

# 도심지 굴착에 적용된 IPS 띠장의 안정성

Stability of the Innovative Prestressed wale System Applied in Urban Excavation

김 낙 경\*

Kim, Nak-Kyung

박 종 식\*\*

Park, Jong-Sik

장 호 준\*\*\*

Jang, Ho-Joon

## Abstract

The stability of innovative prestressed wale system applied in urban excavation was investigated. The IPS is a wale system prestressed by tension of steel wires. The IPS consists of steel wires, H-beam support and wale. The IPS provides a high flexural stiffness to resist the bending moment caused by earth pressures. And the IPS transmits earth pressures due to excavation to corner struts. The IPS provides a larger spacing of support, economical benefit, construction easiness, good performance and safety control. This paper explains basic concept and mechanism of the IPS and presents the measured performances of the IPS applied in urban excavation. In order to investigate applicability and stability of the IPS in urban excavation, observations and measurements in site were performed. The IPS applied in urban excavation was performed successfully. The results of the field instrumentation were presented. The measured performances of the IPS were investigated. And behavior of the wall and corner struts was investigated.

## 요 지

본 논문에서는 새로운 흙막이 지보재인 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 개념과 미커니즘에 대하여 설명하고 도심지 굴착 현장에 적용된 IPS 띠장의 거동 및 안정성에 대하여 논하였다. IPS 띠장은 강선, H-beam 받침대, 띠장으로 구성되어 있으며 IPS 띠장에 강선의 인장력을 도입하여 흙막이 벽체에 선행 하중을 가하고 지반 굴착으로 인한 토압을 IPS 띠장의 휨강성을 활용하여 버팀보에 전달하는 새로운 개념의 흙막이 지보재이다. 휨강성이 큰 IPS 띠장을 활용하면 흙막이 벽체를 지지하는 버팀보의 설치 간격을 획기적으로 넓힐 수 있으며 굴착시에 넓은 작업 공간을 제공받는다. 그리고 굴착 공사에 사용되는 강재의 물량을 줄일 수 있다. 그러므로 굴착 공사에서 IPS 띠장을 활용하면 경제성과 시공성을 확보할 수 있다. 또한 굴착으로 인한 흙막이 벽체의 변형을 억제하여 흙막이 구조물의 안정성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 IPS 띠장의 기본 개념과 미커니즘에 대하여 언급하고 도심지 굴착 현장에 적용된 IPS 띠장의 현장 적용성을 확인하였다. IPS 띠장의 현장 계측 결과를 분석하여 IPS 띠장의 거동과 안정성을 확인하고 IPS 띠장이 적용된 벽체의 거동을 알아보았다. 또한 IPS 띠장에 작용하는 토압을 지지하는 코너 스트럿의 거동을 알아보았다.

**Keywords :** IPS, Excavation, Wall, Corner strut, Stability

**핵심 용어 :** IPS 띠장, 굴착, 벽체, 코너 스트럿, 안정성

\* 성균관대학교 토목환경공학과 부교수

\*\* 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정

\*\*\* 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

E-mail : nkkim@skku.edu 031-290-7521

•본 논문에 대한 토의를 2005년 6월 30일까지 학회로 보내주  
시면 2005년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근 도심지 흠막이 공사는 고층 건물, 지하철, 대형 지하 상가와 지하 주차장의 시공에 적용되면서 대형화되어 가고 있다. 현재까지 흠막이 공사에 빈번히 활용되어 온 버팀 굴착은 굴착 공사가 대형화됨에 따라 상당한 양의 강재 사용을 요구하고 있으며 이로 인하여 공사비용의 증가를 초래하고 있다. 또한 굴착 작업 공간이 협소하여 작업 시간이 지연될 수 있다. 한편 앵커 공법의 경우는 넓은 굴착 작업 공간을 제공하는 장점을 가지고 있으나 앵커 설치를 위한 지반 천공 시에 상·하수도, 통신 및 전력 공급을 위한 매설관을 손상시킬 수 있으며 사유지 침범 시에 분쟁을 유발할 수도 있다. 그러므로 도심지 굴착에서 발생할 수 있는 문제점과 요구 사항을 해결할 수 있는 새로운 흠막이 공법의 개발이 필요하다.

IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법은 강선, H-beam 받침대, 띠장으로 이루어진 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장에 강선의 인장력을 도입하여 흠막이 벽체에 선행 하중을 가하고 지반의 추가 굴착으로 인한 토압을 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 통하여 버팀보로 지지하는 새로운 개념의 흠막이 지지 방법이다. IPS (Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법의 특징은 굴착으로 유발된 토압을 지지하기 위하여 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장을 이용하기 때문에 기존 버팀 공법에 비해서 버팀보 설치 간격을 수 배에서 십 여배까지 늘릴 수 있다. 또한 굴착 지반의 지지를 위한 버팀보의 설치 수를 줄일 수 있기 때문에 굴착 공사를 수행함에 있어 보다 넓은 작업 공간을 제공하는 장점을 가지고 있다. 그래서 IPS (Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법은 굴착 공사 비용을 절감할 수 있는 경제적이고 효율적인 흠막이 방법이다(Fig. 1). IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법은 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 이용하여 벽체에 선행 하중을 가하는 공법이기에 때문에 지반 굴착으로 인한 벽체 변형을 억제할 수 있다. IPS(Innovative Prestressed

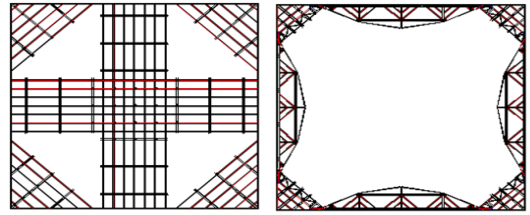


Fig. 1 버팀보 공법과 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법

wale System) 띠장을 이용한 선행하중의 제어는 흠막이 벽체의 안정성을 제공하며 특히 도심 굴착에서 인접 구조물의 안정성을 확보할 수 있게 한다.

본 논문에서는 혁신적인 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법의 지보체인 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 개념과 메카니즘(mechanism)에 대하여 설명하고 도심지 굴착 현장에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 적용성을 확인하였다. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 시험과 계측을 수행하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 거동을 파악하고 안정성을 확인하였다. 또한 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장이 적용된 벽체의 거동을 알아보았다.

## 2. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 개념과 메카니즘

IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법에서는 흠막이 벽체를 지지하기 위하여 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장과 버팀보로 이루어진 IPS(Innovative Prestressed wale System) 시스템을 활용한다. IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이 공법이 기존 흠막이 공법과 다른 점은 새로운 지보체인 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 활용하는데 있다.

IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장은 강선, H-beam, 받침대, 띠장으로 구성되어 있으며(Fig. 2) 강선의 인장력이 도입된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 통하여 흠막이 벽체에 선행 하중을 가한다.

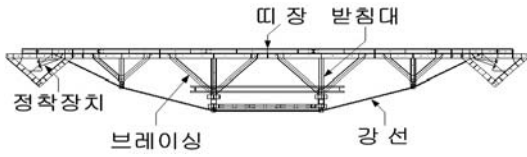


Fig. 2 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 구성 요소

인장된 강선은 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 양끝 단에 정착되며 강선 인장으로 인한 정착하중은 띠장과 버팀보로 전달된다. 지반의 추가 굴착으로 인한 토압은 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 휨강성을 활용하여 버팀보로 전달된다.(김훈겸 등, 한만엽 등, 박종식 등, Kim et al.)

강선, H-beam 받침대, 띠장으로 구성된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장은 기존 버팀보 공법이나 앵커 공법에 적용된 띠장에 비해서 월등한 휨강성을 가지고 있다(Timoshenko & Gere, Chajes, Nilson, Lin & Burbs, AISC, Troitsky, Gimsing, PCI, Salmon & Johnson). IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장은 자체의 휨강성을 활용하여 지반 굴착으로 인한 토압을 버팀보로 전달하며 버팀보의 설치 간격을 기존 버팀보 공법이나 앵커 공법에 비해서 수 배에서 십 여배까지 늘릴 수 있다. Fig. 3은 토압을 지지하는 기존 버팀보 시스템과 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 활용한 새로운 지지 시스템을 비교하여 보여주고 있다.

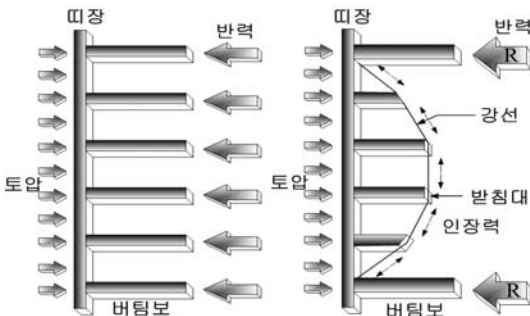
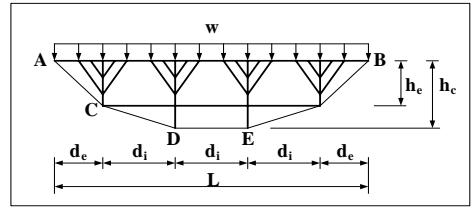
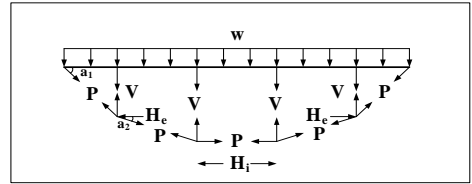


Fig. 3 버팀보 시스템과 IPS(Innovative Prestressed wale System) 시스템의 비교



(a) IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 모델



(b) IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 자유 물체도

Fig. 4 IPS 띠장의 기본 모델과 자유 물체도

IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 모델과 자유 물체도는 Fig. 4와 같다. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장에 작용하는 토압과 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 받침대 축력은 같다고 가정하여 절점 C와 D에서 식 2-5의 평형방정식을 얻을 수 있다.

이들 평형 조건을 통하여 식 6과 같이 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선과 받침대의 설치 각도에 관한 상관식을 유도할 수 있으며 식 7과 같이 토압과 강선 인장력의 관계를 도출할 수 있다. 그리고 IPS 띠장의 받침대 높이를 산정할 수 있다(식 7). 한편 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 양끝 단에 정착된 강선의 정착 하중은 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 띠장과 버팀보가 지지한다.(김훈겸 등, 박종식 등, 한만엽 등, Kim et al.)

$$4V = wL \quad (1)$$

$$\text{Joint D ; } P \sin a_2 - V = 0 \quad (2)$$

$$P \cos a_2 + H_1 = P \quad (3)$$

$$\text{Joint C ; } P \sin a_1 - P \sin a_2 - V = 0 \quad (4)$$

$$P \cos a_1 - P \cos a_2 + H_e = 0 \quad (5)$$

$$\sin a_1 = 2 \sin a_2 \quad (6)$$

$$\therefore P = \frac{wL}{2 \sin a_1}, h_c = h_e + d_i \tan(\sin^{-1}(\frac{\sin a_1}{2})) \quad (7)$$

여기서,  $w$ 는 토압(t/m),  $P$ 는 강선 인장력(ton),  $V$ 는 받침대 축력(ton),  $H_i$ ,  $H_e$ 는 받침대 수평력(ton),  $L$ 는 띠장 길이(m),  $h_c$ ,  $h_e$ 는 받침대 길이(m),  $d_e$ ,  $d_i$ 는 받침대 간격(m),  $a_1$ ,  $a_2$ 는 강선 각도(degree)

### 3. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 설계

지반 조건, 지하수 조건, 굴착 단면, 굴착 깊이와 주변 구조물 위치 등 여러 현장 조건들을 종합적으로 분석하여 흙막이 벽체의 종류와 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장이 선정되면 다음과 같은 설계 절차와 방법으로 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장 설계를 수행한다(박종식 등, Kim et al.).

- 1) 1단계 : 지반 조건, 지하수 조건, 상재하중 조건과 굴착 깊이를 고려하여 굴착 지반의 설계 토압을 산정한다(Terzaghi & Peck, Peck).
- 2) 2단계 : 설계 토압으로 버팀보 설계 하중을 산정한다.
- 3) 3단계 : 버팀보 설계 하중을 근거로 하여 강선의 설계 인장력을 산정하고 강선의 제원을 결정한다.
- 4) 4단계 : 강선의 설계 인장력을 근거로 하여 H-beam 받침대와 띠장의 설계 축력을 산정하고 각 부재의 단면을 결정한다.

IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 설계와 함께 버팀보와 흙막이 벽체의 설계를 수행하고 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이의 수치해석을 수행하여 각 부재의 단면을 검토한다(Haliburton, Pfister et al, Kim & Briaud, Briaud & Kim).

### 4. 도심지 굴착에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 시험

도심지 굴착에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 적용성을 확인하고 IPS

(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 거동과 안정성을 파악하기 위하여 현장시험을 수행하였다. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 시험은 안양 OO동 주상 복합 아파트 공사 현장에서 수행되었으며 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 거동과 안정성을 파악하고 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장으로 지지된 벽체의 거동을 파악하기 위하여 굴착 공사가 진행되는 동안에 현장 계측을 수행하였다.

#### 4.1 현장 개요

본 현장은 지하 2층, 지상 17층 규모의 주상 복합 아파트 건설을 위한 굴착 현장이다. 굴착 규모는 가로 48m, 세로 44m이며 최대 굴착 깊이는 11.9m이다. 굴착 현장 주변에는 폭이 각각 8.0m, 10.0m, 30.0m의 도로가 인접해 있으며 도로 주변으로 2-4층의 상가와 주택이 위치하고 있다. 또한 폭 30.0m 도로에서 지하 20m 지점에 지하철 4호선이 운행되고 있다. 본 굴착 공사는 2003년 12월부터 2004년 4월까지 약 5개월 간 수행되었다. Fig. 5는 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이 공법이 수행된 굴착 현장의 개요도이다.

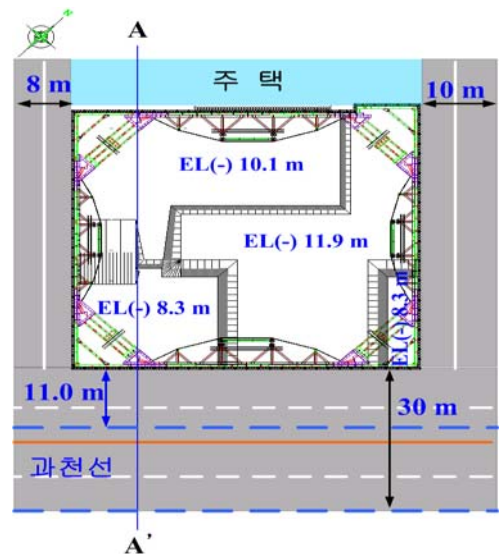


Fig. 5 현장 개요도

## 4.2 지반 조건

본 현장의 지반 조사 결과는 다음과 같다. 본 현장의 지층 구성은 매립토, 퇴적토, 풍화토와 풍화암으로 이루어져 있다. 매립토층은 갈색의 자갈과 실트나 점토질 모래로 구성되어 있다. 퇴적토층은 암회색의 실트질 모래로 구성되어 있다. 풍화토층은 황갈색 혹은 회갈색의 실트가 섞인 모래로 이루어져 있다. 굴착 깊이 7.8m 아래로는 풍화암이 존재하고 있으며 암이 심하게 풍화된 상태이다. Fig. 6은 지반의 표준관입시험 결과를 나타낸 것이며, Fig. 7은 지층 분포를 나타낸 것이다.

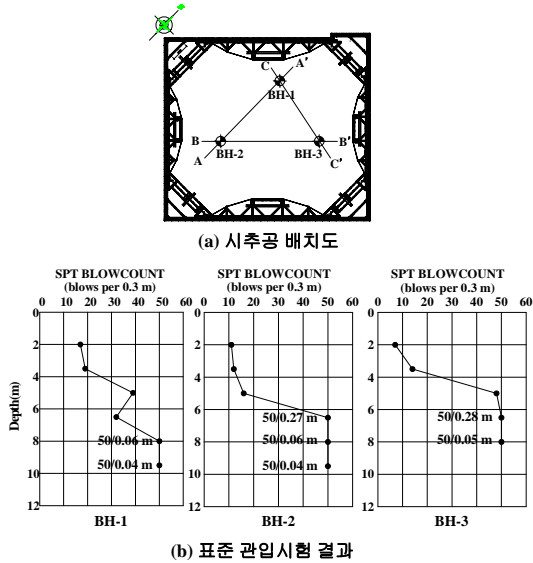


Fig. 6 표준관입시험 결과

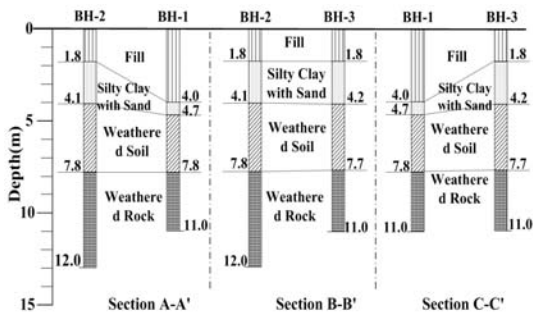


Fig. 7 지층 분포

## 4.3 시공 조건

본 굴착 현장은 가로 48m, 세로 44m의 정사각형에 가까운 굴착 평면으로 되어 있으며 Fig. 8과 같이 4개의 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재가 폐합을 이루어 벽체를 지지하고 있다. 4개의 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장은 IPS 1-4로 명명한다(Fig. 8).

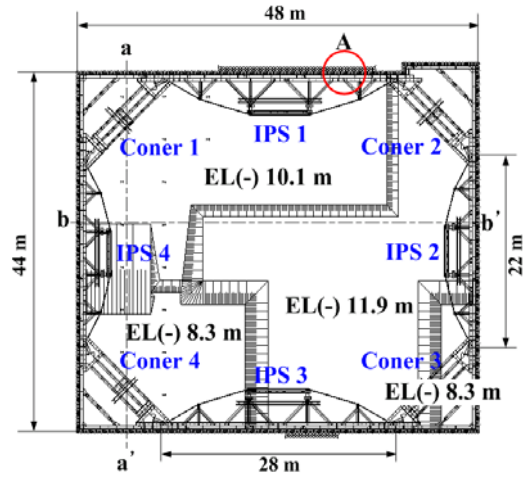
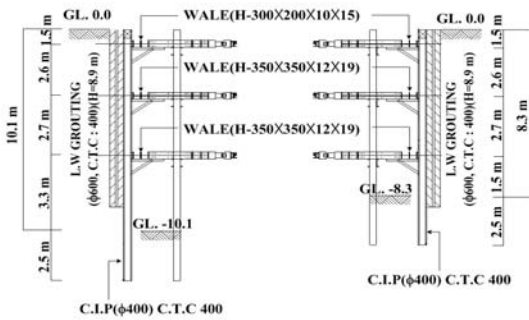


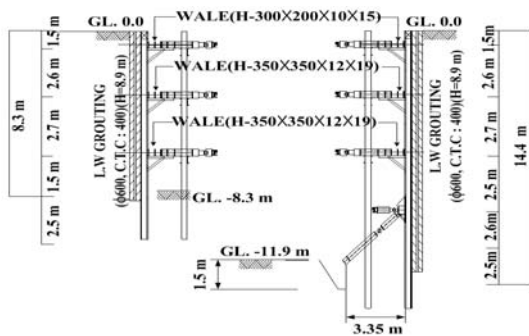
Fig. 8 굴착 평면도

굴착 깊이는 구간별로 차이가 있으며 8.3m에서 최대 11.9m이다(Fig. 8). 굴착 단면을 보면 지표면으로부터 1.5m지점에 1단의 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재가 설치되어 있으며 2단의 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재는 4.1m지점에, 3단은 6.8m지점에 설치되어 있다. 굴착 깊이가 11.9m구간에서는 9.3m 지점에 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장과 레이커가 설치되었다(Fig. 9). 흙막이 벽체는 CIP(Cast In Place) 벽체이며 벽체의 근입 깊이는 2.5m이다. CIP (Cast In Place) 벽체의 배면에 차수를 목적으로 굴착 깊이까지 LW(Labiles Wasserglass) 그라우팅을 시공하였다(Fig. 9).

시공 단계는 총 9단계이며 시공 단계와 시공 일정은 다음과 같다.



(a) 단면 a-a'



(b) 단면 b-b'

Fig. 9 굴착 단면도

- 1) 1단계 : 3.5m 굴착, 공사 시작일로부터 12일
- 2) 2단계 : 지표면으로부터 1.5m지점에 1단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재 설치, 강선의 설계 인장력의 70% 인장, 공사 시작일로부터 18일
- 3) 3단계 : 5.5m 굴착, 공사 시작일로부터 26일
- 4) 4단계 : 4.1m지점에 2단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재 설치, 사보강재 선행하중 재하, 강선의 설계 인장력의 70% 인장, 공사 시작일로부터 32일
- 5) 5단계 : 9.0m 굴착, 공사 시작일로부터 40일
- 6) 6단계 : 1단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장에 대하여 강선의 설계 인장력의 100% 재 인장, 공사 시작일로부터 43일
- 7) 7단계 : 6.8m지점에 3단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재 설치,

사보강재 선행하중 재하, 강선의 설계 인장력의 70% 인장, 공사 시작일로부터 50일

- 8) 8단계 : 10.1m 및 11.9m 구간별 굴착, 공사 시작일로부터 54일
- 9) 9단계 : 11.9m 굴착 구간에 4단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 레이커 설치, 공사 시작일로부터 64일

#### 4.4 하중 조건

IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 설계 인장력은 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흠막이의 설계 절차 및 방법(박중식 등, Kim et al.)에 따라 산정할 수 있다. 1단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장은 강선의 설계 인장력의 약 100%가 수행되었으며 2단과 3단의 경우는 약 70%에 해당되는 강선 인장이 수행되었다. 한편 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장으로 인한 정착부 움직임 억제하기 위하여 사보강재에 선행 하중을 도입하였다. 본 현장에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장 조건 및 사보강재의 선행 하중 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장 인장 및 사보강재 선행 하중 조건

(단위 : kN)

구분	위치	IPS				사보강재 선행하중
		IPS1	IPS2	IPS3	IPS4	
1단	설계인장력	1,205	970	1,205	970	-
	최종인장력	1,323	980	1,323	980	
	비율(%)	110	100	110	100	
2단	설계인장력	3,538	2,764	3,538	2,764	1,300
	최종인장력	2,646	1,882	3,528	1,882	
	비율(%)	75	68	100	68	
3단	설계인장력	3,538	2,764	3,538	2,764	1,300
	최종인장력	2,508	1,980	2,509	1,980	
	비율(%)	71	72	71	72	

#### 4.5 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재 조건

IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 구성 요소인 띠장, 강선과 H-beam 받침대의 제원은 다음과 같다. 굴착 평면과 단면(Fig. 8-9)을 보면 1단에서 3단까지 IPS 1과 3의 띠장 길이는 28m이고 IPS 2와 4의 띠장 길이는 22m이다. 1단 띠장에는 H300×300×10×15(SS400) 2개를 사용하였고 2단과 3단에는 H350×350×12×19(SM490) 2개가 사용되었다. 강선의 직경은 15.2mm이며 1단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 개수는 18가닥, 2단과 3단에 설치된 IPS 1과 3의 강선 개수는 28가닥, IPS 2와 4의 강선 개수는 22가닥이다. 강선 정착부의 정착 장치는 2개이며 강선은 각각의 정착 장치에 절반씩 나누어서 정착된다. 1단에서 3단의 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장에 사용된 H-beam 받침대의 단면은 H300×300×10×15(SS400)이며 1단에서 3단까지 IPS 1과 3의 최대 편심은 4.3m, IPS 2와 4의 최대 편심은 3.3m이다. 1단에 설치된 사보강재의 단면은 H300×300×10×15(SS400)이며 2단과 3단의 경우는 H350×350×12×19(SM490)이다. 각 코너마다 3개의 스트립을 설치하였으며 사보강재의 길이는 7.6m이다. 축력을 받는 사보강재의 좌굴을 방지하기 위하여 380×100×13×20, 길이 4m의 Channel을 사보강재 중앙에 설치하였다. 한편 굴착 깊이 11.9m 구간에 설치된 4단 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 레이커의 제원은 다음과 같다. 4단 IPS 3의 띠장 단면은 H300×300×10×15(SS400)로서 1개가 설치되었고 길이는 11.0m이며 4단의 IPS 2의 띠장 단면은 H300×300×10×15로서 1개가 설치되었고 길이는 12.0m이다. 레이커는 H300×300×10×15의 단면을 사용하였으며 길이는 4m, 레이커를 지지하는 기초 콘크리트의 압축 강도는 20.58 MPa이다.

#### 4.6 벽체 조건

흙막이 벽체의 단면 및 근입깊이는 굴착 지반의 설

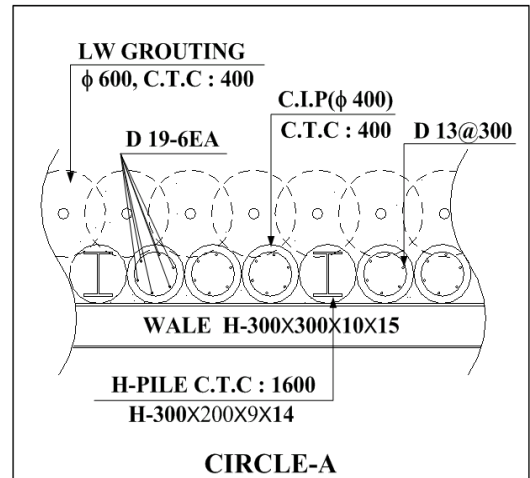


Fig. 10 벽체 단면도

계 토압으로부터 산정된다. 본 현장은 흙막이 벽체로 CIP(Cast In Place)를 사용하였으며 흙막이 전 구간에 걸쳐 벽체 배면에 LW(Labiles Wasserglass) 그라우팅을 시공하였다. CIP(Cast in Place) 벽체의 직경은 0.4m이고 중심 간 거리는 0.4m이다. H-Pile의 단면은 300×200×9×14(SS400)이고 중심 간 거리는 1.6m이다. 직경 0.4m의 CIP(Cast In Place) 벽체에는 직경 19.1 mm의 축방향 철근이 6개씩 설치되었으며 직경 12.7 mm의 철근이 나선형으로 설치되었다. LW(Labiles Wasserglass) 그라우팅은 직경 0.6m, 중심 간 거리가 0.4m로 시공되었다(Fig. 10).

#### 4.7 현장 계측

도심 굴착 현장에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이 구조물의 거동을 파악하기 위하여 현장 계측을 수행하였다. 시공 단계별로 계측을 수행하여 벽체, IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재의 거동을 알아보고 안정성을 확인하였다. 벽체의 횡방향 변위는 지중 경사계를 통하여 측정하였으며 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 사보강재의 축력은 진동현식 변형률 게이지를 이용하여 측정하였고 굴착 현장의 지

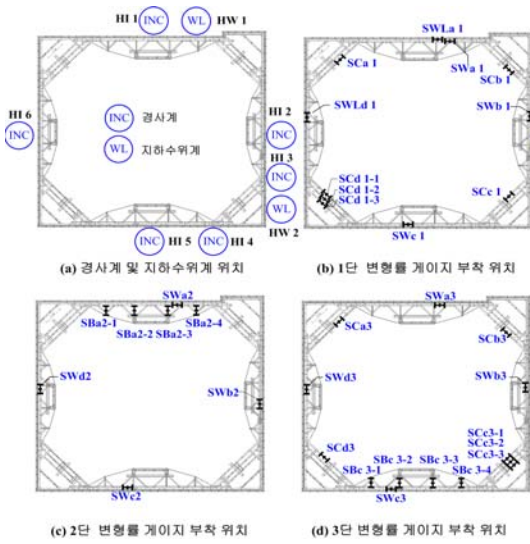


Fig. 11 계측기 설치 위치

하수위 변동을 파악하기 위하여 지하수위계를 설치하였다. 본 굴착 현장에서 사용된 계측기의 수량은 지중 경사계 6개, 변형률 게이지 33개와 지하수위계 2개이다. Fig. 11은 굴착 현장에 설치된 지중 경사계, 지하수위계와 변형률 게이지의 위치를 나타낸 것이다.

#### 4.8 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 시험 결과

##### 4.8.1 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장력

강선 인장으로 인한 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 거동을 알아보았다. Fig. 12는 2단에 위치한 IPS 2의 강선 정착부에 설치된 2

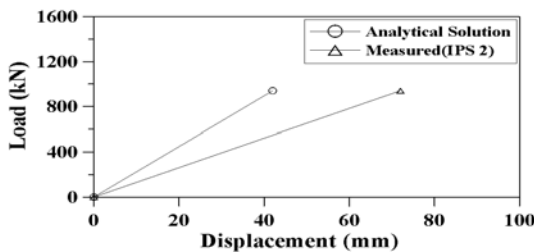


Fig. 12 IPS 띠장의 강선 인장력

개의 강선 정착 장치 중에 상부 정착 장치에서 측정된 하중과 신장량을 나타낸 결과이다. 강선의 신장량은 이론에 비해 약 75%의 증가를 보였다. 강선의 신장량 증가는 강선 인장으로 인하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장이 벽체를 미는 과정에서 발생된 것으로 판단된다.

##### 4.8.2 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 받침대 축력

시공 단계에 따른 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 받침대 축력을 측정하였다. Fig. 13은 2단 IPS 1의 4개 받침대 중에서 중앙에 위치한 받침대(SBa2-2)의 계측 결과와 설계 하중을 비교한 결과이다. 2단 IPS 1의 받침대 계측 결과 강선의 인장시 설계 하중과 약 50%의 차이를 보였으며 지반 굴착 시에도 거의 유사한 하중을 보였다. Fig. 13의 받침대 계측 결과를 통하여 시공 단계에 따른 받침대의 축력 변화가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

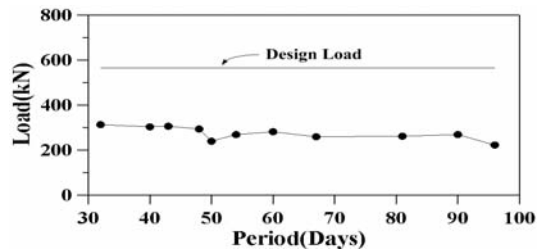


Fig. 13 IPS 띠장의 받침대 축력 변화

##### 4.8.3 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 띠장 축력

시공 단계에 따른 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 띠장 축력을 알아보았다. Fig. 14는 2 단 IPS 2의 띠장에 설치된 변형률 게이지 (SWb2)와 3 단 IPS 1의 띠장에 설치된 변형률 게이지(SWa3)에서 계측된 띠장의 축력과 띠장의 설계 하중을 나타내고 있다. Fig. 14의 띠장 계측 결과는 설계 하중과 약 40%의 차이를 보이고 있다.

계측 결과와 설계 하중 간의 하중 차이에는 IPS (Innovative Prestressed wale System) 띠장의 띠



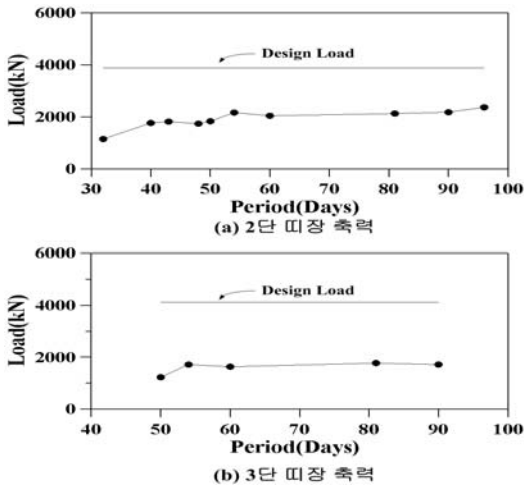


Fig. 14 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 축력 변화

장과 벽체 간의 마찰 저항으로 인한 하중 손실이 포함되어 있다고 판단된다. 한편 H350×350×12×19의 강재 2개를 사용한 2단 IPS 2의 허용 압축응력은 247.45MPa이며 띠장의 중앙에서 측정된 압축응력은 68.11MPa로 산정되었다. 3단 IPS 1의 경우에는 허용 압축응력이 232.55 MPa로 산정되었으며 띠장의 중앙에서 측정된 압축응력은 51.03MPa로 산정되었다(한국도로교통협회, 한국지반공학회).

#### 4.8.4 사보강재의 축력

시공 단계에 따른 사보강재의 축력을 알아보았다. Fig. 15는 3단 사보강재의 중앙부에 설치된 변형률 게이지에서 측정된 축력과 사보강재의 설계 하중을 나타낸 것이다. 사보강재의 계측 결과는 설계 하중

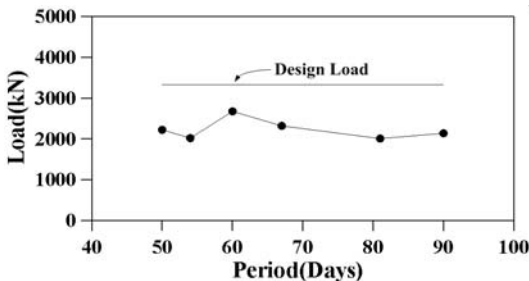


Fig. 15 사보강재의 축력 변화

(Peck)과 약 20%의 차이를 보였다. 사보강재의 계측 결과를 통하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장에 작용한 토압이 사보강재로 전달되었음을 확인할 수 있었다. 한편 H350×350×12×19(SS490)를 사용한 3 단 사보강재의 허용 압축응력은 182.26MPa이며 사보강재의 중앙에서 측정된 압축응력은 47.87MPa로 측정되었다.(한국도로교통협회, 한국지반공학회).

#### 4.8.5 벽체 횡방향 변위

시공 단계에 따른 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이 벽체의 횡방향 변위 거동을 파악하기 위하여 경사계로 계측을 수행하였다. Fig. 16은 IPS 1 중앙부의 벽체 배면에 설치된 경사계 HI 1에서 계측된 횡방향 변위 결과를 나타낸 것이다. HI 1의 횡방향 변위 거동을 보면 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장시에 벽체가 배면 방향으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이는 강선 인장시에 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 통하여 벽체에 선행 하중이 작용했기 때문이다. 따라서 흙막이 벽체에 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장을 적용하면 벽체의 변위를 억제할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 경사계로 측정된 벽체의 최대 횡변위는 HI 1에서는 16.1mm이며, 굴착 깊이에 대한 최대 횡변위의 비는 0.16%H로 나타났다. HI 2에서는 14.8mm

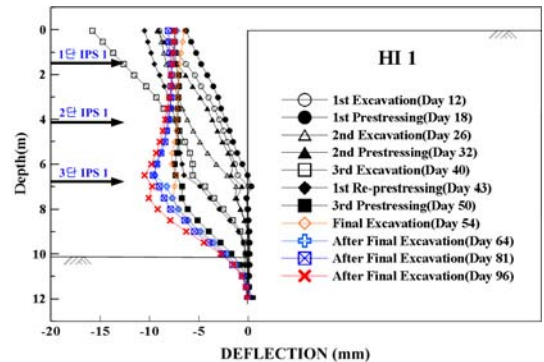


Fig. 16 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이 벽체의 횡방향 변위 변화

로 측정되었으며 0.12%H로 나타났다. HI 3에서는 15.3mm로 0.18%H, HI 4에서는 20.1mm로 0.18% H이며 HI 5에서는 30.3mm로 측정되었으며 0.25%H로 나타났다. 본 결과는 Goldberg et al., Clough와 O'Rourke가 제안한 벽체 수평 변위의 위험 기준인 0.5%H를 초과하지 않았다.

## 5. 결론

본 논문에서는 혁신적인 흙막이 지보재인 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 기본 개념과 메카니즘(mechanism)에 대하여 언급하고 도심지 굴착 현장에 적용된 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 적용성을 확인하였다. IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 현장 계측 결과를 분석하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 거동과 안정성을 확인하고 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장이 적용된 벽체의 거동을 알아보았다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 새로운 흙막이 지보재인 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장은 도심지 굴착 현장에서 성공적으로 적용되었으며 굴착 시공시에 넓은 작업 공간을 제공하는 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 시공성을 확인할 수 있었다.
- 2) IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 거동은 강선 인장으로 인하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장이 벽체를 미는 과정에서 이론보다 약 75% 증가된 강선의 신장량을 발생시켰다.
- 3) IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 받침대 거동은 강선 인장시에는 받침대 축력이 설계 하중에 비해 약 50% 작게 측정되었으며 지반 굴착시에는 강선 인장시에 계측된 축력과 유사한 결과를 보였다. 받침대 계측 결과를 통하여 시공 단계에 따른 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 받침대 거동이 크게 변하지 않음을 확인하였다.

- 4) IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 띠장 거동은 강선 인장과 지반 굴착시에 띠장의 설계 하중보다 약 40% 감소된 계측 결과를 보였다. 띠장의 계측 결과와 계 하중 간의 하중 차이에는 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장과 벽체 간의 마찰 저항으로 인한 하중 손실이 포함되어 있는 것으로 판단된다.
- 5) 사보강재의 거동은 사보강재의 축력 계측 결과가 설계 하중(Peck)보다 약 20% 작게 측정되었다. 계측 결과를 통하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장에 작용한 토압이 사보강재로 전달되었음을 확인할 수 있었다.
- 6) 시공 단계에 따른 벽체의 횡방향 변위 결과를 통하여 IPS(Innovative Prestressed wale System) 띠장의 강선 인장시에 IPS(Innovative Prestressed wale System) 흙막이 벽체의 변위가 감소함을 확인하였다. 또한 경사계로 계측된 벽체의 최대 횡방향 변위가 Goldberg et al., Clough와 O'Rourke가 제안한 벽체 수평 변위의 위험 기준인 0.5%H를 초과하지 않았음을 확인하였다.

## 감사의 글

이 논문은 성균관대학교의 2003학년도 성균학술 연구비에 의하여 연구되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김훈걸, 한만엽, 김문영, 김성보, 한재영 (2003), “혁신적 프리스트레스트 가시설공법(IPS)에 적용되는 띠장의 거동”, 2003 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.1634 ~ 1638.
2. 박종식, 김종우, 김낙경, 이영생, 한만엽 (2003), “IPS 흙막이 공법Ⅱ - 시공사례”, 2003 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.3748 ~ 3753.
3. 박종식, 김종우, 김낙경, 이영생, 한만엽 (2003), “IPS 흙막이 공법Ⅰ - 기본원리”, 2003 대한 토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.3775 ~ 3779.
4. 박종식, 김종우, 김낙경, 이영생, 한만엽 (2003), “지하철 IPS 흙막이 공법의 설계”, ‘2003 지 반굴착/정보화시공위원회 학술발표회, 한국지 반공학회, pp.72 ~ 78.

5. 박종식, 김낙경, 한만엽, 김종우 (2004), "IPS(Innovative Prestressed Wale System) 흠막이 공법의 개발", 한국지반공학회 2004 봄학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.293 ~ 300.
6. 한국도로교통협회 (2000), 건설교통부 제정 도로교 설계 기준.
7. 한만엽, 김문영, 김성보, 민병철, 이준석 (2003), "혁신적 프리스트레스트 가시설공법의 설계", 2003 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.408 ~ 413.
8. 한만엽, 김문영, 김성보, 박동현 (2003), "혁신적 프리스트레스트 IPS 떠장의 휨강성에 관한 이론적 연구", 2003 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 3754 ~ 3759.
9. 한국지반공학회 (2003), 건설교통부 제정 구조물 기초설계 기준 해설.
10. Briaud, J.L. and Kim, N.K. (1998), "Beam-Column Method for Tieback Walls", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 1, pp.67 ~ 79.
11. Clough, G.W. and O'Rourke, D. (1990), "Construction Induced Movements of In Situ Walls", Design and Performance of Earth Retaining Structure, ASCE Geotechnical Special Publication No. 25, pp.439 ~ 468.
12. Goldberg, D.T., Jaworski, W.E. and Powers, J.P. (1976), "Lateral Support Systems and Underpinning", Reports No. FHWA-RD-75-128, 129 and 130(Vol. I, II,III), FHWA, Washington D.C.
13. Haliburton, T.A. (1968), "Numerical Analysis of Flexible Retaining Structures", Proc. ASCE, 94(SM3), pp.1233 ~ 1251.
14. Kim, N.K. and Briaud, J.L. (1994), "A Beam Column Method for Tieback Walls", Res. Rep. to Schnabel Found. and the Fed. Hwy. Admin., Dept. of Civ. Engrg., Texas A&M Univ., College Station, Tex.
15. Kim, N.K., Park, J.S., Han, M.Y., Kim, M.Y. and Kim, S.B. (2004), "Development of Innovative Prestressed Support Earth Retention System", Jour. of the KGS, Vol. 20, No. 2, March 2004 pp. 1 ~ 7.
16. Peck, R.B. (1969), "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground", Proceedings, Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State-of-the-Art Volume, pp.225 ~ 290.
17. Pfister, P., Ever, G., Guillaud, M. and Davidson, R. (1982), "Permanent Ground Anchors, Selectance Design Criteria", FHWA/RD-81/150, Federal Highway Adm., Washington, D.C.
18. Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, New York.

(접수일자 : 2004년 8월 26일)