나선형 플렌지가 설치된 앵커파일 프리캐스트 옹벽의 구조적 거동에 관한 연구

A Study On Structural Behavior of Anchor Pile Precast Retaining Wall with Screw Shape Flange

최 승 선¹ Choi, Seung-Seon

안 태 봉² Ahn, Tae-Bong

김 우 기³ Kim, Woo-Ki

Abstract

In this study, Anchor Pile Precast Retaining Wall (APC) with screw shape flange was investigated and the results were arranged for designing APC specifications. Since precast materials require special care when they are manufactured, carried or treated, more accurate design and analysis of optimized dimension are needed : thus moment distribution of front foot was checked. Through full-scale field test, form and optimal stiffening shape were obtained and through fracture test with real load, applicable load was reasonably calculated. Research result in this thesis could be used as guideline or standard of designing and constructing Anchor Pile Precast Retaining Wall with screw shape flange.

요 지

산업화의 발달과 더불어, 도로 등 교통시설과 건설 장비의 발달로 공장 제작하여 운반 설치하는 프리캐스트 구조물이 급속히 확장되는 추세이며, 2000년 대 부터는 철근콘크리트 옹벽도 프리캐스트 공법이 개발되고 현장에서 적용이 확대되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 기존에 항타하여 설치해 온 앵커 파일 옹벽에서 기초에 설치되는 앵커파일을 일반돌기에서 나선형 플렌지 타입으로 설치하여 유압모터를 이용한 압입, 회전 방식으로 설치하고 앵커파일의 형태를 개선하고 이에 따른 기술적 검증과 최적의 적용형태를 도출하였다. 이를 위하여 현장 실규모 시험 및 수치해석적 검증을 수행하였으며, 인발실험 결과 앵커파일은 나선형 플렌지를 설치하는 것이 돌기가 없거나 다른 형상의 돌기가 설치된 파일에 비해 1.5~8배의 높은 인발 저항력을 보였으며, 나선형 플렌지가 설치된 APC옹벽에서 인발 저항력의 증대로 기초와 벽체의 변위도 25% 이상 감소됨을 보였다.

Keywords : Anchor pile precast retaining wall, APC, Screw shape flange

1. 서 론

1980년대 교량구조물이나 건축 구조물에서 프리캐스트

트 공법이 본격적으로 적용되기 시작하였고, 철근콘크리트 암거의 경우 1990년대 들어 급속도로 보급이 확장되었으며, 특히 빠른 시공과 우수한 품질확보를 이유로

1 비회원, 한국철도시설공단 영남지역본부 건설/기술처장 (Yeongnam Headquarters, Construction & Engrg. Division Director, Korea Rail Network Authority.)

2 정회원, 우송대학교 철도건설시스템학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Railway Construction System, Woo Song Univ., Tel: +82-42-629-6716, Fax: +82-42-629-6709, tbahn@wsu.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

3 비회원, (주)강탄산업 대표이사 (President & CEO, Kangtansanup Co., Ltd.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

도심지 공사에서는 프리캐스트공법이 선호되어 현재는 인력 및 현장관리의 어려움으로 현장타설 시공을 기피하는 추세이다. 그러나 철근콘크리트 구조물이 프리캐스트 공법으로 전환되고 있는 실정임에도 옹벽 구조물은 과다한 중량과 부피로 인해 프리캐스트공법의 적용이 다른 구조물에 비해 매우 작으며, 일본 등 기술선진국들에서 기초와 벽체를 분리, 제작하여 현장에서 조립하는 분절 프리캐스트옹벽공법이 일부 적용되고 있다.

프리캐스트 분절공법은 기초와 벽체를 개별적으로 제작하여 연결하기 때문에 외력에 의한 휨모멘트나 전단력이 최대가 되는 이음부에서 구조적으로 분리할 수밖에 없으며 많은 논란의 대상이 되고 있다. 기초와 벽체의 이음부는 기존의 현장타설 옹벽에서도 철근으로 연결하고 있으나 시공이음의 필연적 발생으로 누수 및 전단저항 등 구조적 취약부가 되는 경우가 종종 있기 때문이다. 이러한 기존 현장타설 옹벽과 기초, 벽체 분리의 분절 프리캐스트공법을 개선하기 위한 연구의 결과로서 최근 국내에서 앵커 파일 프리캐스트(Anchor Pile Precast, APC) 옹벽이 제안되었다. 벽 배면에 설치된 프리캐스트 옹벽과 달리 옹벽 배면에 부벽이 없어 옹벽 배면에 흙관, 맨홀 등 지장물 설치가 가능하고 장비에 의한 뒷채움 다짐이 용이하여 높은 신뢰도를 갖는 옹벽을 완성할 수 있는 옹벽 구조물이다. 이는 최근 7년간 철도, 고속도로, 단지현장에 다수 시공되었으며 그간의 경험으로 항타에 의한 앵커파일 설치 문제점을 개선하기 위해서 나선형의 플랜지를 소형 강관 주위에 용접하여 압입, 회전으로 인한 앵커파일 설치가 가능하였다. 이

는 부산 영도구 절영 해안도로, 천안 도로 옹벽 등에 적용되었으며 파일 항타 소음방지, 사면 진동 방지, 말뚝 인발저항력을 향상시켜 안정성에서 큰 효과가 있음을 확인하였다.

지금까지 매우 유용하게 범용되는 나선형 앵커 파일의 파괴 메커니즘은 Mitsch and Clemence(1985)의 연구와 Ghaly et al.(1991)의 연구가 대표적이며, Mitsch and Clemence(1985)는 기존에 선행된 연구들을 바탕으로 스크류의 개수, 묻힘 깊이의 비, 상대밀도 등을 변수로 설정하여 여러 조건에서 실내모형실험을 수행하였고, 인발하중을 재하 하여 파괴거동을 얇은기초와 깊은기초로 나누어 그 형상을 제안하였다. 제안된 형상의 기하학적인 모델을 기반으로 인발 저항력이 발현되는 원리를 규명하고 여러 실험 데이터를 기반으로 경험적 무차원 계수가 활용되는 지지력 예측식을 제안하였다. Fig. 1은 Mitsch and Clemence(1985)의 연구결과 제안된 파괴형상을 보여주는 것으로 Fig. 1(a)는 묻힘 깊이의 비(H/D)가 5이하인 경우 파괴형상을 나타내는 그림으로 스크류가 연속적으로 이어져 있지는 않지만 인발력 작용시 스크류의 간격 안쪽으로 지반의 흙이 들어차며 원통형의 파괴면을 형성하여 마찰력을 발생시킨다. 또한 최상부에 위치한 스크류로부터 지표면까지 수직선과 $\phi/2$ 의 각도를 갖는 경사선이 형성되어 사다리꼴 혹은 역삼각뿔 형태로 형성되는 파괴면 내의 흙들의 무게가 인발력 발현에 큰 영향을 미치는 이론을 제안하였다. 한편, Fig. 1(b)에서는 묻힘깊이의 비(H/D)가 5 이상인 경우 파괴형상을 나타내는 그림으로 이러한 경우를 깊은기초 조

(a) Failure Shapes in conditions of shallow foundation

(b) Failure Shapes in conditions of Deep foundation

Fig. 1. Pull-Out Response Failure Shapes of Screw Anchor Pile

건으로 규명하였다. 깊은기초로 구분되는 조건에서 스크류 파일이 파괴에 달하는 인발력을 받는 경우 얇은 기초로 구분되는 조건과 마찬가지로 스크류의 간격으로 인해 형성되는 원통형의 마찰력이 발생되고, 최상부 스크류에 의해 지표로 산정되는 경사선은 상부 흙들의 유효상재압력으로 인해 얇은 기초와는 달리 지표로 신장되지 못하지만 선단부의 힘은 받을 수 있게 된다. 이러한 파괴 메커니즘은 플렌지가 설치된 앵커파일이 그렇지 않은 일반 앵커파일에 비하여 인발력 발현이 증가하여 이로 인한 인장하중 저항력이 증가함을 의미한다.

APC 옹벽은 기존 구조적 거동에서 논란이 되었던 기초, 벽체 이음부를 일체로 제작하고 부피를 최소화함으로써 운반, 설치를 최적화 시킨 공법이라 할 수 있으며, 활동 및 전도에 대한 저항력을 극대화 시킬 수 있도록 옹벽 기초저판에 소형 앵커파일을 설치한 새로운 옹벽 시스템에 관한 기술로서 2001년 4월에는 대전조차장 공사에서 호남선 철도 상행선에 최초 시공되어 사용중에 있고, 2007년에는 중앙선복선공사 천안구간과 아산 신창역등의 건설현장에 시공되어 현장계측을 통해 이론적 연구결과와 비교분석하여 구조거동 특성을 조사한 바 있다. 이 후 APC 옹벽시스템에 대한 실험적, 이론적 연구가 다양하게 수행되어 Kim et al.(2005)은 APC 옹벽의 거동특성에 대한 연구결과를 발표한 바 있다.

본 연구에서는 나선형 앵커파일의 인발특성 및 APC 옹벽의 파괴특성을 파악하기 위하여 실험적, 현장 파괴 시험을 수행하였으며, GTSTRUDL P/G(2002)을 통한 구조적 안정성을 확인하였다.

2. APC 옹벽 시스템

기존 프리캐스트 옹벽은 현장타설 콘크리트 옹벽에 비해 공기단축 효과, 품질의 우수성 교통 및 인접구조물과의 간섭 최소화 등 많은 장점을 가지고 있다. 그런 옹벽을 일체형으로 제작하기에는 중량과 부피가 커지므로 운반과 시공에 있어 난공사가 예상되거나 불가능할 수 있다. 따라서, 이와 같은 기존의 프리캐스트 옹벽공법이 안고 있는 문제점을 최소화하고 안전한 시공과 우수한 품질 및 경제성을 동시에 충족할 수 있는 새로운 APC 옹벽시스템에서 나선형플렌지가 설치된 앵커파일 옹벽을 제안하였다.

옹벽을 프리캐스트 제품화하기 위해서는 무게와 부피를 감소시켜, 운반, 시공성을 가능하게 해야한다. 그

려나 무게와 부피를 줄이기 위해 고강도 재료를 사용하여 부재의 치수를 감소시키는 기존의 방법이 있으나 재료의 품질관리가 까다롭고 심리적으로 불안감을 줄 수 있으므로 기술적으로 한계가 있다. 따라서 APC 옹벽 시스템에서는 고강도 콘크리트와 철근을 사용함과 동시에 부피와 무게를 감소시키기 위해 저판의 길이를 줄이고, 활동과 전도에 대한 저항력을 보완하기 위해 소형 앵커파일을 도입하였다. 이와 같은 APC 옹벽 시스템의 하중저항개념 및 형상은 Fig. 2, Fig. 3에 나타내었다.

APC 옹벽은 옹벽의 저판 길이를 기존 재래식 현장타설 옹벽에 비해 약 30% 감소시켰고, 중량은 약 50%이상 감소된다. 또한, 공장제작을 통해 공사비절감과 공사기간 단축은 물론 품질관리가 양호하고 토공량이 감소하게 되며, 소규모 시공장비를 사용할 수 있다는 추가적인 장점을 확보할 수 있다. 이러한 장점을 통해 APC 옹벽은 2006년 도부터 건설현장에 다양하게 적용되고 있다. 이러한 APC 옹벽의 제작, 설치, 시공 과정은 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 2. Concept of Load Resistance on APC Retaining Wall

Fig. 3. APC Retaining Wall Installed Small Anchor Piles

Fig. 4. Installation Process of APC Retaining Wall

3. 나선형 플렌지 APC 옹벽에 대한 실규모 현장 시험

APC옹벽은 설비가 갖춰진 공장에서 기초·벽체가 일체로 타설되어 증기양생 제작되므로, 우수한 품질의 제품을 얻을 수 있다. 또한 일반 현장타설 옹벽과는 달리 기초 저판 후면에 소형 앵커파일이 설치되므로 기초 저판 후면에 파일 저항력에 의한 집중반력이 발생하게 된다. 이 장에서는 APC 옹벽이 갖는 특징을 고려하여 구조적 거동을 분석하며, 프리캐스트 제품의 특성상 제작, 운반, 취급 등으로 인해 보다 최적의 단면과 정밀한 해석이 요구되므로, 일반 현장타설 옹벽에서 간과하는 기초 앞굽의 모멘트 분배효과를 고려하기 위해 GTSTRUDL에 의한 정밀 구조해석을 실시하고 실험에 의해 저항하중을 검증하여 나선형플렌지 앵커파일옹벽의 적용 타당성 여부 등을 고찰하였다. 우선, 실물 실험을 통해 소형 앵커파일의 형상, 최적 보강형태를 도출하였으며, 실하중 재하에 의한 실험으로 적용하중을 합리적으로 제안하였다.

3.1 APC옹벽 앵커파일의 인발 저항력 확인을 위한 실규모 시험

3.1.1 표면형상에 따른 앵커파일의 저항력

소형앵커파일은 주로 토사지반에 설치되므로 파일과

토사 또는 그라우팅 사이의 점착력에 의해 인발력이 결정된다. 그러나 파일 주위에 나선형 돌기를 두어 회전압입에 의해 앵커파일을 설치한다면 점착력보다는 지반의 전단강도에 의해 저항함으로써 보다 큰 저항력을

Table 1. Classify and Characteristics According to Pile Surface Shape

Type	Characteristics
Type-A	Flange Width : 45 mm, Thickness: 4.5 mm, Number of Flange : 5, Small Anchor Pile
Type-B	Flange Width : 45 mm, Thickness : 4.5 mm, Number of Flange : 3, Small Anchor Pile
Type-C	Flange Width : 20 mm, Thickness : 4.5 mm, Number of Flange : 3, Small Anchor Pile
Type-D	Circle Pile without Screw Shape Flange
Pile Length : 2.0 m (Embedded length : 1.5 m) Diameter : 139.8 mm Thickness : 4.85 mm, Type : SS400

Fig. 5. Type-A Pile (Number of Flange : 5EA)

기대할 수 있다. 따라서 적당한 간격으로 설치된 스크류 형태의 플렌지 돌기를 갖는 앵커파일은 이형철근과 같은 기계적 정착력과 같은 효과를 얻기 위해 Table 1 및 Fig. 5에 나타난 바와 같이 표면상태에 차이를 두어 현장인장실험을 통해 그 성능을 평가하였다. 소형 앵커파일의 인발실험은 파일을 압입하고, Fig. 6과 같이 하중계를 설치하여 파일의 저항력을 확인하였다.

실험은 앵커파일의 나선형플렌지의 두께, 폭, 그리고 나선플렌지 개수에 따른 파일과 지반과의 정착능력을 파악하기 위한 것으로서 이를 위하여 파일 주변에 그라우팅은 하지 않았다. 나선형플렌지의 폭이 넓은 것으로 설치한 TYPE-A, B 앵커파일의 경우, 인발저항력은 미부착한 파일의 8배 가까이 증가한 것을 파악할 수 있었으며(Table 2 참조), 다른 파일 실험과는 달리 파일 인발

Fig. 6. Pull-out Test on Screw Anchor Pile And a Tuber Shape After Pull-Out Test

Table 2. Pull-Out Strength According to Spacing Flange

Load Type	Pull-Out Load (kN)	Horizontal Resistance (kN)
TYPE-A	98.2	20.3
TYPE-B	97.6	20.2
TYPE-C	72.3	19.6
TYPE-D	14.3	17.9

Table 3. Feature According to Classification on Pile Surface Shape

Load Type	Pull-Out Force (kN)	Flange Space (cm)	Remarks	
TYPE-A	85.1	70	Space From the Pile End	
TYPE-B	92.7	45		
TYPE-C	97.6	25		
TYPE-D	89.9	15		

시 주변 지반 전체가 들썩거리면서 쉽게 인발되지 않고 주변 지반과 같이 거동하는 것을 관찰할 수 있었다. 파일의 저항력 실험결과는 Table 2에 나타낸바와 같이 파일의 수평저항력은 큰 차이가 없었으나, 인발저항력은 플렌지 폭이 클수록 크고 개수는 3개 설치한 것과 5개 설치한 앵커파일이 큰 차이가 없었다.

나선형 플렌지의 두께는 인발저항력을 기준으로 휨 응력을 계산할 수 있으므로 변화를 주지 않았다, 기존의 실험 결과에 따르면 원주방향으로 철근을 보강한 앵커파일이 큰 인발저항력을 나타냈었는데, 나선형 플렌지를 설치한 앵커파일의 인발저항력은 보다 눈에 띄게 증가함을 알 수 있었는데, 돌기가 설치되거나 나선형플렌지가 설치된 앵커파일의 인발저항력은 결국 앵커파일의 수직투영면적과 관계있음을 의미한다. 이것은 국내에서 사용이 드문 이형말뚝의 개념을 적용한 APC옹벽에 더해, 적절한 강성의 나선형플렌지가 설치된 앵커파일이 수직 투영면적에 비례하여 인발저항력이 증가되는 것을 증명한 것이다.

3.1.2 나선형 플렌지 간격에 따른 앵커파일의 저항력

Table 2의 실험결과로서 판단할 때 나선형 플렌지 개수는 앵커파일 선단부에 3개 이상이면 충분한 흙의 전단강도를 기대할 수 있는 것으로 나타났으며 나선형 플렌지의 간격은 경제성과 효율성을 고려할 때 파일 선단부에 25cm 간격으로 설치하는 것이 최적의 조건일 것으로 판단된다.

철근콘크리트 옹벽은 주로 토압을 받는 구조로서 토압방향의 모멘트나 전단력을 고려하여 설계하며 토압 직각방향으로는 하중이 없어 해석이나 설계 시에도 단위길이로 해석하는 것이 일반화 되어있다. 나선형플렌지를 설치하고 압입 회전에 의해 앵커파일을 설치하기

위해 파일형상을 원형으로 하였으며 활동하중이 클 경우, 두께가 큰 횡방향 강성을 갖는 강관을 사용하여야 하는데, 구조용 강관으로서 소형강관은 두께가 한정되어 생산된다. 따라서 보다 큰 수평저항력이 요구되는 경우, 배관용 강관을 사용하는 것도 무방하며, 이 경우 SCH.80, 또는 SCH.120의 강관을 사용하도록 한다. 이러한 배관용 소형 강관은 SS400보다 강도 등의 특성에 있어서 보다 좋은 특성을 갖고 있어 문제가 없으며 전도에 대한 보강이 주가 되는 경우는 경제적인 설계를 위해 100mm 정도의 소형 강관에 플렌지 폭을 2/3D 정도로 하여 수직투영면적을 보완할 경우, 최소의 재료로 최대의 인발저항효과를 얻을 수 있다.

이 경우, 앵커파일의 압입 회전에 의한 설치가 보다 용이해 지며 시공속도도 보다 효율적으로 될 것이다.

3.2 APC옹벽의 파괴저항력 확인을 위한 실규모 시험

3.2.1 파괴시험 제원

APC 옹벽의 구조체에 대한 구조성능을 평가하기 위해 현장실험을 수행하였다. 현장실험시 실험조건, APC 옹벽의 제원, 하중재하 및 측정장치는 아래 Table 4와 같다.

실규모 APC옹벽 파괴시험은 실험대상 옹벽 높이 3.5m가 저항해야 하는 저항모멘트인 44.8kN-m의 3배에 해당하는 134.4kN을 재하하여 극한하중상태의 구조물 상태를 확인하고자 하였으며, 실규모 파괴실험 준비과정은 Fig. 7과 같다.

3.2.2 실규모 파괴시험 결과

대상 실규모 파괴시험에서는 뒷채움이 미시시된 상

Table 4. Condition of Fracture Test

Condition of Test	$\phi = 30^\circ$ (Friction Angle of Base Ground and BackFill Soil)
Retaining Wall Height	H = 3.5 m, B = 1.95 m
Retaining Wall Width	B=1.5 m,
Anchor Pile Dimension	D = 139.8 mm, L = 2.0 m, T = 4.85 mm
Load Measurement	Digital Load Cell
Mact	Required Resistance Moment ($\approx$ 44.8 kN-m)
Loading Equipment	140 W Hydraulic Backhoe And 8 Ton Fork Lift

(a) Install Screw Anchor Piles

(b) Cover after Anchor Pile Installation

(c) Preparing for Loading

(d) Loading (134.4 kN.m)

(e) Check Crack at the Loading of Triple Moment (0.4 mm)

(f) Vertical Displacement of Spiral Anchor Pile After Eliminating Covered Soil (20 mm)

Fig. 7. Processign Breaking Test on APC Retaining Wall

Table 5. Soil Condition

Density of Concrete (γ_c)	24.5 kN/m ³	Cohesion of Bearing Ground (C)	0.00kN/m ³
Density of Backfill (γ_t)	19.0 kN/m ³	Gradient of Backfill Soil	1 : 1.5°
Density of Foundation Ground (γ_f)	20.0 kN/m ³	Angle of Backfill Soil (α)	33.69°
Friction Angle of Backfill Soil (ϕ_1)	35°	Backfill Emankment	H = 3.5 M, 4.0 M : 7 M, H = 4.5 M : 5 M
Friction Angle of Bearing Ground (ϕ_2)	35°	Depth of Retaning Wall Front (D_f)	1.0 m

황이었기 때문에 수평방향 하중이 작용하는 경우 전도가 발생되어야 하나, 나선형 앵커 파일의 영향으로 전도에 저항하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 벽체 변위는 약 1.8°가 발생하였으며, 벽체배면에 0.4mm정도의 수평 균열이 3개소 발생한 상태를 제외하고는 다른 수평하중 영향을 발견되지 않았다. 수평하중과 배면토사를 제거한 후의 APC 옹벽하단의 앵커파일머리부의 수직변위를 확인 결과, 하중제거 후 옹벽자중으로 인해 옹벽은 제자리로 복원되었으며 앵커파일이 20mm 인발됨을 확인하였다.

대형크레인으로 파일을 수직 인발하여 APC옹벽 하면을 관찰한 결과, 앵커파일에 휨변형이 발생하였으며, 옹벽기초 파일 개구부 주위로 전단파괴가 발생하였다. 이는 앵커파일이 극한하중 하에도 충분한 인발저항을 가지고 있으며, 이는 나선형 플렌지 앵커파일 주위에 구근에 의한 영향도 크게 작용하는 것으로 판단된다.

4. GRSTRUDL에 의한 정밀해석

4.1 해석 모델링

본 연구에서는 앞 절에서 설명한 바와 같이 지반조건 및 단면특성을 고려하여 나선형 플렌지가 설치된 앵커파일을 갖는 APC옹벽을 정밀 해석하여 기존의 앵커파일과 결과를 비교, 분석하여 그 효과를 파악하였다. 구조해석은 구조해석프로그램인 GTSTRUDL을 사용하였으며, 옥수-옹방간 철로사면에 적용되어 2013년 10월 착공된 APC옹벽에 대해 해석을 수행하였으며, 앵커파일이 적용된 h=3.5m, 4m, 4.5m의 APC옹벽을 대상으로 수행하였으며, 단면제원은 설계에 적용되어 시공되고 있는 APC옹벽 단면을 기준으로 검토하였고, 지반조건 및 토질특성은 현장의 토질을 적용하였다. 해석에 사용된 조건은 Table 5~8, Fig. 8~10과 같다.

Table 6. Retaining Wall Details of Analysis

Division	Retaining Wall Height (m)		
	3.500	4.000	4.500
H	3.500	4.000	4.500
H1	3.280	3.760	4.220
H2	50	50	50
H3	170	190	230
H4	220	240	280
T	200	200	200
B	1.950	2.250	2.500
B1	100	100	100
B2	252	274	310
B3	1.098	1.376	1.590
B4	500	500	500
B5	—	—	—
B6	—	—	—
HAUNCH	200×200	200×200	200×200

Fig. 8. Cross Section

Table 7. Coefficient of Earth Pressure by Retaining Wall Height Type

Retaining Wall Height (H)	ϕ	α	δ	θ	K_a	K_{ah}	K_{av}
3.5 m	35°	33.69°	32.315°	0°	0.6077	0.514	0.325
4 m	35°	33.69°	31.982°	0°	0.5949	0.505	0.315
4.5 m	35°	33.69°	30.078°	0.362°	0.5633	0.487	0.282

Fig. 9. Analytical Modeling

Table 8. Spring Constant by Retaining Wall Height Type

Retaining Wall Height (H)	Vertical Spring Constant, K_v (tonf/m)						
	K_{V1}	K_{V2}	K_{V3}	$K_{V4} \sim K_{V10}$	K_{V11}	K_{V12}	K_{V13}
3.5 m	25709.6	19974.9	21555.1	23438.8	115000	21820.2	28297.4
4.0 m	25255.4	18294.3	19224.8	22181.6	115000	21820.2	28297.4
4.5 m	24571.6	17917.0	18652.2	20960.6	115000	21820.2	28297.4

Fig. 10. Earth Pressure and Overburden Loading

4.2 해석 결과

GTSTRUDL에 의한 해석 결과, 반력 분포를 보면 나

선형플랜지 앵커파일 지점에서(Joint 11) 큰 반력을 나타내. 인발저항값이 옹벽높이에 따라 124%에서 132% 증가됨을 확인할 수 있었다(Table 9, Fig. 11 참조).

Table 9. Vertical Reaction by Retaining Wall Height Type

Retaining Wall Height (H)	TYPE	Vertical Reaction Force (ton)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.5m	A	6.77	4.41	4.03	4.16	4.06	3.98	3.87	3.68	3.39	3.04	13.12	2.32
	B	6.55	4.29	3.97	4.18	4.19	4.28	4.39	4.48	4.52	4.50	5.64	3.91
4.0m	A	11.19	6.71	5.63	6.17	6.00	5.85	5.64	5.28	4.76	4.10	17.57	2.87
	B	10.96	6.56	5.55	6.16	6.13	6.20	6.27	6.29	6.20	5.99	7.62	5.08
4.5m	A	15.68	8.27	5.78	6.07	6.10	6.26	6.30	6.07	5.48	4.59	19.49	3.01
	B	15.50	8.14	5.68	6.01	6.18	6.55	6.90	7.09	7.03	6.68	8.67	5.57

A: Anchor piles Retaining Wall with Screw Shape Flange, B: General Anchor piles Retaining Wall

Fig. 11. Vertical Reaction Force by Point Type

Table 10. Result on section force analysis

Retaining Wall Height (H)	TYPE	Moment (ton-m)			Shear force (ton)			Displacement (cm)		
		M3	M7	M11	M3	M7	M11	M3	M7	M11
3.5 m	A	1.189	0.330	0.690	6.058	2.788	6.666	0.019	0.017	0.011
	B	1.308	0.153	0.302	5.669	3.354	3.143	0.018	0.019	0.019
4.0 m	A	1.702	0.667	0.934	8.025	4.190	8.412	0.029	0.025	0.015
	B	1.880	0.393	0.417	7.565	4.840	3.732	0.029	0.028	0.025
4.5 m	A	3.785	1.149	0.981	13.049	5.362	8.580	0.031	0.030	0.017
	B	3.936	0.816	0.564	12.630	5.837	4.399	0.030	0.030	0.028

A: Anchor piles Retaining Wall with Screw Shape Flange, B: General Anchor piles Retaining Wall, M: Member

또한 Table 10에서와 같이 일반 돌기 앵커파일용벽에 비해 나선형플렌지 앵커파일용벽의 기초저판에 작용하는 모멘트는 급격히 변화하지 않고 보다 완만한 분포가 되어 단면 설계에 유리하며, 최대 모멘트값도 감소하여 보다 안전함을 나타낸다.

기초 저판의 기초 후면에서의 수직변위 또한 나선형 플렌지 앵커파일 용벽이 일반 돌기 앵커파일 용벽보다 64%-72% 감소됨을 알 수 있어 지반반력 감소에 의해 보다 효율적인 구조라는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

소형 앵커파일을 용벽 기초 뒷굽에 설치한 APC 용벽

은 앵커파일의 역할로 인해용벽의 중량과 저판폭을 대 폭적으로 감소시켜, 불가능하다고 여겨져 온 기초, 벽체를 일체 제작하는 프리캐스트 용벽을 현실화하였으며, 이 연구에서는 그동안 시행되어 온 APC용벽의 앵커파일형상과 설치방법을 크게 개선하여 시공성을 향상시키고 구조적 특성을 크게 증대시킨 나선형플렌지 앵커파일을 개발하였으며, 실규모 현장파괴 시험과 구조해석적 접근을 통하여 그 안정성을 확인하였다.

구조적 특성의 향상 외에도 실제로 현장에서 소음이 나 진동이 없는 친환경적공법이 되어 민원의 감소와 향타에 의한 설치 시 문제가 되었던 주변지반과 터파기사면의 교란을 야기하지 않는 좋은 장점을 갖고 있는 나선형플렌지 앵커파일용벽에 대한 연구결과를 요약하면

Table 11. MOMENT DIAGRAM of APC Retaining Wall

Retaining Wall Height (H)	Retaining Wall With Screw Shape Flange	General Anchor Piles Retaining Wall
3.0 m		
4.0 m		
4.5 m		

다음과 같다.

- (1) 옹벽 기초 뒷굽에 설치하는 소형 앵커파일을 원형 강관에 나선형플렌지를 날개형태로 용접 부착하여 인발저항력을 극대화하였다. 이는 압입회전에 의한 설치가 가능하게 하였고 파일 설치 있어도 항타와 달리 파일 두부 변형 방지에 유리함을 알 수 있었다.
- (2) 인발 실험 결과, 소형 앵커파일은 나선형플렌지를 설치하는 것이 돌기가 없거나 다른 형상의 돌기가 설치된 파일에 비해서 1.5~8배의 높은 인발저항력을 갖는다.
- (3) 설계상 요구되는 앵커파일의 저항모멘트인 44.8kN-m의 3배에 해당하는 하중을 재하한 APC 옹벽의 실규모 파괴실험결과, 3배의 하중조건인 극한 하중상태에서도 구조물 벽체의 변위 및 균열 발생량은 각각 1.8° 및 0.4mm정도로 안정함을 확인하였다.
- (4) GTSTRUDL 구조해석 결과, 나선형플렌지가 설치된

APC옹벽에서 인발저항력의 증대로 기초와 벽체의 변위도 25%이상 감소됨을 알 수 있었다.

참고문헌 (References)

1. Kim, H.T., Park, J.Y., Ryu, Y.S., and Yoo, C.H. (2005), "An Experimental Study on the Behavior Characteristics of Precast Concrete Retaining Wall Reinforced by Micro-piles", Korean Society of Civil Engineers 2005 Convention, Geotechnical, pp.1-4.
2. Ghaly, A., Hanna, A., and Hanna, M. (1991), "Uplift Behavior of Screw Anchors in Sand. I : Dry Sand", ASCE, J.Geotech. Engrg. Vol.117, No.5, pp.773-793.
3. GTSTRUDL (2002), GRSTRUDL User's Manual, Latest Revision, K, May, GTICS Systems Laboratory, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
4. Mitsch, M.P., and Clemence, S.P. (1985), "The Uplift Capacity of Helix Anchors in Sand: Uplift Behavior of Anchor Foundation in Soil", Proc., ASCE, New York, N. Y. pp.26-47.

Received : October 30th, 2013

Revised : November 8th, 2013

Accepted : November 11th, 2013