

단층 파쇄대에서 어스앵커 초기 인장력 변화에 따른 해석적 연구

An Analytical Study on initial prestressed force change of earth anchor in fault Fracture

박영진*, 조국환†

Young-Jin Park*, Kook-Hwan Cho†

Abstract Recently, with the increase of railway construction, the large excavation is occurring frequently because of the underground phenomenon of railway structures. If the scale of excavation section is larger in the excavation of the deep, the earth anchor method has been applied in order to support the earth retaining wall. The earth anchor sends the prestressed force of the anchor-body steel by the ground, so it is promoting the stability of the excavation wall by cause the resistance stress of the load such as earth pressure. However, when the earth anchor method to the fault fracture is applied, it is a risk of accidents because of the axial increase of anchor and the excessive generation of wall displacement. In this study, considering the geotechnical properties of the fault fracture, it was compared and analyzed the field measurements and analysis results to the axial and the displacement properties according to the initial prestressed force change on construction stages of the earth anchor. As the result, this paper describes with method of improving the stability of the retaining wall through the introduction of appropriate initial prestressed force of the earth anchor to the fault fracture.

Keywords : Earth Anchor Method, Earth Anchor Axial, Wall Displacement, Fault Fracture, Field Measurement

초 록 최근 철도건설의 증가와 함께 철도구조물의 지하화 현상으로 인하여 대규모 굴착 공사가 빈번히 발생하고 있다. 대심도 굴착공사시 굴착단면의 규모가 큰 경우 흙막이 벽체를 지지하기 위해 대부분 어스앵커 공법을 적용하고 있다. 어스앵커는 앵커체 강선의 인장력을 지반에 전달하여, 토압 등의 하중에 대한 저항능력을 유발시켜 굴착벽면의 안정을 도모하는 공법이다. 그러나 단층 파쇄대 층에 어스앵커 공법을 적용할 경우, 앵커의 축력 증가와 벽체 변위의 과다 발생 등으로 사고 발생의 우려가 있다. 이에 본 연구에서는 단층 파쇄대의 지반 특성을 고려하여 어스앵커의 시공단계별 초기 인장력 변화에 따른 축력 및 변위 특성을 현장계측치와 해석결과를 비교·분석하였다. 비교·분석 결과, 설계 및 시공시 단층 파쇄대 층에 적절한 어스앵커의 초기 인장력 도입을 통해 흙막이 벽체의 안정성을 향상시키는 방안에 대하여 기술하였다.

주요어 : 어스앵커 공법, 어스앵커 축력, 벽체변위, 단층 파쇄대, 현장계측치

1. 서 론

대심도 굴착공사시 굴착단면의 규모가 큰 경우 흙막이 벽체를 지지하기 위해 버팀대 대신으로 어스앵커 공법을 적용하고 있다. 이 공법은 버팀대 등의 장애물이 없어 굴착작업이나 목적구조물 공사 등의 작업능률이 좋고 해체가 간단한 장점을 가지고 있으나, 시공 중

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 동명기술공단

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(khcho@seoultech.ac.kr)

예기치 못한 벽체변위 과다발생 및 어스앵커 축력 증가시 대처방안이 매우 제한적이므로 설계·시공에 주의가 요구된다. 특히 초기 긴장력은 흠막이 벽체변위, 각종 가설부재에 작용하는 응력 크기에 직접적으로 영향을 주어 흠막이 벽체의 안전성 및 경제성을 결정하는 중요한 인자이다. 따라서 대심도 단층 파쇄대 층에서 흠막이 벽체의 안정성향상을 위해서 설계축력대비 초기 긴장력 도입 범위가 필요하다. 본 연구에서는 어스앵커의 시공단계별 초기 인장력 변화에 따른 축력 및 변위 특성을 현장계측치와 해석결과를 비교·분석하여 흠막이 벽체의 안정성을 향상시키는 방안에 대해 기술하고자 한다.

2. 어스앵커 공법

2.1 어스앵커의 정의

시멘트 페이스트 혹은 시멘트 모르타르의 주입에 의해서 지중에 매입된 인장재의 선단부에 앵커체가 만들어지고 그것이 인장재와 앵커두부를 통하여 구조물과 역학적으로 연결된 것을 앵커라고 하는데, 앵커의 인장재에 가해지는 힘은 주로 앵커체에서 지중에 전달된다.

앵커의 구조체는 앵커체, 인장부 및 앵커두부로 구성되며 앵커각부의 명칭은 Fig. 1과 같다.

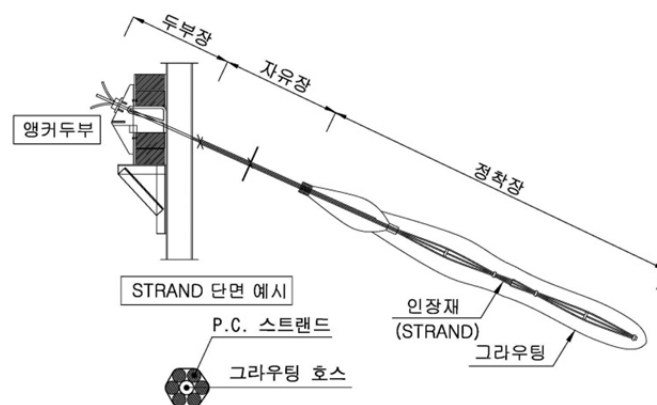


Fig. 1 Construction of Earth Anchor

2.2 어스앵커의 설계방법

2.2.1 앵커인장재의 인장강도

앵커인장재의 인장강도는 인장재의 단면적에 인장재의 허용인장응력(f_{ap})을 곱한 값이며 허용인장응력 값은 가설앵커 또는 영구앵커 구분에 따라 설계기준에 의한다.

2.2.2 지반앵커의 자유장

앵커 자유장은 인장재가 관통하고 있을 뿐이고 설계계산상 지반에 대하여 힘의 전달이 행하여지고 있지 않는 부분의 길이이다.

2.2.3 지반앵커의 정착장

지반앵커의 정착장은 마찰저항길이와 부착저항길이 중 큰 값으로 하고 이 때 최소 정착장은 토사층인 경우 4.5m 이상으로 한다.

Table 1 Allowable Bond Strength of Steel (British Code)

철근형태	그라우팅 강도(N/mm ²)			
	20	25	30	40이상
	최대 부착응력(N/mm ²)			
이형철근	1.2	1.4	1.5	1.9
원형철근	1.7	1.9	2.2	2.6

Table 2 Frictional Resistance according to the Type of Soil

지 반 의 종 류			마찰저항(MPa)
암 반	경암 연암 풍화암		1.00~2.50
			0.60~1.50
			0.40~1.00
자갈	N치	10	0.10~0.20
		20	0.17~0.25
		30	0.25~0.35
		40	0.35~0.45
		50	0.45~0.70
모래	N치	10	0.10~0.14
		20	0.18~0.22
		30	0.23~0.27
		40	0.29~0.35
		50	0.30~0.40
점성토			1.0C

3. 지층분포 및 현장계측

3.1 지층분포현황

단층 파쇄대를 구성하는 물질은 전단파괴의 정도에 따라 점토, 각력이 혼합된 점토, 비교적 큰 암괴와 각력이 혼합된 층 등으로 다양하게 구성되며, 단층 파쇄대의 특성은 이러한 파쇄대 내의 물질이 어떤 것이 주가 되는가에 따라 크게 달라질 수 있다. 본 검토에서는 통상적인 지층분류기준으로 구분하면 단층 파쇄대의 특성을 규명하기 어렵고 지층분류에 오해를 유발시킬 수 있기 때문에 단층의 영향을 고려하여 단층핵부, 단층손상대A, 단층손상대B, 파쇄연암으로 지층을 세분화한 지반조사 결과를 준용하였다.

1) 단층핵부

단층운동에 의해 생긴 암석의 파쇄편들이 열수작용 및 지표수에 의해 단층물질이 변질되어 암편을 포함한 세립의 기질로 구성된 단층비지 지층(암편 < 30% 암편)

2) 단층손상대A

단층운동에 의해 생긴 암석의 파쇄편들이 각력작용에 모암의 잔류구조가 남지 않을 정도의 변형을 받고 단층비지와 단층각력으로 혼재된 지층(단층비지와 각력비율 5:5)

3) 단층손상대B

단층운동에 의해 생긴 암석의 파쇄편들이 파쇄작용과 분쇄작용을 받아 단층각력으로 구성된 지층 그리고 단층비지를 포함한 전단띠를 구성하고 있으며, 모암의 잔류구조가 일부 남아 있는 전단단열 지층

4) 파쇄연암

단층의 영향권내에서 취성변형작용을 받아 파쇄된 기반암

Table 3 Geotechnical Properties

지층명	적용(범위)				
	단위중량 γ (KN/m ³)	변형계수 (MPa)	점착력 c (KPa)	내부마찰각 ϕ (deg)	횡방향지반반력 계수(MN/m ³)
토사	18 (16.0~18.0)	20 (3.5~30.0)	10 (0~37.0)	26 (23.0~29.0)	15 (1.0~30.0)
단층핵부	21 (18.0~22.0)	76 (20.0~80.0)	29 (23.0~33.0)	27 (23.0~32.0)	25 (20.0~50.0)
단층손상대A	21 (19.0~22.0)	90 (50.0~150.0)	24 (20.0~29.0)	28 (23.0~32.0)	45 (30.0~50.0)
단층손상대B	21 (20.0~22.0)	240 (80.0~300.0)	34 (28.0~39.0)	34 (22.0~39.0)	60 (40.0~60.0)
파쇄연암	23 (23.0~25.0)	1,000 (500~1,500)	100 (100~600)	36 (30.0~40.0)	80 (40.0~80.0)

3.2 현장계측결과

단계별 굴착시공에 따른 계측기 설치 후 약 2년간의 계측결과를 분석한 결과 흙막이 벽체의 안정성이 유지되고 있음을 판단할 수 있으며, 축력이 급격하게 줄어드는 경향을 보이는 위치는 시공 중 추가보강앵커 설치에 따른 하중분배 효과 때문인 것으로 판단된다. 대부분의 앵커 축력은 설치 후 약간의 증가경향을 보이다가 일정시간 경과 후 수렴되는 경향을 보이고 있다. 이는 안정화된 흙막이 벽체에서는 굴착단계별 토압의 변화로 인접한 어스앵커에 추가하중이 발생하고 토압이 일정하게 분포하는 단계부터는 추가하중이 발생하지 않는다는 의미하는 것이므로 계측결과 축력이 수렴되지 않고 지속적인 증가 또는 감소의 경향을 보일 경우에는 대책 수립이 필요하다. 본 검토에서는 굴착완료 후 측정된 최근의 계측값과 해석치를 비교하였다.

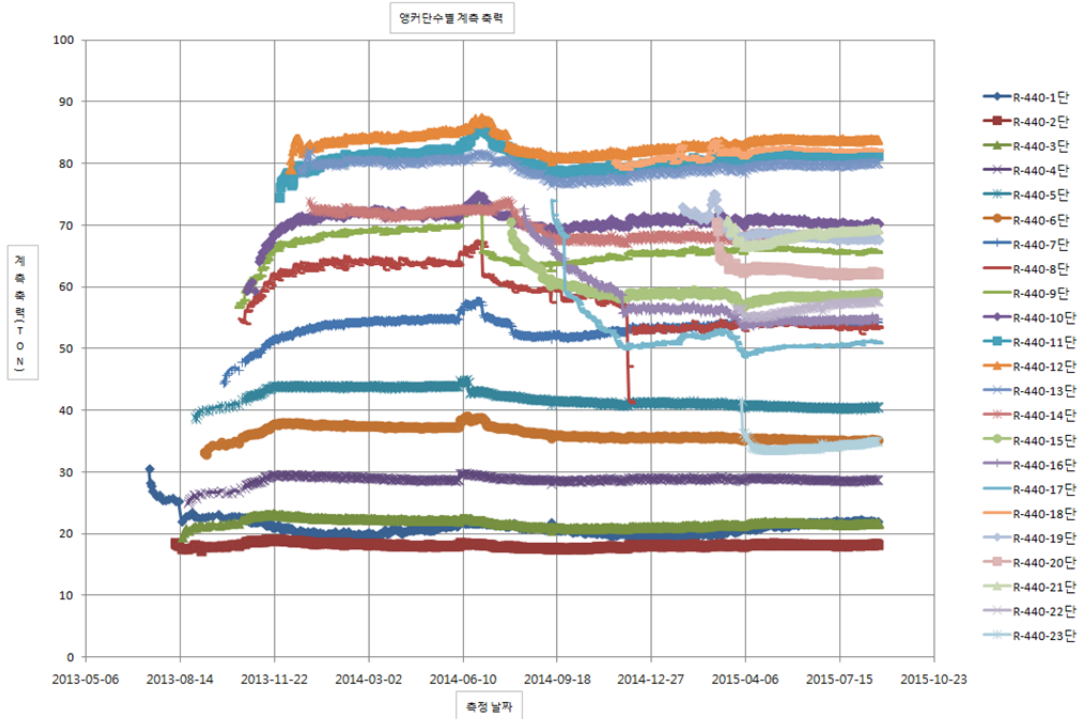


Fig. 2 Measurement of the Load

4. 초기 인장력 변화에 따른 흠막이 가시설 해석

4.1 해석단면

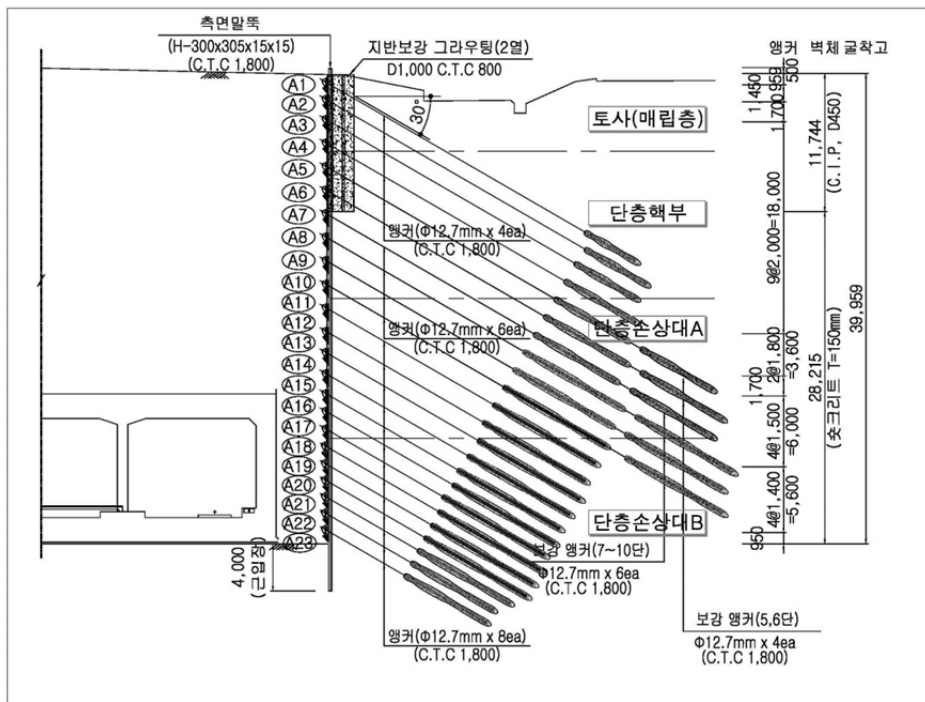


Fig. 3 Analysis Section

4.2 해석 개요 및 고찰

4.2.1 내적 안정검토

본 해석에서는 시공과정, 시간효과, 지하수변화 및 현장여건 등 변위 유발 요인들 중 명확히 확인되지 않는 시공과정이나 시간효과 등은 고려하지 못하였으며 지반조사 결과에 의해 분석한 지반조건을 매개변수로 하여 검토하였다. 해석에 사용된 “ SUNEX ” Program은 탄·소성 Beam Spring Model로서 단계별 굴착과 지보공에 따른 흙막이 벽의 변위, 전단력, 휨모멘트 및 지보공의 축방향력을 계산한다.

4.2.2 검토 조건

1) 토압

가설 흙막이 벽체에 작용하는 토압은 벽체의 종류와 시공방법, 지지구조물의 종류, 설치위치 및 설치시기 등에 따라 변화하므로 지반조건, 지하수위, 주변상황 등을 고려하여 시공단계별 토압분포를 검토하여야 한다. 흙막이벽 구조물의 구조해석시 적용하는 기본토압은 흙막이 벽체의 종류, 지반조건 등에 따라 다양한 제안식이 있으나 국내에서 범용되어 사용되는 기본적인 토압공식은 Rankine의 삼각형 토압을 사용하고 있다.

따라서 본 해석은 굴착단계시에는 삼각형 토압분포인 Rankine토압을 적용하고 버팀 구조물 완료 후의 장기적인 안정해석에는 경험토압인 Peck의 토압을 적용하였다.

2) 상재하중

흙막이 가시설 배면측에는 공사용 차량 및 장비 등의 진·출입이 빈번하므로 상재하중을 고려하였다.

3) 지하수위

굴착전 초기 지하수위는 지반조사결과를 반영하여 해석하였으며, 굴착 중 지하수위 변화는 굴착면보다 3m 상부에 지하수위가 위치하는 조건으로 검토하였다.

4) 초기 긴장력

초기 긴장력은 앵커를 정착할 때 가하는 인장력 즉 하중이며 초기 긴장력에 의해서 앵커인 장재에 도입되고 앵커에 유지되어 있는 지속적인 긴장력이 유효 긴장력이다. 계측에 의해 측정된 값은 유효 긴장력이므로 해석결과 또한 유효 긴장력을 의미하며, 시공과정에서의 발생하는 긴장력 손실 및 재료적인 특성에 의한 손실 등은 고려치 않았으므로 실제 시공에 필요한 초기 긴장력은 긴장력 손실을 고려하여 잭킹력을 산정하여야 한다.

본 해석에서는 초기 긴장력을 8단계 즉, 설계축력대비 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, 120%, 140% 조건으로 검토하였다.

4.2.3 해석결과

흙막이 벽체 특성상 지반조건 및 시공조건 등의 요인으로 해석결과와 실제굴착으로 인한 거동특성과는 상이할 수 있으나, 지반조건 불확실성, 복잡한 지반상황, 실제 굴착공사시 공사관리 상태 등을 구조해석으로 단순화한 점을 고려하여 본 해석결과와 현장계측 결과를 비교·분석하였다.

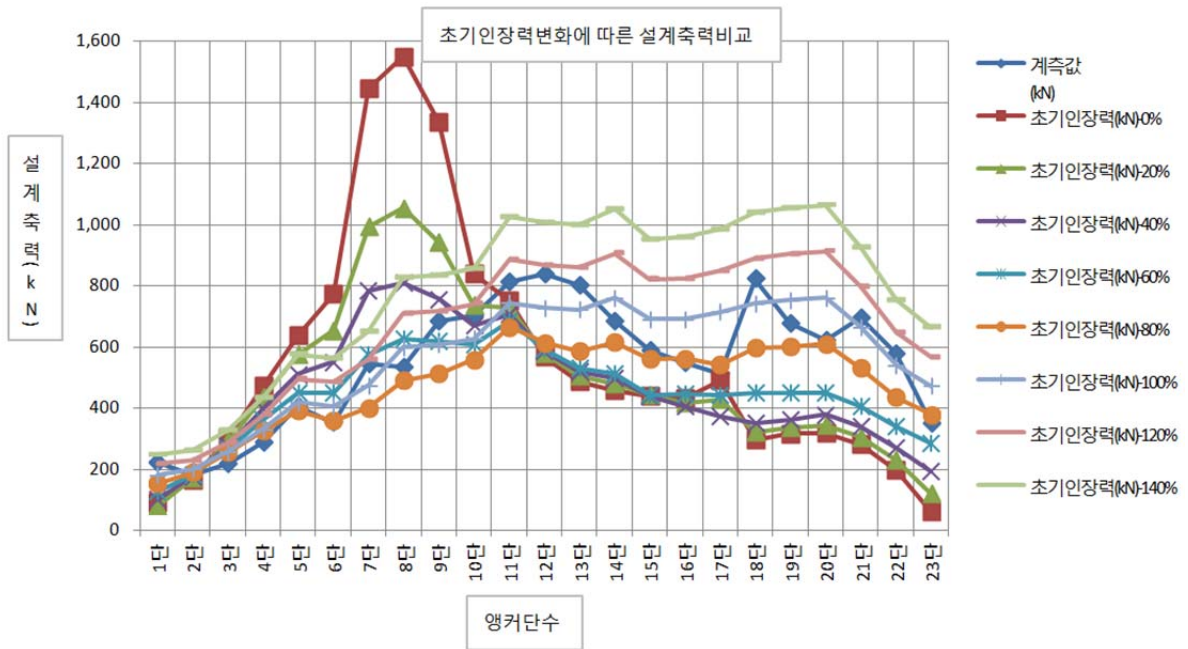


Fig. 4 Compare of the Design Axial according to the Initial Prestressed Force Change

초기 긴장력이 작을수록 즉 0%에 가까울수록 계측치와 큰 편차를 나타내고 있으며, 계측치는 해석치의 40%~140% 범위내에서 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 초기 인장력이 설계축력과 동일한 100% 조건일 때 가장 유사한 경향을 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 단층 파쇄대 시공현장에서 측정한 어스앵커 축력 계측치와 해석치를 비교·분석하여 단층 파쇄대에서 적정한 어스앵커 초기 긴장력 범위를 검토하였다.

(1) 단층 파쇄대 층에서는 통상적인 지층분류 기준으로 구분하면 단층 파쇄대의 특성을 규명하기 어렵고 지층분류에 오해를 유발시킬 수 있기 때문에 단층의 영향을 고려하여 단층핵부, 단층손상대A, 단층손상대B, 파쇄연암으로 지층을 세분화한 지반조사가 요구된다.

(2) 일반적인 지층조건에서의 초기 긴장력은 설계하중의 50%~100% 범위에서 결정되고 있으나, 단층 파쇄대 층에서는 초기 인장력을 설계축력의 약 100% 내외에서 결정하는 것이 현장 계측치와 가장 유사한 값을 보이고 있는 것으로 검토되었다.

(3) 초기 긴장력이 작을수록 계측치와 큰 편차를 보이고 있으며 계측치는 해석치의 40%~140% 범위내에서 분포하고 있는 것으로 나타났다.

(4) 어스앵커 공법은 시공 중 이상 징후 발생시 대처할 수 있는 보강방법에 제약이 따르고 급작스런 붕괴의 위험성이 있으므로 대심도 단층 파쇄대 층에서는 이러한 검토결과를 바탕으로 시공 중 가시설 보강에 따른 공기, 시공성, 경제성을 향상시키는데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] “지하굴착시 암반지반속에 정착된 어스앵커의 초기 인장력결정”, 임성순외, 대한토목학회 논문집, 1999
- [2] “수서-평택 고속철도 5공구 동탄정거장 흙막이 가시설 안정성 검토 연구용역 보고서”, 한국지반공학회, 2014.4.
- [3] “구조물 기초 설계기준 해설”, (사)한국지반공학회, 2009.3
- [4] “수도권고속철도(수서~평택)제3공구 노반 기본 및 실시설계”, (주)동명기술공단, 2015.4