

# 콘크리트 구조물 보호용 복합소재 피복판 및 모서리 보호공

이성우\* · 이선구\*\* · 조남훈\*\*\* · 신경재\*\*\*\*

## Composite Skin and Corner Plate for Protection of Concrete Structure

Lee Sung-Woo, Lee Sun-Goo, Cho Nam-Hoon and Shin Kyung-Jae

**Key Words:** 복합소재, 진공성형법, VARTM, 피복판, 모서리보호공, 콘크리트 내구성

### Abstract

Compared with existing construction materials, ACM(Advanced Composites Material) possesses many advantage such as light-weight, high-strength, corrosion resistant properties, etc. In this study, utilizing those advantages of ACM, composite skin and corner plate for protection of concrete port structure are developed. Detailed procedure for analysis, design and fabrication along with site installation for demonstration project are described. It is also demonstrated that pultrusion process for corner plate and VARTM process for composite skin are promising fabrication methods for future civil infrastructure application.

### 1. 서 론

항만구조물에 사용되는 재료는 대부분 콘크리트 또는 강재를 사용하고 있다. 그러나 강재의 부식과 콘크리트의 열화로 인하여 구조물의 내구성이 현저히 저하되고 유지관리비용이 가중되고 있는 실정이다.

중력식 항만 콘크리트 구조물의 안벽 법면 모서리에 사용되고 있는 모서리 보호공<sup>1)</sup>의 재료는 현재 대부분 강재가 사용되고 있다. 그러나 강재 모서리 보호공의 부식으로 인해 모서리 보호공이 파손되어 안벽에 손상을 입히고 있을 뿐만 아니라 미관을 해치고 있다.

또한, 콘크리트 항만구조물은 비탈대구역에서 염해가 가장 심하게 나타나고 노후화 진행에 따라 염분으로 인해 중성화된 콘크리트면에 파랑작용과 해상 부유물의 마찰작용 등으로 콘크리트면

의 침식현상이 발생하여, 안벽 벽체가 심하게 손상되고 철근이 노출 부식하게 되어 궁극적으로는 안벽에 구조적인 문제를 야기시키게 된다.

이러한 문제들을 근본적으로 해결하기 위해 내 부식, 고강도, 내마모, 차수특성을 지닌 복합소재를 이용하여 복합소재 모서리 보호공과 콘크리트 구조물 보호용 복합소재 피복판<sup>2)</sup>을 개발하였다.

### 2. 항만구조물 모서리 보호공 개발

#### 2.1 모서리보호공의 구조해석 및 두께결정

##### 1) 모서리보호공의 구조 해석

모서리 보호공의 설계를 위해 구조해석을 실시하였으며, 복합소재 모서리 보호공은 SHELL 4L 요소로 콘크리트는 SOLID요소를 사용하여 모델링하였다. 모서리 보호공의 두께를 결정하기 위해 섬유 함유율을 50%로 하고, 두께를 변경시켜 가면서 상재하중과 활하중에 대해 구조해석을 실시하였다. 복합소재는 유리섬유 로빙사, 다축 유리섬유 직포, 연속 유리섬유 매트로 구성된 적층판<sup>3)</sup>으로 해석하였다. 구조해석 결과를 분석하여 최종적으로 단면 두께를 결정하였다.

\* 국민대학교 토목환경공학부 교수

\*\* (주)국민씨아이 총괄이사

\*\*\* (주)국민씨아이 사원

\*\*\*\* (주)국민씨아이 사원

2) 구조해석 결과

두께 결정을 위한 허용응력은 Strongwell사 제품인 EXTREN 625<sup>4)</sup>를 기준으로 하였다. 6.5mm 두께의 해석결과를 분석한 내용은 표 1과 같으며, 허용응력 비교를 통하여 횡방향을 매트와 보강한 모서리 보호공의 두께를 6.5mm로 결정하였다. 횡하중이 작용할 때 콘크리트에는 파괴를 일으키는 응력(콘크리트의 강도를 270 kg/cm<sup>2</sup>로 가정)이 발생되나, 모서리 보호공에 발생하는 응력은 안전율을 3.0을 고려한 허용응력 값의 36%(파괴안전율 5.8)밖에 되지 않아 모서리 보호공이 안전측으로 설계된 것을 알 수 있다. 그림 1에는 두께 6.5mm에 대한 횡하중이 작용할 때 발생하는 응력을 보여 주고 있다.

3) 최종 단면

구조해석 결과에 따라 모서리 보호공의 두께를 6.5mm로 최종적으로 결정하였고 매트와 직포를 혼합하여 사용하여 적층하였으며, 섬유함유율이 45%가 되도록 단면을 설계하였다. 전체적인 단면 형상은 강재에 준하여 설계하였으며 세부적인 설계단면은 그림 2와 같다.

4) 복합소재 모서리 보호공의 정착

모서리 보호공의 콘크리트에 대한 정착은 인발성형으로 제작한 복합소재 L형 부재를 이용하여 그림 3과 같이 접착하는 방법을 사용하였다.

표 1. 두께에 따른 최대응력(단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

하중	모서리 보호공						콘크리트	
	$\sigma_x$		$\sigma_y$		$\sigma_z$		Von-Mises	
	응력	허용응력 대비	응력	허용응력 대비	응력	허용응력 대비	응력	허용응력 대비
횡하중	65.30	$\sigma_x/\sigma_a^C = 0.10$	61.4	$\sigma_y/\sigma_a^T = 0.073$	254	$\sigma_z/\sigma_a^C = 0.36$	273.5	1.01
상재하중	36.3	$\sigma_x/\sigma_a^T = 0.043$	164.8	$\sigma_y/\sigma_a^C = 0.24$	103.6	$\sigma_z/\sigma_a^T = 0.12$	151.1	0.56

\*  $\sigma_a^T$  : 섬유방향 허용인장응력(840kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_a^C$  : 섬유방향 허용압축응력(700kg/cm<sup>2</sup>)

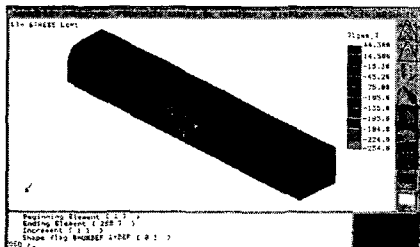


그림 1. 집안하중의 경우  $\sigma_z$ 의 분포

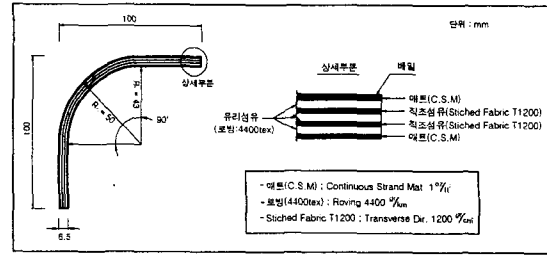


그림 2. 복합소재 모서리 보호공 설계 단면

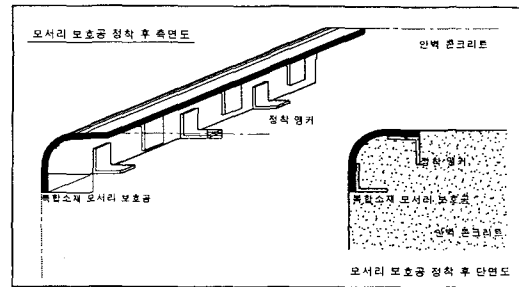


그림 3. 모서리 보호공의 정착

2.2 복합소재 모서리 보호공 제작

복합소재 모서리 보호공의 제작은 인발성형 기법<sup>5)</sup>을 이용하여 제작하였다. 사진 1에는 인발성형 장비를 이용하여 복합소재 모서리 보호공을 제작하고 있는 모습을 보여주고 있다. 사진 2에는 L형 앵커를 부착하여 제작 완료된 복합소재 모서리 보호공의 모습을 보여 주고 있다.

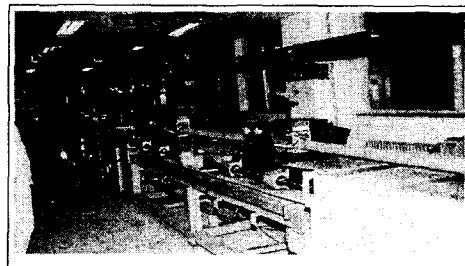


사진 1. 모서리보호공 제작 모습

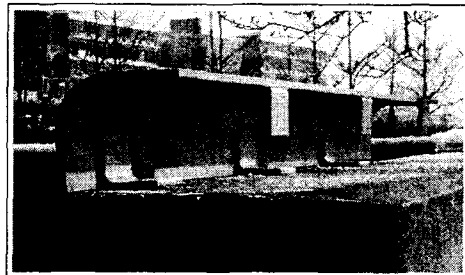


사진 2. 완성된 복합소재 모서리 보호공의 모습

### 3. 콘크리트보호용 복합소재 피복판 개발

#### 3.1 복합소재 피복판 섬유/수지 설계

본 연구에서 개발된 복합소재 콘크리트 피복판은 콘크리트 복개구조물, 콘크리트 항만구조물, 콘크리트 수처리 구조물, 콘크리트 교량의 바닥판과 교각기초 등과 같이 콘크리트의 표면이 부식이나 침식 또는 세굴로 손상이 발생할 수 있는 환경에 노출되어 있는 구조물의 표면에 일체로 부착하여 부식환경이나 손상환경에 대해 콘크리트 표면을 보호하여 구조물의 내구성을 증진시킬 수 있다.

항만 콘크리트 구조물의 침식방지용으로 개발된 복합소재 피복판 제작에 사용한 강화제는 E-Glass 섬유를 사용하여 직조한 다축 유리섬유 직포(Multiaxial Stitched Fabric) DBLT-1150을 사용하였으며, 두께 2mm가 되도록 하기 위해 2겹을 적층하여 제작하였다.

침식방지용 복합소재 피복판에 사용한 기지재료는 내화화성과 내구성이 좋아 해양 환경에 적합한 비닐에스터 수지를 사용하였다. 수지에 UV 안정제를 혼합하여 복합소재 피복판이 자외선에 열화하지 않도록 처리하였다.

#### 3.2 콘크리트면과의 부착방법

복합소재 피복판과 케이스 콘크리트 면과의 부착은 내구성면에 있어서 매우 중요한 것으로 사료되며, 이를 위하여 앵커에 의한 부착과 동시에 피복판면의 처리를 통하여 부착효과를 높였다.

앵커에 의한 부착은 파랑, 마찰, 충돌에 의한 복합소재 피복판의 이탈을 방지할 수 있도록 하기 위하여 복합소재 앵커를 VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)<sup>6)</sup> 성형법으로 제작하여 피복판에 삽입하였다.

피복판면의 처리에 의한 부착은 콘크리트-피복판 계면의 해수유입과 동결융해에 의한 분리를 방지하고 부착성을 높이기 위해 다양한 경우에 대해 부착시험을 실시하였으며, 시험결과 부착방법은 비닐에스터수지를 도포한 후 규사를 뿌려주는 방법을 사용하였다.

#### 3.3 침식방지막 설계 상세

그림 4에는 침식방지용 복합소재 피복판의 상세 설계도를 보여주고 있다. 각 복합소재 피복판

의 이음부는 먼저 피복판을 강재 거푸집에 고정시키고 상세 C에서 보여주는 바와 같이 이음부를 실리콘으로 실링하여 이음부의 수밀성을 유지할 수 있도록 하였다. 앵커는 30cm 간격으로 배치되되 지그재그 형태로 설치하고 상·하단부 및 좌·우 끝단부의 앵커는 30cm 간격으로 일률적으로 배치하였다. 침식방지용 복합소재 피복판의 상·하단부 앵커는 상세 B와 같이 내부에 설치된 앵커를 그대로 사용하고 좌·우 끝단부에 위치한 앵커는 상세 A와 같이 콘크리트 내부로 45° 각도로 기울여 제작한 후 설치한다.

#### 3.4 복합소재 피복판 시험 시공

복합소재 피복판의 현장 적용성을 검증하기 위해 군·장 신항만 남측안벽(2공구) 케이슨 23함의 비탈대지역인 5단과 6단에 걸쳐 시험시공을 실시하였다.

복합소재 피복판의 시험시공을 위한 정면도 및 측면도의 설계 상세는 그림 5와 같으며 피복판을 2m×3m 크기로 16개를 제작하였다.

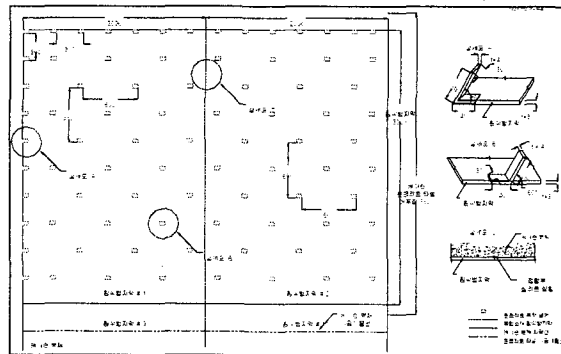


그림 4. 복합소재 피복판의 설계도

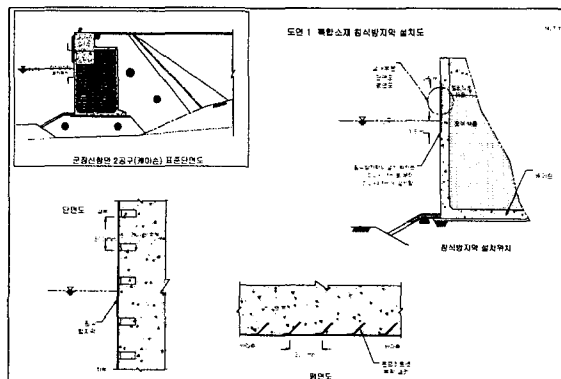


그림 5. 시험시공 설계상세

복합소재 피복판은 유리섬유 스티치직포와 비닐에스터 수지를 이용하여 VARTM 공정에 의해 제작되었으며, 사진 3에는 VARTM 공정을 이용하여 복합소재 피복판을 제작하고 있는 모습을 보여주고 있다.

복합소재 피복판을 케이슨에 거치하기 위하여 5단, 6단에 설치할 케이슨 전면의 강재 거푸집에 제작된 복합소재 피복판을 설치하고 나머지 공정은 케이슨 제작 공정과 동일하게 진행하였다.

사진 4에는 강재거푸집에 침식방지용 복합소재 피복판의 설치가 완료된 모습을 보여주고 있다. 사진 5에는 복합소재 피복판이 콘크리트 케이슨 전면 5, 6단에 설치된 모습을 보여주고 있다.

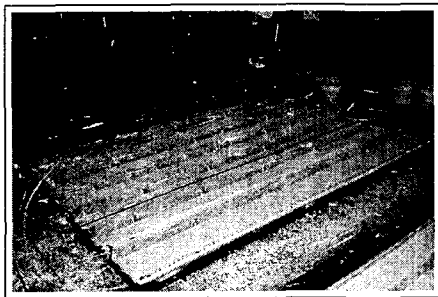


사진 3. VARTM 공정을 이용한 복합소재 피복판 제작 모습

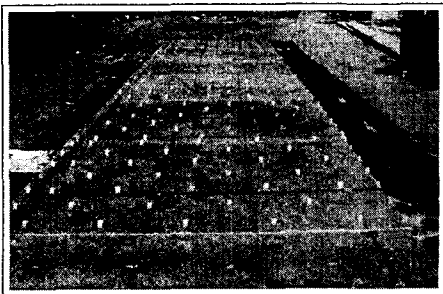


사진 4. 강재거푸집에 피복판을 설치한 모습



사진 5. 복합소재 피복판이 설치된 콘크리트 케이슨 전면의 모습

#### 4. 결론

본 논문에서는 복합소재를 이용하여 항만 콘크리트 구조물의 모서리 보호공과 콘크리트 보호용 복합소재 피복판을 개발하였다. 모서리 보호공 설계를 위해 구조해석을 실시하였고, 구조해석 결과를 토대로 복합소재 모서리보호공의 단면을 결정하였다. 설계된 복합소재 모서리보호공의 제작은 인발성형 기법을 이용하여 제작하고 제작된 복합소재 모서리 보호공의 인장시험과 압축시험을 실시하여 구조적인 성능을 검증하였다.

콘크리트 보호용 복합소재 피복판은 다축유리섬유직포와 비닐에스터 수지를 이용하여 설계하였다. 콘크리트와의 부착을 위해 피복판 후면에 앵커를 설치하였고, 피복판면에는 비닐에스터를 도포한 후 규사를 뿌려주었다. 케이슨 항만구조물에 시험시공을 실시하여 현장 적용성을 입증하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)건일엔지니어링과 (주)대우의 지원으로 수행하였으며, 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 이 성우 (1999) 복합소재를 이용한 항만구조물 모서리 보호공 개발, 연구보고서, KMU/SSRC-99/03, 국민대학교 구조안전연구소
- (2) 이 성우 (2000) 군장신항만 남측안벽 2공구 케이슨의 시험시공용 침식방지 복합소재 박판제작, 연구보고서, KMU/SSRC-00/01, 국민대학교 구조안전연구소
- (3) Swason, S. R. (1997) Introduction to Design and Analysis with Advanced Composite Materials. Prentice-Hall International, London
- (4) Strongwell (1998) Strongwell Design Manual
- (5) Creative Pultrusion (1998) Creative Pultrusion Design Manual
- (6) 이성우 (2000) 복합소재 구조물 제작을 위한 VARTM 제조공정 도입 및 건설분야 활용기법 연구개발, 연구보고서, KMU/SSRC-00/02, 국민대학교 구조안전연구소