SMC (Sheet Molding Compound) + FRP 복합소재 샌드위치 패널구조의 앵커지압판 개발 연구

Study on the Anchor Bearing Plate of a Composite Material (SMC + FRP) Sandwich Panel Structure

최민형* · 서상훈**

Choi, MinHyuong*, and Seo, Sanghoon**

Abstract

Anchor bearing plates are used to distribute and transmit the tension of the anchor permanently to the ground. Generally, the RC anchor bearing plate is used. However, it suffers from many problems because it is heavy, and design standards for RC anchor bearing plates are lacking. Therefore, in this research, a composite anchor bearing plate corresponding to an anchor design load of 400 kN (bearing-plate design load of 600 kN) to replace the RC anchor bearing plates was developed through simulation and actual performance tests. An actual performance test to confirm the performance of the bearing plate was conducted through load-loading test using a soil tank, and a load of 850 kN or more was confirmed in three tests. The developed composite-material anchor-bearing plate weights 55 kg (dimensions: 1,000 × 1,000 × 84 mm) and is a lightweight product, as it weights approximately 4% of a RC bearing-plate, which weighs 1,500 kg (dimensions: 2,000 × 2,000 × 400 × 400 mm). Therefore, the proposed plate is expected to improve workability, reduce construction costs, and improve construction quality.

Key words : Anchor Bearing Plate, Bearing Plate, FRP

요 지

영구앵커 시공시 앵커의 긴장력을 지반에 분산 전달시키기 위하여 활용하는 지압판 중 국내의 경우 일반적으로 RC지압판을 활용하고 있으나 과도한 중량과 관련 기준의 미비로 인하여 시공시 다양한 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 RC지압판을 대체하기 위한 앵커설계하중 400 kN (지압판 설계하중 600 kN)에 대응하는 복합소재 앵커 지압판을 시뮬레이션과 실물성능시험을 통해 개발하였다. 지압판 성능 확인을 위한 실물성능시험은 현재 관련 표준 시험 방법이 제안되어 있지 않기 때문에 토조를 활용한 하중재하시험 방법으로 수행하였으며, 3회에 걸친 시험결과 파괴하중은 모두 850 kN 이상으로 확인되었다. 개발된 복합소재 앵커 지압판은 중량 55 kg/ea (1,000 × 1,000 × 84 mm)으로 기존 RC지압판의 중량 1,500 kg/ea (2,000 × 2,000 × 400 × 400 mm) 대비 약 4 % 수준의 경량 제품이기 때문에 시공성 향상에 따른 시공비 절감, 시공품질 향상을 도모 할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 영구앵커 지압판, 격자블럭, FRP

1. 서 론

철도 및 도로의 직선화 및 대규모 단지 개발에 따라 토공사 조성되는 비탈면도 대형화 되어 가고 있으며, 부지제약 조건에 따른 비탈면 보강 사례도 증가되고 있다. 특히 표토의

심도가 낮은 국내 지반환경 특성상 비탈면이 대형화 될수록 암반비탈면에 대한 보강기술이 필요하기 때문에 현재 국내에는 영구앵커, 락볼트 등 다양한 암반비탈면 보강공법이 적용되고 있다. 그 중 영구앵커는 설치된 반력부재에 긴장력을 가하는 활동력경감 보강기술로서 긴장력 도입으로 인해

*정회원, (주)대한지오이엔씨 기업부설연구소 상무이사(E-mail: amijamg@hanmail.net)

Member, Managing Director, Daehan Geo Engineering & Construction Corporation

**교신저자, 정회원, (주)대한지오이엔씨 기업부설연구소 차장(Tel: +82-31-713-5227, Fax: +82-31-713-6225, E-mail: mccrux@naver.com)

Corresponding Author, Member, General Manager, Daehan Geo Engineering & Construction Corporation

앵커헤드, 웨지, Steel plate 등의 별도 자재와 시공상 유의가 필요하며, 웅벽 등의 구조물과 시공되거나 지압판을 활용하여 한다. 지압판이란 앵커의 긴장력이 비탈면 표면의 지반에 고르게 전달될 수 있도록 앵커두부에 설치하는 구조물로서 비탈면 표면과 밀착되어야 하며, 긴장력을 충분히 견딜 수 있도록 설계되어야 한다(MOLIT, 2016a).

그러나 지압판 설계 및 성능시험관련 기준 미비와 그로인한 제품개발의 부족, 기존 Ready Mixed Concrete (RC) 지압판의 다수시공실적 등의 이유로 인하여 국내에 적용되고 있는 지압판은 대부분 RC지압판이다. RC지압판은 철근과 콘크리트로 제작되는 1,500 kg 이상의 중량 구조물이기 때문에 제작 및 운반이 어렵고, 설치시 중장비가 필수적이며, 중량물 취급에 따른 다양한 문제가 발생하기도 한다. 따라서 RC지압판을 대체할 수 있는 경량 지압판에 관한 연구 및 제품개발이 시도되고 있으나 다양한 형태 및 소재의 경량지압판이 개발되어 적용되고 있는 일본에 비해 미비한 수준이다.

본 연구는 기존 RC지압판을 대체하기 위한 복합소재 샌드위치 패널구조의 앵커 지압판 개발에 관한 연구로서 개발된 앵커 지압판은 시뮬레이션 및 실험시험을 통해 성능을 평가하였다.

2. 국내외 앵커 지압판 현황

2.1 국내 앵커 지압판에 대한 고찰

국내에서 일반적으로 가장 많이 활용하고 있는 설계하중 400 ~ 450 kN 영구앵커의 격자블럭형 RC지압판의 경우 자중이 1,500 kg 이상이기 때문에 운반비가 과다하게 소요되고 설치시 25 ton 크레인 이상의 중장비가 필요하다(Fig. 1(a)).

특히, 국내 실정에 맞는 지압판 설계방법과 품질 및 시험기준이 마련되어있지 않아 앵커 지압판에 대한 성능평가가 이루어진 경우가 거의 없어 실제 앵커 사용연수 미경과시뿐만 아니라 시공 초기, 영구앵커 긴장정착시에도 다양한 형태의 지압판 파괴 사례가 보고되고 있다(Fig. 1(b)). 이와 같은 지압판의 파괴는 앵커 지압판에 대한 성능평가 미수행에 따른 성능부족, 지압판 생산 및 시공 불량, 지압판 설치 비탈면의 평탄화 부족뿐만 아니라 RC지압판의 과도한 중량으로 인한 취급 미숙으로 발생하기도 한다.

Fig. 1. RC Anchor Bearing Plate (<http://www.gip04.kr>)

2.2 국내외 경량 지압판 개발 사례

RC지압판의 문제점을 극복하고 경량 지압판 사용에 따른 시공비 절감을 위해 일본에서는 Fig. 2와 같이 고강도콘크리트, 플라스틱, 강재, 복합소재 등 다양한 소재와 형태의 경량 지압판을 개발하여 적용하고 있으며, 경량지압판과 시공방법을 신기술로 지정하고 있다(Japanese New Technology Information System).

그러나 국내의 경우 지압판 설계방법과 품질 및 시험기준이 마련되어 있지 않아 지압판과 관련된 연구개발이 미흡한 실정이며, 비교적 제품개발에 유리한 강재 지압판, 강콘크리트 합성구조 지압판이 개발되고 있으나 현재 상용화 되고 있는 경량 지압판은 일부 강재지압판에 국한되고 있는 실정이다.

Fig. 2. Lightweight Anchor Bearing Plate Example (<http://www.syamen.jp>, <https://www.snse.co.jp>, <https://www.jasdim.or.jp>, <http://frps.jp>)

3. 복합소재 앵커 지압판 구상 및 설계

3.1 복합소재 앵커 지압판 구상

본 연구에서 구상한 경량 지압판은 Fig. 3과 같이 상부와 하부 지지판(Skin) 사이에 보강판(Core)을 배치한 복합소재 (Sheet Molding Compound (SMC) + Fiber Reinforced Plastic (FRP)) 샌드위치패널 구조의 지압판으로서 상하부 지지판과 보강판 사이는 접착제와 요철부에 의해 맞물려 결합되도록 구상되었다. 특히, 상부 및 하부 지지판(Skin)은 보강섬유가 가로세로 양 방향으로 수직배열 되도록 성형한 시트 몰딩 컴파운드(SMC) 방식의 유리섬유강화플라스틱(FRP)으로 이루어지며, 보강판(Core)은 유리섬유 강화플라스틱으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

복합소재 앵커 지압판은 가로 세로 1,000 × 1,000 mm 크기로 계획되었으며, 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)의 상세 제원은 구조검토 및 시뮬레이션 결과를 바탕으로 조절하였다.

Fig. 3. Design of Anchor Bearing Plate

3.1.1 복합소재 앵커 지압판의 목표하중 설정

MLTM (2010) ‘그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼’에 따르면 지압판에 작용하는 하중은 상시하중과 일시하중으로 구분할 수 있는데 상시하중으로는 설계앵커력이 작용하며, 일시적으로 크게 작용하는 지진하중이나 초기긴장력은 일시하중으로서 설계앵커력의 1.5배를 초과해서는 안된다고 명기하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Table 1과 같이 일반적으로 가장 많이 적용되는 영구앵커의 설계하중 400 kN을 상시하중으로 설정하고, 상시하중의 1.5배인 600 kN을 일시하중으로 하여 목표하중을 설정하였다.

Table 1. Performance Objectives of FRP Anchor Panel

Division	Design Anchor Force	Design Anchor Bearing Plate Force
Standard	Design Anchor Force (F_d)	1.5 F_d
Design	400 kN	600 kN

3.1.2 복합소재 앵커 지압판 구조 검토

구상된 복합소재 앵커 지압판의 목표하중에 대한 안정성을 확인하기 위해 앵커 긴장력 작용시 단순보 및 캔틸레버보 형태로 가정하여 안정성 검토를 수행하였다. 앵커 긴장력 작용시 단순보 형태를 가정한 지압판의 안정성 검토는 현재 RC지압판의 안정성 검토시 사용하는 방법이다(Cha et al., 2009).

구조 검토시 복합소재 앵커 지압판을 구성하는 상하부

지지판(Skin)과 보강판(Core)의 물리적 특성은 복합소재 앵커 지압판을 구성할 실제 소재의 실내시험으로 산정하였으며, Table 2와 같다. 구상된 복합소재 앵커 지압판의 크기는 $1,000 \times 1,000 \times 87$ mm로서 목표하중은 600 kN급이다.

Table 2. Material Characteristic of Anchor Bearing Plate

Division	Tensile Strength	Modulus of Elasticity
Skin	140 MPa	9,806 MPa
Core	140 MPa	9,806 MPa

위 제원으로 2점지지 단순보로 가정한 복합소재 앵커 지압판의 최대 변위량 및 최대 모멘트, 최대응력은 각각 Eps. (1)~(3)에 따라 구할 수 있으며, 이때의 안전율 F.S.는 Ep. (4)에 따라 2.02로 분석되었다. 캔틸레버보로 가정한 복합소재 앵커 지압판의 최대 변위량 및 최대 모멘트, 최대 응력은 각각 Eps. (5)~(6) 및 Ep. (3)에 따라 구할 수 있으며, 이때의 안전율 F.S.는 Ep. (4)에 따라 2.70으로 분석되어 Table 3과 같다.

$$\Delta_{\max} = 5 \times w \times L^4 / (384 \times E \times I) \quad (1)$$

$$M_{\max} = w \times L^2 / 8 \quad (2)$$

$$\sigma_{\max} = M / Z \quad (3)$$

$$F.S. = / \sigma_{\max} \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = w \times L^4 / (8 \times E \times I) \quad (5)$$

$$M_{\max} = 3 \times w \times L^2 / 8 \quad (6)$$

Table 3. Material Characteristic of Anchor Bearing Plate

Division	Simple Beam	Cantilever Beam
Displacement	8.6 mm	5.2 mm
Moment	2.8 E+08 N · mm	2.1 E+08 N · mm
Stress	6,918.4 N/mm ²	5,188.8 N/mm ²
F.S.	2.02	2.70

위와 같이 구조 계산식에 따른 복합소재 지압판 구조 검토 결과 2점지지 단순보, 캔틸레버보 계산식 모두에서 안전율 2.0 이상 확보될 수 있는 것으로 분석되었으며, 이를 바탕으로 한 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

3.2 복합소재 앵커 지압판 시뮬레이션 해석

현재 복합소재 앵커 지압판에 관한 연구 사례 및 제품개발

사례가 매우 부족하기 때문에 제품개발에 있어 많은 시행착오 및 반복 시험이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 설계된 복합소재 앵커 지압판에 대한 성능 확인을 위해 우선적으로 상용 유한요소해석 프로그램인 Patran을 활용하여 All Finite Element Method (FEM) Model 해석을 수행하였다.

시뮬레이션 해석을 위한 모델링은 Fig. 4와 같이 상하부 지지판(Skin)과 보강판(Core)으로 이루어진 복합소재 앵커 지압판(Fig. 4(a))이 일정 영역으로 모델링된 지반위에 설치된 것(Fig. 4(b))으로 모델링하였다.

Fig. 4. Modeling of Anchor Bearing Plate for Simulation

지반의 경우 터널 시뮬레이션 해석 관련 기준 및 설계사례를 참조하였다. 터널의 경우 관련 설계기준에 의해 시뮬레이션 해석을 수행할 경우 지반의 해석영역을 해석 경계로 인한 응력 및 변위 오차 발생을 최소화하기 위하여 터널 상하좌우로 터널 직경(D)의 2~3배 이상으로 설정하도록 하고 있으나(MOLIT, 2016b) 일반적으로 안전측의 설계를 위해 4D 이상으로 수치해석을 진행하고 있다. 본 연구에서는 앵커 지압판 폭 B의 크기가 터널 직경(D)에 비하여 매우 작으므로 위 기준과 수치해석 사례에 준하여 앵커 지압판 폭 B에 대한 5B 깊이의 풍화토 지반을 모델링하였다(Fig. 4(b)). 따라서 지압판 폭 B에 대한 5B 영역의 지반은 앵커 인장력의 작용방향인 z축을 기준으로 측면인 x, y축의 경우 각각의 축방향의 변위를 구속시켰으며, z축의 경우 하부의 변위를 구속시켜 모델링하였다.

복합소재 앵커 지압판은 위 지반 상부에 놓여진 구조물로서 별도의 구속조건을 설정하지 않고 앵커 인장력 작용시 변형에 따른 하중전달 양상이 달라 질 수 있도록 모델링하였다.

시뮬레이션 해석시 활용된 물성치는 Table 4와 같다. 앵커의 긴장력을 복합소재 앵커 지압판으로 전달하는 Steel Plate는 실제 앵커 시공시 적용하는 SS400 규격의 강판으로 모델링 하였으며, 복합소재 앵커 지압판의 경우 실제 제작시 사용될 FRP 소재로 시험시편을 제작하여 공인인증시험기관의 시험을 통해 확인된 물성치를 적용하였다. 지반으로 모델링된 풍화토의 경우 N치 30이상의 일반적인 풍화토에 적용하는 변형계수를 적용하였다.

Table 4. Material Characteristic of Anchor Bearing Plate Simulation

Division	Tensile Strength	Modulus of Elasticity
Anchor Bearing Plate	140 MPa	9,806 MPa
Steel Plate	400 MPa	200,000 MPa
Ground	-	70 MPa

앵커의 인장력은 400 kN의 앵커 긴장력이 상부 $300 \times 300 \times 30$ mm 규격의 steel plate를 통해 5.6 N/mm^2 의 등분포하중으로 복합소재 앵커 지압판에 적용하는 것으로 가정하였다.

위와 같은 모델링 과정을 거쳐 복합소재 앵커 지압판의 설계하중인 600 kN까지 200 kN의 간격으로 시뮬레이션 해석을 수행하면 결과 Fig 5 및 Table 5와 같이 앵커 작용하중인 400 kN에서 안전율 2.15, 설계하중인 600 kN시 안전율 1.44를 확보할 수 있는 것으로 해석되었으며, 작용하중인 400 kN에서 1.94 mm, 설계하중인 600 kN에서 2.90 mm의 처짐이 발생하는 것으로 해석되었다. 시뮬레이션 해석 결과 작용하중 및 목표하중에서 탄성거동을 보이고 있으며, 안전율을 충분히 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 5. Result of Anchor Bearing Plate Simulation

Table 5. Result of Anchor Bearing Plate Simulation

Division	Load (kN)				
	200	300	400	500	600
Working Stress (MPa)	32.9	49.1	65.2	81.4	97.4
Displacement (mm)	0.98	1.46	1.94	2.42	2.90
Safe Factor	4.25	2.85	2.15	1.72	1.44

3.3 자체 시험을 통한 복합소재 앵커 지압판 보완

설계된 복합소재 앵커 지압판에 대한 시뮬레이션 해석 결과 목표하중에서 안정한 것을 확인하였으나 실제 하중재하시 발생하는 거동 및 파괴 양상을 파악하고, 이를 보완하기 위하여 Fig. 6과 같이 자체시험을 수행하였다. 자체시험은 보강판(Core) 단독시험(Fig. 6(a))과 Proto Type Model 시험(Fig. 6(b))으로 분류하여 수행하였으며, 지압판에 관한 시험기준이 마련되어 있지 않기 때문에 구조적으로 가장 불리한 단순보 지지조건으로 시험을 수행하였다.

Fig. 6. Self Test of Proto Type Model

시험 결과 복합소재 앵커 지압판은 보강판(Core)과 상하부 지지판(Skin) 접촉면에서의 파괴(Fig. 7(a))와 보강판(Core)에서의 파괴(Fig. 7(b))가 주로 발생하는 것으로 확인되었다. 따라서 시험 결과 및 파괴 발생 시편 분석을 통해 취약 부분에 대한 보완 연구를 수행하여 보강판(Core)과 상하부 지지판(Skin)의 두께를 향상시키고 보강판(Core)과 상하부 지지판(Skin) 사이의 요철부 등을 조정하였다. 자체시험을 통해 보완된 복합소재 앵커 지압판의 형상은 Fig. 8과 같다.

Fig. 7. Test Result of Proto Type Model

(a) Product of Anchor Bearing Plate

(b) Product of Skin

(c) Product of Core

Fig. 8. Product of Anchor Bearing Plate

4. 복합소재 앵커 지압판 성능 실험

4.1 실험 방법

개발이 완료된 복합소재 앵커 지압판에 대한 실물성능시험은 국내에 지압판 시험 관련 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 공인인증시험기관인 SGS(주)부설 유니콘기술연구소와 그 방법을 조율하여 수행하였다. 실물성능시험은 Fig. 9와 같이 앵커 헤드에 가해진 축력이 지반에 등분포하중으로 전달되는 것을 모의 할 수 있도록 하부 재하판에 몰다짐을 수행한 토조를 제작하였으며(Figs. 9, 10(a)), 토조 위에 복합소재 앵커 지압판을 거치하여 시험하였다(Figs. 9, 10(b)). 앵커 긴장 정착시 앵커의 긴장력은 Anchor Head와 Steel Plate를 통해 지압판에 전달되므로, 앵커 설계하중 400 kN에 사용되는 일반적인 Steel Plate (300 × 300 × 30t mm)를 동일하게 설치하여, 압축 축력이 작용하도록 시험을 구상하였다(Figs. 9, 10(c)). 시험 방법은 다음과 같이 4단계의 절차에 따라 수행되었으며, 총 3회 수행되었다.

Fig. 9. Experimental Device

Fig. 10. Experimental Method

- Step 1: 토조 물다짐(Fig. 10(a))
 Step 2: 복합소재 앵커 지압판 설치(Fig. 10(b))
 Step 3: 계측기기설치(Fig. 10(c))
 Step 4: 하중재하시험(Fig. 10(d))

거동양상을 측정하기 위한 센서는 변위측정을 위한 Linear Variable Differential Transformer (LVDT), 변형율을 측정하기 위한 Strain gauge를 사용하였다. 변위측정을 위한 LVDT는 Steel Plate (가력지점)에 2개, 복합소재 앵커 지압판 본체에 2개를 설치하여 측정하였으며(Fig. 11(a)), 변형율을 측정하기 위한 Strain gauge는 복합소재 앵커 지압판의 상하부 동일 위치에 부착하여 측정하였다(Fig. 11(b)).

Fig. 11. LVDT Installation Position

4.2 시험 결과

위와 같은 방법에 따른 복합소재 앵커 지압판 시험 결과 및 거동 양상은 Figs. 12~13과 같다. 시험 결과 Table 6과 같이 Test 1~3의 최대 하중 835.9~964.3 kN에서 Steel Plate (가력지점) 변위 14.7~18.4 mm, 복합소재 앵커 지압판 양단 변위 3.8~4.8 mm가 발생하였다. 설계하중인 600 kN (영구앵커 설계하중 400 kN의 1.5배)에서의 거동양상은 Table 7과 같이 Steel Plate (가력지점) 변위 11.1~13.0 mm, 복합소재 앵커 지압판 양단변위 3.7~4.8 mm가 발생하였다.

Table 6. Result of Anchor Bearing Plate Test

Division	Load (kN)	Displacement (mm)	
		Steel Plate	End point of Anchor Bearing Plate
Test 1	835.9	17.3	4.8
Test 2	976.1	18.4	4.1
Test 3	964.3	14.7	3.8

Table 7. Behavior at Design Load

Division	Load (kN)	Displacement (mm)	
		Steel Plate	End point of Anchor Bearing Plate
Test 1	589.0	11.2	4.8
Test 2	601.7	13.0	4.1
Test 3	598.8	11.1	3.7

복합소재 앵커 지압판 상부 지지반(skin)에서 측정된 변형율 양상(Fig. 12(c))으로 미루어 재하하중 약 500 kN까지 압축력이 작용하지만 그 이후로 복합소재 앵커 지압판의 휨 변형으로 인한 인장력이 작용되는 것을 확인할 수 있으며, 이와 같은 거동의 반작용으로 복합소재 앵커 지압판의 사방면 끝의 가운데에 설치된 LVDT에서 하중 재하 방향의 반대 방향으로의 거동이 Fig. 12(b)에서 관찰되었다.

한편, 시험시 하중이 재하되는 Steel Plate에 설치된 LVDT (1)과 LVDT (2)의 하중-변위 그래프는 정확히 일치하지 않는 것을 확인할 수 있으며(Fig. 12(a)), 이는 실제 하중이 재하되는 Steel Plate가 복합소재 앵커 지압판 상부의 정가운데 위치하지 않아 편심작용이 작용하였기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 편심의 영향으로 인하여 복합소재 앵커 지압판 사방면 끝단에서의 변위를 측정하 LVDT (1)과 LVDT (2)에서는 Steel Plate에서 보다 더 큰 차이를 보이고 있다(Fig. 12(a)).

한편, 복합소재 지압판 하부면에 부착된 Strain Gauge의 경우 지압판과 지면의 마찰면에서의 하중 집중과 변위로 인한 손상 등으로 인하여 복합소재 지압판 파괴시까지 계측 정보가 수집되지 못한 것을 확인 할 수 있다(Fig. 12(d)).

Fig. 12. Test Result of Anchor Bearing Plate

Fig. 13. After Test of Anchor Bearing Plate

5. 결 론

본 연구에서는 앵커시공시 일반적으로 적용하는 RC지압판의 파중량으로 인한 문제 해결과 시공성 향상을 위해 복합소재를 활용한 경량 지압판을 구상하여, 파괴하중 600 kN이상(앵커 설계하중 400 kN의 1.5배)의 복합소재 앵커 지압판을 시뮬레이션과 실험성능시험을 통해 개발하였다. 국내에는 앵커 지압판에 관한 설계기준 및 성능시험 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 공인인증시험기관인 SGS(주)부설 유니콘기술연구소와 토조 시험 방법을 고안하여 3회에 걸친 실험성능시험을 수행하였으며, 그 결과 개발된 복합소재 앵커 지압판의 파괴하중이 800 kN 이상인 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 복합소재 앵커 지압판(앵커 설계하중 400 kN, 지압판 설계하중 600 kN)은 Table 8과 같이 중량 약 55 kg에 불과한 경량 지압판으로서 일반적으로 활용되는 약 1,500 kg의 RC격자블럭(2,000 × 2,000 × 400 × 400 mm) 대비 중량이 약 4 %에 불과하며, 최근 시범적으로 적용되고 있는 경량 지압판인 강재 지압판 대비 약 45% 경량화 되었다(Table 9). 따라서 기존 RC지압판 대비 경량으로 제작되어 운반비를 절감할 수 있으며, 현장에서 가장 일반적으로 활용하고 있는 장비인 백호나 카고크레인 등 중소형 장비로 시공이 가능하고 현장상황에 따른 인력시공이 가능하기 때문에 시공비의 절감이 가능할 것으로 기대된다.

Table 8. Weight of Composite Material Anchor Bearing Plate

Division	Skin	Core	Adhesive	total
Weight (kg)	12.8	26.8	2.00	54.3

Table 9. Comparison of Anchor Bearing Plates Weight

Division	RC Anchor Panel	Steel Anchor Panel	FRP Anchor Panel
Weight	1,580 kg	100 kg	55 kg
Comparison	100 %	6.3 %	4 %

그러나 본 연구는 토조시험과 같은 제한적인 실험성능시험을 수행하였으므로, 실제 현장 설치를 통한 시험을 통해 그 성능을 평가하고 필요시 보완하는 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 2018년 국토교통기술촉진연구사업 창의도전연구분야의 연구비지원(19CTAP-C143139-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cha, A.R., Chang, B.S., Kim, B.H., You, D.W., and Kim, T.H. (2009). Proposal of anchor bearing plate design. *Proceedings of 2009 Annual Spring Conference & Seminars*, Korean Society for Rock Mechanics and Rock Engineering, pp. 187-193.
- Japanese New Technology Information System. Retrieved from <http://www.netis.mlit.go.jp>
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2010). *Ground anchor design, construction, and maintenance manual*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016a). *Design standard of slope*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016b). *Tunnel design criteria*.

Received	September 25, 2019
Revised	September 26, 2019
Accepted	October 17, 2019