

자켓앵커 거동특성에 관한 연구

A Study on the Behaviour of Jacket Anchor

김 동 휘¹ Kim, Dong-Hee

김 인 철² Kim, In-Chul

공 현 석³ Kong, Hyun-Seok

이 우 진⁴ Lee, Woo-Jin

Abstract

A series of field tests were performed to investigate the behavior of jacket anchor and to evaluate the ultimate bond stress of jacket anchor. From twelve sets of field tests on the jacket anchor and general type ground anchor, it was observed that the pullout resistance of jacket anchor is significantly larger than that of the ground anchor and that the plastic deformation of jacket anchor is significantly smaller than that of general ground anchor at the same loading cycle. Especially in gravel layers, the jacket anchor provides more than 250% increase in ultimate resistance and more than 600% reduction in plastic deformation, compared with the general ground anchor. Finally, the relationship between the injection pressure and overburden pressure is proposed to determine the optimum injection pressure, based on additional field test results.

요 지

본 연구에서는 자켓앵커와 일반앵커에 대한 현장시험을 통해 자켓앵커의 인발력 발휘 메카니즘을 분석하고 자켓앵커의 지층별 단위주면마찰력을 산정하였다. 6개현장에서 실시된 총 12회의 인발적성시험결과 자켓앵커의 극한인발력이 일반앵커의 극한인발력에 비해 약 15.38~295.02% 정도 큰 것으로 나타났으며, 동일한 하중단계에서 자켓앵커의 소성변위가 일반앵커의 소성변위보다 약 20.78~1,496.45% 정도 작은 것으로 나타났다. 특히, 자갈층에서는 250% 이상의 극한인발력 증가와 600% 이상의 소성변위 감소가 발생하여 자켓앵커는 그라우트액의 손실이 발생할 수 있는 지반에 적용성이 우수한 것으로 나타났다. 시험에서 산정된 극한인발력을 이용하여 실트 및 점토지반과 모래, 자갈 및 전석층에서의 지반강도별 단위주면마찰력을 제안하였다. 또한 섬유정착보강재 파열압력시험과 최적주입압력 확인시험을 수행하여 적절한 정착지지체를 형성시킬 수 있는 주입압력 추정 도표를 제시하였다.

Keywords : Ground earth anchor, Injection pressure, Jacket anchor, Pullout resistance

1. 서 론

최근 국내에서는 서·남해안을 중심으로 해안의 연약 지반에 준설·매립을 수행하여 송도신도시, 청라지구, 부

산신항만 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 지

1 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정 (Member, 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 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engrg., Korea Univ., wjlee@korea.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

반앵커로 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 타공정과 간섭이 발생하는 등 불리한 요인을 가지고 있어 최근에는 굴착공사시 지중에 지장물이 없을 경우 버팀보공법보다는 지반앵커공법을 선택하고자 하는 추세이다.

지반앵커공법은 사용기간에 따라서 가설앵커와 영구앵커로 구분된다. 가설앵커는 Ostermayer(1978), Littlejohn(1968, 1970) 등에 의하여 연구되었으며, 영구앵커는 국내에서는 임종철(1998) 등이, 국외에서는 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), 김동휘(2008) 등에 의하여 연약지반에 설치된 앵커에 관한 연구가 일부 수행되었으나 아직까지 국내에서는 활발하게 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 연약지반에서 효과적으로 인발력을 발휘할 수 있도록 개발된 섬유정착보강재(자켓)를 장착한 지반정착앵커(이하 자켓앵커)의 인발저항 발휘 메커니즘을 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 단위주면마찰력과 자켓내부 주입압력을 현장시험결과로부터 제안하였다.

또한, 점토 및 실트층과 같은 연약지반에서는 2차 가압 주입으로 인해 지반에 인장균열이 발생하며, 이러한 공극을 채우기 위해 과도한 그라우트액이 주입되어 비경제적으로 시공된다. 따라서 지하수위가 높은 전석층, 실트 및 점토층, 투수성이 큰 모래 자갈층, 쓰레기 매립층과 같은 연약지반에 적용하여 경제성 및 안정성을 확보할 수 있는 어스앵커공법이 필요하다.

2.2 특징 및 구성

연약지반에 적용 가능한 가설앵커로 개발된 자켓앵커는 천공구멍 벽면에 직각으로 압력을 가하여 원지반 강도 및 원지반과 앵커체의 마찰력을 증가시켜 인발저항력을 증대시키며, 그 구성은 그림 1과 같다. 인발력 향상 및 그라우트액 손실을 막기 위하여 개발된 섬유정착보강재(자켓)는 포대형상으로 내하체를 감쌀 수 있도록 그림 2와 같이 제작한 것이며, 신축성이 있고 1kg/cm² 이상의 압력에도 견딜 수 있는 섬유를 사용한다. 섬유정착보강재 내부에 가압 충전된 그라우트액의 수분이 섬

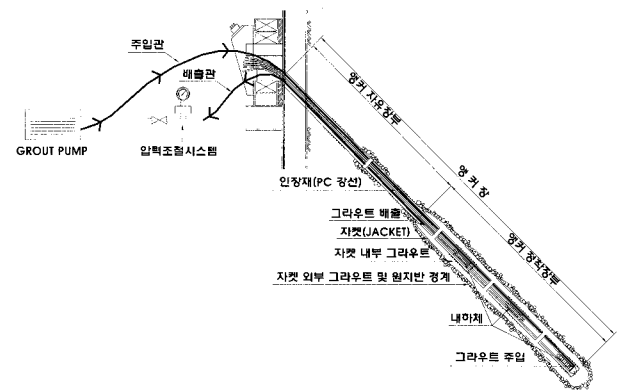


그림 1. 연약지반용 자켓앵커

2. 연약지반용 자켓앵커

2.1 개발배경

매립층 및 연약지반은 대부분 지하수위 아래에 존재하며 천공시 아칭효과가 발휘되지 못하여 공벽이 붕괴되거나 이완되어 원지반의 강도를 상실하므로 앵커의 인발력이 발휘되지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다. 공극이 큰 매립층 및 자갈 전석층에서는 그라우트액이 지층속으로 유실되어 정착지지체가 완전하게 형성되지 못하기 때문에 정착지지체의 취약부분에서 국부적인 파괴가 시작될 수 있으며, 이는 시공완료 후 진행성 파괴로 진전되어 붕괴 사고로 이어지는 경우가 발생한다.



그림 2. 포대형상의 섬유정착보강재(자켓)

내부 그라우트주입은 섬유 정착보강재를 팽창시키며, 이러한 작용은 섬유 정착보강재 외부의 그라우트를 지반 쪽으로 팽창시켜 천공직경 13.5cm 이상으로 정착장이 형성됨을 확인하였다.

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 N값은 2~10 정도로 지반상태가 느슨한 것으로 조사되었다. 또한, 실트 및 점토로 구성되어 있는 퇴적층의 N값도 대부분 10 이하이며, 비배수전단강도는 2.5~4.7tf/m³ 범위로 연약한 지반으로 평가된다. 125블록의 비배수전단강도가 상대적으로 큰 이유는 국부적으로 존재하는 모래층 때문인 것으로 판단된다. 따라서 시험현장은 연약지반에서의 자켓앵커 성능을 평가하고자 하는 본 연구의 목적에 부합한다. 앵커시험위치에서의 지반조건을 요약하면 표 1과 같다.

3.2 시험계획

연약지반용 자켓앵커의 현장 적용성을 검증하기 위하여 동일한 조건에서 일반앵커와 자켓앵커에 대한 인발적성시험을 수행하였으며, 하중재하방법은 한국지반공학회(1997)에서 제시한 방법을 적용하였다. 실트질 점토, 실트 및 실트질 모래지반에서 일반앵커 시공시 자켓앵커와 동일한 그라우팅 가압을 실시할 경우 인장균열이 발생하여 가압을 수행하지 않았을 경우보다 극한

인발력이 감소하는 현상을 관찰 할 수 있었다. 또한, 가압시 팽창했던 지반이 가압을 정지할 경우 다시 수축하여 공내의 그라우트액이 역류하는 현상이 관찰되었다. 자갈 및 전석층에서 일반앵커 시공시 그라우트액이 손실되어 초기에는 압력게이지에 압력이 측정되지 않았으며, 가압을 지속적으로 수행할 경우 압력이 측정되기 시작하였다. 그러나 이 경우에도 그라우트액이 자갈, 전석층으로 계속 손실되어 일정 압력이상으로는 압력이 상승하지 않았다. 이러한 이유로 자켓앵커를 개발하게 되었으며 본 연구에서는 불가피하게 일반앵커 시험시 자켓앵커와 동일한 주입압력을 적용하지 못하였다. 본 연구에서는 최대의 인발력을 발휘할 수 있는 압력(0.2~0.3kgf/cm² 이하)만 가한 후 일반앵커에 대한 인발시험을 수행하여 자켓앵커 시험결과와 비교하였다. 이러한 방법으로 수행한 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.

현장시험을 수행한 6개 현장의 현장별 지반조건, 시험앵커 종류, 앵커 제원 및 시험회수 등을 표 2에 요약하였다. 현장검증시험에서 일반앵커는 인장형 마찰앵커, 제거식앵커는 하중분산형 압축형 앵커를 사용하였으며, 제거식 앵커의 경우 모두 U-Turn Type을 사용하여 시험을 수행하였다.

섬유 정착보강재 파열압력 및 최적주입압력 산정을 위하여 각각 인천대학교 송도캠퍼스와 송도신도시 중앙공원 지하주차장 현장에서 시험을 수행하였으며, 시험위치별 시험회수 및 지반조건은 표 3과 같다.

표 1. 앵커시험위치에서의 지반조건

시험현장위치	지층종류	N값	비배수전단강도, tf/m ²
36블록	실트층	N=9 내외	2.6~3.8
국제학교	실트 및 점토층	N=2~10 범위	2.5~3.9
125블록	자갈 전석층	N=15 내외	-
	실트층	N=5 내외	4.2~4.7
인천대학교 송도캠퍼스	실트질 모래	N=5~8 범위	-
산업기술문화 COMPLEX	실트질 모래	N=6 내외	-
중앙공원	실트질 모래	N=2 내외	-

표 2. 현장앵커시험 요약

시험현장		지반조건	시험앵커 종류	앵커길이(정착장),m	시험회수
36블록	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
국제학교	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
125블록	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 송도캠퍼스	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		실트질 모래(N=6)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	13.8(6) "	4 회 4 회
중앙공원		실트질 모래(N=2)	· 제거식 자켓앵커 · 제거식 일반앵커	18.5(9) 18.5(9)	2 회 2 회

표 3. 섬유정착보강재 최적주입압력 결정을 위한 앵커시험 요약

시험목적	시험현장	시험회수	지반조건	비고
섬유정착보강재 파열압력시험	인천대학교 송도캠퍼스	26회	N값 10이하의 매립지반(점토혼재)	자켓주입압력 측정
최적주입압력 확인시험	중앙공원	36회	N값 10내외의 매립지반	자켓주입압력 및 앵커인발력 측정

4. 시험결과 및 분석

4.1 극한인발력 산정결과

그림 5는 인천대학교 현장에서 수행한 자켓앵커와 일

반앵커의 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 설명

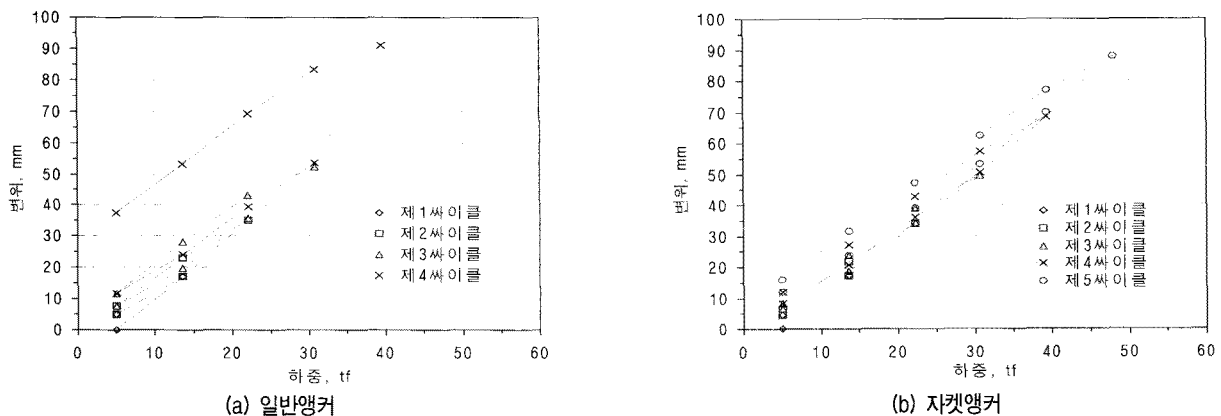


그림 5. 하중-변위 관계(인천대학교 현장)

하였듯이 자켓팽창에 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.

극한인발력을 결정하는 방법은 여러 가지가 있으며 시험결과를 어떻게 분석하는가에 따라서 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서는 앵커가 지반에서 인발될 경우의 하중을 극한인발력으로 결정하였으며, 앵커가 인발되지는 않았으나 시간에 따른 변위증가량을 나타내는 크리이프도 K_s 가 2mm 이상일 경우 앵커는 장기적으로 인발될 가능성이 있기 때문에 이때의 하중 또한 극한인발력으로 결정하였다(그라운드앵커기술협회, 2000; 임종철 등, 1998). 본 연구에서 수행한 시험을 분석한 결과 극한인발력의 경우 표 4에서 볼 수 있듯이 자켓앵커의 극한인발력이 일반앵커보다 약 15.38~295.02% 정도 큰 것으로 관찰되었다. 송도신도시 125블록 TEST-1, 인천대학교 송도캠퍼스 TEST-2, 3, 산업기술문화 COMPLEX 현장의 자켓앵커시험결과는 극한인발력을 확인하지 못하여 시험을 수행한 최대하중을 극한인발력으로 가정하였다. 또한, 동일한 하중단계에서 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, 125블록 TEST-1과 2처럼 전석층 및 자갈층에 자켓앵커

를 시공할 경우 그라우트액의 손실없이 일정한 앵커극근을 형성할 수 있으므로 250% 이상의 극한인발력 증가와 600% 이상의 소성변위 감소가 발생한 것으로 나타났다.

4.2 단위주면마찰력 산정결과

현장에서 수행한 앵커시험결과로부터 산정한 극한인발력, 즉 한계하중을 이용하여 시험앵커에 대한 단위주면마찰력을 산정하였다. 본 연구에서는 정착길이 전장에 대하여 인발력이 균일하게 분포하고 앵커정착부 직경은 천공직경과 동일하다고 가정하여 단위주면마찰력을 산정하였다. 이러한 방법을 이용하여 산정한 자켓앵커 및 일반앵커의 단위주면마찰력은 표 5와 같다.

표 5의 산정결과를 이용하여 모래와 자갈 전석층, 실트와 점토층의 강도($N_{값}$)별 단위주면마찰력의 범위를 표 6과 같이 산정하였다. 모래층의 $N_{값}$ 4~6, 7~10의 범위 및 자갈 전석층의 $N_{값}$ 15에서 인발적성시험시 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 단위주면

표 4. 인발력 및 소성변위경도 결과

시험현장		평균극한인발력, tonf		평균소성변위, mm	
		자켓앵커	일반앵커	자켓앵커	일반앵커
36블록	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
국제학교	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
125블록	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 송도캠퍼스	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		39.00(69.57% ↑)	23.00	7.80(270.78% ↓)	28.93
중앙공원		25.20(43.18% ↑)	17.60	6.68(221.26% ↓)	21.46

표 5. 단위주면마찰력 산정결과

시험현장		자켓앵커, kgf/cm ²		일반앵커, kgf/cm ²	
		범 위	평 균	범 위	평 균
36블록	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
국제학교	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
125블록	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 송도캠퍼스	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		1.14~1.77 이상	1.53 이상	0.83~1.14	1.53
중앙공원		0.66	0.66	0.46	0.46

표 6. 지반종류 및 강도에 따른 단위주면마찰력

지반종류	N 치	자켓앵커, kgf/cm ²	일반앵커, kgf/cm ²
실트 및 점토지반	1~3	0.57~0.84	0.57
	4~6	0.83~1.05	0.64~0.83
	7~9	1.18~1.57	0.79~1.41
	10	1.74~2.23	0.78~1.26
모래층	1~3	0.66	0.46
	4~6	1.14~1.78 이상	0.83~1.45
	7~10	2.26 이상	1.45
자갈, 전석층	15	2.26~5.66 이상	0.98~1.60

마찰력 범위를 산정하였다.

표 6에 제시된 자켓앵커의 단위주면마찰력을 한국지반공학회(2003)의 단위주면마찰력과 비교한 결과 N값 7~9 및 10의 실트 및 점토지반에 타설된 자켓앵커는 각각 N값 10, 20 정도의 모래지반에 타설된 가압식 일반앵커에 상응하는 단위주면마찰력을 발휘하는 것으로 나타났다. 또한, 느슨한 모래층 및 자갈, 전석층에 자켓앵커를 설치할 경우에도 상대적으로 더 밀실한 지반에 설치한 경우와 유사한 단위주면마찰력을 발휘하는 것으로 나타났다.

4.3 최적주입압력 산정결과

4.3.1 주입압력 영향인자 검토

자켓앵커의 섬유정착보강재 적정주입압력에 가장 큰

영향을 미치는 인자를 찾기 위하여 전응력, 유효응력, 수압 및 N값과 섬유정착보강재 파열압력과의 관계를 검토하였다. 검토결과 전응력, 유효응력 및 수압이 증가함에 따라 섬유정착보강재를 파괴시키는 파열압력이 증가하는 것으로 나타났다. 자켓앵커는 N값 10 이하의 연약지반에 적용하는 것을 목적으로 개발되었으며, 연약지반의 강도에 따른 파열압력의 변화를 검토하기 위하여 일련의 현장시험을 수행하였다. 그러나 현장시험 지반 N값(5~7)의 범위가 매우 좁아 자켓앵커의 섬유정착보강재 파열압력과 N값과의 상관관계를 도출하는 것은 매우 어려운 것으로 나타났다.

4.3.2 최적주입압력 결정

지중에 설치된 섬유정착보강재의 파열압력은 천공구 명 주변 지반의 수압 및 강도특성에 따라서 결정될 것으

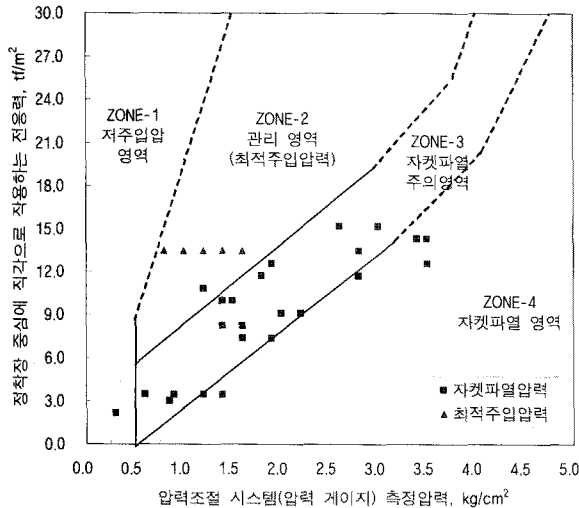


그림 6. 자켓앵커 주입압력 관리도표

로 판단되며, 천공구멍 주변 지반의 강도는 천공방법, 유효응력(심도) 및 원지반 강도에 영향을 받을 것으로 판단된다. 따라서 지반의 강도를 나타내는 N값, 수압과 섬유정착보강재 파열압력의 상관관계를 도출하고자 하였으나 앞에서 언급하였듯이 분석에 사용할 수 있는 N값 범위가 매우 좁아 그 경향을 정확하게 분석하기 어려웠다. 또한, 본 연구에서 지반의 강도를 나타내는 데 사용한 N값은 연약지반의 강도를 상세하게 나타내지 못하므로 이러한 결과를 보인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 유효응력 및 수압을 모두 포함하고 있는 전응력을 이용하여 섬유정착보강재 파열압력을 예측하는 것이 합리적이며 실용적일 것으로 판단되어 그림 6과 같이 정규압밀지반의 전응력을 이용하여 지중에 설치된 섬유정착보강재의 파열압력을 예측하는 도표를 제시하였다. 여기서 전응력은 자켓앵커 정착장 중심에 직각방향으로 작용하는 응력이며, 최대주응력인 연직방향 유효응력과 최소주응력인 수평방향유효응력을 이용하여 지표면에서 30° 경사진 시험앵커 정착장부에 직각으로 작용하는 법선방향유효응력을 산정한 후 이 값에 수압을 더하여 전응력을 결정하였다. 또한, 수평방향유효응력은 달라토메타로 추정된 토압계수 0.6과 연직방향 유효응력을 곱하여 산정하였다.

자켓앵커 주입압력 관리도표를 검증하기 위하여 총 36회의 최적주입압력(관리압력) 확인시험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 6에 추가하였다. 최적주입압력을 결정하기 위하여 동일한 전응력에서 파열압력 이하로 압력을 변경하며 가압하였다. 가압 후 설계 인발력까지 확인시험을 실시하여 주입압력 및 앵커 인발력의 적정

성을 검토하였다. 시험결과 섬유정착보강재 파열압력에 서부터 파열압력의 약 1/3 범위까지의 압력을 주입압력으로 사용할 경우 설계인발력을 확보할 수 있었다. 따라서 그림 6의 ZONE-2를 자켓앵커의 관리압력으로 사용할 경우 자켓앵커의 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 본 시험에서는 약 8.5m 심도에서 시험한 결과를 이용하여 자켓앵커의 최적주입압력을 검토하였으며, 자켓앵커 시공을 위한 정확한 주입압력관리도표를 확립하기 위해서는 여러 심도에서 추가적인 시험이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 연약지반에서 효과적으로 인발력을 발휘할 수 있도록 개발된 “섬유정착보강재(자켓)를 장착한 지반정착앵커(자켓앵커)”의 인발저항 발휘 메카니즘을 분석하였으며, 송도신도시 6개 현장에서 자켓앵커와 일반앵커에 대한 인발적성시험을 수행하였다. 또한, 자켓앵커의 적정주입압력 결정을 위하여 현장시험을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 자켓앵커는 섬유정착보강재(자켓) 내부에 그라우트액을 가압·주입하여 자켓을 팽창시켜 정착지지체를 형성시키므로 일반앵커에 비하여 정착지지체의 직경, 주변지반의 강도, 마찰면에 작용하는 구속압력이 증가하여 연약지반에서 큰 인발력을 발휘하는 것으로 분석되었다.
- (2) 현장시험결과 자켓앵커의 인발력이 일반앵커의 인발력보다 상당히 크며, 동일한 하중단계에서 자켓앵커의 소성변위가 일반앵커의 소성변위보다 상당히 작은 것으로 나타났다. 특히, 자갈 전석층에서는 250% 이상의 극한인발력 증가 및 600% 이상의 소성변위 감소가 관찰되었다.
- (3) 극한인발력을 이용하여 실트 및 점토지반과 모래, 자갈 및 전석층에서의 지반강도별 단위주면마찰력을 제안하였으며, 한국지반공학회(2003)의 단위주면마찰력과 비교한 결과 동일한 지반에서 자켓앵커가 더 큰 단위주면마찰력을 발휘하는 것으로 나타났다.
- (4) 섬유정착보강재 파열압력시험과 최적주입압력 확인시험결과, 파열압력에서부터 파열압력의 약 1/3 범위까지의 압력을 주입압력으로 사용할 경우 설계 인발력을 확보할 수 있었다.

참고 문헌

1. 김동휘, 김인철, 공현석, 이우진 (2008), “자켓앵커 거동특성에 관한 연구”, 2008년 지반공학회 봄학술발표회 논문집, 한국지반공학회.
2. 그라운드앵커기술협회 (2000), *그라운드앵커공법 설계시공지침*, 과학기술, 서울, pp.268-269.
3. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득 (1998), “압축형 앵커 (SSC앵커)의 인발저항기구”, *대한토목학회 논문집*, 제18권, 제III-6호, pp.883-898.
4. 한국지반공학회 (1997), *굴착 및 흙막이 공법*, 서울, pp.266-273.
5. 한국지반공학회 (2003), *구조물기초설계기준 해설*, 서울, pp.508-515.
6. 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.
7. Cheney, R.S. (1988), *Permanent Ground Anchors*, Report FHWA/DP-68-IR, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
8. 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.
9. Kim, N.K. (2000), “Load Transfer of Ground Anchors in Clay”, *J. of the KGS*, Vol.16, No.3, pp.145-155.
10. Littlejohn, G.S. (1968), “Recent Developments in Ground Anchor Construction”, *Ground Engineering*, Vol.1, No.3, pp.32-36.
11. Littlejohn, G.S. (1970), “Soil Anchor”, *ICE Conf. on Ground Engineering*, London.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Weatherby, D.E. (1982), *Tiebacks*, Report FHWA/RD-82/047, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
19. 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.
20. 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.

(접수일자 2008. 4. 11, 심사완료일 2008. 7. 23)