지반앵커의 인발시험을 위한 개별제어 긴장장치의 적용 사례 연구
A Case Study on Individually Controlled Pull-out Test for Ground Anchor

신현철[1], Shin, Hyeon-Cheol, 최용규[2], Choi, Yongkyu

[1] 부산광역시 강서구청 하천하수개발담당, Gangseo-Gu Busan Metropolitan City. River & Sewage a Section Chief
[2] 경성대학교 건설・환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kyungsung Univ.

SYNOPSIS : To insure the quality and safety of ground anchors, pull-out test of anchor has to be done. In the individually controlled pull-out test system, pull-out device is used to introduce the same pull-out force to individual tendon that has a different length and a deflection. That is, that device has a separate pull-out oil jack to each tendon, thus the pull-out length of each jack is not the same, but that device introduces each tendon to the same pull-out force.

In this study, the in-situ pull-out tests for the compression anchors were performed and its test results were analysed and compared to the results of center hole pull-out tests. In the case of pulling out each tendon using the individually controlled pull-out test device, the pull-out forces were distributed to a individual tendon. That device is excellent one that can solve the cause of unequal pull-out forces of each tendon appearing in the manufacture process and construction of anchors, and unequal pull-out forces due to the deferent length.

Keyword : the compression anchors, the individually controlled pull-out test device, the in-situ pull-out tests, same pull-out force, individual tendon

1. 서론

앵커는 구조물이 지반에 접하는 부분과 지중의 어떤 깊이의 안정한 정착지반과의 사이를 고강도 강재로 연결하여 그 강재에 높은 긴장력을 도입하는 것으로, 이러한 긴장력을 이용하여 지하수에 의한 부력으로 인해 발생되는 구조물의 부상을 방지하고, 지진시의 요동 등으로 인한 수평토압에 의해 발생 가능한 구조물의 경사를 방지하거나, 사면의 붕괴를 방지하여 지반의 안정을 꾀할 수 있다.

앵커의 구조는 앵커체(anchor body), 인장부(tendon), 앵커두부(anchor head)로 이루어지는데, 앵커체의 형태에 따라 앵커의 종류는 마찰방식, 지압방식 그리고 복합방식으로 나누어진다. 현재 국내·외에서 시공되고 있는 대부분의 앵커형태는 마찰방식으로 이는 그라우트가 받는 응력의 형태에 따라 인장형과 압축형으로 나누어진다. 지금까지 주로 사용되었던 앵커형태는 인장형인데, 인장형은 앵커 긴장 정착시 진행성 파괴에 의해 인발저항력이 앵커체의 길이에 비례하지 않고 상당히 감소되는 결점을 갖고 있어 보통 길이를 10m 이하로 제한하고 있다. 이는 통상적으로 앵커체가 10m 이상이 되면 진행성 파괴의 영향으로 더 이상의 인발력 증가를 기대하기 어렵다고 보기 때문이다. 압축형은 그라우트가 압축에 강하다는 장점을 이용한 것으로 인장형에 비해 인발저항기구가 우수하고, 시공시의 편리함과 진행성 파괴의 영향 감소효과 등의 많은 장점이 인정되어 현재 선진국에서는 널리 사용되고 있는 앵커의 형태가 인장형에서 압축형으로 바뀌고 있는 실정이다.

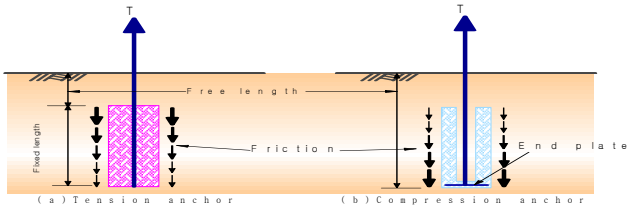
그러나 현재 국내의 경우 앵커의 시공실적은 무수히 많지만 체계적인 연구는 그다지 많지 않으며, 그 연구결과들도 대부분 인장형 앵커에 관한 것으로 압축형 앵커에 대해서는 그 예를 찾아보기 힘들다. 선진 외국의 경우 SHS앵커, VSL-J1앵커 등의 인장형 앵커 뿐 아니라 STK앵커, PTC앵커 등의 압축형 앵커가 주로 개발되어 현장에 적용되고 있으나 우리 나라의 경우는 자체적으로 개발된 압축형 앵커는 SSC앵커(홍석우 & 임종철, 1996) 밖에 없고, 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다.

앵커의 품질과 안전을 확보하기 위하여 앵커 인장시험을 해야한다. 개별제어 인장장치는 다수의 강선을 인장하는 경우 모든 강선에 1개의 인장기를 사용하는 방법과 달리 길이나 처짐량이 각각 다른 강선에 동일한 긴장력을 도입할 수 있도록 각 강선에 각기 다른 늘음량을 적용하여 인장할 수 있도록 고안된 인장장치이다. 즉 각 강선마다 개개의 인장용 유압실린더를 가지고 있어 각 실린더의 이동량이 달라지나 각 강선에는 동일한 긴장력을 정확하게 도입할 수 있도록 고안된 인장장치이다. 본 연구에서는 개별제어 인장장치를 이용하여 인장시험을 실시하였으며 이를 기존의 인장장치 시험결과와 비교하였다.

2. 압축형 앵커의 종류 및 개별제어 인장장치

2.1 압축형 앵커의 개요

앵커는 구조물과 지반을 결합시키기 위해 설치되는 것으로 그 힘의 전달경로로 볼 때 앵커두부, 인장부, 앵커체의 3가지 기본 구성요소로 이루어져 있다. 그 중 앵커체의 형상에 따라 지압(支壓)방식 앵커, 마찰방식 앵커, 복합방식 앵커로 나누어진다. 그 중 지압방식은 과거에 기술진보가 거의 없을 때 많이 사용하였으나, 특수한 경우가 아니면 적용이 어려워 지금은 거의 사용하지 않으며 앵커체의 직경을 늘리는 확공·복합형의 형태로 많이 쓰이나, 그 효과가 불확실한 경우가 많다. 현재 사용되는 대부분의 앵커형태는 마찰방식인데, 마찰방식은 그림 1과 같이 앵커정착부의 하중지지방식에 따라 인장형과 압축형으로 나눌 수 있다. 인장형 앵커의 경우에는 인장재와 주입재 사이의 부착에 의해, 압축형 앵커는 인장재 선단의 압축에 의해 하중이 전달된다.



(a) 인장형 앵커 (b) 압축형 앵커

그림 1. 마찰력 분포에 따른 앵커의 구분 (홍석우 등, 1998)

압축형 앵커의 종류는 크게 압축 앵커(compression anchor, 그림 2), 압축형 부착앵커(compressed bond anchor, 그림 3), 압축튜브 암반앵커(compressed tube anchors in rock, 그림 4)등으로 나뉜다.

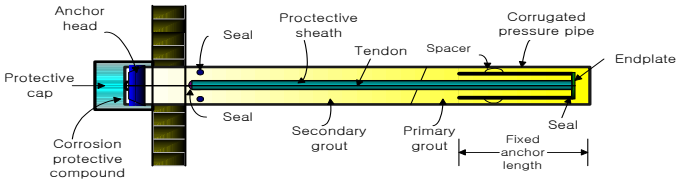


그림 2. 압축 앵커의 세부 모식도

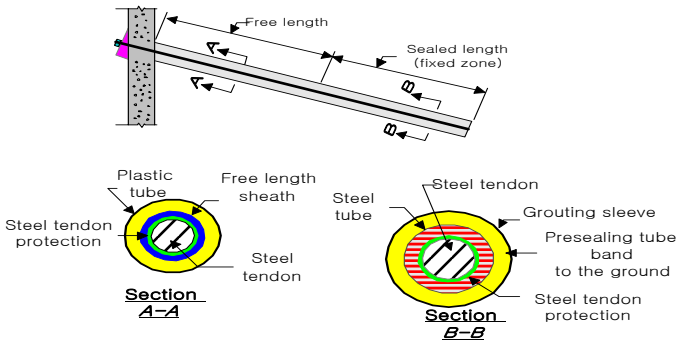


그림 3. 압축형 부착앵커의 모식도

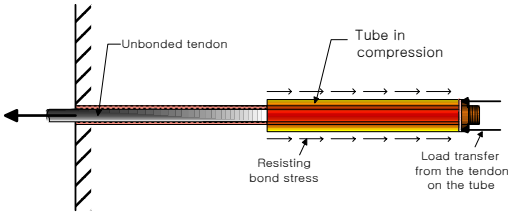


그림 4. 압축 튜브 암반앵커의 모식도

2.2 개별제어 긴장장치

개별제어 인장 장치는 각 강선마다 개개의 실린더를 가지고 있어 실린더의 각 이동량이 달라지는 반면에, 기존 인장장치는 중앙에 하나의 실린더로 구성되어 있어 실린더의 이동량 만큼 각 강선이 동일하게 늘어나게 된다.

그림 5는 기존 인장 장치와 개별 강선 길이를 단순화한 그림이다. 그림 5의 강선 C에는 시공이나 제작 과정 중 발생된 강선의 처짐량을 나타나 있다. 기존 인장 장치로 인장을 실시하면 일정한 모든 강선에 대하여 길이 L만큼 동일하게 긴장시킨다. 그러면 강선 C는 탄성체이므로 A나 B보다 더 작은 긴장력을 받게 된다.

이와 달리 그림 6에서와 같이 개별제어 인장 장치를 사용하여 인장을 실시하면 처짐량이 상대적으로 많은 강선 C에서의 늘음량은 다른 강선에 비해 커지고 강선 A, B, C가 동등한 긴장력을 가지게 된다. 이것이 개별제어 인장 장치의 장점이라고 할 수 있다.

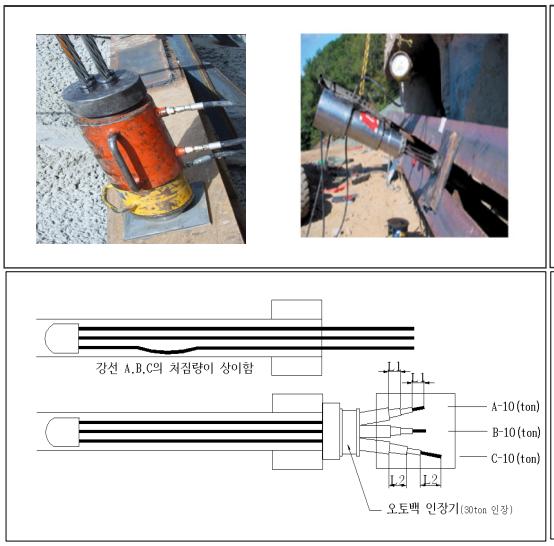


그림 5. 기존 인장장치의 단순 도식화

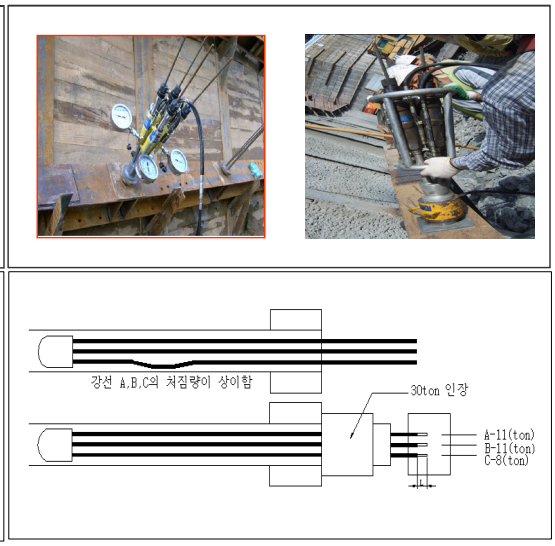


그림 6. 개별제어 인장장치의 단순 도식화

3. 압축형 앵커의 현장인장시험 및 시험 결과

3.1 시험 개요

본 현장시험은 5개 현장에서 압축형 앵커를 시험시공하고 그라우팅 후 1주이상을 양생하였다. 그리고 개별제어 긴장장치와 기존 인장장치(Center hole type)로 인장력을 지정긴장하중 2.0kN/㎠과 4.0kN/㎠에서 긴장하였고, 각 강선의 인장응력을 측정하였다(표 1 참조)(신현철, 2006).

표 1. 현장시험 개요

현장	시험하중(kN/㎡)		강선수	앵커체 길이(m)	내하체 간격(m)
A 현장	2.0	4.0	4	16.0	2.0
B 현장	2.0	4.0	4	18.0	2.0
C 현장	2.0		4	22.0	2.0
D 현장	4.0		4	13.5	2.0
E 현장	4.0		4	19.5	2.5

3.2 현장 시험결과

현장 시험을 통해 계측된 결과치를 표 2에 나타내었다. 여기서 지정하중은 기존 인장장치인 경우 단면적이 86.54㎠인 실린더에 걸린 응력이고 개별제어인 경우 총단면적이 75.36㎠인 실린더에 걸린 응력을 나타낸 것이다. 그리고 계측치는 기존 인장장치인 경우 단면적이 21.20㎠인 계측실린더에 걸린 각 강선의 응력이고 개별제어인 경우 단면적이 18.84㎠인 하나의 실린더에 걸린 각 강선의 응력을 나타낸 것이다.

따라서, 각 강선에 걸린 긴장력을 나타낸 결과치의 산출은 각각이 계측치에 각 실린더의 단면적을 곱하여 인장력으로 나타낼 수 있었다.

표 2에서 알 수 있듯이 각 실린더에 지정인장하중에서 기존 인장장치에 의해 측정된 강선의 인장력은 많은 편차를 나타내고 있다. 반면에 개별제어 인장 실린더에 의해 측정된 각 강선의 인장력은 거의 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

개별제어 인장장치는 긴장력 균등 분배의 효율이 우수함을 알 수 있었다. 특히 지정하중이 2.0kN/㎠인 A 현장의 2번 강선과 B 현장의 3번 강선은 처짐량 보정을 위해 각 강선에 초기 인장(5~10kN 내외)이 미비하여 발생한 것으로 사료된다. 개별제어 인장장치는 이와 같은 초기 인장의 절차를 생략할 수 있어 더욱 간결한 시공성을 가지며 이에 따라 더욱 빠른 작업 속도를 가진다.

시험 결과치에서 볼 수 있듯이 개별제어 인장장치는 약간의 기계적인 오차를 무시한다면 동일한 하중을 강선에 전달하고 있다. 여기서 기계적인 오차는 측정 압력계의 불확실성, 최소 눈금의 크기 및 기타 실험상에서 올 수 있는 오차를 말한다.

이에 반해 기존 인장 장치는 각각의 강선에 동등한 하중을 전달하지 못하고 있다. 강선에 동등한 긴장력을 분배하지 못하는 이유는 무엇보다도 내하체의 위치 차이에 의한 강선의 길이 차 때문 일 것이다.

이와 같은 긴장력의 불균등 분배에 대한 원인을 해석할 수 있다면 앵커의 안전성이 얼마나 감소하는지를 정량적으로 파악할 수 있고 시간과 경비의 제약으로 인해 계측하지 못했던 6가닥의 강선이나 8가닥의 강선을 가진 앵커체에 대해서도 긴장력의 불균형 정도를 파악할 수 있을 것이다.

표 2. 현장인장시험 결과 요약

현장 명	지정 하중 (kN/㎠)	강선 No.	앵커인장압력(kN/㎠)		앵커인장력(kN)	
			기존 인장장치	개별제어인장장치	기존인장장치	개별제어인장장치
A 현장	2.0	1	1.0	2.0	38.2	37.7
		2	0.7	2.0	14.8	37.7
		3	2.1	2.0	34.5	37.7
		4	2.6	2.0	55.1	37.7
	4.0	1	3.8	4.0	80.6	75.4
		2	3.0	4.0	63.6	75.4
		3	4.1	3.9	86.9	73.5
		4	3.7	4.0	78.4	75.4
B 현장	2.0	1	2.2	2.0	36.6	37.7
		2	2.1	2.0	34.5	37.7
		3	0.7	2.0	14.8	37.7
		4	2.0	2.0	32.4	37.7
	4.0	1	4.0	4.0	84.8	75.4
		2	4.2	4.0	89.0	75.4
		3	3.1	4.0	65.7	75.5
		4	3.8	4.0	80.6	75.4
C 현장	2.0	1	2.3	2.0	38.8	37.7
		2	1.9	2.0	30.3	37.7
		3	1.7	2.0	36.0	37.7
		4	2.0	2.0	32.4	37.7
D 현장	4.0	1	4.1	4.0	86.9	75.4
		2	3.8	4.0	80.6	75.4
		3	3.3	4.0	70.0	75.5
		4	3.4	3.9	72.1	75.4
E 현장	4.0	1	3.2	4.0	67.8	75.4
		2	2.9	4.0	61.5	75.4
		3	4.0	4.0	84.8	53.5
		4	3.9	4.0	82.7	75.4

4. 기존 인장장치의 긴장력차의 원인 분석

4.1 길이 차에 따른 긴장력의 불균등

압축 분산형 앵커에서 응력 차의 원인은 강선의 시공 중 부적절한 삽입에 의한 처짐이나 강선의 고장 제작 시 미세한 단면적 차이나 품질 차이에 의해 일어 날 수 있다. 그러나 무엇보다도 이론적으로 해석이 가능한 가장 큰 원인으로는 길이 차로 인한 차라고 할 수 있다. 앵커의 신장량은 이론적으로 식 (1)에 의하여 구할 수 있다.

$$\delta = \frac{PL}{EA} \qquad (1)$$

여기서, 강선의 탄성 계수 E와 단면적 A가 같고 기존 인장장치에서 신장량, δ 즉 늘음량

이 같다면 인장력은 길이에 반비례하게 된다. 압축 분산형 앵커는 각각의 내하체 당 2가닥의 강선을 가지고 일반적으로 2~3m 간격으로 떨어져 있다. 그러므로 내하체가 다른 강선은 길이 차이를 보이며 그 차이만큼 인장력 차를 가지게 된다.

우선 식 (1)에 의하여 늘음량을 계산하였다. 일반적인 강선의 탄성계수는 E=2.04x 10^7kN/㎠이고 단면적 A는 0.987㎠이다. 시험한 앵커체의 길이 L은 표 1에 나타내었다. 대표적으로 사례 E에 대하여 각 강선당 계측된 긴장력과 계산된 긴장력을 그림 7에 도시하였다.

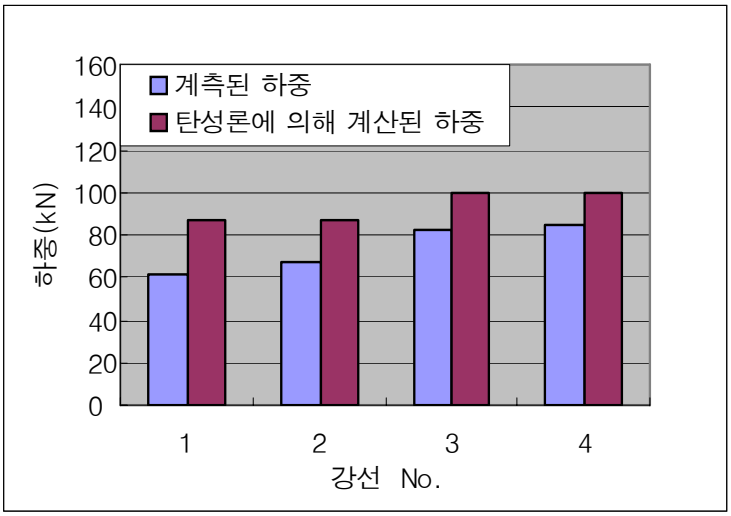


그림 7. E 현장의 계측된 긴장력과 계산된 긴장력 비교 (지정인장응력 = 4.0 kN/cm2)

4.2 강선당 긴장력 차이의 원인

현장에서는 앵커의 길이 차이 이외의 다른 이유로 인하여 긴장력 차가 발생하게 되는 데 그 이유는 다음과 같다.

첫 번째 부정확한 시공에서 찾을 수 있다. 특히 강선의 삽입시 장비 사용 중에 매달린 부분이 꺾이어 삽입되거나 케이싱 인발시 강선이 손상되지 않도록 해야 한다. 그리고 정착 시에는 지압판과 쐐기, 앵커헤드의 녹이나 이물질을 제거하고 시방서에 맞는 시공으로 정착장거동에 의한 긴장력 손실을 균등히 해야 하고 또한 편심이 없도록 정착 장치나 정착기기가 강선의 축심에 맞추어서 설치되어야 한다. 그리고 지반이 연약한 경우에는 구조물에 변위 발생 없도록 수회에 나누어서 긴장을 실시한다. 간격재 사용 여부에도 원인이 크다.

두 번째 부적절한 강선의 조립 가공에서 나타난다. 강선의 단면적이나 품질이 일정하지 않다면 긴장력의 차를 더 크게 할 것이다. 그러므로 강선의 생산에 있어 주의를 요하고 강선가공 재료는 건조 상태로 보관하고 유해한 물질의 부착이나 녹슬지 않도록 주의해야 하고 인장재는 휨이나 나사부분의 파손이 없도록 다량의 겹쳐 쌓아 올리는 것을 피해야 한다. 위에서 말한 요인들은 대부분 제어가 불가능한 불가항력적인 성격을 지녔기 때문에 관리자와

기술자의 품질관리에 따라 크게 영향을 받을 것이다. 그러므로 좀 더 섬세한 관리가 필요한 부분이라 할 수 있다.

이와 같은 앵커체의 시공과 강선의 제작 등에서 나타나는 긴장력의 불균등 원인들이 제거되지 않는다고 하더라도 인장 작업시 각 강선의 긴장을 균등하게 제어한다면 큰 문제가 되지 않을 것이다. 즉, 개별제어 인장장치는 길이차로 인한 강선의 불균등 긴장력 뿐만 아니라, 시공과 제작에서 나타나는 긴장력 불균형 원인까지도 해결할 수 있는 우수한 인장 장치이다.

5. 결 론

5개 현장에서 압축형 앵커를 시험시공하여 개별제어 긴장장치를 이용하여 강선에 대한 인장시험을 수행하였으며 기존 인장장치인 중앙홀(Center hole) 인장장치의 시험 결과와 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개별제어 인장장치를 사용하여 앵커를 인장한 경우 모든 강선에 동등하게 긴장력이 분배되었다. 그러나 기존 인장 방법으로 인장한 경우 지정인장하중에 대해 많은 차이를 나타내었다.
2. 기존 인장장치는 인장 작업시 위치한 형상에 따른 처짐량을 보정하기 위해 작은 인장력으로 각 강선에 초기 인장을 실시한 후 본 인장 작업을 실시해야 한다. 그러나 개별제어 인장 장치는 한번의 인장 작업으로 시공이 가능하다.
3. 개별제어 인장장치는 길이차로 인한 강선의 불균등 긴장력 뿐만 아니라, 시공과 제작에서 나타나는 긴장력 불균형 원인까지도 해결할 수 있는 우수한 인장 장치이다.

참고문헌

1. 신현철 (2006), “지반앵커 인발시험을 위한 개별제어 긴장장치의 적용 사례 연구”, 경성대학교 대학원 석사학위논문, 2006. 2.
2. 홍석우, 임종철 (1996), “ SSC앵커의 역학적 거동”, 대한토목학회 1996년도 학술발표회 논문집, pp 399~402.
3. 홍석우, 임종철, 이태형 (1998), “실내모형실험을 통한 압축형(SSC)앵커의 거동분석”, 한국지반공학회 1998년도 학술발표회 논문집.