

현장시험을 통한 부력앵커의 거동분석

An analysis of the Behaviour of Uplift-Resisting Ground Anchors from Pull-out Tests

이 철 주[†] · 전 상 현¹⁾ · 유 남 재²⁾

Lee, Cheolju · Jun, Sanghyun · Yoo, Namjae

ABSTRACT : Engineering behaviour of uplift-resisting ground anchors constructed in weathered rocks has been investigated by carrying out a series of full scale pull-out tests. The anchor was to resist uplift forces (buoyancy) associated with high groundwater table acting on the basement of a rail way station. The study has included the ultimate pull-out capacity of the anchors and shear stress transfer mechanism at the anchor-ground interface. The pull-out tests were conducted by changing bonded lengths of the anchor (2~7 m) and diameter of drilled borehole (108~165 mm) to investigate their effects on the behaviour of the anchor. The measured results showed that the ultimate capacity of the anchors was increased with an increase in the bonded length, diameter of drilled borehole as expected. The ultimate capacity of the anchors deduced from the pull-out tests ranged from 392 to 1,569 kN, depending on the above-mentioned factors. This corresponds to the interface shear strength of about 227~505 kPa. Interface shear stresses deduced from the pull-out test showed that the larger the pull-out force, the larger the mobilisation of the interface shear strength. The failure mode of the anchors heavily depended on the bonded lengths of the anchors. When the bonded length was short (2~3 m), a cone-type failure was observed, whereas when the bonded length increased (5~7 m), failure developed at the grout-ground interface.

Keywords : Uplift-resisting anchor, Uplift pressure, Pull-out tests, Ultimate pull-out capacity

요 지 : 풍화암층에 시공된 부력앵커의 거동을 현장인발시험을 통하여 분석하였다. 부력앵커는 지하철역사의 지하층에 작용하는 부력을 저항하기 위하여 시공되었다. 본 연구에서는 부력앵커의 한계인발저항력과 앵커와 지반의 경계면에서의 전단응력 전이 메커니즘에 대한 분석을 실시하였다. 인발시험에서는 앵커의 정착장(2~7m)과 천공직경(108~165mm)을 변경시키면서 그 영향을 고찰하였다. 인발시험결과에 의하면 앵커의 한계인발력은 정착장의 길이 및 천공직경이 증가 할수록 증가하는 것으로 분석되었다. 인발시험을 통한 앵커의 한계인발력은 이러한 인자들에 따라 392~1,569kN의 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 이로부터 경계면에서 227~505kPa 전단강도가 발생하는 것으로 산정되었다. 인발시험결과에 의하면 인발력의 크기가 증가할수록 전단강도의 발현정도가 증가하는 것으로 나타났다. 인발시험을 통해서 관찰된 파괴 형태는 앵커의 길이에 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 앵커의 길이가 짧은 경우(2~3m) 콘 형태의 파괴가 관찰되었으며, 앵커의 길이가 증가한 경우(5~7m)는 앵커의 파괴가 앵커체와 주변지반과의 불연속면에서 발생하는 것으로 나타났다.

주요어 : 부력앵커, 양압력, 인발시험, 한계인발하중

1. 서 론

지하수위 아래에 건설되는 지하구조물에는 정수압에 의해 상향의 부력이 작용하게 되며, 지하수위에 대한 구조물의 상대위치, 지형 및 지반조건 등에 따라서는 일시적으로 매우 큰 양압력이 발생하여 구조물에 유해한 피해가 발생할 수 있다. 이러한 양압력에 의한 지하구조물의 부상이나 구조물의 균열발생 등 관련 피해를 방지하기 위하여 구조물의 자중을 증가시키는 방법, 외벽에 전단저항 key를 설치하는 방법, 배수시스템을 설치하는 방법 등과 함께 영구

부력앵커 공법이 널리 사용되어 오고 있다(박찬덕, 2005).

1980년대 들어 각국에서는 영구앵커에 관한 표준화가 진행되어 그라운드 앵커에 대한 각종 시방기준들이 제정되어 왔고 특히 영구앵커에 관한 조사, 유지 관리 등에 역점을 두고 있다(독일 DIN4125(Deutsche Industrie Normen, 1990), 영국 BSI(British Standard Institution, 1989))(박찬덕, 2005)에서 재인용).

최근 국내에서는 양압력을 받는 기초구조물의 안정공법으로 부력앵커가 널리 사용되고 있고 그 적용 범위가 확대되고 있다. 이러한 추세를 반영하여 최근 모래지반이나 암

† 정회원, 강원대학교 토목공학과 조교수(E-mail : cj32@kangwon.ac.kr)

1) 비회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정

2) 비회원, 강원대학교 토목공학과 교수

반층에 시공된 앵커의 거동에 관한 다수의 기초적인 연구가 실시되었다(조용선 등, 1997; 임경필 등, 1999; 임성순 등, 1999; 김래현 등, 2002). 지하수위 영향을 받는 구조물의 기초에 대해 부력앵커를 설계할 경우 가장 중요한 고려사항은 앵커의 한계인발하중 및 인발저항 메커니즘에 대한 충분한 이해라고 할 수 있다. 그러나 국내의 경우 풍화암이나 연암층에 시공되는 부력앵커의 거동에 대한 근본적인 이해가 수립되어 있지 못하고, 구조물의 형태에 따른 부력앵커의 배치형태나 그에 대한 시공기준이 명확하지 않아 합리적인 설계가 실시되지 못하고 있는 실정이다(박찬덕, 2005).

본 논문에서는 부력앵커를 풍화암층 지반에 시공한 후 앵커의 정착길이 및 천공직경을 변화시키며 다수의 인발시험을 실시하여 부력앵커의 특성에 따른 하중-변위 관계, 앵커체와 주변지반에서의 전단응력 전이과정 및 앵커 주변지반의 파괴 메커니즘 등에 대한 분석을 실시하였다.

2. 현장 앵커시험

2.1 시험내용 및 지반조건

본 연구에서는 00 고속철도 역사의 지하구조물에 시공 예정인 부력앵커의 본 시공에 앞서 시험용 부력앵커를 시공한 후 다수의 인발시험을 실시하여 앵커의 공학적 거동을 분석하였다. 부력앵커는 약 980kN/본(100tonf)의 지지력을 가지는 것으로 설계되었으며, 앵커의 시공은 지반의 천공, 앵커체 삽입, 그라우팅 및 양생의 순서로 진행되었고 시공 후 그라우트를 28일간 양생시켰다. 현장인발시험은 모두 7회 실시되었으며 표 1에 나타난 바와 같이 앵커의 정착길이 및 천공직경 등을 변화시키는 매개변수 시험으로 진행되었으며, 각 시험에서는 단계별 반복 인발하중

을 작용시켰다. 한편 시험 D2에서는 앵커텐던에 변형률계(strain gauge)를 부착하여 인발하중에 의한 앵커체와 주변지반의 경계면에서의 전단응력의 전이과정을 관찰하였다. 시험시공된 앵커는 본 시공에서 사용예정인 것과 동일한 공학적 특성을 가지며 1개로 구성된 직경 50mm의 bar type 앵커이다. 앵커의 자세한 제원은 표 2에 요약되어 있다.

그림 1에 나타난 바와 같이 현장인발시험이 수행된 지반은 상부의 매립토, 풍화토 및 하부의 풍화암 및 연암으로 구성되어 있으며 시험구간의 좌측으로 만수위 상태의 저수지가 위치하고 있어 지반굴착시 지하 약 5m 깊이에서 지하수위가 형성되는 구간이다. 현장시험을 위한 부력앵커는 풍화암층에 근입된 앵커의 공학적 거동을 관찰하기 위하여 상부의 매립토 및 풍화토를 굴착하고 풍화암층내에

표 1. 각 시험의 특성요약

시험번호	전체길이 (m)	정착길이 (m)	앵커직경 (mm)	천공직경 (mm)
D1	5	2	50	165
D2	5	3	50	165
D3	5	5	50	165
D4	9	7	50	165
D5	9	3	50	108
D6	7	3	50	125
D7	5	3	50	165

표 2. Bar Type 앵커의 특성

항 목	규 격
Bar 가닥수(N)	1
Bar 외경(Ø), mm	50.0
Bar 단면적(A), cm ²	19.6
탄성계수(E), GPa	17.0
항복강도(P _y), MPa	83.6
극한강도(P _u), MPa	103.1

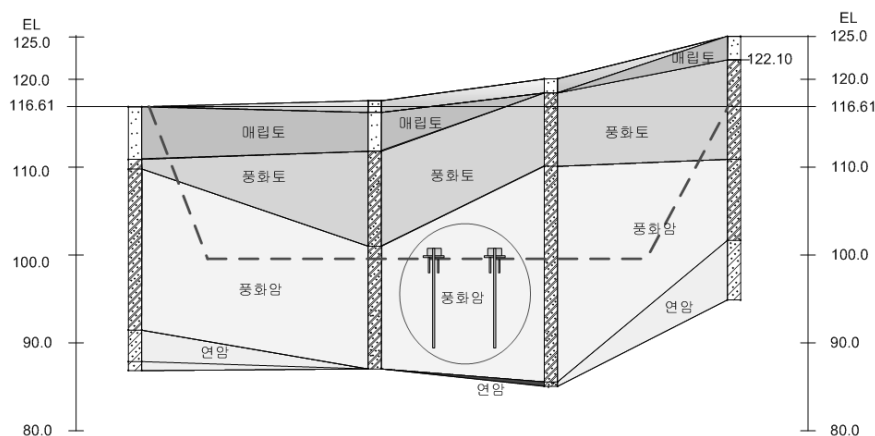


그림 1. 시험구간의 지질주상도(4개 시추공 조사 자료)

서만 시공되었다. 풍화암층은 지표면 아래 7.1~19.7m에서 출현하고 그 두께는 약 5.0~23.0m이다. 풍화암층은 습한 상태로 되어 있으며 모암조직의 암편이 혼재하며 차별풍화로 인한 경연대가 교호하는 특징을 가지고 있다.

2.2 장비구성 및 하중조건

그림 2는 현장인발 시험에 대한 전체적인 개요를 보여주고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 지표면에 지지빔(support beam)을 대칭되게 설치한 후 지지빔 상부에 주빔(main beam)을 설치하였고, 주빔 상부에 인발력을 가하기 위한 잭(hydraulic center hole jack)을 설치하고 인발하중 측정을 위해 250tonf 용량의 하중계(load cell)를 설치하였다. 또한 하중계의 상하에 지지판을 설치한 후 상부에 너트를 체결하여 고정하고 텐던에 LVDT 측정을 위한 지지판을 부착하고, 양쪽에 참고 빔(reference beam)을 설치하여 0.01mm 정도를

가지는 LVDT를 이용하여 텐던의 변위를 측정하였다.

한편, 앵커의 인발시험은 현장의 안전을 고려하여 안전하중, 인장재 항복강도의 95%(항복강도) 및 극한강도의 80% 가운데 가장 작은 값을 한도로 결정하였다. 따라서 본 시험에서는 표 3에 나타난 바와 같이 현장조건 및 앵커의 조건을 고려하여 최대시험하중을 안전하중인 1,304kN(133tonf)으로 결정하였다. 즉 앵커의 설계하중(980kN/본)의 1.33배에 해당하는 인발력을 작용시켰다. 그러나 시험 D4(앵커의 정착길이 7m)의 경우 한계상태를 확인하기 위하여 이를 초과하는 1569kN의 인발력을 작용시켰다(표 1 참조). 하중재하 시험의 첫 단계에서 초기 긴장력의 도입을 위하여 98kN의 초기하중을 작용시켰다. 그 후 최대시험하중에서 초기하중을 제외한 하중의 10~20%의 인발력을 단계적으로 작용시킨 후 다시 초기하중까지 제하(unloading)하는 주기적 반복시험을 실시하여 하중 단계별 변위를 측정하

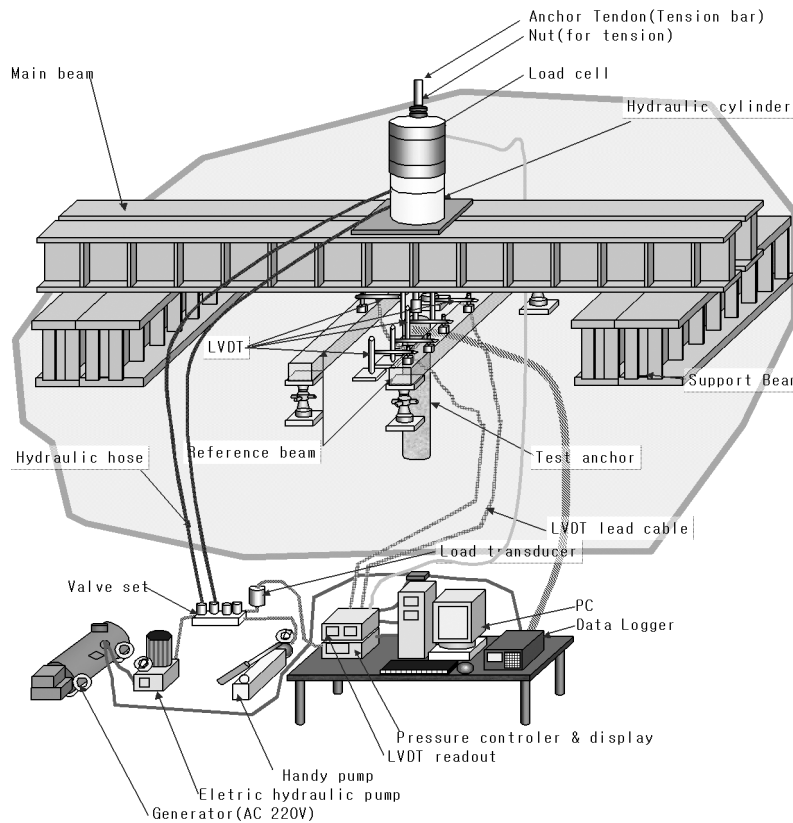


그림 2. 앵커 인발시험 개요도

표 3. 최대시험하중 결정

구 분		내 용
하 중 조 건		최대시험하중
설계하중		980kN/본(100tonf/본)
최대 시험하중	안전하중	$1.33 \times \text{설계하중} = 1.33 \times 980 = 1,304\text{kN/본}(133\text{tonf/본})$
	항복강도	$0.95 \times P_y \times A = 0.95 \times 83.6 \times 19.6 = 1,559\text{kN/본}(160\text{tonf/본})$
	극한강도	$0.8 \times P_u \times A = 0.8 \times 103.1 \times 19.6 = 1,619\text{kN/본}(165\text{tonf/본})$

※ P_y : 항복강도, P_u : 극한강도, A : 앵커의 단면적

였다. 한편 앵커의 장기거동(creep)에 대하여 관찰하기 위하여 각 하중단계별로 10~300 분 하중을 지속시켰다.

3. 결과 분석

인발시험을 통하여 앵커의 정착길이 및 천공직경의 변화에 따른 한계인발력, 앵커체와 주변지반에서의 전단응력의 전이과정 및 앵커체의 파괴메커니즘에 대한 분석을 실시하였다. 시험결과에 의하면 앵커는 10~300분 지속된 동일하중 하에서는 creep 거동을 거의 보이지 않는 것으로 나타나 장기적으로 비교적 안정한 것으로 나타났다.

3.1 앵커 정착길이의 영향

앵커의 직경(50mm) 및 천공직경(165mm)이 동일한 조건하에서 앵커의 정착길이를 2m, 3m, 5m, 7m로 변화시켜 4회의 인발시험을 실시하여 앵커의 정착길이가 한계인발력 및 앵커체와 주변지반의 경계면에서의 전단강도에 미치는 영향을 검토하였다(시험 D1~D4, 표 1 참조). 그림 3은 앵커의 정착길이에 따른 하중-변위 관계를 보여주고 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 시험 D2~D3의 경우 다소 유사한 결과를 보이기는 하나 전반적으로 앵커의 정착길이가 증가함에 따라 하중-변위 곡선의 초기 기울기(강성)가 증가하는 것으로 나타났으며, 한계인발력도 증가하는 것으로 나타났다[한계인발력(앵커의 정착길이) : 392kN(2m), 588kN(3m), 588kN(5m), 1,569kN(7m)]. 특히 앵커의 정착길이가 7m일 때 정착길이가 2~5m인 경우에 비해 강성과 한계인발력이 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 이로부터 정착길이는 앵커의 초기 강성은 물론 한계인발력

역시 크게 좌우하는 것을 알 수 있다. 앵커의 정착길이가 2~5m인 경우 앵커와 주변지반의 상대변위가 5~10mm 정도 일 때 한계인발력에 도달되나, 정착길이가 7m인 경우는 변위가 23mm까지 증가하여도 인발력이 거의 선형적으로 증가하고 있다. 또한, 단계별 하중의 증가에 따라 앵커의 탄성 신장량으로부터 유효 자유길이를 역산하여 앵커 정착부의 기능을 검토한 결과, 앵커 정착부의 길이가 2m, 3m, 5m, 7m로 증가함에 따라 정착부의 약 50%가 파단에 이르는 하중은 각각 392kN, 588kN, 588kN, 1,569kN으로 증가하였다. 이를 통해 산정한 앵커체와 주변지반 사이의 경계면에서의 평균 전단강도(interface shear strength)는 227~432kPa의 분포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 국내풍화암층에 시공된 소일네일의 인발시험을 통해서 이철주 등(2004)이 제시한 값인 전단강도의 평균값인 226kPa보다는 약간 크지만, 일본앵커학회에서 제시한 풍화암에 대한 전단강도인 600~1,000kPa 보다는 매우 작은 값이다(지반공학 시리즈 3, 굴착 및 흙막이 공법에서 재인용, 한국지반공학회 1997). 즉 현장 인발시험을 실시하지 않고 일본의 자료를 그대로 사용하는 것은 불안전측 설계가 될 수 있으므로, 반드시 현장인발시험을 통해서 앵커의 인발저항 특성을 파악하여 앵커의 설계를 실시하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

3.2 앵커 천공직경의 영향

앵커의 천공직경이 한계하중에 미치는 영향을 알아보기 위하여 앵커직경(50mm) 및 앵커의 정착길이(3m)가 일정한 조건하에서 앵커의 천공직경을 각각 108mm, 125mm, 165mm로 변화시킨 인발시험을 실시하였다(시험 D5~D7, 표 1 참조). 그림 4는 천공직경의 변화에 따른 하중-변위

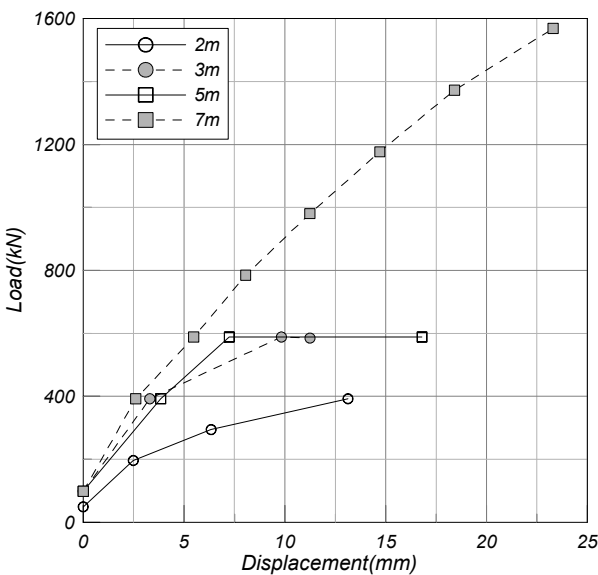


그림 3. 앵커 정착길이에 따른 하중-변위 관계

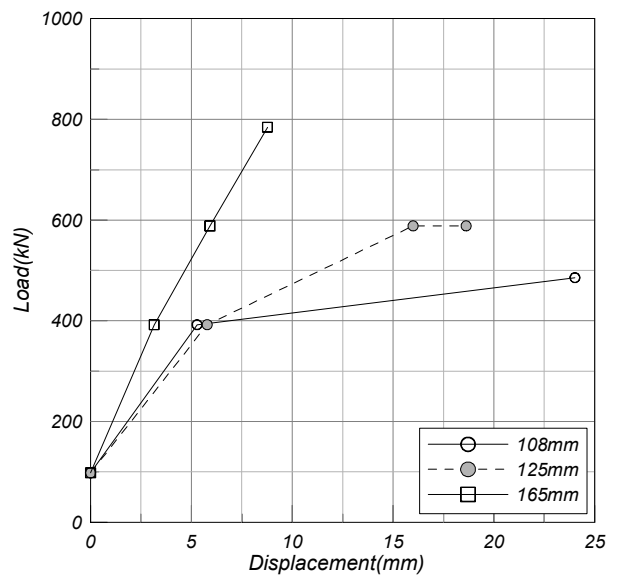


그림 4. 앵커 천공직경에 따른 하중-변위 관계

관계를 도시한 것으로 천공직경이 증가함에 따라 한계인발력이 증가하였으며, 하중-변위 곡선의 초기접선 기울기(강성)도 증가함을 볼 수 있다. 앵커의 천공경이 108mm 및 125mm인 경우는 유사한 하중-변위 관계를 보이며 약 15mm의 변위에서 한계하중에 도달하는 것으로 나타났으나, 천공직경이 165mm인 경우는 변위가 증가하여도 뚜렷한 한계하중에 도달하지 못하고 있다. 하중-변위 관계에서 분석한 한계인발력은 앵커의 천공경이 108mm, 125mm, 165mm인 경우에 각각 490kN, 588kN, 785kN으로 분석되었고, 이를 통해 산정한 경계면에서의 전단강도는 482~505kPa의 분포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 앞장에서 언급한 전단강도의 분포(208~432kPa) 보다 약간 크게 산정된 결과이다.

3.3 전단응력의 분포

앞서 언급한 바와 같이 시험 D2에서는 앵커에 0.5m 간격으로 변형률계를 설치하고 인발시험을 실시하여 인발력에 의한 앵커체와 주변지반의 경계면에서의 하중전이 관계를 고찰하였다(표 1 참조). 인발시험에서는 인발력을 5개의 하중단계별로 구분하여 각 하중단계에서 인발력을 98kN씩 증가시켰다(하중단계 a: 98kN, 하중단계 b: 196kN, 하중단계 c: 294kN, 하중단계 d: 392kN, 하중단계 e: 490kN). 그림 5는 인발시험을 통해 측정된 앵커에 작용하는 인장력의 심도별 분포를 보여주고 있다. 전체적으로 앵커의 선단부로 갈수록 인장력이 감소하고 있는 경향을 보이고 있다. 하중단계 d와 e의 경우 앵커의 두부에서 작용인장력을 약간 초과하는 인장력이 측정되었는데, 이는 인장력 측정

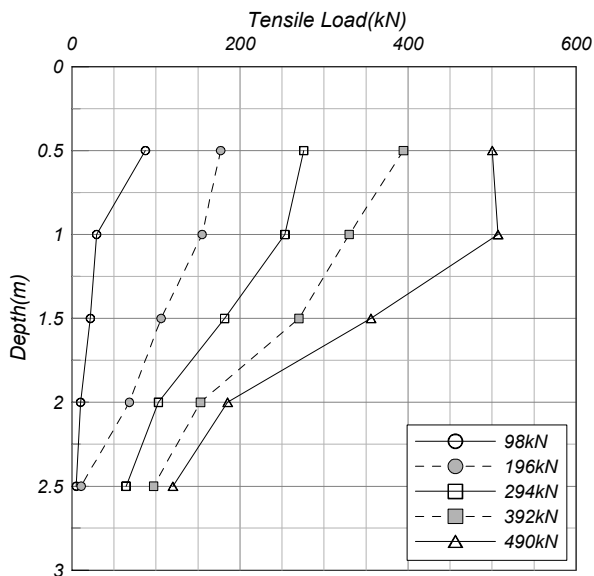


그림 5. 심도에 따른 앵커의 인장력 분포

시 발생한 오차에 기인한 것으로 판단된다. 인발력이 작은 경우 대부분의 인발력이 마찰저항으로 지지되므로 앵커체의 선단부에는 거의 인발력이 작용하지 않음을 보여준다. 그러나 인발력이 증가할수록 선단부에 발생하는 인장력은 점점 증가한다. 즉 앵커의 선단부에서 측정된 인장력의 크기와 앵커의 두부에 작용시킨 인발력과의 비가 하중단계가 증가할수록 점점 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 그 크기는 5~25%의 범위를 나타내었다(하중단계 a: 5%, 하중단계 e: 25%). 이는 인발력이 크지 않은 경우 앵커체의 전단저항력이 충분히 크기 때문에 인발력이 대부분 소산되지만, 인발력이 큰 경우는 전단저항력만으로는 인발력을 모두 지지할 수 없어서 작용인발력의 일부가 앵커의 선단부로 전이되었기 때문인 것으로 판단된다. 즉 하중단계가 증가할수록 전단강도가 대부분 발현된 것으로 추정할 수 있다.

그림 6은 앵커인장력의 분포로부터 산정한 전단응력(interface shear stress)의 분포를 보여주고 있다. 이때 하중단계 d와 e에서 앵커의 두부 부근에서 나타난 (-)의 전단응력은 위에서 언급한 바와 같이 작용인발력을 상회하는 인장력이 앵커에서 측정되었기 때문이다. 전단응력의 분포에서 다소의 분산이 나타나나 대체적으로 인발력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 각 하중단계별 평균전단응력은 각 하중단계별로 각각 72, 143, 177, 228, 285kPa이며, 최대 전단응력은 하중단계 e에서 659kPa로 산정되었다. 이 결과를 앞서 언급한 인발시험에서 산정한 전단강도의 값 208~505kPa의 값과 비교하면 하중단계 d와 e에서는 앵커체와 주변지반의 경계면에서 전단강도(interface shear strength)가 대부분 발현되었을 것으로 추정할 수 있다.

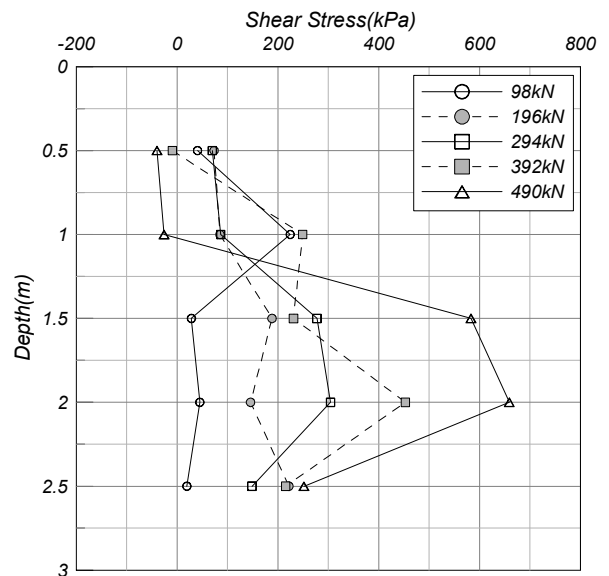


그림 6. 심도에 따른 앵커와 주변지반과의 경계면에서의 전단응력 분포

3.4 파괴메커니즘

현행 앵커설계의 기본개념에서는 앵커의 근입깊이를 충분히 확보하여 암반 및 그라우트에 전단파괴가 일어나기 전에 텐던의 연성파괴가 먼저 발생한다고 가정하고 있다(박찬덕, 2005). 또한 단일앵커의 파괴는 암반에 역원뿔 모양의 콘 형태의 파괴가 발생하는 것으로 가정하고 있고, 콘의 깊이는 암반상태 및 앵커의 정착깊이에 따라 앵커의 바닥 및 중간 또는 그 사이에서 발생하는 것으로 가정하고, 파괴각은 60~120°로 다양하게 적용하고 있다(Littlejohn & Bruce 1975). 본 연구에서는 앵커의 인발에 따른 앵커 주변 지반의 거동 및 파괴 메커니즘을 관찰하기 위하여 지표면에 텐던으로부터 수평으로 30, 60, 90, 120cm 간격으로 다이얼 게이지를 설치하여 단계별 인발하중에 대한 지표면의 수직변위 및 지반의 거동을 분석하였다.

그림 7~8은 앵커의 정착깊이가 각각 2, 5m일 때의 지반의 파괴형상을 보여주고 있다(시험 D1, D3, 표 1 참조). 그림 7~8에서 볼 수 있듯이 앵커의 인발에 따라 앵커 주위지반에 십자형(+) 균열이 발생한 후 균열과 지반의 용기가 방사상으로 확장되면서 파괴에 이르는 것으로 나타났다. 앵커의 정착깊이가 2m인 경우 파괴의 범위와 지반용



그림 7. 정착깊이 2m 일때의 파괴형상



그림 8. 정착깊이 5m 일때의 파괴 형상

기의 정도가 앵커의 길이가 5m인 경우에 비하여 더 넓고 큰 것을 알 수 있다.

그림 9~10은 그림 7~8과 유사하게 앵커의 정착깊이가 각각 2, 5m일 때 하중단계별로 측정된 지표면의 변위 분포를 수평방향에 대하여 보여주고 있다. 앵커에 가해지는 인발력이 증가할수록 지반의 용기가 증가하고 있으며 최대 약 17mm의 지표면 용기가 관찰되었다. 또한 앵커의 정착깊이가 짧은 경우(정착깊이: 2m)가 대체적으로 지반 용기의 크기나 그 범위가 앵커의 정착깊이가 긴 경우(정착깊이: 5m)보다 더 큰 것으로 나타나고 있다. 앵커의 정착깊이가 2m인 경우 텐던으로부터 수평방향으로 약 120cm

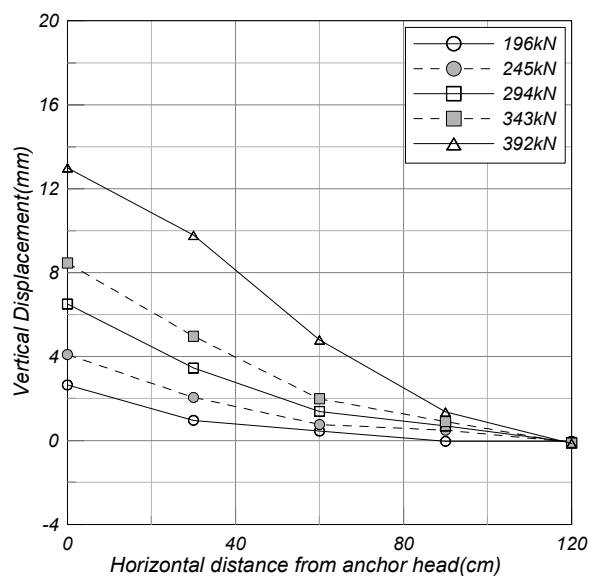


그림 9. 앵커 인발에 따른 지표면의 변위(정착깊이 2m)(+ : 지반용기, - : 지반침하)

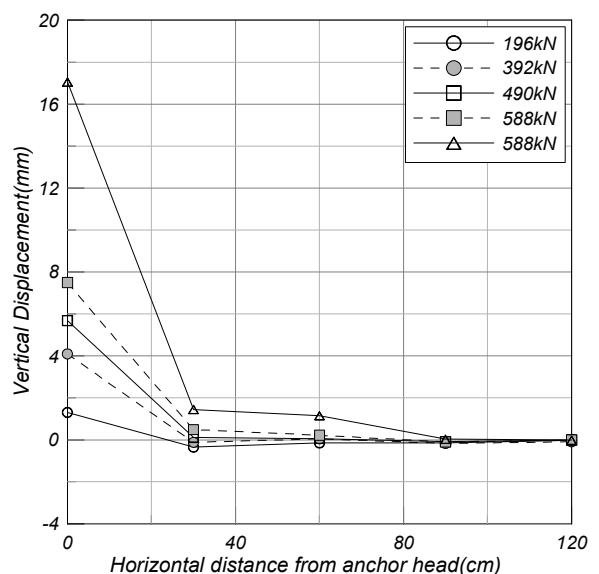


그림 10. 앵커 인발에 따른 지표면의 변위(정착깊이 5m)(+ : 지반용기, - : 지반침하)

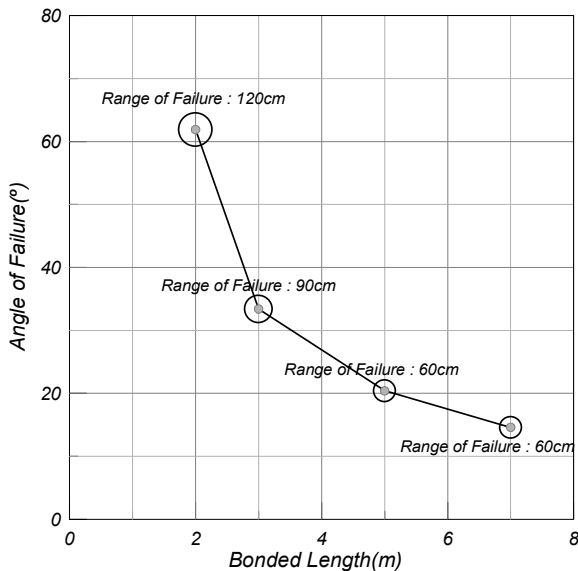


그림 11. 앵커의 정착길이에 따른 파괴각 및 파괴범위

까지 지반의 용기가 발생하여 수평방향으로 변위가 넓게 진행된 파괴 형태를 나타내었다. 그러나 앵커의 정착길이가 5m인 경우는 앵커로부터 수평방향으로 약 60cm 떨어진 지점까지만 지표면의 용기가 관찰되었고 지반의 변위는 앵커체 부근에서 집중되어 발생하였다.

한편 인발시험이 종료된 후 앵커체의 파괴각 및 지반의 파괴범위를 현장에서 측정하여 그림 11에 나타내었다(시험 D1~D4, 표 1 참조). 그림 11에 나타난 바와 같이 앵커의 정착길이가 증가함에 따라 파괴각은 점점 감소하는 것으로 나타났다. 정착길이가 2m인 경우 파괴각이 60°를 상회하는데 비해 앵커의 정착길이가 증가할수록 파괴각이 지속적으로 감소하여 정착길이가 7m인 경우는 약 15° 정도의 작은 파괴각이 관찰되었다. 이러한 파괴각은 Littlejohn & Bruce(1975)이 제시한 파괴각인 60~120° 보다는 대체로 작은 값으로서 이로부터 앵커의 파괴가 주로 앵커체를 중심으로 발생했다는 것을 알 수 있다. 또한 지반의 파괴범위는 앵커의 정착길이가 2m일 경우 120cm이나, 앵커의 정착길이가 3m 이상인 경우는 그 범위가 감소하여 60~90cm인 것으로 나타났다.

이상의 고찰로부터 앵커의 정착길이가 짧아질수록 큰 파괴 양상이 두드러져서 앵커체 파괴의 영향이 지표면으로 확대되게 되지만, 정착길이가 길어질수록 앵커체 파괴의 영향이 지표면까지 거의 도달하지 못하여 큰 파괴형태 보다는 그라우트와 주변지반의 경계면에서 발생하는 전단 파괴의 형태인 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 지하수위 아래의 풍화암 지반에 시공되

어 부력에 의한 양압력을 받는 부력앵커의 거동에 대한 분석을 위하여 앵커의 정착길이 및 천공직경 등을 변화시킨 실규모 현장시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 앵커의 길이 및 천공직경을 변화시키며 인발시험을 실시한 결과 앵커체의 초기강성이 크게 변화하였다. 앵커와 주변지반의 상대변위가 약 5~15mm일 때 한계 인발저항력이 발생하는 것으로 분석되었다. 한계인발저항력을 통해 산정한 앵커체와 주변지반의 경계면에서의 전단강도(interface shear strength)는 약 227~505kPa의 분포를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 유사한 경우에 대한 일본의 자료보다는 다소 작은 값으로 나타났다.
- (2) 인발시험 결과 인발력이 크지 않은 경우 전단저항력으로 인발력을 충분히 지지할 수 있었으나, 인발력이 증가함에 따라 전단강도의 대부분이 발휘되어 인발력의 일부가 선단부로 전이되어 선단부에 작용 인발력의 최대 25%에 해당하는 인장력이 발생하였다.
- (3) 앵커의 정착길이가 변화에 대한 앵커체의 파괴각과 수평 변위 범위를 측정한 결과 앵커의 정착길이가 증가함에 따라 앵커체의 파괴각이 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 즉 앵커의 정착길이가 짧아질수록 앵커체의 파괴영향이 지표면까지 확장하여 큰 파괴 양상이 두드러지며, 정착길이가 증가 할수록 앵커체의 파괴각 범위가 작아져 큰 파괴보다는 그라우트와 지반의 경계면에서 발생하는 전단파괴가 지배적인 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 논문에서 분석한 시험자료를 제공해 주신 (주) 대우 엔지니어링의 박찬덕 단장님께 감사드립니다. 본 연구는 “2006년도 강원대학교 학술연구조성비”의 지원을 받아 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김래현, 이기환, 이우진, 김대규, 김낙경(2002), 현장시험에 의한 그라운드 앵커 시스템의 크리프 및 단기거동 특성 연구, *대한토목학회논문집*, Vol. 22, No. 6-C, pp. 585~594.
2. 박찬덕(2005), 풍화암에 시공된 부력저항 앵커의 거동특성, 강원대학교 박사학위 논문, pp. 3~4, 155.
3. 이철주, 이도섭, 김홍택, 박재역, 김충규(2004), 현장계측을 통한 소일네일링 벽체의 거동특성 분석, *한국지반공학학회논문집*, Vol. 20, No. 6, pp. 119~126.
4. 한국지반공학회(1997), *굴착 및 흩막이 공법*, 지반공학 시리즈 3, 구미서관, pp. 252

5. 임성순, 이재수(1999), 지하 굴착시 암반 지반속에 정착된 어스앵커의 초기 인장력 결정, *대한토목학회 논문집*, Vol. 19, No. 3-1, pp. 177~187.
6. 임경필, 조남준, 황성일(1999), 정적 인발하중을 받는 암반 앵커의 거동 : 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포, *한국지반공학학회논문집*, Vol. 15, No. 6, pp. 143~154.
7. 조용선, 권오엽(1997), 단일 나선형 앵커의 인발 저항력에 관한 연구, *대한토목학회논문집*, Vol. 17, No. 3-3, pp. 275~283.
8. BSI.(1989), Ground Anchorages, *BS 8081*, British Standard Code of Practice, pp. 77~84.
9. DIN4125.(1990), Ground Anchorages Design, *Construction and Testing*, Deutsche Industrie Norm, pp. 341~389.
10. Littlejohn G. S. and Bruce, D. A.(1975), Rock Anchor-Design and Quality Control, *Proc. 16th Symp. on Rock Mechanics*, Univ. of Minnesota. pp. 77~88.

(접수일: 2006. 11. 15 심사일: 2006. 11. 16 심사완료일: 2007. 1. 8)