

장경간 IPS 띠장을 적용한 대규모 지하공간 굴착 사례



정 태 익
고려개발
기술연구팀 부장



강 상 훈
(주)씨포텍
기술연구소 과장



백 진 명
(주)씨포텍
설계부 상무



한 만 엽
아주대학교
환경건설교통공학부 교수

1. 서론

경제발전과 산업발달에 따른 인구의 도시집중은 도시의 급속한 팽창과 도심의 고밀화로 이어졌고, 지상공간의 활용이 한계에 달하게 됨에 따라 토지의 이용율을 극대화하기 위하여 지하공간의 활용에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다. 따라서 지하공간의 개발이 점차 대형화, 대신도화 되고 있으며, 이에 따라 지하 굴착 시 주변지반에 미치는 영향을 최소화하면서 경제적이고 공기 단축이 가능한 지보공법의 선정은 전체 공사수행에 매우 중요한 인자로 인식되고 있다.

종래의 지보공법은 대부분 버팀보(Strut) 공법과 앵커(Ground Anchor) 공법 등에 의하여 시공되어 왔다. 그러

나 버팀보 공법은 다수의 버팀보에 의한 토공 및 본 구조물 공사의 시공성 저하, 공사비 증가, 공사기간 장기화 등의 문제점이 있으며, 앵커 공법은 굴착 현장 주변의 지하 구조물이나 지하매설물 등에 의해 제약을 받아 적용에는 한계가 있다. 따라서 이러한 문제점들을 개선한 여러 가지 지보공법이 개발되어 작업의 효율성과 안정성을 향상시키고, 공기단축 및 경제성 등에서 큰 효과를 가져왔다.

본 고에서는 60m이상의 장기간 버팀보가 계획된 기존의 흠막이 가시설 공법에서 버팀보의 설치간격을 넓게 하여 굴착작업의 효율성을 획기적으로 개선한 IPS 흠막이 공법으로 설계 변경한 시공사례를 소개함으로써 향후 동일공사를 수행하는 데 도움이 되고자 한다.

2. 현황

2.1 공사현황(가산 디지털 엠파이어)

당 현장의 계획부지는 서울시 금천구 가산동에 위치하여 북서쪽으로 지상2층의 건축물, 북동쪽으로 폭 12m 도로, 남쪽으로 폭 10m 도로, 북쪽으로는 폭 35m 도로가 인접하고 있으며, 부지는 대체적으로 평탄한 상태로 형성되어 있었다. 주변도로 하부에는 상·하수관로와 우·오수관로, 가스관로, 통신관로, 전력선 등 각종 지하매설물이 매설되어 있고, 안양천이 인접하여 위치하고 있다.

공사규모는 79.7m×74.4m로 굴착면적은 약 5,590㎡이며, 굴착 깊이는 GL(-)15.15~18.10m로 당초 흙막이 벽체는 C.I.P공법, 지보공은 버팀보공법으로 계획하였으나, 공기 및 시공상의 어려움이 예상되어 여러 가지 대안공법을 검토한 결과, 지보공을 IPS공법으로 변경하여 굴착공사의 시공성과 공사기간, 경제성 및 본 구조물의 품질향상을 도모하는 전단면 개착식 굴착공법으로 시공하였다.

2.2 지반조건

지층의 분포는 상부로부터 매립토층, 퇴적층, 잔류토

층, 풍화암, 연암으로 구성되어 있으며, 매립토층은 실트 및 자갈 섞인 모래질, 퇴적토층은 점토 섞인 모래질로써 연약한 층이 GL(-)6.0m 심도까지 분포하고 있다. 굴착면은 잔류토층과 풍화암 및 연암으로 구성되어 있고, 지하수위는 GL(-)10.3m~10.8m로 굴착면보다 상부에 위치하는 것으로 조사되었다. 그러나 대상 부지가 안양천에 인접해 위치하므로 우기시 지하수위 상승을 고려하여 지하수위를 안양천 홍수위인 GL(-)4.0m에 적용하였다. 지반정수는 각 지층별로 N값과 문헌자료를 참고하여 표 1과 같이 적용하였다.

3. IPS공법 적용에 따른 개선효과

3.1 시공성의 획기적 개선

당 현장의 당초 설계는 버팀보 공법으로 계획되어 그림 2(a)와 같이 2열의 H형강을 4.3m 수평간격으로 5개소에 설치하고 수평 브레이싱과 사방향 브레이싱 및 중간말뚝을 두는 것으로 계획하였다. 또한, 코너 버팀보는 2.5m 간격으로 2열의 H형강을 10개소에 설치하고 수평 브레이싱과 사방향 브레이싱 및 중간말뚝을 두는 것으로 계획하

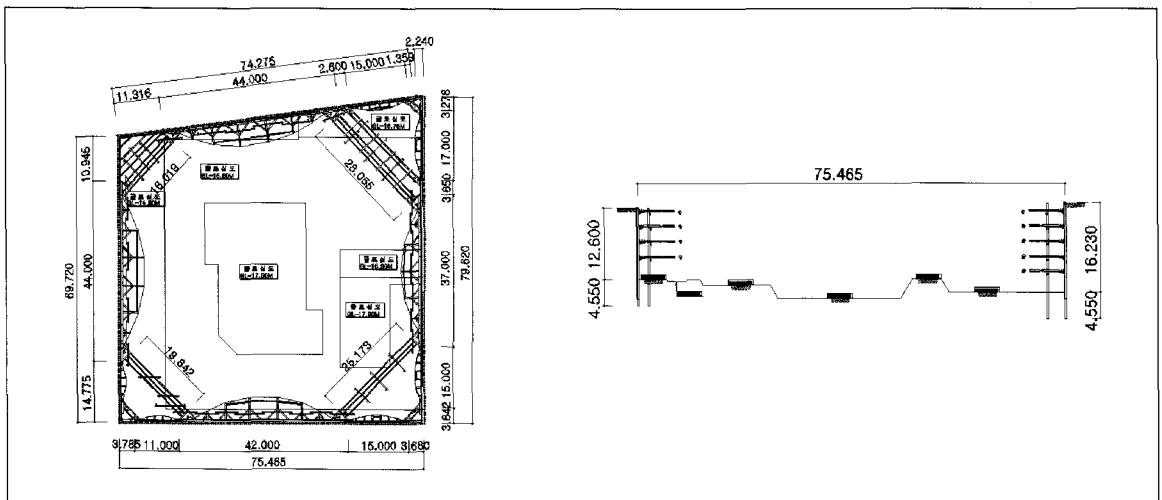
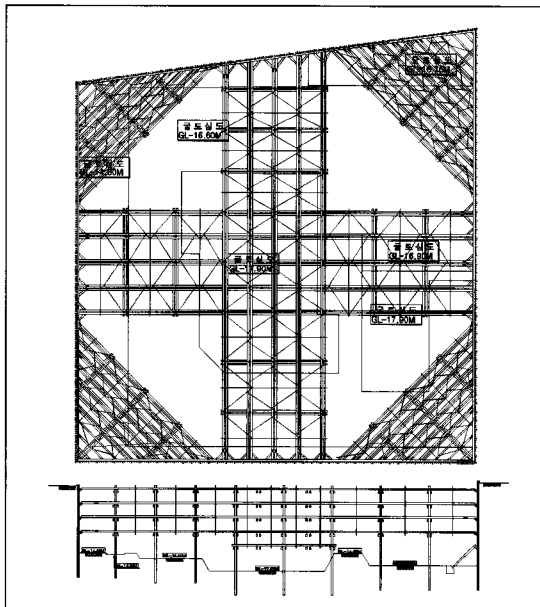


그림 1. 공사계획도

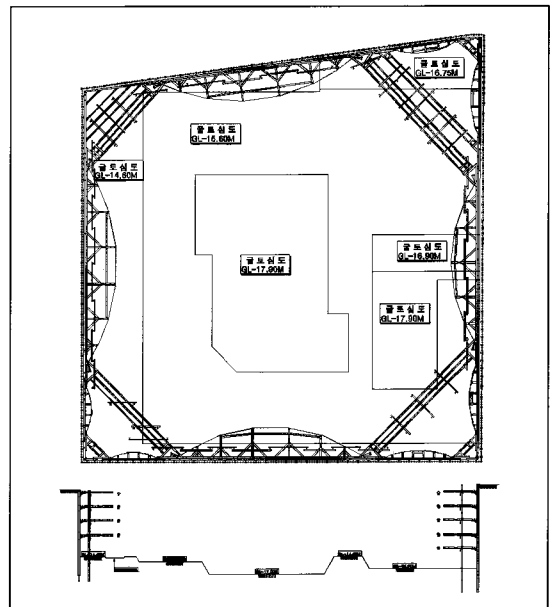
기술기사 1

표 1. 설계 적용 지반정수

구분	단위중량 (KN/m ³)	내부마찰각 (°)	점착력 (KN/m ²)	수평지반반력 계수 (KN/m ²)	적용 N값	주상도
매립토	17.75	28	0.0	11,800	3	
퇴적토(실트)	16.67	15	9.80	9,800	3	
퇴적토(모래)	17.95	29	0.0	14,700	7	
퇴적토(자갈)	18.53	30	0.0	24,500	25	
잔류토	18.63	33	9.80	26,500	30	
풍화암	20.59	35	19.61	49,000	50	
연 암	22.55	38	29.42	68,600	50	



㉔ 버팀보 공법 평·단면도(당초)



㉕ IPS 공법 평·단면도(변경)

그림 2. 가시설공법 비교도

였다. 그러나, 복잡한 버팀재와 중간말뚝의 간섭 영향으로 인해 소형 장비에 의한 굴착공사가 불가피하며, 지하 본 구조물공사 또한 중간말뚝으로 인한 대량의 Box Out 이 발생하여 공기지연, 품질저하 및 시공성이 매우 불리한 공법이었다. 따라서 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 그림 2 ㉕와 같이 수평버팀보를 제거하고, 지간이 37m~44m인 IPS띠장을 적용함으로써, 연장이 37.3m

였던 코너버팀보를 28.0m 이하로 감소시켜 좌굴 안전율을 확보하여 설계하였다.

버팀보 공법과 IPS 공법에 대한 설계 평·단면에 대한 비교도는 그림 2와 같으며, 그림 3의 공정 사진에서 보는 바와 같이 굴착공사 진행에 따른 IPS 공법의 효율성과 우수성을 육안으로 확연하게 확인할 수 있었다.

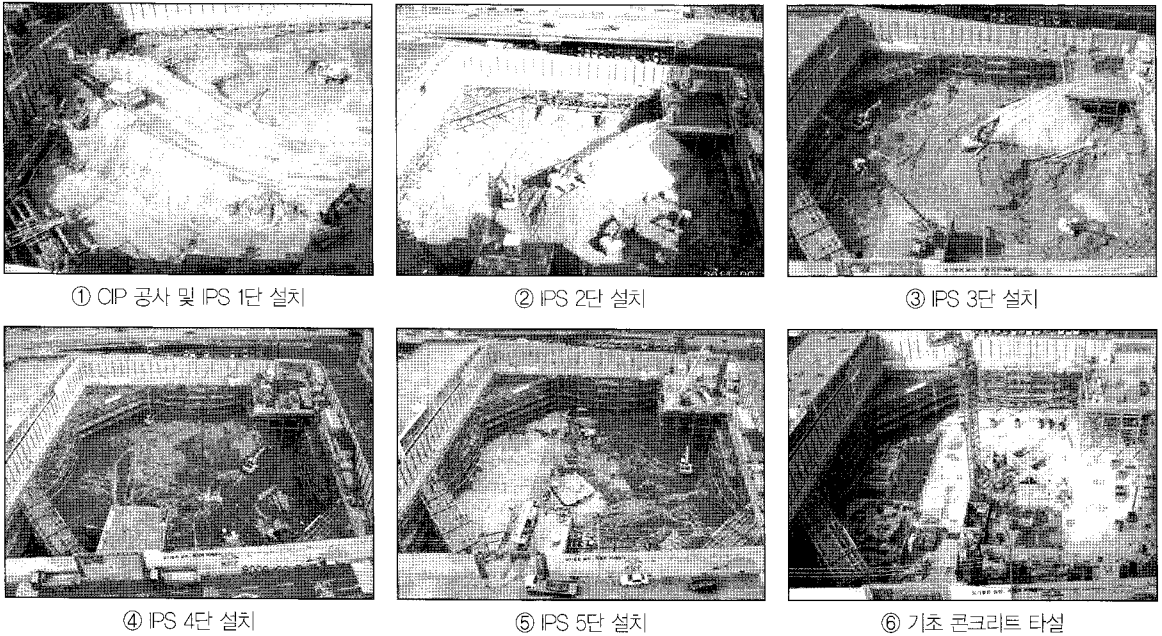


그림 3. IPS 공법 및 굴착 공정사진

표 2. IPS 공법 적용에 따른 개선효과

구분	강재량(ton)	공사비	일 토사반출량(m³)	공사기간(일)	
				토공사	구조물공사
버팀보 공법	2,401	100%	1,000	180	120
IPS 공법	1,533	75.5%	1,800	120	90
효율	36.1% 절감	24.5% 절감	180% 향상	33.3% 절감	25.0% 절감

3.2 공사비 절감

IPS 공법의 가장 큰 장점은 기존의 버팀보 공법에서는 3~4m 간격으로 설치되는 버팀보 간격을 최대 60m 이상 까지도 넓힐 수 있다는 점이다. 이러한 IPS 장경간 프리스트레스트 피장을 적용함으로써 버팀보와 중간말뚝의 개소를 대폭 축소할 수 있어 가시철 공사에 사용된 강재량을 2,401ton에서 1,533ton으로 36.1% 절감하였으며, 공사비 또한 당초대비 24.5%를 절감할 수 있었다. 또한 정량적인 분석은 이루어지지 않았으나 구조물공사의 Box Out 개소수를 대폭 줄임으로써 공사비 절감효과가 있었으며, 공기단축에 의한 간접비의 절감효과도 있었다.

3.3 공기 단축

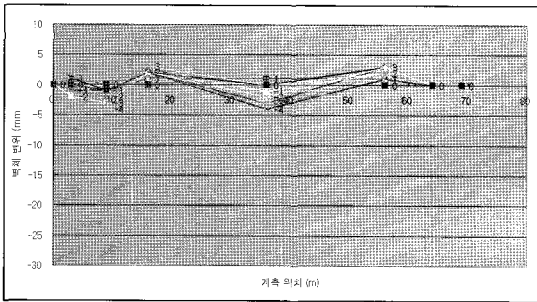
IPS 공법의 적용으로 굴착 현장 내 넓은 작업공간이 확보되어 대형 굴착장비를 충분히 운용할 수 있었으며, 지보공과 토공이 간섭 없이 동시에 수행되어 작업효율을 극대화할 수 있었다. 이에 따라 당초에 버팀보 공법으로 계획되었던 일일 평균 토사반출량 1,000m³을 1,800m³로 180% 향상시켜 굴착 공기를 180일에서 120일로 33.3% 감소시킬 수 있었다.

또한, 수평 버팀보와 벽체 및 기둥 철근의 간섭을 최소화하고, 중간파일의 개소를 대폭 줄여 슬래브의 Box Out 을 최소화하는 등의 시공성을 획기적으로 개선하여 구조

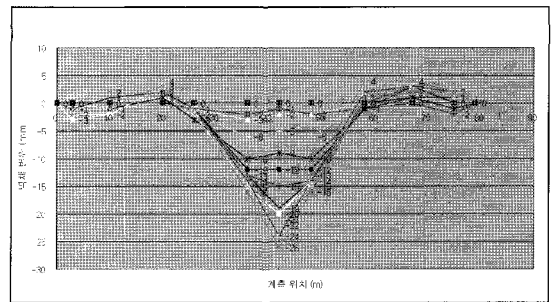
기술기사 1

표 3. 계측기 설치 현황

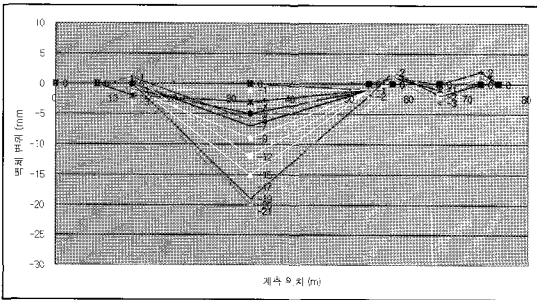
계측 항목		개소	계측기 설치 위치도
변위 계측	IPS 휨변위	4	
	지중 수평변위	4	
	주변 구조물 변위	16	
응력 계측		16	
기타계측	지표침하	11	
	연통관식 침하	4	
	지하수위 계측	4	



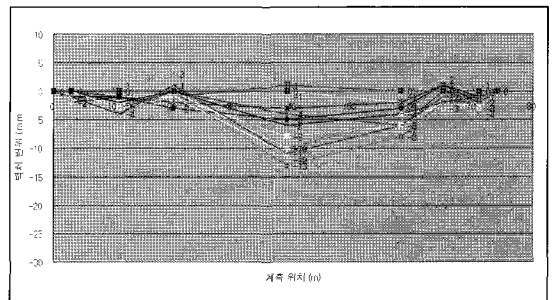
㉑ 동측 벽체 (E1)



㉒ 서측 벽체 (W1)



㉓ 남측 벽체 (S1)



㉔ 북측 벽체 (N1)

그림 4. 경과일에 따른 IPS 휨변위계 변화 그래프

물공사의 공기 또한 120일에서 90일로 단축할 수 있었다.

4. IPS공법 적용 시 계측결과

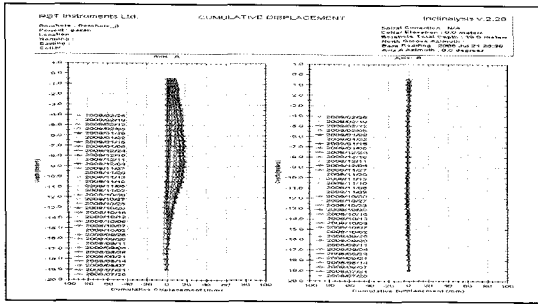
당 현장의 지층조건은 지표면으로부터 GL(-)6.0m까지 N치가 3~6인 대단히 느슨 나지 느슨한 세립질의 모래와 연약한 점토 섞인 실트층으로 구성되어 있다. 또한 주변에 2층의 건축물과 고가도로가 인접하여 위치해 있다. 따

라서 굴착공사 중 주변구조물에 미치는 영향에 대한 철저한 관리가 요구되어 주변 구조물과 토류벽의 변위 및 IPS 띠장의 휨변위 등을 측정하기 위한 계측기를 표 3과 같이 설치하여 계측을 수행하였다.

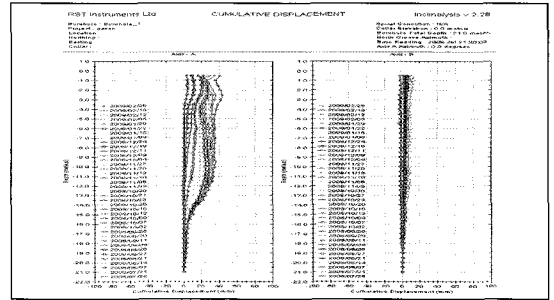
4.1 변위 계측

4.1.1 IPS 휨 변위

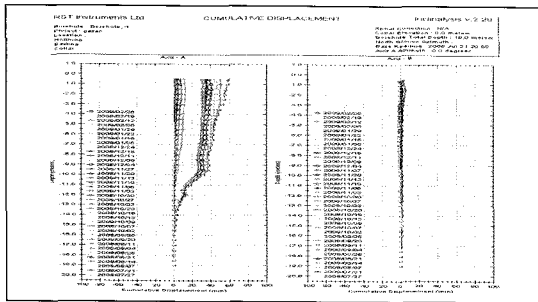
공사 현장 주변에 설치된 일반 계측기와 별도로 IPS 띠



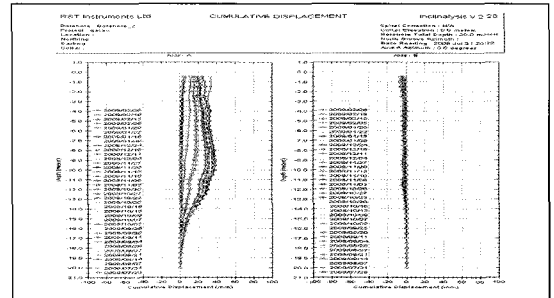
㉔ 동측 경사계



㉕ 서측 경사계



㉖ 남측 경사계



㉗ 북측 경사계

그림 5. 경과일에 따른 지중경사계 변화 그래프

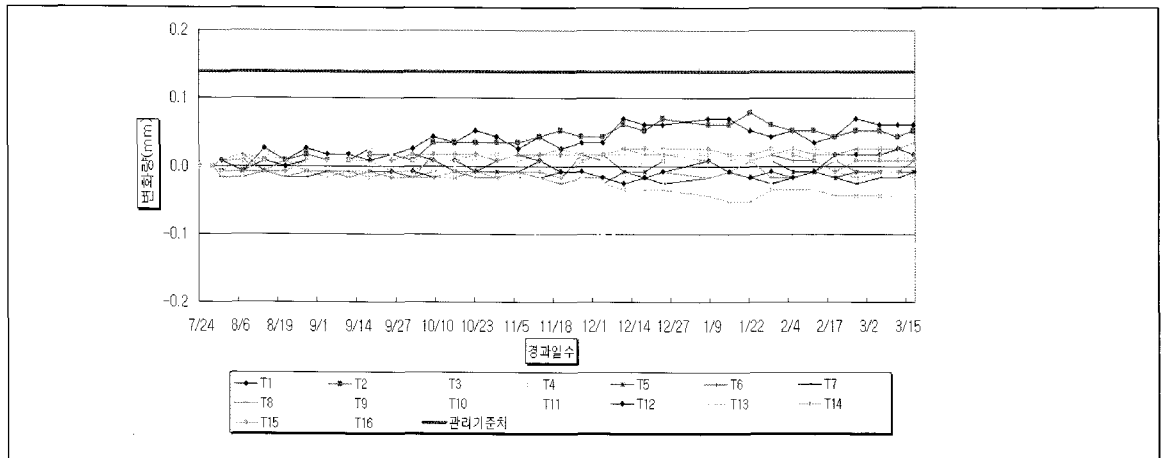


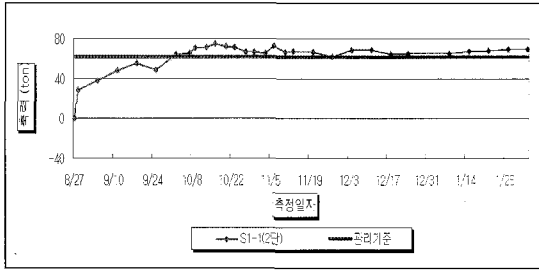
그림 6. 경과일에 따른 건물경사계 변화 그래프

장의 휨변위를 측정하기 위하여 IPS 피장에 광역변위 계측기를 매 단마다 설치하여 계측을 수행하였다. 그림 4와 같이 계측결과 최대값이 26mm로 1차 관리기준치인 44mm 보다 작게 계측되어 안정적인 상태를 보였다.

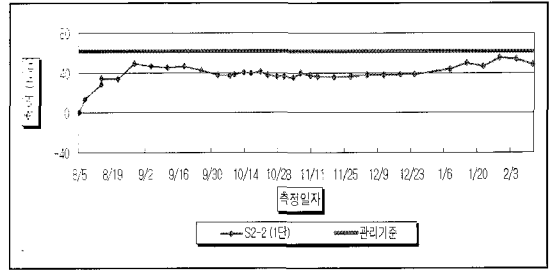
4.1.2 지중 경사계

공사진행에 따른 지중경사계의 누적변위는 18.94mm~58.72mm의 변위를 보여 일부 구간에서 1차 관리기준치(0.2% H)를 상회하였으나 주의 기준인 2차 관리기준치(0.3% H) 이내에서 수렴하는 것으로 계측되어 안

기술기사1

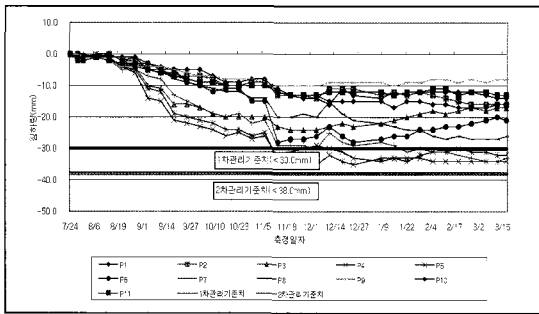


㉠ 변형률계S1-1(2단)

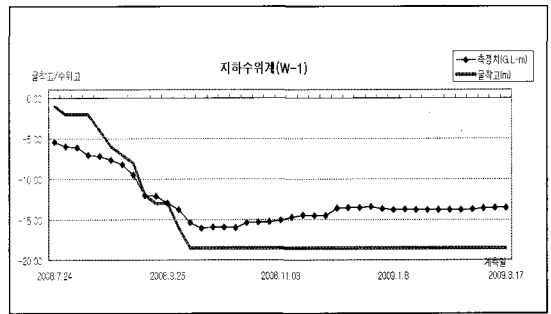


㉡ 변형률계S2-2(1단)

그림 7. 경과일에 따른 변형율계 변화 그래프



㉢ 지표침하계



㉣ 지하수위계

그림 8. 경과일에 따른 기타 계측기의 변화 그래프

정적인 상태를 보였다. 최대변위는 지표면에서부터 GL(-)9.5m 심도의 범위에서 발생하였으며, 이는 지표면으로부터 약 10.5m까지 느슨 또는 연약한 사질 및 점토질의 퇴적층이 위치하고, 지하수 유출에 따른 일부 구간 토립자 유실과 피장의 설치와 해체시에 일시적으로 발생한 변위의 영향에 의한 것으로 분석되었다. 흙막이 벽체의 최대수평변위는 지반조건 및 토류벽체의 종류에 따라 여러 가지 제안값들이 있으며, 이 중에서 Clough & O'Rourke (1990)은 단단한 점성토, 잔적토, 모래의 경우 최대수평변위량의 범위를 최대 0.5%H(H:굴착심도)로 규정하고 있다. 그림 5는 지중경사계의 경과일에 따른 누적그래프를 나타낸 것이다.

4.1.3 주변 구조물 경사계

인접한 건축물과 고가도로 등의 시설물에 미치는 영

향을 분석하고 관리하기 위하여 각 시설물마다 경사계를 설치하였으며, 경사계의 누적변위는 그림 6과 같이 -0.122mm~0.079mm로 관리기준치인 0.14mm보다 대부분 현저하게 작게 계측되어 안정적인 상태를 보였다.

4.2 응력 계측

응력의 변화를 측정하기 위해 코너 버팀보에 변형율계를 설치하였다. 변형율계의 계측값은 그림 7과 같이 최대값이 679KN으로 계측되어 1개소에서 1차 관리기준치를 상회하는 것으로 계측되었으나 주의 기준인 2차 관리기준치 이내로 계측되어 안정적인 상태를 보였다. 계측된 응력의 최대값은 지보공 해체 시에 계측된 값으로 응력의 재 배치에 따른 것으로 분석되었다.

표 4. 계측항목별 계측 결과

계측항목		관리기준		계측 최대값
		1차 (안전)	2차 (주의)	
변위 계측	IPS 휨변위(mm)	44	55	26
	지중경사(mm)	37(1/500)	61(1/300)	58.7
	주변 구조물 변위(mm)	0.14(1/700)	0.2(1/500)	0.122
변형률(KN)		64(설계치80%)	76(설계치100%)	679
기타 계측	지표침하(mm)	30(설계치80%)	38(설계치100%)	34
	연통관식 침하(mm)	25mm 미만	50mm 미만	9.23
	지하수위(m)	0.5/day, 3.5/week		2.27/week

4.3 기타 계측

기타 계측으로는 인접 지반에 대한 지표 침하계와 지하수위계 및 건축물에 대한 연통관식 침하계를 설치하여 계측을 수행하였다. 지표면의 누적 침하량은 그림 8 ㉔와 같이 9.0mm~34.0mm로 일부 구간에서 1차 관리기준치를 상회하는 것으로 계측되었으나 주의 기준인 2차관리기준치 이내에서 수렴하는 것으로 계측되어 안정적인 상태를 보였다. 지하수위는 그림 8 ㉕와 같이 최대 약 10.5m 정도 하강하는 것으로 계측되었으며, 5.0m~6.0m 하강하는 위치에서 수렴하는 것으로 계측되었다. 지하수위 하강의 원인은 계측 시점이 우기철인 7월이고 종료일이 건기철인 1월로 지하수위의 변화가 계절적인 영향을 받을 수 있는 점을 고려할 때 계절적인 영향과 굴착에 따른 수위 하강에 의한 것으로 분석되었다. 연통관식 침하계의 누적 침하량은 6.64mm~9.23mm로 관리기준치를 훨씬 하회하는 것으로 계측되어 안정적인 상태를 보였다.

계측항목별 계측결과는 표 4와 같이 관리기준치 이내로 계측되었고, 이러한 계측 결과는 지반조건이 불리한 도심지 대형 굴착현장에서도 IPS 공법의 적용성과 안정성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

당 현장은 주변에 건축물과 도로 및 고가도로가 위치하고 있으며, 지반조건이 상부에 대단히 느슨 내지 느슨한 세립질의 모래와 연약한 점토 섞인 실트층으로 구성되어 불리한 조건이었다. 또한 인접하여 안양천이 위치하므로 우기시 하천수위 상승에 따라 지하수위가 상승할 수 있는 조건을 갖고 있어, 지하굴착공사를 위한 적절한 지보공법의 선정이 성공적인 공사수행에 무엇보다 중요한 현상이었다. 이러한 제반여건을 고려하여 당초의 버팀보 공법을 IPS 공법으로 설계 변경하여 공사를 수행하였으며, 다음과 같은 효과를 얻을 수 있었다.

- (1) 가시설 공사는 사용 강재량을 2,401ton에서 1,533ton으로 36.1% 절감하였고, 공기는 버팀보 공법 대비 약 34%의 단축 효과가 있었으며, 공사비는 당초대비 24.5%를 절감하였다.
- (2) 토공작업은 일일 평균 토사반출량을 버팀보 공법 대비 1,000m³에서 1,800m³로 향상시켜 약 180%의 작업 효율성을 달성하여 공기를 180일에서 120일로 단축시켰다.
- (3) 본 구조물 공사는 철근이음 시공성의 획기적 개선과 중간파일 개소의 대폭 축소로 슬래브의 Box Out을

기술기사1

최소화하여 본 구조물의 품질을 향상시켰으며, 공기를 120일에서 90일로 단축할 수 있었다.

- (4) 주변 구조물과 토류벽에 대한 변위계 및 IPS 락장에 대한 광역변위계 등을 설치하여 계측관리를 수행한 결과 경과일에 따른 계측 결과가 모두 관리기준치를

만족하였다.

- (5) IPS 공법은 기존 버팀보 공법을 획기적으로 개선한 흠막이 가시설 공법으로써, 도심지 대형 굴착현장에서 경제성과 시공성 뿐만 아니라 안정성을 신뢰할 수 있는 우수한 지보공법이다.

[참고문헌]

1. 김낙경, 박종식, 장호준, 한만엽, 김문영, 김성보(2005), "Performance of Innovative Prestressed Support Earth Retention System in Urban Excavation, 도심지 굴착에 적용된 IPS 흠막이 구조물의 현장거동", 한국지반공학회지, Vol.21, No.2, pp.27~36.
2. 김낙경, 박종식, 한만엽, 김문영, 김성보(2004), "Development of Innovative Prestressed Support Earth Retention System, IPS 흠막이 공법의 개발", 한국지반공학회지, Vol.20, No.2, pp.107~113.
3. (주)씨포텍(2008), "가산 디지털 엠파이어 신축공사 토류구조물 설계서"
4. (주)이제이텍(2008), "가산 디지털 엠파이어 신축공사 계측관리 보고서"
5. 정서지질기술사사무소(2007), "금천구 가산동 685번지 아파트형공장 신축공사 지반지질조사 보고서"
6. 한만엽, 진경석, 강상훈, 김성보(2007), "혁신적 프리스트레스트 가시설 구조시스템(IPS)을 적용한 현장의 계측 값과 구조해석값의 비교분석에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제27권 1C호, pp.11~20.
7. 한만엽(2003), "혁신적 IPS가시설 공법의 이론과 설계", 한국 토질 및 기초 기술사회, 2003년도 가을 기술발표회 논문집, pp.421-446.