리모델링을 위한 최신 구조 보강 기법 2

State- of- the- art Structural Reinforcing Devices of Remodeling Buildings

슬래브 보강

이창남 / 센구조 건축사사무소
by Lee Chang-Nam

학교는 학생을 위해 설립하고 국가는 국민을 위한 조직인 것과 마찬가지로 건물의 가장 근본이 되는 것은 바닥 판 즉 슬래브이다. 바닥 판에 앉기도 하고 누어 자기도 하므로 거기 금이라도 생기면 신경이 날카로워져서 항의를 해 오는데, 알고 보면 슬래브에 금이 생기는 것이 당연하며, 어쩌면 정상이란다. 그래서 불평하는 사람들에게 그것이 아무런 문제가 없다고 설득하려 하지만 정작 속내를 알아보니 그 균열이란 것이 모두가 무시해도 되는 것은 아니라는 데 문제가 있다. 그러면 어떤 모양으로 생긴 균열은 위험한 것이고 어느 경우에 돈을 들여서라도 보강하여야 하는 것인지, 또한 어떤 방법으로 보강하는 것이 가장 합리적인지를 설명해 보기로 한다. 물론 요즘 유행어가 되어버린 리모델링을 위하여 이 공법을 활용하면 제격이 됨은 말할 것도 없다.

슬래브의 구조상 의미

건물을 짓는 목적의 대부분은 평평한 슬래브로 된 바닥 판을 얻기 위함이다. 20층 짜리 아파트이건 100층 짜리 사무실이든 간에 바닥 판이 없으면 아무런 쓸모가 없다. 바닥 판은 그 위에다 책상과 침대를 놓고 기거하기 위함이다. 보는 바닥 판의 하중을 기둥으로 보내기 위한 수단이고 기둥은 바닥 판을 지지하는 보의 하중을 기초에 전달해주는 매개체에 불과하다. 기둥과 보가 제 구실을 하지 못하면 상부 층 바닥 판이 아래층의 바닥 판에 포개져 내려서 시루떡처럼 되는 것을 우리는 삼풍백화점 붕괴 현장에서 똑똑히 보았다.

그러나 삼풍백화점이 무너진 것은 바닥 판이 보의 역할도 겸하도록 설계한 이른바 무량 판임에도 불구하고 설계와 시공 및 사용자가 잘못된 3중주를 연주했기 때문이다. 그러나 특별한 경우를 제외하고는 바닥 판이 주저앉아 사람이 다치는 일은 별로 없다. 여기서 특별한 경우란 캔틸레버 슬래브이거나 조적 조 위에 벽보(Wall Girder)도 없이 올려놓은 슬래브, 또는 용도를 바꿔서 사용 하중을 대폭 늘린 경우 등이다. 다만 지금 설명하는 바닥 판은 편의상 철근콘크리트 슬래브를 지칭한다.

바닥 판 주변에 제대로 된 보가 있으면 슬래브는 다소 구부러진다 해도 갑자기 주저앉아 사람이 빠져버리는 사고는 일어나지 않는다. 바닥이 구부러지면 기울어지고 물건이 낮은 쪽으로 미끄러져 내려서 불안하므로 그대로 사용할 수가 없다. 거기에다 금이라도 생기고 벌어진 틈으로 물이 스며들거나, 아래층이 내려다보이기라도 하면 이미 피난을 가기 때문이다.

고압 전선에 눈이 얼어붙거나, 빨래 줄에 이불을 널어놓으면 더 많이 처져서 포물선 형태를 이룰지언정 좀체로 끊어지지 않는다. 슬래브가 깨져서 틈이 완전히 벌어진 위에 올라가서 자기가 디디고 서있는 바닥 콘크리트를 망치로 깨는 철거 인부를 보면서도 무모한 짓을 한다고 말하지 않는 것은 잔뜩 구부러져 처진 철근이 그 인부가 아래로 떨어지지 않도록 막아줄 것을 기대하기 때문이다. 이는 서커스단이나 공사 현장에서 사람이 실수로 추락하였을 때를 대비하여 미리 설치하는

안전망처럼 휘청거리면서도 큰 하중을 받아주는 구조 시스템에 해당한다. 그 같은 망에다 바람이나 물이 새지 않는 헝겊 등을 씌우거나 헝겊 자체의 강도가 큰 것을 구조재로 활용하는 것이 이른바 막구조에 해당된다.

그러나 슬래브는 출렁거림을 인정하지 않는 딱딱한 바닥으로 두께와 스팬 비가 작은 얇은 판인 것이 특징이어서 전단 응력 보다는 휨 응력에 지배받는 것이 보통이다. 즉 콘크리트의 두께가 모자라서 전단 파괴가 일어나는 일은 별로 없고, 콘크리트의 압축 내력에도 여유가 있는 반면 인장 철근 부족이 하자의 원인이기가 쉽다.

여기서 막 구조와 슬래브의 다른 점은 막구조가 전단면이 인장 응력을 받는데 비하여 슬래브는 단면 내에 야기되는 휨모멘트를 인장 응력과 압축 응력이 일정한 간격을 두고 서로 밀고 당기면서 평형을 이루게 하는 것이다.

막구조가 부재의 인장 내력에 의존하는 것인데 반하여 아치 구조는 그 반대로 압축 내력을 주 응력으로 활용한다. 그러므로 옛날부터 벽돌이나 돌로 쌓은 아치 구조는 다소 둔탁한 느낌이 드는 것이다. 이렇게 정리하다 보니 슬래브는 막구조와 아치 구조의 중간 영역에 드는 것이라 설명해도 될 것이다.

이제 다시 슬래브에 초점을 맞춰 보기로 한다. 한 마디로 말해서 대부분의 슬래브는 콘크리트의 압축 내력에 여유가 있으므로 인장 철근을 보강하면 안전성이 확보된다.

그런데 슬래브가 양단 고정일 경우 중앙 하단보다는 단부 상단 철근이 더 많이 배근되는 것이 정상임에도 불구하고 시공 중 상단 철근이 자리를 이탈하여 아래로 가라앉아 제 구실을 하지 못하는 경우가 많다. 이 때 만약 중앙 하단 철근 량이라도 충분히 여유가 있다면 그런 대로 큰 문제없이 안전성이 확보되는 것으로 생각해도 되지만, 그렇지 못하면 보강을 하여야 한다. 보강은 앞에 거론한대로 슬래브가 무너져서 사람이 다치는 것을 방지하는 목적이 아니라 사용상 지장을 주지 않도록 하기 위한 것, 즉 구부러지는 값을 최소한으로 줄이는 것을 목표로 한다.

구부러짐이 억제되면 휨 인장 균열이 자동적으로 멎는 것은 말할 것도 없다. 여기서 대상으로 삼는 균열은 물론 구조 안전에 영향을 주는 것 즉 그대로 방치하면 구조 내력에 악영향을 줄 수 있는 것과, 이미 구조 안전상 문제가 발생하여 생성된 균열을 뜻한다. 이렇게 구분하고 보면 항간에 무분별하게 사용하고 있는 에폭시수지 주입을 재검토할 필요가 있다. 왜냐 하면 위에 설명한 구조 균열이라도 그대로 방치하면 구조 내력에 악영향을 줄 수 있는 것은 에폭시수지 등 고급 재료로 주입하는 것이 타당하겠으나, 구조 안전상 문제가 있어서 생성된 어쩌면 정상적인 휨 인장균열에 에폭시 수지 등의 경질 재료를 주입하는 것은 경우에 따라 오히려 해로울 수도 있기 때문이다.

왜냐 하면 초과 하중 또는 온도 응력 등 다른 원인들과의 합성 작용에 의한 휨 내력 부족으로 인하여 일시적으로 인장 측에 균열이 발생한 부위를 경질 재료로 잽싸게 채워 넣으면 앞의 초과 하중이나 온도가 원래대로 환원되어도 구조물이 원 상태로 돌아가지 못하도록 저지하는 역기능을 발휘할 수도 있기 때문이다. 휨 균열의 발생 원인이 슬래브가 구부러짐으로 인한 것이므로 이를 방지하기 위해서는 곡면으로 구부러진 슬래브가 다시 평면이 되도록 펴주는 것이 필요한데 구부러져서 벌어진 틈을 메워주면 원래의 평면으로 되돌아가지 못하게 한다는 뜻이다.

집에서 기르는 어린 강아지가 뒷다리를 들고 뛰는 것이 애처로워 동물병원에 보냈더니 석고로 깁스를 하고 왔다. 하루가 다르게 자라는 다리를 한 달 동안이나 고정시킨 것이 원인이 되어 성장이 끝난 지금도 다리 하나가 짧고, 구부러진 병신이 되고 말았다. 후에 알게된 일이지만 지금은 그런 무식한 깁스 대신 탄력 있는 반 고정 방법을 사용하여 성장에 지장을 주지 않도록 한다고 한다.

구조안전진단 보고서를 보면 폭이 0.3mm 이상 되는 콘크리트의 균열은 에폭시 수지를 주입하라는 것이 표준화되었을 정도가 되었다. 갈라진 틈이 앞으로 영원히 그대로 남아있을 수밖에 없는 형편이라면 콘크리트 모체보다 더 단단한 재료로 메워주겠다는 것을 마다할 이유는 없겠으나, 균열 보수의 목적이 구조물 강도 저하를 막거나 강도 증진에 도움이 되지 않는 바에야 굳이 값비싼 재료를 낭비할 필요는 없을 것이다. 즉 철근의 부식을 막기 위하여 공기 차단이 되는 값싼 재료로 충전시키거나, 표면에 페인트칠을 하여 공기를 차단하는 것도 무방할 것이다.

바닥 판이 구부러지면 그 바닥을 기초로 삼아 벽돌을 쌓고 타일을 붙이는 등 경질 재료로 마감한 부위는 변형 흡수 능력이 부족하여 균열을 유발할 수 있다. 또한 바닥 마감도 돌을 비롯한 경질 재료이거나 액체방수 등일 때는 역시 파손될 가능성이 많다. 그러므로 그 같은 하자를 방지하거나, 하자 범위를 최소한으로 줄이는 가장 효과적인 방법은 바닥 판이 구부러지지 않고 평면 상태를 유지할 수 있도록 조치를 취하는 것이다.

지금까지 발표되어 실무에 적용되는 슬래브 보강 방법 중 일반적이 것들은 슬래브 인장 측 표면에다 탄소섬유나 철판을 부착하는 것인데, 유감스럽게도 이들은 앞에 설명한 바대로 이미 구부러진 바닥 판이 더 이상 구부러지지 못하도록 저지하는 것을 목표로 하고 있다.

하지만 이미 구부러진 상태의 바닥 판에다 탄소 섬유나 철판을 특별한 방법을 써서 강제로 팽팽하게 펴 주거나 잡아당기면서 붙이는 것이 아니라, 생긴 대로, 어쩌면 조금은 주름잡히거나 구부러진 그대로 부착하는 것이어서 기존 구조물이 추가 변형을 일으킨 후라야 비로소 팽팽해지면서 기능을 발휘하기 시작하게 되는 것이다.

끈으로 상자를 묶을 때 양단을 팽팽하게 잡아당기면서 묶지 않으면 느슨해지는 것과 비교해 보면 쉽게 이해가 될 것이다. 수출품 나무 상자를 묶는 강철 밴드는 전용 공구를 사용하여 잡아 늘리면서 클립으로 정착하는 방법을 쓴다. 이것이 여기서 설명하고자 하는 슬래브 보강 요령의 기본이 된다.

슬래브 보강의 기본 조건

슬래브 위에는 일반적으로 마감 재료를 부착한다. 특히 우리나라 주거용 건물에서는 온돌을 난방 수단으로 사용하는 경우가 많으므로 마감 두께가 비교적 두껍다.

외국에서는 슬래브 콘크리트를 제물 마감하고 그 위에다 카페트를 까는 것이 흔한 일이나, 그러나 우리는 어쩐 일인지 슬래브를 거칠게 적당히 치고 나서 후에 시멘트 모르터로 레벨을 잡아 마감하는 것이 상식으로 되어 있다. 그러므로 구조 내력이 부족한 슬래브를 보강할 때 슬래브 윗면 2-3cm정도는 마음대로 활용해도 되는 경우가 많다.

강선을 이용하여 슬래브를 보강하는 방법을 처음 도입했을 당시에는 슬래브 양 단부 하단에 HILTI 고하중용 볼트로 정착단을 부착하고 거기에다 강선을 끼워 유압실린더로 긴장 정착하는 것을 시도하였다. 그러나 정착 단에 미리 뚫어둔 볼트 구멍에 맞춰서 슬래브에 여러 개의 구멍을 뚫다 보면 운이 좋아야 한번에 끝나고 그렇지 않을 때는 도중에 철근이 가로막고 있어서 난관에 부딪치는 일이 생기곤 했다. 드릴이 철근을 만나면 미끄러져서 바로 뚫어지지 않고 드릴 빗이 무뎌지게 된다. 때로는 정착단의 위치를 조금 이동시켜서 재 시도하거나, 내력이 더 큰 볼트로 교체해 보기도 하고, 강선의 긴장력이 다소 적어도 되는 경우에는 볼트 개수를 줄여도 되는가를 확인하는 것으로 대체하기도 했다.

그러므로 구멍을 뚫을 때 도중에 철근을 만나도 직선으로 쉽게 뚫을 수 있는 특수 드릴비트를 사용할 경우 1개에 20,000원이 넘으며, 그도 구멍 한 개를 뚫고 나면 못 쓰게 된다고 한다. 따라서 그 같은 부작용을 해소할 수 있는 새로운 공법을 개발하여야 한다.

공사 현장은 지저분하고 시끄럽고 먼지가 나는 것이 어쩌면 정상이지만, 기존 건물을 보강할 때는 용납되지 않는다. 보강 공사를 진행하면서도 건물을 사용하여야 할 때는 공사 기간도 최소한으로 줄여야 영업 손실이 감소하게 된다.

가능하면 보강하고자 하는 슬래브가 더 이상 구부러지는 것을 방지할 뿐만 아니라 이미 구부러진 것을 다소나마 원상으로 복원할 수 있도록 한다.

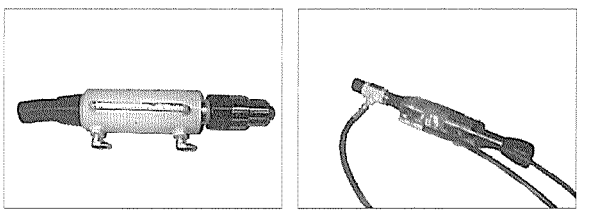
위와 같은 애로 사항을 해소하고 요구 조건에 만족한다고 해도 공사비가 너무 비싸면 채택할 수 없다는 것도 감안하여 기존 구조물 외부 인장 측에 강선을 정착시켜 긴장하는 방법을 채택하기로 한다.

정착단

초기의 강선 정착단은 철판을 용접하여 제작하였다. 그러나 중량이 커지고 가공비가 많이 들 뿐만 아니라 같은 규격의 정착단도 정확하게 동일한 모양으로 제작하는 것이 쉽지 않고 용접 열로 인하여 철판이 구부러지는 것을 보정하는 것은 거의 불가능하였다. 따라서 작고 가벼운 동일 규격의 정착단을 빠른 시일에 값싸게 제작하는 방법이 모색되어야 한다. 구상화 주철이나 주강을 사용하면 위 조건을 대체로 만족시킬 수 있다.

유압실린더

좁은 공간에서 강선을 긴장하면서 정착단에 장착하기 위하여는 유압실린더의 크기가 작고 중량이 가벼워야 하며, 정착 콘 부근에서는 꼬부라진 특수 어댑터가 필요하다. 또한 보강하고자 하는 슬래브의 스팬이라야 별로 길지 않으므로 강선을 긴장하면서 쐐기의 톱날 같은 나사에 강선이 물리는 과정에서 미끄러지지 않거나, 최소 화 하여 강선의 인장력 손실을 줄이는 조치가 필요하다. 즉 건축구조 보강 전용 유압실린더를 개발여야 한다. 현재 꼬부랑 유압실린더와 미끄럼 손실을 줄이기 위한 유압쐐기압입기를 제작 사용 중이다.



〈그림 1〉 건축구조보강 전용 유압실린더와 유압쐐기압입기

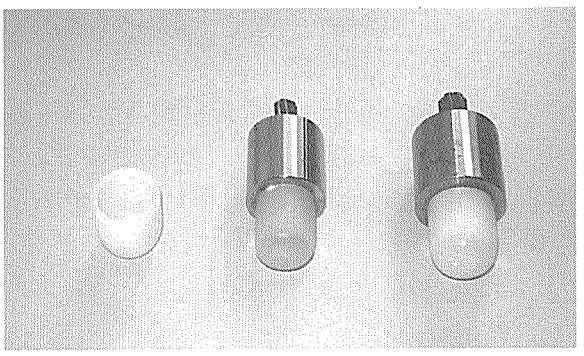
강선의 보호

강선을 자른 끝단을 보호하여 모양이 좋게 하고 녹이 나는 것을 방지하는 조치를 취하여야 한다. 또한 가능하면 부식 방지뿐만 아니라 내화 피복이 되도록 한다.

그러나 대부분의 경우는 보강에 적용한 와이어를 내화피복 하는 경우가 드물다. 이는 내화구조 규준 자체가 화재 발생 후 구조물을 그대로 또는 마감재만 교체하여 사

용할 수 있게 하는 것이 아니라 입주자의 대피 시간을 확보하기 위한 조치이기 때문에 대부분 기존 슬래브만으로도 내화성을 인정받을 수 있기 때문이다. 물론 주요 구조물이어서 내화피복이 필수적일 때는 강선 주변에 철망을 붙이고 재래식 내화피복 뿜칠을 하기도 한다.

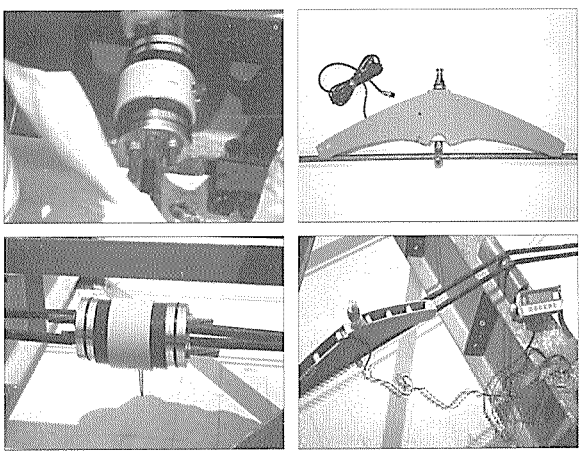
녹 방지를 위하여는 강선에 PVC 파이프를 씌우고 그 사이에 그리스를 주입한 것을 쓰거나 노출시킬 필요가 있을 경우 에폭시 코팅된 것을 사용하기도 한다.



〈그림 2〉 와이어콘 보호캡

강선의 긴장력 확인용 와이어텐션미터

유압실린더의 게이지를 읽으면서 강선을 긴장 정착한 후 시간이 흐르거나 정착단의 부실, 또는 정착콘의 미끄러짐 손실과 강선 자체의 늘어남 등으로 인하여 긴장력에 변화가 생길 수 있다. 또한 바람직한 변화이기는 하나, 슬래브가 원 상태로 복원함으로 인하여 강선의 긴장력이 줄어들 수도 있다. 이같은 변화를 검사하는 방법으로 사전에 로드셀을 부착하는 방법도 쓰고 있으나, 너무 많은 비용이 들게 되므로 건축 구조부재 보강 전용 와이어텐션미터를 개발하여 사용하고 있다.



〈그 림 3〉 로드셀과 와이어텐션미터

슬래브 보강의 실제 예

이상 몇 가지 요구 조건과 해결 방안을 실무에 적용한 것들을 소개하기로 한다. 물론 지금도 끊임없이 보다 합리적인 공법을 개발 중이므로 다시 더 합리적인 공법으로 대체될 수도 있으나, 그런 대로 실무에 적용하는데 별 문제가 없을 것이다. 이들 공법 모두는 이미 실용신안 등록과 특허로 등록이 된 것이므로 무단 복재를 하면 법의 제재를 받는 것은 말 할 것도 없다.

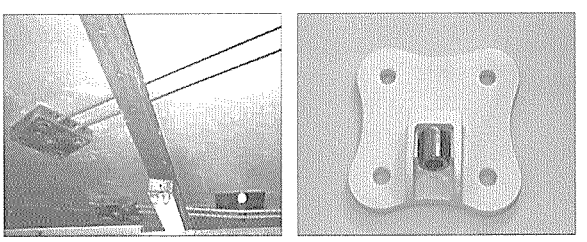
아래 슬래브 보강의 실제 예들은 각각 그 나름대로 특징이 있으며 장단점을 갖고 있으므로 상황에 따라 골라서 사용하면 유리하다.

(1) 4각대와 고하중용 볼트를 활용한 슬래브 보강

3층 바닥 슬래브는 3층에서 바닥으로 사용할 것을 목적으로 삼고 있으나 그 아래 2층에서는 천장으로 활용된다. 그러므로 3층 바닥 슬래브의 내력이 부족하여 보강하고자 할 때에는 2층과 3층 2개 층이 사용 제한을 받게 된다. 그러나 그 건물이 백화점 등 하루를 못써도 손해가 큰 경우는 2층이나 3층 하나만 사용 제한을 받아도 보강 공사가 가능하도록 하는 것이 더 바람직할 것이다.

4각대를 정착단으로 삼아 고하중용 볼트로 부착하여 3층 슬래브를 보강하는 방법은 2층 천장 속에서 작업할 수 있어서 편하기는 하지만 앞에 설명한대로 여러 개의 고하중용 볼트 구멍을 뚫는 과정에서 철근을 만나면 작업이 어려워지고 또한 드릴로 구멍을 뚫는 소리가 시끄러운 단점이 있다.

또한 정착단을 붙이는 부위 슬래브 콘크리트에 균열이 있거나 콘크리트 강도가 너무 약하면 불안하다.



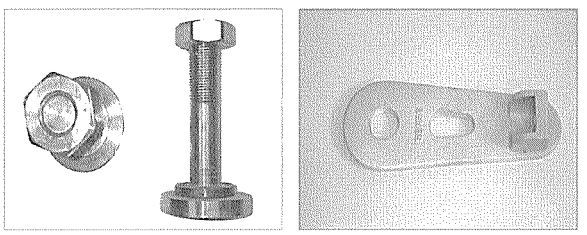
〈그림 4〉 4각대와 고하중용 볼트를 활용한 슬래브 보강

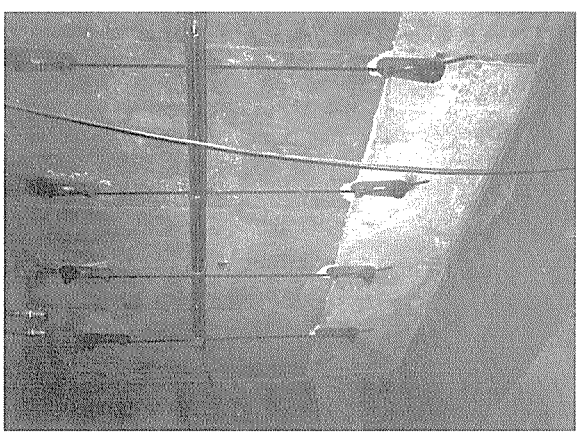
(2) 대구경 볼트와 슬리퍼를 사용하는 슬래브 보강

구멍을 뚫는 과정에서 철근을 만나도 걱정이 없는 것이 코어 보링 방법이다. 가끔 철근이 잘려 나가면 위험하지 않은가 고 질문을 하지만 정착단을 부착하는 곳은 휨모멘트 값이 크지 않은 위치이므로 별 문제가 없는 것이 대부분이다.

여러 개의 고하중용 볼트를 사용하는 대신 한 두 개의 대구경 볼트를 사용하는 것이 효율적일 수가 있다. 코어 보링은 소리가 별로 크지 않으며, 볼트 머리와 와셔의 크기를 늘리면 하중 전달이 원활해지는 장점이 있다. 또한 볼트 머리 일부를 슬래브에 묻히도록 특수 시공하면 돌 마감된 바닥에도 사용할 수 있다. 이 경우 바닥에는 전화선을 빼내 쓰기 위하여 막아두는 신주 뚜껑처럼 장식용으로도 손색없는 마감이 가능하다.

슬리퍼는 정착단의 이름으로 하나의 대구경 볼트로 부착하는 강선 정착단의 형태가 슬리퍼를 닮았다 해서 붙인 이름이다.



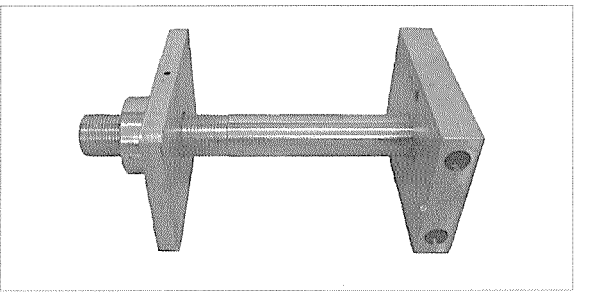


〈그림 5〉 대구경 볼트와 슬리퍼

(3) 콘볼트를 활용한 슬래브 보강

지금까지 모든 강선 정착단은 별도의 철물 정착단을 슬래브에 볼트로 부착하는 것을 원칙으로 삼았으나, 정착단과 볼트를 일체화한 효율적인 제품이 콘볼트이다.

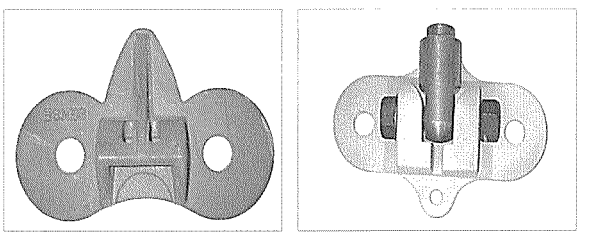
즉 대구경 볼트 머리를 원형이나, 6각, 8각 대신 4각형으로 만들고 거기에다 미리 강선을 끼워 정착할 수 있는 구멍과 쐐기 구멍을 뚫어둔 것이다. 강선을 슬래브의 상하면에서 동시에 긴장 정착할 필요가 있을 때는 4각형 와셔에도 볼트 머리와 마찬가지로 강선 구멍과 쐐기 구멍을 마련한다.



〈그림 6〉 콘볼트

(4) 매부리나 변각 4각대를 활용한 슬래브 보강

강선을 슬래브 표면과 평행하지 않고 각도를 주면서 긴장하면 더 효과적일 수 있다. 매부리는 각도가 크지 않고 고하중일 때 사용하고 각도가 클 때는 변각 4각대를 활용한다.



〈그림 7〉 매부리와 변각 4각대

슬래브와 보를 동시 보강하는 방법

꿩 먹고 알 먹는다는 말이 있고, 도랑 치고 가재 잡는다고도 한다. 구조 안전 진단 결과 슬래브만 내력이 모자라고 보에는 여유가 있을 경우 위 방법으로 슬래브만 보강하는 것으로 안전성을 확보할 수 있겠으나, 슬래브와 보 모두가 모자라면 온통 보강하는 수고를 하여야 한다. 어떤 때는 아예 헐어버리고 다시 짓고 싶을 때도 있다. 그럴 경우 아래 방법을 도입하면 좋다.

슬래브의 하중이 보를 타고 기둥으로 흘러가는 것이 힘의 경로이다. 그러나 슬래브가 주저앉을 것 같아 파이프 서포트로 받쳐 놓으면 안심이 된다. 공사 중 콘크리트의 양생이 불충분할 때 임시로 잭서포트를 고여 놓는 것도 하나의 요령이다. 이것은 슬래브의 하중이 보나 기둥을 거치지 않고 직접 아래로 이동하게 하여 슬래브는 물론 보와 기둥까지 간접 보강하는 효과를 얻는 것이다. 하지만 이 방법의 가장 큰 단점은 방 가운데 추가로 기둥이 서는 것이다. 그래서 슬래브의 하중이 보를 거치지 않고 직접 기둥으로 전달되게 하는 것이 본 보강 방법의 근본 요령이다. 다시 말하면 슬래브를 보강한 결과 보는 보강하지 않아도 되는 보너스를 얻는 것이다.

구체적으로는 2 가지 다른 방법이 있다. 아래 설명하는 양 방향 트러스는 주로 인장재를, 그리고 기둥 주변 까치발 치켜올림 방식은 주로 압축재를 활용하는 것이다.

〔1〕 양 방향 트러스를 이용한 구조 보강 방법

4 개의 기둥으로 둘러싸인 슬래브와 보로 이루어진 바닥 판을 그 4 개의 기둥에서 X 자로 대각선의 줄을 매고 줄 적당한 위치에서 슬래브와의 사이에 장대를 끼우고 줄을 잡아당기면 장대는 슬래브에 상향 하중이 작용하게 된다. 이는 위에서 내리누르는 슬래브의 하중과 반대 방향의 힘이어서 서로 비기는 효과가 있다.

X자 줄이 사용상 부담스러우면 중간에서 ㅁ자로 묶어주고 중앙 부위 X자를 잘라버리면 마치 옛날 사다리꼴 기초나 모임지붕 형태가 된다. 이 경우 4 귀퉁이의 정착단은 앞의 변각 4각대나, 매부리가 제격이고 장대는 여의봉이라고 이름 붙인 파이프 서포트이다. 서포트 위에는 베어링 플레이트가 붙고 아래에는 입체 3방향으로 강선을 끼워 정착할 수 있는 쇠뭉치가 달려 있다. 강선을 유압실린더로 긴장하는 것은 다른 것과 마찬가지다.

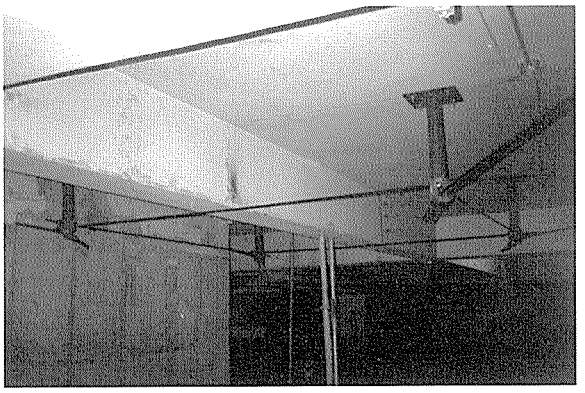
강선은 12.7mm와 15.2mm 두 종류의 굵기가 사용되므로 천장 바로 위에 배열하면 4 개의 장대로 둘러싸인 중앙 부분은 냉난방 덕트나 기타 다른 설비 등에 아무런 제약을 주지 않는 장점이 있다.

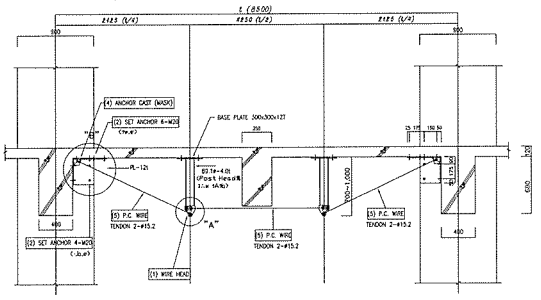
〔2〕 기둥 주변 까치발 치켜올림 보강 방법

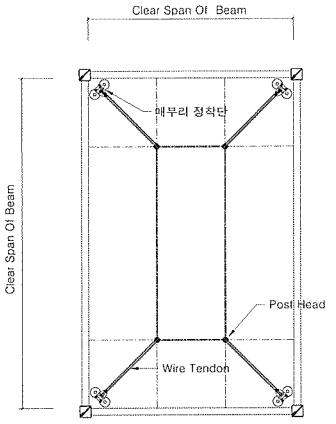
기둥 주변은 천장 높이가 다소 낮아도 사용상 지장이 없고 미관상으로도 큰 문제가 없을 수가 있다. 어쩌면 오히려 이를 이용하여 보기 좋게 꾸며도 된다. 기둥 4 귀퉁이에서 대각선 방향으로 슬래브를 강관으로 경사지게 밀어 올리는 작전을 말한다. 4 개의 가설 서포트를 방향을 틀어 기둥에다 모아주는 것이다. 압축재는 강관이 가장 효율적이며, 강관을 밀어주는 것은 역시 유압실린더를 사용한다. 강관을 잡아주는 정착단들이 기둥 표면에서 미끄러지지 않도록 정착하는 요령은 기둥에다 구멍을 뚫는 대신 긴 고장력볼트로 서로 잡아당겨 기둥에 압축력을 가하면 마찰력이 커지는 것을 이용한다. 이렇게 하면 기둥 단면을 띠철근으로 보강하는 효과가 있어서 압축내력이 증가하고 기둥 길이가 짧아져서 장주 효과가 없어지는 부수적인 이익도 얻게 된다.

이 방법도 위 양 방향 트러스를 이용한 슬래브 보강과 마찬가지로 까치발 끝까지의 기둥 주변을 제외하고는 천장 속 어디에도 제한을 주지 않는 장점을 갖고 있다.

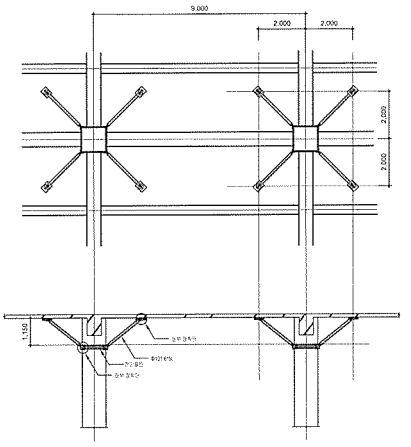
각 정착단들은 역시 구상화주철이나 주강으로 제작하여 품질의 균질성을 확보한다.







〈그림 8〉 양 방향 트러스를 이용한 구조 보강 방법



〈그림 9〉 기둥 주변 까치발 치켜올림 보강 방법

〈다음 호에는 보 보강 방법을설명한다.〉