

콘크리트-PE 부유체 모듈의 케이싱형 전단키 구조성능 실험평가

Experimental Evaluation on Structural Analysis of the Shear Key between Concrete-PE Modules

김정수^{1*} · 정연주²Jeongsoo Kim^{1*}, Yeon-Ju Jeong²

¹Research Specialist, Department of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Republic of Korea

²Senior Research Fellow, Department of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Republic of Korea

*Corresponding author: Jeongsoo Kim, jeongsookim@kict.re.kr

ABSTRACT

Purpose: This study proposes a casing type of shear key to connect with floating breakwater modules composed of concrete and PE(Poly Ethylene), and evaluates the structural performance of the shear key. **Method:** According to Eurocode, extreme load tests of shear keys with several cross-sections were conducted. **Result:** The maximum shear resistance of the casing type is 1.5 times than those of the plain concrete type, and the use of the casing shear key leads to ductile behaviors after its peak shear resistance than the shear key made of reinforced concrete. **Conclusion:** The use of the proposed casing type of shear key will contribute to improve the safety of the shear connection between modular structures.

Keywords: Concrete, Poly Ethylene, Shear Key, Floating Breakwater, Ultimate Load Test

요약

연구목적: 본 연구는 콘크리트와 PE(Poly Ethylene)로 구성된 부유식 방파제 모듈 간 결합을 위해 케이싱형 전단키를 제안하고 구조성능을 평가하였다. **연구방법:** Eurocode에 준거하여 전단키 유형별로 극한 하중 실험을 수행하였다. **연구결과:** 케이싱형 전단키가 무근 콘크리트 최대 전단 저항력을 개선(무근 전단키 대비 1.5배)하는 효과를 보였으며, 철근 콘크리트 전단키 대비 최대 전단 저항력 이후의 연성 거동을 증가시키는 효과를 나타냈다. **결론:** 제안된 케이싱형 전단키의 활용을 통해 모듈형 구조체 간 전단 연결 안전성을 향상할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 콘크리트, 폴리에틸렌(PE), 전단키, 부유식 방파제, 극한 하중 실험

Received | 5 July, 2023

Revised | 21 August, 2023

Accepted | 23 August, 2023

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

연구배경 및 목적

최근 연안을 중심으로 다양한 해상 공간 활용 목적의 부유체 수요가 증가하고 있다. 그간 지자체의 수변공간 개발 수요로 인해 국내 부력체 시장은 PE(Poly Ethylene) 및 EPS (Expanded Poly Styrene) 소형 부력체를 중심으로 기술이 발전해 왔으나, 연근해는 파랑 및

조류 등의 영향으로 기존 대 단순 부력 확보 목적으로 제작된 PE 또는 EPS 소형 부력체의 적용이 어렵다. 특히 방파제 목적으로 PE 부력체를 활용하기 위해서는 파도에 대한 구조물의 강도 및 내구성 확보, 대형화를 통한 파랑 저감 및 부유 운동 안정성이 개선되어야 하는 이슈가 발생한다.

PE 부유체의 해양공간 확장 적용을 위해 PE를 활용한 몇몇 연구(Lee et al., 2018; Seo et al., 2019) 및 기존 표준화된 PE 제품을 활용한 사례가 존재하고 있으나(Chung et al., 2020), 대부분 단일 부유체로서의 기능에 초점이 맞춰져 있어 대형화 및 확장성에 제한적으로 방파제로써 활용하기에는 어려움이 있다. 최근 방파제 및 연안 인공섬 조성 등에 PE 부유체를 활용하기 위해 다수의 PE 부력체를 내부에 포함한 콘크리트 표준 부유체 모듈이 제안되기도 하였다(Park et al., 2022). 제안 모듈은 다수 모듈의 연결을 통해 수평 및 수직방향 확장이 가능하고 이를 통해 파랑 운동 저감 유도 및 방파제 등의 활용이 가능하다(Fig. 1). 이를 위해 콘크리트-PE 부유체 결합을 통해 구조물을 대형화하고, 파랑 외력 등에 저항해 방파제로 기능을 수행할 수 있도록 모듈 연결부 간 전단 저항성 확보가 전제되어야 한다. 그러나 부유체 모듈에 대한 연구가 도입 단계이므로, 부유체 모듈 확장의 핵심 요소인 연결부에 대한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

본 연구는 내구성 및 경량성을 확보할 수 있는 콘크리트-PE 부유체의 모듈 간 결합을 위한 케이싱형 전단키를 제안하고 이에 대한 극한하중실험을 수행하였다. 제안된 케이싱형 전단키와 함께 무근콘크리트, 철근 콘크리트 전단키 실험체에 대한 하중실험을 병행하여 단면별 하중-변위 변화를 비교 분석함으로써, 타 전단키 실험체 대비 구조적 거동 변화 특성을 조사하고 제안된 전단키가 부유체 모듈의 전단 연결 부재로서 구조적 개선효과를 가질 수 있는지 검토하였다.

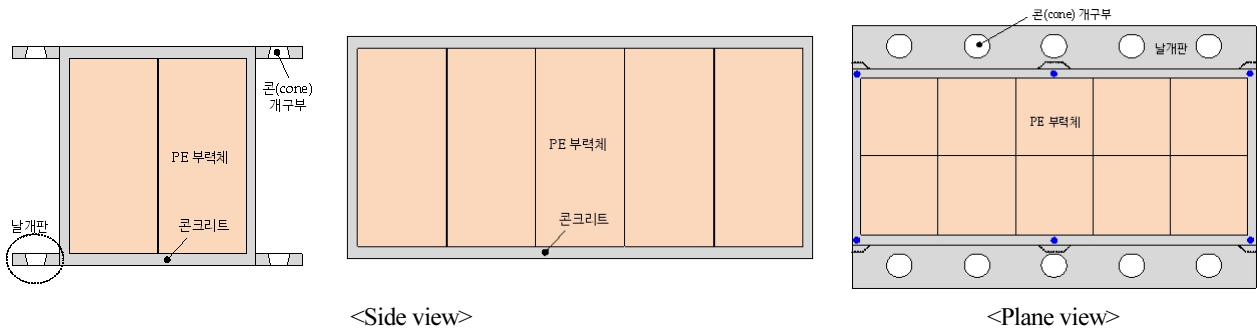


Fig. 1. Schematic diagram of concrete-PE floating module unit

연구동향

PE는 내습윤 및 내염해성뿐만 아니라 경량의 내구성 재질로 그간 수상 부유체의 주요 재료로 사용되어왔다. 이러한 이유로 신재생에너지 및 수상공간 활용에 대한 수요 증가로 이와 관련된 PE 부유체 연구들이 다수 이뤄져 왔다. Jung et al.(2004)은 부유식 소파제에 PE를 도입하고, 여러 형상에 대한 수리모형실험을 통해 부유체의 거동을 조사하였다. Lee et al.(2018)은 해상 태양광 발전에 적용하기 위한 부력체 관련 기술에 대해 동향을 조사하고, PE 부유체 등을 포함한 핵심기술 및 연구분야를 도출하였다. Seo et al.(2019)은 API 및 AISC 기준에 따라 전장 20m PE 부유식 플랫폼의 유한요소법을 이용해 분석하고, PE 부력관의 구조적 안전성이 확보되었음을 확인하였다. Jeong et al.(2020)은 수상 태양광 발전설비를 탑재하기 위한 PE 부유체를 제안하고 부유체의 장기 압축 시험을 통해 제안된 부유체의 구조성능을 평가하였다. Park et al.(2022)은 콘크리트

-PE부유체 모듈과 동일 규모의 폰툰형 부유체 간 동수역학적 거동을 비교 분석하였다.

한편 모듈 간 연결에 대한 연구는 고정식 방파제 및 호안 등의 해안구조물 관련 연구에서 다뤄져 왔다. Kim et al.(2008)은 호안 블록 간 요철형 연결부에 대한 전단 마찰 실험을 통해 블록 접촉면의 마찰저항 및 요철부 전단저항 성능을 실험적으로 평가하였다. Yang et al.(2011)은 콘크리트 합체 모듈의 현장타설식 연결방법을 조사하고 장단점을 비교하였다. Yang et al. (2013)은 프리캐스트 콘크리트 부유체 모듈의 요철형 전단키의 경사각 및 콘크리트 강도를 실험 변수로 설정해 전단실험을 수행하고, 모듈 연결부의 전단강도 예측식을 제안하고 적용결과를 AASHTO 설계기준 제안식과 비교하였다.

이처럼 PE 및 합성 부유체에 대한 도입 연구가 이뤄져 왔으나, 대부분의 연구가 전체적인 구조적 안전성 및 동수역학적 거동에 초점이 맞춰져 왔다. 또한 콘크리트 부유체를 중심으로 연결부 성능평가에 관한 연구들이 이뤄져 왔으나, 요철형 연결부에 대한 실험 연구가 대부분으로 핀 유형의 전단키 구조성능 연구는 부족한 상황이며 본 논문에서 목표로 하는 콘크리트-PE 부유체 모듈과 같이 표준화 및 급속 연결 목적으로 활용하기에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

콘크리트-PE 부유체 모듈의 케이싱형 전단키 강도 평가

콘크리트-PE 부유체 모듈 연결부 및 케이싱형 전단키

PE 부유체 대비 경제성 및 시공성을 확보하기 위해 콘크리트-PE 부유체의 콘크리트 외피는 PE 부유체의 경량성을 크게 저하하지 않으면서도 모듈 내구성을 확보하도록 적정 기하 제원을 선정할 필요가 있다. 이러한 점을 고려하여 콘크리트 구조 내구성 설계기준(Korea Concrete Institute, 2022)에 따라 해수노출 빈도(ES3)를 고려하여 설계 압축강도 35MPa로 정하고 최소 피복두께와 철근 배치 등을 고려해 날개 판 및 슬래브의 두께를 150mm로 설정하였다. Fig. 2는 콘크리트-PE 부유체 모

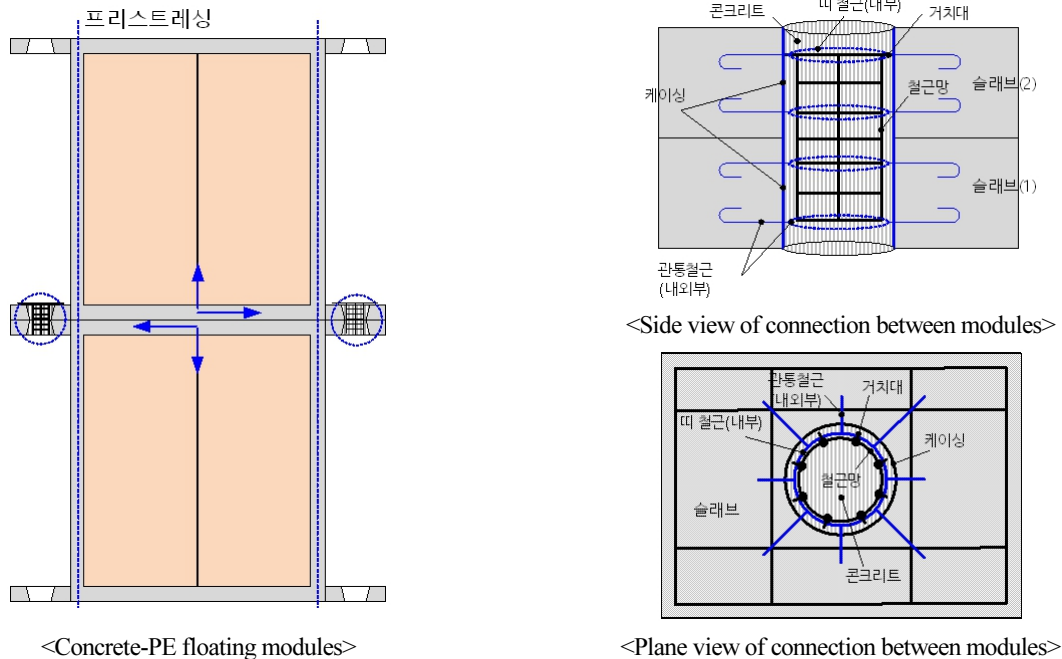


Fig. 2. Stacking of floating modules and its connection part

들의 연결부를 보여준다. 모듈 외측 상·하단에 부착된 날개판은 모듈과 해수면 간의 접촉면을 확대함으로써 부유 중 움직임을 감소시키는 역할과 함께 모듈 간 수평 방향 연결부로 역할을 한다.

연결부 날개판은 전단키가 삽입될 수 있도록 일정 간격으로 원형 개구부가 설치되어 있으며, 개구부 벽면에 전단키와의 결합을 위해 모듈 제작 단계에서 케이싱이 삽입된다(Fig. 2, 3). 케이싱은 전단키와의 강결을 위해 내부에 원형 띠철근이 배치되어 있으며 띠철근은 케이싱 및 날개판에 완전 고정될 수 있도록 긴 갈고리 형상을 갖도록 고안하였다.

케이싱을 관통해 설치되는 콘크리트 전단키는 다음 순서로 현장 시공된다. 먼저 모듈 간 날개판의 개구부를 일치시킨 이후 개구부(직경 150mm)로 철근망을 삽입한다. 여기서 철근망에 부착된 거치대로 인해 철근망은 케이싱의 원형 철근망(6@D10)에 고정된다. 끝으로 개구부에 콘크리트를 타설 및 양생하여 연결부를 결합한다. 위와 같은 방법으로 설치된 전단키를 통해 상·하부 날개판 개구부 간 물리적 힌지 연결을 생성함으로써 날개판 사이의 분리력 및 전단력을 억제할 수 있다.

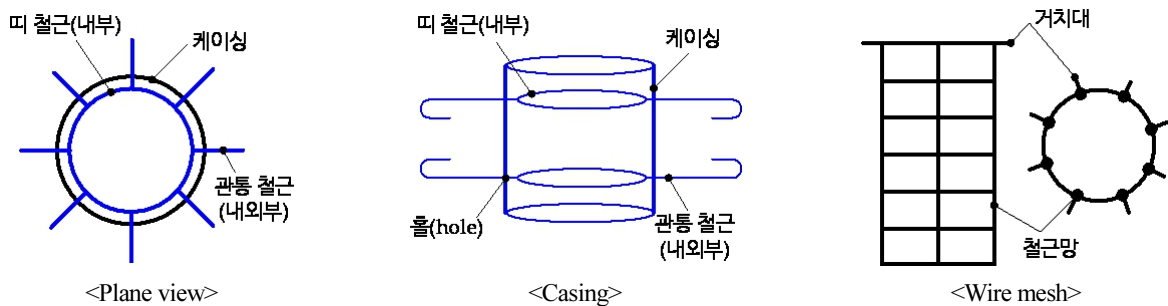


Fig. 3. Components of casing shear key

케이싱형 전단키 구조성능 평가를 위한 실험 단면 설계

제안된 케이싱형 전단키의 성능 개선 효과를 판단하기 위해 비교 전단키 단면을 Table 1과 같이 생성하였다. Case A는 무수축 모르타르만 사용하며, Case B는 날개판에 케이싱이 포함되지 않은 상태로 철근망 삽입 후 무수축 모르타르를 양생하였다. Case C는 케이싱과 날개판이 결합하여 제작한 후에 철근망 및 무수축 모르타르를 개구부에 설치한다. 여기서 무수축 모르타르와 날개판 제작에 사용한 콘크리트 압축강도는 모두 40MPa이며, 철근망(6@D10)은 이형철근 SD400 강종을 사용하였다(항복강도 400MPa).

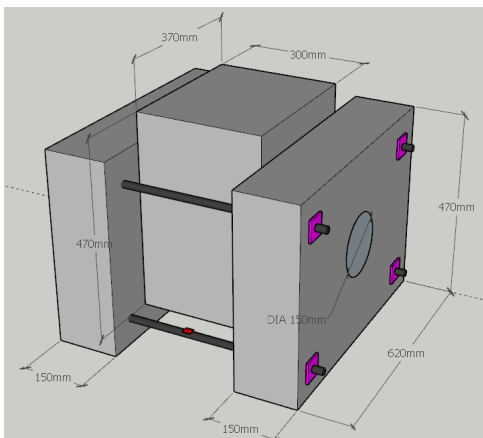
Table 1. Shear key cases: components and binding condition

Case	Components				# of specimens
	Mortar	Wire mesh	Casing	Binding state at interface	
A	○	-	-	Chemical bonding	3
B	○	○	-	Chemical bonding	3
C	○	○	○	Chemical and mechanical bonding	3

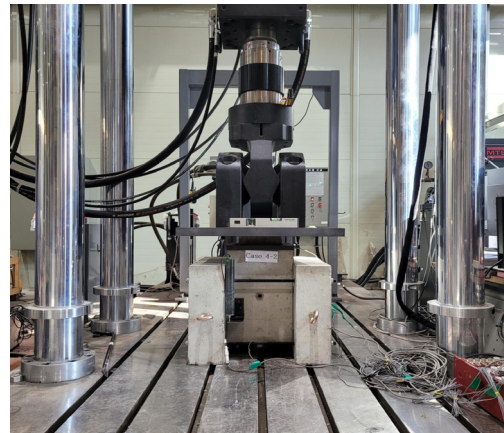
극한 하중 시험

제안된 전단키의 전단 성능을 평가하기 위해 Eurocode 4(EN Eurocodes, 1994)의 강-콘크리트 전단키 실험방법을 참고하였다. 실제 부유체 날개 판에 설치된 전단키의 파괴 모드는 실험체 셋팅과 같은 이중 전단(Double shear)이 아니라, 표준 실험법을 사용해 실험 재현성을 확보하고 최대 하중 이후에도 전단키가 보유한 전단 성능을 안정적으로 측정할 수 있도록 Eurocode 4의 방법을 준용하였다. 참고로 이중 전단 상태의 하중을 측정하는 것이므로, 계측된 전단력의 1/2이 전단키의 성능이 된다.

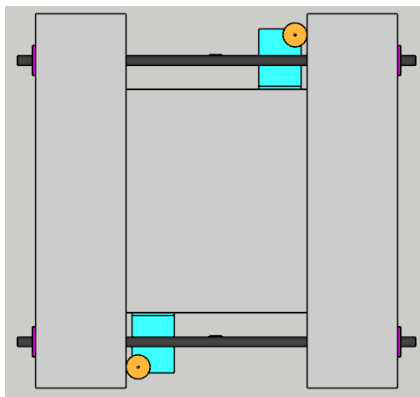
전단 연결부의 하중-변위 변화를 조사하기 위해 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전단키 외벽에 L형 지그를 중심 블록 좌우에 부착하고 변위계를 설치하였고 1,000kN 용량의 UTM에 사전 제작한 실험체를 거치하였다. 여기서 실험체는 중심 블록과 외벽 블록으로 구분되며, 변위 제어 위해 중심 블록 및 전단키, 그리고 외벽 블록으로 하중이 전달되도록 함으로써 전단키 단면에 내력이 발생하도록 고안되었으며 이동 및 조립을 위해 탈착형 리그를 설치할 수 있도록 블록에 구멍을 포함하도록 하였다. 다만 탈착형 리그 설치 구멍으로 인해 변위계를 중심 블록 중앙에 위치시킬 수 없었고 이를 보완하기 위해 중심 블록 외벽에 Fig. 3과 같이 대각선 방향으로 L형 지그 위에 2개의 LVDT를 설치하고, 하중-변위 선도 도출 시 LVDT에서 계측된 변위의 평균값을 전단변위로 사용하였다.



<Geometry of specimen>



<Test setting>



<LVDT setting: Plane view>



<LVDT setting: Side view>

Fig. 3. Shear key test

한편 UTM의 가력 팔 중심축과 시험체 중심이 일치하도록 정렬하였으며, 실험체와 가력 팔 접촉면 사이에 두께 20mm의 강판을 추가하여 실험체에 균등한 하중 분포를 유도하고, 국부 지압파괴를 방지하도록 하였다. 또한 실험 중 강판 위에 설치된 수평자를 통해 실험 중 편심 등에 의한 회전 발생 및 비대칭 발생 여부를 점검하여, 실험 결과 분석에 활용하였다. 또한 중앙 블록의 가압 중 외벽 블록과의 분리를 방지하기 위해 Fig. 3과 같이 외벽 블록에 강봉을 설치하였다. 변위 계측은 실험체가 회전 등 초기 자세를 유지하지 못하거나, 최대 하중 대비 50% 수준까지 하중이 감소한 경우, 그리고 UTM 가압기의 최대 용량의 90%에 도달하면 실험을 중단하였다.

연결부 전단강도 실험결과 및 분석

Cases A~C에 대한 전단 저항력을 정리해 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 Fig. 4의 표는 급격한 하중-변위 선도 변화가 관찰되는 지점(항복점) 및 최대하중을 각각 구분하여 나타낸 것이며, 이중 전단 상태임을 고려해 하중 값을 UTM 측정값의 절반으로 나타내었다. 참고로 Case마다 3개의 실험체를 제작해 하중 실험을 수행하였으나, 전단기의 전단 저항력이 항복 하중에 다다름에 따라 다수의 실험체가 회전되는 현상이 발생한 경우 계측을 중단하였다. 편심하중이 발생하지 않도록 하중점의 중심을 맞추었으나, 재료의 분포가 완전하게 균질하지 않아 국부 파괴가 진행됨에 따라 비대칭이 발생했고 이로 인해 전단기와 실험체 간 부착 경계면에서 비틀림을 저항하지 못했다고 판단된다.

본 실험에서 회전 방향 움직임 발생 시 이를 제어할 수 있도록 실험장비가 준비되지 않았고, 실험체의 회전(비틀림)이 발생하면 실험체의 전단 변위 측정 결과가 왜곡되므로 Fig. 4와 같이 회전이 발생하지 않은 실험체를 기준으로 최종적인 전단 하중-변위 관계 분석을 수행하였다. 실제 콘크리트-PE 부유체는 다수의 전단연결재로 연결되어 있어 본 논문의 하중 실험에서 나타난 바와 같이 회전이 발생하지는 않으므로 전단기의 항복 이후 거동 분석은 회전없이 전단파괴가 발생한 실험체로 한정해 분석하는 것이 타당하다.

전단기 단면과 무관하게 대부분의 실험체에서 회전이 발생하여 실험체의 항복 전단하중을 특정하기는 어렵다. 그러나 회전이 발생하지 않은 유형별 전단기의 하중-변위 선도(Fig. 4)를 관찰했을 때, Cases A and B와 같은 전단기 단면은 초기 최대 저항력 이후 추가적인 전단 저항력을 발현하지 못함을 추정할 수 있다. 따라서 Cases A and B의 결과는 모두 실험체가 최대 저항력을 발현하고 이후 회전이 발생했다고 고려하면 무수축 모르타르만으로 구성된 직경 150mm의 전단기(Case A)의 최대 전단 저항력은 280kN 내외로 추정할 수 있다.

한편 무수축 모르타르와 철근망으로 구성된 Case B의 결과는 철근망 삽입으로 인해 최대 전단 저항력이 350kN 내외로 증가하였음을 보여주며, 철근망으로 인해 Case A와 대비하여 최대하중 발생 이후 완만히 전단 저항력 감소 경향이 나타남을 확인할 수 있다. 그러나 케이싱과 철근망까지 연결된 Case C의 초기 항복 하중(약 310kN)에 비해 철근망으로만 보강된 Case B의 초기 항복하중이 큰 것은 상식적으로 설명하기 어렵다. 따라서 Case B의 실험 결과는 외적 영향을 받았을 가능성이 높다고 판단되며, 외벽 블록과 중심 블록 간 벌어짐을 방지하기 위해 설치한 강봉의 초기 긴장력에 따른 구속이 있었을 것으로 추정된다. 따라서 Case B의 최대 전단력은 Case C의 초기 최대 전단 저항력(항복) 310kN 내외로 추정하는 것이 합리적이라 판단된다.

Case C는 초기 최대 전단 저항력은 280~310kN 내외에서 발생하였으며, Cases A and B와 달리 초기 항복 발생 이후 전단 변위가 증가함에 따라 전단 저항력이 완만하게 발현되어 연성 거동을 하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이

타 전단키와 마찬가지로 초기 전단 변위 구간에서 무수축 모르타르의 파손에 따른 전단 강성 기울기는 감소하기 시작하였으나, 철근망뿐만 아니라 케이싱까지 결합됨에 따라 전단 강성 자체는 지속적으로 증가하였고 최대 418kN까지 전단 저항력을 발현할 수 있었다. 한편 Case C에서 전단키에 철근망 및 케이싱 철근이 추가되어 초기 항복 전단 저항력 발현 이후 지속적인 증가 경향이 나타날 것으로 기대하였으나 일시적인 저항력의 감소가 나타난 이후에 저항력이 증가되었다. 이는 철근망과 케이싱 철근의 기계적 결합이 완전하지 않아 Case B처럼 거동하다가, 철근망 변형이 증가함에 따라 케이싱 철근과 맞물림이 보다 강화되면서 케이싱으로 충분히 하중 전이가 이뤄졌기 때문으로 추정된다.

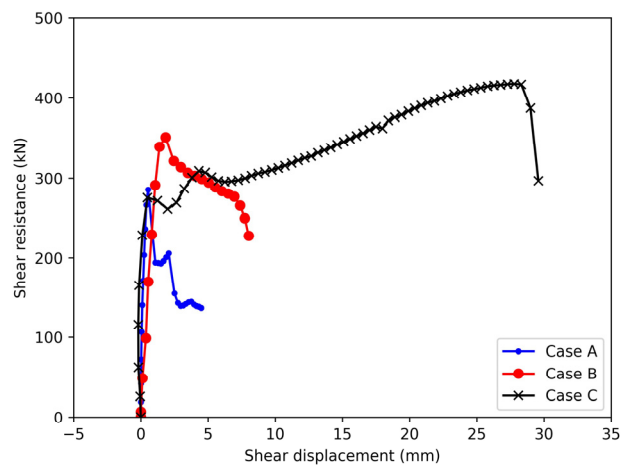
Cases A~C의 결과를 종합할 때 무수축 모르타르 전단키 대비 철근망 및 케이싱 추가에 따른 초기 항복 전단 저항력 증가 효과는 10~15%로 크지 않았으나, 전단 보강재를 통해 최대 전단 저항력이 Cases B and C에 대해 각각 25%, 48%까지 증가하였으며, 거동 특성 또한 취성에서 연성으로 전이하게 함으로써 연결부 파괴에 요구되는 전단 변형에너지가 증가됨을 확인할 수 있다. 반면 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 전단키의 철근망 및 케이싱 철근 등 부재가 추가되었음에도 초기 구간의 전단 강성 개선을 확인할 수 없는데, 이와 같은 결과는 L형 지그에 설치된 LVDT에 미소한 강체 회전 등에 기인한 초기 불안정한 변위 계측 결과가 반영되었기 때문으로 추정된다.

끝으로 본 연구의 전단키에 대한 극한 하중 실험 또한 실험체 회전을 억제할 수 있도록 향후 보완이 필요하다고 판단된다. 본 연구는 최대하중 이후의 거동을 안정적으로 평가하기 위해 Eurocode 4를 사용하였으나 해당 방법은 원래 교량의 콘크리트-강재 간 물리적 결합을 위해 사용되는 전단키 성능을 평가하기 위해 고안된 실험방법으로, 콘크리트와 강재 접합면에 다수의 전단키가 삽입되도록 다수의 전단키가 포함된 실험체가 제작된다. 그 결과 실험체 일부 구간의 전단키 및 주변 부착부의 손상이 일어나도 회전이 억제될 수 있다. 반면 본 실험은 단일한 대형 전단키를 대상으로 하였기 때문에 연결부의 경계면의 부착력 상실되거나 경계면 주변이 손상되면 회전에 대한 추가적인 구속 여부를 보유할 수 없게 되므로, 회전 발생 등 실험 중 불안정한 결과가 발생했던 것으로 분석된다. 따라서 실제 콘크리트-PE 부유체 연결부는 다수의 전단키로 결합 되므로 실제 상황에서 회전이 발생할 우려는 없으나, 전단 연결부에 대한 보다 신뢰성 있는 실험 결과 확보를 위해 실험방법의 개선 노력이 필요할 것으로 판단된다.

Case	Specimen	Yield load (kN)	Peak load (kN)
A	1*	217.5	217.5
	2*	260.3	260.3
	3	285.4	285.4
B	1*	331.8	331.8
	2*	355.5	355.5
	3	354.8	354.8
C	1*	308.4	308.4
	2*	312.8	312.8
	3	275.07	418.3

*Rotation after yield

<Yield and Peak loads of specimens>



<Load-displacement curve: no rotation>

Fig. 4. Results from ultimate load test to predict the shear resistances of shear key types

결론

본 논문은 콘크리트-PE 부유체의 전단 연결부의 전단 성능 개선을 위해 케이싱형 전단키를 제안하고, 실규모 전단키를 제작하여 전단 성능평가를 위한 극한 하중 실험을 수행하였다. 케이싱형 전단키의 구조성능을 개선 정도를 판단하기 위해 타 유형 전단키의 하중 실험을 병행하여 하중-변위 변화를 조사하였다. 실험 결과로부터 케이싱형 전단키 도입을 통한 전단 초기 전단 저항력 개선 모르타르 전단키 대비 10% 수준으로 미미하였으나, 극한 전단 저항력을 50% 수준으로 증가시키고 전단키의 연성파괴로의 전환 및 소요되는 변형에너지를 증가하게 하였다. 이와 같은 결과로부터 제안된 케이싱형 전단키는 일반 철근 콘크리트 전단키에 비해 극한상태의 큰 변형이 발생하는 중에도 전단 지지력을 유지할 수 있어 모듈형 부유체를 보다 안정적으로 연결할 수 있다. 또한 큰 변형을 동반한 이후 파괴가 나타나므로, 전단키의 파단 발생 전에 구조적 이상 징후를 육안으로 식별할 수 있어 선제적 안전 조치에 기여할 것으로 기대된다.

본 논문은 케이싱형 전단키에 대한 실험 평가를 통해 제안 전단키의 전단 거동 특성을 규명함으로써, 콘크리트-PE 부유체 모듈 간 연결부의 구조적 안전성을 개선하는 방법을 제시하였으나, 하중 실험 중 실험체의 회전 등으로 인해 충분한 실험데이터를 확보하지는 못하였다. 추후 개선된 실험방법 및 장비 활용을 통해 보다 안정적인 실험환경을 구축함으로써 제안된 케이싱형 전단키에 대한 추가적인 전단 성능평가를 수행함으로써 제시된 결과의 신뢰성을 높여야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)으로 수행되었습니다(과제번호 20220316-001, 하이브리드 부유체의 해상 적용성 확장을 위한 모듈연결 및 자세안정성 향상 기술 개발).

References

- [1] Chung, H., Lee, B.-J. (2020). "Future and present ways to floating solar energy harvesting." Magazine of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 10, No. 2, pp. 24-29. (in Korean)
- [2] EN Eurocodes (1994). Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures. European Commission, Brussel, Belgium.
- [3] Jeong, K.-S., Jung, I.-J., Shin, D.-K. (2020). "A study on the development of plastic floater for solar power plant on a body of wear." Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 10, pp. 283-290. (in Korean)
- [4] Jung, D.H., Kim, H.J., Kim, J.H., Moon, D.S. (2004). "A preliminary experiment study for development of floater of floating breakwater." Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 141-147. (in Korean)
- [5] Kim, C.H., Kim, S.H. (2008). "An experimental study on connections friction test of improvement for coastal environment block." Proceedings of 2008 Fall Korean Concrete Institute Conference, South Korea, pp. 49-52. (in Korean)
- [6] Korea Concrete Institute (2022). Durability Design Standard of Concrete Structures. Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, Seoul, South Korea. (in Korean)
- [7] Lee, J.-H., Jeong, Y.-J., Park, M.-S., Kim, J., Park, G. (2018). Preliminary Study on Development of Buoyant Body

and Mooring System for Marine Solar Power Plant, KICT, KICT2018-146, Goyang, South Korea. (in Korean)

- [8] Park, M.-S. Jeong, Y.-J., Kim, Y.-T., Kim, J. (2022). "Hydrodynamic analysis of hybrid floating structure." Proceedings of 2022 KSCE Convention, Busan, South Korea, pp. 100-101. (in Korean)
- [9] Seo, K.-C., Nam, T.-K., Park, J.-S. (2019). "Estimation of structural safety for PolyEthylene(PE) floating platforms with API & AISC standards." Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 2, pp. 237-243. (in Korean)
- [10] Yang, I.-H., Ju, G.-H., Kim, G.-C. (2011). "Design methods of connection between concrete modules." Proceeding of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference, Busan, South Korea, pp. 195-197. (in Korean)
- [11] Yang, I.-H., Kim, K.-C. (2013). "Strength estimation of joints in floating concrete structures subjected to shear." Journal of Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 2, pp. 155-163. (in Korean)