

케미컬 앵커의 지지력 산정에 관한 실험적 연구

김용곤

한경대학교 안전공학과

1. 서론

사람도 나이가 들면 건강진단을 받고 그 결과에 따라 적절한 치료를 받아야 무병장수 할 수 있고 사고나 질병 시에도 그에 합당한 치료를 적기에 받아야 하는 것처럼 건축물과 사회기반 시설물들도 안전성을 검사하고 상태에 따른 적절한 보수 및 보강 공사가 이루어져야만 주어진 수명만큼 충분히 이용할 수 있고 사용기간중 안전성을 확보할 수 있다.

과거 우리나라의 건설정책은 신규사업 위주로 진행되어 왔으나 이제 어느정도 사회기반 시설물들이 갖추어지고 있고 또한 많은 시설물들이 건설 후 오랜 기간이 경과하여 이제는 기존 구조물들의 보수 보강 공사가 더 많은 관심을 불러일으키며 그 중요성도 부각되고 있다. 그에 따라 기존 철근 콘크리트 구조물의 잔존 내하력을 적정 수준으로 유지하거나 설계하중을 증가시키기 위한 보수 보강 공사가 활발히 진행되고 있다. 특히, 고도성장기에 건설된 많은 콘크리트 구조물들의 유지 및 보전을 위한 보수보강의 중요성이 급격히 증대되고 있고 이에 따른 보수보강 공법과 보수보강 재료의 국산화가 절실한 상황이다.

기존 철근 콘크리트 구조물 보수 보강 중에서도 특히 교량, 터널 및 지하철 등의 사회 간접시설물들의 보수는 국가적으로도 매우 중요한 사안이다. 이 연구는 터널 및 지하철 구조물의 보강 공사에 있어서 자주 발생하는 콘크리트 덧씌우기에 있어서 신규 콘크리트간 접착강도의 증진을 위하여 사용되는 chemical anchor bolt (혹은 adhesive anchor)를 이용한 보강 기술에 관련한 내용이다. 구조물 보수의 용도에 맞도록 상온 및 저온에서 사용 가능한 chemical anchor bolt의 성능을 시험하고 사용성을 검증하는 것이 이 연구의 목표이다.

2. 앵커볼트의 종류와 작용원리

앵커볼트는 Fig. 1과 같은 5종류가 쓰이고 있는데 종류에 따라 하중을 지지하는 방법과 형식에 약간의 차이가 있다. 먼저 (a)에 보인 cast-in-place 타입은 시공시에 콘크리트 내부에다 매립하는 방식이다. 다른 4가지 방식은 모두 경화된 후의 콘크리트에 천공을 하여 앵커를 설치하는 방식이다. (b)에 보인 undercut 타입은 천공시 홀의 끝부분을 넓게 만들어 놓고 끝이 갈라진 앵커볼트를 삽입하면서 압축력을 가하면 앵커볼트의 끝부분이 벌어지면서 넓은 공간에 끼워져 인발하중을 지지하는 구조이다. (c)에 보인 adhesive 타입은 천공된 홀의 내부에 epoxy 혹은 polyester 계의 접착제를 충전한 후 앵커볼트를 삽입하여 접착제와 앵커 사이의 접착력, 그리고 접착제와 콘크리트 본체 사이의 접착력으로 인발하중을 지지하는 구조이다. 볼트머리가 필요없으므로 좁은 공간에도 설치가 가능하고 건설공사시 사용되는 보통의 이형철근을 앵커로 사용할 수도 있으며 접착제만 있으면 시공이 간편하여 최근 많이 쓰이는 추세이나 아직까지 지지력에 대한 체계적인 연구가 거의 없었다. (d)에 보인 grouted 타입은 넓은 홀을 천공하여 앵커볼트를 삽입하고 그 위에 콘크리트 혹은 접착제로 grouting을 해주는 방법으로서 (a)와 (c)의 혼합된 방식으로 볼 수 있겠다. (e)에 보인 expansion 타입은 천공홀 안에 특수 제작된 볼트머리가 달린 앵커를 삽입하고 압축 또는 타정에 의해서 볼트머리가 횡방향으로 확장되어 볼트머리와 콘크리트 본체와의 마찰력으로 인발하중을 지지하는 구조이다.

이러한 앵커볼트들은 각기 다른 방법으로 하중을 지지하고 있으므로 앵커볼트의 지지력을 산정하는 방법도 다를 수 밖에 없다. ACI 349-90에 의한 앵커볼트의 지지력 계산식에 따르면 Cast-in-place 타입의 앵커볼트에서는 Fig. 2에서 보인 바와 같이 앵커볼트 머리의 가장자리에서 사방으로 45°의 각도를 갖는 원기둥을 그려서 그 바깥 경계면을 파괴면으로 보고 수평면에 대해 파괴면의 면적에 대한 투영면적을 구한다(1). 앵커볼트의 파괴가 콘크리트의 파괴에 의해 좌우된다면 앵커볼트의 지지력은 그 투영면적이 인장에 저항하는 힘과 같으므로 투영면적과 콘크리트 인장강도의 곱으로 설명될 수 있고 Eq. 1과 같다.

$$N = f_{ct} \cdot A_n \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, N 은 앵커볼트의 인장지지력, f_{ct} 는 콘크리트의 인장강도, A_n 은 영향원의 투영면적이며 매립깊이와 볼트머리의 직경을 알면 기하학적으로 계산할 수 있다. 한편, 독일의 Stuttgart 대학에서는 실험적 결과에 의하여 약간 다른 식을 만들어 냈고 CCD method (Concrete Capacity Design method)라고 이름 붙였는데 두 식은 결국 같은 원리에서 출발하였으나 CCD method 에서는 많은 실험결과들을 토대로 보정 단계를 거쳤다는 점이 다르다(2). Eq. (2)에서 CCD method 에 의한 인장지지력 계산식을 보였다.

$$N = k_{nc} \sqrt{f_{ck}} \cdot h^{1.5} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, 계수 k_{nc} 는 cast-in-place 이면 $k_{nc} = 40$ 이고 post-installed 이면 $k_{nc} = 35$ 이다. f_{ck} 는 콘크리트의 압축강도이며 h 는 매립깊이이다.

Fig. 1의 (b)에 보인 undercut 타입의 앵커볼트도 결국 앵커볼트의 끝단에서부터 cone형상의 파괴면이 형성되고 파괴면을 따라 인장파괴가 일어난다는 점에서 파괴 거동이 cast-in-place 타입과 대단히 유사하며 실제 실험결과에 의하면 cast-in-place 타입에 대해 유도된 위의 두 식을 이용하는 데 아무런 문제가 없는 것으로 보고되고 있다(3).

다음으로 Fig. 1의 (e)에 보인 expansion 타입의 앵커는 홀의 내부 벽면과 볼트머리 사이의 마찰력으로 인발하중을 지지하는 구조이므로 그 마찰력은 볼트머리 부분의 바깥쪽으로 조이는 힘 혹은 확장되려는 힘(expansion force)에 좌우된다. 그러므로 각 모델별로 각기 다른 실험적 결과에 전적으로 의존하는 수밖에 없으며 그 실험결과들은 제조사에서 공급하는 것이 일반적인 관례로 되어 있다. 이제 남은 (c)와 (d)의 adhesive 타입과 grouted 타입은 홀 내부에 채워진 접착제와 본체 콘크리트의 벽 내부와의 접착력에 의해서 인발하중이 결정된다는 점에서 유사점이 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 adhesive 타입의 앵커볼트는 파괴형상이 (a)와 같이 앵커자체가 인장파괴되지 않는다면, (b)와 같이 표면에서의 cone형상 파괴와 접착부의 인발 파괴가 동시에 오거나 (c)와 같이 접착부의 순수한 인발 파괴로 지배되는 것으로 실험에 의해 나타났다. 결과적으로 앵커볼트의 인장강도가 충분하고 접착제의 성능이 신뢰할 만한 수준이라면 대개의 경우 (b)와 같이 인발과 콘크리트 표면파괴의 복합적인 형태로 나타났다(4, 5). 그리하여, adhesive 타입과 grouted 타입의 앵커볼트에 대해서는 아직 이렇다할 지지력 계산식이 제안되어 있지 않은 상황이다.

3. 실험과정

실험은 1.8m x 1.8m x 0.6m의 콘크리트 슬랩을 제작한 후 상부에 케미컬 앵커들을 설치하고 형강으로 하중지지대를 만들어 각각에 대하여 인발실험을 수행하는 방식으로 진행되었다. 콘크리트의 28일 압축강도는 270 kg/cm^2 이었고 슬랩프는 15cm 였으며, 굵은 골재 최대치수는 25mm였다. 앵커볼트는 건설 현장에서 흔히 사용되는 SD40의 25mm 철근을 사용하였고 접착제는 국내 R사의 제품을 사용하였다. 실험장치의 set up은 Fig. 4에 보이는 바와 같다. 콘크리트 슬랩 위에 두개의 ㄷ자 형강을 약 1m 간격으로 세워두고 그 위에 두 개의 I형강을 ㄷ자 형강과 직교하게 올려놓은 다음 그 위에 유압실린더를 놓기 위한 철판을 올리고 유압실린더를 설치하였다. 유압실린더의 최대용량은 30t 이었다. 또한,

앵커볼트는 상자형 프레임에 너트를 이용하여 고정되었고, 그 프레임의 상부는 고강도 강봉에 고정되어 유압실린더를 통하여 강봉을 당기면 상자형 프레임과 동시에 앵커볼트가 위로 당겨지도록 제작되었다. 강봉의 상부에는 너트가 설치되어 유압실린더가 강봉을 지지하여 당기도록 제작되었다.

4. 실험결과

실험은 접착제가 충분히 경화되도록 앵커볼트를 설치한 지 24시간 후에 실시하였고 실험시 대기의 온도와 콘크리트 표면의 온도는 20°C였다. Table 1에서 실험결과와 첫 줄은 스페이서가 설치되지 않은 시험체이고 둘째 줄은 2mm 철판으로 만든 스페이서가 앵커볼트의 끝 부분에 설치된 시험체, 다음 줄은 4mm 철판으로 만든 스페이서가 앵커볼트의 중간 부분에 설치된 시험체, 그리고 그 다음은 4mm 철판으로 만든 스페이서가 앵커볼트의 끝 부분에 설치된 시험체이다. 실험 결과는 Table 1에 보이는 바와 같이 스페이서가 설치된 시험체들의 인발 지지력의 전체 평균이 스페이서가 설치되지 않은 시험체들의 평균에 비하여 최대 4%까지 높게 나왔으나 이것은 무시해도 상관없는 차이라고 보여진다. 그 보다는 하중-변위 이력곡선에서 피크를 지난 후의 곡선모양에서 약간의 차이가 나는 것을 알 수 있다(Fig. 5).

5. 결론

본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론들을 이끌어낼 수 있다.

1. 케미컬 앵커볼트의 인발지지력은 천공 홀의 직경이 증가함에 따라 증가하게 되나 직경에 비례하여 증가하지는 않았고 스페이서를 설치하는 것은 최대 인발 지지력의 직접적인 상승 효과는 없었지만 하중-변위 곡선이 피크를 지난 후 잔류지지력의 증가를 가져왔다.
2. 직경 25mm의 이형철근을 앵커볼트로 사용하고 매립깊이를 직경의 10배로 하였을 때 초속경 접착제를 이용하여 저온에서도 상온에서와 거의 같은 인발 지지력을 얻을 수 있었다. 또한, 물이 차 있던 부분의 습기를 제거하고 앵커볼트를 설치한 경우 처음부터 건조한 부분에 설치한 시험체에 대한 실험결과와 거의 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 습기가 남아있는 곳에 설치한 시험체에서는 접착제의 경화가 이루어지지 않아서 충분한 지지력을 확보할 수가 없었다.
3. 콘크리트 표면의 파괴가 방지되어 있는 경우에도 지지력은 거의 차이가 나지 않았으나 순수한 부착파괴의 형태를 보임으로서 하중-변위 곡선에서는 최대 지지력 이후의 거동에서 차이가 나는 것이 관찰되었다.

참고문헌

1. ACI Committee 349, Code requirements for nuclear safety related concrete structures (ACI 349-90), American Concrete Institute, Detroit, 1990.
2. Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J. E., "Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete", ACI Structural Journal, V. 92, No. 1, January-February 1995, pp. 73-94.
3. Cook, R. A., Collins, D. M., Klingner, R. E., and Polyzois, D., "Load deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors", ACI Structural Journal, V. 89, No. 6, November-December 1992, pp. 639-649.
4. Choi, D., Kim, Y., "Pull-out test of retrofit anchors using deformed reinforcement and adhesive", KCI Concrete Journal, V. 11, No. 3, July 1999, pp. 201-210.
5. Choi, D., Kim, Y., "Direct shear test of retrofit anchors using deformed reinforcement and adhesive", KCI Concrete Journal, V. 12, No. 1, January 2000, pp. 91-100.

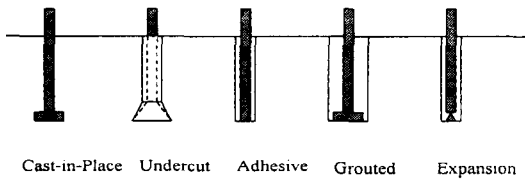


그림 1. 앵커볼트의 종류

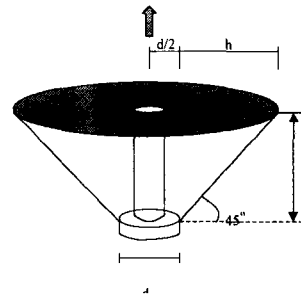


그림 2. 앵커볼트의 파괴메커니즘

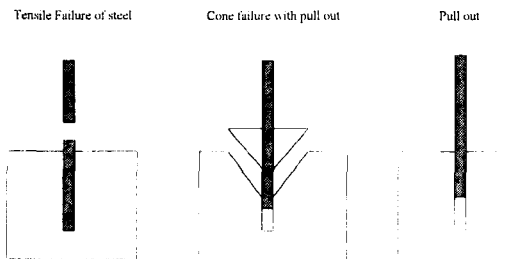


그림 3. 케미컬 앵커의 파괴모드

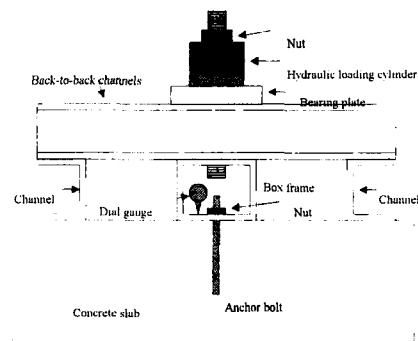


그림 4. 실험장치의 개요도

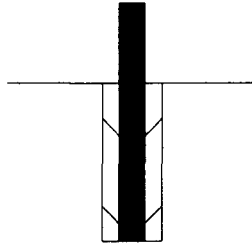
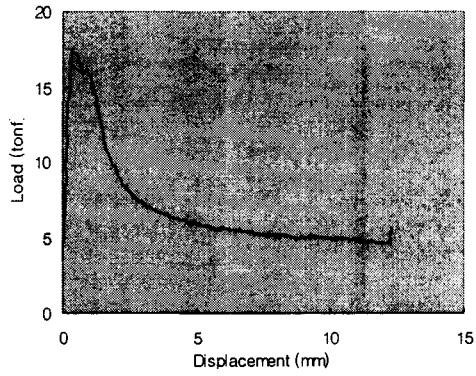
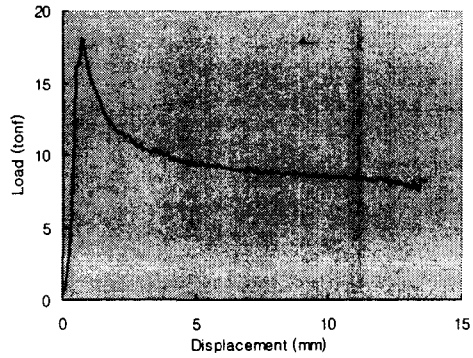


그림 5. 앵커볼트에 부착된 스페이서



(a) 스페이서가 없을 때



(b) 스페이서가 있을 때

그림 6. 하중-변위 곡선