

양방향 슬래브 시스템의 바닥판 개구부

Floor Openings in Two-Way Slabs



오보환*
Bo-Hwan Oh



하태훈**
Tae-Hun Ha

무량판 구조 형식에서 기둥 주변은 모멘트가 최대로 발생하며 연직하중과 불균형모멘트로 인한 뚫림전단에 취약한 부분이다. 그러나 건축계획과 시공상의 요구에 따라 급배수, 공조, 소방설비 등을 위한 수직배관을 수직 구조부재 주변에 배치하는 것이 효율적이고, 이는 기둥 주변의 슬래브에 개구부를 발생시킬 수밖에 없는 결과를 초래한다. 본 기사는 미국 PCA 소속 엔지니어인 Michael C. Mota와 Mahmoud Kamara가 Concrete International 2006년 7월호에 투고한 기사를 번역한 것으로서 신축 및 기존 구조물의 슬래브에 개구부를 설치할 때 고려해야 할 사항들과 보강 방법에 관하여 상세히 설명하고 있다.

1. 서 론

대학교 건축학과 과정 중의 콘크리트 설계 수업 후반부에 양방향 슬래브 시스템의 설계에 관한 내용이 등장한다. 모든 건물의 슬래브에는 급배수, 소방설비, 공조 배관의 수직 통로를 확보하기 위한 작은 개구부와 계단실과 엘리베이터를 위한 큰 개구부가 존재하지만, 이에 관한 내용은 수업 중에 종종 건너뛰거나 극히 일부분만을 다루는 경우가 많다. 신축 건물의 슬래브 개구부는 그 위치와 크기를 건물의 설계 단계에서부터 계획하기 때문에 대부분 무리 없이 결정할 수 있다. 그러나 기존 건물에 추가로 개구부를 뚫어야 하는 경우에는 신축 건물에 비해 구조해석 과정이 더 어렵고, 구조적 보강이 필요할 수도 있다.

본 기사는 신축 건물과 기존 건물 모두의 양방향 슬래브에 대해 개구부의 위치와 크기 선정을 위한 가이드라인을 제공하기 위해 작성되었다. 작은 개구부들은 그 위치를 어떻게 결정하느냐에 따라 보강이 필요 없는 시공이 가능하다. 그러나 기존 건물에 개구부를 추가로 설치하는 경우에는 구조적 보강이 필요할

수도 있고, 구조 외적인 요구사항에 의해 개구부의 위치나 크기가 결정되는 경우도 있다. 본 기사의 후반부에는 이러한 경우에 대비한 보강 방법도 제시되어 있다.

2. 양방향 슬래브의 종류

양방향 슬래브에는 여러 가지 종류가 있지만 다음과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

- 1) 플랫폼플레이트 슬래브
- 2) 플랫폼슬래브
- 3) 양방향 보-슬래브

슬래브 개구부를 구조적으로 가장 유리한 위치에 두는 방법은 건물의 설계와 기존 건물의 평가 시에 어떤 종류의 양방향 슬래브를 사용하느냐에 따라 결정된다.

가장 시공이 간편한 양방향 슬래브는 플랫폼플레이트 슬래브라고 알려져 있다. 플랫폼플레이트 슬래브는 기둥에 의해 직접 지지되는 구조이므로 슬래브의 아랫면이 평평하다. 약 2.5 kPa 정도의 적재하중에 대해 전형적인 기둥 간격은 4.5 ~ 7.5 m이며 이때 필요한 최소 슬래브 두께는 150 ~ 250 mm 정도이다¹⁾. 더 큰 경간이 요구되는 경우에는 기둥과 연결되는 부위의 슬래브 두께를 증가시키는 드롭패널을 추가로 설치하는데, 이러한 구조를 플랫폼슬래브라고 하며 가장 경제적인 경간의 크기는 7.5 ~ 9 m, 슬래브의 최소 두께는 200 ~ 250 mm 정도이다. 양방향 보-슬래브는 기둥 사이에 보가 연결되어 슬래브와 함께 연직하중에 저항할 수 있도록 만들어진 구조이다.

3. 신축 건물의 슬래브 개구부

양방향 슬래브는 각 방향에 대해 주열대와 주간대로 나뉘어

* 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 수석연구원
bhoh@dwconst.co.kr

** 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 선임연구원

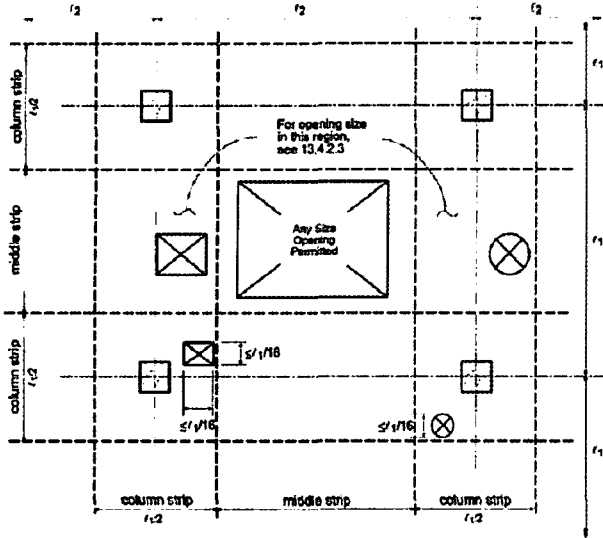


그림 1. 플랫플레이트 슬래브의 위치에 따른 허용 개구부크기($l_2 \geq l_1$)³⁾

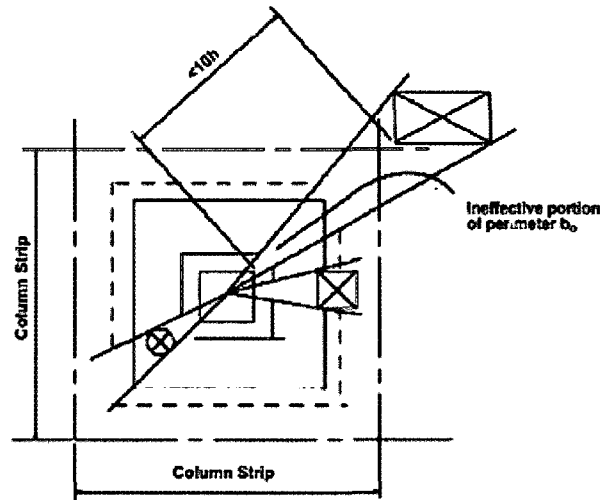
설계된다. 주열대는 기둥 중심선 양쪽 각 방향으로 짧은 쪽 경간의 4분의 1만큼의 내민 길이를 갖는다. 주간대는 전체 슬래브 중에 주열대로 둘러싸인 각 경간의 중심 부분을 말한다.

ACI 318-05²⁾의 13.4.1절에 의하면 해석을 통해 구조와 사용성을 만족하는 경우에 신축 건물의 슬래브에 어떠한 크기의 개구부라도 설치할 수 있도록 하고 있으며, 상세 해석이 불가능한 경우에는 다음 규정에 의해 플랫플레이트 슬래브와 플랫슬래브 상의 개구부 위치에 따른 개구부 허용 크기를 결정하도록 하고 있다(그림 1 참조).

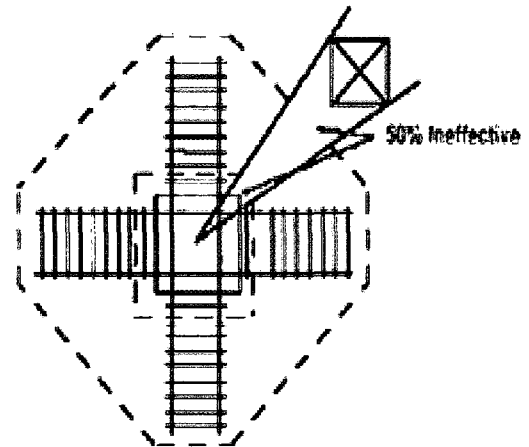
- 1) 주간대가 겹치는 부분에는 어떠한 크기의 개구부도 허용될 수 있다(ACI 318-05²⁾ 13.4.2.1절).
- 2) 주열대가 겹치는 부분에서의 개구부 크기는 슬래브 각 방향으로 주열대 크기의 8분의 1을 넘지 못한다(ACI 318-05²⁾ 13.4.2.2절).
- 3) 주간대와 주열대가 겹치는 부분에서는 슬래브 각 방향으로 배근된 주철근의 4분의 1 이상이 개구부에 의해 가로막히지 않아야 한다(ACI 318-05²⁾ 13.4.2.3절).

이러한 단순화된 대체 규정을 적용하기 위해서는 개구부가 없는 슬래브의 설계에 요구되는 철근의 총량에 변화가 없어야 한다. 즉, 개구부에 의해 가로막히는 각 방향 철근량만큼 개구부의 양쪽에 절반씩 나누어 배근하여야 한다.

휨설계에 필요한 요구조건에 추가하여 전단설계 시에 고려해야 하는 사항이 존재하는데, 주열대 내에 개구부가 존재하거나 집중 하중 또는 반력이 작용하는 지점으로부터 슬래브 두께의 10배 이내에 개구부가 있는 경우에는 슬래브의 전단강도를 감소시켜야



(a) 드롭패널이 있는 슬래브



(b) 전단철근이 있는 슬래브

그림 2. 주열대 내부 또는 기둥으로부터 슬래브 두께의 10배 이내에 개구부가 있는 플랫플레이트 슬래브나 플랫슬래브의 위험단면 둘레길이 b_0 감소 : (a) 전단머리가 없는 경우, (b) 전단머리가 있는 경우³⁾

한다. 슬래브 전단강도에 대한 개구부의 영향은 <그림 2(a)>에 표현된 바대로 기둥의 중심으로부터 개구부의 최외곽을 지나는 방사선을 그어 이것이 위험단면의 둘레길이 b_0 와 만나는 부분의 내부 길이만큼 위험단면의 크기를 감소시키는 방식으로 산정한다. 슬래브의 전단력을 기둥으로 안전하게 전달하기 위해 전단머리가 사용된 경우에는 위험단면의 크기 감소를 절반으로 감하여 산정한다(그림 2(b) 참조).

4. 기존 건물의 슬래브 개구부

기존 슬래브에 추가로 필요한 개구부 중 작은 것은 일반적으로 드릴을 이용해 소요 직경만큼 코어를 파내어 형성시키며, 큰

개구부는 원형톱이나 플런지 커팅(plunge cut)이 가능한 콘크리트용 전기톱을 이용해 잘라낸다. 원형톱으로 개구부를 형성시키는 경우에는 슬래브의 아랫면보다 윗면의 절단 길이가 더 클 수 있으므로 모서리 지점에서 파낸 작은 코어를 이용해 과도한 절단을 막을 수 있다. 기존 슬래브에 개구부를 설치하는 것은 신중히 접근해야 할 문제이며 되도록이면 피하는 것이 바람직하다⁴⁾. 기존 슬래브에 개구부를 설치하려면 먼저 개구부로 인해 슬래브 전체의 구조적 일체성이 영향을 받는지 검토해야 하며, 개구부의 크기와 위치에 관한 최종 결정을 내리기 전에 구조해석을 통해 슬래브에 과도한 응력이나 모멘트 재분배 등이 발생하는지 파악하여야 한다. <참고문헌 4>에 실려 있는 다음의 내용을 참고하면 슬래브 보강이 필요 없이 개구부를 설치할 수 있도록 초기 결정을 내리는 데에 도움이 될 수 있을 것이다.

4.1 기존 플랫폼레이트 슬래브와 플랫폼슬래브에 개구부 설치

플랫폼레이트 슬래브는 기둥 주변의 뚫림전단 성능에 의해 슬래브 두께가 결정되므로, 주열대가 겹치는 부분(그림 3의 영역 3)에는 되도록이면 개구부 설치를 피해야 한다. 이는 슬래브에 작용하는 전단력이 일반적으로 최대가 되는 외부 기둥이나 모서리 기둥 주변에서 특히 지켜져야 할 사항이다. 만약 배수관 등을 설치하기 위해 반드시 영역 3에 개구부가 설치되어야만 한다면, 그 크기를 300 mm 이내로 제한시켜야 한다. 또한 전술한 바와 같이 개구부에 의해 뚫림전단에 대한 위험단면의 크기가 감소하므로(ACI 318-05의 11.12.5절) 이 영역에 설치되는 개구부의 크기 산정에 유의하여야 한다. 주로 오래된 구조물에서 발견되는 현상으로, 슬래브에 발생하는 전단응력을 감소시키기 위해 기둥 상부에 주두를 설치한 경우에는 예외 조항을 둘 수 있다.

주열대와 주간대가 겹치는 영역 2에 설치된 개구부는 영역 3에 설치된 개구부보다 구조에 미치는 위험도가 더 작으므로, 경간의 15%를 넘지 않는 크기의 개구부가 이 영역에 설치되기도 한다. 구조적인 관점에서 보았을 때 가장 좋은 개구부 위치는 주간대가 겹치는 영역 1이다. 그러나 이 영역에 개구부를 설치하면 건축 공간의 기능을 저해할 가능성이 가장 많으므로 건축계획적인 관점에서는 가장 좋지 않은 개구부 위치라고 할 수 있다. 플랫폼슬래브에 개구부를 설치할 때 주의하여야 할 사항은 플랫폼레이트 슬래브의 경우와 거의 유사하다고 할 수 있다. 그러나 드롭패널로 인해 위험단면에서의 전단응력이 감소하므로 플랫폼레이트 슬래브의 경우보다 더 큰 개구부를 영역 3에 설치할 수가 있다.

4.2 기존 양방향 보-슬래브에 개구부 설치

양방향 보-슬래브에 개구부를 두는 경우에는 전단력의 상당

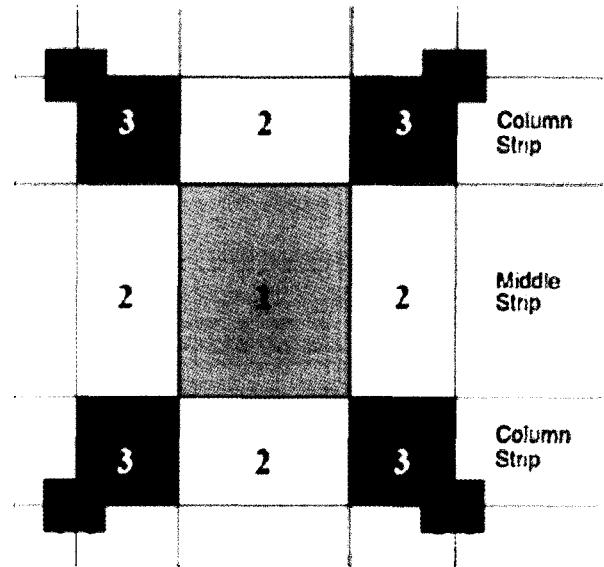


그림 3. 슬래브 개구부 영역⁴⁾

부분이 보를 통해 기둥으로 전달되므로 플랫폼레이트 슬래브의 경우와는 반대의 상황이 연출된다. 설치하려는 개구부가 보를 건드리지만 않는다면 경간의 4분의 1에 해당하는 폭을 가진 개구부라도 영역 3에 설치할 수 있다. 영역 2에 존재하는 개구부는 T형 보의 플런지 역할을 하는 슬래브의 거동에 영향을 미칠 수 있으므로 주의가 요구된다. 영역 1은 개구부 설치에 가장 좋지 않은 위치이지만, 경간의 8분의 1에 해당하는 개구부까지는 설치가 가능하다.

보 사이의 전체 슬래브를 제거하는 경우라도 여분의 내민 길이를 확보하여 인접한 슬래브에 배근된 철근의 정착길이를 확보하는 것이 유리하다. 또한 슬래브 제거로 인해 균형모멘트가 사라짐에 따라 보에 비틀림 응력이 발생할 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

5. 보강 방법

신축 건물의 슬래브에 개구부를 설치하기 어려운 경우에는 슬래브와 보에 추가적으로 요구되는 철근의 적절한 배근상세를 적용하거나 개구부 주변의 슬래브 두께를 증가시킴으로써 이를 해결할 수 있다. 구조적인 보강 없이 기존 건물의 슬래브에 추가적으로 개구부를 설치하기 어려운 경우에는 상황이 더욱 복잡해 지지만, 고려해볼 만한 보강 방안이 없는 것은 아니다⁵⁾. 최적의 보강방안을 선택할 때에는 보강량, 보강 위치, 건축계획적인 요구조건 등 여러 가지 요소들을 감안해야 한다.

휨강도를 증가시키는 가장 일반적인 방법은 관통 볼트나 후설치 앵커 등을 이용해 강판을 슬래브 표면에 부착시키는 것이다.


관통 볼트를 이용하는 방법이 단순하기는 하지만 바닥판 표면에 요철을 발생시키므로 슬래브 아랫면에 후설치 앵커를 이용해 강판을 부착시키는 방법이 더 많이 사용된다. 그리고 강판을 중첩시키는 것은 어렵기 때문에 한쪽 방향으로만 보강이 필요한 경우에 이 방법을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이와 비슷하게 FRP(fiber-reinforced polymer) 또는 SRP(steel-reinforced polymer) 시트를 이용하여 보강이 필요한 개구부 모서리에 양쪽 방향으로 겹쳐서 부착시킬 수 있는 방법이 있다. 이 방법은 강판 부착법에 비해 매끄러운 바닥판 표면을 확보할 수 있다는 장점이 있지만 상대적으로 더욱 숙련된 기능공이 필요하다라는 단점이 있다.

기존 구조체에 콘크리트 보가 있는 경우에는 보 사이를 가로지르는 철골보를 추가로 설치하는 방법이 있다. 이때 끼움재나 무수축 모르타르 등을 철골보 상부 플랜지와 슬래브의 아랫면 사이에 채워 넣어 균일한 지지력을 가질 수 있도록 하여야 한다.

기둥 주변에 대한 전단 보강이 필요한 경우에는 일반적으로 강재나 콘크리트를 이용한 기둥의 주두 보강을 통해 뿔뿔전단에 대한 위험단면의 둘레길이를 증가시키는 방법이 사용된다.

노출식 보강 방법을 사용할 경우에는 반드시 내화조건을 만족시키도록 해야 한다. 예폭시 접착제는 고온 하에서 강도가 급격하게 감소하기 때문에 이를 이용한 보강 방법은 주의 깊게 평가해야 한다. 보강의 정도가 낮은 경우에는 고온 하에서의 거동 평가 시에 노출식 보강에 의한 슬래브 강도 증가분을 무시할 수 있으며, 보강의 정도가 높은 경우에는 특별 내화 규정을 만족시키는 특수 코팅이 필요할 수 있다⁶⁾.

개구부의 위치를 결정하거나 보강 방법을 선택하는 데 있어서 경험은 가장 중요한 도구로 작용한다. 개구부 관련 프로젝트를 처음 수행할 때에는 조직 내 유경험자의 조언을 구하는 것이 바람직하다. 그들은 기존에 자신들이 수행했던 프로젝트에서 습득한 지식을 바탕으로 현재 프로젝트의 상황에 맞는 구조 상세, 개구부 위치, 보강 방법 등에 관한 사항들을 알려줄 수 있을 것이다. 

참고문헌

1. *An Engineering Guide to: Economical Concrete Floor Systems*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2005, 6pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-05) and Commentary (318R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 430pp.
3. *Notes on ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Concrete with Design Applications*, M.E. Kamara and B.G. Rabbat, eds., Portland Cement Association, Skokie, IL, 2005, 1008pp.
4. Newman, A., *Structural Renovation of Buildings-Methods, Details, and Design Examples*, McGraw-Hill, New York, NY, 2001, pp.239~246.
5. Alkhrdaji, T. and Thomas, J., "Keys to Success: Structural Repair and Strengthening Techniques for Concrete Facilities," *Structural Engineer*, Vol.5, No.4, May 2004, pp.24~27.
6. Alkhrdaji, T., "Concrete Q&A: Design Considerations for Fire Resistance of Structural Strengthening System," *Structural Engineer*, July 2004, available at www.gostructural.com.

도서소개

콘크리트 특집도서 시리즈

: 이 시리즈는 그간 각 분야별로 콘크리트학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구 결과 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자들이나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

저자 : 한국콘크리트학회, 출판사 : 기문당

- KCI SP1 레미콘 플랜트 설비와 콘크리트 품질
정가: 10,000원(회원:8,000원), ISBN:89-7086-631-0, 총쪽수:139쪽
- KCI SP2 콘크리트의 재활용
정가: 14,000원(회원:11,200원), ISBN:89-7086-632-9, 총쪽수:231쪽
- KCI SP3 유동화 콘크리트
정가: 11,000원(회원:8,800원), ISBN:89-7086-633-7, 총쪽수:174쪽
- KCI SP4 철근콘크리트 구조물의 내화특성
정가: 12,000원(회원:10,000원), ISBN:89-7086-634-5, 총쪽수:205쪽
- KCI SP5 콘크리트 미학
정가: 12,000원(회원:10,000원), ISBN:89-7086-764-3, 총쪽수:183쪽

