

원형강관 버팀보의 성능과 적용성



최문규
대림산업(주) 기술연구소 대리
(ilovemgc@daelim.co.kr)



이종성
대림산업(주) 기술연구소 부장



송치용
대림산업(주) 기술연구소 차장

1. 개요

산업사회의 고도화가 진행됨에 따라 도심내 건축물들은 대형화 및 고층화 되어가고 있는 추세이다. 이러한 경향들은 지하 굴착공사에도 반영되어 최근의 지하 굴착공사는 인근구조물에 인접한 근접시공 및 제한된 공간을 최대한 활용하기 위한 대심도 굴착의 특징을 지닌다.

현재 우리나라에서 상용되는 굴착공법으로는 H형강, Earth Anchor, Soil Nailing등을 가설 지보재로 이용하는 공법과 본 구조체가 토압과 수압에 대응한 흙막이벽 역할을 하고 지하구조물 축조를 병행하는 Top-down 및 SPS 공법등의 역타공법으로 크게 분류할 수 있다. 그러나 H형강을 버팀보로 이용한 공법은 좌굴에 대한 안정성 확보의 측면에서 굴착폭에 제한이 있고, Earth Anchor 및 Soil Nailing

공법의 경우에는 정착부가 인접대지를 침범하게 되어 지하구조물이나 지장물이 인접한 경우에는 공법 적용이 불가능 하며, 역타공법은 기둥 및 슬래브와 같은 구조체의 설계가 일정 수준 이상 완료된 이후에 적용이 가능하여 공기지연과 공사비 증가를 초래할 수 있고 토사반출, 장비의 이동성, 환기상태 등의 작업환경이 열악하다는 단점을 지닌다.

도심지 대형 건축물 터파기 공사에서 상기의 굴착폭의 제한, 인접대지 이용불가 및 공기지연등의 문제점을 극복할 수 있는 방법중의 하나는 원형강관을 가설 버팀보로 이용하는 방법이다. 원형강관은 기존의 버팀보로 이용되던 H형강에 비해 강축·약축의 구별이 없어 단면성능이 뛰어나고 좌굴에 상대적으로 강하여 작업공간 확보의 측면에서 유리하다.

본고에서는 국내 적용사례가 매우 드문 원형강관 버팀보의 허용축방향압축하중을 산정하고 이를 H

원형강관 버팀보의 성능과 적용성

형강 버팀보를 이용하도록 설계된 현장에 적용하여 작업공간 확보 및 재료 사용량 차원에서 비교해 봄으로써, 원형강관이 도심지 대형굴착현장에서 버팀보로 적용될 경우의 성능을 소개하고자 한다.

2. 원형강관의 단면적 우수성

2.1 단면 제원

현재 우리나라에서 보편적으로 이용되는 버팀보는 H-300×300×10×15 형강으로 적용현장의 지반 및 굴착여건에 따라 단독 또는 2개의 형강을 결속하여 이용하고 있다. 본고에서의 원형강관은 비교검토 대상인 H-300×300×10×15, 2H-300×300×10×15 형강과 비슷한 단면적을 가질 수 있도록

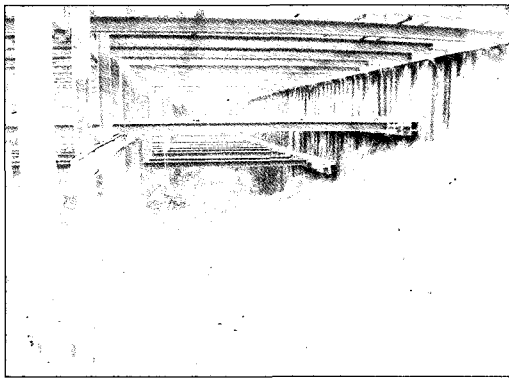


그림 1. H형강 버팀보 공법

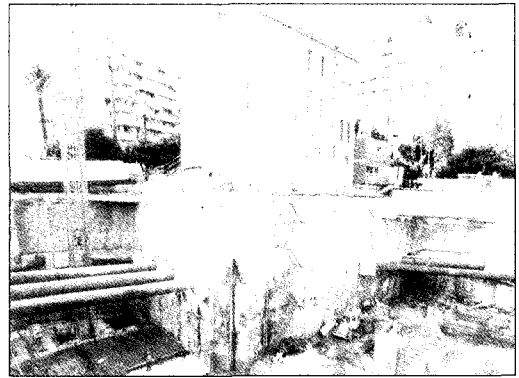


그림 2. 원형강관 버팀보 공법

표 1. H형강 및 원형강관의 제원비교

구 분	단면적, A(cm ²)	단면 2차모멘트, I(cm ⁴)	단면 2차반경, r(cm ³)	단면계수, Z(cm ³)
H-300×300×10×15	119.8	6,750	7.5	450
2H-300×300×10×15	239.6	13,500	7.5	900
Φ400×10t	122.5	23,310	13.8	1,165
Φ800×10t	248.1	193,646	27.9	4,841

표 2. 허용축방향압축응력 및 허용휨압축응력

구 분	허용축방향압축응력, f_{ca}	허용휨압축응력, f_{ba}
산정식	$1,400 : \frac{l}{r} \leq 20$	$1,400 : \frac{l}{b} \leq 4.5$
	$1,400 - 8.4(\frac{l}{r} - 20) : 20 < \frac{l}{r} \leq 93$	
	$\frac{12,000,000}{6,700 + \frac{l^2}{r}} : 93 < \frac{l}{r}$	

두께를 10mm, 직경을 400 및 800mm로 가정하였다. 표 1에서는 H형강과 원형강관의 허용축방향압축하중을 산정하기 위해 약축 기준의 강재별 단면제원을 나타냈다.

2.2 허용축방향압축하중 산정

현재 우리나라 도로교 설계기준·해설(대한토목학회, 2003)에 명시된 SS400 강종에 대한 허용축방향압축응력 및 허용휨압축응력에 대한 기준은 표 2와 같으며, 압축방향의 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 경우에는 식 (1)과 같은 안전기준을

제시하고 있다.

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}})} \leq 1 \quad (1)$$

여기서, f_c : 단면에 작용하는 축방향력에 의한 인장 및 압축응력(kgf/cm²)

f_{caz} : 압축방향의 허용응력(kgf/cm²)

f_{bcz} : 압축둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨인장응력(kgf/cm²)

f_{bao} : 국부좌굴을 고려하지 않은 허용휨압축응력의 상한값(kgf/cm²)

표 3. 허용축방향압축하중 비교

구분	f_{caz} (kgf/cm ²)	f_{bcz} (kgf/cm ²)	f_{bao} (kgf/cm ²)	f_{Ez} (kgf/cm ²)	f_c (kgf/cm ²)	A(cm ²)	N _{max} (tonf)
H-300×300×10×15	1169.7	225.2	1422.1	1052.8	447.5	119.8	53.6
2H-300×300×10×15	1169.7	112.6	1841.9	1052.8	500.8	239.6	120.0
∅400×10t	1712.4	262.8	1632.0	1746.3	732.0	122.5	89.6
∅800×10t	2036.2	63.2	1947.0	2210.7	1027.1	248.1	254.8

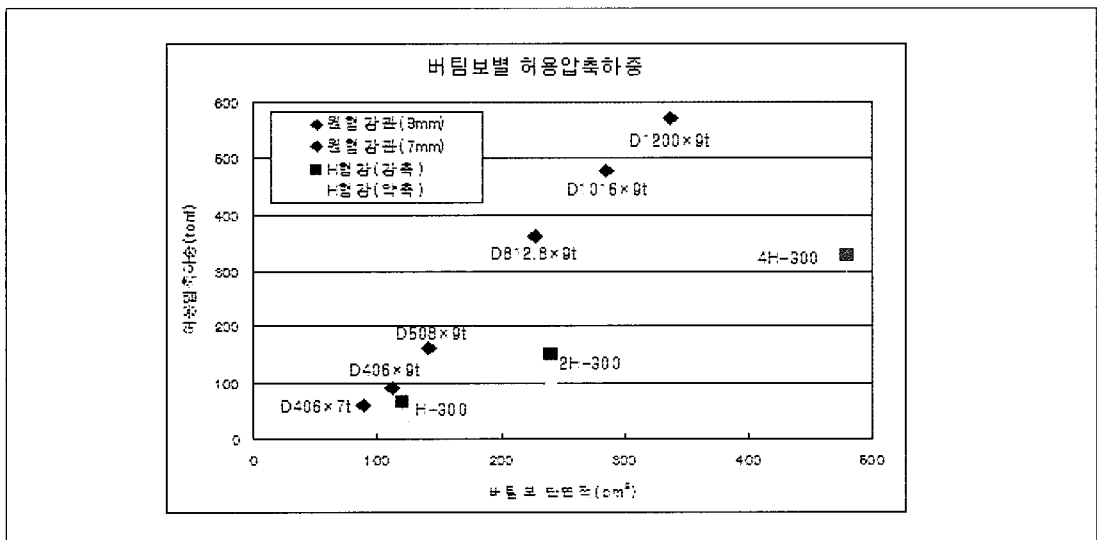


그림 3. 버팀보 단면적에 따른 허용압축하중 비교

원형강관 버팀보의 성능과 적용성

표 4. 중간말뚝 간격에 따른 허용축방향압축하중

구 분	버팀보 간격에 따른 허용축방향압축하중(tonf)						비고
	7m	8m	9m	10m	12m	15m	
H-300×300×10×15	53.6	49.6	45.2	40.3	28.8	7.7	
2H-300×300×10×15	120.0	116.0	111.6	106.6	95.2	74.1	
φ400×10t	89.6	84.6	79.0	72.7	58.2	31.3	
φ800×10t	254.8	252.3	249.4	246.3	239.0	225.5	254.8

$$f_{Ez} : 12,000,000/(l/rz)^2$$

l : 유효좌굴길이(cm)

rz : 단면 2차반경(cm)

표 2 및 식 (1)의 관계식에 중간말뚝 7m, 버팀보의 자중 및 적재로 인한 0.5(tonf/m)의 등분포 하중, 가설부재로서의 강재할증률 1.5 및 구재사용에 따른 할증률 0.9를 고려하여 버팀보별 약축방향의 축방향압축응력을 산정하고 여기에 단면적을 고려한 허용축방향압축하중을 산정하면 표 3과 같으며 상기의 계산방법을 형강 결속갯수, 직경 및 두께가 다른 강관으로 확장하여 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 원형강관은 단면적이 비슷한 H형강에 비해 최소 67% 이상의 우수한 허용축방향 압축하중을 지닌다.

또한 상기의 허용축방향압축하중 산정조건에서 중간말뚝의 간격을 변화시켜 버팀보별 허용축방향 압축하중을 재산정하면 표 4와 같으며, 이는 원형강관의 경우 중간말뚝 간격의 증가에도 허용축방향 압축하중의 감소폭이 H형강에 비해 적음을 보여주고 있어 원형강관이 가지는 단면적 우수성이 재확인되고 있다.

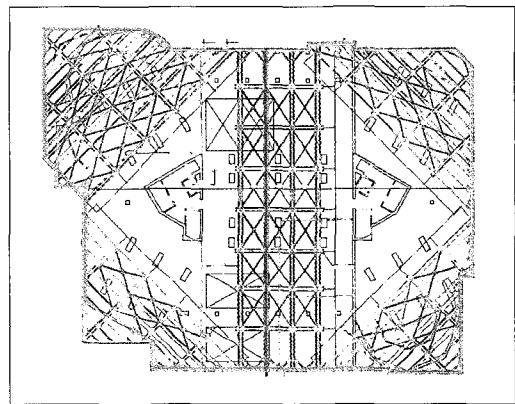


그림 4. 굴착 평면도

표 5. 굴착개요

구분	굴착개요
굴착고	25m
지지형식	버팀보
토류벽체	C.I.P
계획된 버팀보 제원	2H-300×300×10×15
중간말뚝 설치간격	7.0m

3. 현장 적용

3.1 현장 굴착개요 및 지반조건

○○공사의 현장부지는 71m×55m 크기의 직사각형으로 인근에 기존 빌딩등의 지하구조물이 위치하고 있어 앵커시공이 불가하므로 2단 결속된 H형강을 버팀보로 이용하여 굴착하도록 계획되었다. 굴

표 6. 지반물성치

구 분	심도 G.L.(-) m	N값	단위중량 (t/m ³)	점착력 (t/m ²)	내부마찰각 (°)	횡방향 지반 반력계수(t/m ³)	비고
퇴적층(실트질 모래)	8.5	6~14	1.8	0	24	1,430	지하수위 G.L.(-) 7m
퇴적층(사갈질 모래)	12.9	30	1.8	0	27	1,830	
풍화토층(모래자갈)	19.5	15~27	1.9	0	33	2,750	
풍화토층(실트질 모래)	20.3	50	2.0	0	35	3,400	
풍화암	23.1	50	2.0	3	40	4,000	
연암	29.1	50	2.1	5	43	5,000	

표 7. 설치간격에 따른 버팀보별 축방향압축하중

수직간격 (m)	수평간격 (m)	H-300×300×10×15 (Nmax=53.6 tonf)	2H-300×300×10×15 (Nmax=120.0 tonf)	Ø400×10t (Nmax=89.6 tonf)	Ø800×10t (Nmax=254.8 tonf)	
2.0	3.0	108.3	115.7	O.K	107.6	117.6
	4.0	134.7				151.8
2.5	3.0	125.2	132.4	N.G	125.9	145.6
	4.0	158.8				172.4
3.0	3.0	146.9	154.9	N.G	147.5	156.5
	4.0	193.3				207

차고는 25m의 대심도이며 버팀보가 포함된 평면도 및 굴착세부내용은 각각 그림 4 및 표 5와 같다.

사업부지내에서 수행된 시추조사 결과에 따르면 보편적으로 상부로부터 실트질 모래층, 모래자갈층, 풍화암, 연암의 순으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 실트질 모래층이 두껍고 풍화암의 심도가 낮아 지반조건이 가장 불리할 것으로 판단되는 시추공의 지반물성치를 나타내면 표 6과 같다.

3.2 버팀보별 작용 축방향압축하중 산정

흙막이 가시설 설계 프로그램인 Sunex 5.5를 이용하여 굴착과정에서 버팀보에 작용하는 최대 축방향압축하중을 산정하면 표 7과 같다. H-300×300×10×15, 2H-300×300×10×15 및 Ø400×10t 버팀보는 일부의 경우를 제외하고는 산정된 축방향

압축하중이 버팀보의 허용축방향압축하중을 상회하여 버팀보로서의 안정성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 Ø800×10t 버팀보의 경우에는 허용축방향압축하중이 산정된 축방향압축하중을 상회하여 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

3.3 자재중량 및 자재비 비교

비교대상 버팀보는 표 7에서 안정성이 확보된 것으로 나타난 2H-300×300×10×15, Ø800×10t로 선정하였고 중간말뚝 및 버팀보의 수직·수평 간격은 안정성이 확보된 범위내에서 최대의 경우를 적용하여, 원형강관이 버팀보로 적용될 경우 사용자 자재중량의 감소정도 및 자재비의 변화정도를 정량적으로 산정하였다. 또한 사용 재료중량 및 재료비의 비교를 효과적으로 수행하기 위해 C.I.P 토류벽체

원형강관 버팀보의 성능과 적용성

표 8. 버팀보별 재료중량 비교

구 분	중간말뚝 간격 (m)	버팀보		재료중량 (tonf)					비고
		설치간격(m)		중간말뚝	버팀보	띠장	브레이싱	계	
		수직	수평						
2H-300×300×10×15	7	2.0	3.0	222	1976	272	105	2575	28.7%
∅800×10t	15	3.0	4.0	109	1285	396	45	1835	절감

표 9. 버팀보별 자재비 비교

구 분	중간말뚝 간격 (m)	버팀보		재료중량 (tonf)					비고
		설치간격(m)		중간말뚝	버팀보	띠장	브레이싱	계	
		수직	수평						
2H-300×300×10×15	7	2.0	3.0	27,589	245,056	33,785	12,616	319,046	26.5%
∅800×10t	15	3.0	4.0	13,575	335,380	49,142	5,407	403,504	상승

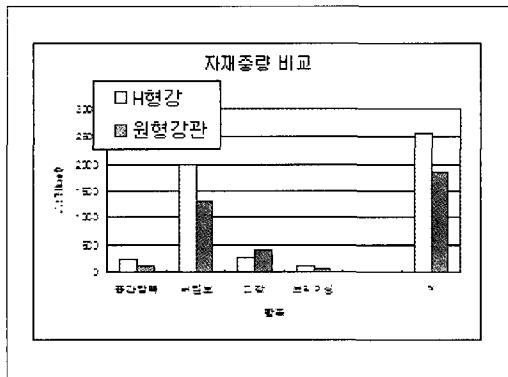


그림 5. 버팀보별 사용 재료중량 비교

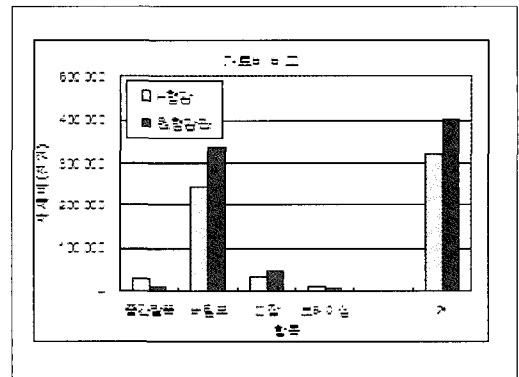


그림 6. 버팀보별 사용 자재비 비교

시공에 사용되는 재료 및 보결이와 같은 세부분야는 제외하였다. 상기의 조건을 바탕으로 자재중량 및 자재비를 비교한 결과는 표 8, 9 및 그림 5, 6과 같다.

표 8 및 그림 5에서 나타난 바와 같이 원형강관을 버팀보로 이용할 경우 유사한 단면적을 가진 H형강 버팀보에 비해 강제 소요량을 28.7% 절감할 수 있는 것으로 나타났으나 사용 자재비 비교의 경우에는 H형강에 비해 상대적으로 고가인 원형강관의 가격이 반영되어 표 9 및 그림 6에서 나타난 바와 같이 원형강관이 이용될 경우 자재비가 26.5% 증가하는 것으로 나타났다.

그러나 원형강관의 경우 H형강에 비해 부재간의 설치간격이 증가하여 부재시공 및 연결에 소요되는 작업량이 작고 작업공간의 확보가 용이함을 고려할 때, 자재비 증가부분에 대한 별종의 효과 뿐만 아니라 공기단축의 부분에서도 긍정적인 역할을 할 것으로 예상된다.

4. 결 론

- 1) 원형강관 버팀보 공법은 인접대지 침범의 문

제로 인해 앵커시공이 불가하고 좌굴장의 한 계로 사용자재량이 많아 작업공간이 협소한 도심지 대형굴착현장에 적용 가능한 공법중의 하나이다.

2) 버팀보로 이용되는 원형강관은 강축·약축의 구별이 없어 유사한 단면적의 H형강에 비해 큰 허용축방향압축하중을 발현한다.

3) 원형강관 및 2열 결속된 H형강을 임의의 현장에 버팀보로 적용하여 사용 자재량과 자재비를 비교한 결과, 원형강관의 경우 H형강에 비해 사용 자재량은 감소하나 상대적으로 고가인 원형강관의 가격으로 인해 자재비는 증가하였다.

4) 원형강관은 H형강에 비해 우수한 허용축방향 압축하중을 바탕으로 부재간의 설치간격을 증가시켜 작업공간 확보, 부재시공 및 연결에 소요되는 작업량 감소에 기여할 수 있으므로 자재

비 증가부분에 대한 벌충 및 공기단축의 부분에서 긍정적인 역할을 할 것으로 예상된다.

5) 현재까지 국내에서 원형강관을 버팀보로 이용한 사례는 매우 희소하나 H형강과 같이 구재사용이 보편화되어 사용단가가 낮아질 경우에는 원형강관 버팀보의 이용사례가 확대될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 대한토목학회 (2003) 도로교설계기준·해설 pp. 136-141, 189-192
2. Istemi Faruk Ozkan and Magdi Mohareb (2003) Testing of Steel Pipes Under Bending, Twist and Shear, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 129, pp. 1350-1357

