



# PSS 내진 지하연속벽 공법 및 적용 사례

## Introduction and Application of Pilaster Jointed Slurry Wall System Method

<b>김도영</b> Doyoung Kim (주)CWS엔지니어링 선임	<b>김지형</b> Jihyung Kim (주)CWS엔지니어링 선임	<b>이정배</b> Jeong-Bae Lee (주)CWS엔지니어링 대표	<b>최현</b> Hyun Choi (유)양호기술 소장	<b>이호열</b> Hyeol Lee (주)협성종합건설 차장
---	---	---	--------------------------------------	---

### 1. 머리말

포항지진 이후 내진 설계에 대한 중요도가 주목받게 됨에 따라 개정된 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)은 내진 설계의 범위에 지하 구조를 포함하는 등 요구 사항을 강화하는 방향으로 개정되었다. 개정된 기준에 따라 지하 구조 내진 설계 시 지상 구조와 달리 지진 하중에 의한 지반 및 지하구조물의 상대 변위에 따른 추가적인 토압을 고려해야 하여 더욱 엄격한 기준을 만족해야 한다. 이에 따라 대표적인 흩막이 공법의 하나인 ‘지하연속벽(Slurry Wall)’ 공법이 개정된 설계 기준을 만족하기에 면내 강성이 부족함에 따라 별도의 보강 대책이 필요하게 되었다.

지하연속벽 공법은 벽체의 강성이 높고 차수성이 우수하며 소음과 진동, 주변 침하 등의 측면에서 타 공법에 비해 장점이 있어 널리 쓰이는 공법이다. 그러나 각 패널의 우수한 면외 방향 강성과 달리 지진 하중 작용 시 패널 간 일체화된 거동을 하지 않음에 따라 개정된 내진 설계 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가된다. 이에 따라 지하연속벽 공법을 보강하여 해당 공법의 공사 기간 및 비용 등의 이점을 유지하며 강화된 내진 설계 기준을 만족할 수 있는 대책으로 지하연속벽 패널 간 연속성을 확보하여 강성을 증대시키는 PSS 공법이 제안되었다. PSS 공법은 패널 간 연속성을 확보하여 강성을 증대시키는 공법으로 패널 이음부에 벽체기둥(Pilaster)을 설치하여 일체화된 거동을 할 수 있도록 하는 공법이다. 본 기사에서는 지하연속벽 내진 설계 솔루션으로써 PSS 공법의 설계 절차와 주요한 고려 사항을 적용 사례를 통해 소개하고자 한다.

### 2. PSS(Pilaster jointed Slurry wall System) 공법

#### 2.1 공법 개요

지하연속벽 시공시 패널 단위로 시공되기 때문에 연속성을 확보하기 위하여 기존에도 <그림 1>

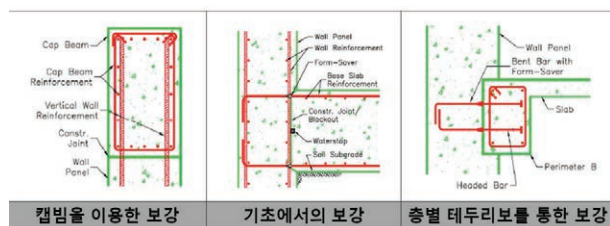


그림 1. 기존의 패널 전단 보강 방안 예시

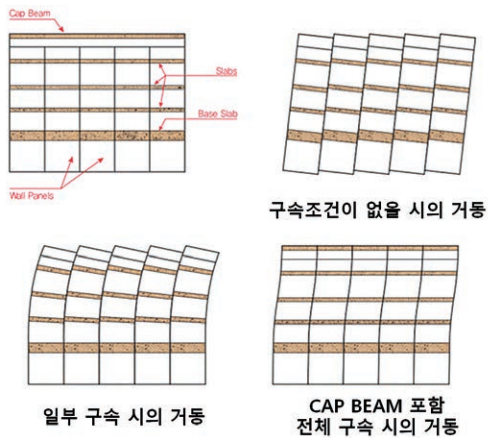
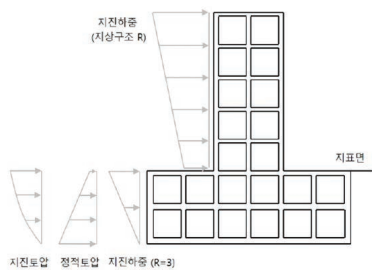


그림 2. 구축조건에 따른 벽체 거동 비교

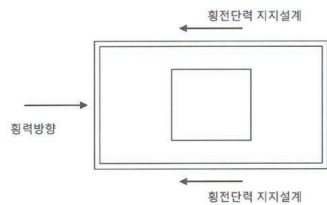
과 같은 전단 보강 방안이 사용되어 왔었다.

설계 기준 개정 이전의 경우 캡빔을 패널 상부에 시공하는 방법, 기초에서 패널을 구축하는 방법, 테두리보를 통해 구축하는 방법 등이 사용되어 왔으나 해당 보강 방법으로는 지하구조물 내진 설계 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되어 직접적인 구축을 통해 연속성을 확보할 수 있도록 하는 PSS 공법이 제안되었다.

PSS 공법은 패널의 이음부에 벽체기둥(Pilaster, 이하 필라스터)을 설치하여 패널간 연속성을 확보할 수



구조물에 작용하는 지진하중, 지진토포압, 정적토포압



횡방향 하중에 저항하는 지하층 외벽 개념도

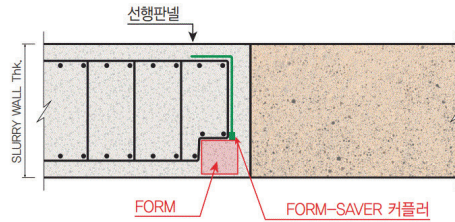
그림 3. 지진 하중 작용 시의 지하 구조물 예상 거동

있도록 하는 것이 핵심적인 사항이다. <그림 2>와 같이 각 패널이 연결되어 있지 않을 경우 면의 방향 강성은 우수하나 지진 하중 작용 시 개별적으로 거동할 것으로 예상된다. 그러나 각 패널을 구축할 시 연속성을 통해 면내 방향 강성을 확보할 수 있게 되어 <그림 3>과 같은 메커니즘에 따라 지진 토포압에 저항할 수 있을 것으로 기대된다.

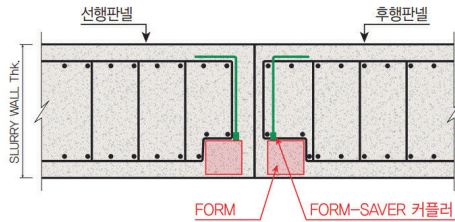
## 2.2 공법 적용 절차

필라스터 시공 절차는 <그림 4>와 같다. 차후 필라스터를 설치할 수 있도록 패널 타설 시 Form을 설치

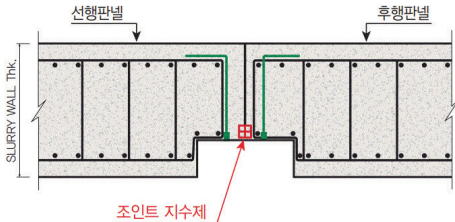
### 1. Primary Panel 시공(FORM-SAVER 커플러 매입 시공)



### 2. Secondary Panel 시공(FORM-SAVER 커플러 매입 시공)



### 3. 토공사중 전단보강 기둥부분 절취 및 조인트 지수제 설치



### 4. 전단보강(Pilaster) 기둥 시공

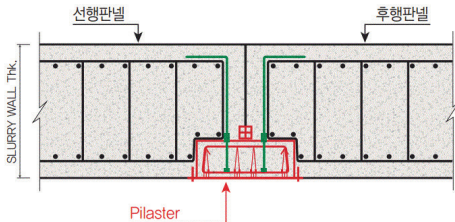


그림 4. 필라스터 시공 절차

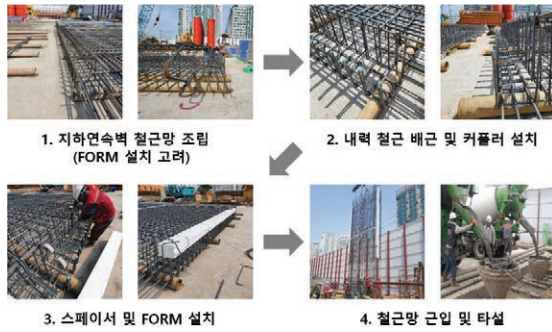


그림 5. 필라스터 시공 절차 예시

하고, 전단 철근을 고려하여 철근을 배근하는 것이 주요한 고려 사항이며 복잡한 절차가 존재하지 않아 시공성이 우수한 것이 특징이다.

실제 시공 예시는 <그림 5>와 같다. Form 설치 외에 철근 근입 및 타설이라는 전체적인 지하연속벽 시공 절차는 동일한 것을 확인할 수 있으며 추가적인 절차 없이 비교적 단순한 상세를 따름에 따라 양호한 설치 품질과 우수한 성능을 기대할 수 있다.

### 2.3 공법 기대 효과

<그림 6>은 패널 연결을 위해 제안된 타 공법의 예시이다. 내진 설계 기준 만족을 위해 제안된 여타 공법들은 패널 설치 시 추가적인 공정이 필요하며 패널 연결부에 발생하는 슬라임으로 인해 기대하는 전단 보강 성능을 발휘하기 힘들 우려가 있다. 이에 반하여 본 공법은 시공 절차가 간소화되어 시공성이 우수하며 전단 보강 성능 확보가 용이하고, 필라스터 설치 시 패널 설치 이후 토공사 중에 완료되어 전체 공기에 영향을 미치지 않아 품질 관리 및 경제성 측면에서 탁월

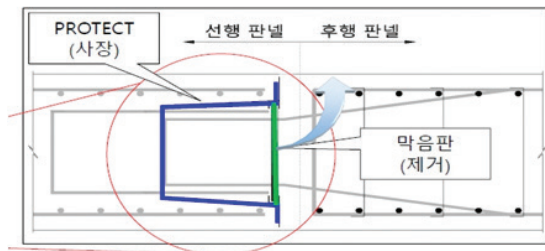


그림 6. 패널 연결 공법 예시

하다고 평가된다.

### 2.4 공법 설계 절차

PSS 공법 적용 시 전단 보강 역할을 하는 주요 부재는 캡빔(Cap Beam)과 필라스터이다. 패널 시공 후

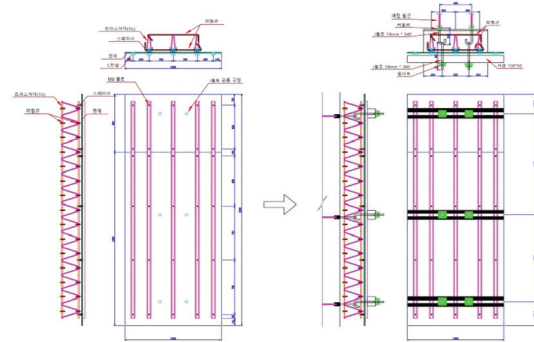


그림 7. 필라스터 상세 예시

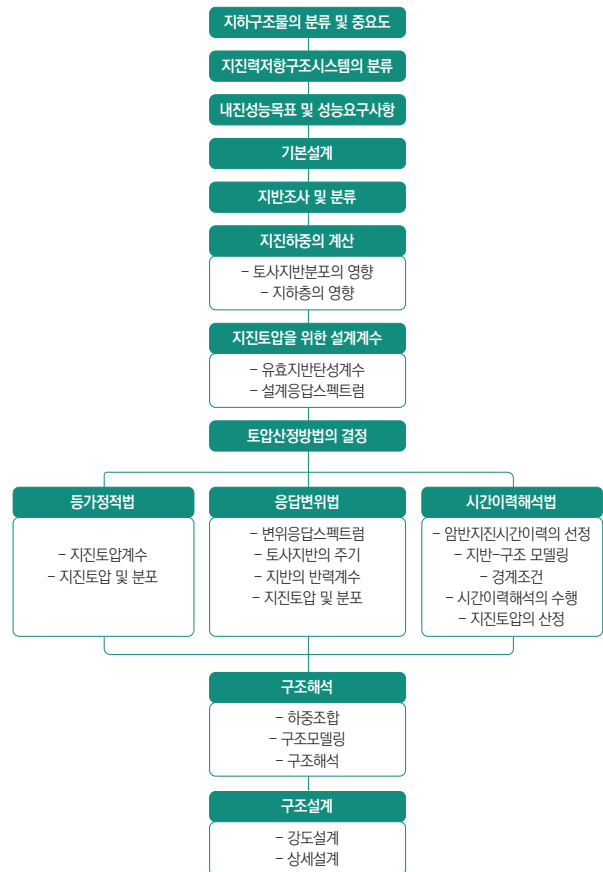


그림 8. 지하구조물 내진설계 과정

필라스터와의 연결을 고려하여 사전에 전단 철근을 매립 시공하며 전단 보강 성능을 만족하도록 설계하기 위해 지진 토압을 합리적으로 결정하여야 한다.

전체 설계 과정은 <그림 8>과 같이 나타낼 수 있다. 패널의 연속성 확보를 위한 캡빔과 필라스터 설계를 위해서는 지진 하중의 적절한 산정이 중요한 과정이 되므로 구조물의 구조시스템과 지반 조사 결과 등에 근거하여 설계가 이루어진다. 실제 현장에서의 적용 예시를 다음 절을 통해 소개하고자 한다.

### 3. PSS 공법 적용 사례

#### 3.1 북항 재개발 사업 C-1 블록 신축공사 설계 과정

본 구조물의 개요는 <표 1>과 같다. 구조시스템과 용도, 대지 위치 등에 의해 산정된 설계 계수와 지반 조사 결과를 통해 지진 토압을 산정하고자 하였다. 본 프로젝트의 경우 응답변위법을 적용하여 이중코사인 방법을 통해 지반 변위 산정 후 지반반력계수를 곱하

표 1. 설계 대상 구조물 개요

대지 위치	부산광역시 동구
지하층 형력저항시스템	지하외벽으로 둘러싸인 지하구조시스템
내진등급	1
중요도계수	지하층 : IE = 1.2
지진구역계수	Z = 0.11
유효지반 가속도	S = 0.22
지진설계계수	R = 3, $\Omega_o = 3$ , $C_d = 2.5$

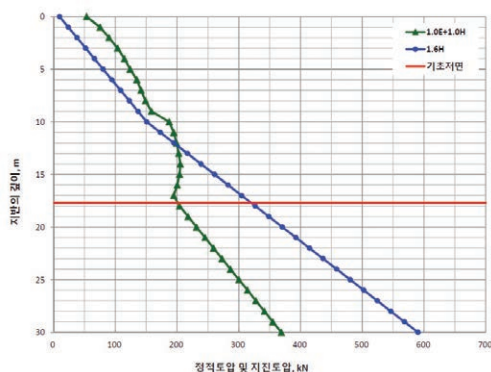
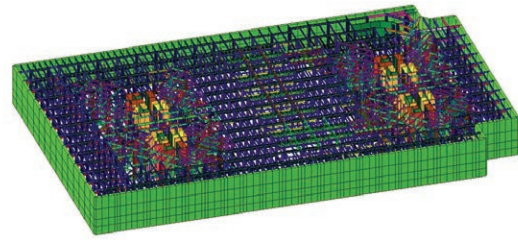
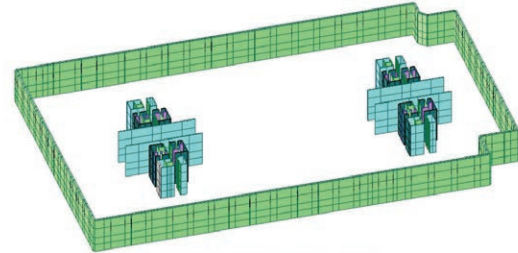


그림 9. 정적토압과 지진토압 산정 결과



1. 지하층 지진하중 및 부재설계용 모델링



2. 슬러리월 조인트 검토용 모델링

그림 10. 구조해석을 위한 모델링

여 지진 토압을 산정하였다.

<그림 9>와 같이 지진토압과 정적토압의 합이 정적 토압의 1.6배에 비해 크지 않으므로 정적토압을 사용하여 설계를 진행하였다.

위와 같이 얻은 토압을 반영하여 패널에 작용하는 지하하중 산정을 위한 모델링을 <그림 10>처럼 작성 후 각 패널 이음부의 전단력을 산정할 수 있다. 캡빔과 각 패널 전단 철근에 의한 전단 마찰 강도의 합으로 전단 보강이 이루어지는 것이 기본적인 공법 설계 개념이며 필라스터 전단은 콘크리트와 전단 철근에 의해 저항하는 것으로 생각할 수 있다.

각 부재의 설계는 <표 2>의 부재 제원과 식 (1)을 통해 이루어진다. 전단철근 보강의 적절하게 이루어졌음을 확인함으로써 내진 설계 기준에서 요구하는 성능을 만족하는 것으로 판단할 수 있다.

$$\phi V_n = \min \begin{cases} \phi 0.2 f_{ck} A_c \\ \phi 11 A_c \\ \phi (3.3 + 0.08 f_{ck}) A_c \end{cases} > \phi V_s = \phi A_v f_y \mu \quad \text{식 (1)}$$



표 2. 캡빔, 패널 이음부, 필라스터 제원

1) 캡빔				
주근	개수(ea)	폭(mm)	높이(mm)	
HD25	16	1,200	1,200	
2) 패널 이음부				
주근	간격(mm)	폭(mm)	높이(mm)	
HD19	300	900	8,200	
3) 필라스터				
전단철근	간격(mm)	개수(ea)	폭(mm)	높이(mm)
HD16	300	2	3,200	8,200

위와 같이 지진 토압의 산정과 부재의 설계를 진행함으로써 지하연속벽이 내진 설계 기준을 만족하도록 시공할 수 있음을 살펴보았다. PSS 공법의 핵심이 되는 필라스터의 적절한 설계를 위해서는 지진 토압의 올바른 산정이 선행되어야 하는 것을 알 수 있다.

### 3.2 현장 적용


〈그림 11〉을 통해 필라스터 적용 위치를 제외하고



그림 11. PSS 공법 시공 사례

패널이 타설된 모습과 해당 부위에 필라스터와 연결을 위한 전단 철근이 매립 시공된 것을 확인할 수 있다. 또한 패널 시공 간 필라스터 설치 여부에 관계없이 연속적인 시공이 가능하여 필라스터 설치에 의한 공기의 지연 등 부정적인 요소가 없음이 확인된다. 필라스터 설치를 위한 과도한 상세가 요구되지 않는 것과 설치 자체의 시공 또한 간소화되어 시공성 확보에 영향을 주는 요인이다.

### 4. 맺음말

위와 같이 PSS 공법의 적용 과정을 사례를 통해 소개하였다. 상세한 설계 과정과 간소화된 시공 절차에 의해 경제성과 안정성을 동시에 확보하여 개정된 건축물 내진설계기준을 효율적으로 만족하는 솔루션으로써 제안된 PSS 공법이 널리 적용되어 국내 흙막이 공법 적용 현장이 단기간 내에 안전하게 시공을 마무리할 수 있기를 기대한다. 

담당 편집위원 : 이미향(주)한국방재기술) paco1413@nate.com

#### 참고문헌

1. 이정배, 조동진, 강현준 “필라스터(Pilaster)를 이용한 슬러리월 일체화 방안”건축구조(한국건축구조기술사회지). Vol. 28. No. 2. pp. 55 ~ 60, 2021.
2. 조동진, “[엔지니어링 리포트] 필라스터 (Pilaster) 를 이용한 슬러리월 내진보강 공법”건축. Vol 66. No. 12. pp 76 ~ 79, 2022.



**김도영 선임**은 고려대학교에서 캔틸레버형 스티프너로 보강된 좌굴방지가새(CAS-BRB)의 유한요소해석에 관한 연구로 석사학위를 취득했으며 2023년부터 CWS 엔지니어링에 재직하여 구조 설계 업무를 담당하고 있다.

kdy@cwseng.co.kr



**김지형 선임**은 고려대학교에서 AI 기반 콘크리트 균열 깊이 예측 모델로 석사학위를 취득하였고, 2022년부터 현재까지 CWS엔지니어링 설계팀에서 근무하고 있다.

kimjh@cwseng.co.kr



**이정배 대표**는 CWS엔지니어링의 대표 이사로서 슬래브 지지 공법인 CWS 공법과 슬러리월 내진 보강 공법인 PSS 공법을 비롯하여 건축구조기술사로서의 경험에 기반한 다양한 구조 설계 및 기술 개발 업무를 수행하고 있다.

lee@cwseng.co.kr



**최현 소장**은 20여 년 동안 초고층 건물 및 장스팬 구조물과 같은 특수 구조를 포함한 일반건축물의 설계 및 시공지원 업무를 수행했으며, 현재는 (유)양호기술에서 건축구조기술사로 구조관련 총괄업무를 담당하고 있다

topeng2020@naver.com



**이호열 차장**은 (주)동아지질에서 다양한 슬러리월 공법 현장을 담당해왔으며 대표적으로 부산 해운대 엘시티, 싱가포르 MCE 등의 프로젝트에 참여했다. 현재는 협성종합건설에서 토목부서 차장으로 업무 수행하고 있다.

lhy4816@naver.com

## 콘크리트 표준시방서 해설[개정판]



- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page : 2022.04.15

- 정가(비회원가) : 68,000원
- 회원할인가 : **54,400원**(20%)

### | 도서소개 |

이번 콘크리트표준시방서 해설서는 2021년 2월에 새롭게 고시된 콘크리트표준시방서의 내용에 대한 상세한 정보를 제공하여 실무에 종사하는 기술자들의 이해를 돕고 시방서 활용의 편의성을 제공하기 위하여 발간하게 되었다.

이 해설서는 새로 고시된 시방서의 각 조항에 대한 배경 및 필요성, 학술적 근거 및 적용범위, 제한사항 및 시방내용의 변천사항 등에 대하여 상세히 기술하여 콘크리트 관련 실무기술자들의 이해를 돕고, 시방서 본문에서 언급하지 못하는 세부사항에 대한 오해를 방지하고자 하였다. 또한, 고시된 시방서의 일부 오탈자 및 편집오류 등과 같은 경미한 사항에 대한 수정 및 보완을 통하여 사용자의 불편함을 해소하고자 하였으며, 각 조항과 관련된 우리 학회의 실무지침도 소개하여 관련 전문지식을 보완할 수 있도록 하였다.