

체인 보강토 옹벽의 현장 인발실험

A In-Situ Pullout Experiment of Chain Reinforced Earth Wall

*유 찬(경상대)·김상수(충북대)

*Yu, Chan·Kim, Sang-Su

Abstract

A in-situ experiment was performed to evaluate the pullout resistance capacity of chains which is used as a reinforcement of reinforced earth wall. It was also considered that chain was combined with a bar or L-type steel angle by the transverse reinforcement member in the experiment. As a result of experiment, it is expected that chain can be safely used as reinforcements of reinforced earth wall, although it is concerned that a theoretical estimation of the pullout resistance capability of chain is too conservative.

1. 서론

Slit 보강토공법은 환경 친화적인 개념을 도입해 개발된 보강토 공법중 하나로 설계시에는 외적인 안정검토는 일반적인 보강토 공법과 동일하지만, 내적인 안정성 검토에서는 기본적인 보강재로서 비 인장성인 아연도금 체인(chain)을 사용하고 수동 저항을 증가시킬 목적으로 강봉이나 강재 L-형 강재앵글(steel angle)등을 함께 조합하여 사용할 수 있으므로 이에 대한 표면마찰저항이나 수동저항을 고려해 주어야 한다(신방웅 등, 2002). 그러나 체인을 사용한 Slit 보강토 공법은 국내에서 그 적용사례가 아직은 많지 않을뿐더러 연구도 이제 시작단계에 있으므로 환경 친화적인 토목구조물의 필요성이 어느때 보다도 강하게 제기되고 있는 현재의 상황에 비추어 국내의 토질상황에 적합한 Slit 보강토공법의 설계·시공자료가 절실한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 Slit 보강토옹벽의 보강재로 사용되는 아연도금 체인의 표면마찰 저항특성과 수동저항체로서 철근 그리고 강재 L-형 앵글을 사용한 경우의 인발저항 특성변화를 현장실험을 통하여 연구하였으며, 그 결과를 이론적인 결과값들과 비교하여 체인 보강재의 특성을 제시하였다.

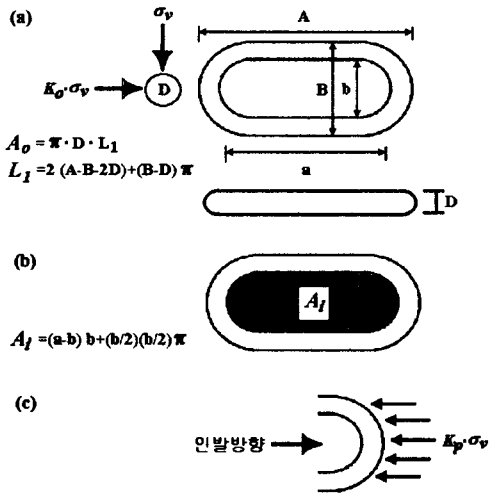
2. 체인의 인발저항 메카니즘

체인의 인발저항은 크게 3가지 성분을 고려해 주고 있다(井上 治, 小南幸二, 1996; 井上 治 등, 1997). 첫 번째는 흙 입자와 체인사이의 마찰력(F_1), 두 번째는 체인내부에 포함된 흙의 전단저항력(F_2) 그리고 세 번째는 체인의 단면에서의 수동 저항력(F_3) 등 이다(그림 1 참조). 이상의 내용을 식으로 표시하면 다음 식(2)와 같다.

$$F_{tc} = F_1 + F_2 + \mu \cdot F_3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서, $F_1 = A_o \cdot 0.5(\sigma_v + K_o \cdot \sigma_v) \cdot \tan \frac{\phi}{2} \cdot n$, A_o =체인 1개의 표면적(cm^2), K_o =정지 토압 계수($=1-\sin\phi$), n : 체인의 개수, $F_2 = 2 \cdot A_i \cdot \sigma_v \cdot \tan \phi \cdot n$, A_i =체인 1개의 내부면적(cm^2),

$F_3 = (B - D) \cdot D \cdot K_p \cdot \sigma_v \cdot n$, K_p =수동 토압계수, μ =체인표면과 흙입자 사이의 마찰계수 ($=\tan(\phi/2)$)이다.



한편 Slit 보강토 공법에서는 인접된 체인사이에 횡방향으로 강봉을 연결시키거나 혹은 체인의 끝부분에 L-형 앵글 등을 수동 저항체로 조합하여 사용하면 더 큰 저항력을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 횡방향 강봉의 경우에는 체인의 길이에 따라서는 한 개 이상 설치될 수 있으며 인발에 대한 저항은 지지 저항을 가정해서 다음 식(3)와 같이 나타내고 있다. 여기서, m =횡철근의 수, d' =횡방향 철근의 내경 ($d'=d-C_m$, $C_m=1\text{mm}$), c =흙의 점착력, v =흙의 단위중량, N_c' , N_q' , N_γ' =Terzaghi의 지지력계수이다. 말단 L-형 앵글의 인발저항력은 식(4)와 같이 수동저항을 가정하여 산정하고 있다.

그림 1 체인의 규격과 인발저항 모식도 여기서, A_a =L형 앵글의 지압저항 면적이다.

$$F_{ri} = m \cdot d' (cN_c' + \frac{\gamma}{2} d' N_\gamma' + \sigma_v N_q') \dots\dots\dots (3)$$

$$F_{bi} = K_p \cdot \sigma_v \cdot A_a \dots\dots\dots (4)$$

표 1. 세부적인 현장실험 내용

보강재의 종류	① 체인 단독(D=6mm)
	② 체인+강봉(ϕ =6mm)
	③ 체인+L-앵글(h=4cm)
보강재(체인)의 길이	2.0m, 2.5m, 3.0m
보강재의 연직 설치위치	2.9m~4.5m

표 2. 화강풍화토의 물성치

시료종류		화강풍화토
구분	ϕ (°)	
전단강도	ϕ (°)	38.3
정수	c (kg/cm ²)	0.147
연경도	액성한계(%)	21.58
	소성한계(%)	N.P
다짐특성(A 다짐)	최적함수비(%)	13.3
	최대건조단위중량(t/m ³)	1.87
통일분류법(USCS)		SM

3. 현장 실험방법 및 재료

3.1 현장 인발시험 개요

현장실험 위치는 경기도 용인에 위치한 택지개발 조성지역 이었으며(사진 1), Slit 보강토 옹벽을 설치하였는데, 전체 연장은 102m, 높이는 최대 5.6m였으며, 현장실험은 중앙 60m구간에서 실시하였다. 시험에서 보강재로 사용된 체인의 체원은 $D=0.6\text{cm}$, $A=3.8\text{cm}$, $a=2.6\text{cm}$, $B=2.2\text{cm}$ 그리고 $b=1.0\text{cm}$ 이었으며(그림 1), 직경 6mm의 강봉은 체인 길이방향으로 50cm마다 1개씩, 높이 4cm의 L-형 앵글은 체인의 끝부분에 설치하였다. 시험 조건

에 따른 세부적 현장 시험내용은 다음 표 1과 같다. 현장 인발시험은 사진 1과 같은 압력 펌프가 설치된 증공실린더를 사용하여 압력에 따른 변위를 측정하면서 약 80개소에 대해서 실시하였다. 뒤채움재로서는 현장에서 발생된 화강암질 풍화토를 유용하였으며, 기본적인 물리적인 성질, 대형 직접전단시험 그리고 다짐시험(표준 A다짐)의 결과는 다음과 같다.

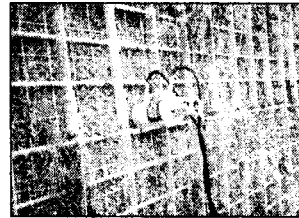
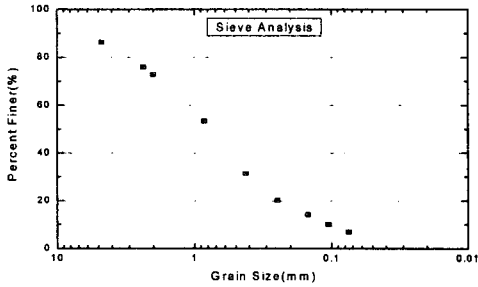


사진 1.

그림 3. 화강풍화토의 입도분포곡선

4. 현장 시험결과 및 고찰

4.1 체인의 변위와 인발하중 관계

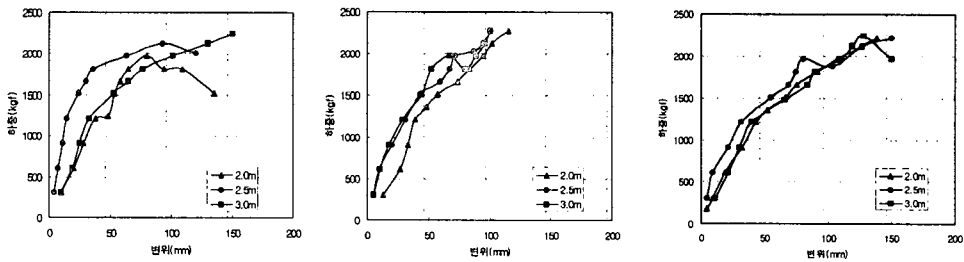


그림 4.

(a) 체인

(b) 체인+강봉

(c) 체인+앵글

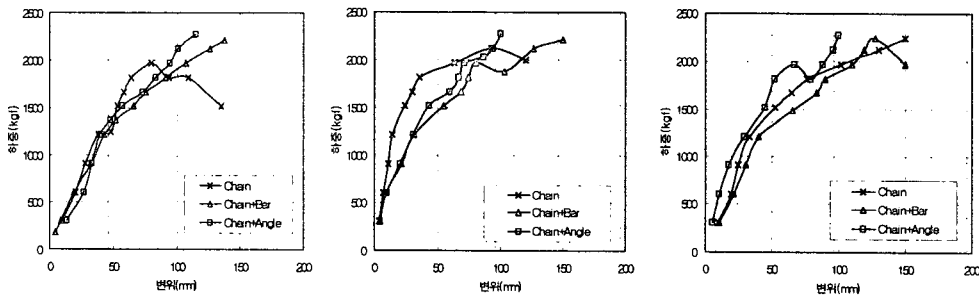


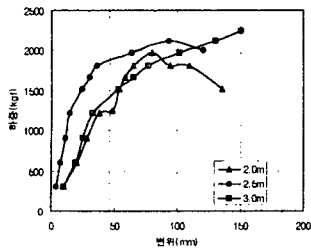
그림 5.

(a) 체인

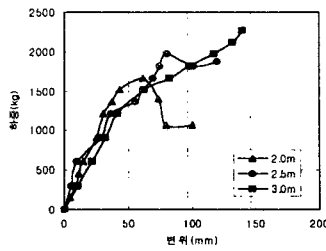
(b) 체인+강봉

(c) 체인+앵글

그림 6은 연직응력의 영향을 알아보기 위하여 설치위치 3.0m와 4.0m에서의 실험 결과를 나타낸 것이며, 체인의 경우에도 비신장성 보강재의 특성을 가지고 연직응력이 클수록



(a) H = 3.0 m



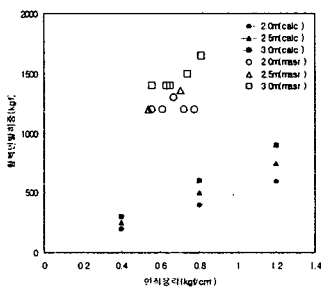
(b) H = 4.0m

그림 6.

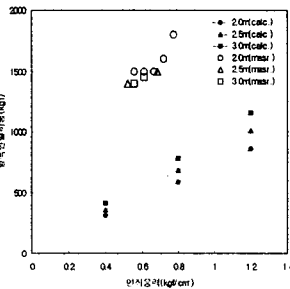
현장에서 실측한 항복 인발하중이 이론식에 의한 값보다 큰 것으로 나타났으며, 실제 체인의 인발에 대한 체인의 저항능력이 과소 평가되는 것으로 판단되었다.

변위가 억제되는 다일러턴시에 의한 보강재의 구속효과가 나타나는 것으로 판단되었다

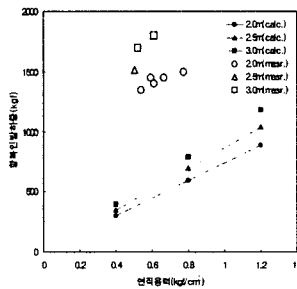
4.2 이론값과 현장실측치의 비교
식(2)~식(4)를 이용하여 인발 저항값을 계산한 결과와 현장 실측값에서 산정한 항복 인발하중 값을 비교한 것이 그림 7이며,



(a) 체인



(b) 체인+강봉



(c) 체인+앵글

그림 7.

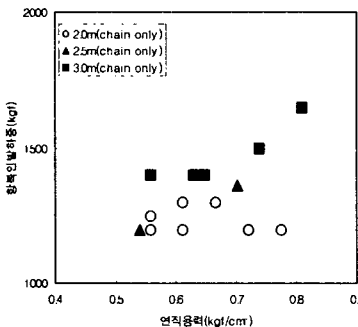


그림 8.

그림 8은 체인의 연직응력에 대한 항복 인발하중의 관계를 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서는 체인의 길이 2.0m인 경우에는 연직응력에 따른 항복 인발하중의 변화가 크지 않았으나, 체인길이 2.5m와 3.0m의 경우에는 연직응력이 증가함에 따라서 항복 인발하중이 증가하는 경향을 나타내었다.

5. 결론

체인을 보강재로 사용하는 경우에서 기존의 이론식을 적용한 설계나 시공은 안전측으로 나타났으나, 체인의 인발 저항력이 너무 과소 평가되고 있다고 판단되었다. 따라서 향후 체인 자체만의 인발저항에 대한 보다 세밀한 실험이 경제적인 설계와 시공을 위하여 필요하다고 판단되었다.

참고문헌

1. 신방웅외 3인(2002), "Slit 보강토 옹벽의 인발특성에 관한 연구", 한국지반환경공학회, 2002 학술 세미나 논문집, pp. 34~40
2. 日本上質工學會(1990), 補強上工法, 上質基礎工學ライブラリ-29
3. 井上 治, 小南幸二(1996), "補強上工のチェーン筋の引抜き抵抗について", 土木學會 第51回年次學術講演會 概要集, 第3部(B) 地盤構造物の設計・施工, 地盤環境分野, pp. 626~627