

경량 GFRP 패널을 이용한 하수관거공사용 복공 가시설 시스템의 개발

박신전¹ · 홍기증²

국민대학교 구조안전연구소 연구위원¹, 국민대학교 건설시스템공학부 부교수²

Development of Lining-Board System Using Light-Weight GFRP Panels for Sewer-Pipe Construction

Park, Sin-Zeon¹ · Hong, Kee-Jeung²

¹Research Fellow, Structural Safety Research Center, Kookmin University, Seoul, Korea

²Associate Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea

Abstract: Recently, sewer-pipe constructions replacing deteriorated pipes are currently underway in the downtown area. To resolve many problems in the conventional method of open-cut construction, lining-board system using light-weight GFRP panels is developed. The pultruded GFRP panels can be successfully used for the developed lining-board system as temporary decks and retaining walls in virtue of light weight, high strength and high durability. In this paper, the structural safety and serviceability of the lining-board system are examined through FE analyses and experiments. Further more, a field application of the lining-board system is presented. The field application shows that quality and environment of construction can be significantly improved.

Key Words: GFRP, composite, panel, lining board, retaining wall, sewer pipe construction

1. 서 론

국내 하수관거는 1960~80년대 산업화 시기에 집중적으로 건설된 것으로 최근 서울시를 포함한 각 지방자치단체의 “하수관거 재구축사업”을 통해 이를 개량, 정비하고자 하는 공사가 전국적으로 진행 중에 있다. 특히, 이러한 하수관거 재구축사업의 상당 부분은 도로폭 6m이하의 도심지 이면도로에 집중되고 있다. 그러나 이러한 재구축사업을 위한 공사방식은 일반적인 도로상의 공사방식과는 달리 전통적인 무가시설 개착식 터파기 공법이 그 동안 적용되어 오고 있으므로 소음, 진동, 먼지 및 통행방해의 시민 4대 불편을 초래하여 민원발생의 원인이 되고 있다. 더불어, 시공 품질확보의 제약이 있어 재구축된 하수관거의 설계 사용수명을 보장할 수 없고 공사안전성 및 시공성에

도 많은 문제가 있는 것으로 평가된다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 근본적인 공법의 개선요구에 따라 하수관거 재구축사업을 주관하는 건설당국에서는 도심지 이면도로에 적용할 수 있는 가시설 공법 개발의 필요성을 인지하게 되어 도심지 이면도로 주택가의 특수한 시공여건에 적합한 재료 및 시공기술 개발을 추진하게 되었으며, 최근 국내외 건설분야에 본격적으로 적용되고 있는 경량, 고강도, 고내구성 특성을 보유한 섬유강화 복합신소재를 이용한 경량 복공 가시설 시스템의 개발에 착수하게 되었다(서울시, 2011).

Fig. 1에서는 도심지 이면도로의 하수관거 정비공사를 위한 단순 개착식 터파기 공법의 단면 개요도를 보여주고 있으며, Fig. 2에서는 기존 개착식 터파기 공법의 굴착토사 적치로 인한 통행로가 차단되어 보행자의 안전을 위협하고 있는 모습을 보여주고 있다.

주요어: GFRP, 복합신소재, 패널, 복공판, 토류판, 하수관거공사, 가시설

Corresponding author: Hong, Kee-Jeung

School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University, 77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-702, Korea.
Tel: +82-2-910-5463, Fax: +82-2-910-4939, E-mail: kjhong@kookmin.ac.kr

투고일: 2014년 8월 20일 / 수정일: 2014년 9월 10일 / 게재확정일: 2014년 9월 24일

본 논문에서는 도심지 이면도로의 친환경적 하수관거공사를 위해 개발된 GFRP 패널을 이용한 경량 복공 가시설 시스템의 구조 개념을 소개하고 유한요소 해석을 통해 구조안전성 및 사용성을 검토하였다. 또한 경량 복공 가시설 시스템에 사용되도록 인발성형으로 제작되는 복합신소재 복공판과 토류판의 구조성능시험을 통한 휨성능 검증내용을 기술하였으며, 마지막으로 개발된 경량 복공 가시설 시스템을 이용한 현장적용사례를 함께 소개하였다.

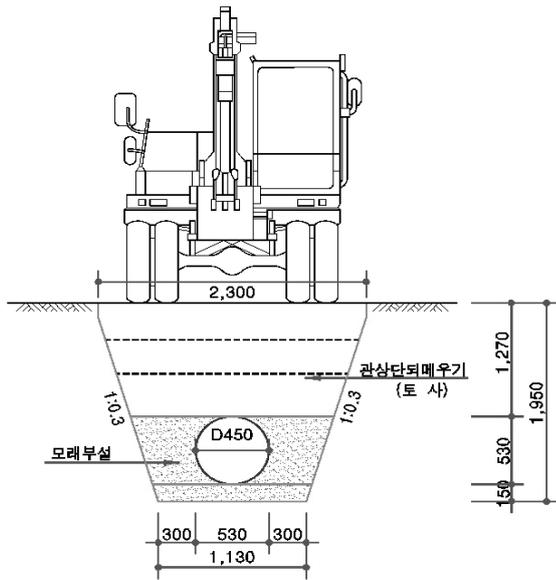


Fig. 1 Conventional open-cut Method for Pipe Construction



Fig. 2 Road Blocking due to Excavating Soil after open-cut Pipe Construction

2. 경량 복공 가시설 시스템

2.1 개요

본 연구의 경량 복공 가시설 시스템은 도로폭 6.0m 이하의 도심지 이면도로의 하수관거 굴착공사에 적용될 수 있도록 개발되었으며, 약 30m 내외의 맨홀간 구간을 일괄 굴착시공하여 기울기, 다짐도 및 수밀성 등의 정밀시공을 유도하여 공사품질을 확보하고 통행자 및 통행차량의 불편을 해소하고자 개발되었다.

기존의 사면굴착에 의한 개착식 터파기 공법의 시공안전성 문제 및 공사로 인한 민원발생 문제를 해결하기 위하여 수직굴착 후 굴착면 보호를 위해 토류판을 설치하고 그 상부에 개폐 가능한 복공판을 설치하게 된다. 그러나 기존의 슈트파일 등의 강재 토류판과 강재 복공판의 경우 설치를 위한 중장비가 필요하게 되어 폭이 좁은 이면도로의 진입이 어렵고, 각종 가정관의 설치가 불가능한 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 연구의 경량 복공 가시설 시스템은 엄지말뚝 설치 후 경량 고강도 특성의 복합신소재 토류판을 설치하고, 버팀보를 통해 작업공간을 확보한 뒤 받침앵글 및 주형보 설치 후 경량 고강도 특성의 복합신소재 복공판을 인력에 의해 설치할 수 있도록 개발되었다(홍기중, 2011).

경량 복공 가시설 시스템은 크게 상부 가시설과 하부 가시설로 구분할 수 있으며, 상부 가시설 및 하부 가시설을 일체로 조립시공하여 경량 복공 가시설 시스템을 완성하게 된다. Fig. 3에 보인 바와 같이, 상부 가시설은 복합신소재 경량 복공판, 이의 설치 시 지반지지를 위한 강재 받침앵글 및 주형보로 구성되고, 하부 가시설로는 강재 엄지말뚝, 버팀보 및 복합신소재 경량 토류판으로 구성된다. Fig. 4에서는 경량 복공 가시설 시스템의 입체도를 보여주고 있다.

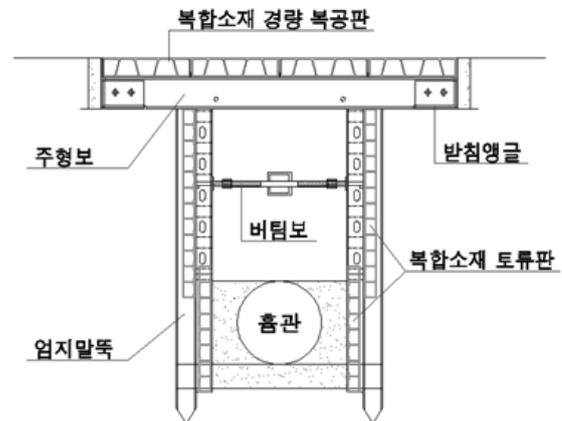


Fig. 3 Lining-board System using Light-weight GFRP Panels for Sewer-pipe Construction

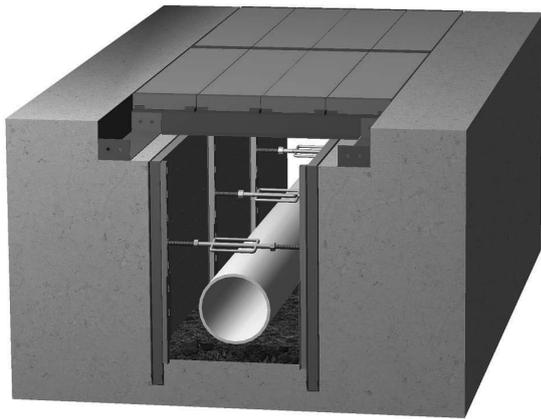


Fig. 4 3D View of Entire Lining-board System using Light-weight GFRP Panels

Table 1에서는 경량 복공 가시설 시스템 구성부재의 규격, 중량 및 재질을 보여주고 있다. 이 Table에 보인 바와 같이, 경량 복공 가시설 시스템을 구성하는 부재의 개당 최대중량은 강재 받침앵글 1.16kN 이며, 복합신소재 복공판의 경우 개당 중량이 0.7kN으로 인력 또는 소형장비에 의한 운반설치가 가능하다.

2.2 시스템 구성

경량 복공 가시설 시스템은 하수관거 굴착공사시 수직굴착면의 보호 및 작업공간 확보를 위한 하부가시설, 가시설 상부의 보행자 및 차량의 통행을 위해 개폐 가능한 복공판을 포함하는 상부가시설로 구성된다.

(1) 복합신소재 복공판

경량 복공 가시설 시스템의 복공판 및 토류판은 경량, 고강도, 고내구성 특성 등의 우수한 성능을 보유하여 최근 건설분야에 활발히 적용되고 있는 건설 신소재인 패넬형태의 섬유강화 복합신소재로 제작된다.

경량 복합신소재 복공판 적용으로 하수관거 굴착

공사 시 기존 강재 복공판의 1/4정도 무게의 복공판으로 대체적용이 가능하게 될 뿐만 아니라 고강도 특성으로 보행자 및 공사차량에 대해서 충분한 구조안전성을 보유할 수 있고, 고내구성으로 반영구적인 복공 가시설로 활용할 수 있는 장점이 있다(Lee, 2010 and Ji, 2010).

Fig. 5에서는 경량 복공 가시설 시스템에 사용되는 복합신소재 복공판의 단면도를 보여주고 있다. 이 복합신소재 복공판은 기존 노면과의 평탄성을 확보할 수 있도록 2.5m 간격으로 굴착부 가시설 상부의 주형보에 4개가 설치된다. 좌우측 복공판은 굴삭기 등 공사장비의 작업으로 이용되며, 중앙의 2개의 복공판은 굴착 및 관로교체 작업시 작업공간을 확보하기 위해 임의의 개폐가 가능하도록 하였다. 또한 복합신소재 복공판의 상부면은 통행자 및 통행차량의 미끄럼 방지를 위해 규사와 예폭시를 이용한 미끄럼 방지층(Non-skid Coating)으로 처리하였다.

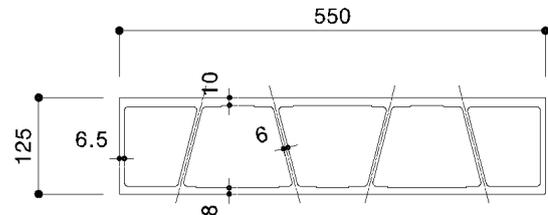


Fig.5 Section of Composite Lining Board

(2) 주형보

경량 복공 가시설 시스템의 주형보는 굴착공사 구간의 상부에 2.5m 간격으로 설치되어, 복합신소재 복공판을 고정지지하고 복합신소재 복공판을 통해 전달되는 통행자 및 통행차량의 하중을 구조적으로 지지할 수 있는 강재 H빔(H200×200×8×12)으로 Fig. 7과 같이 설계하였다. 주형보는 복공판의 횡방향 변위를 방지하기 위해 간격재를 두고 있으며, 양단 하부의 받침앵글과의 결합을 위해 볼트 체결 홀을 구비하였다.

Table 1. Dimension, Unit Weight and Materials of the Lining-board System using Light-weight GFRP Panels

부재명	규격	중량 (kN/pc)	재질
복합신소재 경량 복공판	2500(L)×550(W)×125(H)	0.70	GFRP
받침앵글	2500(L)×270(W)×325(H)	1.16	강재
주형보	2200(L)×200(W)×200(H)	1.10	강재
엄지말뚝	1900(L)×125(W)×225(H)	0.67	강재
버팀보	900~1700(L)	0.15	철재
간격유지재	Φ35	0.10	철재
복합신소재 경량 토류판	2000(L)×200(W)×75(H)	0.10	GFRP
볼트	Φ22, L=50	-	철재

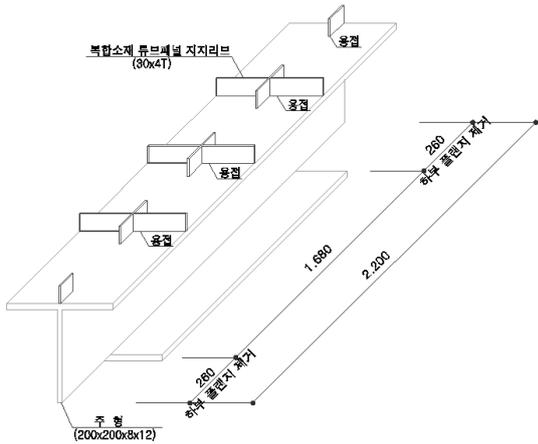


Fig. 7 Details of Main Girder

(3) 받침앵글

경량 복공 가시설 시스템의 받침앵글은 가시설 상부의 주형을 고정하고, 복합신소재 복공판으로부터 전달된 상부하중이 지면에 의해 지지될 수 있도록 하는 강제 앵글(L-325×270×9t)이다. Fig. 8과 같이 받침앵글의 길이는 복합신소재 복공판의 길이와 동일한 2.5m이며, 고장력 볼트를 이용한 받침앵글간의 연결을 위해 받침앵글 연결판을 구비하도록 하였다.

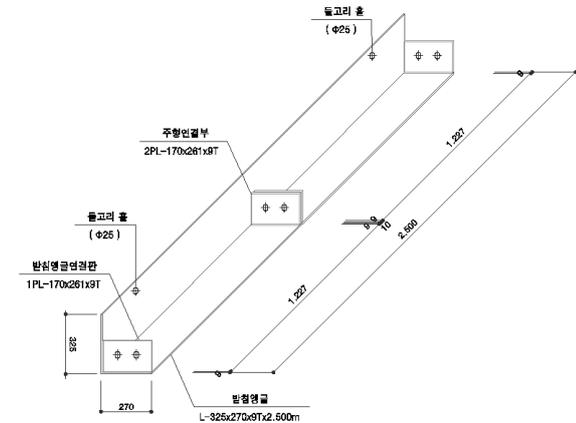


Fig. 8 Details of Supporting Angle

(4) 엄지말뚝

엄지말뚝 및 버팀보는 경량 복공 가시설 시스템의 하부 가시설로서 하수관로 굴착면에 설치된 토류판을 고정하고 토류판을 통해 전달된 배면토압을 지지하는 중요한 구조부재이다. Fig. 9와 같이, 굴착깊이에 따라 엄지말뚝의 길이 및 버팀보의 설치계획을 조정할 수 있도록 경량 복공 가시설 시스템을 설계하였다. 엄지말뚝의 길이는 굴착깊이에 따라 1,400~2,900mm로 계획 굴착면에서 10cm 정도 근접하여 설치하여야 한다.

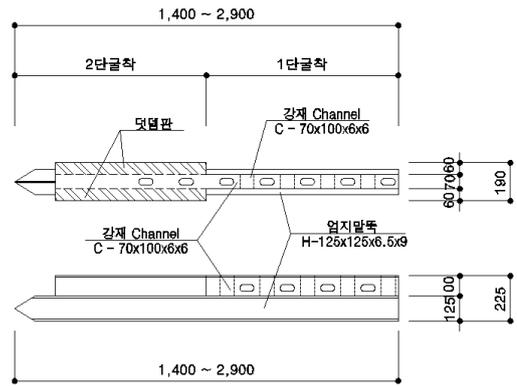


Fig. 9 Details of H Pile

(5) 버팀보

버팀보는 굴착단면의 엄지말뚝 사이에 설치되어 엄지말뚝과 함께 굴착 후 토류판 배면토압을 지지함과 동시에 굴착면 사이의 작업공간을 확보할 수 있도록 하는 가시설 부재이다. 경량 복공 가시설 시스템에서는, Fig. 10에서 엄지말뚝간에 설치되는 버팀보의 상세도면을 보여주는 바와 같이, 길이조절을 위한 전산나사와 조임손잡이가 있어 용이하게 버팀보를 설치한 후, 엄지말뚝과 토류판의 움직임이 없도록 견고하게 고정시킬 수 있도록 하였다.

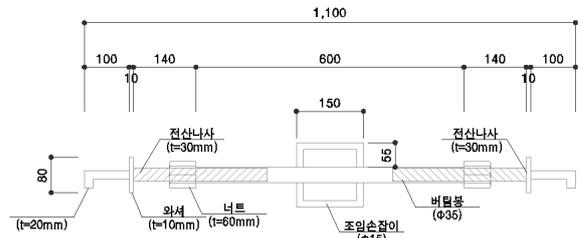


Fig. 10 Details of Spacer Installed between H Piles

(6) 복합신소재 토류판

복합신소재 토류판은 설치된 엄지말뚝 사이에 설치되어 배면토의 안정과 시공안전성 확보를 위해 Fig. 11과 같이 충분한 강성과 강도를 가지는 2셀의 장방형 중공 단면으로 설계되었다. 복합신소재 토류판 한 개의 크기는 1,900~1,970mm(길이)×200mm(폭)×75mm(높이)이며, 중량은 개당 약 10kg으로 인력작업이 가능한 경량특성을 보유하고 있다.

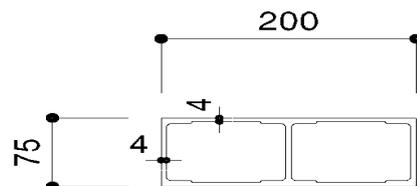


Fig. 11 Section of Composite Retaining wall

2.3 경량 복공 가시설을 이용한 하수관거 굴착 공법

본 연구에서 개발된 경량 복공 가시설을 이용하여 도로폭 6m 이하의 도심지 이면도로의 하수관거 굴착 공사에 적용할 수 있는 시민친화형 하수관거 굴착공법을 개발하였다. 경량 복공 가시설 시스템을 이용한 하수관거 굴착공법은 1) 관로굴착 및 하부가시설 설치 단계, 2) 상부 가시설 설치 및 관거시공 단계, 3) 가시설 철거 및 되메움 단계로 이루어지며, 약 30m 내외의 맨홀간 구간을 일괄 굴착시공하여, 공사품질을 확보하고 통행자 및 통행차량의 불편을 해소할 수 있게 된다.

3. 경량 복공 가시설 시스템의 구조해석

3.1 구조해석 개요

경량 복공 가시설 시스템의 구조안전성 검토를 위해 (지반지지를 위한 받침앵글, 강재 주형보, 경량 복합신소재 복공판을 포함하는) 상부 가시설과 (굴착면의 배면토압을 지지하는 엄지말뚝, 버팀보 및 경량 복합신소재 토류판을 포함하는) 하부 가시설로 구분하여 유한요소해석 프로그램인 MIDAS를 이용한 구조해석을 수행하였다. 본 구조해석에서는 경량 복합신소재 복공판, 주형보 및 받침앵글의 자중과 가시설 상부의 차량하중에 의한 활하중을 동시에 고려하였으며, 가시설 상부의 설계 차량하중은 공사시 통행이 가능한 최대 만재하중 110kN의 트럭하중을 고려하였다.

상부 가시설의 경우, 받침앵글에 대해서는 복합신소재 복공판을 통해 전달되는 활하중 및 가시설 자중에 대한 지반지력 검토와 유한요소해석을 통한 주형보 및 경량 복합신소재 복공판의 구조안전성 및 처짐 사용성 검토를 수행하였다.

강재 주형보는 경량 복공판을 고정하고, 복공판 상부의 설계차륜하중을 받침앵글에 전달하는 휨부재로서, H-200x200x8x12 단면의 SM400강재에 설계하중을 지점간 순간적인 2,070mm에 등분포 재하하여 구조해석을 수행하였다.

복합신소재 복공판은 2.5m 간격으로 설치된 강재 주형보에 의해 단순 지지되어, 복공판 상부의 차륜하중을 강재 주형보에 전달하는 중공 패널형태의 휨부재로서, 직교이방성 강도특성을 고려하여 모델링 하였다. 해석대상 복합신소재 복공판은 길이 2,500mm, 폭 500mm 및 높이 125mm로 설계 차량하중의 최대 차륜하중인 24.4kN을 복공판 중앙의 차륜접지면적에 등분포 재하하였다.

Fig. 12 및 Fig. 13에서는 유한요소해석을 통한 강재 주형보와 복합신소재 복공판의 응력분포도를 보여

주고 있다.

3.2 해석결과

Table 2에서는 강재 주형보의 구조해석결과 구조안전성 및 처짐사용성을 정리하여 보여주고 있으며, Table 3에서는 경량 복합신소재 복공판의 구조해석결과 구조안전성 및 처짐사용성을 정리하여 보여주고 있다. 이 Table에서 보여주는 바와 같이, 강재 주형보의 지점 중앙부 최대응력은 50.2MPa로, 가시설용 강재의 허용응력 할증계수 1.5를 고려한 설계허용응력인 210MPa 대비 충분한 안전성을 가지는 것으로 평가되며, 최대처짐은 1.05mm로 강재 주형보의 처짐제한규정인 L/500(L:지점거리)을 적용한 4.14mm 대비 충분한 처짐 사용성을 가지는 것으로 평가되었다. 또한, 경량 복합신소재 복공판의 지점 중앙부 주응력방향 최대응력은 60.8MPa로, 복합신소재 복공판의 주응력 방향 설계강도인 200MPa에 안전율 2.5를 고려한 설계허용응력인 80MPa 대비 충분한 안전율을 가지는 것으로 평가되며(Kookmin Composite Infrastructure, 2004 and Strongwell, 2002), 지점 중앙부 최대처짐은 12.33mm로 가시설의 처짐 제한규정인 L/180(L:지점거리)을 적용한 13.89mm보다 작아 처짐 사용성을 만족하는 것으로 평가되었다.

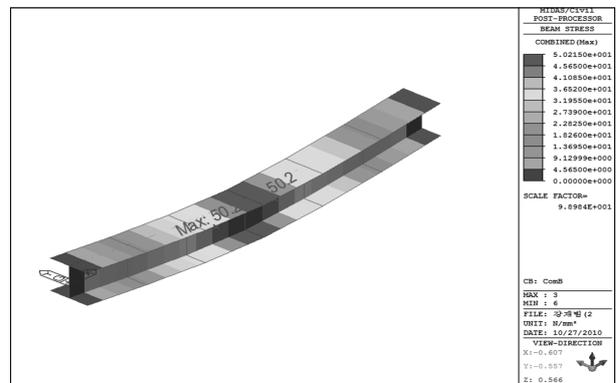


Fig. 12 Stress Distribution of Steel Main Girder

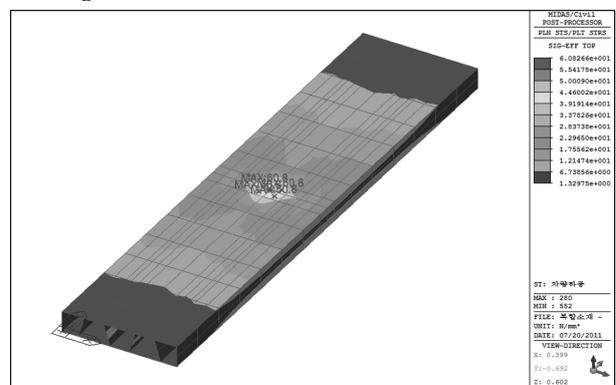


Fig. 13 Stress Distribution of Composite Lining Board

Table 2. Maximum Stress and Deflection of Steel Main Girder under Design Load Condition

구 분	최대응력	최대처짐	비 고
해석결과	50.2MPa	1.05mm	처짐 (사용성) 기준 L/500 적용
허용치	210.0MPa	4.14mm	
허용치/ 최대치	4.18	3.94	

Table 3. Maximum Stress and Deflection of Composite Lining Board under Design Load Condition

구 분	최대응력	최대처짐	비 고
해석결과	60.8MPa	12.33mm	처짐 (사용성) 기준 L/150 적용
허용치	80.0MPa	13.89mm	
허용치/ 최대치	1.32	1.13	

4. 복공판 및 토류판 구조성능시험

4.1 복합신소재 복공판 휨 성능시험

본 연구를 통해 설계 제작된 경량 복합신소재 복공판에 대한 휨 성능시험을 Fig. 14와 같이 수행하여 경량 복합신소재 복공판의 휨 거동특성을 분석하고 및 휨 내하력의 시험적 평가를 수행하였다. 본 구조성능 시험은 경량 복합신소재 복공판의 지점은 단순지지 시키고, 중앙부에 선하중을 가하는 정적 3점 휨시험으로 수행하였다.

휨 성능시험을 위한 경량 복합신소재 복공판 시험체는 길이 2,700mm, 폭 550mm, 높이 125mm의 경량 복공 가시설 시스템에 사용되는 실제 크기로 총 3개의 시험체가 제작되었으며, 지점간 거리 2,500mm의 양단 단순지지 조건으로 시험체를 설치하고, 변위계 및 변형률계를 설치한 후, 최대 500kN 용량의 유압 액츄에이터의 하중제어를 통해 시험체의 국부 파괴 또는 순수 휨파괴시까지 하중을 재하하여 시험하였다. 하중재하부는 선하중 재하를 위해 40mm×40mm 단면의 강철 빔을 이용하여 재하하였다.

실물크기의 경량 복합신소재 복공판 시험체에 대한 정적 휨 성능시험에서 구한 시험체별 하중-변위 선도를 Fig. 15에서 보여주고 있다. 시험체의 최종 파괴 시까지 하중에 대해 선형의 변위응답 특성을 보이며, 시험체에 따라 최소 133kN에서 최대 183kN의 최대하중 및 최소 47.83mm에서 최대 61.53mm의 최대변위를 가지는 것으로 평가되었다. 경량 복합신소재 복공판의 설계하중인 5.0tonf 트럭하중의 만재 시 최대차륜하중인 후륜축하중이 24.4kN 인 것을 감안하면, Table 4에 보인 바와 같이 설계 제작된 복합신소재 복공판은

설계하중 대비 5.45이상의 큰 내하율을 보유하고 있는 것으로 평가된다.

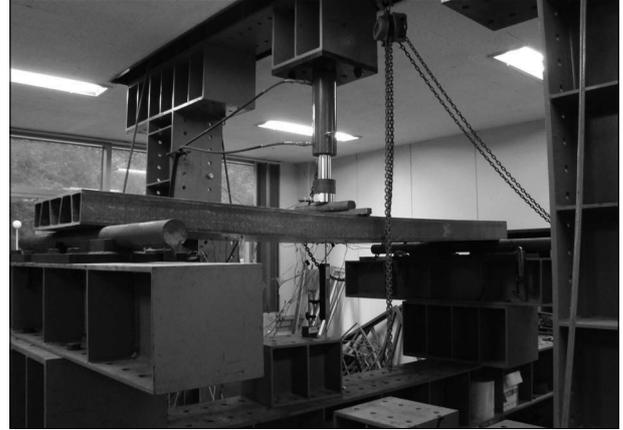


Fig. 14 Flexural Test for Composite Lining Board

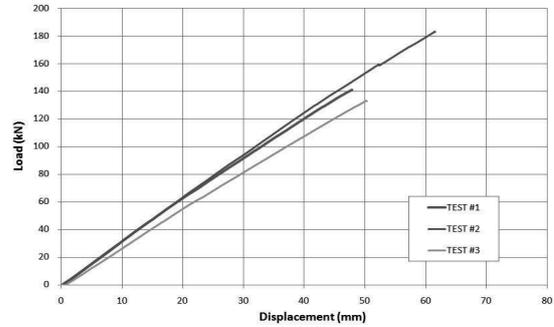


Fig. 15 Load-Deflection Curves of Flexural Tests for Composite Lining Board

Table 4. Load Carrying Capacities of each Specimens for Composite Lining Board under Design Load

시험체 구분	최대 하중 (kN)	최대 변위 (mm)	설계하중 변위 (mm)	휨내하율 (최대하중/설계하중)
#1	141.2	47.83	7.77	5.78
#2	183.0	61.53	7.70	7.49
#3	133.1	50.28	9.21	5.45
평 균	152.4	53.21	8.23	6.23

4.2 복합신소재 토류판 휨 성능시험

본 연구를 통해 설계 제작된 경량 복합신소재 토류판에 대한 휨 성능시험을 수행하여 휨 거동특성을 분석하고 및 휨 내하력의 시험적 평가를 수행하였다. 경량 복합신소재 토류판은 본 연구의 경량 복공 가시설 시스템의 하부 가시설에 사용되는 것으로 그 설계하중은 굴착깊이에 따른 등분포 형태의 설계도압을 사용하여야 하나, 시험여건상 Fig. 16에 보인 바와 같이 복합신소재 토류판의 지점은 단순지지 시키고, 중앙부

에 선하중을 가하는 정적 3점 휨시험으로 수행하였다. 시험결과를 통해 얻게 되는 최대하중은 동일한 중앙부 휨모멘트를 발생시키는 등가의 등분포하중으로 환산하여 시험결과 내하율을 분석하였다. 휨 성능시험을 위해 길이 1,900mm, 폭 200mm, 높이 75mm로 총 3개의 경량 복합신소재 토류판의 실제 크기 시험체가 제작되었으며, 지점간 거리 1,700mm의 양단 단순지지 조건으로 시험체를 설치하고, 변위계 및 변형율계를 설치한 후, 최대 500kN 용량의 유압 액츄에이터의 하중제어를 통해 시험체의 국부 파괴 또는 순수 휨파괴 시까지 하중을 재하하여 시험하였다.

토류판 시험체에 대한 정적 휨 성능시험에서 얻은 시험체별 하중-변위 선도를 Fig. 17에서 보여주고 있다. 시험체의 최종 파괴 시까지 하중에 대해 선형의 변위응답 특성을 보이며, 시험체에 따라 최소 26.9kN에서 최대 33.4kN의 최대하중 및 최소 39.11mm에서 최대 47.59mm의 최대변위를 가지는 것으로 평가되었다. 경량 복합신소재 토류판의 설계하중인 최대토압의 등가하중이 7.957kN인 것을 감안하면, Table 5에 정리한 바와 같이 설계 제작된 복합신소재 토류판은 설계하중 대비 3.38이상의 큰 내하율을 보유하고 있는 것으로 평가된다.

Table 5. Load Carrying Capacities of each Specimens for Composite Retaining Wall under Design Load

시험체 구분	최대 내하력 (kN)	최대 변위 (mm)	설계하중 변위 (mm)	휨내하율 (최대내하력/설계하중)
#1	33.4	47.59	11.50	4.20
#2	27.5	40.56	11.35	3.46
#3	26.9	39.11	11.58	3.38
평균	29.3	42.42	11.48	3.68

5. 경량 복공 가시설 시스템의 현장적용시험

경량 복공 가시설 시스템을 이용한 하수관거 굴착 공법의 현장적용성 검증을 위해 2010년 5월, 서울시 물관리국의 주관으로 마포구 서교 배수분구 하수관거 정비공사에 현장적용시험을 수행하였다. 적용대상현장은 굴착 폭 2.5m, 연장 20.0m로서 Fig. 18에서 Fig. 23에서는 경량 복공 가시설 시스템의 시공단계별 시공사진을 보여주고 있다.

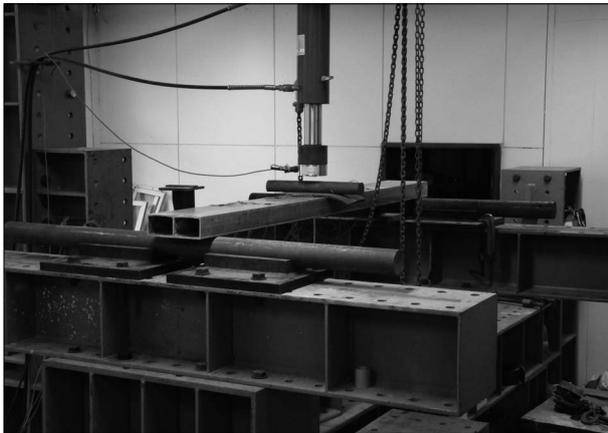


Fig. 16 Flexural Test for Composite Retaining Wall

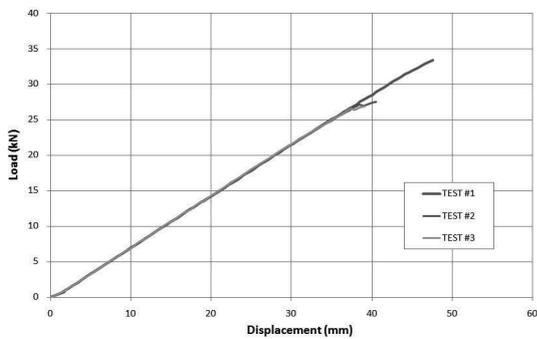


Fig. 17 Load-deflection Curves of Flexural Tests for Composite Retaining wall



Fig. 18 Installation of Steel H Piles by Excavator



Fig. 19 Installation of Composite Retaining Walls



Fig. 20 Placement of Composite Lining-Board



Fig. 23 Temporary Traffic after Pipe Construction



Fig. 21 Pipe Construction through Opening Composite Lining Board



Fig. 22 Pipe Level Test after Pipe Installation

6. 결 론

본 논문에서는 도심지 이면도로의 친환경적 하수관거공사를 위해 개발된 GFRP 패널을 이용한 경량 복공 가시설 시스템의 구조 개념을 소개하였다. 유한요소해석을 통해 이에 대한 구조안전성 및 사용성을 검토하였으며, 복합신소재 복공판과 토류판의 구조성능 시험을 통한 휨성능 검증내용을 기술하였다. 더불어, 개발된 경량 복공 가시설 시스템을 이용한 현장적용 사례를 소개하였다. 본 논문을 통해 도출한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 (강재 엄지말뚝, 버팀보 및 경량 복합신소재 토류판으로 구성된) 하부 가시설과 (받침앵글, 주형보 및 경량 복합신소재 복공판으로 구성된) 상부 가시설이 일체화된 경량 복공 가시설 시스템과 이를 이용한 하수관거 굴착공법을 개발하였다.
- (2) 구조해석을 통해 설계하중에 대한 구조안전성을 검토한 결과, 경량 복공 가시설 시스템은 상재하중에 대해 강재 주형보의 경우 4.18, 복합신소재 복공판의 경우 1.32의 강도대비 안전율을 보유하고 있으며, 각각 허용치짐/최대치짐 대비 3.94와 1.13을 보유하고 있어 충분한 구조 안전성과 사용성을 보유하고 있는 것으로 평가된다.
- (3) 인발성형으로 제작된 복합신소재 복공판 및 토류판에 대한 설계하중 휨성능 시험결과, 복합신소재 복공판의 경우 5.45이상, 복합신소재 토류판의 경우 3.38 이상의 큰 내하율을 보유하고 있는 것으로 평가된다.
- (4) 본 연구에서는 도로폭 6m이하 주택가 이면도로의 하수관거 정비공사시 조립식 가시설 시스템과 경량 복합신소재 복공판을 이용한 시민친화형 관로 시공방법을 개발하였으며, 하수관거 정비공사의

공사품질 향상, 주민편의 향상 및 시공성 향상 등 획기적인 개선이 가능할 것으로 기대되며, 향후 각종 굴착공사의 가시설 공법으로 확장 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 (주)국민씨아이의 연구개발 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

- Hong, KJ. (2011), "Development of Light-Weight Composite Lining Board for Sewer Pipe Construction, R&D Report, Kookmin University.
- Lee, SW., Hong, KJ., and Park, SZ. (2010), "Current and Future Applications of Glass-Fiber-Reinforced Polymer decks in Korea," *Structural Engineering International, Vol.20 No.4*, pp. 405-408.
- Ji, HS., Chunk, KS. (2010), "An Experimental Study on the Behavior of Modular GFRP Deck for Use in Deteriorated Bridge Decks Replacement" *J. Korean Society of Advanced Composite Structures*, Vol.1, No.2, pp.44-50.
- Kookmin Composite Infrastructure, Inc. (2004), Design Manual for Glass-Reinforced Composite Bridge Deck.
- Strongwell, Inc. (2002), Design Manual - Extren and Other Proprietary Pultruded Products.
- Seoul Metropolitan City (2011), Design Manual for User-Friendly Light-Weight Lining Board System.