

海上重量物運送詩 二段積된 貨物破損에 관한 實驗的 研究

박 명 규* · 허 일* · 조 범 식**

An Experimental study on the Damage to Heavy Cargoes in case of the Two Tiers Loading under Carriage bySea.

Myung-Kyu Park · Il Hugh* · Bum-Sik Cho***

<목 차>

Abstract

1. 서론
2. 중량화물의 선적
3. 실험내용및 실험체상자제작
4. 하중추정

5. 미끄럼 실험
6. 상자강도 및 갈목길이의 영향실험
7. 결론
8. 참고 문헌
실험 기록 사진

Abstract

The Internation Maritime Organization (IMO) has required that ships other than cellular-ships which carry cargo units and other entities should be provided with a cargo securing manual.

A number of serious accidents has resulted from improper stowage and insufficient securing of heavy cargo.

The cargo claims caused by the accidents stated above not only reduce the number of shippers but also reduce their benefits.

The following four basic safe items should be considered carefully in the carriage by sea in case of two tiers loading of heavy cargoes packed with wooden case if it is a general cargo ship.

- a) Safe stowing place
- b) Safe lashing
- c) Protecting crushing goods
- d) Adequate dunnage

* 한국해양대학교 교수

** 천경해운주식회사

All operators of cargoes must be reminded that only the proper stowage and securing of heavy cargoes can prevent from the occurrence of such accidents in the future.

This paper intends to analyze the unique damage mechanism for two tiers loading of heavy cargoes on the general cargo ships encountered in the rough sea, and suggest the countermeasures to prevent the identical accidents in the future.

1. 서 론

한일간을 취항하고 있는 일반 화물선(GENERAL CARGO SHIP)의 대부분은 주로 단갑판(SINGLE DECK)구조의 화물창을 가진 다목적 화물선(MULTI-PURPOSE CARGO SHIP, MPC)으로, 항로 특성상 총톤수는 2천에서 3천톤급 선박들이 주종을 이루고 있다.

한일항로의 현황을 보면 정기선복량 대 부정기선복량의 비율이 척수에 있어서는 52척 : 80척, 총톤수에 있어서는 10만 3,031톤 : 9만 1,170톤으로, 백분비로 보면 정기선(LINER)대 부정기선(TRAMPER)의 척수는 40 : 60이며 총톤수는 53 : 47로 구성되어 있다. 이것은 우리나라 전체 정기선 총 척수의 37.9%에 해당되며, 총톤수면에서 보면 전체 정기선의 총톤수는 107만 4천94총톤수인데 비해 한일간 투입 정기선은 10만 3,031톤으로, 이는 9.6%에 해당하는 통계수치로써 이 항로에 투입되는 선박은 중소형선박이 주종을 이루고 있음을 재확인시켜 준다.

이들 선박에 선적되는 화물중에는 기계류, COIL, PIPE, 철판 등 철제류, 잡화 그리고 DRUM, CONTAINER등이 주종을 이루고 있으나 그 중에서도 고가인 기계류가 많은데 중량물이 대부분이며 나무상자(WOODEN BOX)로 포장하여 운송하는 경우가 많고 특히 화물창의 여유 등의 문제로 2단적 또는 다단적하여 운송하고 있다. 이 2단적 운송시 선박이 황천에 조우하게 되어 선체가 극심한 동요를 일으키며 선체운동을 하게 되는데 이로 인해 상하부 나무포장상자에 하중 및 운동력이 발생하며 심할 때는 화물 포장상자가 파손되어 화물 손상에 이르게 된다. 따라서 이러한 포장상자의 파손에 이르는 기구를 규명하여 대처한다면 앞으로 중

량화물포장 나무상자의 2단적 운송시 안전운송대책을 마련할 수 있다고 본다.

황천에 있어서 2단적 운송시의 화물사고는 부적절한 적부, 황천조우 및 기상이변의 원인으로 발생하며, 실제로 10척 정도를 운항하는 한일 취항선사 중 3년간에 걸쳐 화물사고의 원인을 조사한 바에 의하면, 거칠은 취급에 의한 것이 72건으로 전체 건수 155건 중 백분비 46%이며, 선적지연 및 기타 사항 7건 5%, 부적절한 적부(STOWAGE)에 의한 것이 57건 37%, 황천조우 및 기상이변에 의한 것이 19건 12%로 분석되어, 부적절한 적부 및 황천조우로 인한 건수가 전체 사고건수의 반을 차지함을 알 수 있고, 이런 유형의 사고방지를 위한 연구가 필요하다 하겠다.

본 논문에서는 한일간에 실제로 운항하고 있는 표준선형인 어느 한 선박을 선정하여 하중추정을 위한 자료를 얻었으며 또한 일반적으로 수출입화물 포장용으로 사용되는 나무상자를 그 규격대로 제작하여 하부 나무상자 위에 깔목(DUNNAGE)을 깔고 2단적하여 황천에 조우하였을 때 상부상자의 운동에 의해 하부상자가 파손되는 기구를 실험을 통하여 파악하였다.

2. 중량화물의 선적

선적시 통상 화물 1개의 무게가 2톤 이상인 화물을 중량화물이라 하고, 이러한 화물의 선적에는 여러가지 안전문제를 고려하게 된다. 단일화물의 무게가 십톤단위 이상이 되는 화물은 초중량 화물이라고 볼 수 있고, 특히 2단적 화물의 선적에는 특별한 주의가 요구된다.

이러한 중량화물이 선적될 때에는 사전에 선적할 장소, 중량물이 적재됨으로 인하여 일으킬 수

있는 선체 및 화물손상의 방지, 선체나 화물보호를 위하여 필요한 깔목(DUNNAGE WOOD)의 선정 및 구입, 선적 후 화물의 이동방지를 위한 화물고박 문제, 다른 화물과 중량화물을 격리시키는 문제 등을 신중히 고려하여야 한다. 한정된 화물공간에 가장 안전한 방법으로 가장 많은 화물을 운송해야 하는 선박운항자들은 어느정도의 안전한 화물적재를 해야만 하는가에 대해 항상 관심을 기울이고 주의하고 있지만 한정된 장소, 시간, 방법 등의 문제로 인해 다음에 열거한 주의사항을 간과할 수가 있다.

2.1 선적장소의 문제

기계류 등의 초중량화물은 일반적으로 고가품이며 외부로부터 손상을 받을 우려가 많다. 따라서 상대적으로 흔들림이 적은 화물창의 하부에 선적해야하며 다른 화물과의 접촉으로 인하여 손상을 받지 않도록 충분히 선적장소의 선정에 유의해야 한다.

2.2 화물의 이동방지를 위한 고박(LASHING)

선박이 대양을 항해하면서 황천에 조우하게 되면 선체는 극심한 동요를 불규칙적으로 일으키면서 PITCHING(종동요), ROLLING(횡동요), YAWING(선수동요), HEAVING(상하동요), SWAYING(좌우동요), SURGING(전후동요)의 6자유도 운동을 동시에 하게 된다. 그러므로 중량화물을 실었을 때는 이동가능성이 있는 화물은 고박을 실시하여야 한다.

2.3 찌그러짐(CRUSHING)의 방지

초중량화물 상자의 밑바닥은 그러한 중량물을 감당할 수 있도록 되어 있지만 상자의 천정은 그렇지 않다. 따라서 초중량화물 상자위에 무거운 중량물을 이중적하여 선적하는 것은 고려해 보아야 한다. 왜냐하면 하부화물이 눌러져서 문제를 야기할 것이기 때문이다. 초중량물의 포장위에는 가능한 한 중량화물을 2단적하지 않는 것이 화물의 안전을 위하는 것이지만, 부득이 선체구조 및 화물배치상 중량화물을 2단적하는 경우가 있으므로 항상 주의를 하여야한다.

2.4 깔목(DUNNAGE WOOD)의 사용

화물을 선박에 적부할 때에, 그 손상을 방지하기 위하여 사용되는 판재, 각재 및 MAT 등을 깔목이라 한다. 깔목으로서 사용될 재료의 선택과 깔목설치법은 화물의 안전운송과 긴밀한 관계가 있으므로, 화물적부상 소홀히 할 수 없는 것이다. 깔목은 화물의 성질, 포장상태, 적부장소, 운송기간 및 계절의 변화, 창내 구조 설비 등에 따라 달라진다. 깔목으로 사용되는 재료는 목재, 대나무 및 그 제품, MAT, BURLAP, 방수지, WOODEN VENTILATOR, SHIFTING BOARD, DUNNAGE용 화물 등으로 구분하나, 목재 중 특히 각재는 주로 중량물 또는 대형화물의 중량분산용 깔목을 사용하거나 이동방지용으로 사용된다.

초중량화물의 선적시 사용되는 깔목은 두가지로 대별된다. 초중량화물이 화물창에 적재됨으로 인하여 초중량화물의 중량으로 인한 선체에 국부응력이 가하여지지 아니하도록 화물 밑에 깔아주는 깔목과, 중량 화물상자위에 이중적 화물을 적재할 때 상부 화물의 무게가 한곳에 집중하지 않고 화물상자 천정에 고르게 분포되도록 화물상자를 전체적으로 덮어주는 깔목이 필요하다. 이단적시 사용되는 깔목은 하부 중량화물상자의 규격에 맞추어 고르게 간격을 좁혀서 깔아주어야 한다. 이는 중량이 균등하게 분산되어서 한곳에 무리한 응력이 집중되는 것을 막을 수 있고, 또한 경우에 따라서는 심한 선체동요로 고박이 풀리게 되고 화물이나 깔목이 약간 이동되더라도 화물손상을 방지하기 위하여서이다. 깔목은 본선에서 재료를 공급하고 적하작업시에 본선측의 지시와 감독을 받아 하역업자가 설치하며, 깔목은 화물사고 방지를 위하여 책임 있고 또 안전하고도 경제적으로 설치해야 한다.

3. 실험내용 및 실험체 나무상자 제작

3.1 실험 내용

실험은 한일간의 표준선형인 G/T 2,000톤급 다목적 화물선을 대상으로 중량화물을 2단적하는 등의 실험을 하였다. 길이 610cm 폭 303cm 높이

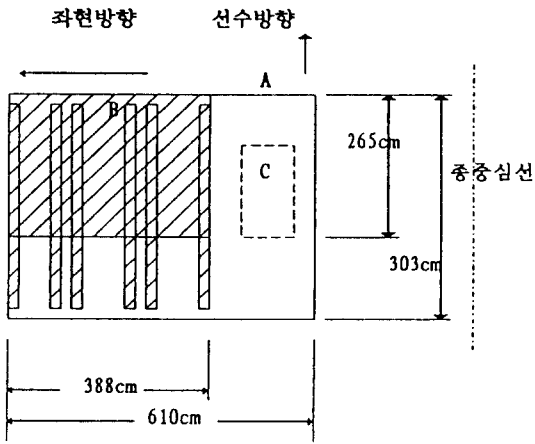


Fig. 1 (a) 위에서 내려다 본 적부도

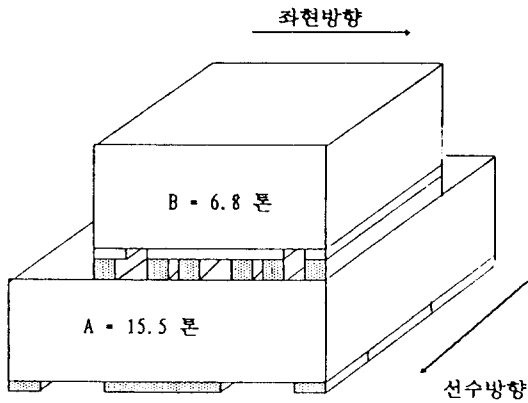


Fig. 2 (b) 선수쪽에서 본 적부상태

240cm 화물무게 15.5톤의 하부상자 위에 상부상자 폭보다 길이가 3cm 짧은 두께 4.5cm 넓이 9.0cm, 길이 300cm의 미송각목 깔목(DUNNAGE) 6개를 선수방향으로 깔고 그 위에 길이 388cm 폭265cm 높이271cm 화물무게 6.83톤의 합판상자(상부상자) 1개를 전면과 좌우측이 수직으로 일치되도록 맞추어 2단으로 적부하였을 때의 실례를 들었다. 화물 적부상태는 Fig.1(a)(b)와 같이 하였으며, 또 선적 장소는 가장 안정적이고 요동이 적은 선체 중앙부를 택하였다. 이는 수출입화물의 포장나무상자가 표준규격이라는 것을 전제로 할 때 통상적으로 적

부하는 방법으로, 실제 위와 같이 2단적하여 운송하기 때문이다. 해상상태는 황천에 조우했을 때를 가정하였고 한일간에 있어서 풍력계수 4인 유의파고로 보면 타당하다.

실험은 정적인 상태에서 실시하였는데, 이는 실제 상황에서 실험하기가 불가능하며 파중에서의 선체운동은 선체운동해석 프로그램으로 해석할 수 있기 때문이다. 선박과 같이 격렬하게 동요하는 동적인 문제를 정적인 상태에서 점진적으로 가해지는 하중실험으로 파손기구를 설명하기란 어려운 일이나, 안전률을 고려한다든지 구조의 취약부를 파악하고 파괴가 일어나는 기구를 규명하는 등의 간접적 방법으로 동적인 현상을 해석할 수 있다.

본 연구에서는 다음의 3가지 즉, 하중추정, 2단적 화물포장상자의 미끄럼실험, 2단적시 화물포장상자 강도에 미치는 깔목 길이의 영향실험의 세부 연구를 수행하였다.

첫째, 하중추정을 참고의 목적으로 수행하여, 단위 규칙파에 대한 선체운동응답을 구하고, 이를 이용하여 2단적된 화물포장상자에 걸리는 하중을 추정하였다.

둘째, 미끄럼실험은 깔목을 사용한 2단적시 하부상자와 2단적된 상부상자간의 미끄럼정지 마찰계수를 구하는 실험으로, 여기서 구해진 마찰계수를 근거로 하여 상자의 미끄럼과 깔목 이탈 가능성을 추정하였다.

셋째, 2단적시 화물포장강도 및 깔목길이의 영향실험으로 깔목 길이가 하부상자 강도에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험이며, 이것은 하부상자의 선수방향의 폭이 303cm 였으나 실제적으로 하부상자 폭보다 3cm 작은 규격품인 길이 300cm의 깔목을 설치하여 상부상자를 선적하였는 바, 그 차이점을 알아보기 위하여 깔목길이 300cm, 303cm 각각의 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

3.2 실험체 나무상자 제작

나무상자는 실제적으로 한일간 증량화물의 포장에 사용되는 나무상자의 규격 및 재질로 제작하여 실험에 사용하였다. 2단적된 상부상자의 규격은 원

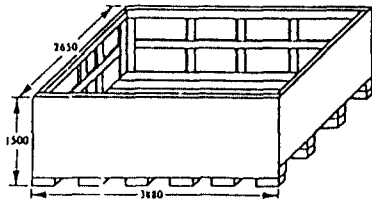


Fig. A 상부상자 외형치수

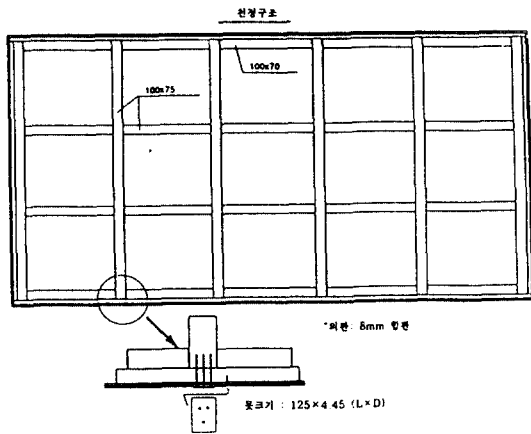


Fig. B 실험체 상자

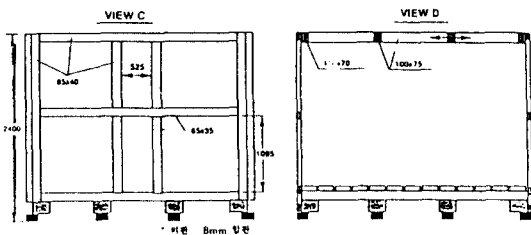


Fig. C 실험체 제작

래 길이 388cm, 폭 265cm, 높이 271cm 였으나, 하중장치를 설치하기 위하여 상부상자 반(길이 388cm, 폭 265 cm, 높이 155cm)만을 제작하였다. Fig.A는 상부상자의 외형치수를 나타낸다. 이 상부상자 자체의 무게는 0.68 톤이다. Fig.B,C는 하부상자 제작도면을 나타내고 있다. 이 하부상자의 규격은 길이 610cm, 폭 303cm, 높이 240cm로 제

작되어 실험에 사용하였다. 또한 하부상자의 상부 천정의부 가로받침대는 11cm 두께로 제작되었으며, 이는 깔목길이의 영향력 실험에 참고가 된다.

4. 하 중 추정

4.1 하중추정의 목적

본 논문에서 하중추정은 두 가지 목적으로 수행되었는데, 실험방법 등을 고안하기 위한 목적과 본 실험 대상선박의 선체운동응답 추정 자료로 활용하기 위한 목적이다. 따라서 여기서 추정된 하중은 본 실험 대상선박과 같은 유사사고가 발생했을 때 실험적으로 선적 중량하부상자의 파손원인과 선적 방법의 적절성을 구하므로써 미리 사고에 대응코저한다.

4.2 하중추정 방법

파랑하중은 파중에서 선체운동으로 발생하는데, 파 유기 유체력과 선체운동 가속도에 의한 관성력으로 대별된다. 본 논문의 경우에는 후자의 경우로, 선체운동 가속도에 의하여 2단적된 상부상자에 유기되는 관성력이 구하고자 하는 파랑하중이 된다.

보통 파랑하중은 규칙파중의 단위파고에 대한 선체운동 해석을 통하여 RAO(RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR)를 구하고, 이렇게 구한 RAO와 파스펙트럼(WAVE SPECTRUM) 및 파관측자료 등을 적용한 통계해석을 거쳐 추정된다. 이와 같은 하중추정 과정은 선박구조에 있어서 설계의 목적으로 적용하는 파랑하중 직접계산법의 통상의 과정이다.

본 논문에서는 위와 같이 선체운동해석을 통하여 RAO를 구하고, 이를 이용하여 파고가 4m와 5m인 두가지 규칙파에 대하여 상부상자에 유기되는 가속도와 하중은 선체운동 RAO에 의해서 구해진다.

4.3 선체운동 해석

선체운동 해석에서는 단위파고 규칙파에 대한

선체운동 RAO를 구한다. 본 해석은 전산프로그램을 사용하여 수행되었는데, 사용된 전산프로그램은 선체운동해석프로그램으로 OSM(ORDINARY STRIP METHOD)를 개량한 방법에 따라 작성된 것이며 선속을 고려한 선체운동해석을 할 수 있다.

4.3.1 입력자료

본 프로그램으로 선체운동해석을 하기 위해서는 표 1과 같이 선박의 기본제원, 선형, 선속, 밑지킬, 파장, 선체중량 등 다수의 입력자료로 계산을 수행하였고, 기준좌표계는 Fig.2와 같다.

표.1 선체운동해석 주요 입력자료

L _{PP}	85(m)	DISPLACEMENT	4.157(ton)
B	16.6(m)	FROUDE No.	0.1871
D	6.8(m)	LGG	-0.02(m)
DRAFT F.P	4.2(m)	KG	4.7(m)
DRAFT A.P	5.4(m)	BILGE KEEL(L*B)	31.85(m)*0.23(m)

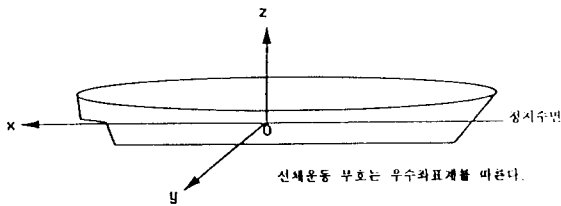


Fig. 2 기준좌표계

STRIP방법에 의하여 선체운동해석을 하기 위해서는 선체를 길이 방향으로 유한개의 STRIP으로 분할해야 한다. 여기서는 F.P.와 A.P.사이를 20등분 하였다. 따라서 STRIP을 정의하는 STATION 갯수는 A.P.와 F.P.를 포함하여 21개가 된다.

선형은 정지수선면을 기준으로 하여 몰수부선형만 정의하면 된다. 한 STATION당 선형정의에 필요한 좌표점의 갯수는 8점으로 하였다. 이렇게 정의된 선형으로 계산한 배수량과 원래의 배수량과의 차이가 작아야한다.

4.3.2 해석 수행

본 선체운동해석 전산프로그램의 실행은 HP-9040/ CPU:2.5MB/ DISK 490MB의 컴퓨터시스템으로 수행하였다. 해석의 범위는 파장과 파 조우각을 조합한 210가지 경우로, 파는 파장 대 선체수선간 길이 비가 0.1~3.0 범위에서 30가지이고, 파 조우각은 0°, 30°, 60°, 80°, 120°, 150°, 180°로 7가지 경우이다.

4.3.3 출력 자료

본 프로그램의 출력자료는 RAO, 전달합수 등의 몇가지가 있지만, 여기서는 본 하중추정에 이용되고 있는 선체운동 RAO에 대해서만 정리하였다. 상부상자에 유기되는 관성력을 구하는 데 필요한 선체운동 가속도는 RAO를 이용하여 다음 식으로 계산된다.

$$a_i = -\omega_e^2 A_i \cos(\omega_e t - \phi_i)$$

여기서

- a_i : 가속도
- ω_e : 조우 각속도
- A_i : RAO_i * 파진폭
- ϕ_i : 위상
- t : 시간

4.4 하중계산

상부상자에 유기되는 하중 추정에는 상부상자 질량을 포함한 화물 질량과 그 무게중심, 선체운동 가속도, 상부상자의 선체운동 중심에 대한 상대위치 등이 필요하다.

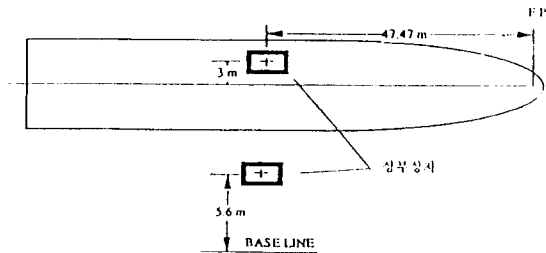


Fig. 3 상부상자 위치

본 하중추정에서는 상부상자와 화물의 질량을 총 7.0(ton)으로 하였다. 본 실험 대상선의 자료에 의하면 상부상자에 적재된 화물의 무게만 6.8(ton)이다. 무게중심은 상자의 공간중심에 있다고 가정하였다. 이것은 운송화물에 따라 무게중심이 달라지기 때문에 특정한 경우를 택하여야 하는데, 이것은 연구결과를 이용하는데 있어 무게중심을 상자의 공간중심에 있다고 가정하는 것이 편리하기 때문이다. 상부상자의 선체에 대한 위치는 Fig.3에 나타낸 것과 같다. 상부상자에 유기되는 관성력은 상자 및 화물의 질량에 가속도가 작용하여 발생하므로 상자중심에서 3축 방향으로 작용하는 가속도를 구하고, 이 가속도를 화물 및 상자 질량과 곱하여 관성력을 계산하였다. 상자중심에서 3축 방향으로 작용하는 가속도는 선체 6자유도 운동에 따른 6가지 가속도 성분을 위상을 고려하여 합하면 얻어진다. 회전 각가속도 성분에 의한 3축방향의 가속도 기여분은 회전 각가속도에 선체운동 중심에서 상부상자 중심까지의 모멘트 아암(ARM)을 곱하여 구할 수 있다. 수직, 수평방향의 관성력은 각 방향의 가속도에 질량을 곱하면 얻어진다. 최종적으로, 이렇게 구한 파 유기 관성력과 중력을 합산하여 하중을 구할 수 있고, 파고가 4m와 5m인 경우에 대하여 상부상자에 걸리는 하중을 계산하였다. 동일 파장비에 대하여 2개의 값이 주어져 있는데, 하나는 수직분력이 최대일 때로 상자강도 실험에 참고되는 하중상태이고, 또다른 것은 파의 위상에 따른 수평분력/수직분력 비가 가장 클 때를 나타낸 것으로, 미끌어질 가능성이 상대적으로 높은 하중상태이다.

5. 미끄럼 실험

본 미끄럼 실험은 정지마찰계수를 구하는 실험으로서 짧은갈목300cm를 사용한 경우이다.

미끄럼을 일으키는 하중의 방향 즉, 미끄럼 방향은 Y축 방향(선폭방향)으로 하였다. 미끄럼 방향을 이와 같이 선택한 이유는 하중추정 결과에서도 알 수 있듯이 일반적으로 파 중의 선체운동에서 횡요가 중요보다 크고, 전후요보다 좌우 및 선수요가 크기 때문에 선폭방향으로 미끌어질 가능성이 상

대적으로 높기 때문이다. 또한 실제로 전후방향이나 선폭방향이나 미끄럼 마찰저항력은 마찰면에 작용하는 수직하중과 마찰계수로 주어지고, 마찰계수는 마찰력의 발생기구로 보아 미끄럼 방향에 크게 영향을 받지 않는다고 판단되기 때문이다.

실험하중으로 수직력은 균일 분포를 사용하였다. 실제 해상에서는 이 수직력의 분포가 항상 균일하지는 않지만 모든 불균일 하중분포 경우를 다 실험하기는 곤란하며, 실제로 마찰계수가 마찰면에 수직인 하중과 비례할 때는 불균일 하중을 평균하여 사용하는 것이 마찰저항력을 실제보다 작게 평가하게 되는데, 이것은 마찰 가능성을 안전측으로 평가하는 결과를 준다. 수평력은 모멘트로 인하여 수직력에 불균일이 생기지 않도록 상부상자바닥 측면중앙에 가하였다.

이상에서 기술한 본 미끄럼실험을 정리하면 다음과 같다.

- ㉠ 짧은 갈목300cm를 사용한 2단적시 상부상자와 하부상자간의 미끄럼실험
- ㉡ 미끄럼 방향은 선폭방향 : Y축
- ㉢ 수직 하중은 균일분포를 사용했음.
- ㉣ 수평 하중은 상부상자 바닥 측면중앙에 가함.

5.1 실험체 및 실험장치 설치

Fig.4와 같이 실험체 및 실험장치를 설치하였다. 수평력을 가하기 위한 하중기는 시험설비 바닥에 기둥을 설치하여 이 기둥의 상부 끝에 그림과 같이 고정되었고, 하중기의 실린더 헤드를 상부상자 바닥 측면 중앙에 접촉시켜 하중기로 부터 나오는 수평하중이 상자에 전달되도록 하였다. 또한, 하부상자의 미끄러짐을 방지하기 위하여 반벽력에 볼트를 심어 하부상자 바닥을 수평방향에 대하여 지지하였다. 본 실험에서 수직력으로서의 하중기가 사용되지 않고 상부상자 자체 무게와 하중지그 무게를 수직하중으로 이용한다. 따라서 수직방향 하중기는 설치되지 않았다.

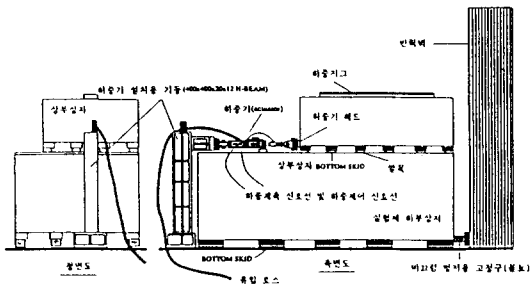


Fig. 4 (a) 미끄럼실험 실험체 및 실험장치 설치

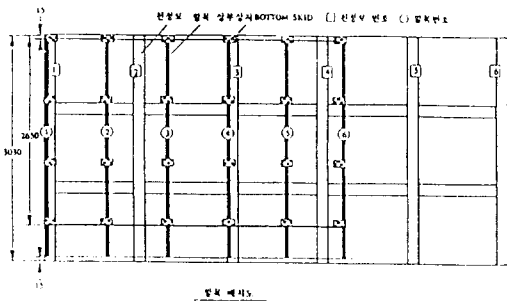


Fig. 4(b) 미끄럼실험 실험체 및 실험장치 설치

상부상자는 Fig.4(b)의 깔목 배치에서와 같이 깔목 끝이 하부상자 양 측면 끝에서 1.5cm 씩 안쪽으로 되도록 깔고 그 위에 적재된다.

5.2 실험수행

본 실험은 두가지 수직하중에 대하여 수행되었다. 먼저 상부상자 자체무게(0.68ton)만일 때를 실험하고,그 다음 상부상자 속에 하중지그를 설치하여 상자무게와 지그무게를 합한 무게(0.68ton + 2.9ton)를 수직하중으로 하여 실험을 수행하였다.

실험은 수평으로 설치된 하중기로서 상부상자가 미끄러질 때 까지 하중을 서서히 가하고 계측함으로써 완료된다.

여기서 하중을 가하고 계측하는 방법을 간단히 설명한다.하중은 유압 펌프를 이용하여 하중기에 유압을 가하면 하중기의 유압 실린더가 작동하여

발생하는데,이 때 가해지는 하중크기 및 실린더 변위량은 제어장치를 통하여 제어된다. 본 실험에서는 변위 제어 방법을 사용하였다.하중기에서 발생하는 하중은 하중기 실린더쪽에 부착되어 있는 하중계측기(Load Cell)로써 감지되고 컴퓨터에 자동으로 수록된다.

5.3 실험 평가

Fig.5, Fig.6은 상부상자에 하중기로 가한 하중이력을 보여주는 그림이다.이 그림에서 하중이 갑자기 저하하는 점P가 상부상자가 미끄러지기 시작하는 점이며 최대하중점으로 이 때가 최대 정지 마찰력이 된다. 표 2는 이 실험결과를 정리한 것이다.

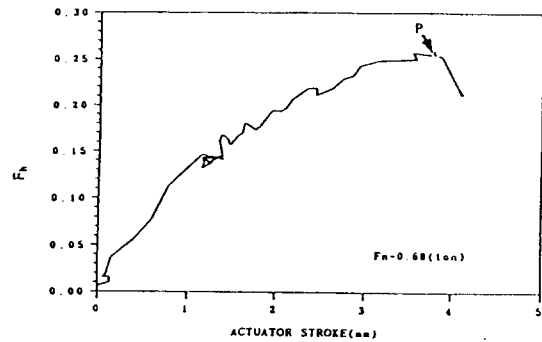


Fig. 5 미끄럼실험 하중이력(Fn=0.68 ton)

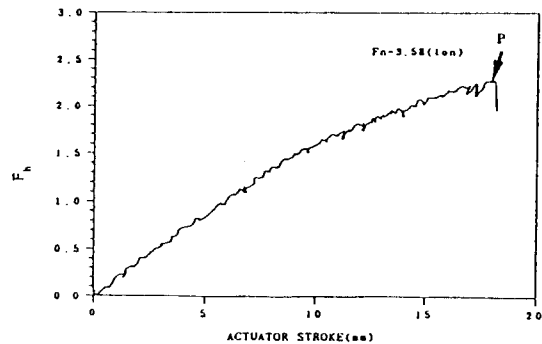


Fig. 6 미끄럼실험 하중이력(Fn=3.58 ton)

실험에서 미끄러지기 시작하는 순간의 즉, 위에서 설명한 하중점 P에서의 수평력(Fh)과 수직력

(Fn)의 비가 미끄럼 정지 마찰계수(μ)가 된다. 따라서 이들 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

표.2 미끄럼실험 결과

Fn = 0.68(ton)		Fn = 3.58(ton)	
Fh (ton)	마찰계수(μ)	Fh(ton)	마찰계수(μ)
0.25	0.37	2.27	0.63

$F_h = \mu F_n$

상부상자에 걸리는 수평/수직력의 비가 이 미끄럼 정지계수보다 작으면 상자는 미끄러지지 않는다.

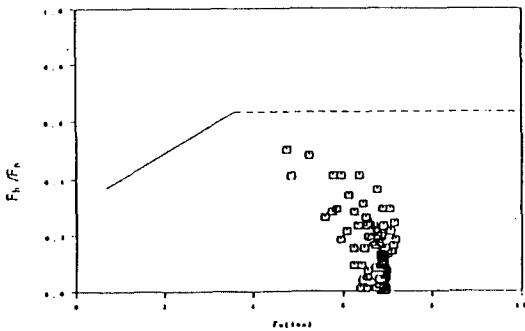


Fig. 7 마찰계수와 미끄럼하중과의 비교

본 실험에서 얻어진 마찰계수 값은 수직력의 크기에 따라 차이가 나고 있다. 원래 딱딱하고 비교적 매끈한 표면의 마찰계수는 수직력의 크기에 영향을 별로 받지 않지만, 본 실험에서 사용한 실험체의 표면은 거칠고 딱딱하지 않기 때문에 수직력이 클수록 미끄럼 표면이 상호밀착하게 되어 큰 마찰계수 값을 주고 있다고 판단된다.

Fig.7은 과고가 5m일 때 추정된 하중비가 최대일 하중상태의 하중비를 수직력에 대하여 나타낸 것으로, 실험에서 얻어진 마찰계수보다 모두 작다. 이 그림에서 실선은 실제 실험에서 구해진 마찰계수 2점을 연결한 것이고 점선은 Fn=3.58(ton)이후의 마찰계수 값을 일정하게 가정한 것이다.

Fig.7에서와 같이 마찰저항력에 상당한 여유가 있으므로 추정된 하중에 대해서는 상부상자를 포함한 깔목이 미끄러지지 않는다고 판단된다.

6. 상자강도 및 깔목길이의 영향실험

본 실험은 짧은 깔목300cm와 긴 깔목303cm를 각각 사용한 경우에 하부 상자의 강도와 파손기구를 비교 검토하기 위한 실험이다.

상자의 파손을 주로 지배하는 하중은 상자 상부 평면에 수직 방향으로 작용하는 하중이다. 앞에서 계산한 상자 중심에 작용하는 수직하중 Fn과 수평하중 Fh 둘 다 상자파손을 지배하는 수직하중에 기여한다. 그러나 수평력 Fh가 기여하는 바는 수직력 Fn에 비하여 작고, 또한 이 실험이 깔목길이에 대한 강도 비교 및 파손기구를 알기 위한 실험이므로 복잡한 하중상태는 바람직하지 않기 때문에 수평력 Fh는 무시되었다.

따라서 본 실험에서는 수평방향의 하중은 적용하지 않고 수직방향 균일분포 하중만으로 실험이 수행되었다.

6.1 실험체 및 실험장치 설치

본 실험을 수행하기 위한 실험체 및 실험장치 설치도(SETUP)는 Fig.8와 같다. 하중기는 하나만 사용했는데, 반력벽에 고정되어 있는 강력한 외팔보 중간에 수직방향으로 고정하였다. 하중기의 실린더헤드 쪽은 상부상자 속에 설치되어 있는 하중기에 연결되었다. 하중기를 하중지그와 연결할 때에는 미리 하중기가 수직이 되도록 세심하게 조정해야 한다. 상부상자의 적재는 미끄럼 실험과 마찬가지로 요령으로 하였다.

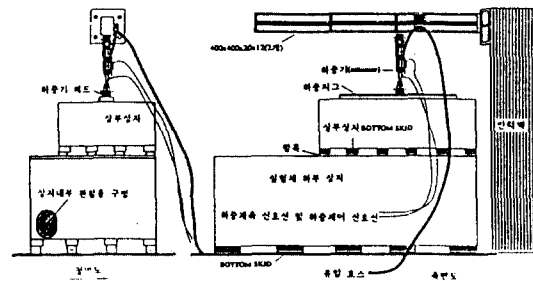


Fig. 8 상자강도실험 실험체 및 실험장치 설치

6.2 실험 수행

갈목의 길이가 짧을 때와 길 때의 두가지 시험을 각각 수행하였는데 먼저 짧은 갈목 설치시의 실험을 수행하였다.

하중기를 사용하여 미끄럼실험과 마찬가지로 하중을 서서히 가하면서 실험체를 주의하여 관찰하였다. 하중이 증가함에 따라 파손이 진행되는데, 필요시 하중을 멈추고 자세한 관찰 및 하중 자료를 따로 기록하였다 (예: 갈목이 부러지는 하중점 등). 하중을 멈추었을 때 주의할 점은 가한 하중을 제한해서는 안되며, 너무 오랫동안 하중을 멈추지 말아야 한다. 계속하여 갈목 및 상자가 파손될 때까지 하중을 서서히 가하면서 파손과정을 관찰하였다. 길이가 긴 경우의 실험도 위와 마찬가지로 수행하였다.

6.3 실험 평가

Fig.9, Fig.10은 갈목 및 상자의 파손까지의 하중이력을 보여주고 있다. 이 그림은 하중기가 가한 하중만을 나타내는데 하부상자가 받는 실제의 하중은 이 하중에 상부상자 및 하중지그무게를 합한 것이다. 이것은 갈목 길이가 길 때와 짧을 때의 하중차이는 약 6.2% 정도이다. 한편 파손과정의 관찰에 의하면 하중이 증가하여 어느 수준에 도달하게 되면, 두 가지 실험이 경우가 공히 Fig.4(b)의 4번 천정보를 고정하고 있는 못이 빠지기 시작하였다. 못이 빠지기 시작하면 천정구조가 처지게 되는데, 천정구조가 어느정도 처졌을 때 천정보와 함께 처지고 있던 갈목이 천정보가 받혀주지 못하기 때문에 집중하중을 받아 Fig.9, Fig.10의 Q점 근처에서 부러졌다. 이 때의 하중값은 두 경우 모두 총 하중으로 9ton 정도였다.

갈목이 부러진 후에도 상자는 하중을 계속 받지만 이미 천정보의 못이 상당히 빠졌기 때문에 표.3의 최대하중에서는 3, 4번 천정보가 완전히 내려앉고, 4번 천정보는 따로 설치한 보조기둥과 접촉하였다. 천정보가 완전히 빠짐과 동시에 하중이 급격히 떨어졌고, 이후 하중을 계속 가하였으나 파손은 최대하중점 P보다 낮은 하중에서 못이 빠진 반대쪽 측벽구조의 좌굴파손의 형태로 발전해 갔다.

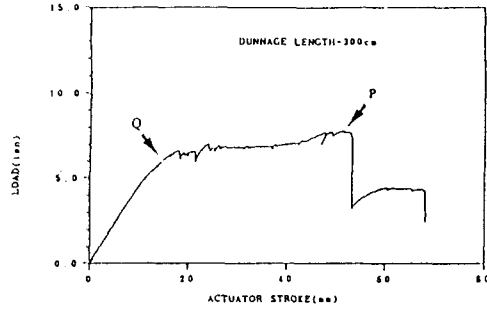


Fig. 9 상자강도 실험 하중이력(갈목길이 300cm)

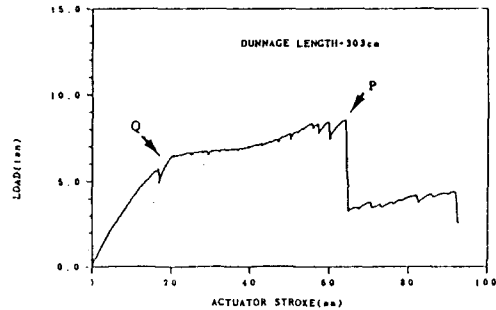


Fig. 10 상자강도 실험 하중이력(갈목길이 303cm)

여기서 갈목 길이가 상자파손강도에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 살펴보면 측벽좌굴의 경우인데, 본 실험에서는 측벽이 좌굴파손하기 이전에 그 반대쪽의 천정보가 빠지는 것으로 파손이 시작되었고, 이 파손기구에는 본 실험에 사용한 갈목 길이의 차이는 영향을 미치지 않는다. 또한 천정보가 완전히 빠지는 표.3의 하중값은 갈목이 부러져 강도상 아무 역할을 하지 못할 때 얻어진 값이므로 갈목길이와 관련이 없다.

이렇게 볼 때 표.3의 실험결과 차이는 갈목길이의 영향이라기보다는 천정보를 못으로 고정하는 고정도와 나무재질에 따른 편차라 볼 수 있다.

표.3 상자강도 실험 결과

갈목 길이 = 300cm		갈목 길이 = 303cm	
하중기(ton)	지그+상자(ton)	하중기(ton)	지그+상자(ton)
7.7	3.58	8.4	3.58
11.28		11.98	

이 실험은 본래 깔목길이가 측벽의 좌굴강도에 미치는 영향을 알아보는 것이 초점이었지만, 실험 결과 상자 측벽구조가 좌굴파손하기 이전에 천정보가 빠져 실험체 상자의 최종강도에 달하였다. 깔목의 파손은 천정보가 완전히 빠지기 전에 일어났는데, 이는 천정보가 못이 빠져 내려앉음에 따라 깔목지지 환경이 변하고, 이로 인하여 깔목이 하중 집중을 받기 때문에 일어났다. 이러한 파손기구에 깔목길이가 미치는 영향은 없다. 그러나, 최종강도에서 실험결과가 약 6.2% 정도의 차이가 나고 있는데, 이 차이는 깔목 길이의 영향이라기보다 천정보의 고정도와 상자 구조재료의 재질에 따른 편차라 판단된다.

본 실험결과는 하중을 한 방향으로 서서히 증가시키는 하중상태에서 얻어진 값이다. 실제 해상상태에서는 하중이 장기간 반복작용하기 때문에 깔목이 부러진 하중보다 낮은, 즉 못이 빠지기 시작하는 하중상태에서도 파손이 점진적으로 일어날 수 있다. 따라서 중량화물을 선적할 때에는 이러한 점에 유의해야 한다.

7. 결 론

최근 IMO(국제해사기구)에서는 1974 SOLAS(해상인명구조협약)의 제 6장 및 제 7장을 부분개정하여 1996년 7월 1일부터는 화물고박지침서(CARGO SECURING MANUAL) 작성의 의무화를 의결하였다. 이에 IMO는 화물의 적부고박에 대한 CODE OF SAFE PRACTICE FOR CARGO STOWAGE AND SECURING을 발행하여 선사들이 이용할 수 있게 하였다. 따라서 이번 실험은 한 일간을 운항하고 있는 다목적화물선의 2단적 화물의 파손기구를 규명하여 아래와 같은 결론을 얻었는 바, 이를 토대로 향후 화물고박지침서 작성에 도움이 될 수 있다고 본다.

첫째, 화물상자의 미끄럼실험에서는 상부상자의 무게가 0.68톤일 때에는 정지마찰계수가 0.37에서 상부상자가 미끄러졌고, 상자무게와 하중지그를 합한 무게 3.58톤에서는 0.63에서 미끄러졌으며, 실제

무게 7톤정도에서는 더 큰 마찰계수에서 미끄러지리라 예상할 수 있다. 따라서 황천시 파고가 5m일 때 추정된 수평/수직력의 비가 실험에서 얻어진 마찰계수보다 작기 때문에 상부상자는 미끄러지지 않으므로 화물의 파손 원인을 제공한다고 말할 수 없다.

둘째, 포장상자의 강도실험에서는 당초에 예상했던 측벽좌굴의 파손기구로 먼저 일어나지 않고, 천정보가 빠지는 것으로 시작하여 깔목이 부러지고 천정보가 완전히 빠지게 되며, 이어서 참고자료 사진에서 외형적으로 나타난 것과 같이 측벽의 좌굴로 발전하였다. 이후 천정보와 상자의 측벽이 파손되면 이들 구조의 강성이 현저히 저하하여 여기서 감당하고 있던 하중이 다음 하중지점으로 옮겨지는 하중 재분배가 일어난다. 그런데 모서리 부분은 아직 파괴가 일어나지 않았기 때문에 재분배된 하중이 모서리 부분에 집중하고 따라서 모서리 부분도 쉽게 파손된다. 실험에서는 천정보가 빠지는 하중이 본 실험에 적용한 실험체 상자가 견딜 수 있는 최대하중으로 나타났다. 즉, 깔목 길이가 300cm, 303cm일 때 거의 같은 하중에서 천정보가 빠지기 때문에 이 경우 깔목의 길이에 의한 영향은 없다. 그러나 깔목 길이가 하부상자 상부의 가로대 안쪽으로 들어갈 만큼 작을 때에는 하부상자는 적상하중이 아닌 천정하중에 해당되는 하중으로 파괴될 수 있다. 따라서 적상하중분포를 균등히 해야 하며 이를 위해서는 선적시 깔목의 길이, 천정구조 및 재료에 특히 유의하여 2단적해야 한다.(천정하중은 주로 보로서 받쳐주는 상부하중을 말하고, 적상하중은 주로 앞뒤판에서 받쳐주는 상부하중을 말한다.)

셋째, 적절한 STOWAGE PLAN(화물적부도)을 작성하여 초중량화물 포장상자의 2단적은 피하는 것이 화물손상의 가능성을 배제하는 기본이지만, 부득이한 경우에는 상부상자의 운동에 의한 하중을 최대한으로 분산시킬 수 있는 적당한 DUNNAGE 사용 및 관성력을 최소화할 수 있는 고박장치가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 李鍾仁著 海運實務 (海大 海事圖書出版部) 1985
2. 金順甲 / 梁時權著 船舶積貨 (海大 海事圖書出版部) 1995.2
3. 朴炫圭 / 李源哲著 海運論 (海事問題 研究所) 1991.2
4. 船舶荷役に 關する 規則 (成山堂書店) 昭和37年9月
5. 三原莊衛編 載貨係數表と 積付實務 (海文堂) 昭和58年
6. 朴命圭 外 2人貨物倉의 流體流動을 考慮한 船體運動에 關한研究(韓國航海學會紙, 第10卷 第2號) 1986
7. 朴命圭 外 1人格子形二重底의 船體最適設計에 關한 研究(韓國航海學會紙, 第12卷 第2號) 1988
8. 韓國工業標準協會輸出品包藏用틀상자(KS-A-2152-1987) 87.7.23.
9. 日本海事檢定協會船積み貨物の積み付けに關する質問の回信 1991.10.15.
10. 日本通運(株) 船積み貨物の積み付けに關する質問の回信 1991.10.15.
11. G.T.Stevens, Jr. Economical Financial Analysis of Capital Investments(John Wiley & Sons) 1979
12. 日本海難防止協會ローディング・マニュアル
研究委員會報告書 昭和53年5月
13. 日本船舶標準協會 JISF 規格集(船體機關) 1993
14. I.M.O Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing(Resolution A.714(17)) 4.Dec.1991
15. I.M.O Cargo Securing Manual (MSC/SRC.385) 8.Jan.1985
16. SOLAS Chapter VI-Carriage of Cargoes /Part A- General Provisions /Regulation 5-Stowage and Securing
17. I.M.O Guidelines for Packing Cargo in Freight Containers or Vehicles 1990
18. J.D.Sipes Advanced Method for Ship Motion and Wave Load Prediction(Ship Structure Committee, SSC-333) 1994
19. Park, M.K. A Study on Basic Design Method and Seakeeping Performance of an Hatchcoverless Ship(Ph.D Thesis, Ulsan Univ.) 1993
20. American Bureau of Shipping Rules for Building and Classing, Steel Vessels 1990
21. 朴命圭著 FORTRAN 77의 定石 (韓國理工學社)1993
22. Lains.Goldrein Ship Sale and Purchase Law and Technique loyds of London Press Ltd.)1985

실험 기록 사진

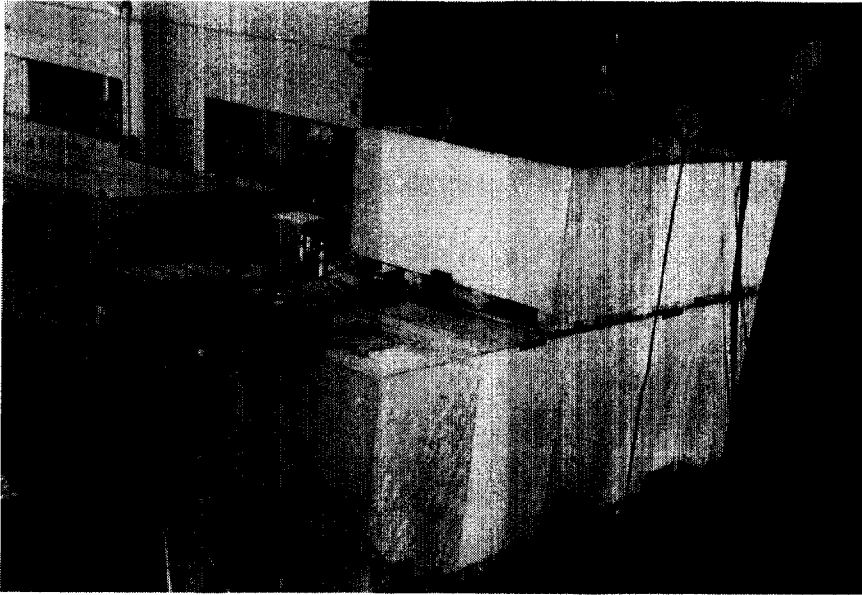


사진 1 설치된 미끄럼 실험장치

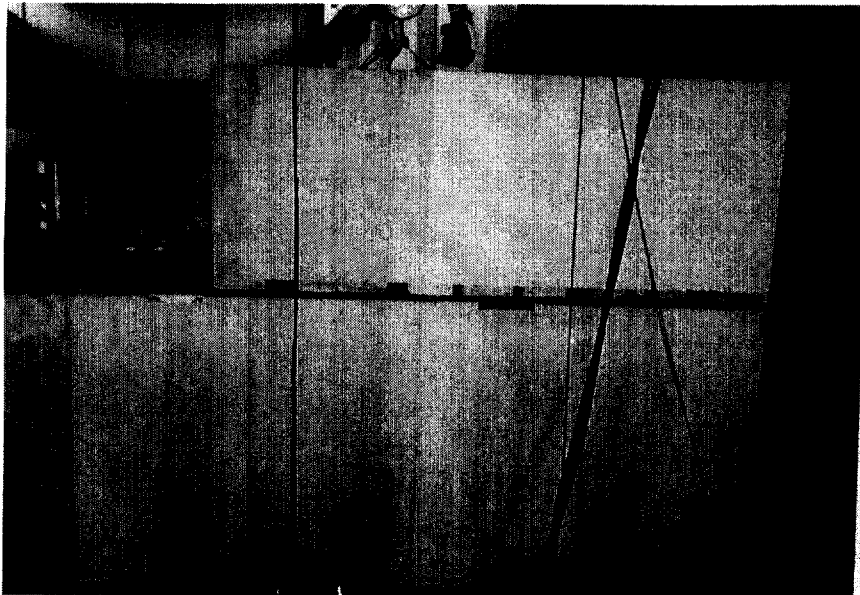


사진 2 미끄럼 실험 모습

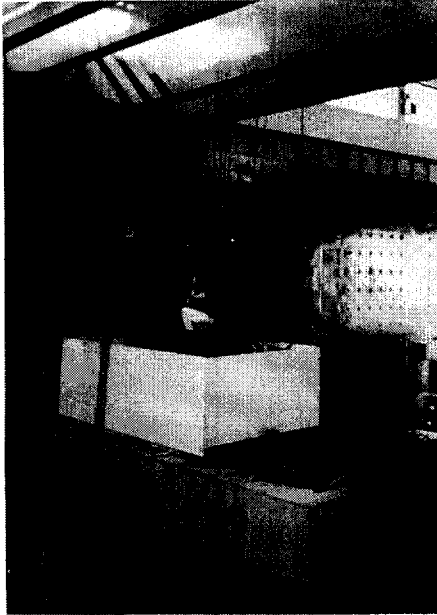


사진 3 하중기 및 실험체 설치 전경



사진 4 설치된 하중기 모습

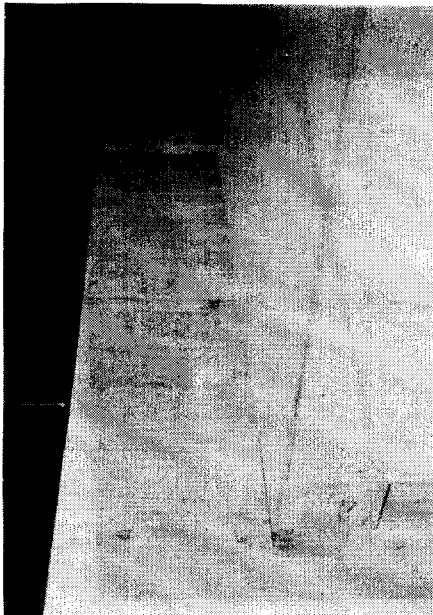


사진 5 짧은 깔목을 사용한 2단적 모습

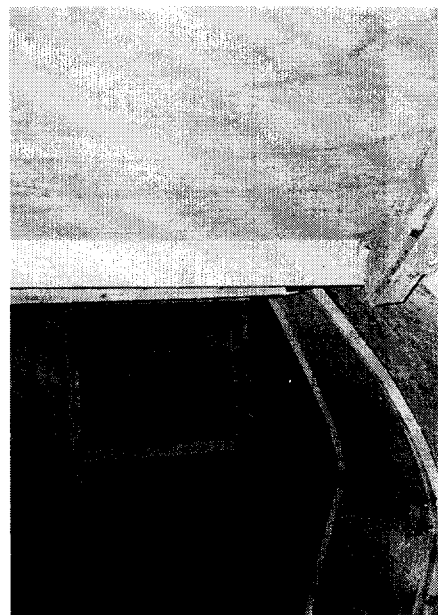


사진 6 내부에서 본 측벽 파손모습(짧은 깔목 경우)

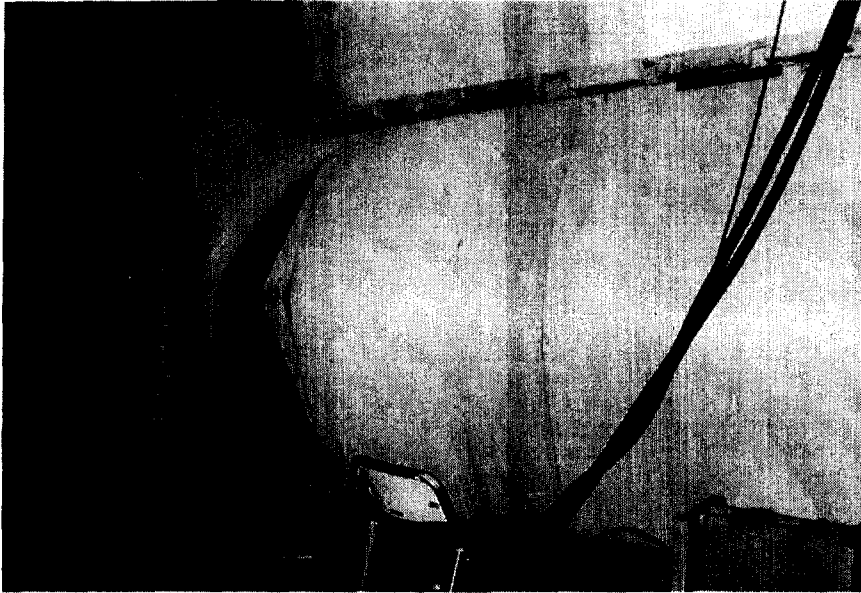


사진 7 측벽 파손 모습(짧은 갈목 경우)

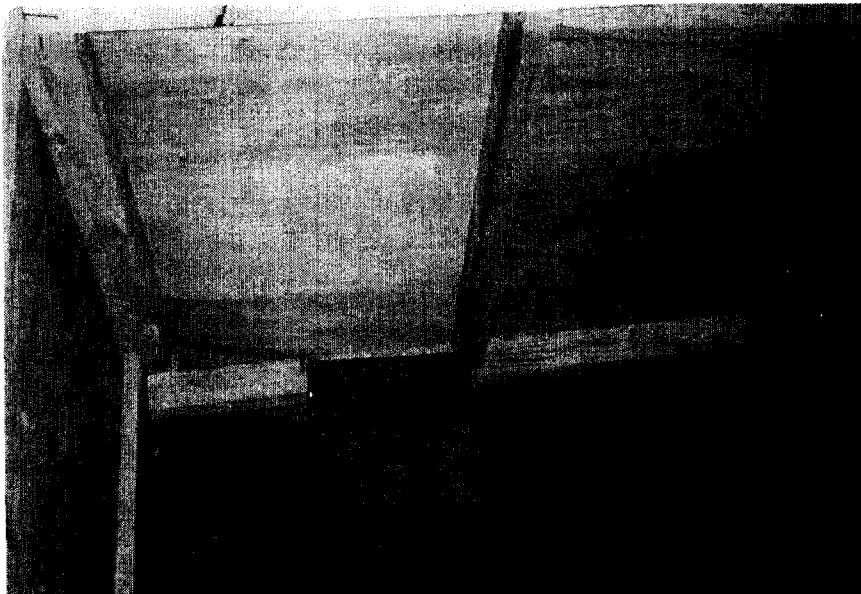


사진 8 6번 갈목 부근의 천정보가 빠진 모습(짧은 갈목 경우, 빠진 천정보를 지지하고 있는 것은 따로 설치한 보조기둥)

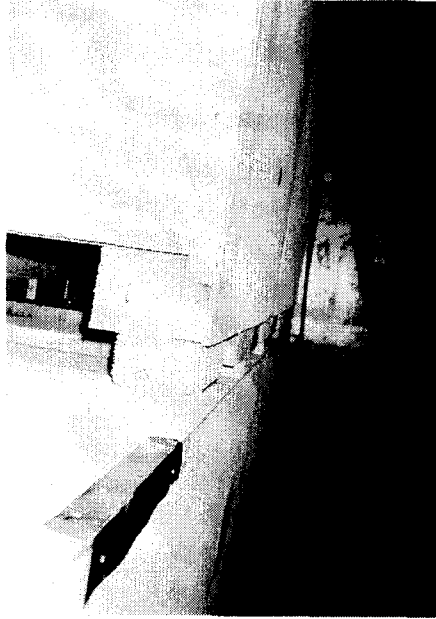


사진 9 긴 갈목을 사용한 2단적 모습

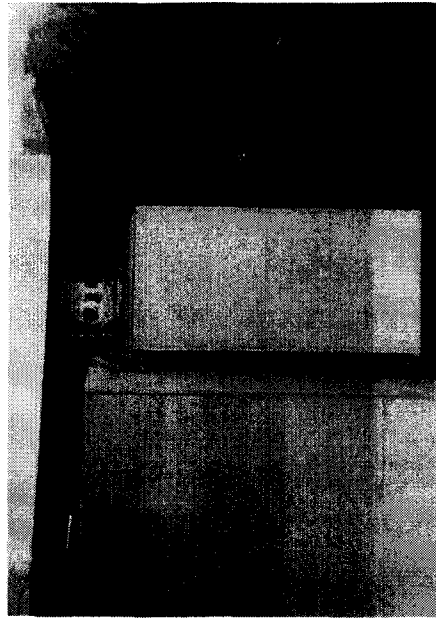


사진 10 긴 갈목 사용시 갈목 파손 모습

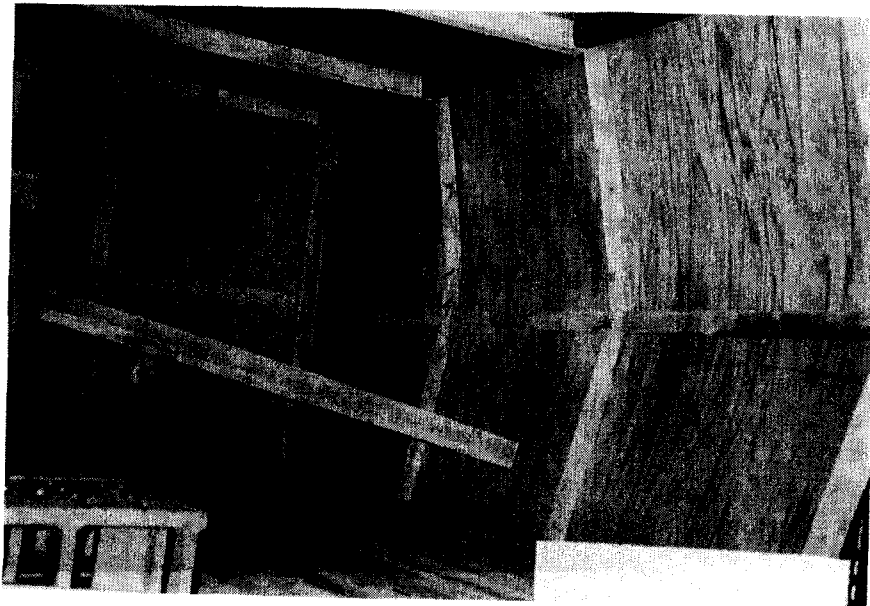


사진 11 내부에서 본 측벽 파손 모습 (긴 갈목 경우)

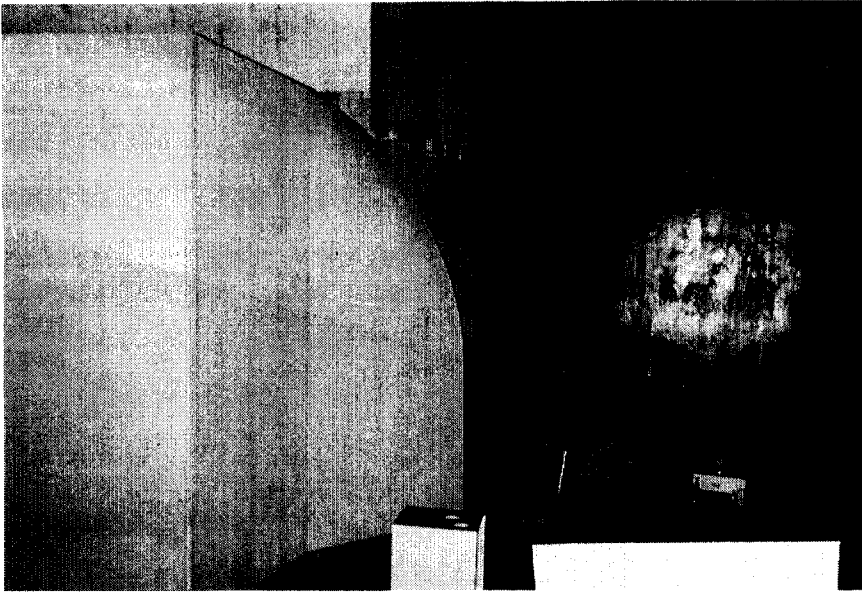


사진 12 측벽 파손 모습 (긴 깔목 경우)

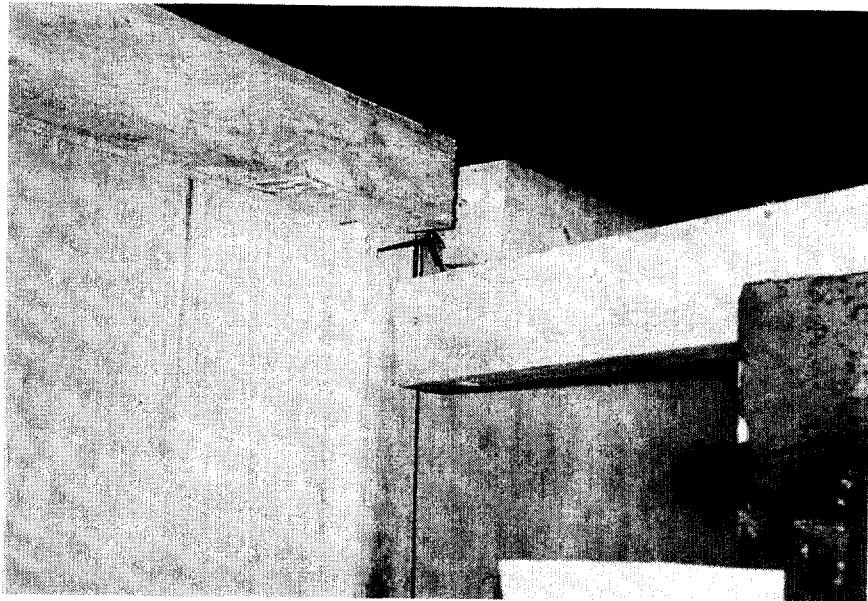


사진 13 6번 깔목 부근의 천정보가 빠진 모습 (긴 깔목 경우)

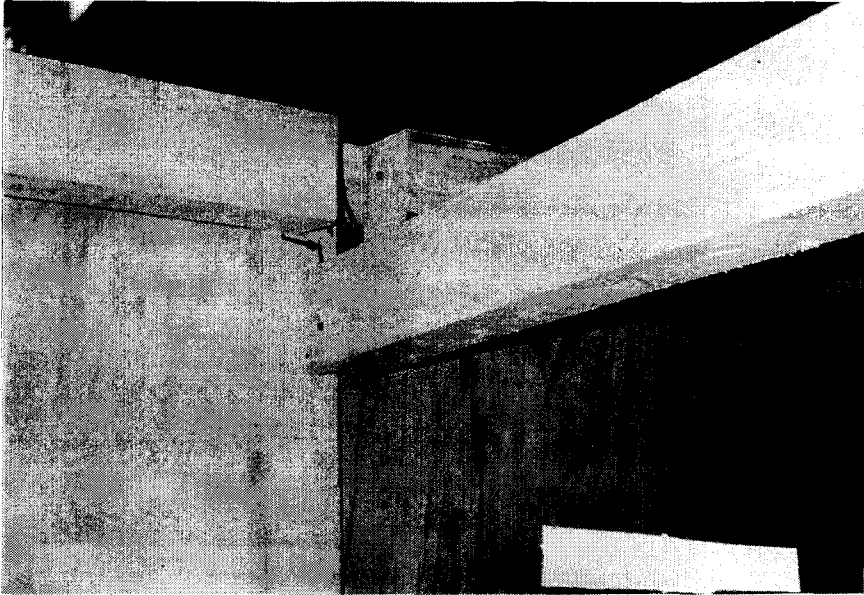


사진 14 5번 갈목 부근의 천정보가 빠진 모습 (긴 갈목 경우)