



중량충격음에 대한 차음성능 실태와 대책

염성곤*

(삼성물산(주)건설부문 주택기술팀)

1. 최근 일본의 바닥구조와 바닥충격음

공동주택에서의 바닥충격음 대책은 경량충격음과 중량충격음 대책으로 나뉘며 그 중 중량충격음 차단성능은 구조체 구조 자체가 갖는 성능에 의해 크게 좌우되며, 마감재 등에 의한 개선은 어렵다고 할 수 있다. 최근에는 바닥의 사양이 구조적인 내력성능이 아닌 중량충격음 차단성능에 의해 결정되고 있다고 해도 과언은 아닐 것이다. 한편, 구조기술의 진보에 따라 중공 슬래브(void-slab), Half-PC, 역보 구조공법 등 바닥판 구조의 변화 뿐 아니라 대형 슬래브, 아우트프레임 등과 같은 건축구조, 건축기능에 따른 바닥구조로 변화되어 오고 있다. 여기에서는 이러한 바닥구조의 변화가 바닥충격음 성능에 미치는 영향과 그 설계 개념 등에 대하여 간단히 소개한다.

2. 보/기둥에 구속되지 않는 평면계획으로

기존 공법의 RC조 집합주택에서는 구조계획의 제약으로 인해 슬래브 면적 25㎡ 정도의 스펀으로 하는 것이 불가피하며 住戶(이하 세대)의 평면계획은 구조계획과 밀접하게 관계되어 있다. 즉, 세대내의 계획은 기둥이나 보의 위치에 의해 큰 제약을 받고 있어 사업주나 거주자의 세밀한 요구에 대응하는 것은 어렵다고 할 수 있다. 또한, 벽식 구조가 대부분인 미국, 유럽이나 한국과 비교하여 내진성능에 대한 법적인 제약이 엄격한 일본에서는 라멘구조가 주류가 되어 있으며, 기둥의 돌출

부가 존재함에 따라 가구의 레이아웃 등에 제약조건이 되고 있다. 그림 1에 나타내는 것과 같이 보 형태가 없는 매끈한 천정, 보/기둥에 구속되지 않는 자유스러운 평면 계획이 가능하게 된다면 건물의 의장적인 잠재력이 높아지고, 매력적인 판매기획을 세우는 것도 가능하게 될 것이다.

근래의 구조기술의 진보는 이와 같은 생각을 실현 가능할 수 있게 해 주고 있다. 대표적인 예로서는 세대내의 작은보를 없애는 것과 같은 대형슬래브 구조공법을 들 수 있지만, 최근에는 이와 더불어 아우트프레임 구조공법, 초대형슬래브 구조공법 등도 있다. 또, 자유평면(free-plan)이라고 하는 건축계획도 음환경에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.

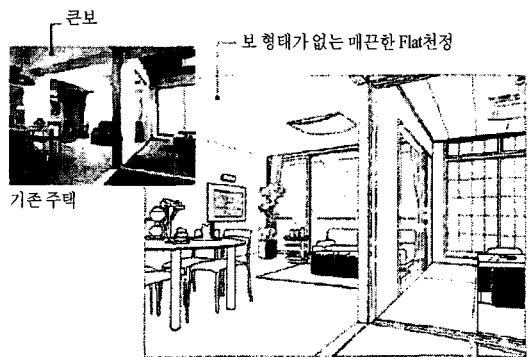


그림 1 기둥/보에 구속되지 않는 세대 계획, 자유로운 평면 계획

3. 대형슬래브

3.1 슬래브 두께 · 슬래브 면적과 바닥충격음의 관계
슬래브 두께에 따라 변화하는 경향은 있으나, 슬래브 면적이 늘어난다고 해서 반드시 중량충격음 차단성능이 저하되는 것은 아니다. 이는 정적인 변위와는 경향이 다르다고 할 수 있으며, 그림 2에 슬래브 두께와 바닥충격음 레벨 실측치와의 관계를 나타낸다. 슬래브가 두꺼워 짐에 따라 바닥충격음 레벨이 저하하는 경향이 있다는 것이 확인되었다.

바닥충격음 예측에 있어서 면적 무한대의 판 구동점 임피던스는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_{\infty} = 8\sqrt{Bm'} \cong 2.31\rho^{0.5}E^{0.5}h^2 \quad (1)$$

- 여기에서, B : 단면강성, m' : 면밀도 [kg/m^2],
- ρ : 콘크리트 밀도 [kg/m^3],
- E : 영률(Young's modulus) [N/m],
- h : 슬래브 두께 [m]

위 식으로부터 구동점 임피던스는 바닥두께의 2승에 비례하게 된다. 그러나, 바닥충격음은 구동점 임피던스 뿐만 아니라 공진의 영향 (판의 진동전파 감쇠)을 받게

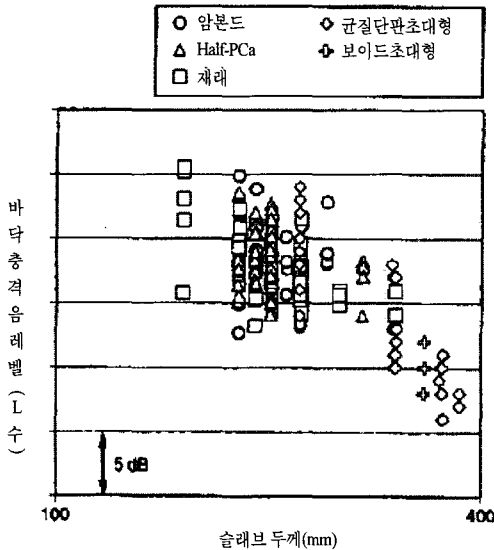


그림 2 슬래브 두께와 바닥충격음레벨의 관계

된다. 이러한 것을 고려하면 바닥충격음은 바닥두께의 2승보다는 적은 차수 (1.5승 정도)에서 반비례한다고 생각할 수 있다.

슬래브 면적과 바닥충격음의 관계에 대한 실측결과를 그림 3에 나타낸다. 일반적으로 슬래브 면적이 커질수록 슬래브는 두꺼워 지는 경향이 있기 때문에 이 그래프에서는 우선 무한대판의 구동점 임피던스의 변화에 착안하여 $L' = L + 40 \log(h/h_0)$ 가 되는 보정을 실시하였다. 이 결과로부터 슬래브면적이 커지더라도 바닥충격음 레벨은 저하되지 않는다는 것이 확인되었다.

판상의 1세대 1판으로 되는 대형 슬래브 집합주택의 경우, 1차 고유진동수는 거의 16 Hz 전후가 된다. 그러나, 중량바닥충격음 결정주파수가 되고 있는 63 Hz대역에 있어서도 고유진동수와와의 관계를 무시할 수는 없다. 경험적으로는 구형(矩形) 슬래브의 경우, 정방형에 가까운 경우에는 성능이 저하하는 듯한 느낌이 있으나, 그림 4에 나타내는 것과 같이, 실측 데이터를 정리한 경우, 슬래브 치수비와 바닥충격음과의 관계에 대하여 현재까지는 명확한 경향은 확인되고 있지 않고 있다.

3.2 콘크리트 강도와 바닥충격음과의 관계

이론적으로는 콘크리트 강도가 높아지면 바닥충격음 차단성능은 향상된다. 그러나, 무한대판의 구동점 임피던스 Z 는 슬래브 두께에 대하여서는 슬래브 두께의 2승에 비례하는 것에 비해 영률(Young's modulus)은 콘크리트 강도에 대하여 0.3~0.5승에만 비례하는 관계

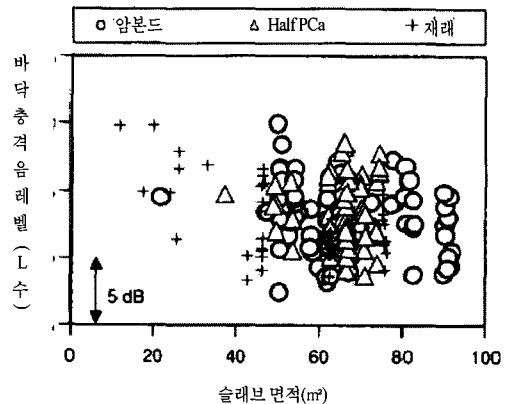


그림 3 슬래브 면적과 바닥충격음 레벨과의 관계

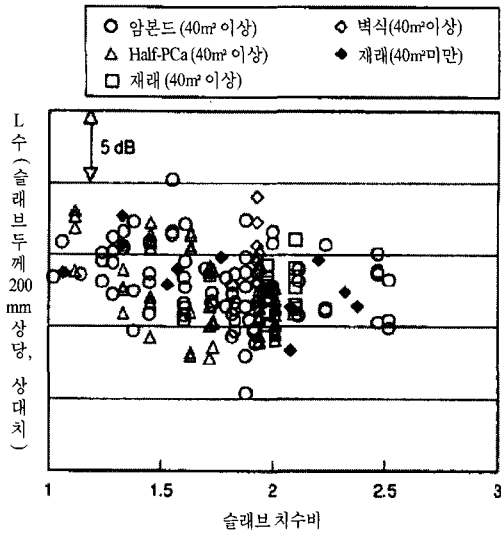


그림 4 대형슬래브 집합주택의 치수비와 바닥충격을 차단 성능 (L수)와의 관계

에 있기 때문에 콘크리트 강도의 변화의 영향은 적다고 할 수 있다. 그림 5는 층별로 콘크리트 강도가 다른 초고층 집합주택에 있어서 동일평면 위치에서의 구동점 임피던스 (전시간 응답)를 층별로 측정된 결과의 예이다. 여기에서 나타난 결과에서는 고유진동수가 변화하고 있는 경향이 보이고 있으나, 이론치에 대응하는 것과 같은 임피던스 레벨 자체의 변화는 확인되지 않고 있다.

4. 대형슬래브를 실현하기 위한 바닥판 구조

4.1 암본드 슬래브

암본드 슬래브 공법에 의한 강선의 긴장효과에 대하여서는 지금까지도 몇가지 검토결과가 보고되어 있다. 渡變 등은 프리스트레스 도입에 의한 모멘트의 변화율을 구하여 등가슬래브 두께로의 환산방법에 대하여 소개하고 있다. 이러한 결과 등으로부터 임피던스법에 의한 바닥충격음의 계산하는 경우에는, 암본드 공법을 채용한 경우에 임피던스 레벨을 3 dB 증가시키는 예도 보이고 있으나, 실측결과를 macro하게 보면, 이러한 경향이 꼭 분명하게 나타내는 것도 아닌 것처럼 보인다. 또, 横山 등이 지적하는 것과 같이 프리스트레스 도입에 의한 균열의 영향도 무시할 수 없다. 또 安岡 등은 시간변

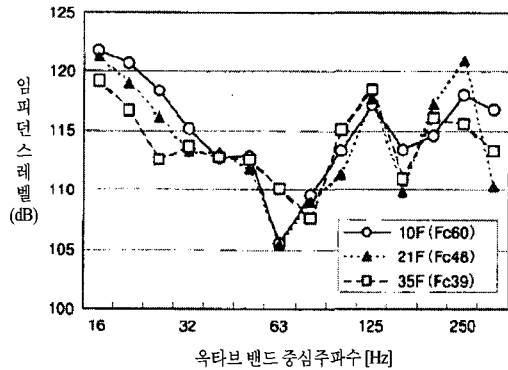


그림 5 콘크리트 강도의 변화에 따른 구동점 임피던스 측정 결과의 변화

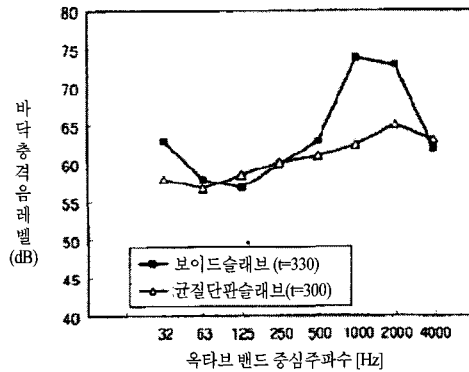


그림 6 중공 슬래브의 경량바닥충격을 성능저하

화의 영향도 포함하여 조사하고는 있지만, 현재 분명한 결론이 얻어지고 있다고 말할 수 없다. 따라서, 현 단계에서는 암본드 강선의 영향은 고려하지 않는 편이 좋을 것으로 생각된다.

4.2 Half-PCa 슬래브

시공자가 합성바닥판을 채용하는 주된 이유는, 공기 단축이라고 하는 면 뿐만 아니라 최종적으로 구입자에게 제공되지 않는 가설비의 절약이라고 하는 의미 또한 크다고 할 수 있다. 이것이 PCa판을 채용하는 이유라고도 생각할 수 있다. 또, PCa부재와 현장타설 콘크리트를 일체화된 바닥으로 볼 수 있으나 없느냐에 대하여서도 다양한 검토가 이루어지고 있다.

PCa부재 부분의 콘크리트 강도는 현장타설 콘크리트 보다 높게 제작되는 것이 일반적이지만 바닥충격음 차단성능의 관점으로부터는 PCa부를 고강도부재로 했다

고 해도 이 효과에 대하여 반드시 생각해야만 하는 것은 아니다. 이것은 앞에서 얘기한 콘크리트 강도와 구동점 임피던스의 관계에서도 나타난 것과 같다.

4.3 중공 슬래브 (Void Slab)

식 (1)에 나타낸 바와 같이 무한대판의 구동점 임피던스는 면밀도와 단면강성의 각각의 제곱근($\sqrt{\quad}$)에 비례한다. 중공 슬래브의 경우, 단면강성을 슬래브의 전체 두께와 거의 동일하게 유지시키면서 슬래브 자체를 가볍게 구성할 수 있다. 즉, 동일 면밀도의 균질단판 보다는 중량충격음 차단성능을 양호하게 할 수 있게 된다. 또, 충격 임피던스의 측정결과를 비교한 경우, 중공 슬래브는 일차 고유진동수 근방에서의 실측치의 저하가 다른 구조 공법과 비교하여 작아지는 경향이 있어 이러한 관점에서 유리하게 된다고 생각할 수 있다.

중량충격음에 대하여서는 단면강성과 밀도에 의해 거의 성능이 결정되지만, 공기음 차단성능과 경량바닥 충격음 차단성능에 대하여서는 대부분, 이론상 중공부의 성능에 의해 전체의 성능이 결정되는 경우가 많다. 즉, 그림 6에 나타낸 것과 같이 중공부의 존재에 기인하는 1kHz대역 전후의 공진 영향은 경우에 따라서는 공기음 차단성능과 경량충격음 차단성능에 치명적인 장애를 일으키는 경우가 있다.

이러한 문제에 대한 건축적인 배려로서는 이중바닥 또는 천장공간을 설치하는 것과 같은 방법을 들 수 있다. 이중바닥·천장의 설치는 중량충격음 차단성능에 대하여서는 악영향을 줄 수 있다는 것이 지적되고 있으나, 중고음역의 차음성능에 대하여서는 플러스(+)로 작용한다. 시각을 바꾸면, 최근의 경향이 이중바닥·천장 있음 구조이므로 중공 슬래브의 채용이 가능해지고 있다고 생각해야 할 것이다.

중공 슬래브의 고음역에서의 공진영향에 의한 성능 저하의 문제에 대하여서는, 최근 몇 가지의 대책안이 검토되어 보고되고 있다. 중공 형상을 단순히 작게 분할하는 것은 충분한 효과가 얻어지지 않으며, 최근에는 단면형상에 변화를 주어 공명투과주파수를 단일의 주파수에서 없애는 대책을 수립하거나 중공슬래브의 형상을 구형(球形)으로 한 것 등이 개발되기 시작되어 이러한 효과의 검증에 대하여서도 보고되기 시작하고 있다. 그러나, 이러한 개량안 중에는 단순히 공진주파수

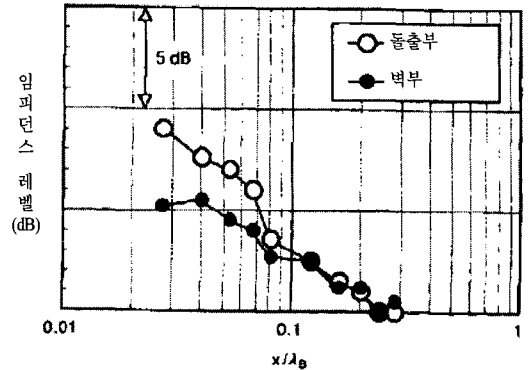


그림 8 아우트프레임 공법의 돌출창 부위의 임피던스레벨 상승량

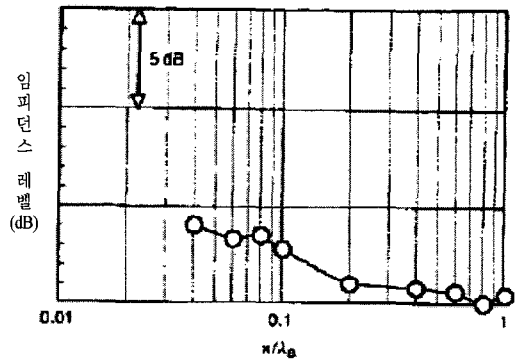


그림 9 암본드 슬래브 (t=220)에서의 아우트프레임 공법 벽체 부위의 임피던스 레벨 상승량

를 다른 주파수대역으로 이동시키는 것이나, 기존 방법과 비교하여 시공성이 떨어지는 것도 있으므로 적용하는 경우에는 음향성능의 관점 뿐만 아니라 여러 각도에서의 주의가 필요하다고 할 수 있다.

또, 중공 슬래브의 경우에 주의해야만 하는 것은 이방성(異方性)을 갖는 경우이다. 종래의 임피던스법에서는 이방성까지는 언급되어 있지 않기 때문에 강축만을 평가하는 경우도 적지 않다. 강축과 약축의 단면강성이 크게 다른 경우에는 성능의 차이에 대하여서도 배려할 필요가 있을 것이다.

5. 아우트프레임 구조 공법

보의 위치는 그림 7(a)에 나타낸 것과 같은 종래공법과 거의 동일하지만, 실내측에 기둥형이 없는 그림 7(b)

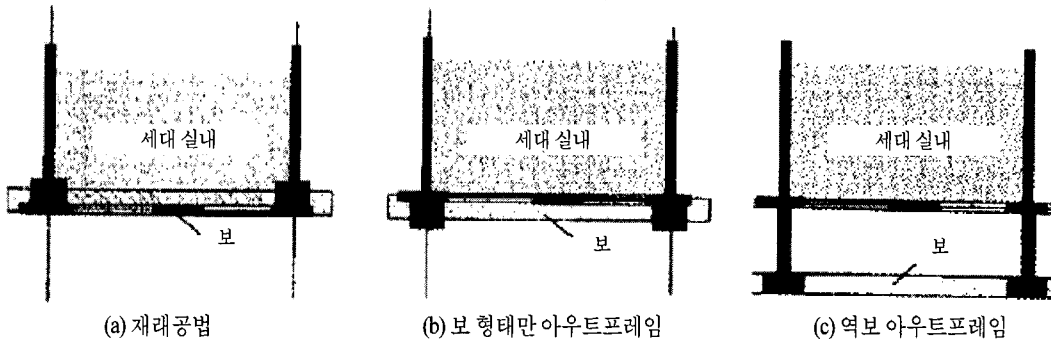


그림 7 아우트프레임 공법의 평면


와 같은 평면을 갖는 것을 아우트프레임 구조공법이라고 부르는 경우가 많다. 그러나, 본래의 아우트프레임 구조공법이라고 하는 것은, 그림 7(c)에 나타난 것과 같이 발코니와 공용복도를 갖는 동일 스펠 내에 역보 구조공법과 병용하는 (많은 경우, 면진공법을 병용한다.) 것이라고 생각해야 할 것이다. 이 경우, 보가 세대로부터 떨어진 위치가 된다. 따라서, 역으로 말하면, 발코니 층의 외벽선은 보의 위치보다도 발코니의 폭 만큼 후퇴한 위치가 된다. 통상, 2번 구속 또는 3번 구속이 되어 있는 남측의 LD실은 경계벽부의 1번, 또는 경계벽부의 인접하지 않은 2번 구속의 형태가 된다.

구속변이 감소하는 것은 임피던스법의 이론에 따라 단순히 생각하면 중량충격을 차단성능은 불리한 방향으로 작용한다고 생각할 수 있다. 그러나, 외벽을 RC조로 한 경우에는 벽에 의한 구속의 효과는 전혀 기대할 수 없는 것은 아니라고 할 수 있다. 외벽 RC벽부의 구속에 의한 충격임피던스의 변화의 측정예를 그림 8, 9에 나타낸다. 이 결과에서는 임피던스법에 의해 작은 보의 구속보다는 작지만 어느 정도의 구속효과가 확인되고는 있다. 그러나, 외벽부를 RC조로 한 경우에도 하이사시 등에 의해 개구부로서 사용되는 경우가 많은 부위이므로 구속의 효과가 기대할 수 없는 경우도 있다고 생각하는 것이 좋다.

6. 초대형 슬래브 공법

Flat slab 또는 단스팬보에 관한 기술개발, super-structure적인 발상이라고도 말할 수 있는 core-wall 구조

등의 병용에 의해 1세대 1스팬을 넘는 공동주택의 계획 사례도 증가하고 있다.

Flat slab를 채용한 건물에서는 슬래브 위를 전파하는 진동에 대하여 보에 의한 감쇠를 기대할 수는 없다. 전파에 있어서 어느 정도의 거리감쇠는 기대할 수는 있지만 기본적으로는 진동이 구조체 슬래브에 전파한 경우에는 동일층의 전체에 균일하게 확산된다고 생각해도 좋다. 이와 같은 경우에는, 동일 스펠 내에 인접 세대가 있게 된다. 동일 스펠 내에 설치된 건식 세대간 간막이 벽체의 존재가 슬래브의 진동성상에 영향을 주는 것에 대하여서는 몇몇 측정사례도 보고 되고는 있다. 그러나, 슬래브 두께가 두꺼운 경우에는 변화가 없는 경우도 있다. 

참고문헌

- (1) 日本音響材料協會, 2003, 〈特集〉座・床(床に求められる様々な性能, Vol.32, no.4, 通卷 No.124.
- (2) 古賀貴士, 田野正典, 1998, 大形スラブにおける實務的な床衝撃音予測手法, 日本建築學會計畫系論文集, 第511號, pp.23~29.
- (3) 古賀貴士, 田野正典, 2000, 寸法比に着目した大形スラブにおける重量衝撃音遮断性能の予測手法の検討, 日本建築學會計畫系論文集.