

경량벽체의 내충격성 시험에 사용되는 경질 충격체의 하중 특성

Characteristics of the Load of Small Hard Body Used for Impact Resistance Test of the Lightweight Wall

최수경^{1*}

송정현²

김상현³

이영도⁴

Choi, Soo-Kyung^{1*}

Song, Jung-Hyeon²

Kim, Sang-Heon³

Lee, Young-Do⁴

Department of Architecture, Hanseo University, Haemi-Myeon, Seosan, 356-706, Korea ¹

Graduate School, Hanseo University, Haemi-Myeon, Seosan, 356-706, Korea ²

The Academy of Applied Science and Technology, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea ³

Department of Architectural Engineering, Kyungdong University, Doriwon-gil, Sokcho, 217-711, Korea⁴

Abstract

The demand for the lightweight wall has increased as the structure of the multi-unit dwelling has shift to the rahmen structure. The lightweight wall is required to secure certain degree of shock resistance for the structural safety. The study performed the load analysis test for 7 small hard bodies with different masses and shapes and 5 hard materials which applied the impact load on the wall. It was found out from the experiment that different pendulum weight doubled the load maximum even though the shock energy was the same. In addition, the study compared and analyzed the weight of materials and the load of small hard bodies to propose fundamental data for the material design of the lightweight wall.

Keywords : lightweight wall, impact resistance, small hard body, dynamic load

1. 서론

최근 공동주택의 구조형식이 벽식 구조에서 기둥식 혹은 무량판 구조로 이행되는 추세에 있으며, 이에 따라 건축용 비내력 경량벽체의 수요가 급격히 증가하고 있다. 건축물의 내벽으로 경량벽체를 채용할 경우 건물의 자중 경감, 설계자유도 확대, 시공 간편화 등의 이점이 있지만, 가볍고 약한 부재를 사용하는 만큼 벽체의 구조적 안전을 위해 반드시 소정의 내력을 확보할 필요가 있다.

경량벽체에 요구되는 내력은 크게 변형추중성, 수평하중 저항성, 내충격성의 3가지 성능항목으로 분류할 수 있다.

이 중 내충격성은 부위의 존속이나 유지관리에 가장 큰 영향을 미치는 항목으로서, 벽체 파손의 관점에서 작용인자의 이력조건이 타 성능에 비해 상대적으로 가혹한 편이다.

건축물의 벽체에 작용하는 충격하중은 작고 단단한 물체에 의한 충격과 표면이 단단하지 않은 비교적 큰 물체에 의한 충격, 그리고 인체의 특정 부위로 가격할 때 생기는 충격으로 구분할 수 있다. 통상 작고 단단한 물체에 의한 충격은 하중 특성이 기계적 충격과 유사하게 나타나며, 크고 단단하지 않은 물체에 의한 충격은 그에 비해 환산질량(Reduced mass)이 크고 작용시간도 훨씬 길다. 인간의 동작에 의한 충격은 이들의 중간적 하중 특성을 나타낸다 [1].

건축분야의 내충격성 시험방법에서는 일정한 형상과 질량을 가진 충격체를 이용하여 하중을 가하는 방식을 주로 채용하고 있다. 일반적으로 작고 단단한 물체에 의한 충격이나 인체의 단단한 부위에 의한 충격(주먹치기, 발차기 등)을 대체할 경우에는 경질 충격체(Small hard body)를 이용하

Received : June 20, 2014

Revision received : July 8, 2014

Accepted : July 9, 2014

* Corresponding author : Choi, Soo-Kyung

[Tel: 82-41-660-1030, E-mail: bci0013@naver.com]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

며, 크고 단단하지 않은 물체에 의한 충격이나 인체의 단단하지 않은 부위에 의한 충격(어깨 부딪치기 등)을 대체할 경우에는 연질 충격체(Large soft body)를 이용한다.

각종 시험방법에 이용되고 있는 충격체의 하중 특성이나 가격효과 등에 관해서는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 이들 대부분은 특정 형상과 질량을 가진 충격체가 충돌했을 때의 물리량을 수치 해석적으로 산출하거나 [2,3], 충돌로 인한 시험체의 파괴 유형으로부터 재료별 파손한계를 구하는[4,5] 연구이며, 정작 해당 충격체가 실제 어떤 하중을 대체하는지, 시험조건이나 시험방법은 타당한지 등에 대한 검증과, 서로 다른 충격체 및 시험방법 간에 연관성은 있는지 등에 대한 검토는 아직 제대로 이루어지지 않고 있다. 이 때문에 적정 재료·공법을 선정하기 위한 성능대비표를 작성하거나, 신기술 개발을 위한 성능목표를 수립할 때 내충격성에 관한 공통적 평가지표를 설정할 수 없어 관련 업무를 수행하는데 많은 지장을 초래하고 있는 실정이다.

본 연구의 최종목표는 경량벽체의 종류에 관계없이 공통적으로 적용할 수 있는 내충격성 시험방법을 개발하는 것이다. 이번 연구에서는 이 시험방법의 개발에 필요한 기초자료를 확보하기 위해, KS에 규정된 각종 경질 충격체 및 실제 작고 단단한 물체가 벽체와 충돌할 때 발생하는 동적하중의 제반 특성을 실험적으로 규명하였다.

2. 경질 충격체 시험과 관련한 표준 현황

2.1 한국산업표준(KS)

경질 충격체 시험과 관련한 KS의 현황을 Table 1에 나타내었다. 경질 충격체 시험방법에 관해서는 KS F 2221가 대표적이다. 이 표준에서는 시험체의 지지방법을 3종류(모래 위 전면 지지, 맞변 단순 지지, 맞변 고정 지지)로 구분하며, 추의 종류는 Table 2와 같이 형상 및 질량에 따라 모두 6종류(가지형 3종, 구형 3종)로 구분하고 있다.

KS F 3504에서는 방화 석고보드와 치장 석고보드의 내충격성 시험에 구형 추(W₂-500)를 이용한다. 이 표준에서는 추(강구)의 낙하높이를 시험체의 종류 및 두께에 따라 Table 3과 같이 규정하고 있다. 시험체의 지지방법은 모래 위 전면지지로 한다. 성능기준은 오목부(패임)의 지름이 25mm 이하이고 균열이 관통하지 않을 것으로 한다. KS

F 4734에서는 내충격성 시험에 가지형 추(W₁-2000)를 사용한다. 이 표준에서는 지름 약 30mm의 환강 혹은 강관으로 시험체의 길이 방향의 중앙부를 스펠 500mm로 지지하여 시험한다. 성능기준은 Table 4에 따른다.

KS F 4770-1에서는 지름 35mm, 질량 3kg의 봉형 추(환강)를 충격체로 사용한다. 이 표준에서는 추의 낙하높이를 1m로 하며, 시험체의 나비 방향으로 양측에 지지대를 설치하여 실제와 동일한 방법으로 시험체를 고정한다. 성능기준은 추가 관통하지 않을 것을 원칙으로 하되, 구조 성능에 문제가 되지 않는 사소한 변형이나 균열은 허용한다. KS F 4735 및 KS F 4736에서는 내충격성 시험을 이 표준에 따르도록 규정하고 있다.

Table 1. Korean Industrial standards of small hard body test

Title	Small hard body
KS F 2221:2009 Test method of impact for building boards	Eggplant type weight; 3 class Steel ball; 3 class
KS F 3504:2012 Gypsum boards	Steel ball; 1 class
KS F 4734:2012 Expanded polystyrene lightweight concrete panel for wall	Eggplant type weight; 1 class
KS F 4735:2011 Extrusion concrete panels	Steel bar; 1 class
KS F 4736:2007 Extrusion lightweight concrete panels	Steel bar; 1 class
KS F 4770-1:2001 Soundproof panel-Metal	Steel bar; 1 class

Table 2. Classification of weight at KS F 2221:2009

Small hard body	Sign	Mass(g)	Diameter(mm)
Eggplant type weight	W1-500	500	42
	W1-1000	1000	52
	W1-2000	2000	66
Steel ball	W2-300	286	41
	W2-500	530	51
	W2-1000	1042	64

Table 3. Fall height of weight at KS F 3504:2012

Thickness of specimen(mm)	Fall height (cm)	
	Fire shield gypsum board	Decoration gypsum board
9.5	-	50
12.5	65	60
15.0	80	70
25.0	100	-

Table 4. Criteria of impact resistance at KS F 4734:2012

Grade	6.2	15.7	25.5	39.2
Impact energy (J)	6.18 and over	15.69 and over	25.49 and over	39.23 and over
	under 15.69	under 25.49	under 39.23	

2.2 해외 표준

경질 충격체 시험과 관련한 해외 표준의 현황을 Table 5에 나타내었다. ISO 7892에서는 질량 500g(지름 50mm)과 1000g(지름 62.5mm)의 2가지 구형 추를 사용한다. 이 표준에서는 실제와 동일한 방법으로 설치한 시험체에 대하여 추를 소정의 높이에서 자유 낙하시킨다. JIS A 6512의 경질 충격체 시험방법은 ISO 7892와 대동소이하지만, 추를 1000g급 한 가지만 사용하며, 낙하높이도 30cm로 고정하여 시험한다. 성능기준은 사용상 유해한 표면의 균열 및 벗겨짐이 없을 것으로 한다. JIS A 1408은 KS F 2221와 그 내용이 동일하다.

BS 5234-2에서는 질량 3kg의 전용 충격체를 사용한다. 이 표준에서는 실제와 동일한 방법으로 설치한 시험체에 설정한 하중점 10개소에 대하여, Table 6과 같이 시험항목에 따라 규정한 등급별 충격에너지를 가한다. 표면손상저항성의 경우는 각 하중점의 패임 깊이와 상태, 표면의 균열이나 벗겨짐을 조사하여 기록하고, 관통저항성의 경우는 각 하중점의 표면재 관통 및 손상 여부를 기록한다.

ASTM C1629/C1629M에서는 질량 9.07kg(20.0lb)의 전용 충격체를 사용한다. 이 표준에서는 맞변 고정 지지한 시험체에 낙하높이를 30.5cm(12.0in)로 고정한 충격체를 자유 낙하시킨다. 시험체가 파괴되지 않으면, 매회 시험체를 교체하여 충격체의 질량을 1.1kg(2.50lb)씩 늘려가면서 시험체가 파괴될 때까지 충격에너지를 가한다. 성능기준은 Table 7에 나타난 등급별 최소 충격에너지에 따른다.

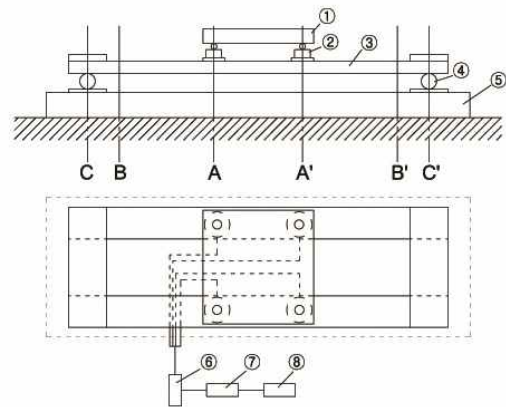
Table 5. Foreign standards of small hard body test

Title	Small hard body
ISO 7892:1998 Vertical building elements - Impact resistance tests - Impact bodies and general test procedures	Steel ball; 2 class
JIS A 6512:2007 Movable partitions	Steel ball; 1 class
JIS A 1408:2011 Test methods of bending and impact for building boards (Amendment 1)	Eggplant type weight; 3 class Esteel ball; 3 class
BS 5234-2:1992 Partitions (including matching lining) - Part 2: Specification for performance requirements for strength and robustness including methods of test	Dedicated device
ASTM C1629/C1629M - 06 Standard Classification for Abuse-Resistant Nondecorated Interior Gypsum Panel Products and Fiber-Reinforced Cement Panel	Dedicated device

3. 실험

3.1 하중해석장치

본 연구에서 설계·제작한 하중해석장치의 개요를 Figure 1에 나타내었다. 하중해석장치는 실제 경량벽체의 강성 범위를 감안하여 하중판의 강성을 3단계로 조절할 수 있도록 제작하였다. 하중판은 두께 12mm 합판을 4매 접착하여 총 두께 48mm로 제작하였으며, 표면에는 충격체와의 충돌로 인한 손상(패임)을 방지하기 위해 강판(두께 5mm)과 비닐시트(두께 1.8mm)를 부착하였다. 하중판에 가해지는 하중은 4개의 로드셀(정격용량 5kN), 데이터 로거(EDS-400A, 샘플링 주파수 10kHz), 하중해석 프로그램(DAS-100A) 등을 이용하여 측정하였다.



① Force plate ② Load cell ③ Beam ④ Hinge ⑤ Base plate
⑥ Summing Box ⑦ EDS-400A ⑧ DAS-100A

Figure 1. Device of dynamic load analysis

3.2. 경질 충격체의 하중해석 실험

경질 충격체의 하중 특성을 파악하기 위하여 Table 8과 같은 조건으로 하중해석 실험을 실시하였다. 경질 충격체(추)는 KS F 2221 및 KS F 4770-1의 규정에 따라 Figure 2와 같이 제작하였다. 추의 실제 질량이 낙하방향에 따라 조금씩 다른 것은 전자석으로 고정하기 위해 부착한 철물의 질량에 차이가 있기 때문이다.

낙하방향은 구형 추의 경우는 수직방향 및 수평방향으로 하였으며, 가지형 추와 봉형 추의 경우는 수직방향으로만 설정하였다(Figure 3 참조). 낙하높이는 수직방향에 대해서는 10cm, 30cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm의 6단계로 설정하였고, 수평방향에 대해서는 10cm, 20cm,

30cm, 50cm, 100cm의 5단계로 설정하였다. 하중판의 강성은 A(A-A': 20kN/cm), B(B-B': 4.7kN/cm), C(C-C': 2.2kN/cm)의 3단계로 설정하였다.

Table 8. Summary of experiment of the small hard bodies

Small hard body	Fall direction	Mass(g)	Fall Height(cm)	
Steel ball	BH-300	vertical	286	10, 30, 50, 100, 150, 200
		horizontality	330	10, 20, 30, 50, 100
	BH-500	vertical	530	10, 30, 50, 100, 150, 200
		horizontality	570	10, 20, 30, 50, 100
	BH-1000	vertical	1044	10, 30, 50, 100, 150, 200
		horizontality	1090	10, 20, 30, 50, 100
Eggplant type weight	EH-500	vertical	530	10, 30, 50, 100, 150, 200
	EH-1000	vertical	1040	10, 30, 50, 100, 150, 200
	EH-2000	vertical	2050	10, 30, 50, 100, 150, 200
Steel bar	SH-3000	vertical	3080	10, 30, 50, 100, 150, 200



Figure 2. Types of small hard body

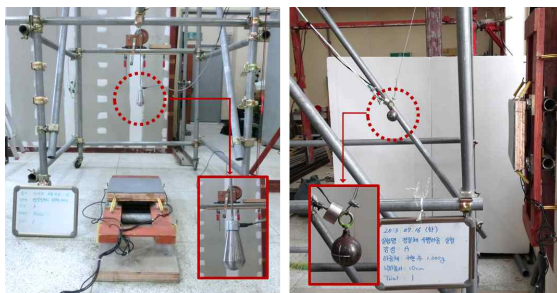


Figure 3. Fall direction of the small hard bodies

실험횟수는 각 조건별로 3회씩 실시하였다. 모든 추는 소정의 높이에서 전자석으로 고정한 후 자유 낙하시켰다. 다만 가지형 추와 봉형 추는 하중판에 부딪치는 순간의 접지 상황에 따라 하중 크기의 편차가 상당한 것으로 나타나 PVC 파이프를 통해 낙하시켰다. 또한 PVC 파이프를 사용해도 하중 손실이 없는 것을 예비실험에서 확인하였다.

3.3 실제 물체의 하중해석 실험

실제 작고 단단한 물체가 벽체와 충돌했을 때 발생하는 하중의 특성을 파악하기 위하여, 농구공(570g), 야구공(140g), 알루미늄 야구배트(640g), 소형망치(520g), 중형망치(2140g)로 각각 하중판을 가격했을 때의 하중해석 실험을 실시하였다.

물체로 하중을 가하는 검사원은 Table 9와 같이 권장한 20대 성인남자 5명(키 170~182cm, 몸무게 599.8~940.8N)을 선정하였다. 하중판의 강성은 A의 1종류만으로 하였다.

농구공과 야구공을 던지는 거리는, 모든 검사원이 공을 힘껏 던져서 안정적으로 하중판의 중앙부를 맞출 수 있는 거리인 2.7m로 설정하였다. 동작의 세기는 각 검사원에게 자연스러운 동작을 취하되 최대한 힘껏 가격하도록 주문하였다. 실험횟수는 동작별로 3회씩 실시하였다. 실험 전경을 Figure 4에 나타내었다.

여기서, 인간이 어떤 도구를 이용하여 벽체에 가하는 동적하중의 경우는 인간이나 도구, 벽체 각각의 제반 특성에 따른 변동요인이 너무 많아 일률적으로 정량화시키기는 힘들다. 따라서 본 연구의 성과는 주어진 실험조건 내에서, 각종 경질 충격체에 의한 하중의 크기가 실제 어떤 물체의 충돌에 의한 하중의 크기에 상응하는지에 대한 개략적 판단을 돕기 위한 상대적 자료로서의 의미를 지닌다.

Table 9. Summary of subjects

Subject No.	Age	Height(cm)	Weight(N)
1	25	170	808.5
2	25	180	599.8
3	28	172	721.3
4	25	182	940.8
5	26	170	833.0



Figure 4. Scene of the impacting by tools

Table 10. Experiment results of small hard bodies

Stiffness of force plate	Sign of hard body	Fall direction	Maximum load(P_{max}) and duration time(t_1) with various fall height													
			10cm		20cm		30cm		50cm		100cm		150cm		200cm	
			$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_1(ms)$
A	BH-300	vertical	385.0	1.23	-	-	674.7	1.40	855.5	1.27	1178.2	1.37	1442.3	1.40	1637.9	1.37
		horizontality	381.5	1.40	559.5	1.50	660.4	1.47	826.7	1.43	1151.8	1.47	-	-	-	-
	BH-500	vertical	682.9	1.30	-	-	1203.7	1.37	1550.3	1.37	2141.7	1.50	2591.6	1.50	2968.1	1.50
		horizontality	641.7	1.47	928.1	1.47	1137.5	1.53	1453.3	1.50	2026.5	1.53	-	-	-	-
	BH-1000	vertical	1278.5	1.47	-	-	2256.6	1.53	2931.2	1.53	4035.2	1.53	4836.9	1.67	5598.9	1.63
		horizontality	1106.8	1.60	1669.8	1.63	2069.1	1.50	2714.1	1.60	3777.2	1.60	-	-	-	-
	EH-500	vertical	685.7	1.37	-	-	1198.0	1.37	1542.3	1.37	2020.5	1.60	2729.5	1.43	3151.9	1.50
		horizontality	1264.5	1.47	-	-	2139.5	1.40	2813.4	1.53	3537.8	1.63	4934.2	1.53	5374.4	1.63
	EH-2000	vertical	2317.6	1.57	-	-	4023.1	1.63	5196.3	1.67	6293.4	1.83	8487.6	1.67	9109.2	1.77
		horizontality	3372.3	1.70	-	-	5890.8	1.77	7551.3	1.77	9030.9	1.97	12893.0	1.83	13798.2	1.93
B	BH-300	vertical	297.6	1.20	-	-	513.6	1.27	675.5	1.23	974.8	1.40	1146.8	1.37	1294.4	1.37
		horizontality	276.3	1.27	419.9	1.40	500.5	1.27	660.1	1.40	915.4	1.43	-	-	-	-
	BH-500	vertical	530.1	1.40	-	-	908.0	1.33	1189.7	1.33	1710.2	1.43	1993.0	1.50	2355.8	1.50
		horizontality	484.8	1.27	699.7	1.43	880.3	1.43	1133.9	1.47	1645.4	1.37	-	-	-	-
	BH-1000	vertical	993.2	1.40	-	-	1682.5	1.53	2147.2	1.43	3050.5	1.60	3657.3	1.57	4281.2	1.53
		horizontality	885.5	1.50	1299.6	1.50	1593.2	1.40	2107.1	1.53	2986.8	1.50	-	-	-	-
	EH-500	vertical	542.5	1.27	-	-	912.7	1.30	1144.1	1.20	1571.2	1.40	1884.7	1.53	2178.0	1.63
		horizontality	963.8	1.50	-	-	1655.3	1.33	2102.4	1.57	2704.8	1.53	3313.5	1.53	3770.0	1.53
	EH-2000	vertical	1699.8	1.63	-	-	2947.5	1.57	3627.9	1.57	4449.9	1.73	5249.1	1.70	6098.6	1.73
		horizontality	2402.8	1.53	-	-	4070.1	1.60	4765.1	1.63	5954.0	1.77	7487.2	1.83	8381.2	1.87
C	BH-300	vertical	282.2	1.10	-	-	483.4	1.07	638.1	1.17	872.8	1.27	953.9	1.23	1171.3	1.27
		horizontality	280.0	1.20	412.0	1.23	496.9	1.17	636.8	1.30	894.0	1.27	-	-	-	-
	BH-500	vertical	508.1	1.30	-	-	877.2	1.20	1151.5	1.23	1598.1	1.27	2006.5	1.40	2355.5	1.30
		horizontality	469.1	1.20	699.4	1.40	856.3	1.30	1103.7	1.33	1565.9	1.40	-	-	-	-
	BH-1000	vertical	946.8	1.30	-	-	1647.3	1.33	2149.1	1.40	2956.3	1.37	3716.7	1.40	4261.9	1.40
		horizontality	870.1	1.30	1264.2	1.33	1569.3	1.33	2054.8	1.30	2945.0	1.33	-	-	-	-
	EH-500	vertical	494.7	1.27	-	-	837.4	1.27	1161.7	1.27	1526.1	1.40	1849.8	1.47	2354.4	1.37
		horizontality	895.6	1.30	-	-	1594.8	1.40	2025.4	1.37	2749.6	1.50	3439.7	1.50	3913.2	1.43
	EH-2000	vertical	1614.6	1.57	-	-	2850.2	1.43	3737.9	1.43	4601.3	1.60	5735.0	1.63	6311.0	1.60
		horizontality	2313.7	1.57	-	-	4081.1	1.50	5234.3	1.60	6626.2	1.63	7917.3	1.67	9507.2	1.63

4. 실험결과 및 분석

4.1 경질 충격체의 하중 특성

4.1.1 하중의 기본 특성

하중해석 실험에서 구할 수 있는 하중·시간곡선의 예를 Figure 5에 나타내었다. 또 실험결과를 종합하여 Table 10에 나타내었다. 모든 실험결과에서 그림의 예와 같이 하중이 비교적 짧은 시간 내에 최대하중까지 거의 직선적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 기존의 연구[6]에서 제시한 동적하중 해석의 기본개념에 따라 작용 시간을 하중 발생 순간부터 하중이 최대에 달하는 시간까지로 설정하였다. 작용시간(t_1)은 하중판의 강성이나 낙하높이 등에 크게 영향을 받지 않으며, 1.07~1.97ms의 범위 내에 분포하였다.

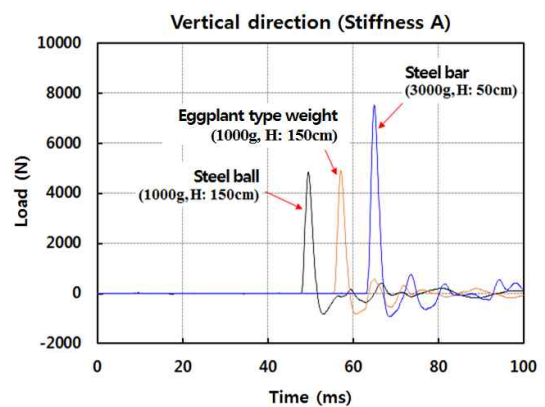


Figure 5. Load-time curve of small hard body

최대하중(P_{max})은 전반적으로 강성 A에 비해 강성 B, 강성 C의 경우가 약 25% 정도 작게 측정되었다. 각 충격체의 질량 차이를 소거하여 고찰하기 위해 산출한 최대하중비

(P_{max}/M , M: 질량)의 예(강성 A, 수직방향)를 Figure 6에 나타내었다. 같은 높이에서 낙하시켰을 경우 질량이 클수록 최대하중비가 작아지며, 낙하높이가 높아질수록, 구형 추보다는 가지형 추에서 그 경향이 더욱 명료하게 나타났다.

또한 충격에너지(질량×낙하높이)가 동일하더라도 추의 형상이나 질량에 따라 하중의 크기가 큰 폭으로 달라지는 것을 알 수 있었다. 이러한 점은, 동일한 충격조건을 전제로 하여 내충격성을 상대 평가하는 경질 충격체 시험방법에서는 상당히 중요한 의미를 지니며, 하중해석 실험을 통하지 않으면 좀처럼 도출하기 힘든 지론이라고 할 수 있다.

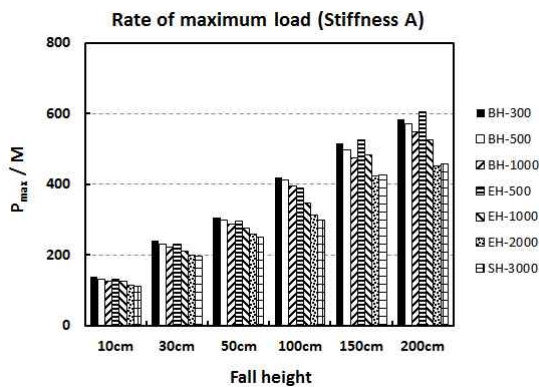


Figure 6. Ratio of maximum load with various fall height

4.1.2 낙하방향에 따른 하중 특성

구형 추를 수직 및 수평으로 낙하시켰을 때 발생하는 하중의 크기를 Figure 7에 나타내었다. 낙하방향에 따라 추의 질량이 조금 다르기 때문에 하중의 크기는 최대하중비로 나타내었다. 동등한 질량의 추를 같은 높이에서 낙하시켰을 때 하중판의 강성에 관계없이 수직방향의 경우가 수평방향에 비해 보다 큰 하중이 작용한다는 것을 알 수 있다. 따라서 재료설계시 경질 충격체 시험결과를 비교할 때 추의 낙하방향도 주요 검토요인에 포함시킨다면 좀 더 객관적인 검증이 가능할 것으로 판단된다.

4.1.3 추의 형상에 따른 하중 특성

500g급 및 1000g급의 구형 추와 가지형 추를 수직으로 낙하시켰을 때 발생하는 하중의 크기를 최대하중비로 환산하여 Figure 8에 나타내었다. 이들 추는 질량이 같다면, 같은 높이에서 낙하시켰을 때 발생하는 하중의 크기도 거의 동등하다. 따라서 500g급, 1000g급의 경우는 시험에 사용

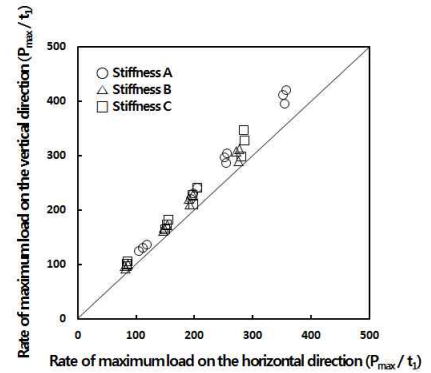


Figure 7. Amounts of load according to fall direction

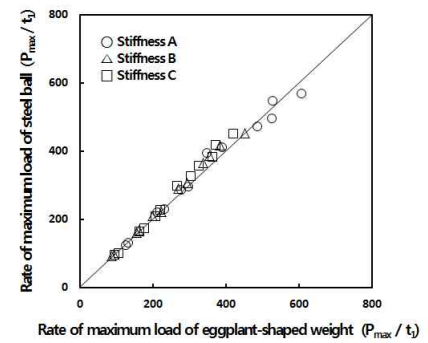


Figure 8. Amounts of load according to type of the weight

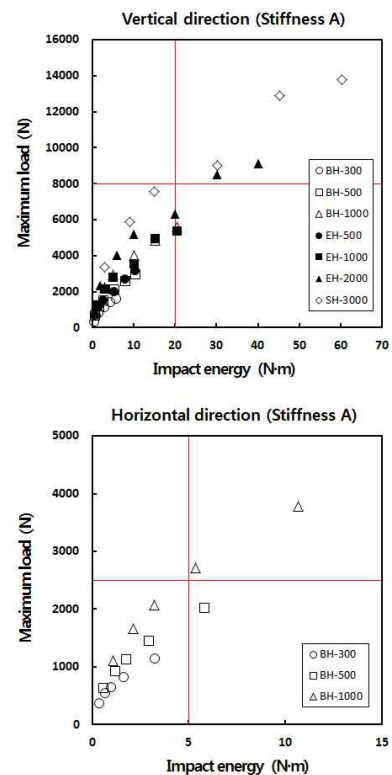


Figure 9. Relationship between the impact energy and maximum load

Table 11. Experiment results of existence objects

Subject	Maximum load(P_{max}) and duration time(t_i) with various small hard body objects									
	Basketball		Baseball		Baseball bat		Small size hammer		Medium size hammer	
	$P_{max}(N)$	$t_i(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_i(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_i(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_i(ms)$	$P_{max}(N)$	$t_i(ms)$
No. 1	1667.9	5.70	2373.4	2.13	4644.5	2.30	5320.8	1.83	9370.8	1.83
No. 2	1670.9	5.57	2469.0	1.87	5433.5	2.20	4519.2	1.63	9419.9	1.73
No. 3	1851.8	5.57	1974.4	1.90	5755.1	1.87	4806.1	1.73	12611.3	1.77
No. 4	1591.8	6.53	2984.8	1.90	5189.5	2.00	5693.2	1.77	10192.7	1.87
No. 5	1431.8	6.00	2344.5	1.93	4199.8	2.17	5169.9	1.67	9756.2	1.80
mean value	1642.8	5.87	2429.2	1.95	5044.5	2.11	5101.8	1.73	10270.2	1.80
standard deviation	151.82	0.41	363.14	0.11	622.64	0.17	455.33	0.08	1349.36	0.05
coefficient of variation	0.09	0.07	0.15	0.051640	0.12	0.08	0.09	0.05	0.13	0.03

하는 추의 형상을 굳이 구분할 필요는 없을 것으로 판단된다. 다만, 가지형 추는 시험체와 충돌시의 접지상황에 따라 하중의 크기가 크게 달라질 수 있으므로 파이프와 같은 가이드를 이용하여 낙하시킬 필요가 있다.

4.1.4 충격에너지와 최대하중의 관계

각 충격체를 수직 및 수평으로 낙하시켰을 때 얻을 수 있는 충격에너지($N \cdot m$)와 최대하중(N)의 관계(예)를 Figure 9에 나타내었다. 관련 표준에서는 대개 적용하는 충격체의 질량을 규정하고 있지만, 통상 시험의 편의상 충격에너지가 같으면 충격조건이 동일한 것으로 보고 시험을 실시한다. 그러나 충격체의 곡률반경에 따른 가격효과와의 차이는 차치하고라도, 동일한 충격에너지라도 추의 질량이 다르면 작용하중의 크기가 최대 2배 이상 차이가 난다는 사실을 알 수 있다. 특히 내충격성 시험에서 보편적으로 적용하는 충격에너지의 범위, 즉 수직방향 낙하의 경우 $20N \cdot m$ 이내(예컨대, $1000g \times 2m$ 혹은 $2000g \times 1m$ 등), 수평방향 낙하의 경우 $5N \cdot m$ 이내(예컨대, $500g \times 1m$ 혹은 $1000g \times 0.5m$ 등)에서는 그 경향이 보다 뚜렷하게 나타난다.

따라서 종류가 다른 경량패널 부재나 보드류의 내충격성을 평가할 때는 적용한 충격에너지의 크기에 앞서 충격체의 질량이 같은지를 확인하는 작업이 선행되어야 할 것이다. 또한 시판 제품의 경우 카탈로그나 기술자료 등에 이러한 정보를 반드시 기술할 필요가 있다.

4.2 실제 물체의 하중 특성

실제 물체로 가격했을 때의 하중해석 실험에서 구할 수 있는 하중·시간곡선의 예를 Figure 10에 나타내었다. 또 실험결과를 종합하여 Table 11에 나타내었다.

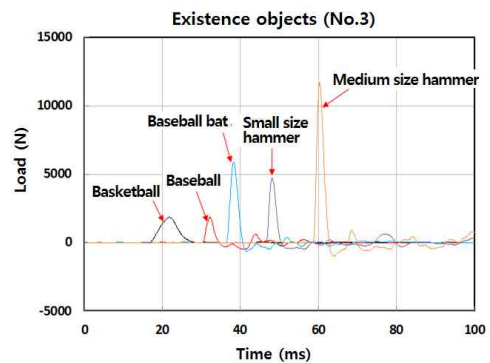


Figure 10. Load-time curve of existence objects

2.7m 거리에서 검사원 5명이 농구공을 던졌을 때 이중관(강성 A)에 작용하는 하중(P_{max})의 평균값은 1.64kN인 것으로 나타났다. 같은 거리에서 야구공을 던졌을 경우는 2.43kN, 알루미늄제 야구배트로 가격할 경우는 5.04kN, 소형망치로 가격할 경우는 5.10kN, 중형망치로 가격할 경우는 10.27kN 정도의 하중이 작용하는 것으로 나타났다. 작용시간(t_i)은 야구공, 야구배트, 소형망치, 중형망치의 경우 1.73~2.11ms의 범위 내에 분포하여 경질 충격체의 작용시간과 큰 차이를 보이지 않았다. 농구공의 경우는 평균 5.84ms로서 다른 물체에 비해 작용시간이 3배 정도 큰 것으로 나타나 표면이 아주 단단한 다른 물체에 비해 상대적으로 가격효과가 떨어진다고 할 수 있다. 그러나 하중의 크기는 다르지만, 인간이 주먹(백글러브 착용)으로 벽을 힘껏 쳤을 때의 작용시간이 약 4.8ms, 어깨로 세계 부딪혔을 때의 작용시간이 약 30ms인 점[7] 등을 감안한다면, 벽체 파손의 관점에서 농구공을 충격적 하중을 가하는 단단한 물체로서 취급하여도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

4.3 경질 충격체와 실제 물체의 하중 크기 비교

경질 충격체 시험과 같이 파손을 유발하는 물체를 특정할 수 없을 경우 항상 대두되는 문제가 실제와의 연관성이라고 할 수 있다. 건축물에 가해지는 충격하중의 경우 부위의 강성 및 충돌물의 질량이나 속도, 재질, 접촉면적, 형상 등 수많은 요인에 의해 가격효과가 달라진다. 이 때문에 재료·부재의 파손 관점에서 하중을 정량적으로 파악하기가 상당히 힘들다. 더욱이 내충격성 시험에서 이용한 충격체의 하중이 실제 어떤 물체의 하중과 대응하는지 등에 대한 자료가 거의 없어, 제품 개발 또는 재료설계 단계에서 내충격성에 관한 성능목표를 분명하게 수립하지 못하고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 경질 충격체 및 실제 물체의 하중 특성을 나타내는 제반 요인 중에서 가장 영향력이 클 것으로 판단되는 하중의 크기를 실험적으로 해석하여 비교 분석하였다. 경질 충격체를 수직방향으로 하중판(강성 A)에 자유 낙하시켰을 때의 낙하높이별 하중과 실제 작고 단단한 물체로 하중판(강성 A)을 가격했을 때의 하중 크기를 비교하여 Figure 11에 나타내었다.

농구공을 2.7m 떨어진 거리에서 힘껏 던졌을 때 발생하는 하중은 약 1.64kN이며, 이는 질량 500g 구형 추를 50cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(1.55kN), 질량 300g 구형 추를 200cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(1.64kN)과 거의 동등한 크기이다.

야구공을 2.7m 떨어진 거리에서 힘껏 던졌을 때 발생하는 하중은 약 2.43kN이며, 이는 질량 2000g 가지형 추를 10cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(2.32kN), 질량 500g 구형 추를 150cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(2.59kN)과 거의 동등한 크기이다.

알루미늄 야구배트나 소형망치(질량 520g)로 힘껏 쳤을 때 발생하는 하중은 약 5.00kN 전후이며, 이는 질량 2000g 가지형 추를 50cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(5.20kN), 질량 1000g 가지형 추를 150cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(4.93kN)과 거의 동등한 크기이다.

중형망치(질량 2140g)로 힘껏 쳤을 때 발생하는 하중은 약 10.27kN이며, 이는 질량 3000g 봉형 추를 100cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(9.03kN), 질량 2000g 가지형 추를 200cm 높이에서 떨어뜨렸을 때 하중(9.11kN)보다 조금 큰 크기이다.

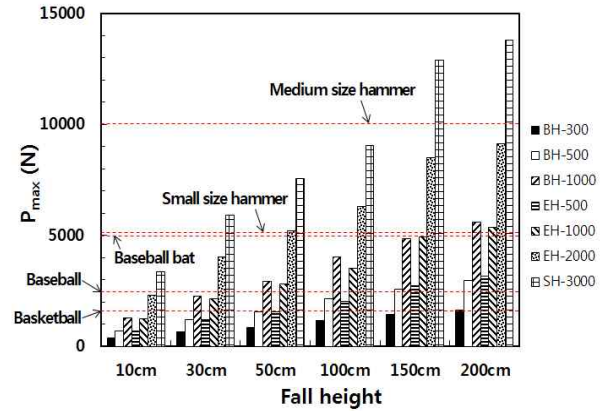


Figure 11. Amounts of load of the small hard bodies and existence objects

5. 결 론

경량벽체 부재 등의 내충격성 시험에 사용되는 각종 경질 충격체 및 실제 작고 단단한 물체를 대상으로 하중해석 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 경질 충격체의 최대하중비(최대하중/질량)는 같은 높이에서 낙하시켰을 경우 질량이 클수록 작아지며, 이러한 경향은 낙하높이가 높아질수록 더욱 명료하게 나타난다.
- 2) 경질 충격체의 작용시간은 낙하높이에 크게 영향을 받지 않으며, 1.07~1.97ms의 범위 내에 분포한다.
- 3) 같은 질량의 경질 충격체를 같은 높이에서 낙하시킬 경우 수직방향에 비해 수평방향에 비해 하중이 크게 발생한다.
- 4) 충격에너지가 같더라도 경질 충격체의 질량이 다르면 하중의 크기는 최대 2배 이상 차이가 난다.
- 5) 실제 물체로 하중판(강성 A)을 가격할 경우, 농구공은 약 1.64kN, 야구공은 약 2.43kN, 야구배트 및 소형망치는 약 5.00kN, 중형망치는 약 10.27kN의 하중이 발생한다. 이 수치는 향후 각종 경질 충격체의 시험조건을 설정할 때 시험체에 작용하는 하중의 크기를 가늠할 수 있는 유용한 자료로서의 활용이 기대된다.
- 6) 경량벽체의 재료·공법을 선정할 때 실제 작용이 예상되는 충격하중의 종류를 개략적으로 상정할 수 있다면 본 연구의 하중해석 결과를 통해 보다 합리적인 재료설계를 할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

공동주택의 구조형식이 기둥식 구조로 이행되면서 경량 벽체의 수요가 증가하고 있다. 경량벽체는 구조적 안전을 위해 소정의 내충격성을 확보할 필요가 있다. 본 연구에서는 질량과 형상이 다른 경질 충격체 7종류와 일상적으로 벽체에 충격하중을 가하는 단단한 물체 5종류를 대상으로 하중 해석 실험을 실시하였다. 충격에너지가 같아도 추의 질량이 다르면 하중의 크기가 최대 2배 이상 차이가 난다는 것을 실험적으로 규명하였다. 또한 경질 충격체의 하중과 실제 물체의 하중을 비교 분석하여 경량벽체의 재료설계를 위한 기초적 자료로서 제시하였다.

키워드 : 경량벽체, 내충격성, 경질 충격체, 동적하중

- ceramics tile applications, Journal of structural and construction engineering, 1987 April;374:17-26.
6. Choi SK, Evaluation method of fracture of framed floors and walls by human dynamic force [dissertation], [Tokyo] : Tokyo Institute of Technology; 1995, 197 p.
 7. Choi SK, Evaluation method of impact resistance of the materials used for framed walls and floors, Journal of the architectural institute of Korea Structure & Construction, 2004 January;20(1):123-31.

Acknowledgement

This research was supported by a grant(12첨단도시 D13) from Construction and Transportation Technology promotes Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Ono H, Choi SK, Analysis of human dynamic force applied to floors and walls : Study on an evaluation method of fracture of framed floors and walls by human dynamic force (Part 1), Journal of structural and construction engineering, 1994 June;460:27-35.
2. Boyce BL, Chen X, Hutchinson JW, Ritchie RO. The residual stress state due to a spherical hard-body impact, Mechanics of Materials, 2001 August;33(8):441-54
3. Matsufuji Y, Ohkubo T, A study on the impact bending test for brittle materials : Numerical analysis of cement-mortar specimen, Journal of structural and construction engineering, 1990 July;413:1-10.
4. McNatt JD, Soltis LA, Instrumented Impactor for Testing Wood-Base Floor Panels, Journal of Testing and Evaluation, 1990 July;18(4):265-73.
5. Kumagai T, Maruichi T, Impact fracture behavior of floor finish