

자켓앵커 거동특성에 관한 연구

A Study on the Behaviour Mechanism of Jacket Anchor

김동희¹⁾, Dong-Hee Kim, 김인철²⁾, In-Chul Kim, 공현석³⁾, Hyun-Seok Kong, 이우진⁴⁾, Woojin Lee

¹⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ.

²⁾ (주)신화소일테크 부장, Project Manager, Shinhwa Soil Tech. Co., Ltd.

³⁾ 포스코건설 건축사업본부 건축기술그룹 차장, Deputy General Manager, Architecture Technology & Design Group, Architecture Division, posco e&c

⁴⁾ 고려대학교 건축·사회환경공학과 부교수, Associate Prof., Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ.

SYNOPSIS : Jacket anchor was developed to increase the pullout resistance of general ground anchor in soft ground, and the mechanism of pullout resistance of jacket anchor was analyzed. Also, the ultimate bond stress of jacket anchor was estimated by ultimate resistance which is determined by field tests. Grout milk was injected into the jacket to make grout bulb of jacket anchor. The formation of grout bulb of jacket anchor increases the diameter of grout bulb, ground strength and confining pressure between anchor grout and soil. From the twelve field test results, it was observed that the pullout resistance of jacket anchor is 15.38~295.02%(average 83.53%) greater than that of general ground anchor, and plastic deformation of jacket anchor is 20.78~1,496.45%(average 288.78%) smaller than that of general ground anchor at the same load cycle. Especially, it was investigated that the increase of ultimate resistance over 200% and the reduction of plastic deformation over 600% was obtained in gravel layer. It means that the jacket anchor is superior to the general ground anchor in gravel layer. Finally, the ultimate bond stress was proposed to design jacket anchor.

Key words : Ground earth anchor, Jacket anchor, Pullout resistance

1. 서론

최근 국내에서는 서·남해안을 중심으로 해안의 연약지반에 준설·매립을 수행하여 송도신도시, 청라지구, 부산신항만 등의 대규모 신도시, 항만 등을 건설하고 있으며, 이러한 해안지역의 매립지반은 점토 또는 느슨한 모래층으로 구성되어 있어 매우 연약한 특성을 보인다. 이러한 연약지반에서 기초시공을 위한 굴착공사를 어스앵커로 시공할 경우 앵커의 정착장이 길어질 뿐만 아니라 소요 인발력이 발휘되지 않는 등의 문제점이 있다. 또한, 앵커를 대체할 수 있는 버팀보공법은 일반적으로 앵커공법에 비하여 공사기간이 길고 건축공사 등의 타 공정과 간섭이 발생하는 등 불리한 요인을 가지고 있어 최근에는 굴착공사시 지중에 지장물이 없을 경우 버팀보공법보다는 그라운드 어스앵커공법을 선택하고자 하는 추세이다. 따라서 이러한 연약한 지반에서 굴착공사를 성공적으로 수행하기 위해서는 연약지반에 효과적으로 적용할 수 있는 어스앵커공법의 개발이 필요하다.

어스앵커공법은 사용기간에 따라서 가설앵커와 영구앵커로 구분된다. 가설앵커는 Ostermayer(1978), Littlejohn(1968, 1970), 임중철(1998) 등에 의하여 연구되어 왔으며, 영구앵커는 미연방도로국(FHWA)이

현재까지의 연구성과들을 집대성하여 편찬하는 프로젝트를 진행해왔다(Nicholson et al., 1982; Otta et al., 1982; Pfister et al., 1982; Weatherby, 1982; Cheney, 1988; Long et al., 1997; Muller et al., 1988; Weatherby et al., 1997; Weatherby, 1998). 또한, Coyle 등(1966), Kim(2000)에 의하여 연약지반에 설치된 앵커에 관한 연구가 수행되었으나 아직까지 국내에서는 활발하게 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 연약지반에서 효과적으로 인발력을 발휘할 수 있도록 개발된 섬유정착보강재(자켓)를 장착한 지반정착앵커(이하 자켓앵커)의 인발저항 발휘 메카니즘을 분석하였으며, 송도신도시 현장에서 섬유정착보강재를 사용하지 않은 일반앵커와 동일한 조건으로 인발적성시험을 수행하여 자켓앵커의 극한인발력 증가 및 소성변위 감소효과를 검증하였다. 또한, 설계시 사용할 수 있는 지반조건별 자켓앵커의 단위주면마찰력을 제안하였다.

2. 연약지반용 자켓앵커

2.1 개발배경

매립층 및 연약지반은 대부분 지하수위 아래에 존재하며 천공시 아칭효과(arching effect)가 발휘되지 못하여 공벽이 붕괴되거나 이완되어 원지반의 강도를 상실하므로 앵커의 인발력이 발휘되지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다. 공극이 큰 매립층 및 자갈 전석층에서는 그림 1(a)와 같이 그라우팅액이 지층 속으로 유실되어 정착지지체가 완전하게 형성되지 않기 때문에 정착지지체의 취약부분에서 국부적인 파괴가 시작될 수 있으며, 이는 시공완료 후 진행성 파괴로 진전되어 붕괴 사고로 이어지는 경우가 발생한다. 또한, 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이 점토 및 실트층과 같은 연약지반에서는 2차 가압주입으로 인해 지반에 인장균열이 발생하며, 이러한 공극을 채우기 위해 과도한 그라우팅액이 주입되어 비경제적 시공으로 이어진다. 따라서 지하수위가 높은 전석층, 실트 및 점토층, 투수성이 큰 모래 자갈층, 쓰레기 매립층과 같은 연약지반에 적용하여 경제성 및 안정성을 확보할 수 있는 어스앵커공법이 필요하다. 이러한 필요성에 의하여 연약지반용 자켓앵커를 개발하게 되었으며, 본 논문에서는 개발된 자켓앵커의 인발력 발휘 메카니즘 및 효과를 분석하고자 한다.

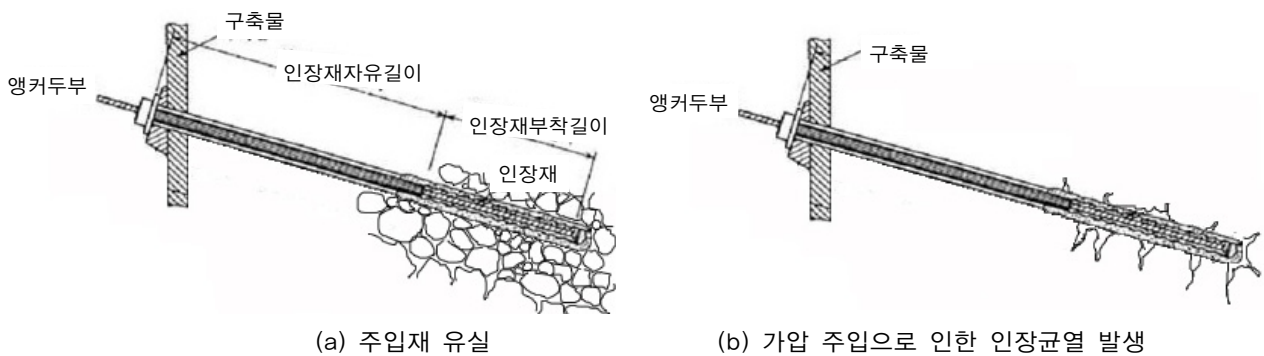


그림 1. 일반앵커 시공에서의 문제점

2.2 특징 및 구성

연약지반에 적용 가능한 그라운드 어스앵커는 천공구멍 벽면에 직각으로 압력을 가하여 원지반 강도 및 원지반과 앵커체의 마찰력을 증가시켜 인발저항력을 증대시키는 것으로 앵커의 구성은 다음 그림 2와 같다. 자켓앵커의 구성 중 인발력 향상 및 그라우팅액 손실을 막기 위하여 개발된 섬유정착보강재(자켓)는 포대형상으로 내하체를 감쌀 수 있도록 그림 3과 같이 제작한 것이며, 신축성이 있고 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 압력에도 견딜 수 있는 섬유를 사용하여 가압 충전된 그라우팅액의 수분이 섬유정착보강재 외부로 일부 탈수되어 물시멘트비(w/c)가 저하되면서 정착지지체의 강도가 증대된다.

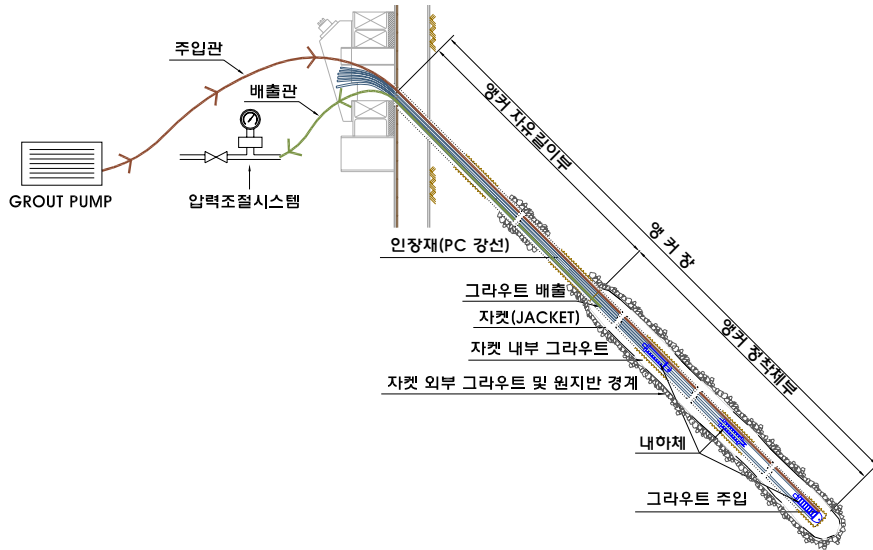


그림 2. 연약지반용 자켓앵커

배출구에 설치된 압력조절시스템(압력 게이지)은 섬유정착보강재가 고압의 그라우팅액 주입으로 파열되지 않도록 그라우팅액의 배출압력을 측정하여 주입압력을 조절하며, 최적의 정착지지체 구근이 형성될 수 있도록 한다. 압력조절시스템은 그라우팅액의 압력을 측정해야 하므로 그림 4와 같이 특수제작 되었다.



그림 3. 포대형상의 섬유정착보강재(자켓) 사진



그림 4. 압력조절시스템(압력 게이지)

주입관을 통하여 자켓앵커 내부로 주입된 그라우트액은 자켓내부를 모두 채운 후 그림 4와 같이 배출관으로 흘러나오게 되며, 이때 압력조절시스템의 밸브를 닫을 경우 자켓내부에 압력이 증가하여 자켓이 팽창하게 된다. 이러한 방법으로 압력조절시스템을 이용하여 섬유정착보강재 내부의 압력을 조절하여 자켓을 파열시키지 않고 최적의 구근을 형성시킨다.

2.3 인발력발휘 메카니즘

2.3.1 일반앵커의 인발력발휘 메카니즘

섬유장착보강재를 사용하지 않은 일반앵커의 인발력발휘 메카니즘은 극한인발력 또는 극한하중과 관계가 있으며, 앵커의 극한하중은 앵커 강선의 인장강도, 앵커 강선과 그라우트의 부착강도, 앵커체와 지반의 주면마찰력, 앵커체 주변지반이 파괴될 때의 지반 전단강도, 앵커체 그라우트의 압축강도 등의 요인들에 의해서 결정된다(日本地盤工學會, 1990). 느슨한 모래층, 실트 및 점토층과 같은 연약지반에서는

앞에서 설명한 여러 가지 파괴요인 중 앵커체와 지반의 주면마찰저항이 앵커의 파괴, 즉 극한인발력에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 연약지반에서 효과적으로 인발력을 발휘할 수 있는 앵커를 개발하기 위해서는 앵커체와 지반과의 주면마찰저항을 증가시키는 것이 가장 중요하다.

일반적으로 앵커의 극한인발력은 정착지반의 특성, 앵커체의 설치깊이(구속압), 앵커체의 형상, 인접앵커와의 거리 등에 영향을 받는다. 앵커체가 비교적 깊은 위치에 설치된 단일 앵커의 경우 정착지반에 의한 극한인발력은 앵커체와 정착지반 사이의 극한주면마찰력과 앵커체 확대부분 상단에서의 지압저항의 합으로 나타낼 수 있으며, 앵커체와 정착지반 사이의 극한주면마찰력은 다음 식(1)과 같다.

$$Q_{uf} = \pi DL_a f_{max} \quad (1a)$$

$$f_{max} = \alpha s_u \text{ (cohesive soil)} \quad (1b)$$

$$f_{max} = K\sigma'_{vo} = K_1\sigma'_{vo}\tan\phi \text{ (cohesionless soil)} \quad (1c)$$

여기서, Q_{uf} 는 정착지반과 그라우트 사이의 극한주면마찰력, D 는 앵커지지체 직경, f_{max} 는 지반과 그라우트 사이의 최대마찰력, L_a 는 정착지지체의 길이, α 는 최대마찰력 산정을 위한 계수(alpha value), s_u 는 비배수전단강도, σ'_{vo} 는 유효상재하중, K 는 마찰계수(= $K_1\tan\phi$), K_1 은 토압계수, ϕ 는 지반의 내부마찰각을 의미한다. 위의 식(1)에서 볼 수 있듯이 앵커의 극한주면마찰력을 증가시키기 위해서는 지반의 비배수전단강도 s_u , 내부마찰각 ϕ , 마찰계수 K , 정착지지체 직경 D 가 커야한다.

2.3.2 자켓앵커의 인발력발휘 메카니즘

자켓앵커는 그림 5에서 볼 수 있듯이 정착체 역할을 하는 섬유정착보강재의 팽창을 통하여 발휘되는 지반과 그라우트 사이의 마찰력을 이용하여 앵커에 작용하는 하중을 지지한다. 자켓앵커를 시공하기 위해서는 먼저 그림 5(a)와 (b)에서 볼 수 있듯이 앵커를 정착하고자 하는 위치까지 천공하여 1차로 가압 그라우트를 실시한 후 여기에 자켓앵커를 삽입한다. 다음에는 그림 5(c)와 같이 자켓내부에 2차 그라우트 가압을 하여 섬유정착보강재를 팽창시킴으로써 외부그라우트가 지반을 팽창시키도록 한다. 이러한 섬유정착보강재의 팽창은 외부 그라우트와 주변지반에 직각방향으로 압력을 가하게 되며, 이러한 현상은 주변 연약지반을 압밀시켜 강도증가를 가져온다. 이러한 강도증가는 지반과 정착지지체와의 마찰력을 증가시켜 앵커의 인발저항력을 증가시키게 된다. 즉, 섬유정착보강재의 팽창은 극한주면마찰력 산정 식(1)에서 마찰력이 발생하는 천공구멍 벽면에 작용하는 구속압력 $K_1\sigma'_{vo}$ 와 지반의 강도정수인 비배수전단강도 s_u , 내부마찰각 ϕ 를 증가시켜 궁극적으로 앵커의 인발력을 증가시킨다. 섬유정착보강재를 사용한 자켓앵커는 폐합식 주입 그라우팅이기 때문에 공극이 큰 지반에서 주입재의 유실을 최소화할 수 있으므로 일반 지중앵커에 비해 경제적인 시공이 가능하며, 주입재 유실이 없고 섬유정착보강재 팽창에 의하여 마찰력이 증가하기 때문에 일반적인 가압주입 그라우팅보다 확실한 정착력을 확보할 수 있다.

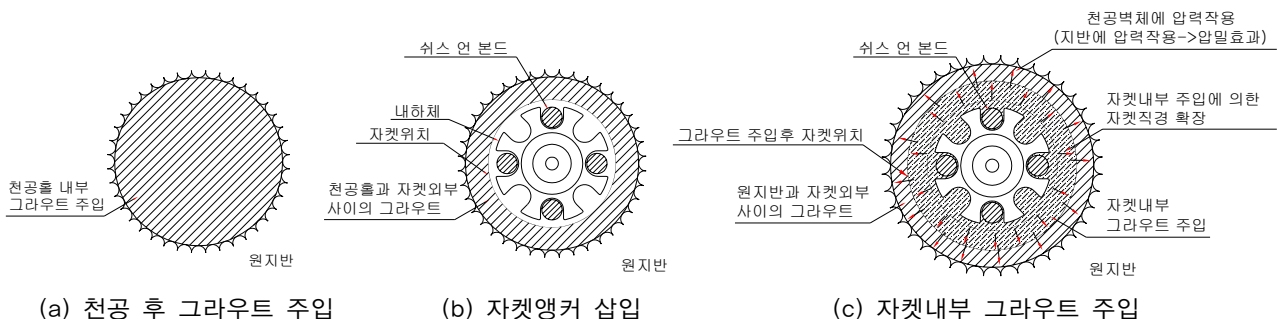


그림 5. 자켓앵커 인발력 발휘 메커니즘

자켓앵커의 인발력 발휘 메커니즘을 확인하기 위하여 현장 시험 후 터파기를 수행하여 앵커 정착체부를 그림 6과 같이 확인하였다. 확인 결과 섬유정착보강재 내부 그라우트주입은 섬유보강정착재를 팽창시키며, 이러한 작용은 섬유정착보강재 외부의 그라우트를 지반쪽으로 팽창시켜 천공직경 13.5cm 이상으로 정착장이 형성되도록 함을 확인하였다. 섬유정착보강재와 외부 그라우트와의 접촉면에는 그림 7에서 볼 수 있듯이 섬유정착보강재의 섬유재질이 관찰되며, 앵커를 인발할 경우에는 외부 그라우트와 원지반 사이의 접촉면에서 파괴가 발생하는 것을 관찰 할 수 있었다.



그림 6. 정착체부 구근형성 확인



그림 7. 접촉면 확인 사진

3. 현장앵커시험

3.1 앵커시험현장 지반조건

자켓앵커의 검증을 위하여 6개소 총 12회의 비교시험을 수행한 송도지역은 실트질 모래를 준설·매립하여 조성한 지반으로 지반조사결과 앵커시험 위치에서의 매립층 N치는 2~10 정도로 지반상태가 느슨한 것으로 조사되었다. 또한, 실트 및 점토로 구성되어 있는 퇴적층의 N치도 대부분 10 이하이며, 비배수전단강도는 2.5~4.0tf/m² 범위로 연약한 지반으로 평가된다. 따라서 연약지반에서의 자켓앵커 성능을 평가하고자 하는 본 연구의 목적에 부합한다고 할 수 있으며, 앵커시험위치에서 지반조건을 요약하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 앵커시험위치에서의 지반조건

시 험 현 장 위 치	지층종류	N치	비배수전단강도, tf/m ²
송도36블록 컨벤션센터 현장(DH-643)	실트층	N=9 내외	2.6~3.8
송도신도시 국제학교 현장(DH-209)	실트 및 점토층	N=2~10 범위	2.5~3.9
송도신도시 125블록 현장	자갈 전석층	N=15 내외	-
	실트층	N=5 내외	4.2~4.7
인천대학교 송도신캠퍼스 현장	실트질 모래	N=5~8 범위	-
산업기술문화 COMPLEX 현장	실트질 모래	N=6 내외	-
송도 센트럴파크Ⅰ 공사 현장	실트질 모래	N=2 내외	-

3.2 시험계획

연약지반용 자켓앵커의 현장 적용성을 검증하기 위하여 동일한 조건에서 일반앵커와 자켓앵커에 대한 인발적성시험(performance test)을 수행하였다. 인발적성시험 결과를 이용하여 얻은 극한인발력과 동일한 하중단계에서의 소성변위를 비교·분석하여 자켓앵커의 특성을 검증하였으며, 자켓앵커의 극한인발력을 이용하여 지반 강도에 따른 단위주면마찰력 범위를 제시함으로써 자켓앵커 설계를 위한 자료를 제시하였다.

본 연구에서는 총 6개 현장에서 자켓앵커 및 일반앵커에 대한 현장시험을 수행하였으며, 현장별 지반 조건, 시험앵커 종류, 앵커 제원 및 시험회수 등을 요약하면 다음 표 2와 같다. 현장검증시험에서 일반 앵커는 인장형 마찰앵커, 제거식앵커는 하중분산형 압축형 앵커를 사용하였으며, 제거식 앵커의 경우 모두 U-Turn Type을 사용하여 시험을 수행하였다.

표 2. 현장앵커시험 요약

시험현장		지반조건	시험앵커 종류	앵커길이(정착장),m	시험회수
송도36블록 컨벤션센터 현장 (DH-643)	TEST-1	실트층(N=9)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	15.8(3) "	3 회 3 회
	TEST-2	실트층(N=9)	· 일반 자켓앵커 · 일반앵커	" "	3 회 3 회
송도신도시 국제학교 현장 (DH-209)	TEST-1	점토층(N=10)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	19.8(4) "	3 회 2 회
	TEST-2	실트층(N=2)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	15.8(4) "	2 회 2 회
송도신도시 125블록 현장	TEST-1	자갈 전석층(N=15)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	10.3(2) "	3 회 3 회
	TEST-2	자갈 전석층(N=15)	· 일반 자켓앵커 · 일반앵커	10.3(2) "	2 회 2 회
	TEST-3	실트층(N=5)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	16.8(5) "	2 회 2 회
인천대학교 송도신캠퍼스 현장	TEST-1	실트질 모래(N=5)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	12.8(5) "	2 회 2 회
	TEST-2	실트질 모래(N=7)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	14.8(5) "	2 회 2 회
	TEST-3	실트질 모래(N=8)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	16.8(5) "	2 회 2 회
산업기술문화 COMPLEX 현장		실트질 모래(N=6)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	13.8(6) "	4 회 4 회
송도 센트럴파크I 공사 현장		실트질 모래(N=2)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	18.5(9) 18.5(9)	2 회 2 회

4. 시험결과 및 분석

4.1 극한인발력 산정결과

아래 그림 8은 인천대학교 현장에서 수행한 자켓앵커와 일반앵커의 대표적인 하중-변위관계 곡선으로 일반앵커의 경우 제4사이클에서 급격한 변위의 증가를 보이고 있으나 자켓앵커의 경우에는 제5사이클까지도 급격한 변위의 증가는 관찰되지 않았다. 이와 같이 자켓앵커가 일반앵커에 비하여 인발력이 큰 이유로는 앞에서 설명하였듯이 자켓앵창에 의한 정착체 직경 증가, 주변지반의 강도 증가, 마찰면에 작용하는 구속압력의 증가를 들 수 있다. 또한, 정착체 직경 증가에 따른 앵커체 확대부분 상단에서의 지압저항도 인발력의 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

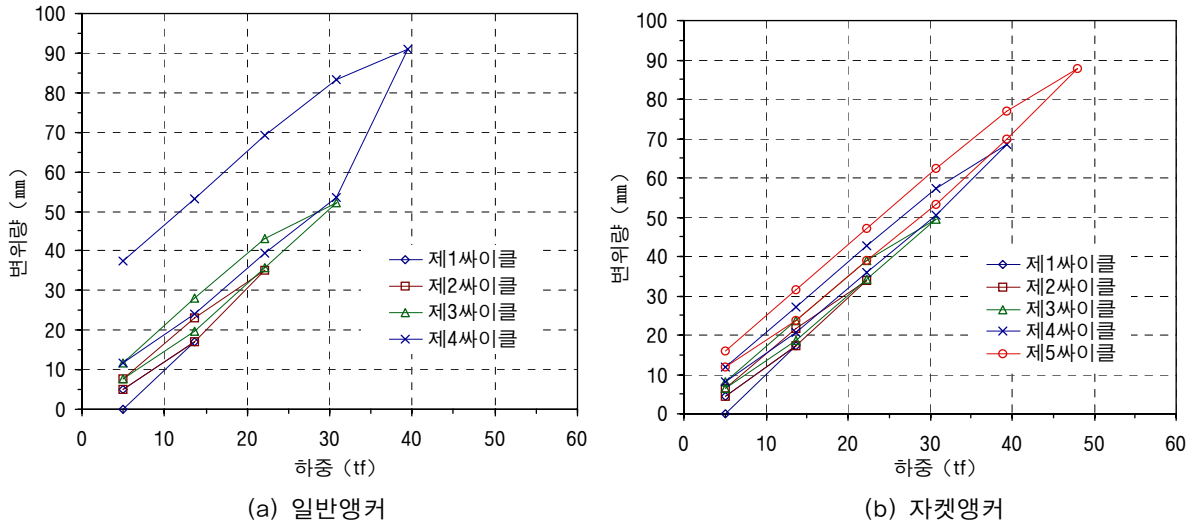


그림 8. 하중-변위 관계(인천대학교 현장)

본 연구에서 수행한 6개 현장 총 12회의 비교시험결과 극한인발력의 경우 표 3에서 볼 수 있듯이 자켓앵커의 극한인발력이 일반앵커의 극한인발력보다 약 15.38~295.02% 정도 큰 것으로 관찰되었다. 표 3의 시험결과 중 송도신도시 125블록 TEST-1, 인천대학교 송도신캠퍼스 TEST-2, 3, 산업기술문화 COMPLEX 현장의 자켓앵커시험결과는 극한인발력을 확인하지 못하여 시험을 수행한 최대하중을 극한인발력으로 가정하였다. 또한, 동일한 하중단계에서의 소성변위를 검토한 결과 자켓앵커의 소성변위가 일반앵커의 소성변위보다 약 20.78~1,496.45% 정도 작은 것으로 관찰되었다. 위 결과에서 볼 수 있듯이 자켓앵커는 극한인발력을 향상시킬 뿐만 아니라 변위를 제어하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 특히, 전석층 및 자갈층에 자켓앵커를 시공할 경우 그라우팅액의 손실없이 일정한 앵커구근을 형성할 수 있으므로 일반앵커에 비해 2.5배 이상의 극한인발력이 발휘되고 소성변위가 대폭 감소하는 것을 알 수 있다.

표 3. 인발력 및 소성변위검토 결과

시험현장		평균극한인발력, tonf		평균소성변위, mm	
		자켓앵커	일반앵커	자켓앵커	일반앵커
송도36블록 컨벤션센터 현장(DH-643)	TEST-1	16.67(42.86%↑)	11.678	33.93(59.62%↓)	54.16
	TEST-2	18.00(15.38%↑)	15.62	13.69(48.90%↓)	20.38
송도신도시 국제학교현장(DH-209)	TEST-1	32.33(86.90%↑)	17.30	8.00(276.91%↓)	30.14
	TEST-2	11.90(23.96%↑)	9.60	8.59(20.78%↓)	10.38
송도신도시 125블록 현장	TEST-1	42.27(295.02%↑)	10.70	3.97(694.80%↓)	31.58
	TEST-2	33.60(250.0%↑)	9.60	3.88(1,496.45%↓)	61.79
	TEST-3	19.95(27.88%↑)	15.60	12.73(176.71%↓)	35.23
인천대학교 송도신캠퍼스 현장	TEST-1	36.02(35.90%↑)	26.50	9.62(105.09%↓)	19.73
	TEST-2	48.00(55.84%↑)	30.80	8.89(59.84%↓)	14.21
	TEST-3	48.00(55.84%↑)	30.80	10.48(34.16%↓)	14.06
산업기술문화 COMPLEX 현장		39.00(69.57%↑)	23.00	7.80(270.78%↓)	28.93
송도 센트럴파크I 공사현장		25.20(43.18%↑)	17.60	6.68(221.26%↓)	21.46

4.2 단위주면마찰력 산정결과

현장에서 수행한 앵커시험결과로부터 산정한 극한인발력, 즉 한계하중(P_{lim})을 이용하여 시험앵커에 대한 단위주면마찰력을 산정하였다. 본 연구에서는 정착길이 전장에 대하여 인발력이 균일하게 분포하는 것으로 가정하였으며, 앵커정착부 직경은 천공직경과 동일하다고 가정한 후 단위주면마찰력을 산정하였다. 이러한 방법을 이용하여 산정한 자켓앵커 및 일반앵커의 단위주면마찰력은 각각 표 4와 같다.

표 4. 단위주면마찰력 산정결과

시험현장		자켓앵커, kg/cm ²		일반앵커, kg/cm ²	
		범 위	평 균	범 위	평 균
송도36블록 컨벤션센터 현장(DH-643)	TEST-1	1.18~1.57	1.31	0.79~1.18	0.92
	TEST-2	1.41	1.41	0.85~1.41	1.23
송도신도시 국제학교현장(DH-209)	TEST-1	1.74~2.23	1.91	0.78~1.26	1.02
	TEST-2	0.57~0.84	0.70	0.57	0.57
송도신도시 125블록 현장	TEST-1	4.64~5.66 이상	4.98 이상	0.98~1.60	1.26
	TEST-2	2.26~5.66	3.96	1.13	1.13
	TEST-3	0.83~1.05	0.94	0.64~0.83	0.74
인천대학교 송도신캠퍼스 현장	TEST-1	1.61~1.78	1.70	1.05~1.45	1.25
	TEST-2	2.26 이상	2.26 이상	1.45	1.45
	TEST-3	2.26 이상	2.26 이상	1.45	1.45
산업기술문화 COMPLEX 현장		1.14~1.77 이상	1.53 이상	0.83~1.14	1.53
송도 센트럴파크I 공사현장		0.66	0.66	0.46	0.46

표 4의 산정결과를 이용하여 모래와 자갈 전석층, 실트와 점토층의 강도(N치)별 단위주면마찰력의 범위를 표 5와 같이 산정하였다. 모래층의 N치 4~6, 7~10의 범위 및 자갈 전석층의 N치 15에서 인발 적성시험시 극한인발력을 확인하지 못하였기 때문에 단위주면마찰력을 적절하게 추정하기 위해서는 극한인발력을 확인하기 위한 추가 데이터의 확보가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 단위주면마찰력 산정시 압축형앵커와 인장형앵커의 극한인발력이 유사한 결과를 보이고 있고 인장형앵커의 시험개소가 2개소로 압축형앵커에 비하여 상대적으로 적어 인장형앵커 시험결과를 압축형앵커 결과에 포함하여 지반종류에 따른 단위주면마찰력 범위를 산정하였다.

표 5. 지반종류 및 강도에 따른 단위주면마찰력

지반종류	N 치	자켓앵커, kg/cm ²	일반앵커, kg/cm ²	비 고
실트 및 점토지반	1~3	0.57~0.84	0.57	국제학교 현장
	4~6	0.83~1.05	0.64~0.83	125 블록 현장
	7~9	1.18~1.57	0.79~1.41	컨벤션센터 현장
	10	1.74~2.23	0.78~1.26	국제학교 현장
모래층	1~3	0.66	0.46	센트럴파크I 현장
	4~6	1.14~1.78 이상	0.83~1.45	인천대학 현장, COMPLEX 현장
	7~10	2.26 이상	1.45	인천대학교 현장
자갈, 전석층	15	2.26~5.66 이상	0.98~1.60	125블록 현장

위 표에 제시된 자켓앵커의 단위주면마찰력을 한국지반공학회(2003)의 단위주면마찰력과 비교한 결과 N치 7~9 및 10의 실트 및 점토지반에 타설된 자켓앵커는 각각 N치 10, 20 정도의 모래지반에 타설된

가압식 일반앵커에 상응하는 단위주면마찰력을 발휘하는 것으로 나타났다. N치 4~6, 7~10 범위의 강도를 가진 모래지반에 자켓앵커를 적용할 경우 가압식의 일반앵커가 각각 N치 10, 30 정도의 모래지반에서 발휘할 수 있는 정도의 단위주면마찰력을 자켓앵커가 발휘하는 것으로 나타났다. 또한, N치 15 정도의 강도를 보이는 자갈, 전석층에 시공한 자켓앵커의 경우 가압식의 일반앵커가 N치 30~40 정도의 자갈층에서 발휘할 수 있는 정도의 단위주면마찰력을 자켓앵커가 발휘하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 연약지반에서 효과적으로 인발력을 발휘할 수 있도록 개발된 “섬유정착보강재(자켓)를 장착한 지반정착앵커(자켓앵커)”의 인발저항 발휘 메카니즘을 분석하였다. 또한, 송도신도시 현장에서 동일한 조건으로 자켓앵커와 일반앵커에 대한 인발적성시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 자켓앵커는 섬유정착보강재(자켓) 내부에 그라우팅액을 가압·주입하여 자켓을 팽창시켜 정착지지체를 형성시키므로 일반앵커에 비하여 정착지지체의 직경, 주변지반의 강도, 마찰면에 작용하는 구속압력이 증가하여 연약지반에서 큰 인발력을 발휘하는 것으로 분석되었다.
- (2) 본 연구에서 수행한 6개 현장 총 12회의 비교시험결과 자켓앵커의 인발력이 일반앵커의 인발력보다 약 15.38~295.02%(평균 83.53%) 정도 큰 것으로 검토되었으며, 동일한 하중단계에서 자켓앵커의 소성변위가 일반앵커의 소성변위보다 약 20.78~1,496.45%(평균 288.78%) 정도 작은 것으로 나타났다. 특히, 자갈 전석층에서는 200% 이상의 극한인발력 증가 및 600% 이상의 소성변위 감소가 발생한 것으로 나타났다.
- (3) 극한인발력을 이용하여 실트 및 점토지반과 모래, 자갈 및 전석층에서의 지반강도별 단위주면마찰력을 제안하였으며, 한국지반공학회(2003)의 단위주면마찰력과 비교한 결과 자켓앵커가 더 큰 단위주면마찰력을 보이는 것으로 나타났다.
- (4) 위의 결과들을 종합해 볼 때 자켓앵커는 일반앵커에 비하여 연약지반 및 자갈, 전석층에서 하중을 효과적으로 지지하는 것으로 나타났다.

현재까지는 현장시험 위주로 연구가 진행되었으므로 향후 추가적인 연구에서는 자켓앵커의 인발력 발휘 메카니즘과 설계방법을 이론 및 수치해석적 방법을 통하여 정립하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득(1998), “압축형 앵커(SSC앵커)의 인발저항기구”, **대한토목학회 논문집**, 제18권, 제III-6호, pp.883-898.
2. 한국지반공학회(2003), **구조물기초설계기준 해설**, 서울, pp.508-515.
3. 日本地盤工學會(1990), **グラウンド-アンカ-の設計·施工基準**, 同解説, 第6章
4. Cheney, R.S.(1988), *Permanent Ground Anchors*, Report FHWA/DP-68-IR, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
5. Coyle, H.M., and Reese, L.C.(1966), "Load transfer for axially loaded piles in clay", *J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, Vol.92, pp.1-26.
6. Kim, N.K.(2000), "Load Transfer of Ground Anchors in Clay", *J. of the KGS*, Vol.16, No.3, pp.145-155.
7. Littlejohn, G.S.(1968), "Recent Developments in Ground Anchor Construction", *Ground Engineering*, Vol.1, No.3, pp.32-36.
8. Littlejohn, G.S.(1970), "Soil Anchor", *ICE Conf. on Ground Engineering*, London.
9. Long, J.H, Weatherby, D.E., and Cording, E.J.(1997), *Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol. 1, Current Practice and Limiting Equilibrium Analysis*, Report FHWA-RD-98-065,

FHWA, McLean, VA.

10. Muller, C.G., Long, J.H., Weatherby, D.E., Cording, E.J., Powers, W.F., and Briaud, J-L.(1998), *Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol. 3, Model-Scale Wall and Ground Anchor Test*, Report FHWA-RD-98-067, FHWA, McLean, VA.
11. Nicholson, P.J., Uranowski, D.D., and Wycliffe-Jones, P.T.(1982), *Permanent Ground Anchors: Nicholson design criteria*, Rep.FHWA/RD-81-151, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
12. Ostermayer, H. and Scheele, F.(1978), "Research on ground anchors in non-cohesive soils", *Speciality Session No.4, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, pp.92-97.
13. Otta, L., Pantueck, M., and Goughnour, R.R.(1982), *Permanent Ground Anchors: Stump design criteria*, Rep.FHWA/RD-81-152, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
14. Pfister, P., Evers, G., Guillaud, M., and Davidson, R.(1982), *Permanent Ground Anchors: Stump design criteria*, Rep.FHWA/RD-81-150, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
15. Weatherby, D.E.(1982), *Tiebacks*, Report FHWA/RD-82/047, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
16. Weatherby, D.E., Chung, M., Kim, N.K., and Briaud, J-L.(1997), *Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol. 2, Full-Scale Wall Tests and a Soil-Structure Interaction Model*, Report FHWA-RD-98-066, FHWA, McLean, VA.
17. Weatherby, D.E.(1998). *Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.4, Conclusions and Recommendations*, Report FHWA-RD-98-068, Federal Highway Administration, McLean, VA.