

3 흠막이 가시설 공법의 최신 기술 동향

글 김준호 \ 토목기술팀 과장 \ 전화 02-3433-7418 \ E-mail jykim@ssyenc.com

글 허남태 \ 토목기술팀 차장 \ 토질및기초기술사 \ 전화 02-3433-7761 \ E-mail abhnt@ssyenc.com

1. 머리말

흠막이 가시설 공사는 지반굴착을 안전하게 하기 위한 것으로 지지 구조물을 설치하여 굴착작업시에 현장내로 주변 흙이나 물의 유입을 방지하면서 주변 지반붕괴를 막고 토압 및 수압 등의 축압에 저항하도록 가설구조물을 설치하는 공사를 말한다.

이러한 흠막이 가시설에 요구되는 기능은 외력에 견딜만한 충분한 강도와 강성, 변위·침하에 의한 인접구조물 등에 손상을 주지 않는 점, 경제성 및 안정성 등이 있다. 즉, 흠막이 가시설 공법의 선정은 지반조건, 지하수위, 인접구조물, 굴착규모와 깊이, 공사비, 시공성 및 안정성 등의 모든 조건을 검토하여 적절한 설계 및 시공이 되어야 한다.

최근의 건설공사는 구조물의 대형화, 고층화, 지하공간 활용의 필요성으로 인한 지하굴착 대심도화, 도심지 근접시공의 증가 등 다양한 특성을 나타내고 있다. 최근 이러한 경향으로 인해 대규모 지반 굴착 및 흠막이 공사의 증가로 이어지고 있다. 또한, 지하안전관리에 관한 특별법 시행에 따라 2018년 1월부터 10m 이상의 지하 굴착 공사를 수반하는 사업에 대하여 지하안전영향평가 및 사후지하안전영향조사를 실시하도록 하는 등 지하안전을 확보하기 위한 지하안전관리제도가 본격적으로 시행되고 있다.

이러한 최근 경향으로 흠막이 가시설 공사의 중요성이 커지고 있으며, 그에 따른 설계 및 시공기술의 향상이 절실히 요구되고 있다.

이에 본 고에서는 일반적인 흠막이 가시설 공법의 개요 및 기술 개선/개발 동향을 살펴보고, 현재 개발되어 있는 최신 기술에 대해 소개하고자 한다.

2. 흠막이 가시설 공법의 개요

2-1. 흠막이 공법의 개념

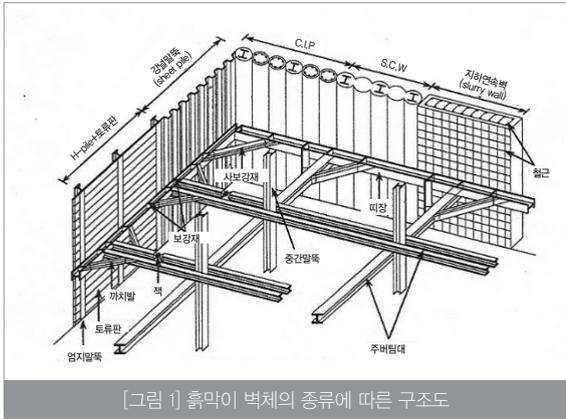
흠막이 공법은 지하구조물의 구축을 위해 굴착작업 시 목재, 강재 또는 콘크리트 기둥 및 연속벽 등의 벽체와 함께 타이로드, 앵커, 버팀 공법 등을 사용하여 토사의 붕괴를 막고 작용 토압 및 수압을 지탱하는 것을 일컫는다. 이러한 흠막이에 요구되는 기능은 외력에 견딜만한 충분한 강도와 강성뿐만 아니라, 주변 지반의 변위·침하에 따라 안정된 구조물·매설물 등에 유해한 손상을 주지 않는 것이다.

2-2. 흠막이 공법의 분류

일반적으로 흠막이구조물은 흠막이 벽체와 지지구조로 구성되며, 일반적인 흠막이 벽체는 [그림 1]과 같다. 흠막이 벽체는 굴착공사에 있어서 토사의 붕괴를 막기 위해 굴착면에 설치되며, 지지구조는 흠막이 벽체를 지지하는 구조물의 총칭으로 스트러트, 어스앵커, 레이커 및 네일링 등이 이에 포함된다.

이러한 흠막이 공법은 벽체형식과 지지구조에 따라 <표 1, 2>와 같이 여러가지 공법으로 분류가 가능하다.

흠막이구조물 형식 선정시 흠막이 벽체는 구조적 안정성, 인접건물의 노후화 및 중요도, 굴착깊이, 공기, 공사비 등을 검토하여 선정하며, 흠막이 벽체의 지지구조는 벽체의 안정성, 시공성, 인접건물의 이격거리, 지하층 깊이 및 민원 등을 종합적으로 고려하여 가장 유리한 형식으로 선정한다.



[그림 1] 흙막이 벽체의 종류에 따른 구조도

표 1 벽체형식에 따른 흙막이 공법의 분류

구분	공법	
벽체 형식	임지말뚝+흙막이판	
	널말뚝(Sheet Pile)	
	주열식 벽체	<ul style="list-style-type: none"> • C.I.P(Cast in Place Pile) • S.C.W(Soil Cement Wall) • S.P.W(Secant Pile Wall) • T.C.M(Trench Cutting & Continuously Mixing Method)
	지하연속벽체 (Diaphragm Wall)	<ul style="list-style-type: none"> • 현장타설지하연속벽체 • 기성지하연속벽체

표 2 지지구조에 따른 흙막이 공법의 분류

구분	공법	개요도
지지 구조	자립식	
	버팀보공법	
	지반앵커공법	
	역타공법(Top Down)	
	쏘일네일링공법	
	레이커공법	
	타이로드공법	

3. 흙막이 공법의 기술개발 동향

흙막이 가시설은 지하 굴착을 위해 설치되는 임시 구조물이지만 각종 건설사업에서 가장 먼저 시행되며, 전체 작업공기에 큰 영향을 미치고 전체 공사비의 약 5% 이상을 차지하는 주요 공정이다. 특히 건설 수주 물량이 부족하고 경쟁력이 요구되는 시점에서 경제성 및 공기 단축을 위한 공법 선택은 매우 중요하다. 이러한 이유 등으로 흙막이 공법에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있으며, 최근에는 다양한 공법이 개발·적용되고 있다.

흙막이 공법의 기술개선과 개발은 크게 흙막이 벽체 부분, 지지구조 부분 및 자립형 흙막이 공법으로 나누어 볼 수 있다.

흙막이 벽체 공법은 자재 자체의 개선과 개량 등 강성벽체의 다양화에 대한 기술이 개발되고 있으며, 버팀보 공법은 강성을 증대시키는 기술이 많이 개발되고 있다. 자립식 공법은 2열 자립식 흙막이 공법이 주로 개발되고 있다.

4. 흙막이 공법의 최신기술 소개

4-1. 흙막이 가시설 벽체 공법

1) 흙막이 벽체 개선 공법 종류

흙막이 벽체 공법은 자재 자체의 개선과 개량, PHC Pile 및 강관 등의 공장 기성 제품 사용 등 강성벽체의 다양화를 통한 다양한 기술이 개발되고 있다(표 3) 참조.

표 3 흙막이 벽체 개선 공법

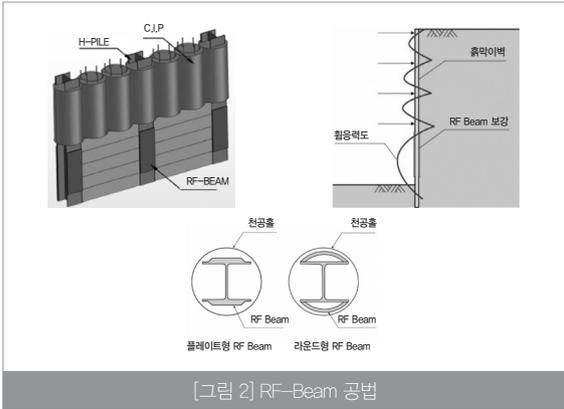
구분	기존 공법	개선 공법
자재 개선	Sheet Pile	합성형 Sheet Pile 등
	H-Pile	RF Beam, Act Pile 등
공법 개선	CIP	C-III, RF CIP, e-PHC 등
	SCW	SCW-ES, TCM, TDR 등
	Diaphragm Wall	PC Wall 등

2) 흙막이 벽체 개선 공법 소개

여러 종류의 흙막이 벽체 개선 공법 중 대표적인 공법 몇 가지의 주요 특징을 살펴보면 아래와 같다.

① RF-Beam(Reinforced Flange Beam) 공법

RF-Beam 공법은 임지말뚝용 H-Pile의 플랜지에 플레이트형 또는 라운드형 강판을 보강하여 강축방향 강성을 증대시켜 경제성 및 구조적 안정성을 향상시킨 공법으로, 응력이 초과되는 일부구간에만 적용하여 효율적인 설계 및 시공이 가능한 공법이다. 또한, 임지말뚝 근입을 위한 천공홀 지름내에서 최대 강성을 얻을 수 있는 구조이다(그림 2) 참조.



[그림 2] RF-Beam 공법

② Act Pile(Advanced Construction Technology Pile system) 공법
 Act Pile 공법은 냉간 성형부재와 덧판을 붙여 폐쇄형 단면 작업 후 내부에 콘크리트를 충전하여 합성부재를 형성하여 횡좌굴에 대한 저항력을 극대화한 공법이다[그림 3] 참조.

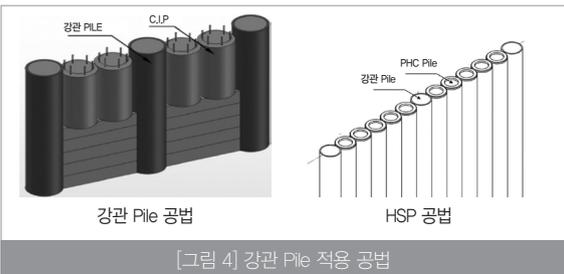


[그림 3] Act Pile 공법

③ 강관 Pile 공법

강관 Pile 공법은 엄지말뚝용 H-Pile 대신 휨강성이 우수한 원형강관을 사용하여 강관과 콘크리트의 합성효과로 벽체 강성을 향상시킨 공법이다. 강관은 좌우대칭으로 약축이 없어 구조적으로 효율적이고 비틀림에 강하여 부재 변형이 없는 장점이 있으며, 굴토공사 시 강관이 노출되어 추가적인 치핑작업이 불필요하다[그림 4] 참조.

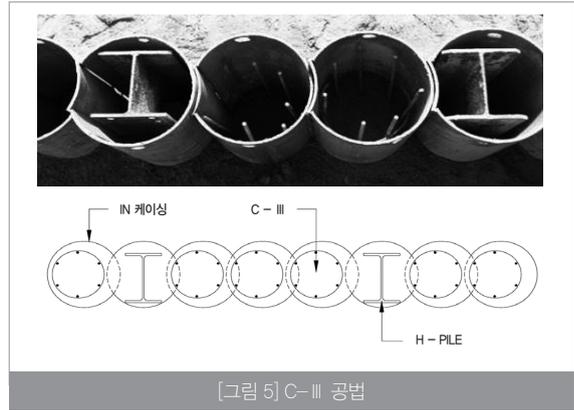
강관 Pile을 사용한 공법으로 CIP 공법 개선 공법 중 하나인 HSP 공법은 콘크리트 기설말뚝과 강관 Pile을 혼합한 흙막이 벽체 공법으로 기존의 CIP 공사 시 콘크리트 타설 및 양생 등의 문제로 공기가 늘어나며 품질의 확보가 어려운 점을 개선한 공법이다[그림 4] 참조.



[그림 4] 강관 Pile 적용 공법

④ C-III (A foundation of Continuous and Cut off wall by overlap Casing) 공법

CIP 개선 공법 중 하나인 C-III 공법은 C형 케이싱을 이용하여 흙과 흙을 중첩하며 형성된 벽체를 이용하여 겹침 주열식 차수벽체를 지중에 형성하는 공법으로 기존 CIP 공법에 비해 별도의 차수 공종이 불필요하여 공사기간 단축이 가능한 공법이다(그림 5 참조). 이와 유사한 겹침 주열식 차수공법으로는 UCIP 공법 등이 있다.

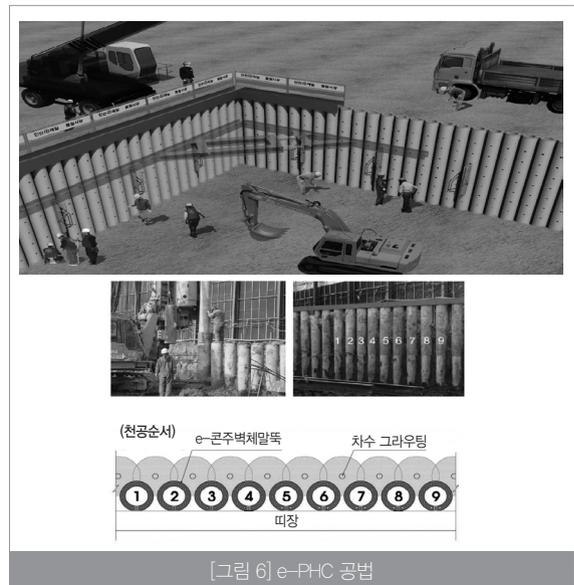


[그림 5] C-III 공법

⑤ e-PHC

e-PHC 공법은 현장타설 콘크리트 벽체 공법의 애로사항을 개선하여 공장제작 파일(PHC)을 이용한 공법으로, 공장에서 제작한 기성 파일을 사용함으로써 벽체의 강성 증대, 신뢰성 확보, 공종의 단순화 및 시공성을 향상시킨 공법이다(그림 6 참조).

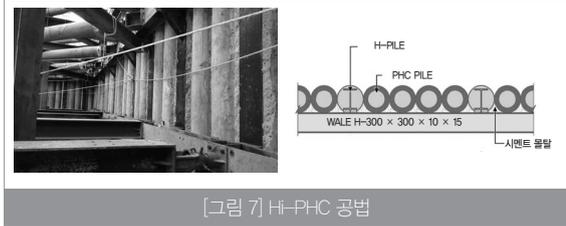
이와 유사한 공법으로는 주열식 PHC 말뚝 차수공법인 SPC 공법 등이 있다.



[그림 6] e-PHC 공법

⑥ Hi-PHC 공법

Hi-PHC 공법은 기성말뚝과 현장타설말뚝을 혼합 적용하여 CIP 공법의 현장타설말뚝으로 인한 품질관리의 어려움을 극복하고 띠장과의 결합력이 취약한 기존 기성말뚝만을 이용한 공법의 단점을 보강해 각각의 장점을 높이고 시공성을 향상시킨 공법이다(그림 7 참조).



[그림 7] Hi-PHC 공법

3) 주요 흠막이 벽체 개선 공법 비교

흠막이 벽체 개선 공법 중 도심지 굴착공법에 많이 적용하고 있는 CIP 공법을 개선한 대표적인 공법을 대상으로 공법의 특징, 경제성 및 시공성 등을 비교하였다(표 4) 참조).

4-2. 흠막이 가시설 지지 공법

1) 흠막이 지지구조 개선 공법 종류

흠막이 공법의 지지구조 중 버팀보 관련 기술을 살펴보면 축력을 받는 조건에서는 세장비가 큰 버팀보 특성상 좌굴장에 의해 단면의 안정성이 결정되므로 버팀보 및 띠장의 약축방향 강성을 증대시키는 방향으로 기술이 개발되고 있다. 강관 Pipe, 사각 단면 부재, 강관 외부 강판을 덧댄 2중 강관 및 부재에 선행하중을 가해 강성을 증대시키는 방법 등 다양한 기술이 개발되고 있다(표 5) 참조).

표 5 흠막이 지지구조 개선 공법

구분	기존 공법	개선 공법
버팀보 및 띠장 개선	H-Pile	사각 버팀보, 강관 버팀보(중형 강관, 강관+보강재(HPS), 대형 강관(PPS)), PS-S, U, IPS, ROSE 공법 등

표 4 CIP 개선 공법 비교표

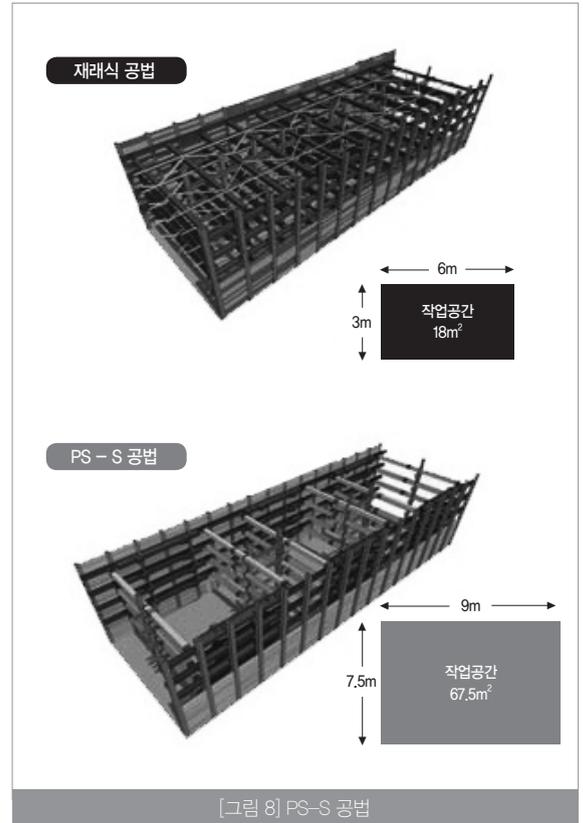
구분	CIP 공법	e-PHC 공법	Hi-PHC 공법	C-III 공법
개요	현장타설말뚝	기성말뚝	기성말뚝+현장타설말뚝	현장타설말뚝
특징	<ul style="list-style-type: none"> 도심지 합벽공사시 주로 적용, 대중화 공법 현장타설말뚝으로 품질 불량 발생 별도 차수공법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기성말뚝 사용으로 품질관리 용이, 파일강성 우수 공기 단축 가능 말뚝과 띠장 연결 불안정 별도 차수공법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기성말뚝 사용으로 품질관리 용이, 파일강성 우수 공기 단축 가능 띠장과의 연결이 견고함·별도 차수공법 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 벽체강성 및 차수성 우수 수직도 우수 별도 차수공법 불필요
공기	1.0	0.8	0.8	0.7
공사비	1.0	1.1	0.85	1.0

2) 흠막이 지지구조 개선 공법 소개

여러 종류의 흠막이 지지구조 개선 공법 중 대표적인 공법 몇 가지의 주요 특징을 살펴보면 아래와 같다.

① PS-S 공법

PS-S 공법은 프리스트레스가 도입된 띠장과 약축이 없는 폐단면 사각강관을 버팀보로 함께 적용하여 버팀보 수평간격 및 중앙파일 간격을 증대 시킬 수 있는 공법이다. 버팀보 설치간격이 넓어 작업 공간 확보가 용이하며, 사용강재의 감소로 공사비 및 공기 절감이 가능한 공법으로 당사가 보유한 신기술(건설신기술 제640호)이다(그림 8) 참조).

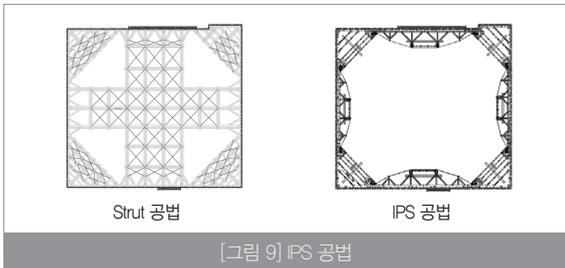


[그림 8] PS-S 공법

② IPS(Innovative Prestressed Support) 공법

IPS 공법은 강선과 짧은 받침대를 사용하여 기존의 버팀보를 대체하는 공법으로 현수교를 응용, 굴착 시 발생하는 응력을 PC-Strand와 지지보를 이용하여 내부 버팀보 구조체에서 균형을 이루는 상태에서 소멸되도록 수평배치한 공법이다. 중간파일의 감소로 넓은 작업공간 확보가 용이하고, 대형부재의 사용으로 부재수 최소화로 사용강재 절감이 가능하다. 공법 특성상 각진 현장에 유리하며, 부재 강성 및 벽체변위 관리가 중요하다(그림 9) 참조).

이와 유사한 프리스트레스를 적용한 공법으로는 ROSE 공법 등이 있다.

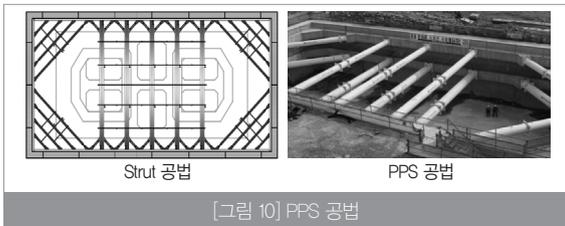


[그림 9] IPS 공법

③ 고강도 강관 버팀보 공법

고강도 강관 버팀보 공법은 기존의 H-형강 버팀보 대신 강관 버팀보를 적용해 구조적 안정성 확보, 공기 단축 및 공사비 절감을 목적으로 개발된 공법이다. H-형강 대비 좌굴, 비틀림에 유리하며, 중간 말뚝 최소화, 버팀보 간격 최대화 및 수평·수직 보강재가 불필요한 특징이 있다. 강관의 크기(Ø406.4, Ø800~1,200) 및 적용 방법에 따라 여러 공법들이 있다.

PPS(Prestressed Pipe Strut) 공법은 대형강관(Ø800~1,200)을 적용하고 선행가압으로 압축력을 강화하여 중간파일 없이 적은 수의 지보로 흙막이 벽체의 수평 변위와 주변지반의 침하를 최소화 할 수 있는 공법이다. 공법 특성상 벽체의 강성이 상대적으로 강해아 하며, 비교적 대형 크레인이 필요하다(그림 10) 참조).

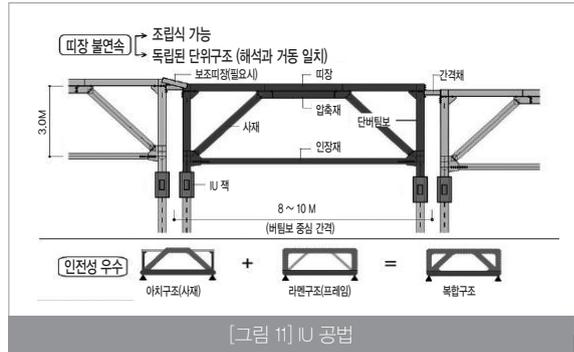


[그림 10] PPS 공법

④ IU 공법

IU 공법은 구조적으로 독립적인 조립식 IU 띠장, H-형강 두개를 횡으로 조립하여 압축좌굴 저항성을 높여 사용강재량을 줄인 IU 버

팀보 및 IU 잭으로 구성되어 있다. IU 띠장은 띠장을 불연속화 시키고, 인장재(H-형강)를 도입한 것이 특징이며, 프리스트레스 없이도 프레임 형태만으로 장경간이 가능하다(그림 11) 참조).



[그림 11] IU 공법

3) 주요 흙막이 지지구조 개선 공법 비교

흙막이 지지구조를 개선한 대표적인 공법을 대상으로 공법의 주요 특징 및 경제성 등을 비교하였다(표 6) 참조).

표 6 흙막이 버팀공법 비교

구분	강관 버팀보 공법	PS-S 공법	IPS 공법
개요	강관 버팀보	사각강관 버팀보 + PS 띠장	강선 Prestressing
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 약축, 강축 구분 없어 좌굴에 유리 • 작업공간 확보 • 사용강재 감소 • 별도 이동 및 점검통로 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 약축, 강축 구분 없어 좌굴에 유리 • 작업공간 확보 • 사용강재 감소 • 버팀보 간격 6~8m 	<ul style="list-style-type: none"> • 작업공간 확보 • 사용강재 감소 • 토목 및 본구조물 시공 용이 • 버팀보 간격 10m 이상
공사비	1.0	0.8	0.9

4-3. 자립형 흙막이 공법

1) 자립형 흙막이 공법 종류

굴착심도 3~4m의 얇은 굴착의 경우 지보재가 없이 엄지말뚝과 토류판으로 이루어진 자립식 흙막이 공법으로 시공이 가능하지만, 그 이상의 굴착심도를 시공할 경우 추가적인 지보재를 설치하여 시공하는 것이 일반적이다.

이러한 점을 개선하기 위해 개발된 2열 자립식 흙막이 공법은 저심도 굴착에 사용되는 자립식 흙막이 공법과 사면파괴 방지용으로 사용되는 억지말뚝 공법의 원리를 이용한 공법이다. 2열 자립식 흙막이 공법은 지반굴착에 있어서 필요한 지보재(Strut, Earth Anchor, Raker 등)를 사용하지 않고 지층 및 주변현황 등을 고려하여 기존의 자립식 공법보다 깊은 심도까지 지반굴착이 가능한 공법으로 다양한 공법이 개발·적용되고 있다(표 7) 참조).

표 7 자립형 흙막이 공법

구분	공법
2열 자립식	SSR, CSR, RSCW-II, RSR, RSB, CSCR, IER 공법 등
1열 자립식	PS-Beam, RSW 공법 등

2) 자립형 흙막이 공법 소개

여러 종류의 자립형 흙막이 공법 중 대표적인 공법 몇 가지의 주요 특징을 살펴보면 아래와 같다.

① 2열 자립식 흙막이 공법

2열 자립식 흙막이 공법은 흙막이 벽체의 역할을 수행하는 전열 말뚝과 억지말뚝 개념으로 흙막이 벽체의 전단파괴를 방지하는 후열 말뚝으로 조합된 흙막이 공법이다. 후열 말뚝 시공을 위한 배면 여유부지(굴착고의 약 20% 이상) 확보가 필요하며, 전열과 후열 말뚝의 연결 방법 및 연결 부분의 일정 깊이까지 토사 제거 여부, 말뚝의 경사 등에 따라 여러 공법이 개발되어 있다.

대표적인 연직형 2열 자립식 흙막이 공법의 주요 특징은 <표 8>과 같다.

표 8 연직형 2열 자립식 흙막이 공법 비교

구분	SSR(Self-supported Earth Retaining Wall)	RSR(Re-bar type Self-supported Retaining Wall)	IER(Inclined Earth Retaining Wall)
개념도			
특징	<ul style="list-style-type: none"> 상부 전·후열 연결 가로빔 설치 상부에서만 구속하여 2열 자립식 공법중 발생 변위 최대 	<ul style="list-style-type: none"> 전·후열 사이 일부 굴착 후 내부 연결빔, 연결사재 및 연결강봉으로 체결 굴착고 높은 경우 하부에 천공형 제거식 강봉 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 전열말뚝과 후열말뚝을 경사지게 설치 후열 억지말뚝 설치로 전열 억지말뚝에 작용하는 토압을 분산시키고 전면에 대한 안정성 향상

② 1열 자립식 흙막이 공법

1열 자립식 흙막이 공법으로는 억지말뚝 자체의 강성을 증대시킨 RSW(Reinforcement Self-supported Retaining Wall)공법과 억지말뚝 배면에 Prestress를 도입한 PS-Beam(Pre-stress Beam) 공법 등이 있으며 공법의 특징은 <표 9>와 같다.

표 9 RSW 공법 및 PS-Beam 공법 특징

구분	RSW 공법	PS-Beam 공법
개념도		
특징	<ul style="list-style-type: none"> 억지말뚝 배면에 Sheet Pile을 3~4개 연결 벽체 강성을 증대시키고 중력식 옹벽 효과 기대 지반에 Sheet Pile 시공을 위한 선천공 필요 배면 여유공간 필요(1.5~2.0m) 	<ul style="list-style-type: none"> 억지말뚝 배면에 강봉 또는 강선을 부착하여 Prestress 도입으로 배면 토압에 의해 발생하는 휨모멘트 감소 일반 억지말뚝 대비 큰 천공경 필요
공기	앵커공법 대비 50% 감소	앵커공법 대비 50% 감소

5. 맺음말

본 고에서 소개된 최신 흙막이 가시설 공법들은 부지 여유가 없는 조건에서 굴착 깊이가 깊어지고, 기존 구조물에 근접한 공사가 진행되는 과정에서 많은 시행착오를 거쳐 개선 및 개발된 공법이다. 흙막이 벽체의 변화는 강성, 차수성 및 시공성을 중심으로 개발되고 있으며, 최근에는 연직도 유지가 상대적으로 용이한 겹침식 CIP 공법이 많이 적용되고 있다. 흙막이 버팀보는 좌굴 억제 방안으로 구조체 자체의 강성을 효과적으로 증대할 수 있는 합성 구조체가 개발되고 있는 추세이며, 따장의 개선은 강재 규격 최소화와 약축 개선 방향으로 개발되고 있고, 일부 공법은 Prestress를 가하는 방식을 채택하기도 한다.

기존에 사용되던 공법의 개선·개량 시 지하굴착으로 인해 발생하는 응력의 불균형에 따른 거동특성을 충분히 감안하지 못하는 경우가 있으므로, 공법을 본격적으로 사용하기 이전에 굴착에 따른 거동 특성을 충분히 고려한 검증이 필요할 것으로 판단된다. S

참고문헌

- 1) 사단법인 한국지반공학회(2002), 굴착 및 흙막이 공법
- 2) 사단법인 한국지반공학회(2017), 최신 흙막이 구조물 설계 및 시공, 제28회 한국지반공학회 지반굴착기술위원회 계속교육
- 3) 사단법인 한국지반공학회(2015), 구조물기초설계기준 해설