

LNG 외조탱크 적용을 위한 SCP 모듈의 휨성능 평가

박정준¹, 박기준¹, 김성욱¹, 김언², 신동규^{2*}
¹한국건설기술연구원 인프라안전연구본부, ²현대중공업 중앙기술원

The Evaluation of flexure performance of SCP modules for LNG outer tank

Jung-Jun Park¹, Gi-Joon Park¹, Sung-Wook Kim¹, Eon Kim², Dongkyu Shin^{2*}

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Department of Infrastructure Safety
Research

²Hyundai Heavy Industries, Corporate Research Center

요 약 극한지에서 LNG 저장구조물을 건설할 때 현장 타설 방식으로 제작 및 시공되는 경우, 열악한 작업 환경 및 조건으로 인해 공사금액 및 공사기간이 증가되는 문제점이 발생할 수 있어 모듈형 에너지 저장탱크에 대한 요구가 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 LNG 연료 저장탱크의 경량화를 위해 SCP 모듈의 사용을 대안으로 제시하고자 하였다. 이에 SCP 모듈을 두께별로 제작하고 그에 따른 휨성능을 평가함으로써 SCP 구조의 LNG 연료 저장탱크에 대한 현장적용 가능성을 평가하고자 하였다. 실험 결과 두께 100mm 실험체는 설계상 극한하중인 413 kN까지는 선형을 유지하면서 증가하다가 기울기가 급격하게 변하면서 파괴되었다. 두께 200mm 실험체 또한 설계상 극한하중인 약 822 kN까지 선형을 유지하다가 파괴양상을 보였다. 두 조건 모두 SCP의 휨 시험에서 INCA guidance의 기준대로 철판이 항복에 도달할 때까지 선형 거동을 나타내었다가 극한하중이후에는 급격한 철판 항복을 동반하는 거동을 하였다. 또한, 목표로 제시한 설계 휨강도를 만족하여 SCP 모듈을 활용하여 LNG 저장탱크 외구조물에 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 추후 압축, 전단 시험 등을 추가로 진행하여 SCP의 구조성능에 대한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract When constructing LNG storage structures using the cast-in-place method in extreme areas, the construction cost and time may be increased due to the poor working environments and conditions. Therefore, demand for modular energy storage tanks is increasing. In this study, we propose using an SCP module as an alternative for lighter-weight LNG storage tanks. The purpose of this study is to evaluate the feasibility of LNG storage outer tanks by performing bending tests on the thickness of composite steel plate concrete under field conditions. The loads on specimens with thicknesses of 100 mm and 200 mm were linearly increased to the design final loads of 413 kN and 822 kN, respectively. The slope was rapidly changed, and fracture occurred. The two test conditions showed linear behavior until the steel plate yielded, and after an extreme load behavior, sudden yielding of the steel plate yield occurred in the SCP bending test according to the INCA guidelines. The results satisfied the design flexural load and showed the possibility of using the specimens in a modular LNG outer tank. However, it is necessary to evaluate the structural performance of the SCP by performing compression and shear tests in future research.

Keywords : SCP Module, Steel Concrete Plate, High fluidity concrete, INCA guidance, LNG outer tank

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 131FIP-C113546-01).

*Corresponding Author : Dongkyu Shin(Hyundai Heavy industries)

Tel: +82-31-210-9546 email: dongkyu.shin@hhi.co.kr

Received November 21, 2018

Revised (1st December 18, 2018, 2nd December 20, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

1. 서 론

최근 액화천연가스(Liquefied natural gas, 이하 LNG)에 대한 자원개발에 대한 수요의 지속적인 증가로 LNG 연료 저장탱크 시설을 포함한 플랜트 사업의 확대가 기대된다[1, 2]. 이에 LNG의 주요 매장지인 극한지를 대상으로 하는 프로젝트가 이어질 것으로 예상된다. 그러나 극한지에서 LNG 저장구조물을 건설할 때 기존건설 방식인 프리스트레스트 콘크리트(Prestressed concrete, 이하 PSC) 구조를 현장 타설 방식으로 시공하는 경우, 열악한 작업 환경(인력, 기후, 환경)에 의해 공사금액 및 공사기간이 증가되는 문제점이 발생하기 때문에 모듈형 에너지 저장탱크에 대한 필요성이 높아지고 있다[3]. 모듈화 저장탱크는 공장에서 제작하고 현장에서 조립·설치하는 기술로 국내에서는 선진국에 비해 설계를 포함한 제작기술 자재공급 절차, 설치 기술 등이 미비하여 기술 개발이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 LNG 연료 저장탱크의 경량화를 위해 SCP(Steel concrete plate, 이하 SCP)와 같은 합성형 강판콘크리트 구조모듈(이하 SCP 모듈) 형식을 대안으로 제시하고자 하였다. 이를 위해 SCP를 두께별로 제작하고 휨성능을 평가함으로써 기존 LNG 저장탱크의 외조 구조로 사용되는 PSC를 대체하여 모듈형 LNG 연료 저장탱크에 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 SCP 모듈 구성

이 논문에서 제시하고 있는 SCP 모듈은 Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이 철판과 철판 사이에 콘크리트를 채워 제작한 구조 형태이며, 노르웨이 선급인 DNV-GL에서 선박용으로 제시한 INCA panel[4]에서 착안한 구조 형식이다. INCA panel은 외판 및 웹프레임 배치로 제작되는 일반상선에 적용 시 구조 간결성이 높아짐에 따라 높은 경제성을 가질 것으로 예상되었으나, 선박의 중량증가에 따른 연료효율 문제로 적용이 미루어지고 있다.

SCP는 기본적으로 INCA guidance의 설계방식을 따랐으며, Fig. 1(b)와 같이 다수의 전단 스티드를 배치한다. SCP내의 스티드는 아래와 같은 기준을 통해 간격 및 지름이 결정된다.

- 1) 철판의 항복까지 콘크리트와 철판의 슬립 방지
- 2) SCP의 압축하중 시 철판 좌굴 방지
- 3) SCP의 전단저항시 전단강도 확보

위 3가지 조건을 만족하기 위해서 INCA guidance는 아래 전단 스티드의 간격을 아래 식(1)을 통해 산출하도록 하고 있다.

$$S_{max} = \min[0.75 \times (h_c + 2 \times t_h), 22 \times t_h \times (235 / f_{yk-p})^{0.5}] \quad \text{식(1)}$$

S_{max} : 전단 스티드 간격 (mm)

h_c : 콘크리트 두께 (mm)

t_h : 철판 두께 (mm)

f_{yk-p} : 철판 항복강도 (MPa)

본 연구에서는 SCP가 모듈형 LNG 저장탱크의 외조로 사용 가능한지에 대한 검증을 위해 100 mm ~ 200mm의 두께를 가지는 SCP 시험체를 제작하고, 4점 휨 시험을 통해 두께에 따른 휨 성능 검증 및 휨 거동 특성에 대해서 조사하고자 하였다[5]. 본 논문에서는 SCP를 이용한 LNG 저장탱크 외조의 상세한 설계의 설명보다는 실험을 통해 SCP의 휨 성능 능력을 검증함으로써, 설계에 사용하는 휨 성능 능력 산출방식이 타당한지에 대해서 검증하고자 하였다. 한편, 시험에 사용된 철판의 항복 강도는 460 MPa 이며 두께는 6 mm이다. 시험체의 크기는 길이 5,000 mm, 폭 1,000 mm 이며, 총 두께 107 mm 시험체와 207 mm 시험체를 제작하여 시험하였다. 식(1)을 적용할 경우 SCP 시험체의 스티드 간격을 결정하였으며, 각 두께별로 최대 저항 모멘트 값을 Table 1.에 나타내었다. 우선 SCP 100 mm 시험체의 경우 Table 1.에서 설명한 것과 같이 극한 저항 모멘트 278.8kN·m 및 설계 저항 모멘트 242.4kN·m 이며, 4점 휨 재하 시험을 수행할 때, 극한 하중은 각각 412.98 kN 및 359.11 kN으로 산정되었다. SCP 200 mm 시험체의 경우에는 각각 821.87 kN 및 714.67 kN의 극한하중 값으로 예상하였다. 한편, SCP 모듈 내부는 Fig. 1(b)와 같이 80 ~ 90 mm의 촘촘한 간격으로 스티드가 배열되어 있어 내부충전을 위해서는 일반적인 콘크리트보다는 유동성이 우수한 콘크리트를 이용하여 충전성을 높이는 것이 요구된다[6-7].

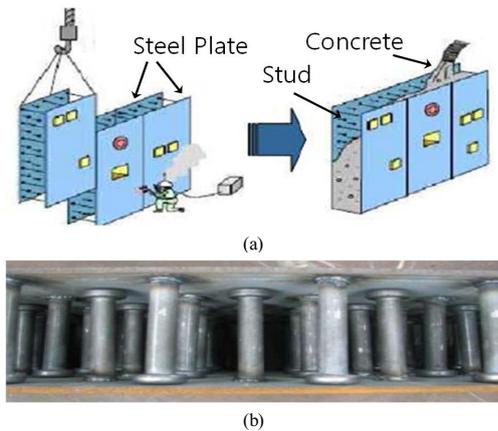


Fig. 1. Steel concrete plate(SCP) module [1]
(a) Concept [3] (b) Section

Table 1. Maximum resistance moment according to stud clearance and thickness

Spec.		100 mm	200 mm
Clearance of studs		80mm	90mm
Ultimate flexural load	MRu =f _{yd} ×As×ds	460MPa×6000mm ² ×(107mm-6mm) = 278.8kN·m	460MPa×6,000mm ² ×(207mm-6mm) = 554.8 kN·m
	PRu =Ru×A/B	278.8×(2/1.35m) = 412.98kN	554.8×(2/1.35m) = 821.87 kN
Design flexural load	MRd =Ru/γ _{steel}	278.8/1.15 = 242.4kN·m	554.8/1.15 = 482.4 kN·m
	PRd =PRu/γ _{steel}	412.98/1.15 = 359.11kN	821.87/1.15 = 714.67kN

here, A: Distance between supporting points (= 1.35 m)
B: Number between supporting points (= 2 ea)

2.2 콘크리트 배합 및 시험체 제작

2.2.1 콘크리트 배합 및 타설

SCP 시험체의 스티드 좁은 간격을 고려할 때 채움용 콘크리트 유동성과 충전성이 우수한 고유동 콘크리트가 필요하다. 이에 시멘트의 일부를 고로슬래그 미분말, 플라이애시로 치환하여 사용하고 화학혼화제를 함께 사용하는 병용계 방식의 고유동 콘크리트로 제조하였다[8]. 본 연구에서는 결합제로 1종 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시의 3성분계를 사용하여 고유동 콘크리트를 제조하고자 하였다[4]. 또한 SCP 모듈내 충전용 콘크리트의 수축거동을 방지하고자 CSA계 팽창재계와 액상 글리콜계 수축저감제를 사용하였다. SCP 모듈의 스티드 간격을 고려하여 굵은 골재는 최대 치수를 10

mm 이하의 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 세척사와 부순 모래를 혼합하여 사용하였다. 고성능 감수제는 폴리칼본 산계로 증점성분이 포함된 것을 사용하여 콘크리트가 재료분리 없이 고유동성을 나타낼 수 있도록 하였다. 이에 대한 배합표는 Table 2에 나타내었다. 시험체 타설을 위한 콘크리트의 생산은 국내 A레미콘사의 Batcher Plant(B/P)를 이용하여 총 3회에 걸쳐 생산하였다. 생산된 콘크리트는 Table 3의 모듈형 LNG 저장탱크용 콘크리트 충전성능 가이드라인에서 제시한 유동성과 충전성 관련 시험 등을 실시하여 일정한 품질이 확보되도록 관리[7]한 후 SCP 모듈 시험체에 타설하였다.

Table 2. Concrete mixing design

W/B (%)	S/a (%)	Unit Mass (kg/m ³)								AD (B-%)	RS (B-%)
		W	Binder				Sand		G ₁₀		
			C	BS	FA	EA	CS	SS			
40.7	55.6	171	295	84	42	9	472	478	754	1.45	1.0

here, W: Water, C: Cement, BS: Blast furnace slag, FA: Fly-ash, EA: Expansive agent, CS: Crash sand, SS: Sea sand, G₁₀: Coarse aggregate of Gmax 10mm, AD: Admixture(Superplasticizer), RS: Shrinkage reducing agent

Table 3. Guideline for high-filled concrete [7]

Propose	Test method	Guideline
Filling test	Slump flow	> 600 (mm)
	T500	2 - 7 (sec)
Clearance integrity test	L-Box	0.4 - 0.7 (sec)
	U-Box	> 200 (mm)

2.2.2 SCP 모듈 시험체 제작

SCP 모듈 휨성능 평가를 위해 Table 4에 나타낸 제원과 같이 휨 부재 실험체는 길이 5,000 mm, 폭 1,000 mm로 일정하고, 두께는 107 mm와 207mm를 (여기서 편의상 두께 107mm는 100 mm로, 207mm는 200mm로 표기함) 갖는 각 5개씩 총10개의 SCP 모듈시험체에 Fig 2와 같이 B/P 생산을 통해 생산된 콘크리트를 SCP 모듈 시험체내에 타설하여 제작하였다. SCP 모듈 시험 부재내 콘크리트 타설은 1 m³ 용적의 소형 버킷을 이용하였고 콘크리트 타설 후 28일 재령이 지나 휨성능 평가를 실시하였다.

Table 4. Test Specimen Data

Name of specimens	Size of specimens [mm]			Number
	Length	Width	Depth	
Bd-100mm-#01	5,000	1,000	107	5
Bd-100mm-#02				
Bd-100mm-#03				
Bd-100mm-#04				
Bd-100mm-#05				
Bd-200mm-#01	5,000	1,000	207	5
Bd-200mm-#02				
Bd-200mm-#03				
Bd-200mm-#04				
Bd-200mm-#05				
Total				10

here, in case of Bd-100mm-#01, Bd: Bending test, 100 mm: Depth of specimen, #01: Number of specimens



(a)



(b)

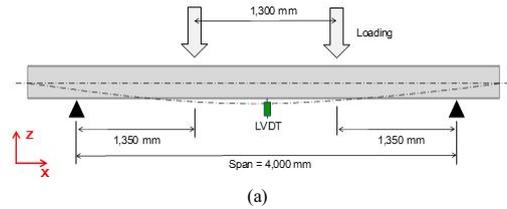
Fig. 2. Manufacture of test specimens
 (a) Placing concrete using small sized bucket
 (b) View of SCP test specimens for testing of structural performance

2.3 SCP 휨성능 평가

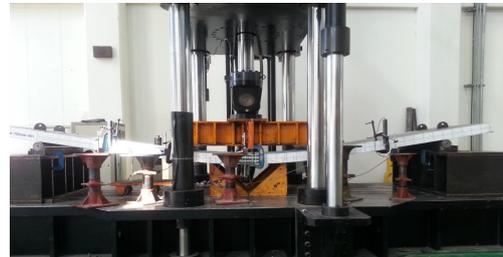
2.3.1 휨부재 실험방법

용량 2,000 kN의 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 변위제어로 재하속도 3.0 mm/min로 하중

을 재하 하였다. 하중 재하 방법은 Fig. 3과 같이 4점 휨 가력(4-point bending)으로 하고, 지간장은 4.0 m, 하중 점 간격은 1.3 m로 실험체 중앙에서 균등한 간격으로 배치하여 선하중을 재하 하였다. 지점은 회전 베어링(arc bearing)을 설치하여 종방향으로 회전변위가 자유롭게 발행하도록 하였다.



(a)



(b)

Fig. 3. Test method of bending member
 (a) Concept of loading
 (b) View of experiment on a bending member

2.3.2 계측방법

실험 응답을 측정하기 위한 계측센서는 처짐 변위를 측정하기 위한 처짐계, 콘크리트와 상·하부 강판의 변형을 측정하기 위한 변형률게이지를 사용하였다. 처짐계는 Fig. 4(a)와 같이 경간 중앙 및 중앙에서 좌우로 650 mm 떨어진 지점 그리고 1300 mm 떨어진 지점에 대칭이 되도록 설치하였다. 콘크리트의 변형률게이지는 Fig. 4(b)와 같이 경간 중앙부와 중앙에서 좌우로 100 mm 떨어진 지점에서 상부와 하부에서 16 mm 떨어진 지점과 중앙부에 각각 설치하였다. 상부 강판은 중앙부와 좌우로 100 mm 떨어진 지점에 변형률게이지(ST 시리즈)를 설치하였고, 하부 강판(SB 시리즈)에는 상부와 동일하게 설치하고 추가로 단부에서 10 mm 떨어진 지점에 설치하였다.(Fig. 4(c) 참조)

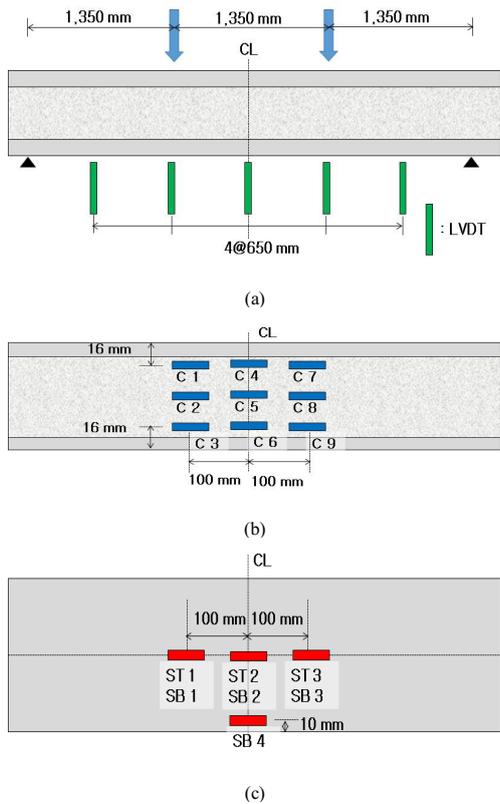


Fig. 4. Gauges locations of specimens
 (a) LVDT locations
 (b) Concrete strain gauges locations
 (c) Top and bottom skin plate strain gauges locations

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트

SCP 모듈내에 충전되는 콘크리트는 내부의 조밀한 간격으로 배치된 스티드의 영향으로 설계기준 압축강도 35 MPa를 만족하면서도 고유동 콘크리트의 값을 나타내는 것으로 배합설계를 구성하였다. 이에 총 3회에 거쳐 생산된 콘크리트의 품질검사를 실시한 결과를 Table 5에 나타내었다. 실험결과 유동성을 평가하는 슬럼프 플로는 모두 600 mm 이상, 500 mm 도달속도는 2-7초 이하로 나타났고 충전성 및 간극통과성을 평가하는 U Box는 200mm 이상의 범위를 나타내었다. 실험을 실시하지 않은 L-Box를 제외한 실험항목에서 모듈형 LNG 저장탱크용 콘크리트 충전성능 가이드라인[7]을 확보한 것

로 분석되었다. 또한, Fig. 5와 같이 재령 28일에서 압축강도가 45 MPa를 나타내어 목표설계기준 압축강도를 확보한 것으로 나타났다. 따라서 SCP 모듈 시험체 내부에 타설된 콘크리트는 목표한 압축강도와 양호한 충전상태를 확보한 것으로 판단할 수 있다.

Table 5. Test result of fresh concrete

Classification	Slump flow(mm)	500 mm reaching time (sec.)	U-Box (mm)
A	625	6.7	335
B	620	7.0	337
C	630	6.5	341

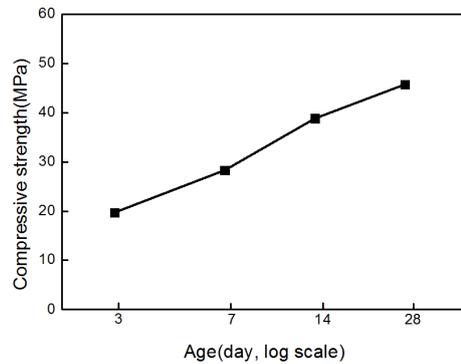


Fig. 5. Compressive strength test result

3.2 SCP 휨부재 실험결과

3.2.1 Bd-100 mm

SCP 휨 부재 시험체 Bd-100mm 실험결과 5개 실험체 모두 비슷한 양상을 보였다. 모든 시험결과는 가력하중을 기본으로 나타내었으며, 가력하중에 대한 모멘트 값은 Table 1을 통해 알 수 있다.

실험체 처짐은 Fig. 6(a)과 같이 중앙부(DT3)를 중심으로 ±650 mm 떨어진 지점(DT2, DT4)과 ±1,300 mm 떨어진 지점(DT1, DT2)의 처짐이 각각 동일하게 발생하였다. 중앙부에서 좌-우 동일한 거리 지점의 처짐이 일치하는 것은 SCP 모듈 시험체 제작과 휨성능 평가가 양호하게 진행 되었다고 판단할 수 있다. Fig. 6(b,c)는 Bd-100mm-#02 실험체의 처짐 이력을 나타낸 것으로 이 실험체는 가력 하중이 계산상 극한 가력 하중인 약 413 kN 까지 선형을 유지하면서 증가하였다. 이후 기울기가 급격하게 변하면서 약 442.4 kN에서 최대 하중을

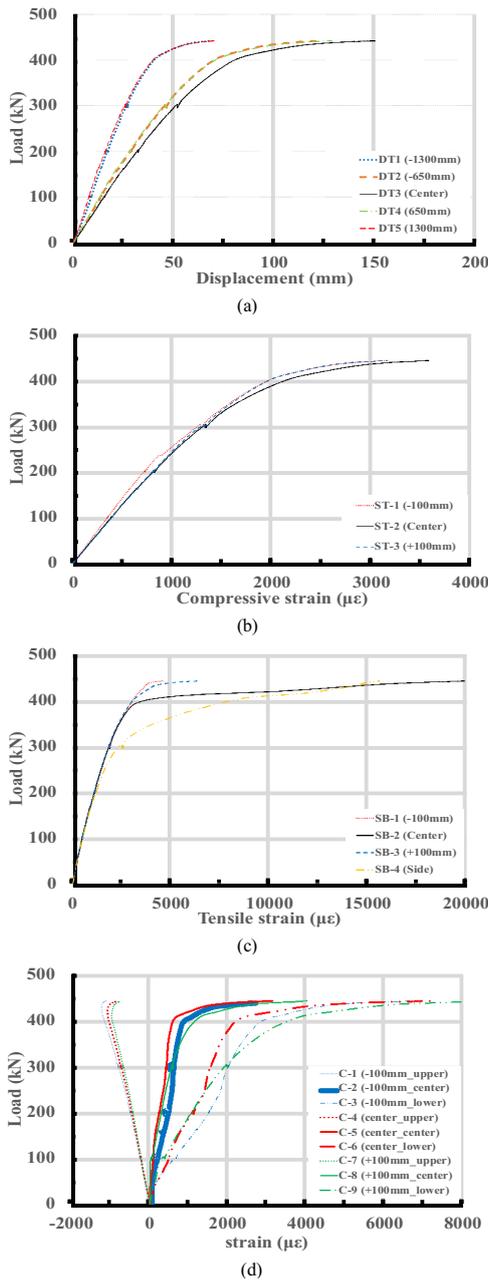


Fig. 6. Test results (Bd-100mm-#02)
 (a) Load-displacement curve (Bd-100mm-#02)
 (b) Load-compressive strain curve of upper steel plate (Bd-100mm-#02)
 (c) Load-tensile strain curve of lower steel plate (Bd-100mm-#02)
 (d) Comparison of load - strain curves of concrete (Bd-100mm-#02)

보이면서 파괴되었다. 최대 하중 시 상부 강판 중앙부의 압축변형률은 약 3,572 $\mu\epsilon$, 하부 강판의 인장변형률은 약 19,902 $\mu\epsilon$ 로 계속되었다. 콘크리트 변형률은 Fig. 6(d)와 같이 실험체 상부는 압축변형을 유지하였고, 중앙부는 하중이 증가하면서 하부의 균열발생으로 인하여 증립축이 상부쪽으로 상승하면서 인장거동을 보였다. 하부는 초기부터 인장거동을 보이다가 상부와 마찬가지로 극한 하중 값인 약 413kN 에서 급격하게 변형률이 증가하였다. 이는 Skin plate 철관이 항복응력에 도달 후 발생하는 현상으로 SCP의 거동 매커니즘을 나타내었다. Fig. 7에 Bd-100mm(#2)의 하중 증가에 따른 처짐 형상을 나타내었다.

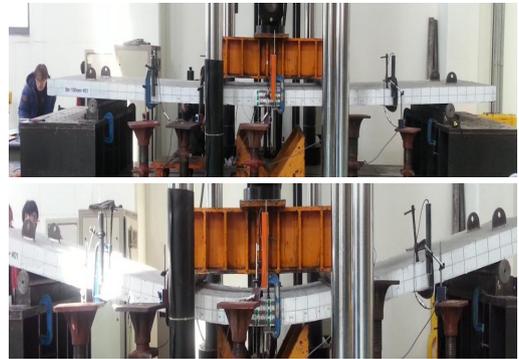


Fig. 7. Displacement shape with load increase (Bd-100mm-#02)

3.2.2 Bd-200mm

Bd-200mm의 경우도 실험체 5개 모두 유사한 경향을 나타내었다. 실험체 처짐은 Fig. 8(a)와 같이 중앙부와 중앙부에서 ± 650 mm 및 $\pm 1,300$ mm 떨어진 지점의 처짐이 동일하게 계속되었다.

Fig. 8(b, c)의 Bd-200mm-#05 실험체의 처짐 이력에서 하중이 약 822 kN 까지 선형으로 증가하였고, 약 892.8 kN에서 최대 하중을 나타내었다. 최대 하중 시 상부 강판 중앙부의 압축변형률은 약 6,883 $\mu\epsilon$, 하부 강판의 인장변형률은 약 17,037 $\mu\epsilon$ 로 계속되었다. SCP 100mm 시험체와 동일하게 설계 시 고려하였던 극한하중 이후에 급격한 철관 항복을 동반되었다. 콘크리트 변형률은 Fig. 8(d)와 같이 약 820 kN 부터 급격하게 변형률이 증가하였고 Fig. 9에 Bd-200 mm의 하중 증가에 따른 처짐 형상을 나타내었다.

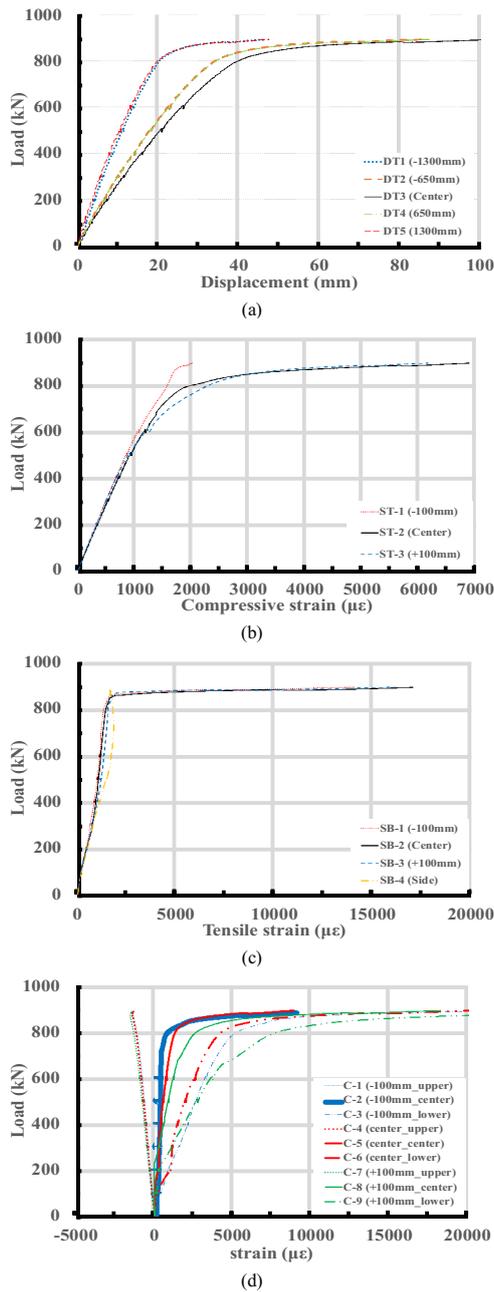


Fig. 8. Test results (Bd-200mm-#05)
 (a) Load-displacement curve (Bd-100mm-#02)
 (b) Load-compressive strain curve of upper steel plate (Bd-200mm-#05)
 (c) Load-tensile strain curve of lower steel plate (Bd-200mm-#05)
 (d) Comparison of load - strain curves of concrete (Bd-200mm-#05)

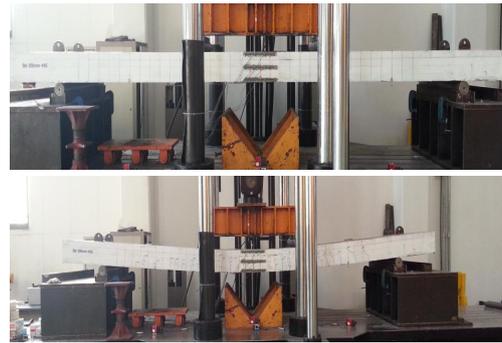


Fig. 9. Displacement shape with load increase (Bd-200mm-#05)

3.3 SCP 휨부재 실험결과 분석

SCP 시험의 휨 성능을 바깥쪽 철판 (skin plate)의 항복응력 도달 시까지를 극한하중으로 산정하였다. 2종류의 두께를 가지는 총 10개의 시험체를 통해 실제 극한하중까지 도달하는지의 여부와 이때의 구조 거동을 파악하였다. 채움 콘크리트 및 전단 스티드의 경우, INCA guidance에 요구하는 대로 설계를 진행하였으며, 이 결과, 실험결과 동일한 재료의 실험체는 동일한 양상의 실험응답을 나타내 시험체의 제작과 구조실험이 양호하게 진행됨을 알 수 있었다.

실험체의 중앙부 처짐은 Fig. 10(a)과 같이 100 mm 실험체는 하중이 약 412 kN까지는 선형을 유지하면서 증가하다가 기울기가 급격하게 변하면서 파괴되었다. 200 mm 실험체는 하중이 100 mm 실험체의 약 2배인 약 822 kN까지 선형을 유지하다가 파괴양상을 보였다. 이는 SCP를 휨 성능에 대해 설계함에 있어서 사용한 설계식을 모두 만족하는 형태이다.

모든 실험체는 INCA guidance의 철학과 같이 스킨 플레이트의 항복까지 모든 거동이 선형적으로 이루어지다가, 극한강도 이후에 파괴되는 형상을 나타내었다. 이에 따라, 모듈형 LNG 저장탱크의 외조 적용을 목표로 진행한 SCP의 휨 실험에서 설계 강도를 만족하는 휨 성능을 확인하였다. 상부 강판의 압축변형률은 Fig. 10(b)와 같이 100 mm 실험체와 200 mm 실험체 모두 하중은 다르지만 변형률은 비슷한 경향으로 기울기가 변하는 양상을 보이고 있다. Fig. 10(c)와 같이 하부 강판의 인장변형률은 상부 압축변형률보다 상대적으로 큰 변형이 발생하였는데 초기균열 이후에는 하부의 강판이 인장을 모두 받기 때문인 것으로 판단된다.

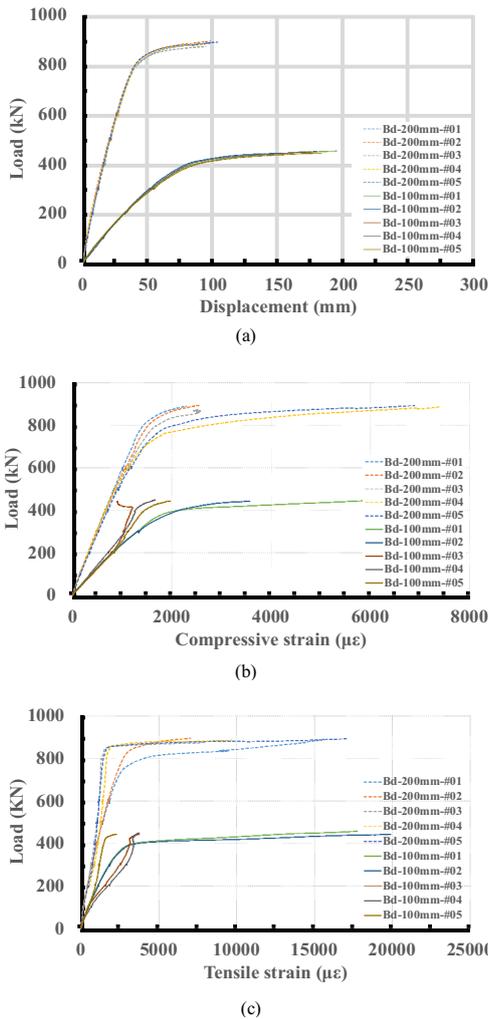


Fig. 10. Test results
 (a) Load-Displacement Curve of Middle Section (bending member)
 (b) Load-Compressive Strain Rate of Upper Section of Steel Plate (bending member_ST-2)
 (c) Load-Compressive Strain Rate of Lower Section of Steel Plate (bending member_SB-2)

4. 결론

모듈형 LNG 연료 저장탱크에 현장적용 가능성을 평가하기 위해 휨성능평가를 수행하였고 실험결과를 다음

과 같이 분석하였다.

- 1) 각 부재별 실험 결과 동일한 제원의 실험체는 중앙부 처짐, 상·하부 강판의 압축변형률, 콘크리트의 변형률 등 모두 동일한 양상의 실험결과를 나타내 시험체 제작과 실험이 양호하게 진행되었다.
- 2) SCP 모듈은 INCA guidance의 기준과 같이 skin plate 철판이 항복에 도달할 때까지 선형 거동을 나타내었다가 극한하중이후에는 급격한 철판 항복을 동반하는 거동을 함을 파악할 수 있었다.
- 3) SCP 휨부재에서 설계상 극한하중은 두께 107 mm 실험체는 412 kN을, 두께 207 mm 실험체는 약 820 kN까지 나타나 설계 강도를 만족하는 휨 성능을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 제시한 SCP 모듈을 활용하여 LNG 저장탱크 외구조물물에 적용이 가능할 것으로 판단되며 향후 압축, 전단 시험 등에 대한 추가적인 검토가 진행될 필요가 있다.

References

- [1] D. K. Shin, Y. Y. Hwang, "An Experimental Study on Bending Capacity of SC(Steel Concrete) Panel", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 27, No. 1, pp. 1-2, 2015.
- [2] T. Y. Shin, J. H. Kim, D. K. Shin, Y. Y. Hwang, "Filling Ability of Steel-Plate Concrete", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 28, No. 1, pp. 433-434, 2016.
- [3] Y.Y. Hwang, D.K. Shin, S.B. Shin, S.W. Kim, "Design and Flexural Strength Evaluation of Steel Concrete Panel Joints for the Modularized LNG Storage Tank", Proceedings of the Korea Society of Civil Engineering, vol. 2017, NO 10, 2017.
- [4] DNV, "Assessment of the INCA Steel-Concrete-Steel Sandwich Technology, Det Norske Veritas Public Report, 2010.
- [5] M. Xie, N. Foundoukos, J.C. Chapman, "Static tests on steel-concrete-steel sandwich beams", Journal of Constructional Steel Research, Vol 63, No 6, pp. 735-750, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.08.001>
- [6] G.J. Park, S.W. Kim, J.J. Park, D.G. Lee "Evaluation of Optimum Mix Proportion and Filling Performance of High-fluidity Concrete for SCP Module charging", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 18, No. 3, pp. 452-459, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.3.452>
- [7] D.K Lee, K.W. Lee, G.J. Park, S.W. Kim, J.J. Park, Y.J. Kim, M.S. Choi, "Guideline for Filling Performance of Concrete for Modular LNG Storage Tanks", Journal of the Korea Society of Safety, Vol. 33, No. 2, pp. 86-93,

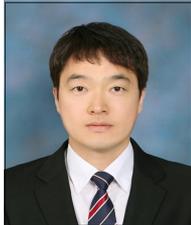
2018.

DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2018.33.2.86>

- [8] G.J. Park, J.J. Park, S.W. Kim, D.G. Lee “A study on the properties of high-fluidity concrete with low binders using viscosity agent”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 18, No. 2, pp. 689-696, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.2.689>

박 정 준(Jung-Jun Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 계명대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 고려대학교 대학원 건축사회환경공학과 (공학박사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원, 수석연구원

• 2016년 8월 ~ 현재 : CEVI 융합연구단, 겸임연구원

<관심분야>

토목공학, 건설재료

박 기 준(Gi-Joon Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 세종대학교 건설환경공학과 (공학사)
- 2015년 2월 : 세종대학교 대학원 건설환경공학과 (공학석사)
- 2015년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원, 전임연구원

<관심분야>

토목공학, 건설재료

김 성 옥(Sung-Wook Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 영남대학교 토목공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 영남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 동국대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 2004년 12월 : 호주 UNSW, 객원연구원

• 1989년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원, 선임연구원

<관심분야>

토목공학, 건설재료

김 언(Eon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : KAIST 건설및환경공학과 (공학사)
- 2014년 8월 : KAIST 건설및환경공학과 (공학석사)
- 2014년 7월 ~ 현재 : 현대중공업 중앙기술원 주임연구원

<관심분야>

토목공학, 구조해석

신 동 규(Dongkyu Shin)

[정회원]



- 2005년 2월 : KAIST 건설및환경공학과 (공학사)
- 2006년 8월 : KAIST 건설및환경공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : KAIST 건설및환경공학과 (공학박사)
- 2010년 9월 ~ 2011년 10월 : KAIST 응용과학연구원 연수연구원

• 2011년 11월 ~ 2012년 12월 : Rice Univ. Visiting Scholar

• 2013년 2월 ~ 현재 : 현대중공업 중앙기술원 책임연구원

<관심분야>

토목공학, 구조해석