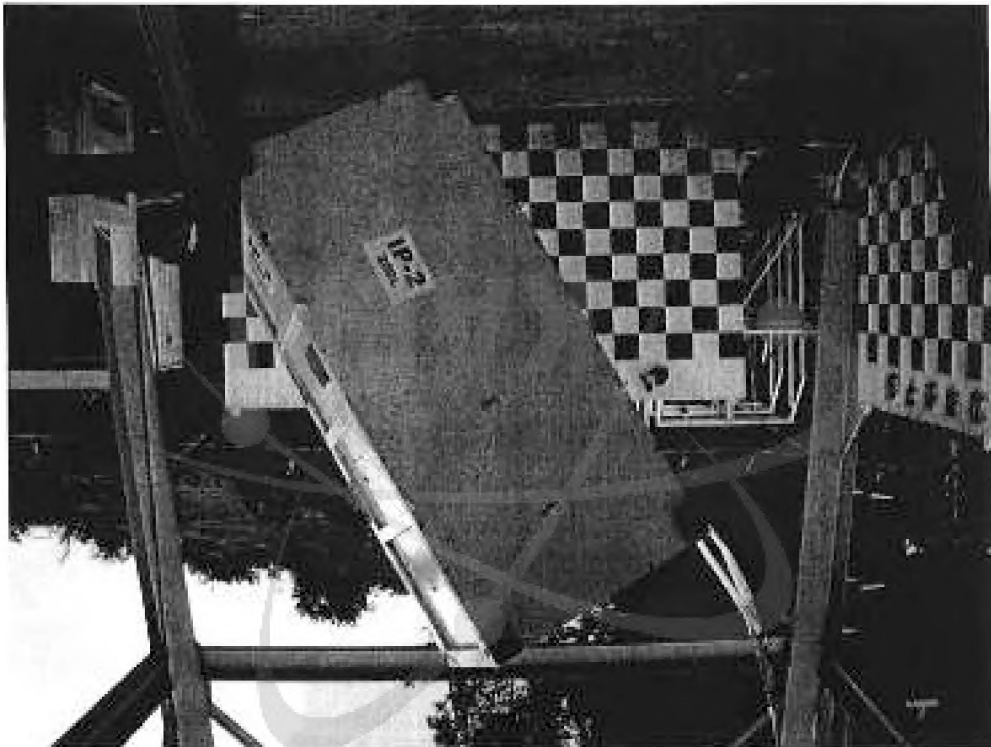


그림 3-51 드립 솔럼으로 인한 밴드 변형

그림 3-53과 3-54는 복지점 낙하시험에서의 기하도 측정위치를 보여주고 있다. 기하도 센서는 총 4개로 두점에 1개, 좌반 및 우반 기둥 중앙에 각각 1개씩 그리고 좌측 기둥부에 1개를 설치하였다. 그림 3-55는 변형을 측정위치를 보여주고 있다. 스트레인 게이지는 총 11개를 부착하였으며 두점에 3개, 레일에 3개, 좌반 콘베이트에 3개 그리고 기둥에 2개를 부착하였다. 그림 3-56은 콘트 게이지가 확인된 콘트의 적용위치를 보여주고 있다. 콘트 게이지

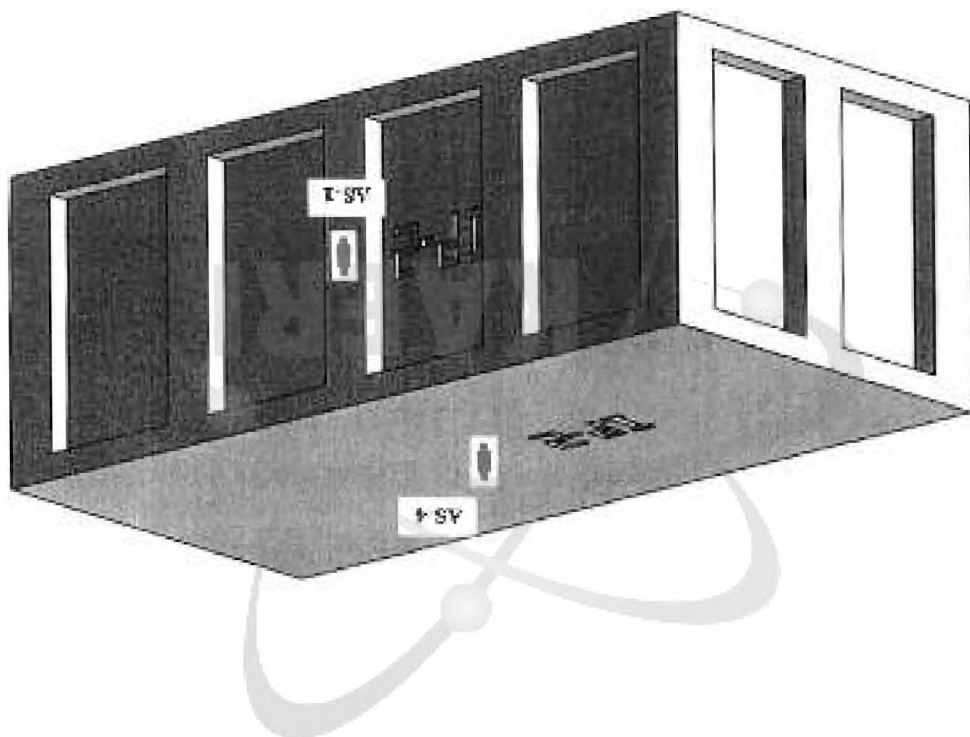
그림 3-52 IP-2형 320리터 운반용기 복지점 낙하시험



IP-2형 320리터 운반용기의 복지점 낙하시험을 수행하고 낙하시험결과로부터 측정된 각 측정위치에 따른 응력 기하도, 변형률, 콘트의 변형 변위를 선도 그리고 콘트의 하중변화 선도를 구했다. 또한 최대응력각속도, 적대변형을 값을 요하였다. 그림 3-52는 IP-2형 320리터 운반용기 0.9 m 높이에서의 복지점 낙하시험 준비상태를 보여주고 있다. 복지점 낙하시험은 무게중심 낙하조건이며, 시험코드의 x, y, z 축과 낙하 타격과의 각도는 각각 $22.3^\circ, 16.3^\circ, 62.5^\circ$ 이다.

다. 복지점 낙하시험

그림 3-53 쪽지접착하 가속도센서 측정위치 #1



지가 삽입된 분트는 총 4개를 사용하였으며 2, 6, 8, 12면 분트 위치에 설치하였다. 가속도화 변형률은 20 kHz로 데이터를 획득하였으며, 분트 변형률은 1 kHz로 데이터를 획득하였다.

가속도 센서는 최대 5,000g 까지 계측할 수 있는 진도를 가지며, 스트레인 게이지는 모두 1축 게이지를 사용하였다. 가속도 및 변형률 데이터 취득은 NI-PCI 장비를 이용하였다. 또한, 분트용 스트레인 게이지가 삽입된 분트의 변형률은 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터로 획득하였다.

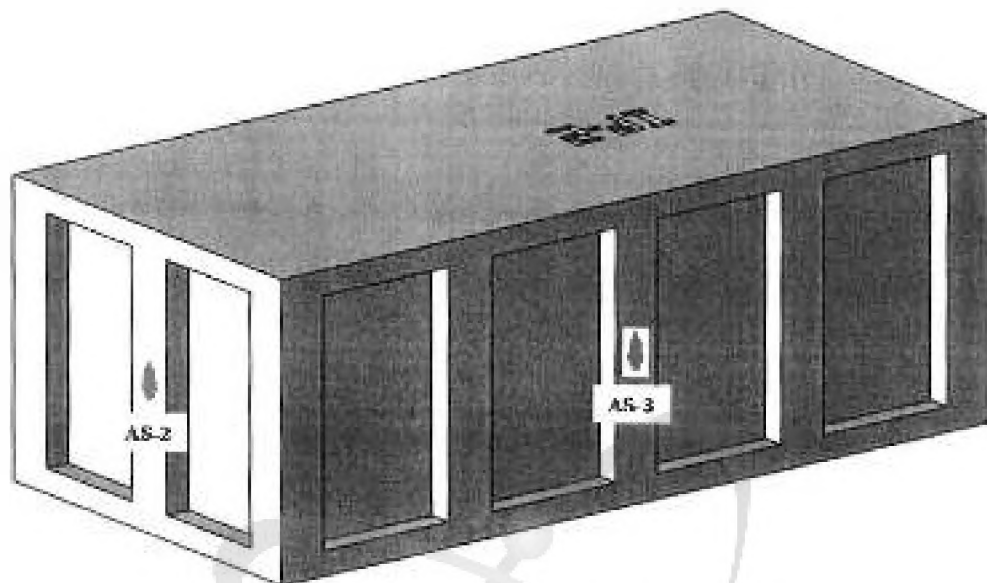


그림 3-54 폭지섬박하 가속도센서 측정위치 #2

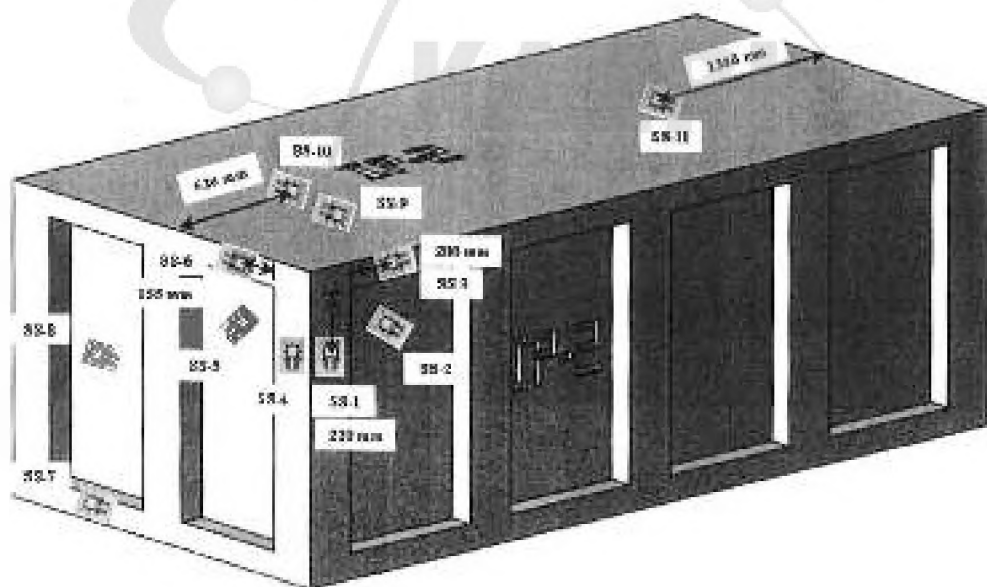


그림 3-55 폭지섬박하 스트레인 게이지 측정위치

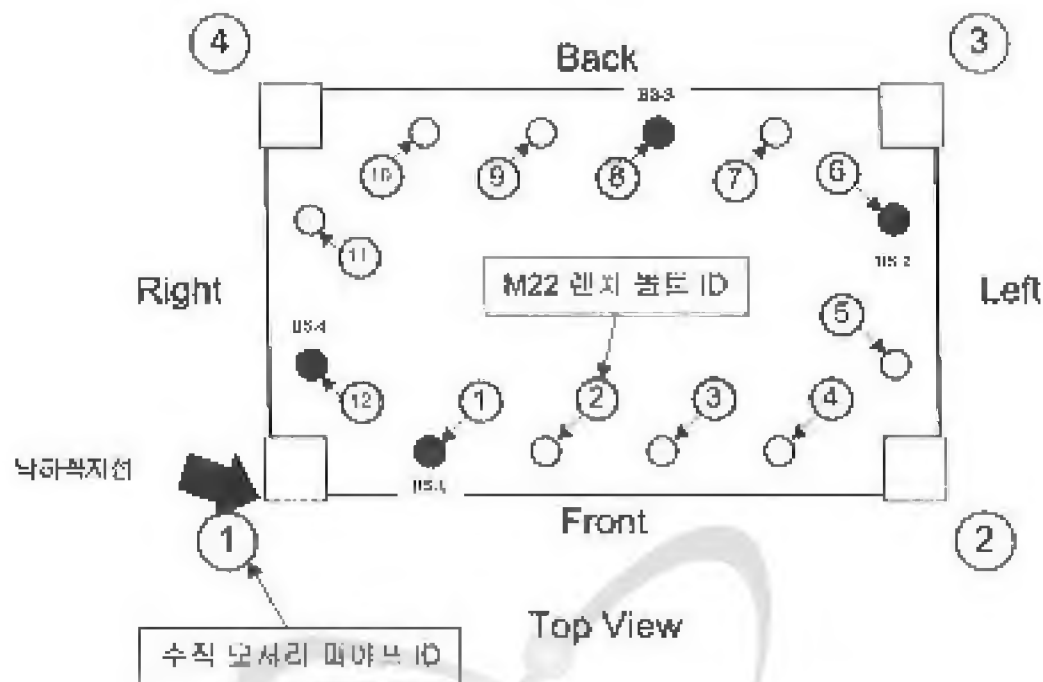


그림 3-56 폭저점 낙하시험에서 볼트 변형률 측정위치

그림 3-57은 폭저점 낙하시험에서의 가속도 측정결과를 보여주고 있다. 1차 충돌 후 바닥부분과 2차 그리고 안전가대와 3차 충돌이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3-58은 가속도 측정결과를 600 Hz low pass 필터링한 결과선도를 보여주고 있다. 결과선도에서 2번 가속도 측정결과에서 가장 큰 결과를 보였다. 그림 3-59는 변형률 측정결과를 보여주는 결과로 패아터는 600 Hz low pass 필터링한 결과를 보여주고 있다. 변형률은 상부 레일에 부착된 스트레인 게이지에서 가장 많이 압축된 것을 확인할 수 있다.

그림 3-60은 볼트 변형률 변화를 보여주는 선도로 볼트가 규정된 토크로 체결된 이후 낙하시험에 의한 충돌 시 볼트의 축방향 변형률 변화는 12번 위치에 사용된 4번 게이지 볼트에서 가장 큰 변화를 보였다. 그림 3-61은 볼트 변형률을 하중으로 환산한 선도로 4번 볼트에 3.5 kN 정도 체결 인장력이 떨어진 것을 확인할 수 있다. 표 3-11과 3-12는 최대 충격가속도 및 최대 변형률을 정리한 것으로 충격 가속도는 AS-2에서 67g로 낙하시험 중에서 가장 작은 충격 가속도를 보였고, 최대 변형률은 측정 위치 SS-3에서 1.11% 정도로 가장 큰 변형률 변화를 보였다.

폭저점 낙하시험전 후의 외형 지수, 치폐제 두께, 볼트 토크, 문제와 뚜껑 사이의 간극 측정 및 내부 검사 등을 실시하였다. 외형 지수검사 결과 낙하

시험 후에 일부에서 시험모델의 실이의 변화가 발생하였지만 모서리측 부위의 극부적인 변형으로 인한 전파이다. 낙하 테스트면의 모서리 부위를 제외하고는 전체적으로 변형이 발생하지 않았으며, 차폐체의 두께도 감소하지 않았다. 따라서 꼭지점 낙하조건에서 20% 이상의 차폐능력 손실이 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

낙하시험 후 두께 분포의 평균 토크는 153.9 N-m로 체결 토크 289.1 N-m에 비하여 약 1/2 정도의 토크만이 발생하였지만 분포의 피스어나 손상이 발생하지 않았다. 또한, 낙하시험 후에 용기본체와 뚜껑 사이의 간극이 약 0.3 mm 정도 증가되었지만 운반 내용물의 유실 또는 부산이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 낙하시험 후 운반용기 내부 검사에서도 운반내용물의 유실이나 분산 등이 발생하지 않았다. 따라서 뚜껑부 꼭지점 낙하시험에서도 운반용기의 구조적 건전성이 입증되었다.

그럼 3-62는 총동 시 용기의 모서리측 변형을 보여주는 그림으로 최대 35 mm의 변형을 보였다. 그림 3-63은 드럼이 본체로 쏠리면서 드럼의 셸(shell) 부위에 파열이 발생한 그림이다. 그러나 차폐나 식념에 영향을 줄 수 있는 변형은 없었다.

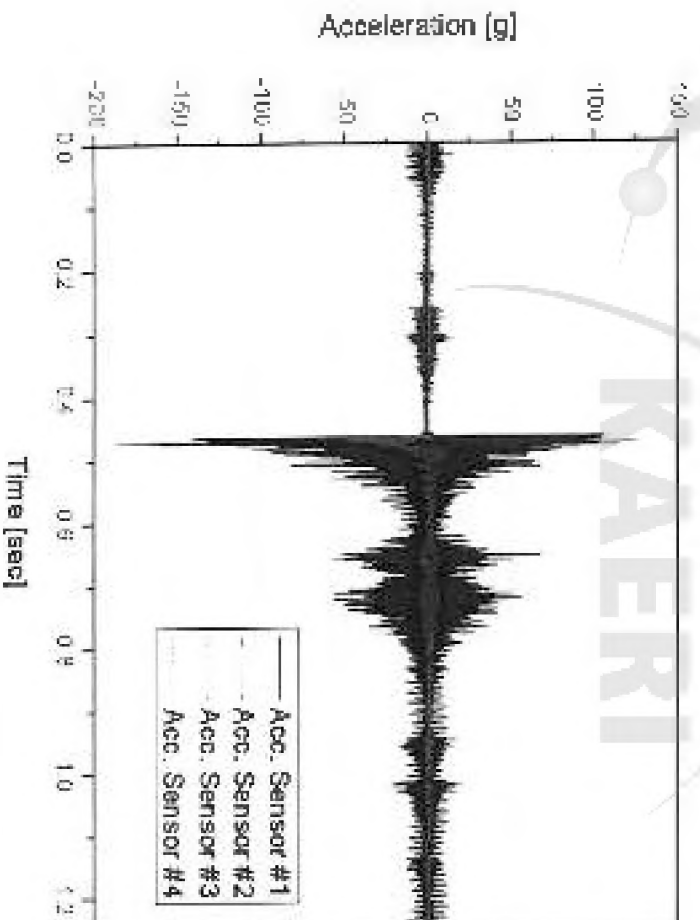


그림 3-57 꼭지점 낙하에서 가속도 측정결과 싣도

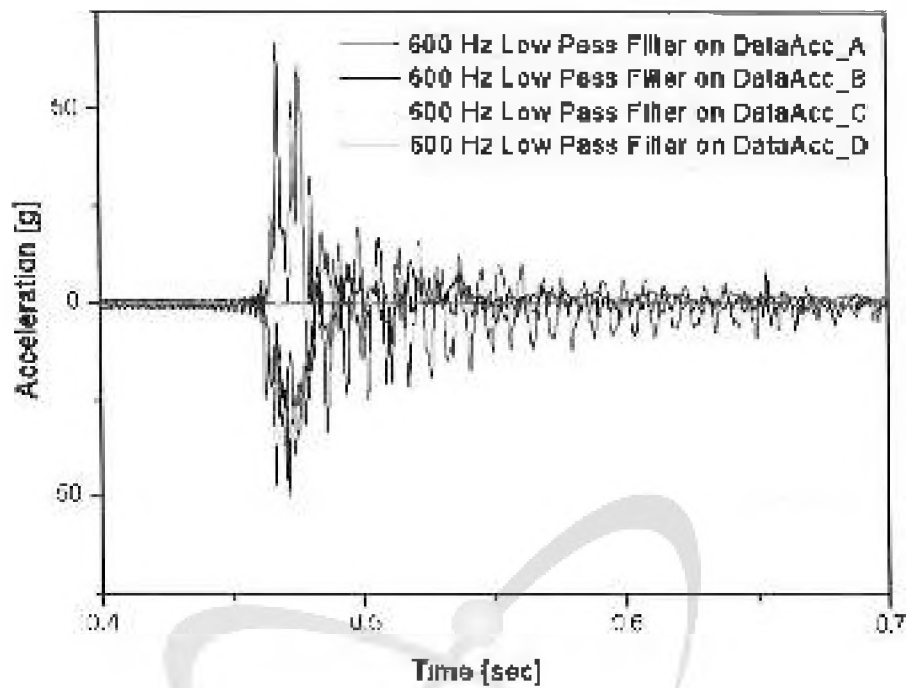


그림 3-58 폭지침낙하의 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

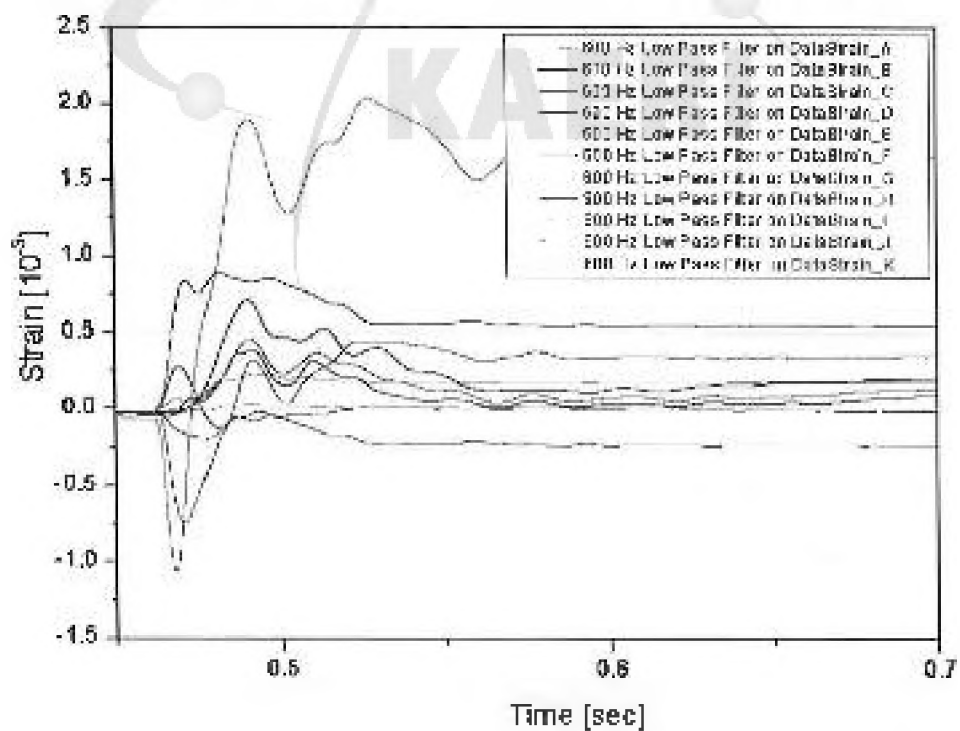


그림 3-59 폭지침낙하의 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

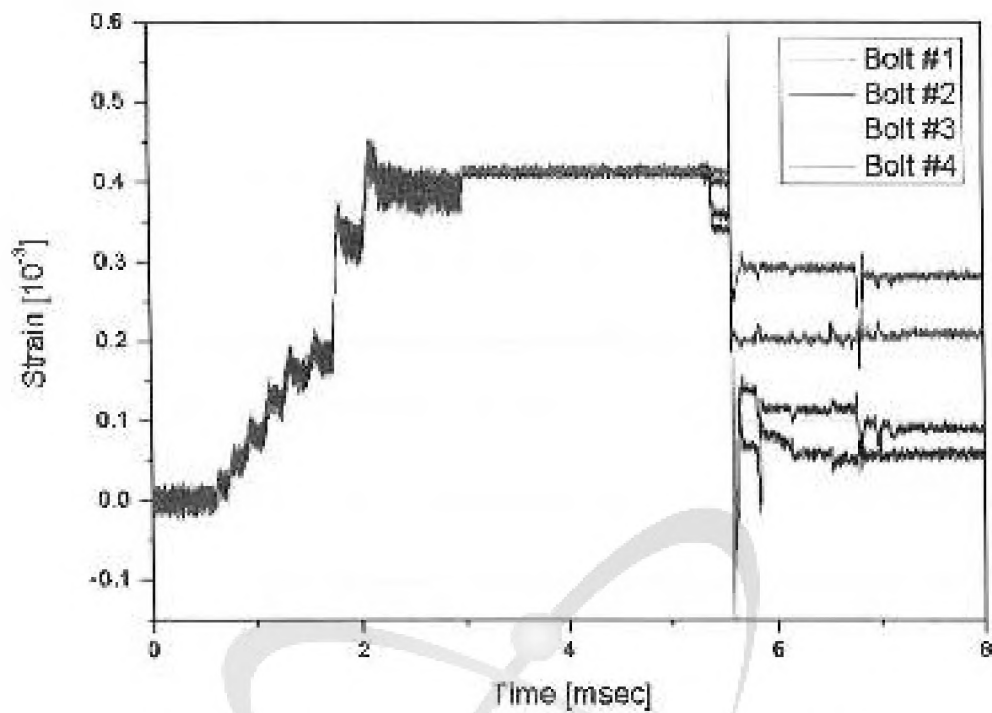


그림 3-60 복지전너하에서 볼트 변형률 측정결과 선도

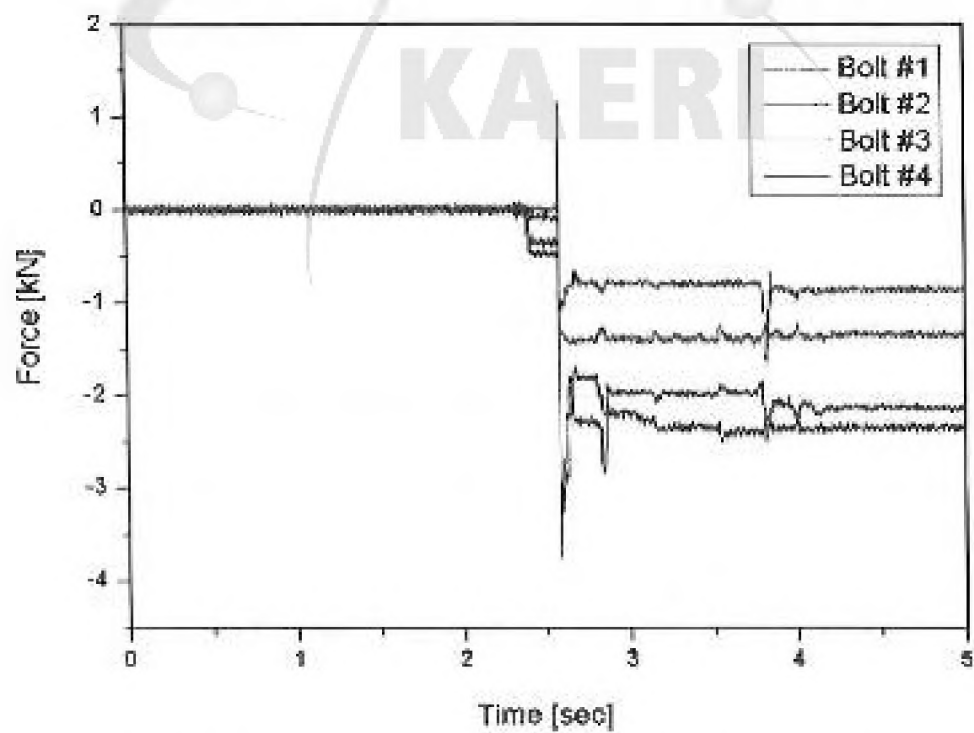


그림 3-61 복지전너하에서 볼트에 작용하는 축하중 측정결과 선도

표 3-11 최대가속도 측정결과(꼭지점 낙하조건)

가속도 No.	최대 충격 가속도 (g)
AS-1	49.8
AS-2	67.3
AS-3	failed
AS-4	46.8

표 3-12 최대변형률 측정결과(꼭지점 낙하조건)

스트레인 게이지 No.	최대 변형률
SS-1	- 0.85975E-3
SS-2	- 0.19247E-3
SS-3	- 1.05932E-3
SS-4	+ 0.84032E-3
SS-5	+ 0.22453E-3
SS-6	- 0.74710E-3
SS-7	+ 0.07071E-3
SS-8	- 0.02220E-3
SS-9	+ 0.38188E-3
SS-10	+ 0.45408E-3
SS-11	+ 0.71338E-3

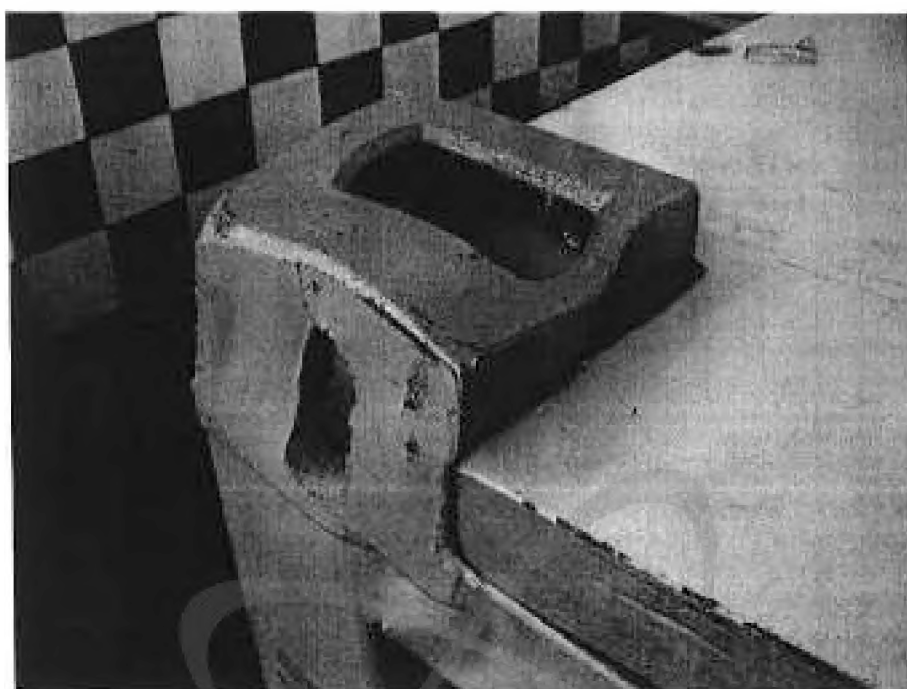


그림 3-62 낙하충돌로 인한 모서리식 변형



그림 3-63 드럼 셀 부위의 부분 파손

마. 모서리 낙하시험

IP-2형 320리터 드럼용 운반용기의 모서리 낙하시험을 수행하고 낙하시험결과로부터 측정된 각 측정위치에 따른 충격 가속도, 변형률, 볼트의 축방향 변형률 선도 그리고 볼트의 하중변화 선도를 구했다. 또한 최대충격가속도, 최대변형률 값을 요약하였다. 그림 3-64는 IP-2형 320리터 드럼용 운반용기의 0.9 m 높이에서의 모서리 낙하시험 준비상태를 보여주고 있다. 모서리 낙하는 무게중심 낙하조건이며, 낙하 각도는 55.5 °이다.



그림 3-64 IP-2형 320리터 운반용기 모서리 낙하시험

그림 3-65와 3-66은 모서리 낙하시험에서의 가속도 측정위치를 보여주고 있다. 가속도 센서는 총 4개로 전방 기둥에 2개, 좌측 기둥에 2개를 마더번과 수직인 방향으로 설치하였다. 그림 3-67은 변형률 측정위치를 보여주고 있다. 스트레인 게이지는 총 8개를 부착하였으며 무게에 5개, 상부 레일에 1개, 기둥에 1개 그리고 차폐 플레이트에 1개를 부착하였다.

그림 3-68은 볼트 게이지가 삽입된 볼트의 적용위치를 보여주고 있다. 볼트 게이지가 삽입된 볼트는 총 6개를 사용하였으며 1, 2, 5, 7, 8, 11번 볼트

위치에 설치하였다. 가속도와 변형률은 20 kHz로 데이터를 취득하였으며, 볼트 변형률은 20 및 1 kHz로 데이터를 취득하였다.

가속도 센서는 최대 5,000g 까지 계측할 수 있는 감도를 가지며, 스트레인 게이지는 모두 1축 게이지를 사용하였다. 가속도 및 변형률 데이터 취득은 NI-FXI 장비를 이용하였다. 또한, 볼트용 스트레인 게이지가 삽입된 볼트의 축 변형률은 NI C-DAQ 장비를 이용하여 데이터를 취득하였다.

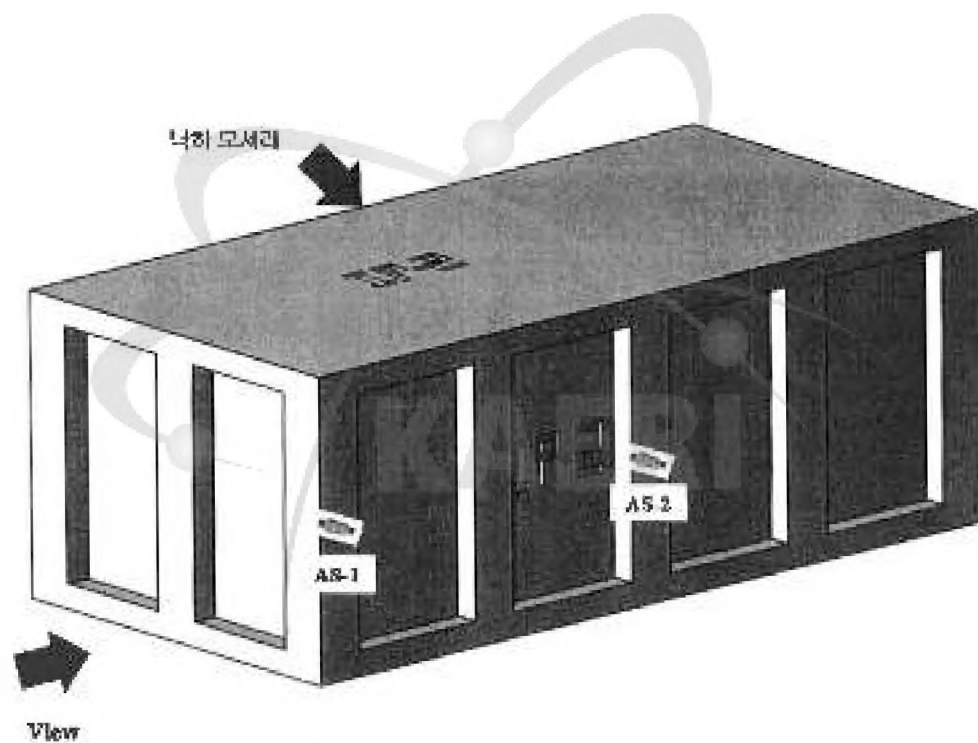


그림 3-65 모서리낙하 가속도센서 측정위치 #1

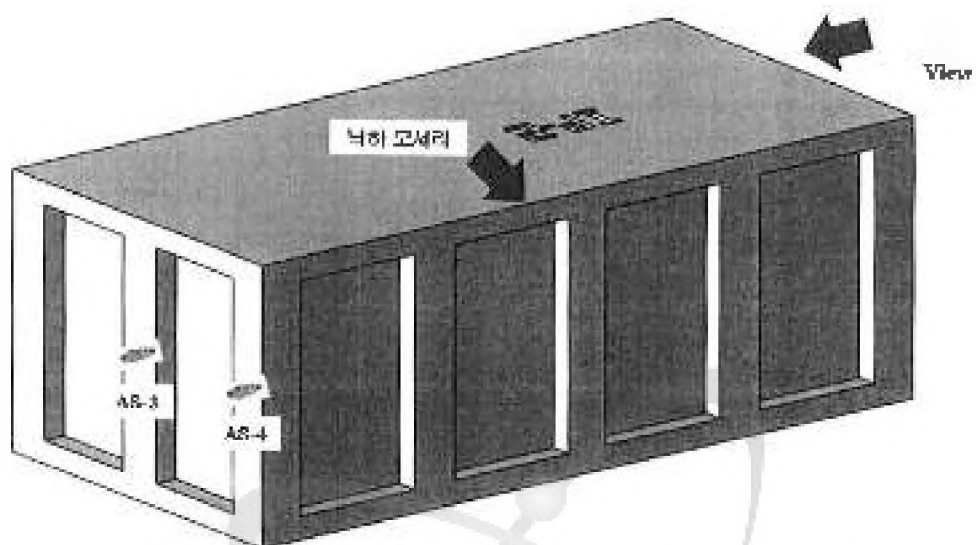


그림 3-66 모서리낙하 가속도센서 측정위치 #2

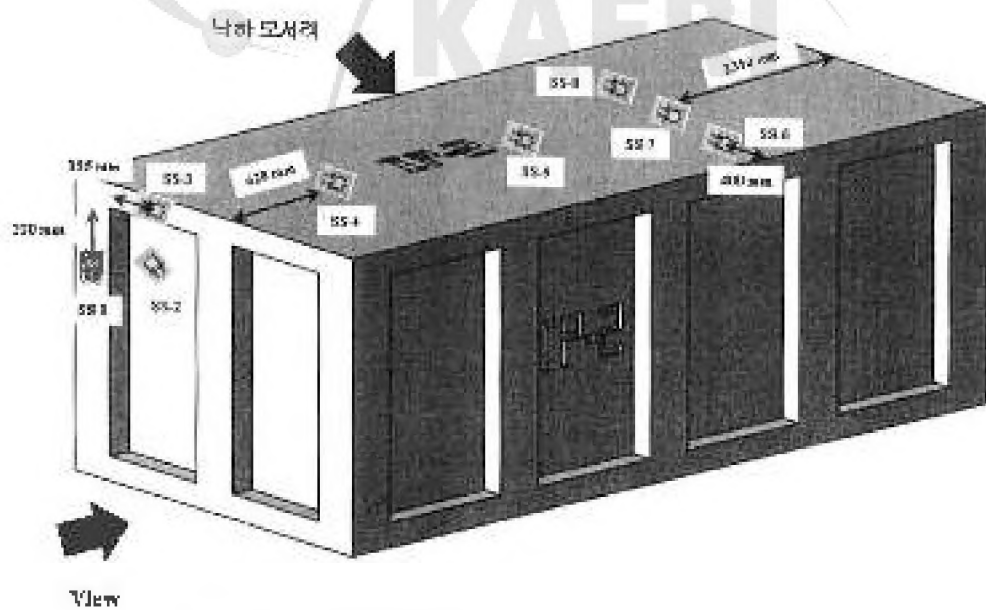


그림 3-67 모서리낙하 스트레인 게이지 측정위치

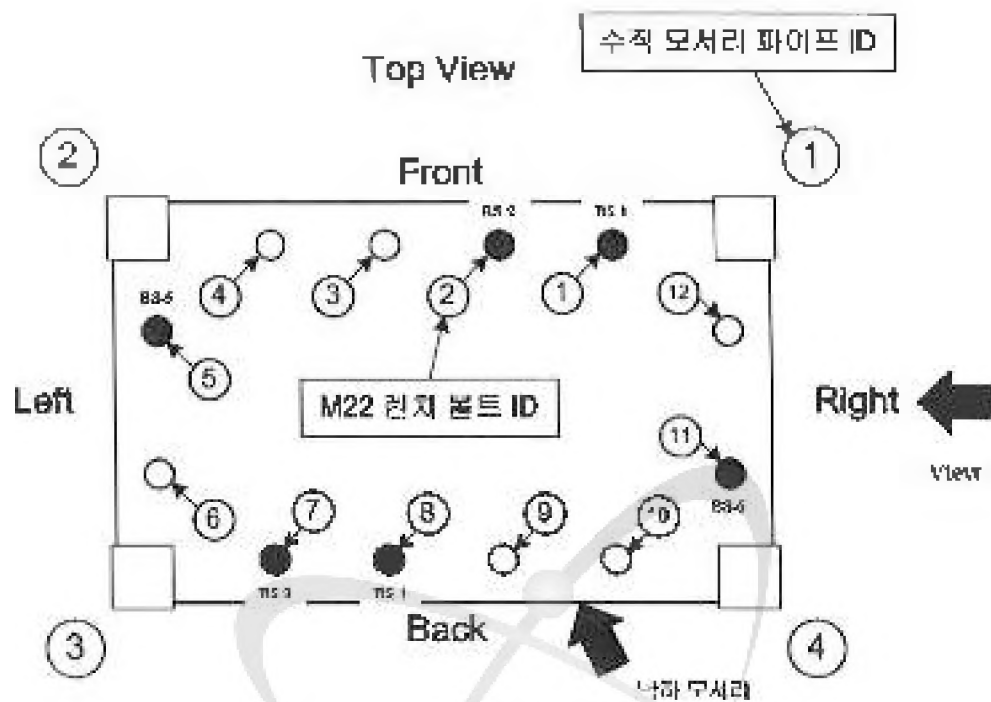


그림 3-68 모서리나사 볼트 변형률 측정위치

그림 3-69는 모서리 낙하시험에서의 가속도 측정결과를 보여주고 있다. 그림 3-70은 가속도 측정결과를 600 Hz low pass 필터링한 결과선도를 보여주고 있다. 결과선도에서 1번 가속도에서 가장 큰 결과를 보였다. 그림 3-71은 변형을 측정결과를 보여주는 결과로 데이터는 600 Hz low pass 필터링한 결과를 보여주고 있다. 변형률은 두점에 부착된 스트레인 게이지에서 가장 많이 변형된 것을 확인할 수 있다.

그림 3-72와 3-73은 볼트 변형률 변화를 보여주는 선도로 볼트가 고정된 로크로 제시된 이후 낙하시험에 의한 충돌 시 볼트의 축방향 변형률 변화는 2번 위치에 사용된 2번 게이지 볼트에서 가장 큰 변화를 보였다. 그림 3-74와 3-75는 볼트 변형률을 하중으로 환산한 선도로 2번 볼트에 충돌 시 8 kN 정도의 인장하중이 작용한 것을 확인할 수 있다. 표 3-13과 3-14는 최대 충격 가속도 및 최대 변형률을 정리한 것으로 충격 가속도는 AS-1에서 171g, 최대 변형률은 SS-7에서 0.78E-3 정도로 가장 큰 변형률 변화를 보였다. 또한 낙하 충돌 후 600 rpm 정도 용기가 옆으로 밀리는 현상을 보였다.

모서리 낙하시험 전·후의 외형 치수, 차례제 무게, 볼트 토크, 본체와 뚜껑 사이의 간극 측정 및 내부 검사 등을 실시하였다. 외형 치수검사 결과 시험 전후에 치수의 변화가 없었으며, 차례제 무게의 변화도 발생하지 않았다. 따라서 모서리 낙하조건에서 20% 이상의 차례능력 손실이 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

낙하시험 후 뚜껑 볼트의 평균 토크는 171.2 N-m로 측정되었으며, 볼트의 파손이나 손상이 발생하지 않았다. 또한, 낙하시험 후에 용기본체와 뚜껑 사이의 간극의 변화가 거의 발생하지 않았으므로 운반 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 낙하시험 후 운반용기 내부 검사에서도 운반내용물의 유실이나 분산 등이 발생하지 않았다. 따라서 모서리 낙하시험에서도 운반용기의 구조적 견인성이 입증되었다.

그림 3-76은 충돌 시 드럼이 뚜껑과 충돌하면서 드럼의 상부 및 밴드에 변형이 발생한 그림이며, 그림 3-77은 드럼 한쪽이 충돌 시 뚜껑과 충돌하면서 드럼 뚜껑부 한쪽으로 기울어지면서 변형된 그림이다. 그러나 차례나 격납에 영향을 줄 수 있는 변형은 없었다.

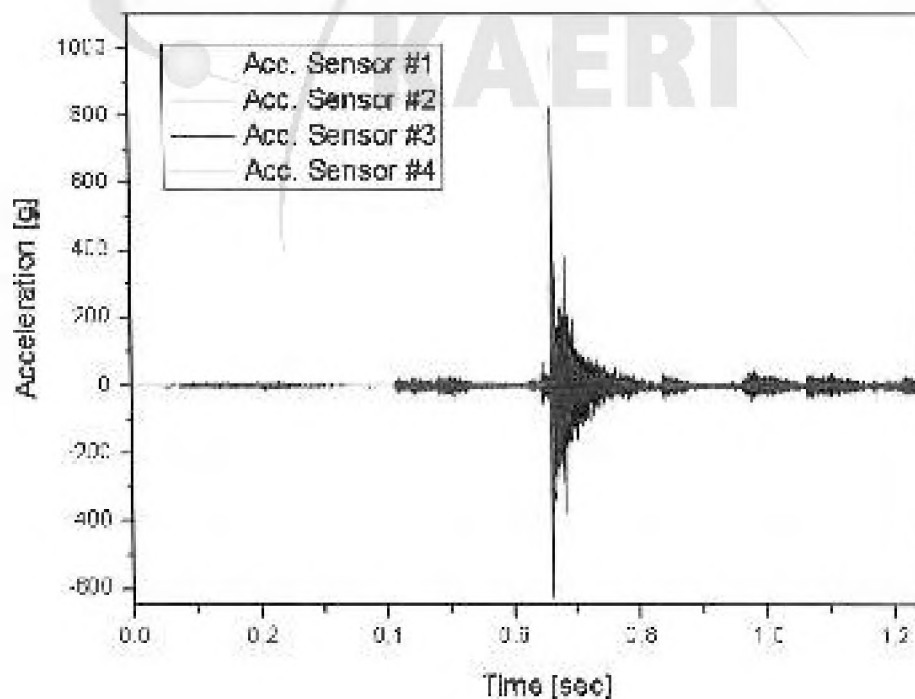


그림 3-69 모서리낙하예시 가속도 측정결과 선도

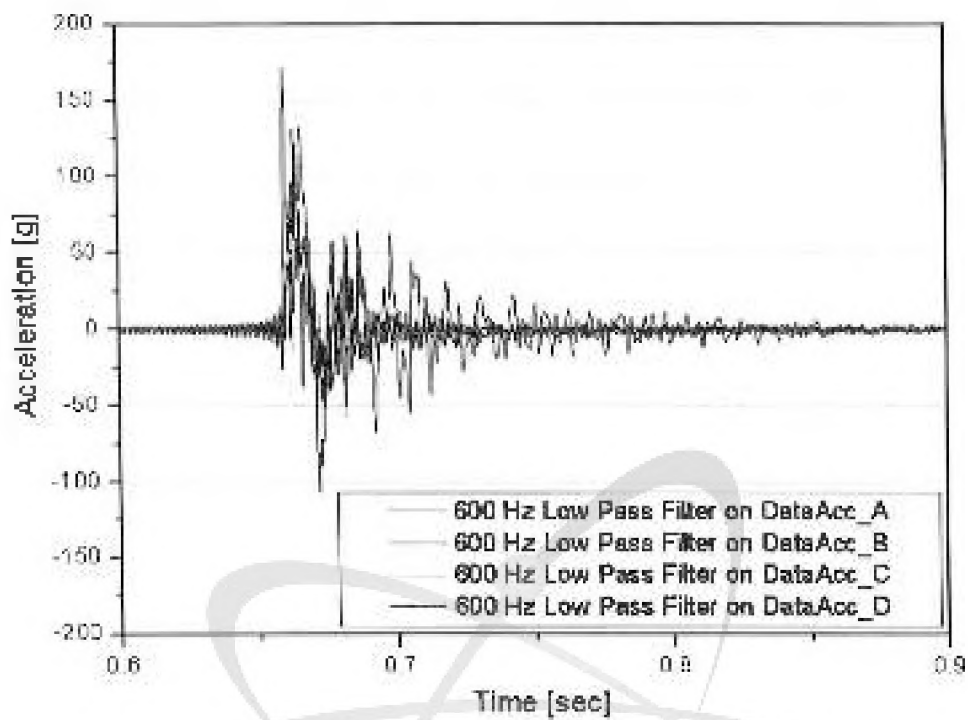


그림 3-70 모서리낙하에서 가속도(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

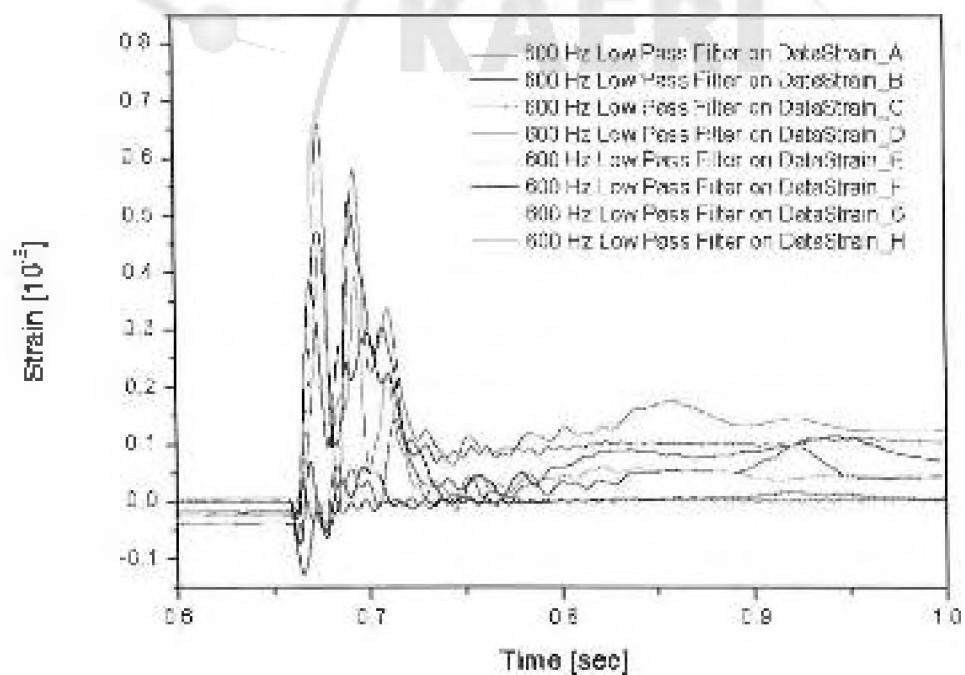


그림 3-71 모서리낙하에서 변형률(600 Hz 필터링) 측정결과 선도

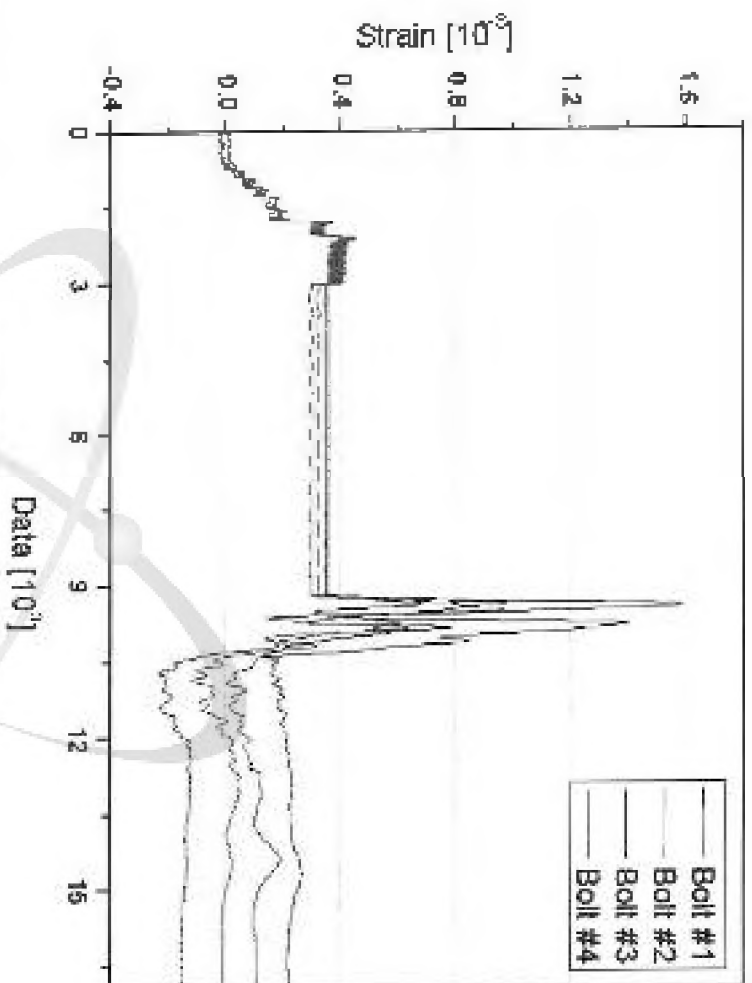


그림 3-72 모서리나치에의 볼트 변형률(#1, #2, #3, #4) 측정결과 신호

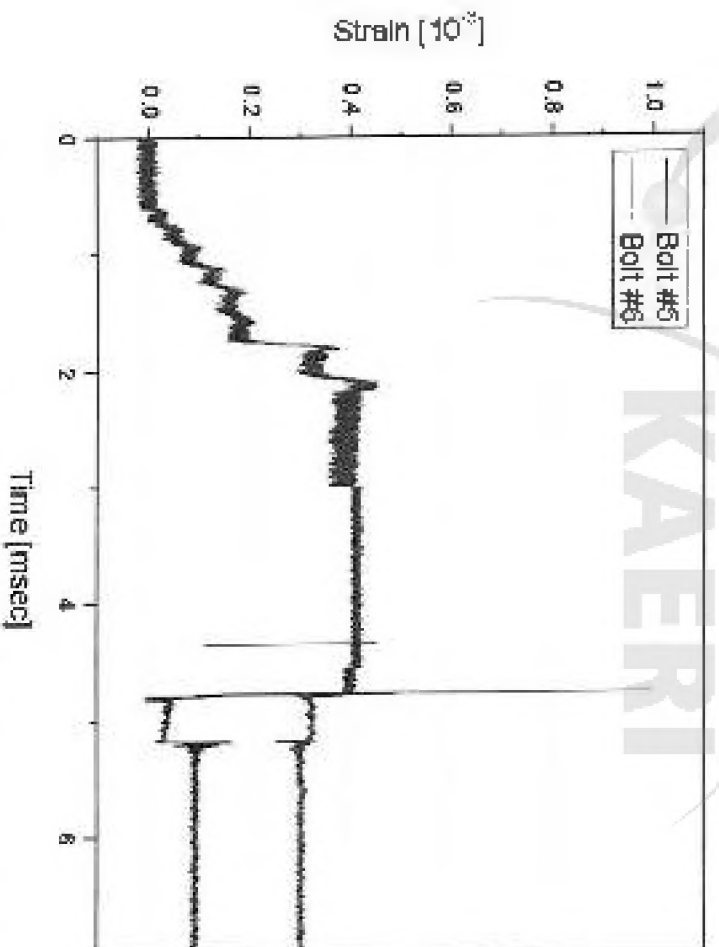


그림 3-73 모서리나치에서 볼트 변형률(#5, #6) 측정결과 신호

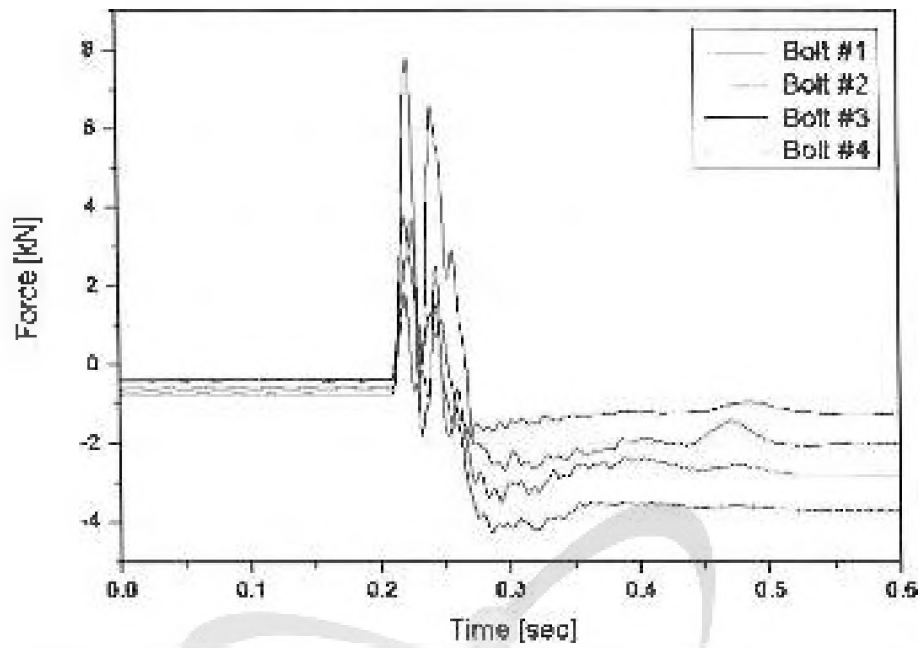


그림 3-74 모서리나하에서 볼트에 작용하는 축하중(#1, #2, #3, #4) 측정결과 선도

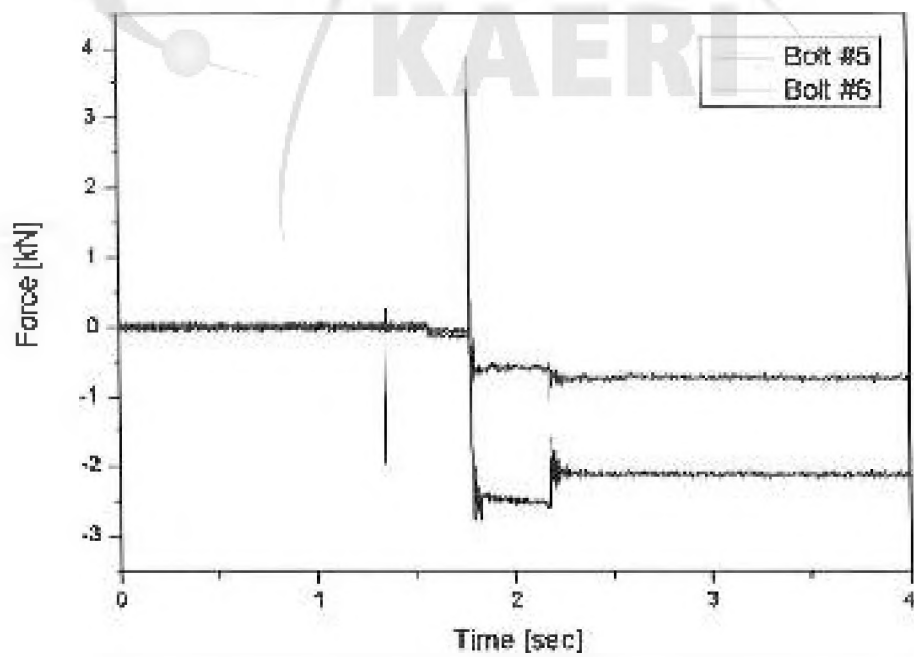


그림 3-75 모서리나하에서 볼트에 작용하는 축하중(#5, #6) 측정결과 선도

표 3-13 최대가속도 측정결과(모서리 낙하조건)

가속도 No.	최대 충격 가속도 (g)
AS-1	171.2
AS-2	131.6
AS-3	118.6
AS-4	123.1

표 3-14 최대변형률 측정결과(모서리 낙하조건)

스트레인 게이지 No.	최대 변형률
SS 1	+ 0.07207E-3
SS-2	- 0.12689E-3
SS-3	- 0.07113E-3
SS 4	+ 0.38782E-3
SS-5	+ 0.65967E-3
SS-6	+ 0.47393E-3
SS 7	+ 0.77800E-3
SS-8	+ 0.45604E-3



그림 3-26 드럼 핸드 변형



그림 3-27 드럼 기울임 변형

다. 낙하시험 결과 및 평가

표 3-15에는 중·저균위 방사형폐기물 IP-2형 운반용기의 낙하시험 결과를 요약하여 나타내었다. 표에서 차폐체의 두께 변화량은 측정오차 이내로 모든 낙하시험에서 차폐체 두께의 감소가 발생하지 않았다. 20% 차폐 손실이 발생할 수 있는 차폐두께 감소량이 6 mm이므로 IP-2형 운반용기는 낙하시험 조건에서 차폐능이 충분히 유지됨을 알 수 있었다.

용기 본체와 뚜껑 사이의 간극, 볼트 토크 측정 및 내부검사를 통한 내용물의 유실 여부를 확인한 결과에서도 모든 낙하시험에서 용반 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 따라서 방폐물 IP-2형 운반용기는 법규에서 규정하는 낙하시험 조건에서 구조적 안전성이 충분히 유지됨을 것으로 평가되었다.

표 3-15 낙하시험 결과 요약

측정항목	낙하방향					비고
	CASE1 (바닥수직)(뚜껑수직)	CASE2 (수평)	CASE3 (꼭지점)	CASE4 (모서리)	CASE5 (모서리)	
차폐체 두께의 평균 변화량(mm)	-0.01	+0.01	+0.03	+0.01	+0.01	-6.0 (허용치)
뚜껑/본체 사이의 최대 간극(mm)	2.60	3.80	1.75	2.05	1.90	4.00 (뚜껑단차)
시험 후 본체의 평균 토크 (N·m)	125.3	77.0	171.3	153.9	171.1	289.1 (제1토크)
본체의 파손 및 폭설 여부	없음	없음	없음	없음	없음	-
유한 내용물의 유실 여부	없음	없음	없음	없음	없음	-

제 4 장 결 론

중·저준위 방사성폐기물 드럼을 운반하기 위한 IP-2형 운반용기의 안전성 입증시험을 수행하였으며, 낙하 및 적중시험 후 운반 내용물의 유실 또는 분산 여부 및 외부표면에서의 방사선량률이 20% 이상 증가할 수 있는 차폐능력의 상실 여부를 평가하였다.

바닥수직, 뚜껑수직, 수평, 꼭지점, 모서리 낙하 등 5방향의 0.9 m 자유낙하시험 결과 운반내용물의 유실이 없었으며, 차폐체 두께의 감소가 발생하지 않았다. 또한, 운반용기 중량의 5배 하중에 대한 적중시험에서도 운반 내용물 유실 및 차폐체 두께의 변화가 발생하지 않았다.

따라서 법규에서 규정하고 있는 낙하시험 및 적중시험조건에서 IP-2형 운반용기의 구조적 건전성이 입증된 것으로 평가되었다.



참고문헌

- [1] 과학기술부보시 제 2001-23호, “방사성물질 운반용기의 포장 및 운반에 관한 규정”, 과학기술부, 2001.
- [2] IAEA Safety Standards Series No.TS-R-1, 2005 Edition "Regulations for the safe transport of radioactive material", 2005.
- [3] US NRC 10 CFR Part 71, "Packaging and Transportation of Radioactive Material", 2005.



부 록



부록 1. 적층시험 절차서



문서개정이력

1. 문서제목 : 표준시위절차서
2. 절차서 번호 : IP2-KIR 003, Rev.1

개정 번호	개정내용	개정일자	승인자
0	신규 제정	2007.6.14	조민
1	개정	2007.8.17	조민



제목 : 직충시험 절차서

문서번호 : EP-KR-R-XXX Rev.1

1. 사용구분 : EP-2형 운반용기 시험

(시험명 : 방폐물 EP-2형 운반용기 안전성 검증시험)

2. 작 성

이 름	성 명	서 명	일 시
연구위원	남 경 호	남경호	2007. 8. 17

3. 검 표

이 름	성 명	서 명	일 시
책임연구원	박 경 작	박경작	2007. 8. 17

4. 승 인

이 름	성 명	서 명	일 시
책임연구원	이 수 권	이수권	2007. 8. 17



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 적중시험 절차서

1. 적용범위

적중시험 절차서는 “방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험” 과제역 IP-2형 운반용기의 적중시험에 대한 입증시험에 적용된다.

2. 참고문헌

- 가. IAEA Safety Standard Series No. TS-R 1
- 나. 미국 10 CFR Part 71.71
- 다. 국내 파기부 고시 제 2001-23호 제 24조, 제 45조

3. 시험조건

적중이 가능한 영상화 IP-2형 운반용기에 대하여 운반용기 중량의 5배 하중으로 24시간동안 압축시킨다.

4. 시험 설비 및 장비

4.1 하중제

- 운반용기의 5배 중량에 해당하는 하중제(weight block)
- 하중제의 승강을 측정할 계량승명시 또는 중량을 측정할 수 있는 scales

4.2 측정공구

- 저울(load cell) : 10톤 이상의 중량을 가지며 운반용기 및 하중제의 중량을 측정
- 치수 측정공구 : 자, 미니어캘리퍼스, 초음파 두께 측정기
- 토크렌치 또는 토크미터 : 최대토크 500 N·m(50kgf·m)까지 측정할 수 있는 토크렌치로 렌치볼트 체결 시 규정된 체결토크로 체결

5. 시험방법 및 절차

5.1 시험방법

방사성폐기물 IP-2형 운반용기 시험모델을 임의한 바닥 높고 운반용기 중



방폐물 IP-2형 온반응기 안전성 입증시험

IP-2형 온반응기 직증시험 절차서

각의 5배 하중으로 24시간동안 압축시킨다.

5.2 시험절차

5.2.1 시험준비

- 1) 시험 장소 수전 및 마다 빈을 정리한다.
- 2) 하중체(weight block)를 준비하고 중량을 측정 또는 확인한다.
- 3) 치수, 질량 및 토크 등의 측정공구를 준비한다.
- 4) 온도, 습도 등의 시험장 환경조건을 확인할 수 있는 계측기를 준비한다.

5.2.2 시험모델 준비

- 1) 모의 드럼의 적정 중량을 유지시키기 위하여 내용물을 적재한다.
- 2) 온반응기 뚜껑, 본체 등의 중량을 측정한다.
- 3) 필요할 경우 용접부위에 대한 비파괴검사를 실시한다.
- 4) 초음파 두께 측정기를 이용하여 온반응기 주요 부위의 차폐체 두께를 측정한다.
- 5) 시험모델에 모의드럼을 적재하고 뚜껑 볼트를 토크렌치를 이용하여 신재치의 토크로 체결한다.
- 6) 온반응기의 주요부위에 대한 육안검사 및 치수검사를 실시한다.
- 7) 용기 본체와 뚜껑 사이의 간극을 측정한다.

5.2.3 적중시험

- 1) 시험모델의 총 중량을 측정한 후 단단하고 평평한 바닥면에 내려놓는다.
- 2) 하중체의 중량을 확인하고 하중체를 시험모델 위에 적재한다. 하중체의 중량은 온반응기 실험중량의 5배 이상으로 한다.
- 3) 하중체를 이용하여 24시간동안 시험모델을 압축시킨다.
- 4) 24시간이 경과한 후 하중체를 내려놓는다.
- 5) 온반응기 주요 부위에 대한 육안검사를 실시하고, 주요 부위에 대해 치수를 측정한다.
- 6) 용기본체와 뚜껑사이의 간극을 측정한다.
- 7) 온반응기 볼트를 풀면서 토크렌치를 이용하여 풀림 토크를 측정한다.
- 8) 초음파 두께 측정기를 이용하여 주요 부위의 차폐체 두께를 측정한다.



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 적중시험 절차서

9) 필요한 경우 용집부의 비파괴검사를 실시한다.

6. 시험결과보고서 작성

6.1 시험결과보고서 내용

- 시험 관련규칙의 기술기준
- 시험물의 개요
- 시험설비에 대한 내용
- 시험방법
- 시험설차
- 시험결과

6.2 시험결과 내용

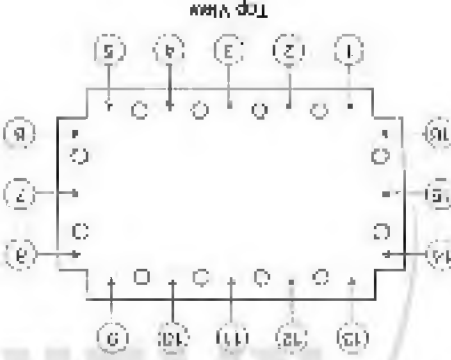
- 필요 시 시험 전후의 용집부 비파괴 검사 결과
- 두께 측정 결과
- 주요 부위의 치수 검사 결과
- 부성물트의 플립 도크

첨 부 : 1. IP-2형 운반용기 적중시험 간극 및 치수검사 결과표
2. IP-2형 운반용기 적중시험 결과표

참 부 : 1. IP 2형 문반용기 적층시험 간주 및 지수점사 결핵표

1. 간주 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1			Gap 1		
Gap 2			Gap 2		
Gap 3			Gap 3		
Gap 4			Gap 4		
Gap 5			Gap 5		
Gap 6			Gap 6		
Gap 7			Gap 7		
Gap 8			Gap 8		
변 화					



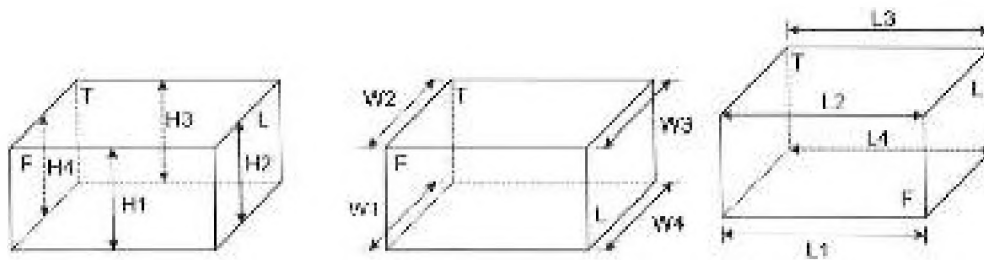
2. 문반용기 외부 지수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1			W 1		
H 2			W 2		
H 3			W 3		
H 4			W 4		
변 화					
L 1			L 1		
L 2			L 2		
L 3			L 3		
L 4			L 4		
변 화					



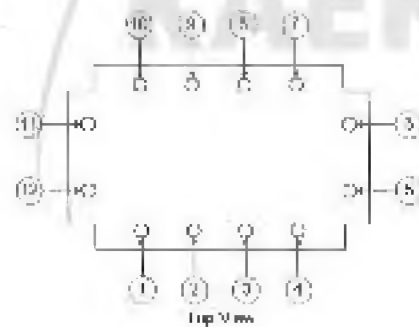
방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 적층시험 절차서



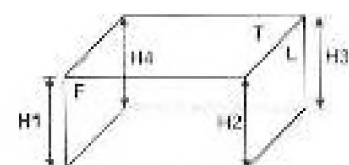
3. 볼트 풀림토크(단위: N · m)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1					
Bolt 2					
Bolt 3					
Bolt 4					
평균					



4. 가동사관의 높이 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1		
H 2		
H 3		
H 4		
평균		





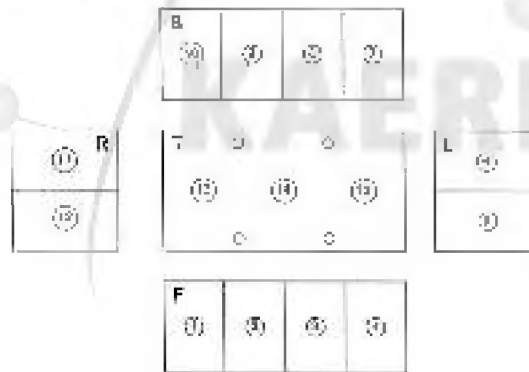
방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 적중시험 절차서

5. 차폐두께의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1			B 3		
F 2			B 4		
F 3			R 1		
F 4			R 2		
L 1			T 1		
L 2			T 2		
B 1			T 3		
B 2			평균		

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



■ 시험수행자	성명 :	서명 :	일시 :	년	월	일
● 기술책임자	성명 :	서명 :	일시 :	년	월	일



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 적중시험 절차서

첨 부 : 2. IP-2형 운반용기 적중시험 결과표

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 재원	높이 (mm)		
	폭 (mm)		
	길이 (mm)		
2. 차폐체 두께 (mm, 평균)			
3. 뚜껑 볼트 토크 (N·m, 평균)			
4. 본체와 뚜껑사이의 간극 (mm, 평균)			
5. 운반용기 총 중량 (ton)			
6. 하중체 총 중량 (ton)			
7. 적중시험 시간			
8. 운반 내용물 유실 여부 (육안검사)		☐ 만족	☐ 불만족
9. 차폐능 유지 여부 (선량률 20%)		☐ 만족	☐ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 :	서명 :	일시 : 년 월 일
• 기술책임자	성명 :	서명 :	일시 : 년 월 일

부록 2. 낙하시험 절차서



제목 : 낙하시험 절차서

권리
번호

문서번호 : IP2-KR-R-002, Rev.1

1. 사용구분 : IP-2형 운반용기 낙하시험
(사입명 : 방제품 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험)

2. 지 성

의	구	성	명	의	성	인	서
연구원		임	성	성	명	2007. 8. 17	

3. 감

의	구	성	명	의	성	인	서
책임연구원		방	성	성	명	2007. 8. 17	

4. 승 인

의	구	성	명	의	성	인	서
책임연구원		이	수	성	명	2007. 8. 17	



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

1. 적용범위

낙하시험 절차서는 “방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험” 과제의 IP-2형 운반용기의 낙하시험에 대한 입증시험 및 해석검증에 위해 적용된다.

2. 참고문헌

가. IAEA Safety Standard Series No. TS-R-1

나. 미국 10 CFR Part 71.71

다. 국내 과기부 고시 제 2001-23호 제 24조, 제 45조

라. Guidelines for Conducting Impact Testing on Shipping Packages for Radioactive Material.

3. 시험조건

IP-2형 운반용기에 운반대용물인 드럼을 적재하여 0.9 m 높이에서 수직, 수평 및 경사방향으로 자유낙하 시험한다.

4. 시험 설비 및 장비

4.1 낙하시험설비

i) 낙하 타워

- 구조물 : H-beam truss구조
- 크기 및 제원 : 높이 15 m (crane hook와 디جت)
하부 8m×8m
상부 4m×4m

ii) 낙하 타깃

- 구조 : 강판 및 철근 강화 콘크리트
- 크기 및 제원 : 강판 4m×4m×0.1m, 철근강화콘크리트 5m×5m×1.5m
- 중량 : 103톤

iii) 위양중량 : 10 톤, 2.8 톤, 5톤



발파물 IP-2형 운반용기 안전성 인증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

4.2 유압식 Release 장치

구조 : 개폐형 집게 방식(Opening Tongs Type)

- 작동방식 : 전기제어를 통한 유압(Hydraulic Pressure by Electric Control)

4.3 데이터 취득 및 저장 시스템

i) 데이터 기록 및 저장 시스템(PXI-8186)

- embedded controller 3U with 1GB DDR 30GB Windows XP
- 2.2GHz Intel Mobile Pentium 4 processor
- 1,024MB DDR RAM
- 20GB Integrated hard drive
- USB 2.0, Ethernet
- Windows XP operating system

ii) 변형률 취득 모듈(PXI-4220)

- 2-channel, bridge input 200kHz 3U(7개 모듈로 총 14채널)
programmable per channel for 1/4, 1/2, and full bridge sensors
- Programmable 4 pole Butter worth filter (10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz
bypass) per channel

iii) 가속도 및 알트 질 취득 모듈(PXI-4472B)

- 8-input, 24 BIT, 5HZ AC cut-off filter 3U(2개 모듈로 총 16채널)
8 simultaneously sampled analog inputs, vibration measurement
- 24 bit resolution; 110dB dynamic range
- 102.4kS/s maximum sampling rate
- 45kHz alias free bandwidth 10V range

4.4 데이터 취득용 센서

i) 스트레인 게이지(CFA-06-125UW-350)

- 적용 : 일반적 부속의 응력 및 농도 해석
- 대상 : 탄소강



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

- 형식 : 단축
- 케이지 길이 × 전제 길이 : 3.18×8.26 mm
- 저항 : $350 \text{ Ohms} \pm 0.3\%$
- 계인비 : 2.12

ii) 가속도계(PCB 350B23)

- 민감도 : 0.5 mV/g
- 주파수 : $0.4 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$
- 최대범위 : $\pm 10,000 \text{ g}$
- 무게 : 4.5 g
- 재질 : 티타늄
- 기계적, 전기적 펄서링

iii) 볼트 게이지(Tokyo BTM-6C)

- 타워 : 볼트 삽입형
- 형식 : 단축
- 케이지 길이 : 6 mm
- 저항값 : $120 \pm 0.5 \text{ Ohms}$
- 계인비 : 2.10

iv) 케이블

- Bridge line AWC connection twist pair shield wire, 15m
- SMB 100, SMB female to BNC female coax cable, 15m

4.5 측정시공구

- 서울(load cell) : 10톤 이상의 용량을 가지며 운반용기의 중량을 측정
- 치수 측정공구 : 자, 미니어캘리퍼스, 초음파 두께 측정기
- 토크렌치 또는 토크미터 : 최대토크 $500 \text{ N} \cdot \text{m}(50\text{kgf} \cdot \text{m})$ 까지 측정할 수 있는 토크렌치로 렌치볼트 체결 시 규정된 체결도크로 체결



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

5. 시험방법 및 절차

5.1 시험방법

방사성 폐기물 IP-2형 운반용기 시험모형을 낙하시험시설의 Release 장치에 낙하방향이 적합하도록 고정하고 Release 장치를 Hoist에 매달아 0.9 m만큼 들어 올린 후 낙하면에 자유 낙하시킨다.

5.2 시험절차

5.2.1 낙하시험시설 점검

- i) 낙하시험시설의 주변 및 바닥 면을 정리한다.
- ii) 안전가대의 고정여부를 확인한다.
- iii) 전원을 ON 한 후 Hoist의 작동상태가 양호한지 여부를 확인한다.
- iv) Release 장치의 작동상태가 양호한지 여부를 확인한다.
- v) 데이터 취득/저장 시스템의 프로그램 및 계통을 확인한다.
- vi) 낙하시험 장치의 이설 시 제직입체 및 관헌입체에 연락하여 조치를 취한다.

5.2.2 시험모형 준비

- i) 모의 드럼의 적정 중량을 유지시키기 위하여 내부에 적당한 밀도를 갖는 내용물을 식재한 후 측정된 계량증명서를 확인하고, 필요 시 직접 드럼의 중량을 측정한다.
- ii) 운반용기의 주요부위에 대한 육안검사를 수행한다.
- iii) 운반용기 부싱, 본체 등의 계량증명서 및 치수검산성적서를 확인하고, 필요 시 직접 중량 및 주요 부위에 대한 치수를 측정한다.
- iv) 시험모형에 모의드럼을 적재하고 붐트를 드라이브를 이용하여 설계치의 토크로 체결한다.
- v) 스트레인 게이지, 가속도센서 및 볼트 센서를 설치한다.
- vi) 스트레인 게이지, 가속도센서 및 볼트 센서를 데이터 취득/저장 시스템에 연결하여 가속도, 변형률 및 볼트 변형률의 측정이 가능한지를 확인한다.

5.2.3 낙하시험



방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 설치시

- i) 수직, 수평 또는 경사낙하기 가능한 방향으로 시험모델을 위치 또는 회전시킨다.
- ii) 시험모델을 Release 장치에 고정하고, 정확한 낙하방향 및 위치에 오도록 조정한다.
- iii) 운반용기를 낙하면에서 0.9 m 높이만큼 올린 후 데이터 취득/저장 시스템을 작동시키고 낙하면을 향해 운반용기를 자유 낙하시킨다.
- iv) 운반용기가 낙하면에 자유 낙하되고, 안정화되면 데이터 취득/저장 시스템을 정지시키고 데이터 취득상태를 확인한다.
- v) 운반용기 주요 부위에 대한 1차 육안검사를 실시하고 변형 지수 및 용기 본체와 뚜껑 사이의 간격을 측정한다.
- vi) 뚜껑 볼트를 풀면서 토크렌치를 이용하여 볼트풀림 토크를 측정한다.
- vii) 가속도, 변형률 및 볼트 변형률에 대한 취득 데이터를 검토한다.
- viii) 2차 육안검사를 실시하여 용접부의 파인드가 손상되어 봉접부의 파손이 우려되는 경우 용접부위에 대한 비파괴검사를 실시한다.

6. 시험결과보고서 작성

6.1 시험결과보고서 내용

- 시험 관련규격의 기술기준
- 시험물의 개요
- 시험설비에 대한 내용
- 시험방법
- 시험결과
- 시험결과

6.2 시험결과 내용

- 필요 시 시험 전후의 봉접부 비파괴 검사 결과
- 무게 측정 결과
- 주요 부위의 지수 검사 결과
- 뚜껑볼트의 풀림 토크
- 가속도, 변형률 및 볼트 변형률 변위 그래프와 최대치
- 취득된 가속도, 변형률 및 볼트 변형률 데이터



	방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험
	IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

- 참 부 : 1. IP-2형 운반용기 낙하시험 간극 및 지수검사 결과표
2. IP-2형 운반용기 낙하시험 결과표





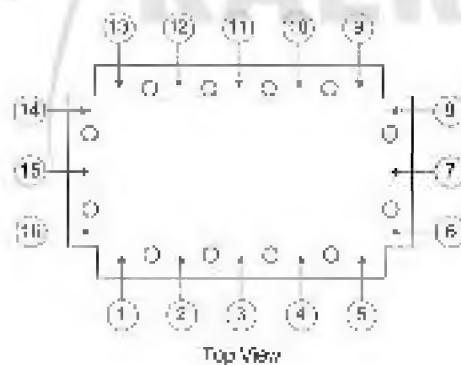
방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서

첨 부 : 1. IP-2형 운반용기 식별시험 간극 및 치수검사 결과표

1. 간극 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1			Gap 9		
Gap 2			Gap 10		
Gap 3			Gap 11		
Gap 4			Gap 12		
Gap 5			Gap 13		
Gap 6			Gap 14		
Gap 7			Gap 15		
Gap 8			Gap 16		
평균					



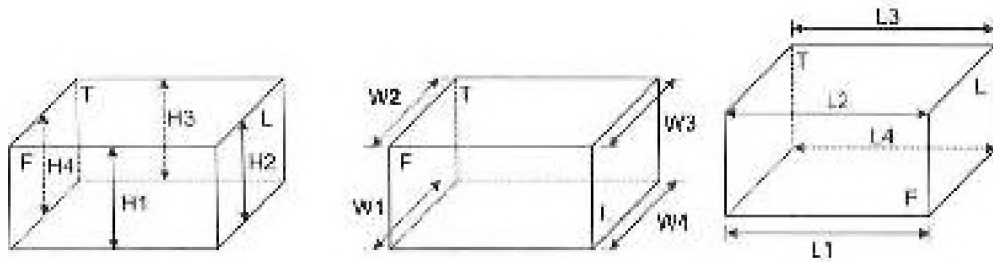
2. 운반용기 외부 치수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1			W 1			L 1		
H 2			W 2			L 2		
H 3			W 3			L 3		
H 4			W 4			L 4		
평균			평균			평균		



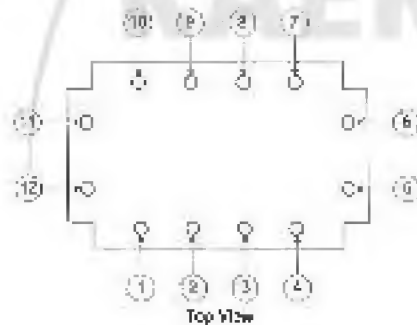
방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 절차서



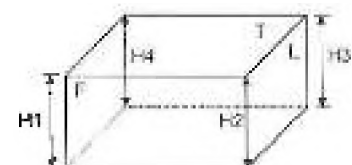
3. 볼트 풀림토크(단위:N · m)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1		Bolt 5		Bolt 9	
Bolt 2		Bolt 6		Bolt 10	
Bolt 3		Bolt 7		Bolt 11	
Bolt 4		Bolt 8		Bolt 12	
평균	N·m				



4. 기동각판의 높이 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1		
H 2		
H 3		
H 4		
평균		





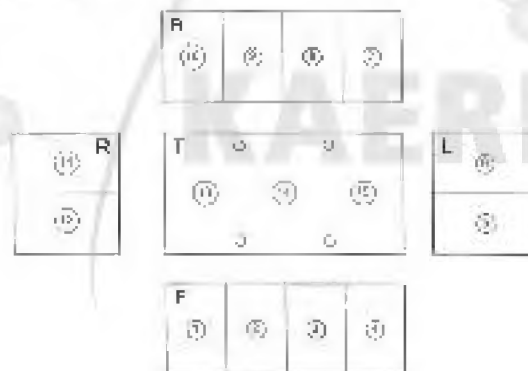
방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 실자서

5. 차폐부께의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1			B 3		
F 2			B 4		
F 3			R 1		
F 4			R 2		
L 1			T 1		
L 2			T 2		
B 1			T 3		
B 2			평균		

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



■ 시험수행자	성명 :	서명 :	일시 :	년	월	일
● 기술책임자	성명 :	서명 :	일시 :	년	월	일

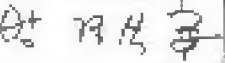
* 시공수행자 성명 : _____ 직위 : _____ 회사 : _____		* 기술책임자 성명 : _____ 직위 : _____ 회사 : _____	
특이사항 : _____			
1. 공반용기 제원 높이 (mm) _____ 폭 (mm) _____ 길이 (mm) _____		2. 차폐체 두께 (mm, 평균) _____ 3. 두께 불트 토크 (mm, 평균) _____ 4. 본체와 두께사이의 간극 (mm, 평균) _____	
5. 낙하시험 조건 낙하장 높이 _____ 낙하 높이 (m) _____		6. 공반 내용물 손상 여부 (공인검사) ☐ 민중 ☐ 불민중 7. 차폐능 유지 여부 (신광률 20 %) ☐ 민중 ☐ 불민중 8. 테이더 취식 여부 (가속도, 변형률, 불트) ☐ 민중 ☐ 불민중	
측정 방법 측정 전 _____ 측정 후 _____		측정 결과	

참고 : 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

IP-2형 공반용기 안전성 인증시험 IP 2형 공반용기 낙하시험 절차서	
	KAERI

부록 3. Quality Plan



QUALITY PLAN				 KAERI	PAGE
					1 OF 5
SUPPLIER	KAERI	Rev. No.	1	QP No.	IP2-KR-R-005
TEST MODEL	IP-2 Shipping Package (Full Scale Model)				
IP-2 Shipping Package for for Radioactive Waste QUALITY PLAN FOR SAFETY TEST					
				HP	HOLD POINT
				WP	WITNESS POINT
				R	REVIEW POINT
Rev. No.	Date	KAERI	KONES	KHNP	
		PREPARED BY	APPROVED BY		
1	2007-08-17				
0	2007-06-29				
APPROVAL CATEGORY					

QUALITY PLAN

QF No. IP2-KR-R-005

Rev. No. 1

PAGE 2 of 2

SEQ	OPERATION DESCRIPTION	APPLICABLE DOCUMENT No.	INSPECTION ACTIVITY						REMARK
			KAERI		KONES		KENP		
1	Pre-Inspection								
1A	Review of Fabrication Documents for Test Model		R	YML 6/22/13					
1B	Inspection of Test Equipment including Measuring System		WP	YML 6/22/13					
2	Stacking Test	IP2-KH-R-003							320 L Drum
2A	Visual Inspection of Test Model		WP	YML 6/22/13					
2B	Dimensional Inspection of test model		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			
2C	Measure the Weight of Package and Install the Model to Rat Floor		HP	YML 6/22/13	WP	YML 6/22/13	YML 6/22/13		
2D	Measure the Weight of Dummy Weight		HP	YML 6/22/13	WP	YML 6/22/13	YML 6/22/13		
2E	Put the Dummy Weight on the Test Model for 24 hours		WP	YML 6/22/13					
2F	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			
2G	Review of Test Result Documents		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			
3	Drop Test	IP2-KR-R-002							
3A	Drop Test-1 (Bottom-end on drop)								200 L Drum
3A1	Visual Inspection of Test Model		WP	YML 6/22/13					
3A2	Measure the Weight of the Package		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			
3A3	Assembly all sub-parts to the Package		WP	YML 6/22/13					
3A4	Tighten lid bolts and torque measuring		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			
3A5	Dimensional Inspection of test model		WP	YML 6/22/13	R	YML 6/22/13			

QUALITY PLAN

QP No.

JP2-KR-R-005

Rev. No.

1

PAGE

5 of 5

3A6	Accelerometer and Strain Gage Installation		WP	20.8.10	R	20.8.13			
3A7	Lifting and Orientation of the Package for dropping		HP	20.8.13	WP	20.8.13	WP	20.8.13	
3A8	Preparation and check of the Data Acquisition System		HP	20.8.13	WP	20.8.13	WP	20.8.13	
3A9	Drop the Package		HP	20.8.13	WP	20.8.13	WP	20.8.13	
3A10	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model		WP	20.8.13	R	20.8.13			
3A11	Release lid bolts and torque measuring		WP	20.8.13	R	20.8.13			
3A12	Review of Test Result Documents		WP	20.8.13	R	20.8.13			
3B	Drop Test-2 (Top-end on drop)								200 L Drum
3B1	Visual Inspection of Test Model		WP	20.8.10					
3B2	Assembly all sub-parts to the Package		WP	20.8.10					
3B3	Tighten lid bolts and torque measuring		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3B4	Dimensional Inspection of test model		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3B5	Accelerometer and Strain Gage Installation		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3B6	Lifting and Orientation of the Package for dropping		HP	20.8.10	WP	20.8.10	WP	20.8.10	
3B7	Preparation and check of the Data Acquisition System		HP	20.8.10	WP	20.8.10	WP	20.8.10	
3B8	Drop the Package		HP	20.8.10	WP	20.8.10	WP	20.8.10	
3B9	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3B10	Release lid bolts and torque measuring		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3B11	Review of Test Result Documents		WP	20.8.10	R	20.8.10			
3C	Drop Test-3 (Side drop)								320 L Drum

QUALITY PLAN							QP No.	IP2-KR-R-005
							REV. No	1
							PAGE	2 of 2
3C1	Visual Inspection of Test Model		WP	3/12/10				
3C2	Measure the Weight of the Package		WP	3/12/10	3	3/12/10		
3C3	Assembly all sub-parts to the Package		WP	3/12/10				
3C4	Tighten lid bolts and torque measuring		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3C5	Dimensional Inspection of test model		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3C6	Accelerometer and Strain Gage Installation		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3C7	Lifting and Orientation of the Package for dropping		HP	3/12/10	WP	3/12/10	WP	3/12/10
3C8	Preparation and check of the Data Acquisition System		HP	3/12/10	WP	3/12/10	WP	3/12/10
3C9	Drop the Package		HP	3/12/10	WP	3/12/10	WP	3/12/10
3C10	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3C11	Release lid bolts and torque measuring		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3C12	Review of Test Result Documents		WP	3/12/10	R	3/12/10	R	3/12/10
3D	Drop Test-4 (Apex drop)							320 L Drum
3D1	Visual Inspection of Test Model		WP	3/12/10		3/12/10		
3D2	Assembly all sub-parts to the Package		WP	3/12/10		3/12/10		
3D3	Tighten lid bolts and torque measuring		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3D4	Dimensional Inspection of test mode		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3D5	Accelerometer and Strain Gage Installation		WP	3/12/10	R	3/12/10		
3D6	Lifting and Orientation of the Package for dropping		HP	3/12/10	WP	3/12/10	WP	3/12/10

QUALITY PLAN

QP No. 172-KR-R-005

REV. NO. 1

PAGE 3 of 3

3D7	Preparation and check of the Data Acquisition System	HP	2018.10.11	WP	2018.10.11	WP	2018.10.11	
3D8	Drop the Package	HP	2018.10.11	WP	2018.10.11	WP	2018.10.11	
3D9	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model	WP	2018.10.11	R	2018.10.11			
3D10	Release lid bolts and torque measuring	WP	2018.10.11	R	2018.10.11			
3D11	Review of Test Result Documents	WP	2018.10.11	R	2018.10.11	R	2018.10.11	
3D	Drop Test-5 (Corner drop)							200 or 320 C Drum
3E1	Visual Inspection of Test Model	WP	2018.10.18					
3E2	Assembly all sub parts to the Package	WP	2018.10.18					
3E3	Tighten lid bolts and torque measuring	WP	2018.10.18	R	2018.10.18			
3E4	Dimensional Inspection of test model	WP	2018.10.18	R	2018.10.18			
3E5	Accelerometer and Strain Gage Installation	WP	2018.10.18	R	2018.10.18			
3E6	Lifting and Orientation of the Package for dropping	HP	2018.10.18	WP	2018.10.18	WP	2018.10.18	
3E7	Preparation and check of the Data Acquisition System	HP	2018.10.18	WP	2018.10.18	WP	2018.10.18	
3E8	Drop the Package	HP	2018.10.18	WP	2018.10.18	WP	2018.10.18	
3E9	Visual Inspection and Dimensional Check of Test Model	WP	2018.10.18	R	2018.10.18			
3E10	Release lid bolts and torque measuring	WP	2018.10.18	R	2018.10.18			
3E11	Review of Test Result Documents	WP	2018.10.18	R	2018.10.18	R	2018.10.18	

부록 4. 적층시험 결과표





방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 식측시험 치수감시 결과표

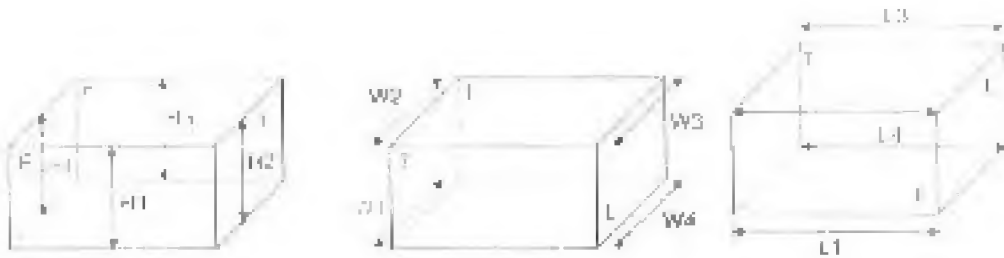
1. 간격 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	1.80	1.75	Gap 9	0.80	0.80
Gap 2	1.35	1.32	Gap 10	0.70	0.75
Gap 3	0.00	0.00	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.30	1.20	Gap 12	0.95	0.75
Gap 5	0.80	0.80	Gap 13	1.20	1.15
Gap 6	0.55	0.55	Gap 14	1.45	1.40
Gap 7	0.30	0.30	Gap 15	0.85	0.81
Gap 8	1.15	1.10	Gap 16	1.85	1.80
평균				0.94	0.91



2. 운반용기 외부 치수 변화(단위:mm)

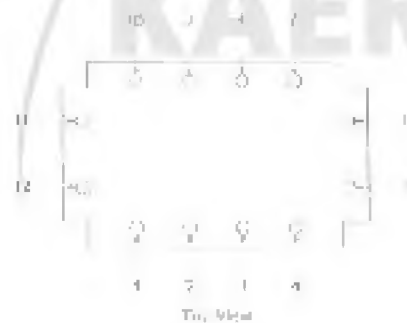
위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1134	1133	W 1	1600	1600	L 1	3401	3400
H 2	1135	1135	W 2	1599	1600	L 2	3400	3400
H 3	1134	1133	W 3	1600	1600	L 3	3399	3399
H 4	1134	1133	W 4	1599	1600	L 4	3400	3399
평균	1,134.3	1,133.5	평균	1,599.5	1,600.0	평균	3,400.0	3,399.5



3. 볼트 풀림토크(단위:N · m)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	255	Bolt 5	265	Bolt 9	235
Bolt 2	235	Bolt 6	255	Bolt 10	235
Bolt 3	235	Bolt 7	235	Bolt 11	235
Bolt 4	265	Bolt 8	235	Bolt 12	255
평균	245 N·m				

* 볼트 체결토크 : 280 N·m



4. 기능사관의 높이 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1	1197	1198
H 2	1199	1199
H 3	1199	1198
H 4	1198	1199
평균	1,198.3	1,198.5





방폐물 운반용기 안전성 입증시험

B-2형 운반용기 직종시험 시수검사 결과표

5. 시재누출의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	11.66	11.67	B 3	11.88	11.88
F 2	11.68	11.70	B 4	11.78	11.80
F 3	11.64	11.67	R 1	11.56	11.58
F 4	11.67	11.68	R 2	11.54	11.55
L 1	11.72	11.73	T 1	11.76	11.77
L 2	11.71	11.71	T 2	11.77	11.80
B 1	11.86	11.86	T 3	11.73	11.73
B 2	11.87	11.88	평균	11.72	11.73

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 8월 24일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 :	일시 : 2007년 8월 24일



방패물 운반용기 안전성 입증시험

IP 2형 운반용기 적중시험 결과표

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 제원	높이 (mm)	1198.3	1198.5
	폭 (mm)	1599.5	1600.0
	길이 (mm)	3400.0	3399.5
2. 차폐체 두께 (mm, 평균)		11.72	11.73
3. 뚜껑 볼트 토크 (N · m, 평균)		289	245
4. 본체와 뚜껑사이의 간극 (mm, 평균)		0.94	0.91
5. 운반용기 총 중량 (ton)		6.165	
6. 하중체 총 중량 (ton)		32.640	
7. 직중시험 시간		2007.08.23 18:00 ~ 2007.08.24 18:00	
8. 운반 내용물 유실 여부 (육안검사)		■ 만족	□ 불만족
9. 차폐능 유지 여부 (선량률 20%)		■ 만족	□ 불만족
특이사항 : - 시험모델 : 320 L Drum 운반용기			
• 시험수행자		성명 : 남경오 서명 :	일시 : 2007년 8월 24일
• 기술책임자		성명 : 이주찬 서명 :	일시 : 2007년 8월 24일

부록 5. 낙하시험 결과표





방패용 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 치수검사 결과표

▶ 낙하높이 : 바닥 수직낙하 (낙하 1, 200 L)

1. 간격 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	1.10	1.45	Gap 9	2.45	2.60
Gap 2	1.75	0.90	Gap 10	1.55	1.05
Gap 3	0.00	0.00	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.70	1.30	Gap 12	0.75	0.30
Gap 5	1.55	1.65	Gap 13	1.85	2.10
Gap 6	1.65	1.75	Gap 14	1.35	1.25
Gap 7	0.90	1.35	Gap 15	1.50	1.85
Gap 8	2.30	2.30	Gap 16	1.50	1.65
평균				1.37	1.34



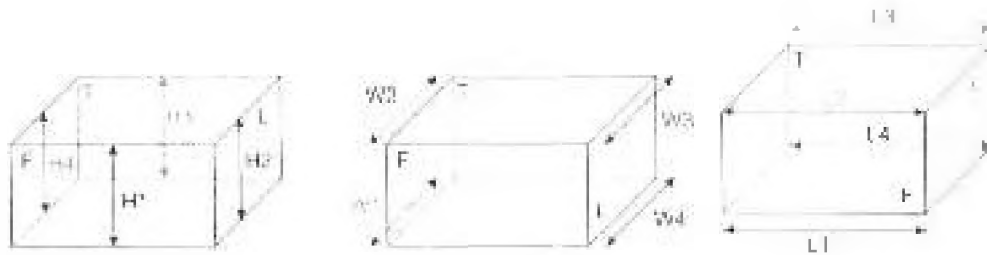
2. 운반용기 외경 치수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1134	1134	W 1	1599	1600	L 1	3400	3400
H 2	1136	1136	W 2	1597	1598	L 2	3400	3400
H 3	1135	1134	W 3	1599	1599	L 3	3399	3400
H 4	1136	1135	W 4	1599	1600	L 4	3399	3399
평균	1,135.3	1,134.8	평균	1,598.5	1,599.3	평균	3,399.5	3,399.8



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

II-2형 운반용기 낙하시험 치수검사 결과표



3. 볼트 풀림토크(단위: N · m)

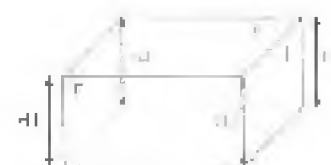
위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	139.5	Bolt 5	171.0	Bolt 9	101.0
Bolt 2	119.5	Bolt 6	122.0	Bolt 10	122.0
Bolt 3	142.5	Bolt 7	129.5	Bolt 11	175.5
Bolt 4	97.5	Bolt 8	75.5	Bolt 12	108.5
평균	125.3 N·m				

* 볼트 재장토크 : 289.1 N·m



4. 기능각판의 높이 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1	1198	1197
H 2	1199	1199
H 3	1199	1198
H 4	1199	1198
평균	1,198.8	1,198.0





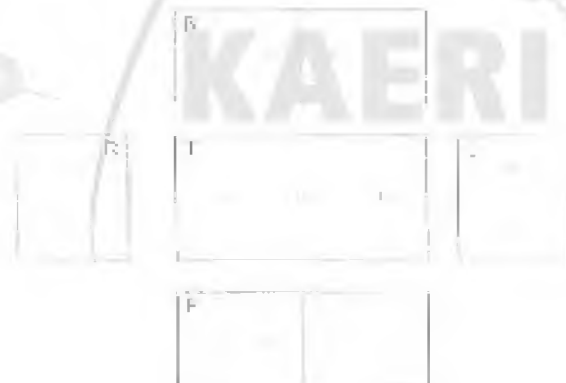
방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 지수감사 결과표

5. 자세수직의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	12.01	12.03	B 3	11.80	11.76
F 2	12.01	12.05	B 4	11.82	11.76
F 3	12.02	11.99	R 1	11.95	11.94
F 4	11.98	11.93	R 2	11.87	11.87
L 1	11.74	11.85	T 1	11.86	11.83
L 2	11.80	11.81	T 2	11.90	11.85
B 1	11.86	11.81	T 3	11.85	11.80
B 2	11.82	11.89	평균	11.89	11.88

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



• 시험수행자	성명 : 남강오	서명 : 남강오	일시 : 2007년 9월 13일
• 기술책임자	성명 : 머주찬	서명 : 머주찬	일시 : 2007년 9월 13일



방패형 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 결과표

■ 낙하종류 : 마약 수직낙하 (낙하-1, 200 L)

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 채원	높이 (mm)	1198.8	1198.0
	폭 (mm)	1598.5	1599.3
	길이 (mm)	3399.5	3399.8
2. 차폐체 두께 (mm, 평균)		11.89	11.89
3. 누검 볼트 토크 (N·m, 평균)		289.1	125.3
4. 본체와 뚜껑사이의 간격 (mm, 평균)		1.37	1.34
5. 낙하시험 조건	낙하방향 및 각도	수직낙하 (바닥)	
	낙하높이 (m)	0.9	
	무게 중량 (kg)	6.446	
6. 운반 내용물 유실 여부 (육안감사)		■ 만족	□ 불만족
7. 차폐능 유지 여부 (선량률 20 %)		■ 만족	□ 불만족
8. 데이터 획득 여부 (가속도, 변형률, 온도)		■ 만족	□ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 : 남김오	서명 : 남김오	일시 : 2007년 9월 13일
• 기술책임자	성명 : 이주진	서명 : 이주진	일시 : 2007년 9월 13일



방패물 운반용기 안전성 입증시험

II-2형 운반용기 낙하시험 시수검사 결과표

■ 낙하충돌 : 무중 수직낙하 (상하 2, 200 L)

1. 간극 변화 (단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	1.05	1.80	Gap 9	3.00	3.25
Gap 2	1.45	3.20	Gap 10	0.60	3.50
Gap 3	1.45	1.15	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.75	3.60	Gap 12	1.15	2.85
Gap 5	1.50	1.40	Gap 13	3.80	3.60
Gap 6	1.70	1.25	Gap 14	0.75	0.00
Gap 7	1.05	1.55	Gap 15	1.65	1.95
Gap 8	1.80	1.45	Gap 16	1.80	1.65
평 균				1.53	2.03

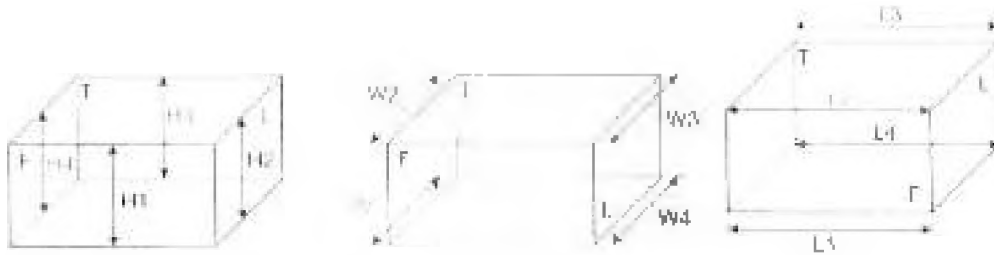


2. 운반용기 외부 치수 변화 (단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1135	1135	W 1	1600	1600	L 1	3400	3400
H 2	1135	1136	W 2	1598	1598	L 2	3400	3400
H 3	1134	1134	W 3	1599	1600	L 3	3400	3399
H 4	1134	1135	W 4	1600	1600	L 4	3399	3399
평균	1,134.5	1,135.0	평균	1,599.3	1,599.5	평균	3,399.8	3,399.5

방폐물 운반용기 안전성 입증시험

▶ 2월 문보용기 덕희시점 시수검시 결과표

3. $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f\left(\frac{k}{n}\right) = \int_0^1 f(x) dx$ (41) (31: N · m)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	17.0	Bolt 5	52.5	Bolt 9	41.5
Bolt 2	85.5	Bolt 6	81.5	Bolt 10	129.0
Bolt 3	100.5	Bolt 7	74.0	Bolt 11	51.0
Bolt 4	88.0	Bolt 8	111.5	Bolt 12	91.5
평균	77.0 Nm				

* 볼트 체결 모멘트 : 289.1 N·m



4. 가동사권의 높이 변화(높이 30mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1	1197	1198
H 2	1199	1198
H 3	1198	1197
H 4	1198	1198
평균	1,198.0	1,197.8





방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 저수검시 결과표

5. 사례부재의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	12.03	12.00	B 3	11.76	11.82
F 2	12.05	11.98	B 4	11.76	11.80
F 3	11.99	12.03	R 1	11.94	11.91
F 4	11.93	11.99	R 2	11.87	11.89
L 1	11.85	11.86	L 1	11.83	11.84
L 2	11.81	11.84	T 2	11.85	11.88
B 1	11.81	11.78	T 3	11.80	11.84
B 2	11.89	11.89	평균	11.88	11.89

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



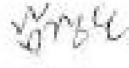
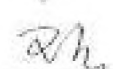
• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 9월 20일
• 기술책임자	성명 : 이주진	서명 :	일시 : 2007년 9월 20일



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 결과표

• 낙하충돌 : 뚜껑 수직낙하 (낙하 2, 200 L)

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 제원	높이 (mm)	1198.0	1197.8
	폭 (mm)	1599.3	1599.5
	길이 (mm)	3399.8	3399.5
2. 차폐체 두께 (mm, 평균)		11.88	11.89
3. 뚜껑 볼트 토크 (N·m, 평균)		289.1	77.0
4. 본체와 뚜껑사이의 간극 (mm, 평균)		1.53	2.03
5. 낙하시험 조건	낙하방향 및 각도	수직낙하 (뚜껑)	
	낙하높이 (m)	0.9	
	모델 중량 (kg)	6.446	
6. 운반 내용물 유실 여부 (육안검사)		■ 만족	□ 불만족
7. 차폐능 유지 여부 (선량률 20 %)		■ 만족	□ 불만족
8. 데이더 취득 여부 (가속도, 변형률, 볼트)		■ 만족	□ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 : 	일시 : 2007년 9월 20일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 : 	일시 : 2007년 9월 20일



방패물 운반용기 안전성 입증시험

IP 2형 운반용기 낙하시험 치수검사 결과표

■ 낙하종류 : 추방 수평낙하 (낙하-3, 320 L)

1. 간극 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	1.35	0.30	Gap 9	0.55	0.20
Gap 2	0.85	1.00	Gap 10	0.45	0.50
Gap 3	0.00	0.40	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.10	1.50	Gap 12	0.40	0.45
Gap 5	0.85	0.65	Gap 13	0.90	0.75
Gap 6	0.60	0.40	Gap 14	1.35	0.65
Gap 7	0.30	0.55	Gap 15	1.20	1.65
Gap 8	1.10	1.00	Gap 16	1.95	1.75
평균				0.82	0.75



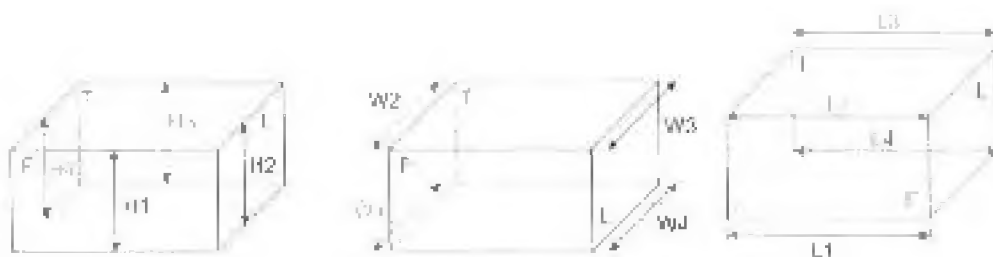
2. 운반용기 외부 치수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1134	1134	W 1	1600	1600	L 1	3401	3402
H 2	1135	1134	W 2	1601	1600	L 2	3400	3401
H 3	1134	1133	W 3	1599	1599	L 3	3400	3400
H 4	1135	1136	W 4	1598	1598	L 4	3400	3401
평균	1,134.5	1,134.3	평균	1,599.5	1,599.3	평균	3,400.3	3,401.0



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

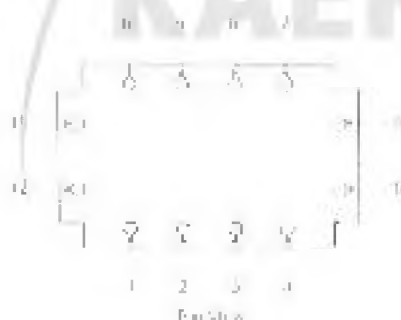
IP-2형 운반용기 적하시험 처수검시 결과표



3. 볼트 풀림토크(단위:N·m)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	201.5	Bolt 5	143.0	Bolt 9	198.0
Bolt 2	149.5	Bolt 6	156.5	Bolt 10	174.5
Bolt 3	211.5	Bolt 7	182.5	Bolt 11	136.0
Bolt 4	128.0	Bolt 8	117.5	Bolt 12	257.0
평균	171.3				

* 산도 제련토크 : 2389.1 N·m



4. 기둥사관의 높이 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1	1198	1196
H 2	1199	1199
H 3	1199	1200
H 4	1200	1200
평균	1,199.0	1,199.3



	방폐물 운반용기 안전성 입증시험 IP-2형 운반용기 낙하시험 처수검시 결과표
---	---

5. 차변 두께의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	11.68	11.71	B 3	11.72	11.78
F 2	11.61	11.65	B 4	11.55	11.74
F 3	11.61	11.60	R 1	11.48	11.51
F 4	11.66	11.69	R 2	11.58	11.57
L 1	11.76	11.79	T 1	11.72	11.72
L 2	11.74	11.78	T 2	11.65	11.72
B 1	11.73	11.75	T 3	11.60	11.63
B 2	11.86	11.82	평균	11.67	11.70

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



• 시험수행자	성명 : 남경오 서명 :  일시 : 2007년 10월 4일
• 기술책임자	성명 : 이주진 서명 :  일시 : 2007년 10월 4일



방패물 운반용기 안전성 입증시험

II-2형 운반용기 낙하시험 결과표

- 낙하종류 : 후방 수평낙하 (낙하-3, 320 L)

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 세원	높이 (mm)	1199.0	1199.3
	폭 (mm)	1599.5	1599.3
	길이 (mm)	3400.3	3401.0
2. 사체체 두께 (mm, 평균)		11.67	11.70
3. 뚜껑 볼트 토크 (N.m, 평균)		289.1	171.3
4. 본체와 뚜껑사이의 간격 (mm, 평균)		0.82	0.75
5. 낙하시험 조건	낙하방향 및 각도	후방 수평낙하	
	낙하높이 (m)	0.9	
	모델 중량 (kg)	6,184	
6. 운반 내용물 유실 여부 (육안검사)		☒ 만족	☐ 불만족
7. 자체능 유지 여부 (신량률 20 %)		☒ 만족	☐ 불만족
8. 레이더 작동 여부 (가속도, 변형률, 볼트)		☒ 만족	☐ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 10월 4일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 :	일시 : 2007년 10월 4일



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 시수감시 결과표

• 낙하종류 : 부평 적시점낙하 (낙하 4,320 L)

1. 간격 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	0.20	0.30	Gap 9	0.35	0.45
Gap 2	0.85	1.25	Gap 10	0.55	0.95
Gap 3	0.95	1.15	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.25	2.05	Gap 12	0.40	0.65
Gap 5	0.65	1.20	Gap 13	0.75	0.95
Gap 6	0.45	0.60	Gap 14	0.95	1.25
Gap 7	0.50	0.60	Gap 15	1.80	1.95
Gap 8	1.00	1.65	Gap 16	1.85	2.00
평균				0.78	1.06



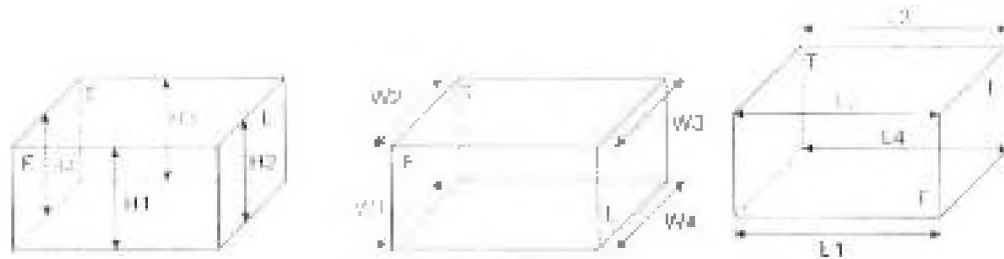
2. 운반용기 외부 치수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1133	1134	W 1	1600	1600	L 1	3402	3402
H 2	1134	1136	W 2	1600	1596	L 2	3401	3379
H 3	1133	1135	W 3	1599	1599	L 3	3400	3399
H 4	1134	1134	W 4	1598	1599	L 4	3401	3400
평균	1,133.5	1,134.8	평균	1,599.3	1,596.5	평균	3,401.0	3,395.0



방패볼 운반용기 안전심 입증시험

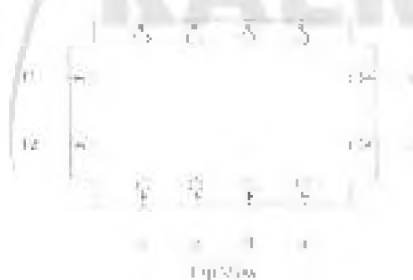
IP-2형 운반용기 낙하시험 치수감시 결과표



3. 볼트 풀림토크 (단위: N · m)

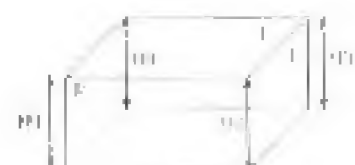
위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	154.5	Bolt 5	137.0	Bolt 9	81.5
Bolt 2	36.5	Bolt 6	176.5	Bolt 10	180.0
Bolt 3	122.5	Bolt 7	161.5	Bolt 11	144.5
Bolt 4	174.0	Bolt 8	134.0	Bolt 12	344.0
평균	153.9				

* 볼트 체결토크 : 289.1 N·m



4. 기능기관외 높이 변화 (단위: mm)

위치	시험 전	시험 후
H 1	1198	1196
H 2	1199	1199
H 3	1200	1200
H 4	1200	1200
평균	1,199.3	1,198.8

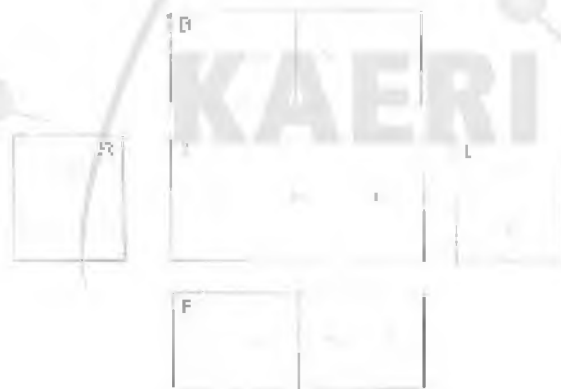


	방폐물 운반용기 안전성 입증시험 IP-2형 운반용기 낙하시험 시수검시 결과표
---	--

5. 사재누출의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	11.71	11.76	B 3	11.76	11.83
F 2	11.65	11.67	B 4	11.74	11.85
F 3	11.60	11.66	R 1	11.51	11.51
F 4	11.69	11.75	R 2	11.57	11.62
L 1	11.79	11.83	T 1	11.72	11.77
L 2	11.78	11.77	T 2	11.72	11.77
B 1	11.75	11.80	T 3	11.63	11.70
R 2	11.82	11.77	평균	11.70	11.73

* F : Front, R : Right, B : Back, L : Left, T : Top



• 시험수행자	성명 : 남경오 서명 :  일자 : 2007년 10월 11일
• 기술책임자	성명 : 아주찬 서명 :  일자 : 2007년 10월 11일



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 결과표

- 낙하종류 : 부정 적시점낙하 (낙하 4, 320 L)

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 제원	높이 (mm)	1199.3	1198.8
	폭 (mm)	1599.3	1598.5
	길이 (mm)	3401.0	3395.0
2. 자체체 두께 (mm, 평균)		11.70	11.73
3. 부정 볼트 토크 (N·m, 평균)		289.1	153.9
4. 본체와 부품사이의 간극 (mm, 평균)		0.78	1.06
5. 낙하시험 조건	낙하방향 및 각도(xyz축 - 바깥)	부정 적시점 낙하 각도 : 22.3°, 16.3°, 62.5°	
	낙하높이 (m)	0.9	
	모델 중량 (kg)	6.194	
6. 운반 내용물 유실 여부 (육안검시)		■ 만족	□ 불만족
7. 자체능 유지 여부 (신량률 20 %)		■ 만족	□ 불만족
8. 데미지 취복 여부 (가속도, 변형률, 볼트)		■ 만족	□ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 10월 11일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 :	일시 : 2007년 10월 11일



방폐물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 지수감사 결과표

■ 낙하중류 : 분절 모서리낙하 (낙하-5, 320 L)

1. 간격 변화(단위:mm)

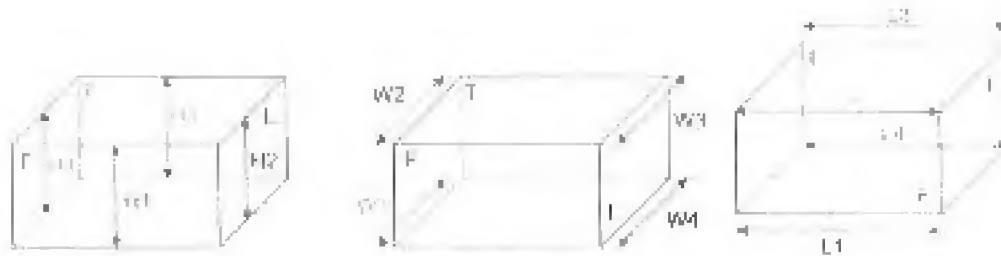
위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
Gap 1	0.15	0.00	Gap 9	0.10	0.05
Gap 2	1.40	1.50	Gap 10	0.35	0.60
Gap 3	0.00	0.05	Gap 11	0.00	0.00
Gap 4	1.25	1.40	Gap 12	0.25	0.45
Gap 5	0.65	0.55	Gap 13	0.65	0.65
Gap 6	0.45	0.30	Gap 14	0.90	0.95
Gap 7	0.55	0.70	Gap 15	1.35	1.90
Gap 8	0.95	1.05	Gap 16	1.55	1.55
평균				0.66	0.74



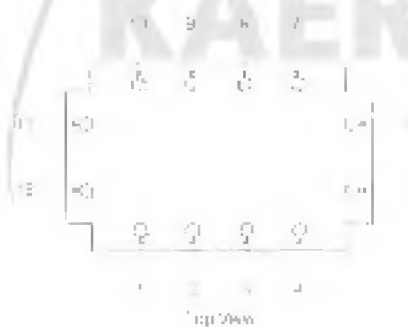
Top View

2. 운반용기 외부 치수 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
H 1	1132	1134	W 1	1600	1598	L 1	3402	3401
H 2	1135	1135	W 2	1596	1598	L 2	3379	3378
H 3	1132	1134	W 3	1599	1599	L 3	3399	3399
H 4	1135	1136	W 4	1599	1599	L 4	3400	3401
평균	1,133.5	1,135.0	평균	1,598.5	1,598.5	평균	3,395.0	3,394.8

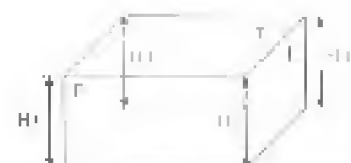
3. 빛의 플럭스도크(단위: $\text{N} \cdot \text{m}$)

위치	풀림토크	위치	풀림토크	위치	풀림토크
Bolt 1	159.0	Bolt 5	142.0	Bolt 9	246.0
Bolt 2	156.5	Bolt 6	219.5	Bolt 10	178.0
Bolt 3	110.5	Bolt 7	195.0	Bolt 11	195.5
Bolt 4	157.0	Bolt 8	107.0	Bolt 12	168.5
평균	171.2				

* ΣM 제 1 단면 : 239.1 N·m

4. 기동기관의 높이 변화(단위: mm)

원시	시험 전	시험 후
H 1	1196	1198
H 2	1199	1198
H 3	1200	1199
H 4	1200	1199
평균	1,198.5	1,198.5





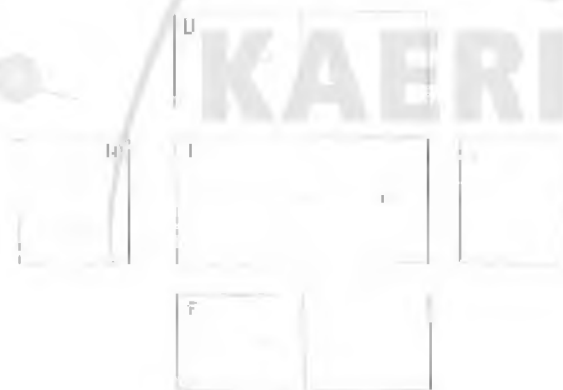
방폐물 운반용기 안전성 입증시험

HP-2형 운반용기 낙하시험 지수검사 결과표

5. 자세두께의 변화(단위:mm)

위치	시험 전	시험 후	위치	시험 전	시험 후
F 1	11.76	11.75	B 3	11.83	11.83
F 2	11.67	11.67	B 4	11.85	11.84
F 3	11.66	11.69	R 1	11.51	11.54
F 4	11.75	11.74	R 2	11.62	11.67
L 1	11.83	11.82	T 1	11.77	11.74
L 2	11.77	11.77	T 2	11.77	11.74
B 1	11.80	11.83	T 3	11.70	11.65
B 2	11.77	11.75	평균	11.73	11.74

* F: Front, R: Right, B: Back, L: Left, T: Top



• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 10월 18일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 :	일시 : 2007년 10월 18일



방패물 운반용기 안전성 입증시험

IP-2형 운반용기 낙하시험 결과표

- 낙하종류 : 두껍, 모서리낙하 (낙하 : 5, 320 L)

측정 항목		측정결과	
		시험 전	시험 후
1. 운반용기 제원	높이 (mm)	1198.8	1198.5
	폭 (mm)	1598.5	1598.5
	길이 (mm)	3395.0	3394.8
2. 시폐체 두께 (mm, 평균)		11.73	11.74
3. 두껍 볼트 토크 (Nm, 평균)		289.1	171.2
4. 본체와 두껍사이의 간격 (mm, 평균)		0.66	0.74
5. 낙하시험 조건	낙하방향 및 각도	두껍 모서리낙하 (55.5°)	
	낙하높이 (m)	0.9	
	모넢 중량 (kg)	6,184	
6. 본넢 내용물 유실 여부 (육안검사)		■ 만족	□ 불만족
7. 차폐능 유지 여부 (선량률 20 %)		■ 만족	□ 불만족
8. 데이터 취득 여부 (가속도, 변형률, 볼트)		■ 만족	□ 불만족
특이사항 :			
• 시험수행자	성명 : 남경오	서명 :	일시 : 2007년 10월 18일
• 기술책임자	성명 : 이주찬	서명 :	일시 : 2007년 10월 18일

서 시 장 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KARSI/CR-284/2007					
제목 / 부제	방폐물 IP-2형 운반용기 안전성 입증시험 결과보고서				
연구책임자 및 부서명	이주환 (전진핵주기 시스템공학 그룹)				
연구사 및 부서명	서기석, 방정식, 복우식, 임남준, 남정호 (전진핵주기 시스템공학 그룹)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2007년
페이지	134 p.	노출	있음(○), 없음()	크기	A4
참고사항					
정기여부	정기(○), 비정기()		보고서종류	결과보고서	
비밀여부	비밀(), — 공시밀				
연구위탁기관			제약연호		
초록 (15~20줄내외)	방사성폐기물 IP-2형 운반용기의 적중시험 및 낙하시험을 수행하였으며, 2각의 시험 후 운반 내용물의 유출 또는 분진이 발생하지 않았다. 또한, 운반용기 외부표면에서의 방사선량률이 20% 이상 증가할 수 있는 차폐 능력의 상실이 발생하지 않았다. 따라서 IP-2 운반용기는 적중 및 낙하시험 조건에서 구조적 건전성이 입증되었다. 본 연구 결과는 IP-2형 운반용기의 실제 자료로 활용될 예정이다.				
주제명기위노 (10단어내외)					
방사성폐기물, IP-2형, 운반용기, 안전성시험, 적중시험, 자유낙하시험, 구조 건전성, 안전성 평가					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	
KARI/CR-284/2007					
Title / Subtitle					
Contract Report for Safety Test of Type IP-2 Radioactive Waste Transport Package					
Project Manager and Department (or Main Author)		J.C. Lee (Advanced Fuel Cycle System Engineering Group)			
Researcher and Department		K.S. Son, K.S. Haug, W.S. Choi, N.J. Lim, K.O. Nam (Advanced Fuel Cycle System Engineering Group)			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KARI	Publication Date	2007
Page	134p.	Ill. & Tab.	Yes () , No ()	Size	A4
Note					
Open	Open () , Closed ()		Report Type Contract Report		
Classified	Restricted () , _____ Class Document				
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)					
Stacking and drop tests were conducted for type IP-2 radioactive waste transport package. After the safety tests, there were no loss or dispersal of radioactive contents, and no loss of shielding integrity which would result in more than 20 percents increase in the radiation level at the external surface of the package. Therefore, it was found that the structural integrities of the package were maintained under stacking and free drop conditions. It is expected that the results obtained from this project will be used as design data for the type IP-2 radioactive waste transport package.					
Subject Keywords (About 10 words)					
radioactive waste, type IP-2, transport package, safety test, stacking test, free drop test, structural integrity, safety evaluation					