철근콘크리트 건축구조물의 내진시스템 및 설계

Earthquake-Resistant Design for Reinforced Concrete Building

이 원 호*

1. 서 언

지진이란 지각내에 축적된 에너지가 어느 순간 갑자기 방출됨으로써 지층의 이동, 파쇄등을 수반하는 현상으로, 이러한 지진에 의한 피해는 다른 재해에 비하여 파괴의 규모나 인명의 피해가 크다고 할 수 있다.

한반도의 지진활동은 기원전 27년부터 현재까지 약 2000년 동안의 긴 역사를 가지고 있다. 한국 역사지진의 분석에 의하면 한반도는 대체로 13세기부터 18세기 초까지 지진활동이 활발하다가 18세기 중엽에 이르러 조용한 지진정지기에 들어 갔다가 최근 20세기부터 200년간의 지진정지기가 깨어지고 탄성에너지를 방출하기 시작하여 지진활동이 다시 시작한 것 같다. 이러한 지진위험으로부터 피해를 막는 대책으로는 지진과학을 통한 지진예보와 지진공학에 따른 내진설계를 들 수가 있다.

내진설계의 기본원칙으로는 약한 지진 (재현주기 10년 정도)에 대해서는 지진의 피해를 완전히 방지하고, 보통의 지진에 대해서는 약간의 보수로 재사용이 가능한 정도의 피해만 발생하도록 하며, 매우 강한 지진 (재현주기 100~200년)에 대해서는 구조물에 상당한 손상은 있더라도 완전붕괴는 방지하도록 하고 건물의 사용자들이 피신할 수 있는 시간적 여유를 갖게하여 많은 인명 피해가 발생하는 것을 방지하도록 한다. 지진에 의한 피해를 최소화하고 경제적 부담이 크지 않은 범위내에서 유효한 내진성 확보를 꾀하고 있다.

내진설계를 위해서는 지진력에 저항하는 요소를 무게중심에 대하여 대칭으로 배열하고, 적절한 인성을 갖도록 하여 진동에너지를 분산시키는 기구를 확보하도록 구조계획을 하여야 한다. 즉, 지진력에 저항하는 요소의 대칭적인 배치와 인성확보를 내진설계를 위한 구조계획의 기본원칙으로 하고 있다.

* 정회원, 광운대학교 건축공학과 교수, 공박

2. 철근콘크리트 건축구조물 내진구조 시스템

지진력이나 풍하중 등과 같은 수평하중에 저항할 수 있는 철근콘크리트 구조물의 내진구조 형태는 크게 강성골조, 전단벽식 구조, 전단벽이 설치된 골조-전단벽 구조, 엇갈림 벽-보 구조, 튜브구조 등 5가지로 나눌 수 있으며, 철근콘크리트 건축구조물의 일반적인 분류는 그림 1과 같다.

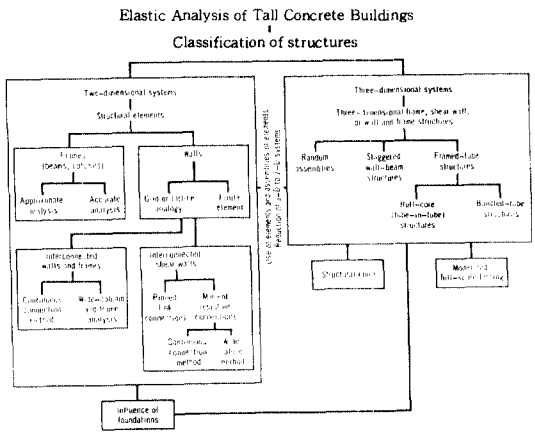

그림 1 철근콘크리트 건축구조물의 분류

2.1 강성골조

순수한 강성골조는 주요 구조부재들의 연결부위의 강성에 의해 수평하중에 저항하며 필요한 연성을 확보하기에 유리하나 구조물의 높이가 20층 이상이 되면 횡변위가 커지므로 부재의 크기가 증가되며 연결부위의 설계가 어려워지기 때문에 비경제적이 된다. 골조의 강도 및 강성은 기둥과 보 부재의 크기에 비례하며 층 높이나 기둥의 간격에는 반비례한다. 일반적으로 보강성의 증가가 기둥강성의 증가보다 골조의 강성에 미치는 영향이 더 크다.

2.2 전단벽식 구조

순수한 전단벽식 구조형식은 칸막이 벽을 구조체로 사용할 수 있다는 잇점 때문에 주로 아파트 건물에 이용되며 전단벽을 유효하게 배치하면 40층 정도까지는 매우 경제적인 구조로 알려져 있다. 수평력은 다이아프램으로 작용하는 바닥구조에 의해 전단벽에 전달되는데, 전단벽은 높은 강도를 가지므로 전단과 전도에 의한 휨을 지지할 수 있다. 그러나 순수 전단벽 구조는 지진에너지를 흡수하는 연성이 작기 때문에 강진지역에서는 경제성이 상대적으로 뒤떨어진다. 대각선 방향으로 X모양의 철근콘크리트 트러스가 입면에 전단벽으로 작용하도록 설계된 예 (Place Victoria, 47층 사무소건물, 190m)도 있다.

2.3 전단벽이 설치된 골조-전단벽 구조

강성골조에 전단벽을 배치하는 구조형식은 순수 강성골조와 순수 전단벽식 구조의 단점을 보완한 것으로 고층 철근콘크리트 건물의 설계에 주로 채택하는 형식으로 사무소건물로는 40층 정도까지, 아파트 건물로는 60층 정도까지 사용되고 있

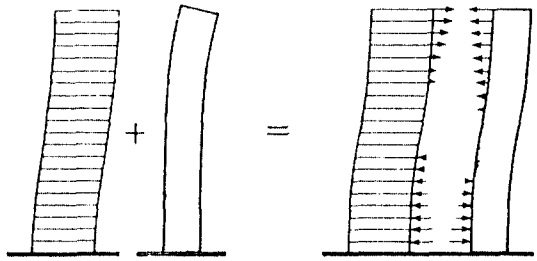

그림 2 골조-전단벽 구조의 상호작용

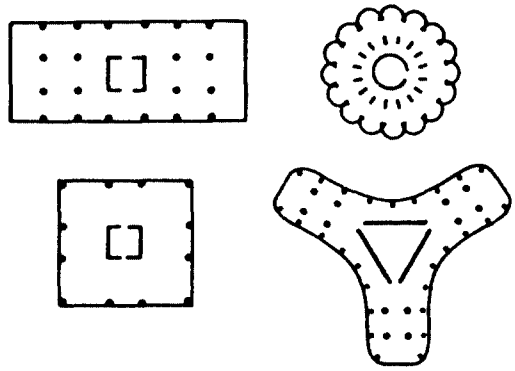

그림 3 골조-전단벽 구조형식을 사용한 건물 평면 예

다. 이 구조형식에서 전단벽을 적절히 배치하여 전단벽이 수직 및 수평하중에 저항하고 강성골조의 약점인 강성을 보강하는 효과를 얻음 (골조-전단벽의 상호작용)으로써 순수 강성골조에 비하여 수평변위를 크게 감소시킬 수 있으며 골조의 연성에 의하여 지진에너지를 효과적으로 흡수할 수 있는 구조형식이 된다 (그림 2참조). 이 구조시스템을 사용한 건물 평면의 예는 그림 3과 같다.

2.4 엇갈림 벽-보 구조

엇갈림 벽-보 구조에서 벽은 층높이의 춤을 갖으며, 건물 전후면의 기둥을 연결하고 있다 (그림 4 참조). 이러한 벽은 각 층마다 엇갈리어 배치되므로 바닥 시스템의 길이의 2배 만큼의 넓은 공간을 확보할 수 있다. 벽이 없는 층에 생기는 넓은 공간은 평면 계획상 공간의 유연성이 요구되는 건물에 유리하다. 벽-보는 연직전단력에도 저항하므로 벽에 개구부가 있는 경우는 이 부분에 변형이 발생하고 벽-보의 강성은 감소된다. 이 구조시스템은 40층 정도의 주거용 건물에 사용된다.

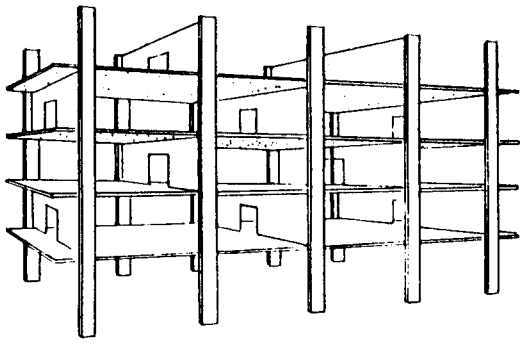

그림 4 엇갈림 벽-보 구조

2.5 튜브 구조

건물 외곽에 밀접하게 (1.2~3m 정도) 배치된 기둥은 큰 스팬드럴 보로 연결되어 튜브의 벽체를 구성하며 이러한 외곽구조는 구멍난 벽으로 볼 수 있다. 튜브구조에서 수평하중은 건물외곽구조가 저항하며 지상으로부터 솟은 속이 빈 상자형 캔틸

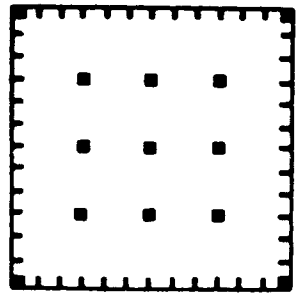

그림 5 골조 튜브(Framed Tube)

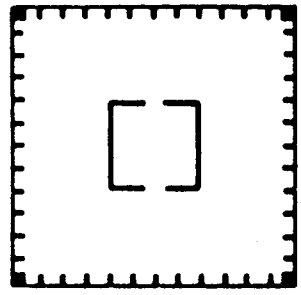

그림 6 이중 튜브(Tube in Tube)

레버와 같이 거동한다. 외벽이 대부분의 횡력에 저항하기 때문에 내부에는 대각선 브레이스나 전단벽이 필요없다. 외벽을 대각선 브레이스로 보강하면 강성이 증가하고 트러스 작용을 하게된다.

강성골조를 변형한 형식으로 골조튜브 (Framed Tube; 그림 5 참조)가 있으며 전단벽식 라멘조의 변형으로는 이중튜브 (Tube in Tube ; 그림 6 참조) 구조 시스템이 있다. 이와같이 변형된 튜브구조 시스템은 주로 스팬 길이가 긴 초고층 구조물에 많이 사용된다.

골조튜브가 최초로 사용된 건물은 1961년 시카고에 세워진 43층의 Dewitt Chestnut 아파트 건물이다. 외벽은 밀접한 간격으로 강접합되어 있는 기둥과 보의 장방형 격자로 구성되어 있고, 내부기둥은 연직력 만을 받도록 되어 있으며 외부 튜브의 강성에는 관계없다. 바닥은 다이아프램으로 작용하여 수평력을 외벽에 전달한다.

속이빈 튜브 구조는 코아를 이용하여 연직하중뿐 아니라 수평력에 저항할 수 있는 매우 높은 강성을 가질 수 있다. 바닥판구조는 내부튜브와 외부튜브를 연결시키며 수평력에 대해서 단일체로

서 작용한다. 횡력에 대한 이중튜브의 작용은 골조-전단벽 구조의 작용과 비슷하나, 외곽골조튜브는 강성골조보다 강하다. 이중튜브는 시카고에 있는 38층의 Burnswick Building과 휴스톤에 있는 52층의 One Shell Plaza Building 등에 사용되었다.

3. 내진설계

구조물의 내진설계는 다음과 같은 3가지의 한계상태, 즉, 사용 한계상태(service limit state), 손상 한계상태(damage limit state), 그리고 붕괴 한계상태(collapse limit state)를 만족하여야 한다.

3.1 사용 한계상태 설계

사용 한계상태 설계에서는 재현기간 약 5년 정도 또는 0.06~0.10g 정도의 지진이 발생하였을 경우 구조물의 안전성 뿐만 아니라 사용성을 그대로 유지할 수 있도록 설계하여야 한다. 사용 한계상태에서의 구조물의 거동은 탄성한계 범위내에 존재하며 직접적분법, 모드해석법 등 보통 사용하는 해석방법으로 계산할 수 있다.

사용 한계상태 설계에서 구조물의 주기를 정확하게 계산하는 것은 매우 어렵다.

구조물의 상태가 탄성한계내에서 거동한다고 하지만 콘크리트의 경우 균열이 발생한 부재도 있을 수 있으며 비구조재와의 합성효과 등의 영향으로 구조부재만을 고려한 주기보다 작아질 수 있다. 구조물 주기의 최대값은 기초의 강성과 구조부재만을 고려하며, 철근콘크리트의 강성은 기둥의 경우 $0.8I_g$, 보의 경우 $0.4I_g$를 취함으로 구할 수 있다. 최소값은 기초의 강성을 무시하고 비구조재의 영향을 고려하며 철근콘크리트 부재의 강성을 기둥과 보 모두 I_g로 계산함으로써 구할 수 있다.

진동감쇠계수 ξ는 철근콘크리트 구조의 경우 첫번째 모드에서는 3%, 그 외에서는 5% 정도를 사용한다. 설계하중을 산정할 때 하중계수를 사용하며 강도저감계수도 사용한다. 층간 최대변위량은 0.003h 정도이다.

3.2 손상 한계상태 설계

손상 한계상태 설계는 최대지반 가속도 0.15~0.18g 정도의 중간 크기의 지진하중에 대하여 구조물이 큰 경제적 손실을 받지 않도록 설계하는 것을 말한다. 손상 한계 상태에서 부재는 항복상태에 도달하지 않으므로 사용 한계상태의 경우와 같은 방법으로 구조물을 해석할 수 있으며, 5% 정도의 감쇠계수를 사용한다.

손상 한계상태 설계에서는 주로 비구조재의 손상에 대한 검토가 이루어 진다. 비구조재에 큰 손상이 발생하면 경제적으로 큰 손실을 받게되며 파편 등에 의한 인명 피해가 일어날 수 있다. 비구조재의 파괴를 방지하기 위해서는 구조재 사이에 있는 비구조재에 큰 힘이 전달되어 파괴될 수 있으므로 구조부재가 항복하지 않아야 하며, 또한 비구조재의 강도가 자중에 의한 지진하중을 견딜 수 있어야 한다.

우리나라의 내진규정에는 특별히 규정되어 있지 않으나 지진이 많은 외국의 경우에는 비구조재의 내진설계가 의무화되어 있다. 손상 한계상태의 부재설계에서는 하중계수나 강도저감계수를 사용하지 않는다. 최대 층간변위량은 비구조재의 허용변형값에 따른다.

3.3 붕괴 한계상태 설계

붕괴 한계상태 설계는 그 지역에서 예상되는 최대 지진하중이 발생할 경우 구조물이 붕괴되지 않고 하중을 지지할 수 있도록 설계를 한다. 이 상태에서는 심각한 구조부재의 파손이 발생되어 구조물은 비탄성적으로 거동하며 소성힌지가 형성된다.

탄성해석의 사용은 적합하지 않으며 단계적인 비탄성해석을 하여야 하지만 실용적으로 이용하기에 어려운 점이 많으므로 구조물의 연성에 따라 수정된 설계응답스펙트럼을 이용한 모드해석법을 사용할 수 있다. 이 상태에서는 비구조재의 대부분이 파괴된 상태이므로 비구조재의 강성은 무시

하고 구조물을 해석하며 하중계수는 사용하지 않는다. 구조부재의 충분한 연성을 확보하기 위하여 철근 배근상세에 유의하여야 한다. 최대 층간변위량은 P-Δ효과가 일어나지 않도록 제한되어야 하며 0.02h 정도이다.

4. 내진설계 지침

4.1 구조부재의 단면형태

응력이 집중되거나 비틀림 좌굴 또는 횡좌굴이 발생하지 않도록, 구조부재의 단면형태는 정방형 또는 원형에 가까운 것이어야 하며, 부재길이 방향으로도 급격한 단면변화가 없도록 하여야 한다. 또한 구조부재의 휨모멘트 강도를 충분히 발휘할 수 있도록 부재의 길이와 단면폭과의 세장비는 기둥의 경우 최대폭에 대하여 3.5배, 보의 경우 보높이에 대하여 4배 이상으로 제한하는 것이 바람직하다. 전단스팬비가 작은 부재는 부재의 양단이 휨모멘트 강도에 도달하기 전에 전단에 의한 파괴가 발생하며, "Deep Beam Action"에서는 부재단면의 변형도가 직선으로 변화하지 않고 부분적으로 일반적인 보이론의 경우보다 훨씬 큰 변형도가 발생하여 부재의 설계강도를 제대로 발휘하지 못하게 되므로 세장비를 크게하여야 한다. 부재의 세장비를 알맞게 설계한 경우에도 비내력 조적벽에 의하여 기둥의 세장비가 감소되는 경우가 있으므로 주의하여야 한다(그림 7 참조).

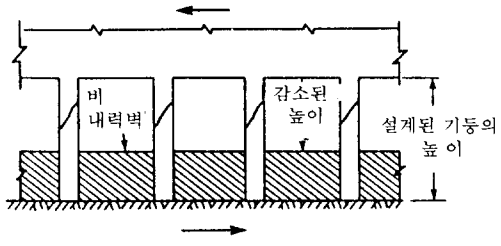

그림 7 비내력벽에 의해 기둥의 세장비가 감소되는 경우

4.2 구조부재의 파괴형상

전단파괴는 급격히 발생, 진전되고 휨파괴는 많은 균열과 변형을 수반하며 발생하므로 내진구조물의 설계에서는 가능한한 휨파괴가 발생하도록 설계를 하여야 한다. 휨파괴는 연성파괴로서 구조물 또는 부재의 파괴 진전상황을 관찰 또는 예측할 수 있으며, 부재의 에너지 흡수 또는 소산능력이 크다. 예를들면, 전단벽은 강성과 극한강도는 크나 연성이 작아 흡수할 수 있는 에너지 양이 작으며, 보의 경우는 극한강도는 떨어지나 연성이 커서 흡수할 수 있는 에너지 양이 많다. 부재의 연성을 확보하기 위한 방법은 여러가지가 있으며 같은 세장비를 갖는 부재의 연성은 철근비, 철근상세 등에 따라 큰 차이를 갖는다.

4.3 구조부재의 연성

철근콘크리트 부재의 내진설계에서는 구조물의 연성거동을 확보하고 전단파괴가 아닌 휨파괴로 유도하는 것이며, 기둥파괴가 아닌 보의 파괴로 유도하는 것이다. 구조물의 연성이 클수록 에너지 흡수능력이 커지고 반응수정계수도 커져서 더욱 안전하고 경제적인 내진구조가 된다.

구조물의 연성(system ductility)은 구조형식, 구조물을 이루고 있는 부재의 연성(member ductility)과 사용재료의 연성(material ductility)에 의하여 결정된다.

일반적으로 구조물의 연성은 그 구성부재의 연성보다 작고 부재의 연성은 재료의 연성보다 더 작다.

취성적인 재료인 콘크리트의 연성을 증가시키는 방법으로는 섬유보강 콘크리트, 폴리머 콘크리트, MDF콘크리트 등과 같이 연성재료를 혼합하여 콘크리트를 제조하거나 콘크리트를 구속시킨다. 횡구속된 콘크리트의 종국변형도는 크게 증가하며 콘크리트의 강도도 다소 증가한다. 콘크리트의 연성증가는 횡구속이 잘 될수록 즉, 횡구속 철근 (띠철근, 나선철근)의 양이 많을수록 커지며 콘크리트의 강도가 낮을수록 커진다. 철근콘크리트 부재는 연성이 좋은 철근과 취성재료인 콘크리트로 이루어져 있으며 콘크리트의 연성을 증가시키면 부재 전체가 연성거동을 하게 된다. 철근콘크리트 부재가 적절히 설계되면 철골구조에 비하

여 연성면에서도 크게 뒤지지 않는다. 실예로 ATC규정의 반응수정계수가 모멘트 골조구조에서 철골구조는 8, 철근콘크리트 구조는 7이다. 철근콘크리트 보에서는 철근비가 낮을수록 연성이 증가하며 철근비가 커지면서 연성은 급격히 감소하며, 압축철근을 배근하므로써 연성을 회복할 수 있다. 이와같이 철근콘크리트 보의 연성은 횡보강철근의 양 뿐만 아니라 압축철근의 양에 의해서도 크게 영향을 받는다. 철근콘크리트 기둥에서는 압축력이 작을수록 부재의 연성이 급격히 증가하므로 내진설계에서는 가능한 기둥의 축력을 평형하중 이하로 제한한다.

5. 철근콘크리트 구조물 내진설계 상세

철근콘크리트 구조물은 보, 기둥, 벽, 그리고 바닥이라는 4가지의 기본적인 구조요소들을 어떻게 조합하여 구조물을 형성하느냐에 따라 내진구조시스템이 달라지지만, 지진하중에 대한 내진성을 갖는 구조물의 설계를 위한 기본설계개념과 연결부위의 설계는 어느 시스템에서나 기본적으로 유사하다.

ACI 318-89에서는 내진설계에 관한 특별규정이 제21장에 수록되어 있다. 이 규준에서는 지진구역을 강진지역과 중진지역으로 나누어 규정하고 있다. 강진지역은 UBC의 Zone 3와 Zone 4에 해당하며, 중진지역에 관한 규정은 국내의 극한강도 설계규준과 동일하며 그 내용은 다음과 같다.

5.1 보 (그림 8 참조)

(1) 보의 전 구간은 복배근으로 한다.

(2) 보가 내력벽 또는 기둥과 연결되어 있는 부위에서는 그 부위에서 발생하는 부모멘트의 1/3 이상에 해당하는 정모멘트도 동시에 발생한다고 가정한다.

(3) 보의 어느 지점에서도 단면의 정 저항모멘트 또는 부 저항모멘트는 최대 저항모멘트의 1/5 이상으로 한다.

(4) 보의 양단에서 보 중앙방향으로, 보 유효높이의 2배 거리에 있는 구간을 D10 이상의 폐쇄형

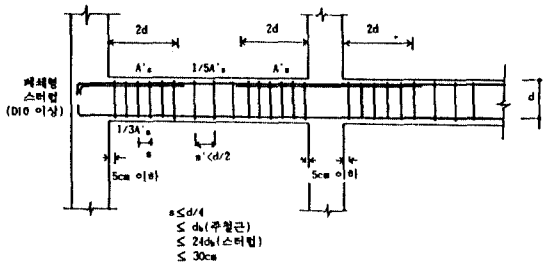

그림 8 보의 내진상세 규정

스터럽으로 전단보강을 한다. 이때 첫번째 스터럽은 보의 지지면으로부터 5cm 이내에 위치하여야 하며 스터럽의 최대간격은 다음의 값 중에서 작은 값 이하로 한다. ① 보 유효춤의 1/4, ② 주철근 중 최소철근 직경의 8배, ③ 스터럽 직경의 24배, ④ 30cm.

(5) 앞의 (4)항에서 정한 구간 이외의 구간에서는 최대 스터럽 간격을 보 유효춤의 1/2 이하로 한다.

5.2 기둥 (그림 9 참조)

(1) 띠철근 기둥이 수평구조 부재와 만나는 면

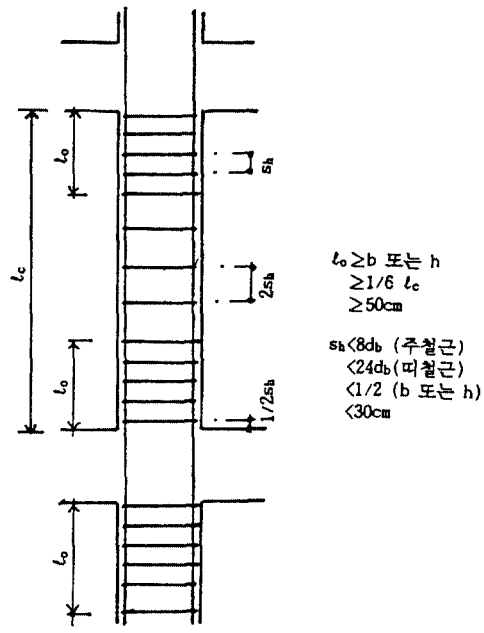

그림 9 기둥의 내진상세 규정

으로 부터 다음 ①, ②, ③항 중 최대값으로 결정되는 구간내에서는 다음 (2)항에서 정하는 간격에 따라 폐쇄형 띠철근으로 보강한다. ① 기둥 순높이의 1/6, ② 기둥단면의 장변길이, ③ 50cm.

(2) 위의 (1)항에서 규정한 구간에서의 띠철근 간격은 다음의 값 중 최소값 이하로 한다. ① 주철근중 최소 철근직경의 8배, ② 띠철근 직경의 24배, ③ 기둥단면의 단변길이의 1/2, ④ 30cm.

(3) 기둥이 수평구조 부재와 만나는 면으로 부터 첫번째 띠철근 까지의 거리는 위의 (2)항에서 결정되는 띠철근 간격의 1/2 이하로 한다.

(4) 위의 (1)항에서 결정되는 구간 이외의 구간에서는 띠철근 간격이 위의 (2)항에 규정하는 간격의 2배를 넘어서는 안된다.

(5) 기둥과 보의 연결부위 전단보강은 극한강도 규준 4.3.2를 따른다.

5.3 개구부가 있는 내력벽 (그림 10 참조)

(1) 개구부가 있는 내력벽은 개구부의 연단을 2개 이상의 D13 철근으로 보강하여야 하며 이들 철근은 개구부의 연단으로 부터 인장철근 정착길이

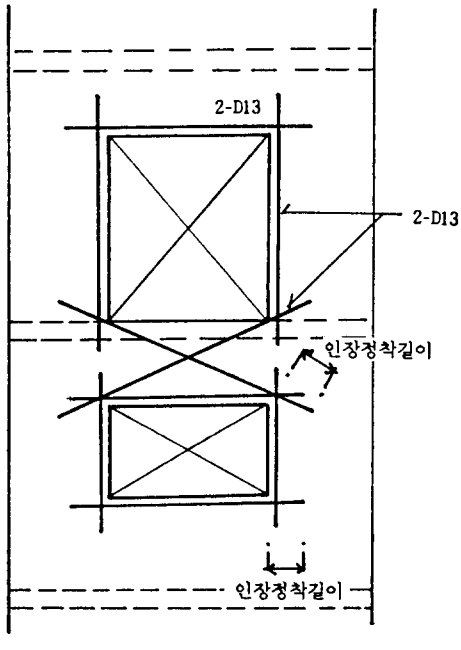

그림 10 벽 개구부의 내진보강상세

만큼 연장시킨다.

(2) 내력벽의 개구부가 건물의 수직방향으로 연속되어 있을 때에는 개구부와 개구부 사이의 벽체를 2개 이상의 D13 철근을 사용하여 대각선으로 보강하며, 이때 대각선 보강철근은 개구부 모퉁이로 부터 인장철근의 정착길이 만큼 연장한다.

5.4 극한강도 설계법에 의한 내진설계 특별규정

(1) 골조구조에서 계수 압축하중이 $0.1A_gf'_c$을 넘지 않는 부재의 배근은 "보"의 규정을 따른다.

(2) 골조구조에서 계수 압축하중이 $0.1A_gf'_c$보다 큰 부재의 배근은 그 부재가 규정에 따라 나선보강되어있지 않는 경우, "기둥"의 규정을 따른다.

(3) 지진하중에 저항하는 보, 기둥 및 2방향 슬래브의 설계 전단강도는 다음의 값보다 작아서는 안된다.

① 구속된 스팬 양단의 공칭 저항모멘트와 동일한 크기의 모멘트를 발생시키는 고정하중과 적재하중에 의한 전단력의 합.

② 지진하중을 포함한 설계하중의 조합으로 결정되는 최대전단력, 이때 지진하중의 크기는 "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙"으로 결정되는 값의 2배로 한다.

6. 내진성 향상을 위한 구조계획

내진성을 향상시키기 위하여 첫째, 골조 구성부재의 에너지 흡수능력을 증가시키며, 둘째, 지진입력 에너지를 감소시키며, 세째, 골조 전체의 에너지 흡수능력을 증가시키는 방법 등을 사용할 수 있다.

6.1 골조구성부재의 에너지 흡수능력의 증가

이 방법은 내진구조에서 기본적으로 요구되고 있는 사항이다. 그러나 변형능력을 증가시키면 부재의 강도가 저하되는 경우가 있으므로, 단지 변형능력 만이 아니라 변형과 강도를 곱한 값이 부재의 성능으로 파악되어야 한다. 철근콘크리트구조에서 기둥부재가 전단파괴될 가능성을 적게하

기 위하여 벽과 기둥부재를 절연시켜 기둥의 전단 스팬을 크게하고, 전단보강으로 띠철근을 보강한 것은 이러한 방법의 예로 들수 있다.

6.2 지진입력 에너지의 감소

일반적인 내진설계의 방법은 구조물이 지진력에 저항하도록 설계를 하는 것이지만 이와는 상반되는 방법으로 상부구조물을 하부구조물로부터 분리시켜 하부구조로 부터 상부구조에 전달되는 진동 혹은 지진력의 크기를 감소시키거나 차단하는 진동방지장치(base isolation device)와 이와 동일한 시각에서 인위적으로 건물의 감쇠력을 증대시켜 주는 제진장치를 건물에 설치하여 진동을 감소시키는 제진장치(bibration control device)의 사용을 들 수 있다.

그림 11과 같은 진동방지장치에 기본적으로 요구되는 기계적성능은 수평의 유연성(horizontal flexibility)과 에너지 소산능력(energy dissipation capacity)이다. 방진장치는 크게 탄성중합체형(elastomeric bearing)과 미끄럼형(sliding bearing)으로 구분되며, 때로는 두가지 형태가 복합되어 사용되기도 하고, 구조물의 일부분이 진동방지장치 작용을 하도록 설계되기도 한다. 탄성중합체형 진동방지장치는 일반적으로 적층의 고무질 베어링에 여러형태의 댐퍼를 첨가하여 구성한다. 수평연성 뿐만아니라 충분한 수직하중 지지능력을 지니고 있는 적층고무질 베어링은 지진하중 작용시 구조물의 고유주기를 연장시키는 역할을 하며 여러개의 댐퍼들은 에너지를 흡수하는 역할을 수행한다. 미끄럼형 진동방지 장치는 어떤종류의 주파수 성분 및 변위폭을 가진 지진작용에 대해서도 일정한 응답을 나타내며 공진 주파수를 포함하지 않는 것이 특성이며, 단지 미끄럼 마찰력에 해당하는 크기의 지진력만이 하부구조로 부터 상부구조물에 전달된다.

강진이 발생하거나, 미진이나 풍하중이 작용할 때 구조물의 진동에 대한 대책으로 진동제어장치가 제안되었으며, 수동형과 능동형으로 구분된다. 수동형에는 TMD (Tuned Mass Damper), TLD (Tuned Liquid Damper), VED (Viscoelastic Damper) 등이 있으며, HMD (Hybrid Mass Damper)는 능동형에 속한다. TMD에서는 시스템의 주파수를 건물의 주요 주파수와 일치시킴으로 진동발생시 중량은 공진현상을 나타내며 건물의 이동에 반대하는 방향으로 힘을 유발하여 진동을 제어한다. TLD는 기본적인 작동원리는 TMD와 동일하나, 건물의 이동이 적은 경우에 특히 효과적인 진동제어장치이다. VED는 건물의 전단벽 일부분을 형성하여 지진 및 풍하중 작용시 건물에 발생하는 진동에너지를 전단 변형으로 흡수하여 진동의 크기를 저감시킨다. HMD는 TMD와 Actuator가 혼합된 구성형태를 취하고 있으며 지진작용시 비틀림 변형을 억제하는 방향으로 무게중심에 제어력을 작용시킨다.

6.3 골조 전체의 에너지 흡수능력의 증가

골조의 각부분이 가진 에너지 흡수능력을 최대한으로 발휘하게하여 골조 전체의 에너지 흡수능력을 증대시킬 수 있으며, 누적소성변형배율을 균일하게 하여 에너지가 집중하지 않도록 하여야 한다. 이러한 방법으로는 붕괴형태를 보 붕괴형으로 하여 손상집중을 방지하는 방법과 에너지 흡수능

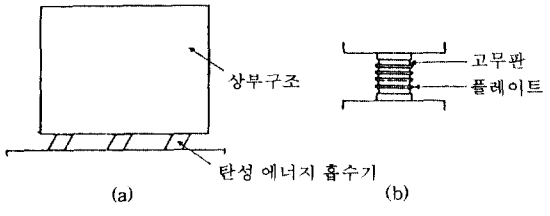

그림 11 진동방지장치

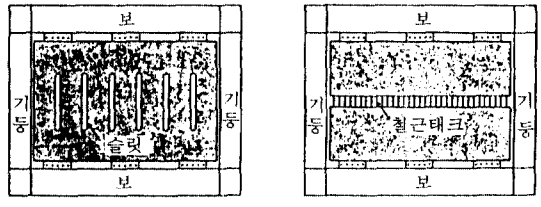

그림 12 특수 내진벽

력이 큰 내진벽을 라멘구조에 결합하는 방법이 있다. 에너지 흡수능력이 큰 내진벽으로 슬릿에 의해 분리된 철근콘크리트 열주로 되어 있는 슬릿내진벽 (그림 12(a) 참조)과 벽체의 일부가 변형능력이 좋은 강단주 (鋼短柱) 요소로 되어 있어, 벽체의 소성변형이 이 부분에서만 생기는 태크벽 (그림 12(b) 참조)을 들 수 있다. 라멘구조와 이러한 내진벽과의 혼합구조에서는 높은 강성이 확보되며 강성이 높은 내진벽이 지진입력에너지를 흡수하여 고성능의 내진기구가 형성되나 이러한 내진벽의 적용은 고도의 설계시공기술을 전제로 하고 있다.

7. 맺는말

구조물의 연성이 클수록 에너지 흡수능력이 커지며, 반응수정계수도 커져서 더욱 안전하고 경제적인 내진구조가 되므로, 철근콘크리트 구조물의 내진해석 및 설계란 구조물의 연성을 확보하는 것이며, 전단파괴가 아닌 휨파괴로, 기둥파괴가 아닌 보의 파괴로 유도하는 것이다. 또한, 앞에서 설명한 철근콘크리트 구조물의 내진설계 지침, 내진구조 시스템, 내진설계 상세, 그리고 내진성 향상을 위한 구조계획도 모두 이를 보장하기 위한 것이라 할 수 있겠다.

우리나라 고층건물의 대부분은 철골조(S조) 또는 철골 철근콘크리트조 (SRC조)로 건설되어 있으며, 현재 계획되고 있는 고층건물도 거의 S조 또는 SRC조이다. 그러나 철근콘크리트 구조의 고층화 및 대형화는 S조나 SRC조에 비하여 경제성이나 안전성이 인정되고 있다. 이를 실현시키기 위해서는 무엇보다도 재료 (콘크리트 및 철근)의 고강도화가 절실히 요구되며, 이에 따라 외국에서는 이미 이분야의 연구가 활발히 이루어져 실제 적용한 예가 많지만, 우리나라에서는 아직 이에 대한 연구가 다소 미흡한 실정이다. 특히, 건설시장 개방을 앞두고 국제 경쟁력을 갖추기 위해서는 고강도 콘크리트를 사용한 초고층건물의 연구개발에 박차를 가하여야 한다고 판단된다.

끝으로 본 소고를 작성하는데 도움을 주신 한양대학교 이리형 교수님, 건설기술연구원의 김긍환 박사님께 감사를 드리며, 본 글이 철근콘크리트 건물을 이해하는 데 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. 건설부 (1993), "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙."
2. 김긍환 (1992), "콘크리트 구조물의 내진설계," 제5회 전산구조공학기술강습회.
3. 김명한, 김상대 (1992), "내진구조해석을 위한 Design Spectrum의 연구," 대한건축학회 논문집, 제8권, 제5호, pp. 159-168.
4. 김소구 (1988), "지진현상과 한국의 지진위험해석," 대한건축학회지, 제32권, 제2호, pp. 8-11.
5. 김형걸 (1988), "지진과 건축구조물," 대한건축학회지, 제32권, 제2호, pp.5-7.
6. 대한건축학회 (1988), "극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규준 및 해설."
7. 민경원 (1992), "수동 동조 질량 감쇠장치를 이용한 고층건물의 진동특성," 대한건축학회 논문집, 제8권, 제4호, pp. 89-96.
8. 민경원, 홍성목 (1992), "복수의 TMD를 이용한 고층건물의 진동조절," 한국전산구조공학회 봄학술발표회 논문집, 제5권, 제1집, pp. 26-29.
9. 이리형 (1992), "초고층 RC조의 현실을 위해서는," 콘크리트학회보, 제11호.
10. 이리형, 이재연 (1988), "각국의 내진설계 규준의 현황," 대한건축학회지, 제32권, 제2호, pp. 20-25.
11. 정하선 (1988), "내진구조 상세," 대한건축학회지, 제32권, 제2호, pp.48-52.
12. 조순호 (1992), "진동방지 및 제어," 전산구조공학회지, 제5권, 제4호, pp. 29-40.
13. 최창근 (1988), "내진구조설계의 해석법," 대한건축학회지, 제32권, 제2호, pp. 34-38.
14. 한국과학기술원 (1988), "건축물의 내진설계 이론 및 기법," 산학협동학술강좌.
15. ACI (1989), "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89) and Commentary," ACI, Detroit, Michigan.
16. Akiyama, H. (1985), "Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings," University of Tokyo Press, pp. 372.
17. ATC (1984), "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings (ATC-3-06)." ■