

콘크리트보수용 접착제를 이용한 Anchor Bolt의 인발지지력 산정에 관한 실험적 연구

김 용 곤

한경대학교 안전공학과

(2002. 4. 26. 접수 / 2002. 6. 7. 채택)

Performance test of Chemical Anchor Bolts for Concrete Repair

Yon-gon Kim

Department of safety Engineering, Hankyong National University

(Received April 26, 2002 / Accepted June 7, 2002)

Abstract : A research on the performance of retrofit anchors was conducted using adhesives for rehabilitation. From the pull-out tests of the chemical anchors, the effect of the hole diameter, spacer, temperature, moisture, embedment depth, and aging time were investigated. The spacer did not directly increased the pull-out load but increased post-yielding resistance therefore the ductility of the retrofit anchors. When the hole was cleaned and dried after the immersion, the pull-out load was greatly increased compared to the wet hole. A design equation was proposed depending on the embedment depth of the anchor bolt.

Key Words : chemical anchor bolt, rock bolt, retrofit, deformed reinforcement CCD method

1. 서 론

과거 우리나라의 건설정책은 신규사업 위주로 진행되어 왔으나 이제 어느 정도 사회 기반 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 간접시설물들

의 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 작용 원리

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 인발 하중을 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 인발 하중을 지지하는 구조이다. 볼트머리가 필요없으므로 좁은 공간에도 설치가 가능하고 건설 공사시 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.

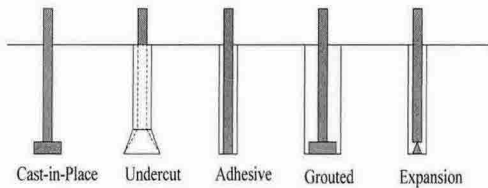


Fig. 1. Types of anchor bolts

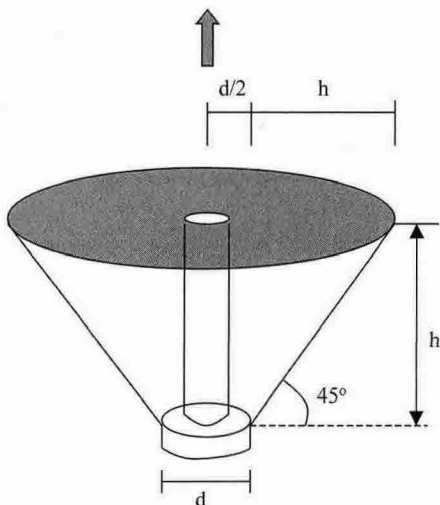


Fig. 2. Failure mechanism of a cast-in-situ anchor bolt

이러한 앵커볼트들은 각기 다른 방법으로 하중을 지지하고 있으므로 앵커볼트의 지지력을 산정하는 방법도 다를 수밖에 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 구한다¹⁾. 앵커볼트의 파괴가 콘크리트의 파괴에 의해 좌우된다면 앵커볼트의 지지력은 그 투영면적이 인장에 저항하는 힘과 같으므로 투영면적과 콘크리트 인장강도의 곱으로 설명될 수 있고 식 (1)과 같다.

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

여기서, N은 앵커볼트의 인장 지지력, 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 method에서는 많은 실험결과들을 토대로 보정 단계를 거쳤다는 점이 다르다.²⁾ Eq. (2)에서 CCD method에 의한 인장 지지력 계산식을 보였다.

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

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

Fig. 1의 (b)에 보인 undercut 타입의 앵커볼트도 결국 앵커볼트의 끝단에서부터 cone 형상의 파괴면이 형성되고 파괴면을 따라 인장파괴가 일어난다는

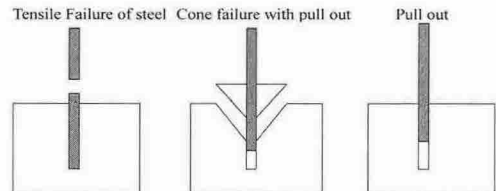


Fig. 3. Failure types of adhesive anchor bolts

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 있다³⁾.

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 확장 되려는 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 인발 하중이 결정된다는 점에서 유사점이 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 adhesive 타입의 앵커볼트는 파괴형상이 (a)와 같이 앵커자체가 인장파괴되지 않는다면, (b)와 같이 표면에서의 cone 형상 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

3.1. 실험장치

실험은 1.8m×1.8m×0.6m의 콘크리트 슬래브를 제작한 후 상부에 케미컬 앵커들을 설치하고 형강으로 하중지지대를 만들어 각각에 대하여 인발 실험을 수행하는 방식으로 진행되었다. 콘크리트의 28일 압축강도는 270kg/cm²이었고 슬럼프는 15cm였으며, 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 C자 형강을 약 1m 간격으로 세워두고 그 위에 두 개의 I형강을 C자 형강과 직교하게 올려놓은 다음 그 위에 유압실린더를 놓기 위한 철판을 올리고 유압실린더를 설치하

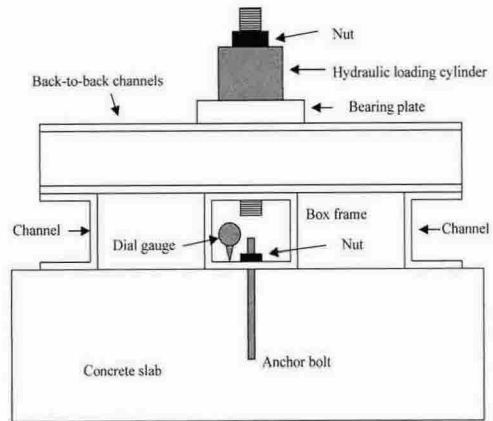


Fig. 4. Experimental setup and test method

였다. 유압실린더의 최대용량은 30t이었다. 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.

3.2. 앵커볼트의 설치와 실험방법

앵커볼트를 설치하기 위해서는 먼저 콘크리트 슬랩에 천공을 하고 천공된 홀을 닦아서 먼지와 레이턴스(laitance)를 완전히 제거하였다. 또한, 습기를 완전히 제거하기 위해 필요시엔 진공청소기(vacuum)와 압축공기(air compressor)를 이용하였다. 그리고, 홀 내부에 접착제를 투입하고 난 후 앵커볼트를 삽입하여 접착제에 의해 완전히 부착되도록 고정시켰다. 유압펌프를 통하여 하중을 가하고 이때 유압실린더에 작용하는 하중은 압력계(pressure transducer)를 통하여 측정되었다. 앵커볼트의 상단에는 직선 변위계(LVDT)가 설치되어 앵커볼트의 인발시 변위를 측정하였다. 하중과 변위는 데이터 리코더를 통하여 수집되었고 컴퓨터를 통하여 데이터 리코더가 작동되고 수집된 데이터는 컴퓨터에 기록되었다.

실험변수는 먼저 천공홀의 직경을 40mm로 하였을 때와 50mm로 하였을 때의 두가지로 하였고 다음은 앵커볼트의 위치 고정을 돕는 스페이서를 설치하였을 때와 설치하지 않았을 때의 두 경우로 나누어 실험이 수행되었다. 콘크리트의 표면이 건조할 때와 젖어 있을 때를 비교하여 실험하였고, 온도에

따라 그리고 매립 깊이에 따른 실험도 수행되었다. 또한 같은 조건에서 매립했을 때, 시간에 따라 접착제의 강도 발현에 따른 인발 지지력의 변화를 알아보기 위하여 매립 후 시간을 달리하여 인발 실험을 실시하였다. 실험에는 저온에서도 사용 가능한 초속경 접착제를 이용하여 상온과 저온에서 각각 실험이 수행되었다. 모든 실험은 3회 실시하여 3개 데이터의 평균을 구하여 실험결과로서 사용하였다. 시험체의 파괴는 하중-변위 곡선에서 인발 지지력이 최대값을 넘어 변위가 증가할 때 지지력은 감소하게 되거나 그것이 명확치 않은 경우에는 앵커볼트 직경의 3배 이상 변위가 발생했을 때를 파괴로 정의하였다.

4. 실험결과

4.1. 천공홀의 직경과 스페이서 설치 유무에 따른 결과

먼저 천공홀은 40mm의 직경으로 코어링 했을 때와 50mm의 직경으로 코어링 했을 때로 나누어 실험을 수행하였으며, 또한 앵커볼트의 위치고정용으로 스페이서를 설치했을 때 스페이서가 인발에 대한 저항능력에 영향을 주는지의 여부를 알아보기 위하여 스페이서가 설치된 앵커볼트와 스페이서가 설치되지 않은 앵커볼트의 실험을 수행하였다.

스페이서는 Fig. 5와 같이 앵커볼트의 위치를 홀 내에 고정시켜 주는 장치이다. 스페이서는 위로 경사져 있으므로 앵커볼트 설치시에는 아래로 눌러 설치하면 되지만 인발 시험 시에는 인발 하중에 저항하는 효과가 있을 수도 있고 또 한편으로는 스페

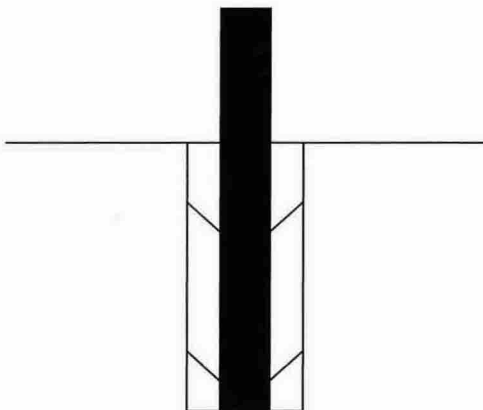


Fig. 5. Spacer in the anchor bolt system

이서의 위치에서 표면파괴의 원인인 cone 형상의 파괴면 형성의 요인이 될 수도 있으므로 이와 같은 실험을 실시하여 스페이서로 인한 영향을 관찰하였다. 앵커볼트의 매립깊이는 지름의 10배인 250mm였다. 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. 그보다는 하중-변위 이력곡선에서 피크를 지난 후의 곡선모양이 차이가 나는 것을 알 수 있다.(Fig. 6) 이 차이는 인발 하중 작용시 접착제와 콘크리트 본체와의 부착 파괴가 일어난 후 앵커볼트가 뽑혀 올라가는 과정에서 스페이서와 콘크리트 홀 내부와의 마찰 저항 효과에 의한 것으로 보여진다. 그러므로, 스페이서의 형태나 설치 유무는 최대 인발 지지력에는 거의 영향이 없으나 하중-변위 이력곡선에서 피크를 지난 후의 잔류 지지력에는 스페이서로 인한 약간의 추가 저항 효과가 관찰되었다. 구조계의 연성(ductility)이 증가했다는 측면에서는 긍정적인 효과라고 보아진다.

한편, 천공 홀의 직경이 40mm에서 50mm로 증가한 데 대해서는 평균적으로 약 8% 정도의 인발 하중 증가가 있었다. 천공 홀의 증가로 인한 마찰 면적의 증가는 직경에 비례하여 약 20% 증가되었지만 파괴는 순수한 부착파괴가 아니므로 8% 정도의 증가에 그친 것으로 보인다. 실험이 실시된 시점에서

Table 1. Pull-out resistance for different hole diameter and spacer

	d=40mm	d=50mm
w/o spacer	16.02	17.44
2mm at end	16.37	17.85
4mm at mid-depth	16.55	17.53
4mm at end	16.41	18.12

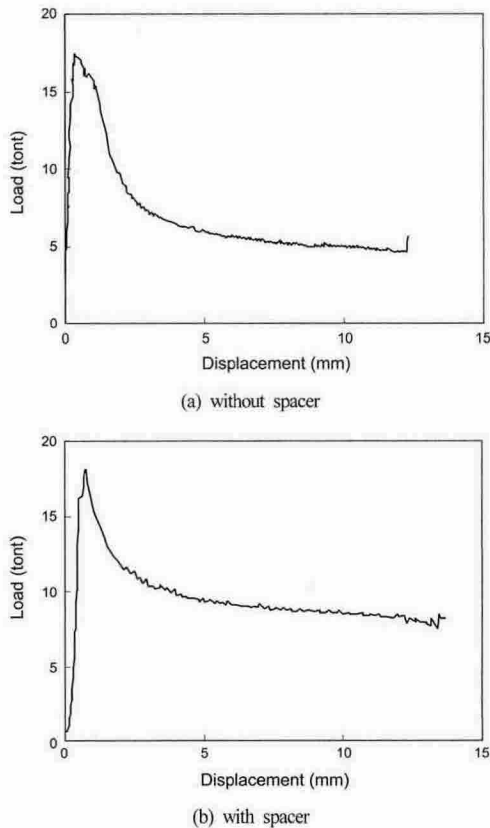


Fig. 6. Load-displacement curve

는 이미 접착제가 완전히 경화된 후이므로 천공 홀의 직경에 따른 지지력의 변화가 크지 않았지만 접착제가 완전히 경화되기 전에 실험했다면 경화속도의 차이만큼 지지력의 차이가 있을 것이다. 즉, 접착제의 경화는 발열반응이고 온도에 영향을 받으므로 천공 홀이 크면 더 많은 양의 접착제가 사용되어 내부 온도가 빨리 높아질 것이고 경화시간도 빨라질 것이다. 이와 같은 결과는 다음절에서 보여지고 있다.

4.2. 저온에서 천공 홀의 직경과 습도, 경화 시간을 변수로 실험한 경우

대기의 온도가 6°C이고 콘크리트 표면온도가 4°C일 때, 천공 홀의 직경을 40mm와 50mm로 하여 홀 안의 습도와 경화시간을 다르게 하고 실험을 실시하였다. 저온이므로 초속경 접착제가 사용되었다. Table 2에서 보이는 Wet/Dry 조건은 천공 홀 내부를 24시간 이상 물로 가득 채워 놓았다가 앵커볼트 설

Table 2. Test results with different humidity and curing time

		Wet/Dry	Wet
40mm diameter	1 hour	4.37	1.79
	5 hour	8.72	2.65
	24 hour	16.10	2.46
		Wet/Dry	Dry
50mm diameter	1 hour	5.53	5.96
	5 hour	10.51	10.22
	24 hour	17.71	18.30

치 직전 습기를 제거한 시험체이다. 습기제거는 3단계로 나누어 시행되었다. 먼저 진공청소기(vacuum)를 이용하여 천공 홀 내부의 물기를 흡입하고 다음으로 마른 헝겊을 이용하여 내부 벽면의 물기를 닦은 후, 다시 압축공기(air compressor)를 이용하여 남은 물기를 완전히 제거하였다. 이렇게 하여 콘크리트 내부로 흡수된 수분까지는 제거하지 못하더라도 일단 표면의 수분은 단시간에(홀 하나에 약10분) 거의 완전히 제거할 수가 있었다. Wet 조건은 진공청소기를 사용하여 수분의 일부만을 제거한 상태로 천공 홀의 내부 벽과 바닥에 습기가 보이는 상태로 실험한 결과이다. Dry 조건은 물론 천공 홀을 충분히 오랜시간 건조시켜 전혀 물기가 없는 상태이다.

실험은 앵커볼트와 접착제를 설치한 직후인 1시간 후와 접착제의 경화가 진행중인 5시간 후, 그리고 경화가 완전히 끝난 후인 24시간 후에 각각 실시되었다. 천공 홀의 직경이 40mm인 경우에는 Wet/Dry와 Wet상태에서 실험하였고 천공 홀의 직경이 50mm인 경우에는 Wet/Dry와 Dry상태에서 실험하였다. 먼저 홀 직경 50mm의 Wet/Dry와 Dry를 비교해보면 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 1시간 후의 실험결과는 Wet/Dry에 비하여 Dry에서 약 12% 큰 지지력을 얻을 수 있었으나 5시간 후와 24시간 후에는 차이가 나지 않았다. Wet/Dry에서도 습기제거가 잘 되어 Dry에 비하여 접착에 문제가 없었던 것을 알 수 있다. 최초 1시간 후의 시험결과가 약 7%의 차이가 난 것은 Wet/Dry 시험체에서 최초에는 주변의 콘크리트 내부에서 흘러나온 습기가 남아 있어서 부작용을 방해하다가 접착제의 경화로 인한 발열반응에 의하여 제거되었거나 혹은 주변 콘크리트 내부의 습기에 의해 천공 홀 내부의 온도가 Dry 시험체에 비해 약간 낮았다가 발열반응에 의하여 온도가 상승하였기 때문으로 추정된다.

천공 홀의 직경이 40mm인 경우의 결과를 살펴보

면 50mm인 경우와 비교하여 Wet/Dry인 상태에서는 처음 1시간 후 79%의 인발 지지력을 보이다가 5시간 후 83%, 그리고 24시간 후에는 91%의 지지력을 보였다. 이것은 경화속도의 차이로 설명되어진다. 직경 40mm의 홀 속에서 경화속도가 직경 50mm의 홀에 비하여 느리게 일어나 처음에는 지지력의 차이가 20% 이상 나지만 경화제가 완전히 경화한 후에는 10% 이내의 차이만 나는 것을 알 수 있었다. 직경 40mm인 천공 홀에서 Wet상태의 실험결과는 처음 1시간 후 1.79(tf)의 지지력을 보이다가 5시간 후에는 2.65(tf)로 증가했으나 더 이상은 증가하지 못하는 것을 알 수 있었다.

4.3. 매립 깊이를 변수로 한 경우

이번에는 18°C에서 Wet/Dry 조건을 만들어 놓고 앵커볼트의 매립 깊이를 변수로 한 실험을 실시하였다. 매립 깊이는 철근 직경의 10배인 250mm 와 12.5배인 310mm, 그리고 8배인 200mm의 3가지 깊이를 변수로 하였다. 천공 홀의 직경은 모두 50mm로 하였고 앵커볼트를 설치하고 24시간 후에 인발 실험을 실시하였다. 실험 결과는 Table 3에 보이는 바와 같이 길이에 따라 인발 지지력도 증가하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 인발 지지력의 증가를 설명하고 매립깊이에 따른 앵커볼트의 지지력을 예측할 수 있는 몇 가지 식을 제안하였다. 첫 번째 식은 앵커볼트를 둘러싼 접착제와 그 주위의 콘크리트 사이의 접착력으로 인발 지지력이 결정된다는 사실로부터 접착력에 관한 식을 제안하였으며 식(3)과 같다.

$$N = \pi dh \tau \tag{3}$$

여기서, d는 천공 홀의 직경이며, h는 매립깊이, τ 는 접착제의 접착력이다. 이 식에 의하여 지지력을 예측하면 인발 지지력이 접착제의 성능에 의하여 전적으로 결정되며, 콘크리트의 강도에 무관하고 매립깊이에 선형적으로 비례하여 인발 지지력도 증가하게 된다. 한편, 케미컬 앵커볼트는 Fig. 3(b)에서 보인 바와 같이 표면에서의 cone 형상 파괴와 접착부의 인발 파괴가 동시에 일어난다는 점을 고려하여 두가지 식이 추가로 제안되었다. Fig. 3(b)에서와 같이 앵커볼트 하단 접착부의 인발 파괴는 접착에 관한 식으로 설명되어지고 상단의 표면파괴는 볼트머리가 달린 일반 앵커볼트와 같이 ACI 349-90이나

CCD Method로 설명될 수 있다. 결국, 하단에서의 접착력은 접착 파괴면인 천공 홀과 접착제 사이의 면적에 대한 접착제 성능의 함수이고 상단에서의 표면파괴는 콘크리트의 인장강도의 함수이다. 즉, 제안된 식은 각각

$$N = \frac{2}{3} \pi dh \tau + f_{ca} \cdot A_n \tag{4}$$

$$N = \frac{2}{3} \pi dh \tau + k_{nc} \sqrt{f_{ck}} \cdot (h/3)^{1.5} \tag{5}$$

여기서, cone 형상의 표면파괴가 일어나는 깊이는 앵커볼트 매립깊이의 2/3에 수렴하는 것이 실험적으로 관찰되어 첫 번째 항에서 하단 접착력의 계산은 매립깊이의 2/3에 관하여 계산하였다. 그리고 상단 1/3에 대하여 cone 형상의 파괴는 볼트머리가 있는 일반적인 앵커볼트의 경우와 같다고 보아 각각 ACI349-90과 CCD Method를 이용하되 유효깊이를 매립깊이의 1/3로 계산한 것이다.

Fig. 7에서 실험결과와 제안된 식들로부터 계산된 인발 지지력을 비교하였다. 실험결과와 비교하여 오차 4% 이내로서 매우 잘 일치되는 것을 알 수 있었다. 제안된 실험결과로 정확한 예측식을 개발한다는 것은 불가능하지만 좀더 다양한 경우에 대하여 많은 실험결과를 취합하여 연구해보면 추후 어떤 예측식이 가장 정확한가를 평가할 수 있는 가능성이 있을 것으로 보인다.

Table 3. Pull-out load to the variable embedment length

Embedment length (mm)	Test results (tf)	Results from Eq.(3)	Results from Eq.(4)	Results from Eq.(5)
200	13.97	13.92	13.46	13.51
250	17.51	17.40	17.49	17.50
310	22.24	21.57	22.75	22.52

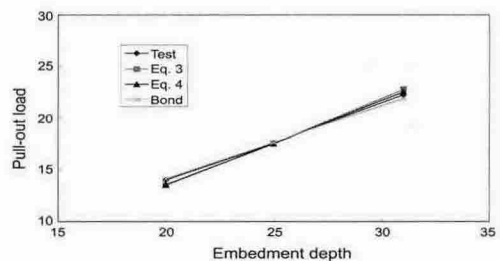


Fig. 7. Pull-out load to variable embedment depth

5. 결 론

본 연구로부터 얻어진 결론들은 다음과 같다.

1) 케미컬 앵커볼트의 인발 지지력은 천공 홀의 직경이 증가함에 따라 소폭 증가하였고 스페이서를 설치하는 경우에는 최대 인발 지지력의 직접적인 상승효과는 없었지만 하중-변위 곡선이 피크를 지난 후 잔류 지지력의 증가로 인하여 연성도가 상승되는 긍정적인 효과를 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) 앵커볼트의 지지력에 관하여 매립깊이, 접착제의 접착력, 그리고 콘크리트 강도등을 변수로 하는 예측식들을 개발하여 실험결과와 잘 일치하는 것을 확인했으나 더 다양한 실험결과를 가지고 통계적인 방법으로 비교 연구해야할 것이다.

4) 앵커볼트의 위치가 단부에 가까이 있을 때와 전단철근이 설치되었을 경우 등에 대하여 다양한 변수를 가지고 실험할 필요가 있다.

감사의 글 : 본 연구는 국립 한경대학교 2000년도 학술연구 조성비의 지원에 의한 것입니다.

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, Vol. 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, Vol. 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, Vol. 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, Vol. 12, No. 1, January 2000, pp. 91-100.