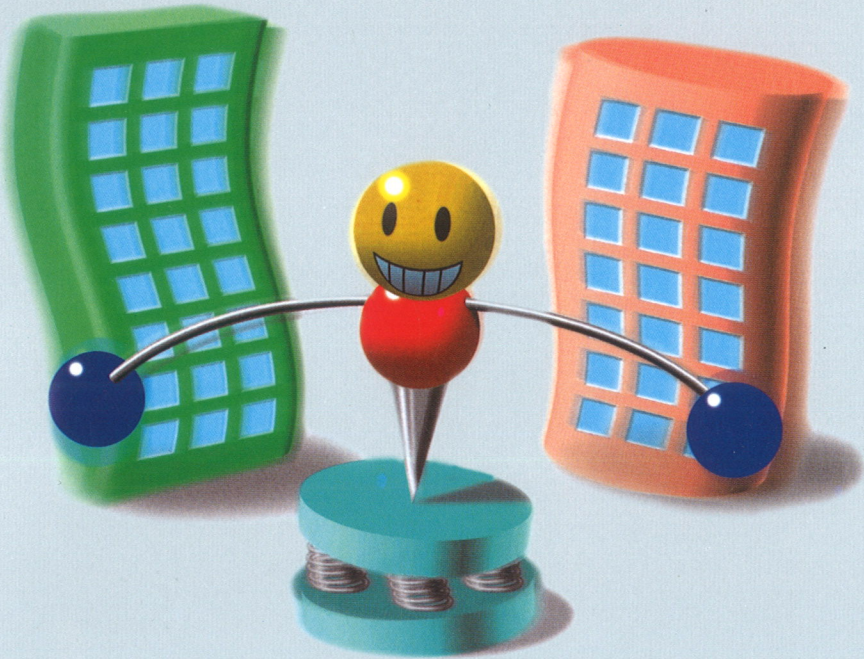


처/음/배/우/는

免震建築

면진건축

社團法人 日本免震構造協會 編
社團法人 韓國免震制振協會 譯



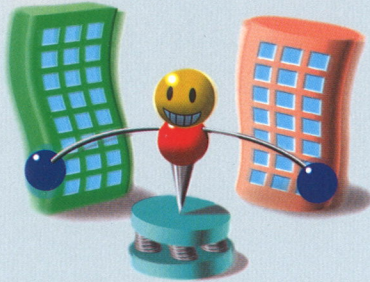

Ohmsha

도서출판

구미서관

처/음/배/우/는

면진건축

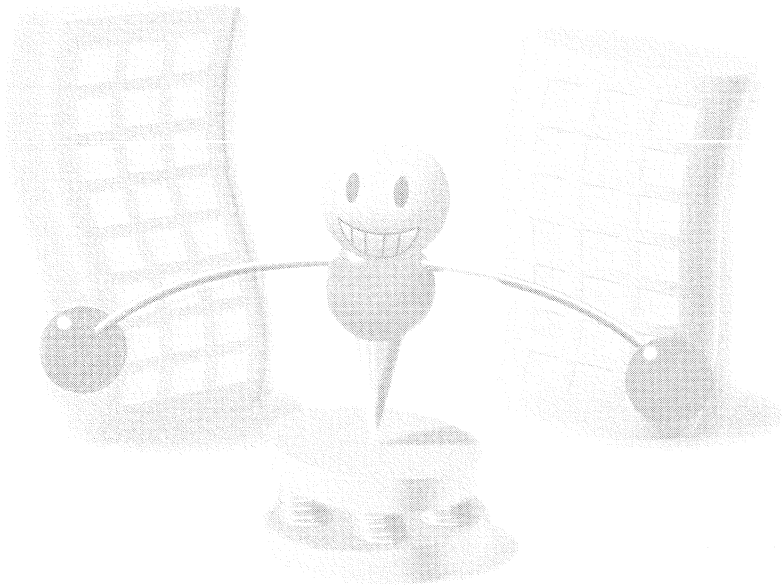


9 788982 254499

ISBN 89-8225-449-8

<http://www.goomibook.com>

처음배우는 면진건축 기술강습회 교재



はじめての免震建築

Copyright © 2000 by 社団法人 日本免震構造協會

All rights reserved.

Korean translation copyright © 2004 by GU MI SEO KWAN PUBLISHING CO.

이 책의 한국어판 저작권은 저작권자와의 독점계약으로 구미서관에 있습니다. 저작권법에 의해 한국 내에서 보호를 받는 저작물이므로 무단전재와 복제를 금합니다.



발간사

본서는 면진건축의 공부를 시작하고자 하는 사람들, 또는 일반 건축물에 대해서는 잘 알고 있지만, “앞으로 면진건축을” 이라고 생각하고 있는 건축가, 건축구조기술자를 대상으로 Q&A 형식으로 면진건축전반에 걸쳐서 면진건축의 계획, 설계, 시공, 그리고 준공 후의 유지관리까지 광범위하게 해설하고 있다.

본서에 있는 Q(질의 제목)는 일본면진구조협회가 1993년에 발족된 이후 면진건축의 보급 활동을 하면서 축적된 질문사항을 포함하여 면진에 관한 정보를 집약한 것이다. 집필은 본 협회의 출판위원회에 “はじめての免震建築” 작업팀을 설치하여 협회전체에서 참가한 위원들이 총력을 기울여 집필, 편집한 것이다. 본서의 구성은 좌측은 설명, 우측은 그림, 삽화, 사진 등을 배치하여 시각적인 이미지에도 배려하여 이해하기 쉽게 하고, 미래의 면진건축과 실시 예 등도 언급하여 재미있게 읽을 수 있도록 배려하였다.

또, 본 협회의 회지 “MENSHIN(면진)”에 게재하였던 “면진구조용어집” 중에서 유익하다고 판단되는 부분을 발췌하여 독자의 이해를 도울 수 있도록 배려하였다.

면진건축은 2000년 5월 현재 “재단법인 일본건축센터”의 심의를 통과한 건물이 800동을 넘어서고 있다. 향후 개정 “건축기준법” 하에서도 착실하게 발전해 갈 것으로 기대한다. 이러한 상황에서 이 책이 많은 독자들에게 임혀져 면진건축 보급에 도움이 되기를 기원한다.

평성 12년 여름
사단법인 일본면진구조협회
전무이사 可兒長英

역자 서문

인류의 역사는 자연환경에 대한 도전과 극복의 역사이다. 그 중 지진은 전세계적으로 해마다 수천명 이상의 인명을 빼앗는 재난으로 그 피해 못지않게 사람들에게 주는 공포감도 이루 말할 수 없다. UNESCO 보고서에 따르면 1926년부터 1950년까지 지진에 의한 재산 손실은 무려 백억불을 넘는다고 보고하고 있다. 이러한 지진은 지반운동에 의하여 내부에 축적된 지진에너지가 외부로 방출되는 자연현상이다. 따라서 이러한 지진은 순간적이며, 지구표면 어디에서나 발생할 수 있으므로 지진을 사전에 예측하기는 매우 힘들고 이로 인한 인명 및 재산피해는 이루 말할 수 없다.

한반도는 판 경계선에 있는 대만, 일본과는 달리 지진의 직접 영향권에 놓여 있지는 않지만, 최근 한반도에서 일어났던 지진의 통계치와 연구결과를 살펴보면 “한반도가 지진 안전지대”라는 기존 학설은 전면 재검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 현재 기존 건물의 리모델링시 필요한 내진 보강과 내진 기준의 적용 범위가 확대되고 있다는 사실을 감안할 때, 향후 적극적인 지진대책이 필요한 때라 판단된다.

그간 Risk Management를 고려한 설계기술의 구현 및 동 기술의 국내 정착과 확대보급을 위해 노력해온 역자들은 이번 (사)한국면진제진협회의 창립에 즈음하여, 최근 국가자원의 낭비나 자연환경의 파괴 등으로 인한 문제가 사회적인 이슈화되면서 노후건물의 리모델링 등 건축물의 수명연장 및 유지, 관리에 관한 문제가 화두로 떠오르고 있으며, 신축건물에 있어서도 장수명화 건축을 지향하는 새로운 분위기가 건설업계의 새로운 목표가 되고 있다는 점을 감안하여, 고성능 내진기술로서의 면진 기술에 대한 보다 체계적인 이해를 도모할 필요가 있다고 생각하여, 이 기회를 통해 이 분야에 관심이 있는 사람들의 이해를 돕고자 이 책을 번

역하게 되었다.

이 책은 그 제목에서 의미하는 바와 같이 면진건축을 이해하는데 있어서 가장 기초적인 지식이 될 수 있는 정보를 수록해 놓은 책으로서, 역자들이 아는 한 면진에 대한 전반적인 내용을 기술해 놓은 책이라고 생각된다.

그 동안 국내에 이 분야에 대한 전문서적이 거의 없어 늘 안타깝게 생각했던 역자들로서는 이 분야를 공부하는 학생 및 기술자들에게 이 책이 좋은 참고서로서 큰 도움을 줄 수 있을 것이라 믿어 의심치 않는다.

이 책을 번역하면서 역자들은 가능한 한 원서의 내용에 충실하고자 노력하였다. 다만, 적절한 우리말 용어가 없는 경우에는 이 책이 향후 국내 면진건축사의 초석이 될 것이라 기대하면서 나름대로 적절히 표현될 수 있는 우리말 용어를 고안하고, 영어와 병기하여 표현하는 방식을 채택하였다.

끝으로, 본서가 발간될 수 있도록 협력해 주신 도서출판 구미서관 임해진사장님과 편집관계자 여러분께 깊은 감사를 드리는 바이다.

2004년 9월

역자일동

차례

1	면진건축이란	1
1.1	면진건축의 정의	3
1.2	면진의 발전	5
1.3	면진, 제진, 내진구조의 차이	7
1.4	면진건축의 진동	9
1.5	면진구조의 종류	11
1.6	면진층의 개념	13
1.7	면진부재의 개념	15
1.8	적층고무의 개념	18
1.9	적층고무의 제조 방법	20
1.10	감쇄장치의 개념 및 분류	22
1.11	한신·아와지 대지진(고베지진)에서 실제 건물의 면진효과	24
1.12	한신·아와지 대지진(고베지진)후 면진건축의 동향	26
2	면진건축의 계획	29
2.1	면진건축에 적합한 건물용도	31
2.2	면진건축의 입지조건	33

2.3 면진건축의 규모제한	35
2.4 기존건물의 면진개수(Retrofit)	37
2.5 건물면진과 바닥면진	39
2.6 면진건축의 장점	41
2.7 면진건축의 설계상 고려해야 할 사항	43
2.8 면진건축의 내진(안전)성	45
2.9 면진건축의 기능성과 거주성	46
2.10 LCC(Life Cycle Cost)로서 면진건축의 경제성	48
2.11 바람, 교통진동, 지진의 상하동에 대한 효과	50

3

면진건축의 설계 53

3.1 면진건축의 디자인 계획상 장점과 단점	55
3.2 면진건축의 건축가능 면적	57
3.3 면진층의 이용방법 및 안전대책	58
3.4 면진층의 설비배관 및 전기배선	60
3.5 면진건축에서의 계단 또는 엘리베이터 상세	62
3.6 면진건축과 비 면진건축의 연결부 상세	63
3.7 면진부재의 설치장소	65
3.8 적층고무의 내구성	67
3.9 면진건축의 설계공정	69
3.10 설계 및 건축 신청기간, 비용 등	71

4 면진건축의 시공 73

- 4.1 면진건축의 시공 방법 75
- 4.2 시공기간 및 공정계획 76
- 4.3 면진건물의 품질관리 78
- 4.4 면진개수와 시공안정성 80
- 4.5 면진부재의 교체 82
- 4.6 시공 시 주의 사항 84

5 면진건축의 유지·관리 87

- 5.1 유지관리 시 주의점 89
- 5.2 점검의 내용과 시기 91
- 5.3 유지·관리의 조직 92
- 5.4 유지·관리 비용 94

6 면진건축의 향후 97

- 6.1 면진건축의 향후 자유도 99

6.2 미래의 면진건축	101
6.3 면진건축 설계의 향후	102
6.4 면진건축과 지진보험	105

7

용도별 실시 예	109
----------	-----

7.1 사무소	113
7.2 사무센터	115
7.3 연구소	117
7.4 병 원	119
7.5 공동주택	121
7.6 단독주택	123
7.7 중간층 면진	125
7.8 면진개수(retrofit)	127

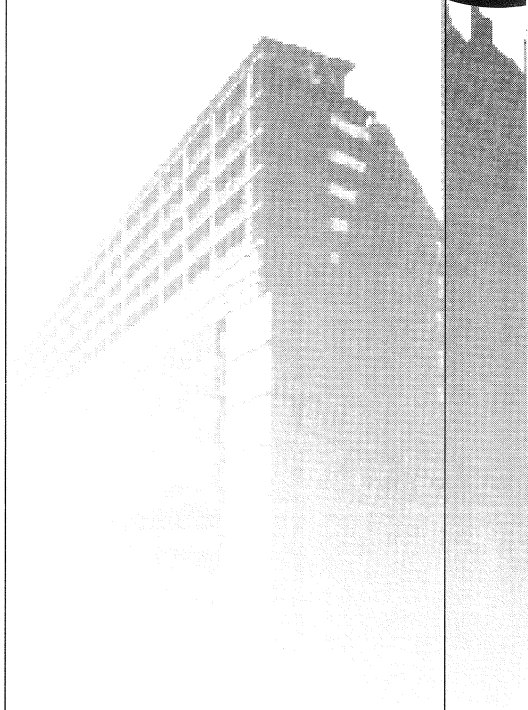
부록

부록	129
면진구조 용어해설집	131
면진구조 연표	150

1

면진건축이란

免震建築



1.1 면진건축의 정의

일본은 세계에서든 지진활동이 가장 활발한 나라이고, 1923년 관동대 지진으로부터 1995년의 한신·아와지대지진(고베지진)까지 규모 M6.8을 넘는 지진이 약 30회나 일본 국내와 근해에서 발생하고 있다. 대표적인 지진을 표 1.1에 나타내었다.

큰 지진피해를 겪을 때마다 건물을 지면으로부터 절연시켜두면, 이러한 피해를 당하지 않아도 될 것이라고 사람들은 생각하였을 것이다. 이러한 가운데 면진건축의 아이디어가 탄생하게 되었고, 다양한 형태로 발전하여 왔다. 현재 면진건축은 약 800동(2000년 기준)을 넘어서고 있으나, 가장 실적이 많은 것은 소위 기초면진(base isolation)이라고 불리는 방식이다(그림 1.1). 기초면진은 건축물의 기초와 1층 바닥 위의 상부구조를 절단하고 그 사이에 적층고무와 감쇄장치를 끼워 넣은 형식이다.

지진이 발생하면 지면의 움직임은 매우 빠르게 된다. 적층고무는 수평방향으로 매우 유연한 성질을 가지고 있어, 상부구조의 수평방향 흔들림을 지면의 움직임과는 다르게 천천히 움직이면서 큰 진폭을 갖도록 바꾸어 지진동에 의해 상부구조에 작용하는 힘을 현저히 저감시킬 수 있다(그림 1.2). 그리고, 적층고무는 수직방향으로는 견고한 성질을 가지고 있어 항상 안정되게 상부구조를 지지할 수 있도록 되어 있기 때문에 상하방향 지면의 움직임은 일반적으로 종래의 건축과 동등한 성능을 나타낸다. 더욱이 댐퍼를 별도로 설치하든지, 고무 자체에 감쇄기능을 부여한 적층고무와 납을 삽입한 적층고무 등이 사용되고 있다.

이렇게 면진구조로 하게 되면 건축물 자체만이 아니라 수납물 까지도 지진의 영향이 미치지 않게 되어 건축물 전체의 안전성이 확보되는 것이 큰 특징이다. 또한, 지진피해는 구조체의 손상도 문제이지만 마감재, 가구, 설비기기 및 수납물의 손상 등에 의한 건축물의 기능저하가 큰 문제

가 되고 있다. 면진화 한다는 것은 이러한 지진 피해를 미연에 방지할 필요성이 있는 건축물에는 필수 기술이 되었다.

면진건축이 보급기에 접어든 현재는, 앞에서 설명한 기초면진의 건축물 뿐만 아니라 면진층을 건축물의 중간층에 배치하는 중간층 면진, 역사적인 가치를 지닌 건축물을 지진으로부터 지킬 수 있는 면진개수 (retrofit), 건축물의 높이가 80m를 넘는 고층건축물 등 다양한 용도와 목적으로 채용되고 있다.

표 1.1 관동대지진 이후의 주요 지진피해

지진	가옥손실호수	사망자·행방불명자수(인)
관동우대지진 (1923년 M=7.9)	576,266	142,807
후쿠이지진 (1948년 M=7.3)	39,111	3,895
니이가타지진 (1964년 M=7.7)	2,250	26
토카치오키지진 (1968년 M=7.9)	691	52
미야기켄오키지진(1978년 M=7.4)	1,383	28
효고켄 남부지진 (1995년 M=7.2)	249,155	6,433

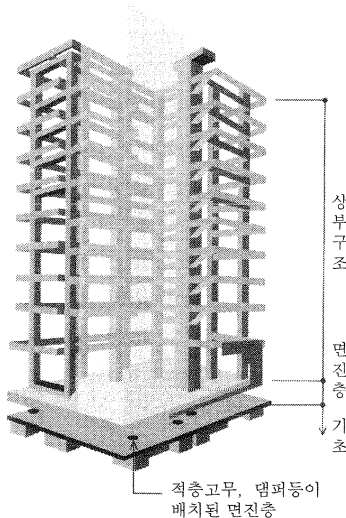


그림 1.1 기초면진 건축물

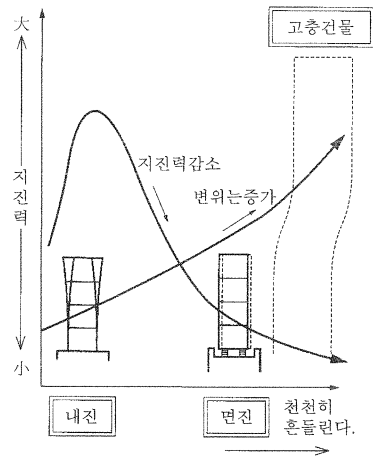


그림 1.2 건축물이 받는 지진력과 진동

1.2 면진의 발전

일본에서도 면진건축에 대한 아이디어는 100년 이전부터 제안되어 왔으나(그림 1.3, 부록2 년표), 당시는 기술적인 문제도 많았고 대부분이 실현되지 못하였다. 본격적인 실용화는 지진공학의 발전과 컴퓨터에 의한 해석기술의 향상, 그리고 교량 등에서 실적을 쌓아온 적층고무가 등장한 이후, 면진건축은 본격적으로 실용화되기 시작하였다.

적층고무는 연직방향의 지지력과 강성을 확보하기 위하여 얇은 고무와 강판을 겹겹이 다층으로 쌓아 놓은 것으로, 수평강성은 낮고 연직강성을 높게 한 것이 1970년대에 프랑스에서 발명되었으며, 1970년대 후반부터 마르세이유의 람베스크 초등학교, 남아프리카의 케벨 원자력 발전소, 프랑스의 크라우스 원자력 발전소 등이 면진구조로 건설되었다. 같은 아이디어에 의해 1980년대에 미국(그림 1.4)과 뉴질랜드(그림 1.5)에서도 면진건축물이 건설되었다. 구미에서의 적층고무를 이용한 면진건축물의 건설을 배경으로, 일본에서도 면진구조의 연구 상황이 정비되어 왔다.

일본에서 적층고무를 이용한 면진건축물은 1983년에 건설된 야치요다이(八千台)주택이 최초이다. 그 이후에 서서히 건설실적이 쌓여, 현재는 동수로는 세계에서 가장 많이 되었다. 면진건축이 특히 주목을 받게 된 것은 한신·아와지 대지진(고베지진, 그림 1.6) 이후로서 건설 건수도 급격히 증가하였다. 이 대지진에서는 특히 아파트 출입문의 개폐불능, 벽의 파손, 천정의 낙하, 옥상 고가수조의 파손 등 다양한 피해상황이 보고되었다. 그리고, 지진동에 의해 건축물에 작용하는 힘을 현저하게 저감시킬 수 있는 면진구조의 특징을 이용하면 건축물의 내진성능을 폭넓게 촉진시킬 수 있다는 점이 세일즈 포인트가 되어 면진 아파트가 매우 잘 팔리게 되었다. 그 결과, 건설동수는 급증하였으나, 그 이후 불경기였다는 점과 시간의 경과에 따라 대지진의 교훈이 점점 잊혀져 가면서 면진

면진건축

아파트의 건설동수도 서서히 감소하였다. 한편, 관청시설, 병원, 소방서 등의 건축물에서는 지진 시에 그 기능을 유지하여야 하기 때문에 면진구조의 채용이 지속적으로 증가하고 있으며, 「관청시설의 종합내진계획기준 및 동해설」(1996년 건설성)에서도 다루어지고 있다.

최근에는 기존 부적격 건축물의 내진개수에도 면진구조를 채용하는 경우가 꾸준히 증가하고 있으며, 더욱이 단독주택에 대해서도 관민공동연구도 실시되어 서서히 보급될 전망이 보이기 시작하였다. 그리고 적층고무를 대신할 미끄럼 받침과 굴림 받침을 이용한 면진받침이 실용화되기 시작하였다.



그림 1.3 대불상의 면진화 공법
[예로부터 면진화 공법은 생각되어져 왔다]



그림 1.4 미국의 사례
[뫄힐커뮤니티 Law & Justice Center : 철골조 지상4층 지하1층]

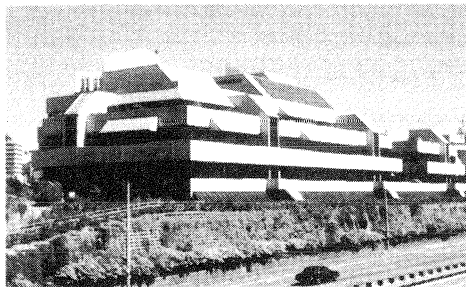


그림 1.5 뉴질랜드의 사례
[윌리엄크레이턴 빌딩 RC조 지상3층 지하1층]



그림 1.6 지진후의 실내 모습
[비품의 전도와 미끄러져 이동된 모습을 볼 수 있다]

1.3 면진, 제진, 내진구조의 차이

일본에서는 관동대지진(1923년)을 경험한 후 내진기준이 처음으로 제정되었다. 내진기준은 그 후에 도카치오키지진(1968년)과 미야기켄오키지진(1978년) 등 몇 개의 피해를 경험한 후 개정이 이루어져 1981년에 건축기준법 시행령의 구조계산 규정이 개정되었다. 이 기준은 「신내진설계법」이라고 불리는 내진설계에 관한 발본적인 개정이며, 종래는 고려되지 않았던 지반과 건물의 동적인 특성, 구조부재의 종국강도에 기초한 대지진동 시의 설계 등의 항목이 새롭게 추가되었다. 따라서, 1981년 5월 이후에 설계된 일반적인 내진구조물은 대부분이 신내진설계법의 기준으로 설계되어 있다.

신내진설계법에서 목표로 하고 있는 내진성능은 내구연한 중에 몇 번은 경험하게 될 지진(중지진동)에 대해서는 건축물의 기능을 유지할 것, 그리고 내구연한 중에 한번 정도 경험할지도 모를 정도의 지진(대지진동)에 대해서 건축물의 가구에 부분적인 균열 등의 손상이 발생하더라도 최종적으로 붕괴로부터 인명을 보호함을 목표로 하고 있다.

「내진구조」에서는 대지진동이 발생하였을 때 건축물이 붕괴되지 않도록 설계되어 있으나, 건축물에 피해가 발생하는 것은 허용하는 것이

된다(그림 1.8). 또한, 건축물이 보유하고 있는 기능의 정지도 동시에 허용되고 있다. 그러나, 앞에서의 한신·아와지 대지진(고베지진)에서는 붕괴되지 않는 것은 물론, 지진 후에도 기능을 충분히 유지하는 것이 방재상 매우 중요하다는 것이 판명되었다.

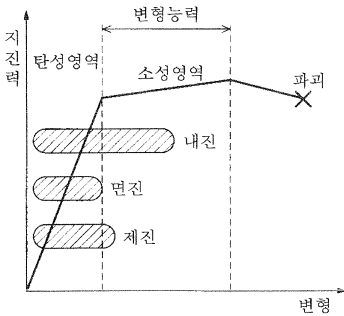


그림 1.7 지진력과 골조의 변형

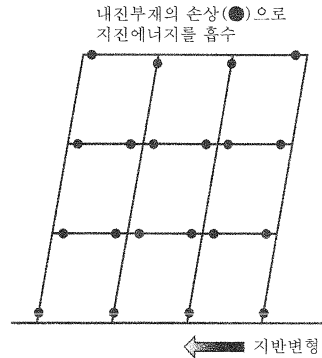


그림 1.8 내진구조

「면진구조」는 적층고무를 설치한 면진층에서 집중적으로 지진동의 에너지를 흡수하고, 건축물로 지진동의 입력을 현저히 저감시킬 수 있으므로 이러한 새로운 시대의 요구에 대응할 수 있는 구조시스템이다. 대지진동이 발생하였을 때 건축물이 붕괴하지 않는 것은 물론 지진 후에도 그 기능을 충분히 유지할 수 있는 성능을 가진 건축물로 만들 수 있다. 면진구조는 대지진동에 의한 지면의 급격하고 빠른 진동을 건축물에서는 느리고 진폭이 큰 진동으로 바꾸는 응답제어를 하고 있다(그림 1.9).

「제진구조」는 면진구조와 같이 건축물의 응답제어를 하는 구조시스템이다. 건축물에 어떤 제진장치를 설치하여 대지진동에 의해 건축물에 입력되는 지진동의 에너지를 그 장치에서 흡수하도록 하는 구조로 되어 있다(그림 1.10).

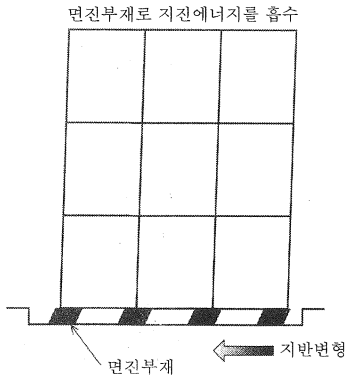


그림 1.9 면진구조

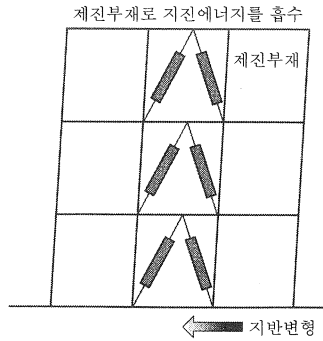


그림 1.10 제진구조

1.4 면진건축의 진동

면진건축은 수평방향으로 작은 강성을 가지는 적층고무로 건축물과 지반이 연결되어 있기 때문에, 면진건축이라고 하더라도 지진동에 대해서 진동을 하게 된다(그림 1.11). 그러나 대지진동에 의한 지면의 크고 빠른 진동에 대하여 면진구조의 일반적인 진동 형태는 면진층 부분이 큰 진폭으로 천천히 흔들리고, 면진층의 변형에 따라 상부구조는 평행이동하듯이 진동한다. 그 결과, 면진건축의 내부에 있는 사람에게는 대지진동의 격한 진동은 느껴지지 않는다. 면진구조에서는 면진층에 설치한 댐퍼가 지진동의 에너지를 집중적으로 흡수하기 때문에, 상부구조의 응답층간변형과 바닥응답 가속도가 현저히 작아지게 되고, 각층의 응답들은 거의 같은 값을 가지게 된다.

한편 내진구조에서는 지진동의 에너지를 각 층 구조부재의 소성화에 의해 흡수하기 때문에 상부 층일수록 변형이 증대하고 바닥 응답가속도도 증폭된다(그림 1.12).

면진건축

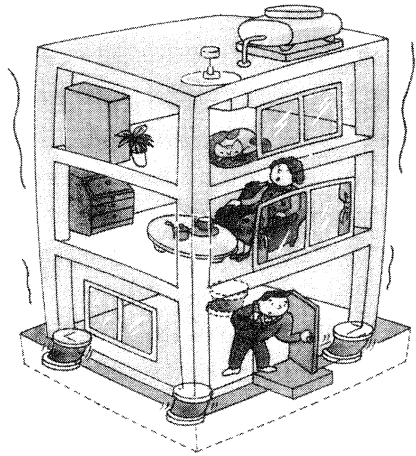
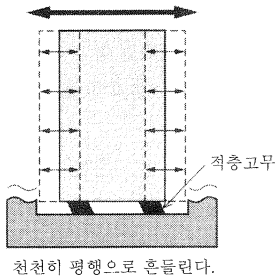


그림 1.11 면진건축물

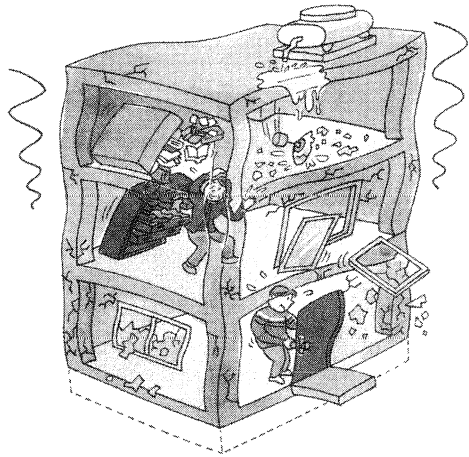
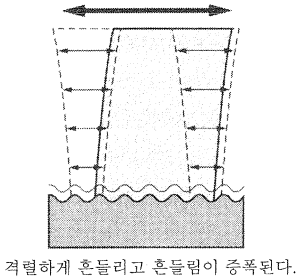


그림 1.12 내진건축물

면진건축이 건축되어지기 시작한 초기의 면진건축물의 대부분은 지진동의 계측장치가 설치되어 있고, 지진동에 의한 진동을 계측한 결과도 발표되고 있다. 이러한 계측결과는 모두 그림 1.13에 나타내었듯이 면진건축물에서는 지진동에 의해 작용하는 힘이 현저하게 저감되는 효과가

있음을 실증하고 있다. 그러나 면진건축물에서는 면진층 부분이 크게 흔들리기 때문에 그 변위를 흡수하는 면진 피트가 별도로 필요하게 된다. 이렇게 면진건축물은 지진에 대해 유효한 수단이기도 하나, 일반 내진건축물과는 다른 설계상의 배려를 하여야 한다.

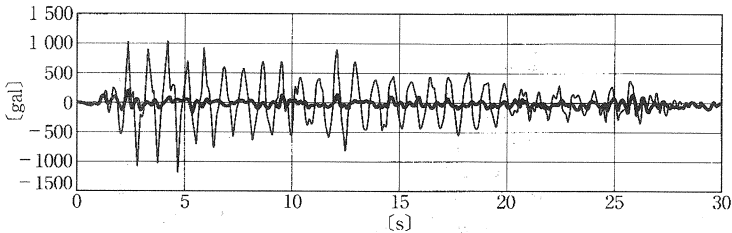


그림 1.13 건축물의 바닥 응답가속도
[굵은선은 면진구조, 얇은 선은 내진구조의 시각력 파형을 나타냄]

1.5 면진구조의 종류

면진구조의 종류는 면진층의 위치에 따라 건물의 최하부에 설치하는 기초면진과 건물의 중간층에 설치하는 중간층 면진으로 크게 나눌 수 있다.

그림 1.14는 기초면진의 형태를 나타낸 것이다. 기초면진은 가장 기본적인 면진구조의 형태로서, 건물의 최하부 기초부분에 면진층을 설치하여, 분리장치와 감쇄장치 등의 면진부재를 이곳에 설치하는 단면구성으로 되어 있다. 면진구조의 가장 중요한 개념인 「지반과 건물과의 절연」을 문자 그대로 구현한 것이 기초면진이고, 면진구조의 대다수가 이 형태로 되어 있다.

기초면진에 의해 건물전체를 면진화 할 수 있으나, 건물하부에 또 한 층의 구조구체를 설치할 필요가 있기 때문에 구체수량, 절연을 위한 물량, 시공공기는 그만큼 늘어나게 된다. 지하층이 있는 경우는 성곽 건축에서의 외곽부분을 둘러싼 호(수로)와 같은 형상의 지하외벽을 건물주변

면진건축

에 배치하는 계획으로 되어 있다. 이 지하외벽은 면진구조의 성능을 충분히 발휘시키기 위해 대지진시에도 파손되지 않도록 구조 설계하므로 벽체 두께가 1m 전후가 되는 경우도 있다. 또한, 기초면진의 경우 면진층은 바닥판의 하부구조로 취급하고, 분리장치를 기초의 일부로 볼 수 있으므로 면진부재에 내화피복을 할 필요는 없다.

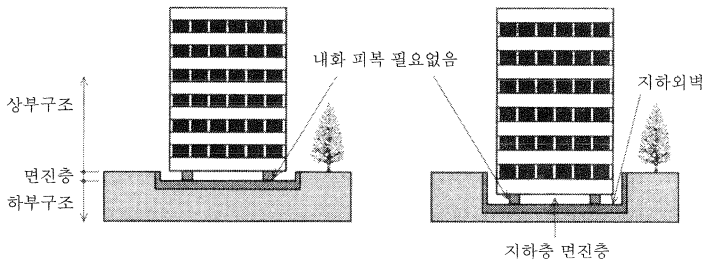


그림 1.14 기초면진

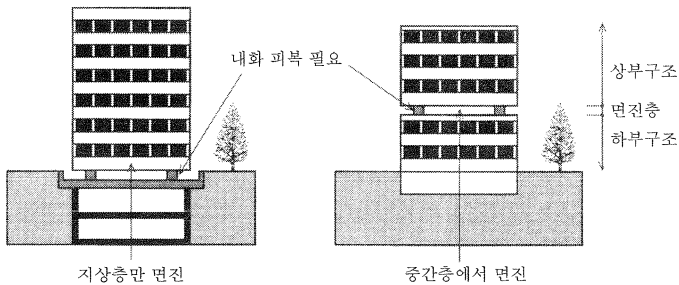


그림 1.15 중간층 면진

그림 1.15는 중간층 면진의 형태를 보여주고 있다. 중간층 면진은 건물의 중간층에 면진층을 설치하여 하부구조는 통상의 내진구조 건물과 같이 지반에 바닥을 설치하는 단면구성이다. 건설대지에 클리어런스를 들 수 있는 여유가 없는 경우와 지하굴삭이 곤란한 경우에 유효한 면진

형태이다. 중간층 면진을 채용함으로써 기초면진에서의 절연을 위한 부재 증가의 염려는 해결할 수 있으나, 면진층 하부의 층에서는 상부만큼의 효과는 기대하기 어렵게 된다. 상세설계에서는 면진층 주변의 종방향 동선에 대해 수평방향의 큰 이동량에 대한 변형대책이 필요하게 된다. 구체적으로는 계단, 엘리베이터, 설비배관 등의 대책이 있다. 상부구조로부터 매달고 하부구조와 절연하는 디테일이 일반적인 해결법이 될 것이다. 중간층 면진에서는 외벽의 도중에서 익스팬션조인트를 둘 필요가 있고, 방수에 주의하여야만 한다. 또한, 방화구역과 내화피복에 대해서도 배려할 필요가 있다. 중간층 면진의 경우, 범규적으로 분리장치는 기둥의 일부로서 취급된다. 따라서 분리장치를 내화 피복하여 내화구조로 할 필요가 있다.

1.6 면진층의 개념

면진층은 분리장치와 감쇄장치라는 면진부재가 설치되는 부분을 말한다. 그러므로, 점검과 확실한 수평이동을 위해 어느 정도의 높이가 필요하게 되고, 따라서 층을 형성하고 있는 경우가 대부분이다. 단, 일반적으로 건축법규상으로는 바닥판 밑 또는 천정 뒷부분으로 취급되어 연면적으로 산입되지 않는다.

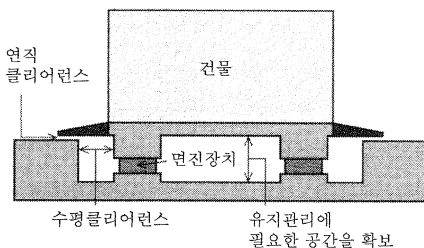
면진층은 보통 사람의 출입을 막고 가연물질 등을 설치할 수 없도록 폐쇄공간으로 하는 한편, 유지관리와 면진부재의 교체를 위한 통로와 스페이스를 확보하는 것이 일반적이다. 면진층의 높이는 유지관리와 면진부재의 교체가 가능한 높이가 필요하고, 사용하는 면진부재의 크기, 배치계획, 교체방법, 기계전기설비의 배관계획 등에 의해 결정되나, 안치수높이(면진층 상부보 하단에서 면진층 슬래브 상단까지)로 최저 1,200mm가 되면 충분하다고 판단된다.

면진층의 상부면은 상부 구조체에 연결되어 있어 큰 진폭으로 천천히

진동하지만, 하부면인 바닥부분은 하부구조에 연결되어 있어 진동의 진폭은 상부구조만큼 크지 않다. 지진 시에는 면진층의 상하바닥 사이에 큰 상대변위가 발생하므로 가동부분에는 충분한 클리어런스를 두어 변형에 대응할 수 있는 상세(detail)로 할 필요가 있다. 그리고, 이 클리어런스에 사람이 낙하한다든지 변형 시에 끼이게 되는 현상이 발생하지 않도록 하는 상세와 가동부분에 사람이 접근할 수 없도록 하는 평면계획이 요망된다. 그림 1.16은 면진층의 개념을 나타내고, 그림 1.17은 면진층의 사례를 나타내고 있다.

면진구조에서 건축계획 시 면진층에 사람이 거주하지 않는 경우로 할 시에는 기초의 일부로 볼 수 있기 때문에 면진층 부분의 분리장치와 감쇄장치 등의 면진부재에 내화피복을 할 필요는 없다.

● 건물주위의 클리어런스



● 변형시

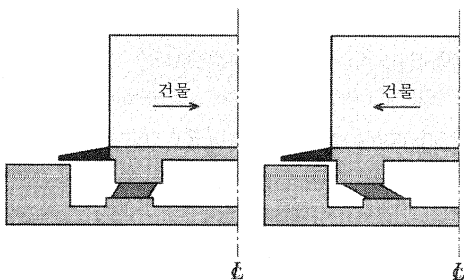


그림 1.16 면진층 개념도

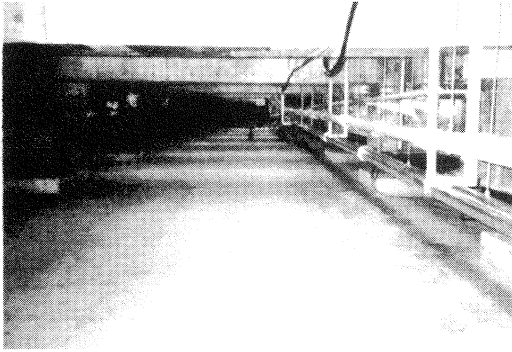


그림 1.17 면진층의 사례

그러나 면진층을 거실로 사용하는 경우와 중간층 면진의 경우에는 면진부재가 주요 구조부재 즉 기둥으로 생각되어지기 때문에 내화의 문제가 발생하게 된다. 면진층 부분을 주차장으로 이용한 설계사례를 3.3절에 나타내었다. 이 사례에서는 면진층을 방화구역으로서 면진층 전체의 방화성능을 향상시키는 처리법을 취하고 있다. 다른 대처법으로는 면진부재 자체를 내화피복하는 방법도 있다.

1.7 면진부재의 개념

면진부재란 건물의 기초와 상부구조와의 사이에 두는 것으로 지면으로부터의 진동이 건물에 가능한 한 전달되지 않도록 하는 부재이다. 면진부재는 다음과 같은 4개의 기능이 요구된다.

- ① 지진의 진동이 건물에 전달되지 않도록 절연한다. 「절연기능」
- ② 지진의 진동을 받아도 항상 안정되게 건물의 중량을 지지한다.
「지지기능」
- ③ 지진의 진동폭을 작게 한다. 「감쇄기능」
- ④ 지진후에 건물이 원래의 위치에 돌아오게 한다. 「복원기능」

면진부재를 기능면에서 크게 나누면, ①, ②(경우에 따라서는 ③, ④)

의 기능을 만족시키는 「분리장치」와 ③의 기능을 만족시키는 「감쇄장치」의 두 종류로 나눌 수 있다.

분리장치는 지진시의 진동이 건물에 가능한 한 전달되지 않도록 수평 방향으로 유연하게 움직이기 쉽고, 또한 건물의 중량을 항상 안정되게 지지할 수 있도록 하는 구조로 되어 있다. 구체적으로는 얇은 고무시트와 강판을 교대로 겹쳐 쌓은 적층고무 분리장치(그림 1.18)와 마찰저항을 되도록 작게 한 미끄럼 받침(그림 1.19), 굴림 받침(그림 1.20) 등이 있다.

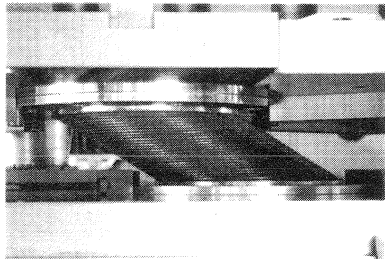


그림 1.18 적층고무 분리장치

[얇은 고무와 강판을 교대로 겹겹이 쌓은 것으로 건물중량을 지지하면서, 지진 시에는 고무가 유연하게 변형하는 부재]

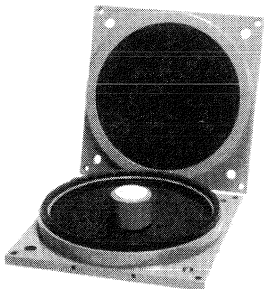


그림 1.19 미끄럼 받침

[건물의 무게를 지지하면서 지진시에 미끄러움이 발생하는 부재]

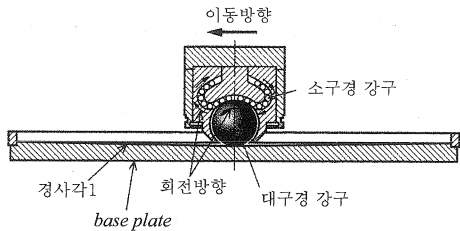


그림 1.20 굴림 받침(출전 : MENSIN, No.27)

[건물의 중량을 지지하면서 지진시에 굴림이 발생하는 부재]

분리장치의 기능만으로는 지진 시 건물과 지면과의 진폭이 너무 크게 된다. 이 진폭을 적절히 감소시키기 위해서는 감쇄기능이 필요하게 된다. 감쇄장치는 지진 시 건물의 진폭과 속도에 따라서 지진에너지를 흡수하고 진동을 제어하는 작용을 한다. 댐퍼의 주된 종류로서는 강재와 납을 이용한 금속 감쇄장치(그림 1.21, 그림 1.22), 물엿과 오일과 같은 유연한 유체재료를 이용한 유체 감쇄장치, 마찰 저항력을 이용한 마찰 감쇄장치 등이 있다.

또한, 분리장치에는 지진의 진폭을 작게 하는 감쇄기능을 겸비한 것도 있다. 납을 적층고무의 중심에 삽입한 「납봉 삽입 적층고무」, 고무재료를 개발하여 고무자체에 감쇄기능을 가지게 한 「고감쇄 적층고무」, 마찰저항력에 의해 진동을 작게하는 「미끄럼 받침」 등은 건물의 중량을 지지하는 분리장치의 기능과 감쇄장치의 기능을 겸비한 면진부재라고 할 수 있다.

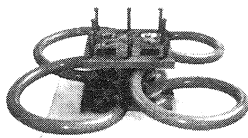


그림 1.21 강재 감쇄장치

[건물의 중량은 지지하지 않으나, 지진 시 강재가 크게 변형함으로써 진폭을 저감시키는 부재]



그림 1.22 납 감쇄장치

[건물의 중량은 지지하지 않으나, 지진 시에 납이 크게 변형함으로써 진폭을 저감시키는 부재]

1.8 적층고무의 개념

적층고무는 대지진시 수평방향으로 쉽게 변형하고 지진이 진정되면 스무스하게 원래의 위치로 되돌아오는 수평방향의 유연함(수평강성)과 무거운 건물을 안정되게 지지할 수 있는 연직방향의 견고함(수직강성)을 겸비할 필요가 있다. 부드러운 고무와 견고한 강판을 가류접착에 의해 일체화시킨 구조는 충분히 그 성능을 겸비하고 있다(그림 1.23). 고무 단독의 경우, 연직방향으로 큰 하중을 작용시키면 변형하여 횡방향으로 부풀어 올라 안정되게 지지할 수 없다. 그에 비해 적층고무와 같이 견고한 강판을 고무 사이에 삽입함으로써 연직방향의 변형이 크게 억제되고 수평방향으로의 유연성은 고무 단독인 경우와 거의 비슷한 값을 유지하게 된다. 실제로 사용되고 있는 적층고무는 직경 500~1,500mm 정도로서 고무의 층수는 20~30층 정도이며, 이러한 적층고무의 수평강성과 수직강성의 크기는 1:1000 정도이다. 이 두개의 강성 값은 적층고무의 특성으로 매우 중요하며, 압축력과 수평력을 동시에 작용시킬 수 있는 압축전단시험기에 의해 측정된다(그림 1.24, 그림 1.25).

면진기능을 발휘하는 면진부재는 적층고무와 지진에너지를 흡수하는 감쇄기능을 가지는 감쇄장치와의 조합에 의해 성립된다. 감쇄기능이 없으면 지진이 끝나도 적층고무는 계속하여 변형을 반복하게 된다.

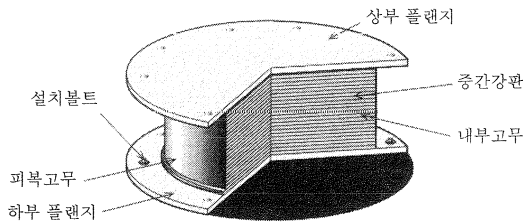


그림 1.23 적층고무의 기본적인 구조

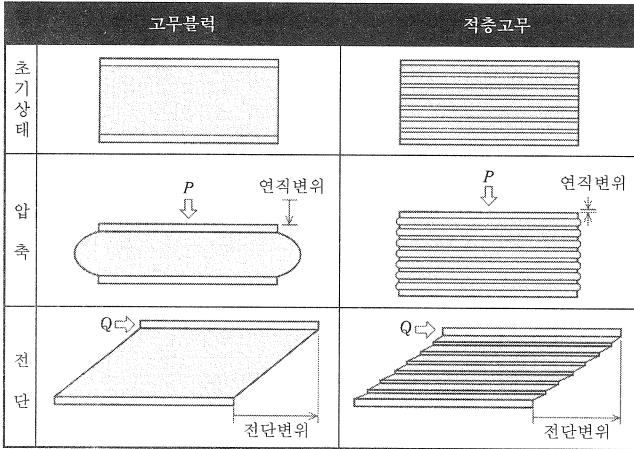


그림 1.24 적층고무의 기본적 특징

천연고무계 적층고무는 감쇄기능을 거의 가지지 않기 때문에 감쇄장치와 병용할 필요가 있다(1.7절 참조). 한편, 감쇄기능을 가지는 고감쇄 적층고무와 납봉삽입 적층고무는 감쇄장치와 병용할 필요가 없다. 적층고무가 감쇄장치 기능을 겸비한 것이 좋을지에 대한 것은 성능적으로 서로 장단점이 있고, 요구하는 면진 성능과의 균형을 맞추어 충분히 주의하여 사용을 구분할 필요가 있다. 적층고무는 보통 건물의 면진층에 설치되나, 적층고무 상하에 플랜지라고 불리는 두꺼운 강판이 붙어 있고, 이 플랜지가 콘크리트에 매입되는 베이스플레이트에 볼트로 체결된다. 일본 뿐만 아니라 지진이 많은 각 국에서 도로교와 건축에 면진구조가 적극적으로 채용되기 시작한 것은 이 적층고무의 출현에 의한 것이라고 해도 과언이 아니다.



그림 1.25 압축전단시험기

1.9 적층고무의 제조 방법

적층고무는 천연고무를 주재료로 한 얇은 고무시트와 강판을 다층으로 적층하고, 가류접착에 의해 일체 성형한 것으로, 고무, 중간강판, 플랜지 (및 연결강판)의 3종의 부재로 구성되어 있다. 적층고무의 제작공정에서 중요한 것은 수평강성, 연직강성, 한계성능 등 적층고무의 성능을 안정적으로 달성하기 위해 적절한 고무재료 물성과 고무와 강판의 양호한 접착성능을 유지하고, 치수 정도가 좋은 적층고무를 제작하는 것이다.

▶ 고무시트의 준비(배합계량 → 정련 → 압연 → 형태재단)

천연고무계 적층고무는 천연고무와 배합제를 균질하게 혼합하기 위하여 고속, 고마력의 혼련기로 이겨(개어)낸다(정련). 다음으로 혼합 정련된 재료를 적층에 적합한 두께의 시트형으로 가공하고(압연공정), 그 후 적절한 형태로 찍어낸다(재단공정).

▶ 중간강판, 플랜지(연결강판)의 준비

(절단 → 기계가공 → 도금가공 → 표면처리 → 탈지 → 접착제도포)

소정의 형상으로 기계가공한 후, 양호한 접착이 될 수 있도록 처리를 한다. 접착면에 쇼트블라스트 등으로 적절한 요철(凹凸)을 주어, 탈지 처리 후 적절한 두께(수십 μm)로 가류접착제를 도포한다.

▶ 적층고무 조립제작(적층 → 가류성형 → 무리)

적층고무의 형상을 유지하기 위한 성형금형 속에, 준비된 연결강판, 고무시트, 중간강판의 순으로 적층하고, 마지막으로 연결강판을 눈 후, 윗 뚜껑을 닫고 이것을 130~150℃로 가열한 프레스에 셋팅하고 고온을 유지한 상태에서 고압(약 150kgf/cm²)을 연속하여 작용시킨다. 프레스 시간은 몇 시간~10시간 이상이 된다. 고무의 가류상태가 적층고무 성능

에 크게 영향을 미치기 때문에 충분한 주의가 필요하다.

▶ 후가공(플랜지조립 → 피복고무 감기 → 방청도장)

필요에 따라 후가공을 한다.

적층고무는 이상의 공정으로 만들어지나, 제작 도중단계에서는 제작 전에 계획한 대로 만들어졌는가를 확인하는 검사를 하고, 완성 후에는 치수, 요구성능을 발휘할 수 있는가를 전 수량에 대해 확인한다.

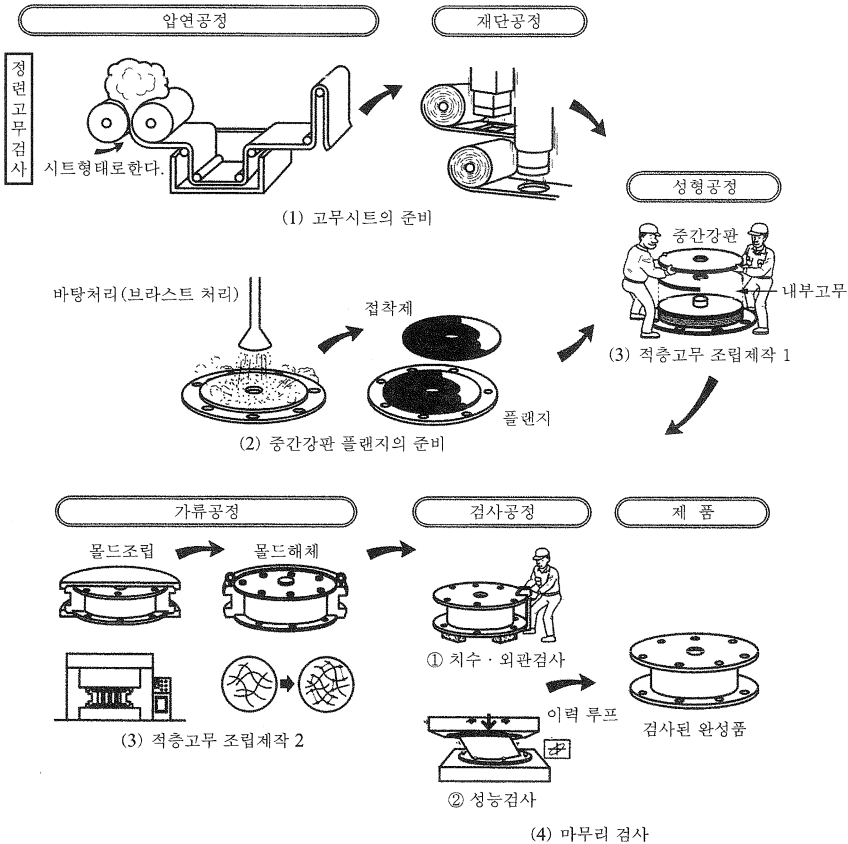


그림 1.26 적층고무의 제작공정

1.10 감쇄장치의 개념 및 분류

감쇄장치는 건물에 전달되는 지진에너지를 흡수하고, 건물의 진폭을 제어하는 역할을 한다. 자동차를 예로 들면 스프링이 천연고무계인데 비해 댐퍼는 쇼크업소바와 같은 감쇄장치이다. 노면의 요철(凹凸)에 의한 진동을 억제하기 위하여 스프링만으로는 진폭이 크고 또한 감쇄가 적기 때문에 잠시 동안은 계속 흔들리게 된다. 쇼트업소바와 조합함으로써 곧 진동을 억제할 수 있다.

면진구조의 경우도 자동차와 똑같은 것으로 말할 수 있다. 예를 들어, 면진부재에 감쇄기능이 없는 경우, 건물의 중량을 지지하는 것은 가능하나, 지진 시에 진동의 폭이 상당히 크게 되고 계속하여 흔들리게 된다. 이러한 큰 진동폭에 대해 문제가 없게 하기 위하여 건물주변의 간격 확보와 가스, 수도, 전기 등의 설비배관 및 건물을 지지하는 면진부재를 만드는 것은 쉽지 않다. 지진에 의한 건물의 진동폭을 적당히 제어하기 위해서는 건물을 지지하는 기능만이 아니라 지진 시에 흔들림을 작게 하기 위한 역할을 하는 「감쇄장치」가 필요하게 된다. 감쇄장치의 분류는 그림 1.27에 나타내었다.

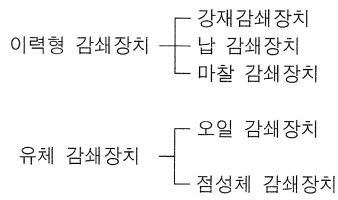


그림 1.27 감쇄장치의 분류

감쇄장치에는 금속(강과 납)이 크게 변형함으로써 지진에너지를 흡수하는 것(그림 1.28, 그림 1.29), 오일과 점성체 등의 점성저항을 이용하는 유체 감쇄장치(그림 1.30), 마찰저항을 이용하는 것 등 많은 종류의 감쇄장치가 개발되어 있다. 어떤 종류일지라도 흡수된 지진에너지는 감쇄장치의 열에너지로 변하여 방열되게 된다. 고감쇄 적층고무, 납봉 삽입 적층고무, 미끄럼 받침, 굴림 받침 등은 건물의 중량을 지지하는 기능

과 지진에너지를 흡수하는 감쇠장치 기능(감쇠기능)을 함께 가지는 면진 받침이라고 할 수 있다.

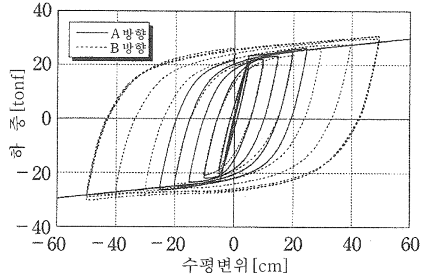
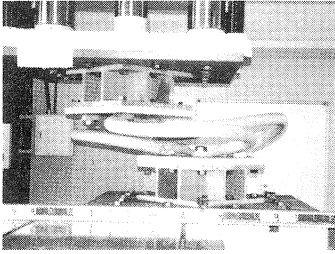


그림 1.28 강재 감쇠장치의 예와 그 특성(출전 : 신일본제철 카탈로그)

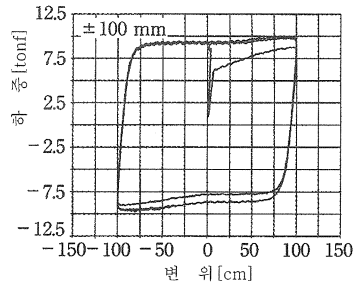
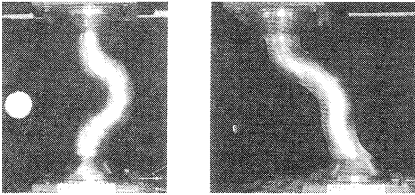


그림 1.29 납 감쇠장치의 예와 그 특성(출전 : 신일본제철 카탈로그)

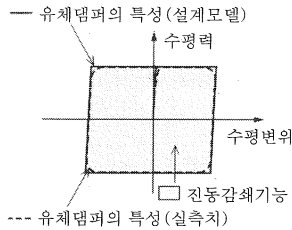
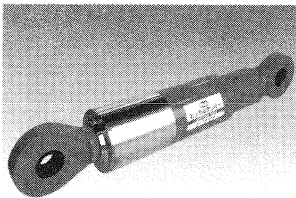


그림 1.30 유체 감쇠장치의 예와 그 특성

1.11 한신·아와지 대지진(고베지진)에서 실제 건물의 면진효과

1995년 1월 17일 효고켄 남부지진(고베지진) 때에 고베시 북구에 있었던 2개의 면진구조물인 WEST빌딩과 마츠무라구미(松村組)기술연구소 연구동에서 지진관측기록이 얻어졌다.

WEST빌딩은 1994년 11월에 완성된 지 얼마 되지 않은 건물이며, 철골철근콘크리트조 6층 건물로 연면적이 46,823m²인 매우 큰 면진건물이다. 여기서는 남북 삽입 적층고무 54개, 적층고무 66개, 강봉 감쇄장치 44개의 면진부재가 사용되었다.

이 건물에는 기초슬래브와 1층, 최상층인 6층의 3군데에 지진계가 설치되어 기록을 얻을 수 있었다. 각 기록의 가속도 최대값을 그림 1.31에 나타내었다. 기초슬래브에서는 남북방향 263cm/s², 동서방향 300cm/s²로 진도6에 상당하는 매우 큰 가속도였으나, 건물내의 기록은 남북방향으로 1/4~1/3, 동서방향으로 1/3로 크게 저감되고 있다. 그림 1.32에 나타난 횡축을 시간으로 한 가속도의 시각력 파형을 보더라도 기초슬래브의 뼈죽뼈죽한 흔들림이 건물내에서는 면진부재에 의해 완만한 진동으로 변한 것을 알 수 있다.

마츠무라구미 기술연구소는 철근콘크리트조 3층 건물이며, 연면적이 480m²인 건물로 WEST건물의 근처에 있다. 면진부재는 고감쇄 적층고무가 8개 사용되었다. 여기서는 면진건물과 인접하여 세워져 있는 철골조의 종래구법 건물 옥상에서도 지진관측이 이루어졌다. 각 측정점의 가속도 최대값을 표 1.2에 나타내었다. 종래구법 건물 옥상에서는 건물의 응답이 매우 크게 증폭되었으나, 면진건물에서는 방향에 따라 저감되든가 혹은 약간 증폭되는 정도로 나타났으며, 옥상에서의 가속도를 비교하면 면진건물에서는 종래건물의 1/4~1/2.5가 되어 효과가 큰 것을 확인할 수 있다.

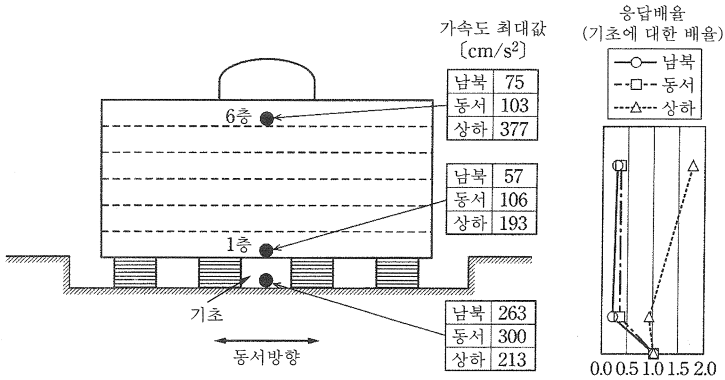
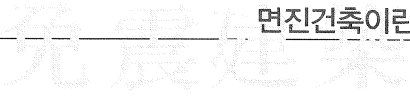


그림 1.31 WEST빌딩에서의 가속도 최대치의 분포와 응답배율

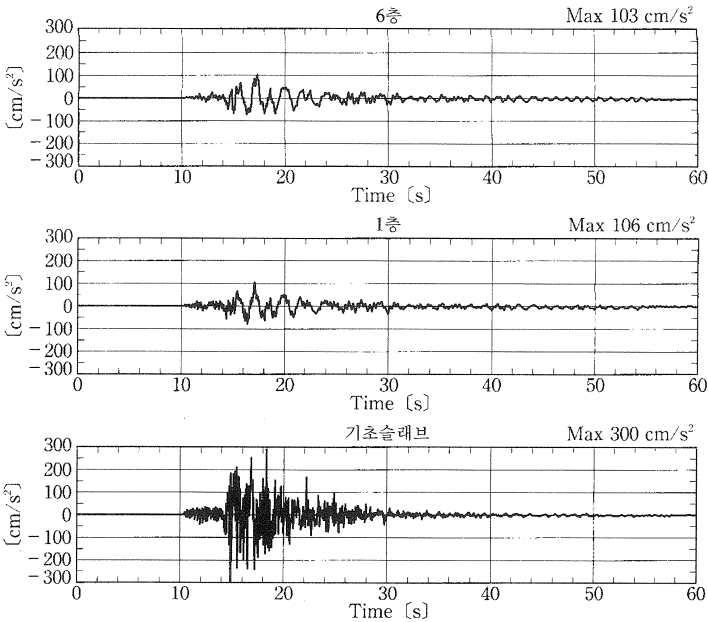


그림 1.32 WEST빌딩에서의 가속도 파형(동서방향)

표 1.2 마츠무라구미(松村組) 기술연구소의 가속도 최대값

(단위 : cm/s²)

		남북방향	동서방향	상하방향
면진구법 건물	옥상	198	273	334
	1층	148	253	266
	기초위	272	265	232
	GL-15m	208	213	166
재래구법 건물	옥상	965	677	368

1.12 한신·아와지 대지진(고베지진)후 면진건축의 동향

1983년에 일본에서 처음으로 면진건축이 탄생한 이래, 1999년 12월까지 (재)일본건축센터의 심의를 취득한 면진건물은 729건에 달하고, 세계 제일의 면진왕국이 되었다. 그림 1.33에 각 년도별 건수의 추이를 나타내었다. 이것을 보면, 1985년부터 1994년까지는 연간 10건 정도에 불과하고, 그 용도도 건설회사의 자사시설과 중요도가 높은 전산센터 등이 대부분이었다. 그러나 1995년부터 건수는 급격히 증가하고 있다. 이것은 1995년 효고현 남부지진(고베지진) 및 1994년 미국 캘리포니아주 로스엔젤레스 교외에서 발생한 노스리지(Northridge)지진에서 면진건축이 그 효과를 충분히 발휘한 영향이 컸기 때문이다.

용도에 대해 살펴보면, 1995년 이래 공동주택(맨션)이 증가하고 있고 전체의 42%에 달하고 있다. 1995년 이전은 1건도 없었던 병원도 많이 증가하고 있으며, 공동주택, 사무소에 이어 3번째로 많다. 특히 대학의 부속병원에서는 면진구조로 하는 예가 많아졌다. 또한, 최근에는 단독주택에서 면진구조를 채택하는 경우가 늘어나고 있는데, 단독 면진주택 심의의 신속화·간략화를 위하여 일반심의의 길도 열려있고, 이미 일반심을 취득한 시스템도 있다. 2000년 6월 이후의 개정 건축기준법에서는 면진건축에 관한 인허가신청업무를 간략화 시키고 있기 때문에 더욱 증가할 것으로 예상된다.

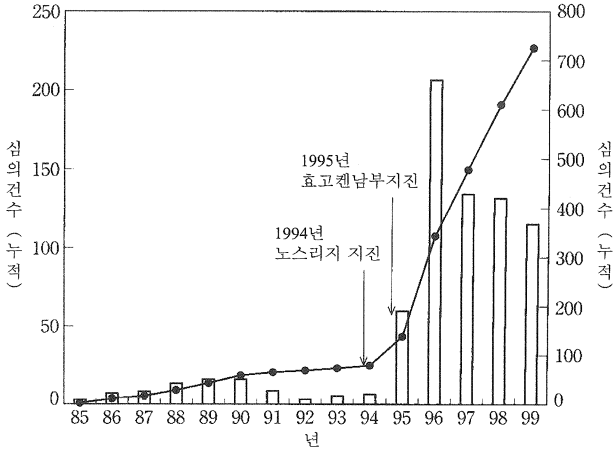


그림 1.33 일본 건축센터 면진구조 심의 건수의 추이

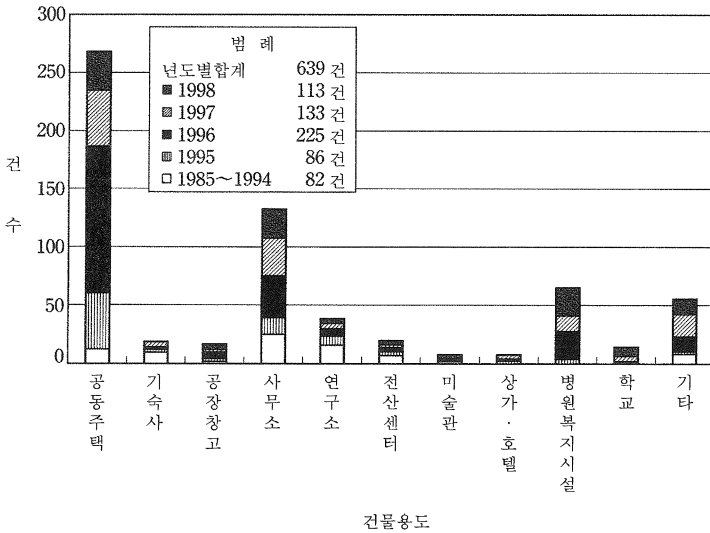


그림 1.34 면진구조의 건물용도의 추이

기존 건물의 내진개수 시에 면진부재를 나중에 설치하는 면진 내진개수(retrofit)도 국립서양미술관, 동경 도오시마구(豊島區) 청사, 국립도서관 우에노 분관, 오사카 나카노시마(中之島)공회당 등에서 실시되었다. 면진구법으로 함으로써 상부구조에 손을 대지 않고 내진성능을 향상시킬 수 있기 때문에 원래의 디자인을 변화시키지 않는 역사적 건축물의 보존에는 최적이라고 할 수 있다. 또한, 현행의 건축기준법에는 적합하지 않은 이른바 기존 부적격 건물로서 재건축하면 규모를 축소시켜야 하는 경우에도 면진을 이용한 내진개수(retrofit)로 계속하여 사용할 수 있다. 더욱이 건물을 사용하면서 공사를 진행하는 거주병행 시공도 가능한 것이 큰 장점이다.