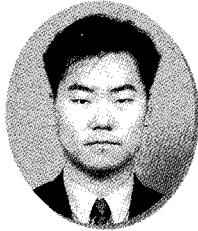
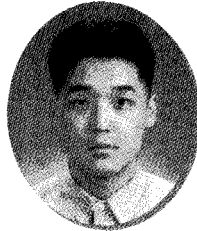


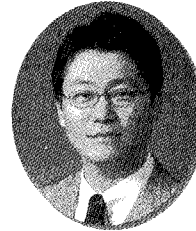
고강도 강관 버팀보 국내외 적용사례



나 승 민
포항산업과학연구원,
토목구조연구실, 책임연구원
(lasm@rist.re.kr)



이 종 구
포항산업과학연구원,
토목구조연구실, 선임연구원



이 용 주
포항산업과학연구원,
토목구조연구실, 선임연구원

1. 개요

최근 들어 국내에서는 지반굴착과 관련하여 크고 작은 지반붕괴사고가 연이어 발생하고 있다. 이러한 지반붕괴사고가 우리 사회에 미치는 심각한 문제는 단순한 지반붕괴에 그치지 않고 인접건물 및 시설물에 대한 심각한 손상과 더불어 치명적인 인명사고를 동반한다는 것이다. 따라서 지반굴착과 관련한 가설 흠막이 구조물의 안정성이 무엇보다 중요시 되고 있다. 본 고에서는 가설 흠막이 구조물 중 가설벽체를 지지하는 버팀보의 일반적인 소재인 H형강을 고강도 강관으로 대체하여 국내 및 국외에 적용된 사례를 중심으로 소개하고자 한다.

일반적으로 흠막이 벽체의 버팀보로 적용되는 H형강은 형상적인 특성으로 인해 강축과 약축을 갖게 되는데, 버팀보와 같은 압축부재로 사용할 경우에는

약축방향으로 좌굴에 대해서 불리하게 되며 이를 위해 브레이싱과 같은 보강재를 병행해서 설계해야 한다. 이러한 보강재는 모든 버팀보들을 상호 연결해주는 장점도 있으나, 버팀보 위에 작업자가 올라가서 직접 설치하는 위험한 작업이 발생되고 갑작스러운 약축방향 파괴에 의해 타 버팀보까지 그 영향을 미치게 되는 단점을 갖고 있다. 더불어 브레이싱재는 지반굴착 및 본 구조물 시공시에 작업에 대한 장애물로 작용하며 다양한 작업량에 의해 가설공사의 공사비를 높이는 원인이 되었다.

국내에서 일반적으로 사용되고 있는 H형강 버팀보의 단면사양은 H-300x300x10x15, H-300x 305x 15x15의 2종류라고 할 수 있다. 이에 비해 고강도 강관 버팀보는 강축, 약축의 구분이 없어 좌굴 및 비틀림에 유리한 구조단면을 갖고 있고 수평, 수직 브레이싱이 필요 없어 공사비, 공사기간, 시공성(버팀보

고강도 강관 버팀보 국내의 적용사례

설치/해체, 지반굴착, 본 구조물 시공 등이 H형강 보다 상대적으로 유리함으로 해외에서 대부분의 버팀보 형식으로 사용되고 있다. H형강과 고강도 강관 버팀보의 비교는 표 1과 같다.

브레이싱재 생략으로 전체 가시설 공사비의 약 10~30% 정도의 절감이 가능하다. 지하차도 왕복 4차로의 사례를 대상으로 대안설계를 실시한 결과 약 45%의 강재량 절감이 가능했으며 공사비에서는 약 22%의 절감이 가능하다(그림 1 참조).

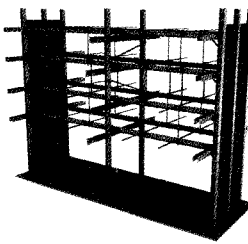
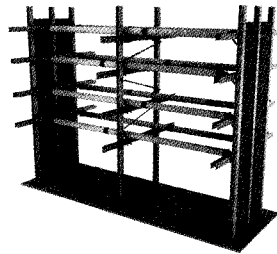
2. 고강도 강관 버팀보 특징

2.1 경제성

고강도 강관 버팀보를 통상 기준 H형강과 동일한 수직/수평 간격으로 시공할 경우에는 강재량 감소와

상기의 비교는 버팀보의 수직/수평 간격을 H형강과 동일하게 설정했을 때의 경우이며 흠막이벽체의 강성이 클 경우에는 버팀보의 수직 간격, 띠장의 강성이 클 경우에는 버팀보의 수평 간격을 극대화하여 추가적인 경제성 향상이 가능하다. 실제 외국에서는 지중연속벽과 같이 영구적으로 사용될 강성벽체와 강관 버팀보를 병행하여 시공하는 공법이 활발하게

표 1. H형강 버팀보와 고강도 강관 버팀보의 비교

구분	H형강 버팀보	고강도 강관 버팀보
개념도		
기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 강축/약축 구분 있음 - 약축 방향은 좌굴에 불리 - 비틀림에 대해 불리 - 버팀보 수평 간격 제한적 - 수평/수직 보강재 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 강축/약축 구분 없음 - 좌굴 및 비틀림에 대해 유리 - 버팀보 수평 간격 최대화 가능 - 수평/수직 보강재 불필요
시공적 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 연결 및 해체 등 세부 시공기술 보편화 되어 있음 - 보강재 설치/해체를 위한 추가 공정 발생 - 버팀보 위에서의 작업공정 발생에 따른 위험 요소 있음 - 본 구조물 시공시 장애물 다수 발생 - 공사기간 상대적 불리 	<ul style="list-style-type: none"> - 플렌지 타입 이음부 보편화 - 신규 버팀보용 연결부 개발 원료 - 보강재 관련 추가 공정 없음 - 버팀보 위에서의 작업공정 최소화 가능 - 본 구조물 시공시 장애물 최소화 가능 - 공사기간 최소화 가능
경제적 측면	<ul style="list-style-type: none"> - 상대적으로 공사비 고가 - 소규모 현장에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> - H형강 대비 15~40% 공사비 절감 가능 - 중대형 규모의 현장에서 유리
적용현황	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 및 일본에서 보편적으로 사용 - 국내 시공실적 다수 보유 	<ul style="list-style-type: none"> - 북미, 유럽 등 국내와 일본을 제외한 다른 나라에서는 가장 많이 쓰이는 버팀보 형식

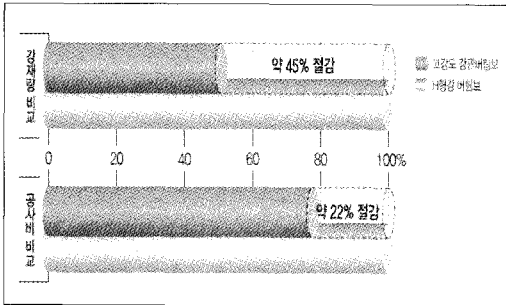


그림 1. 지하차도 왕복 4차로에 대한 대안설계를 통한 경제성 비교 결과

현장 적용되고 있으며 토류벽을 이용한 흙막이벽을 사용하더라도 국내보다는 다양한 규격의 띠장을 자유롭게 사용함으로써 버팀보의 수평 간격을 최대화하여 경제성을 극대화하고 있다. 이와 같이 수직/수평 간격을 보다 넓히는 것은 내하력이 크고 비교적 작은 단위중량의 변화로도 큰 단면력을 가질 수 있는 강관 버팀보의 장점을 극대화하는 방법이다.

최문규 등(2007)은 버팀보로 이용되는 원형강관은 강축·약축의 구별이 없어 유사한 단면적의 H형강에 비해 큰 허용축방향압축하중을 발현할 수 있으므로 부재간의 설치간격을 증가시켜 작업공간 확보, 부재 시공 및 연결에 소요되는 작업량 감소에 기여할 수 있으므로 자재비 증가부분에 대한 벌충 및 공기단축의 부분에서 긍정적인 역할을 할 것으로 예상된다 고 하였다. 또한 이러한 원형강관 버팀보 공법은 인접대지

침범의 문제로 인해 앵커시공이 불가하고 좌굴장의 한계로 사용자재량이 많아 작업공간이 협소한 도심지 대형굴착현장에 적용 가능한 공법중의 하나이다.

2.2 시공성

설계상에서 직접적인 공사비 절감이 표현되는 것과 별도로 공사중에 발생하는 부가적인 공사비 절감은 시공성에서 나타난다. 고강도 강관 버팀보는 브레이싱재 생략으로 인해 버팀보 위에서 직접 용접 또는 볼트로 체결하는 브레이싱재를 포함한 부속재의 설치 및 해체가 없으므로 위험한 고공작업이 불필요하며 버팀보의 시공속도도 H형강 대비 훨씬 빠르다. 또한 기존 H형강 대비 약 73%의 단위중량을 갖기 때문에 운반, 설치, 해체가 상대적으로 용이하다.

지반 굴착시에도 보다 적은 간섭으로 굴착 용량이 큰 장비를 이용하여 빠른 속도로 굴착이 가능하다. 더불어 지반굴착이 완료되고 본 구조물의 시공이 진행될 때에는 본 구조물의 방해가 되는 장애물이 최소화되고 버팀보의 해체 또한 용이하다.

2차례의 현장적용을 통해 고강도 강관 버팀보의 시공성을 분석해 본 결과 전체적으로 모든 공정에서 기존 H형강 대비 훨씬 용이하고 빠른 시공성을 나타냈으며 전체적으로는 약 30%의 공기단축이 가능한 것을 확인할 수 있었다(그림 2 참조).

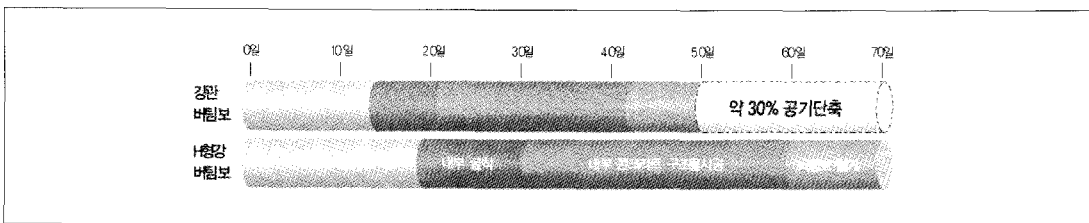


그림 2. 고강도 강관 버팀보와 H형강 버팀보의 공사기간 비교 결과

2.3 안정성

고강도 강관 버팀보는 구조성능 측면에서 H형강 대비 단면효율이 뛰어나다. 즉, 단위중량 대비 허용 하중이 훨씬 높다. 직접적인 구조 거동 형태를 살펴 보면, 동일한 신재하중이 작용하도록 버팀보의 무보강 길이를 조정하여 순수 압축실험을 수행하고 이에 대한 고강도 강관 버팀보와 H형강 버팀보의 거동은 그림 3과 같다. H형강 버팀보의 경우에는 최대하중까지 약 10mm의 변위를 나타낸 후 약축방향으로의 국부좌굴이 발생하고 갑작스럽게 큰 변위를 나타내며 파괴가 이루어진 반면에 고강도 강관 버팀보는 최대하중까지 약 40mm의 변위를 나타내며 그 이후에도 완만하게 하중 저감과 추가 변위가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 현장에서 H형강 버팀보가 갑작스런 변위와 함께 파괴가 일어나는 반면에 고강도 강관 버팀보는 이에 대비 약 4배의 변위를 허용함으로써 시공자로 하여금 보다 정밀하게 버팀보의 거동특성을 파악하여 파괴를 예측할 수 있도록 해주며 파해가 발생한 경우에도 대응책을 세울 수 있는 기회를 제공하는 것을 의미한다.

일반적으로 H형강 버팀보는 강축에 대해서는 중

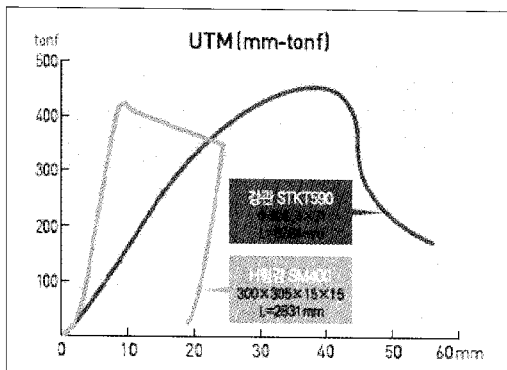


그림 3. 고강도 강관 버팀보와 H형강 버팀보의 순수 압축실험 결과

간말뚝 간격으로, 약축에 대해서는 브레이싱재 간격으로 설계를 수행하게 된다. 실질적인 H형강 버팀보의 파괴는 주로 약축방향으로 일어나며 이는 H형강 (90x90x10) 브레이싱재의 용접 및 볼트만을 통해서 완전 고정단을 통한 좌굴길이 조정이 거의 불가능하기 때문이다. 또한 버팀보를 모두 브레이싱재를 통해 연결하여 어느 정도의 하중을 분담하여 안전율을 높이고록 하는 것은 파괴가 발생할 경우에는 전체 지보재들에 영향을 미치게 되어 흠막이벽 전체의 위험도를 높여지게 되는 결과를 가져다 주게 된다.

3. 고강도 강관 버팀보 국내 적용사례

3.1 서울 OO 환기구 이설공사

3.1.1 현장개요

본 현장은 국내에서 고강도 강관 버팀보를 최초로 적용한 현장으로써 서울 지하철 5호선 OO역 주변에 위치하며 경인-마포로축 중앙 버스 전용차로를 설치하기 위한 차로 확대를 위하여 지하철 환기구를 이설하는 현장이다. 현장전경은 그림 4에 나타나 있으며 상당히 좁은 공간에서 기존 환기구의 해체와 신설 환기구의 시공이 동시에 이루어져야 하므로 작업공간 확보를 위하여 중간말뚝과 브레이싱이 필요 없는 고강도 강관 버팀보를 적용하게 되었다. 또한, 현장의 위치는 차량의 통행이 많아 낮시간에도 상승적으로 정체가 되는 지역이므로 가시설 공사에서 공기단축이 가능한 강관 버팀보 공법의 장점이 부각되었다.

3.1.2 가시설 단면

본 현장은 굴착심도가 최대 6.0m이며 굴착폭은

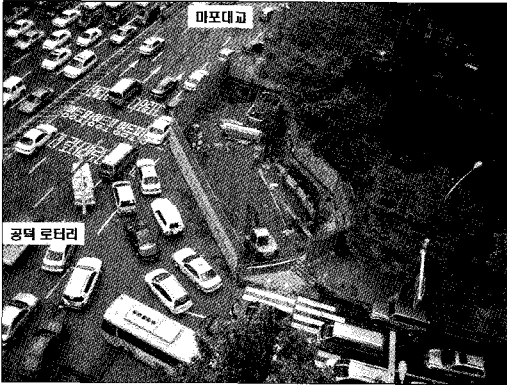


그림 4. 00 환기구 이설공사 현장전경

7.5m인 소규모 굴착현장으로써 H-Pile 토류벽에 2단 버팀보를 적용하는 것으로 설계되었다. 가시설의 단면도와 평면도는 각각 그림 5와 그림 6에 나타나 있는데 최대 길이 10m인 버팀보도 중간말뚝이나 브레이싱이 없이 설계되어 내부 작업공간을 최대한 확보하도록 하였다. 본 현장에 H형강 버팀보를 적용할 경우에는 중간말뚝이 9개 가량 필요하므로 그만큼 공사비나 공사기간이 증가하며 또한, 작업공간도 제약을 받게 된다. 적용한 강관의 제원은 직경 406.4mm, 두께 7.0mm이며 소재는 STKT590로서 총 5.2톤이 소요되었다.

3.1.3 강관 버팀보의 시공

본 현장에서는 최대 굴착폭이 10m정도이며 굴착 심도가 깊지 않아 중간말뚝이나 강관과의 연결 없이 통관을 그대로 길이에 맞게 절단하여 피장에 연결하였다. H형강 버팀보에 익숙한 현장 작업자들이 처음으로 강관 버팀보를 다루어 보는 현장이므로 버팀보의 취급에 약간의 불편은 있었지만 기본적으로 H형강 버팀보의 시공과 동일하므로 버팀보의 시공에서 별다른 어려운 점은 없었다. 오히려 강관 버팀보를

적용함에 따라 내부 공간이 넓어져서 환기구의 해체 및 신설 공사를 빠르게 수행하는데 많은 도움이 되었다. 강관 버팀보는 그림 7에 나타난 바와 같이 볼트연

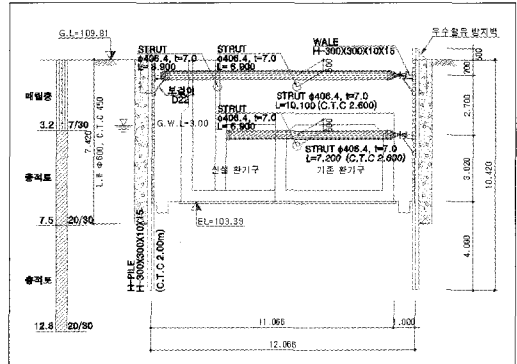


그림 5. 00 환기구 이설공사 가시설 단면도

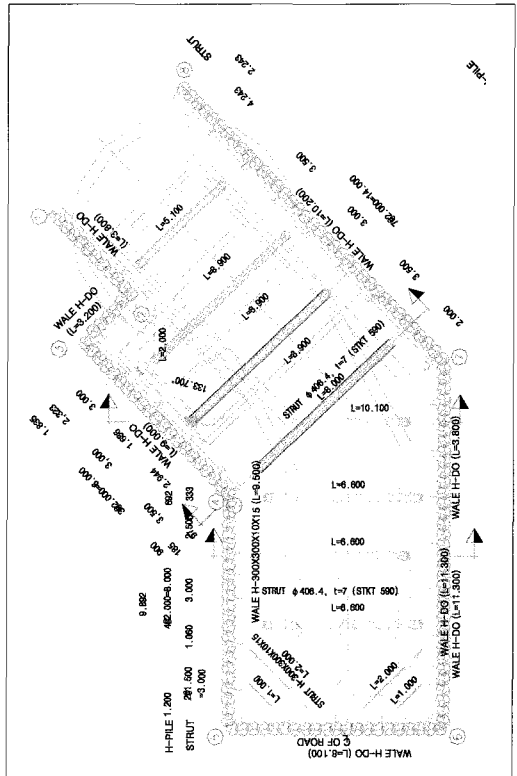


그림 6. 00 환기구 이설공사 가시설 평면도

고강도 강관 버팀보 국내외 적용사례

결이나 용접을 통하여 띠장에 고정시켰다. 강관은 연결부 없이 단일 강관만 적용하였고 길이도 10m이하이기 때문에 그림 8에 나타난 바와 같이 강관의 한 지점을 로프를 연결하여 운반하였다. 강관 버팀보를 시공한 모습은 그림 9에 나타내었는데 중간말뚝이 없

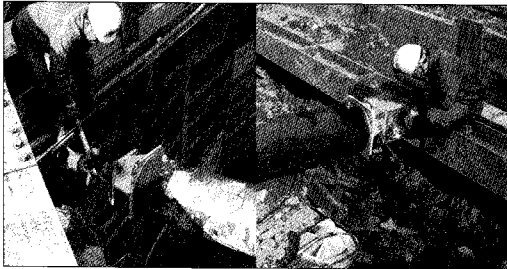


그림 7. 강관 버팀보와 띠장의 연결

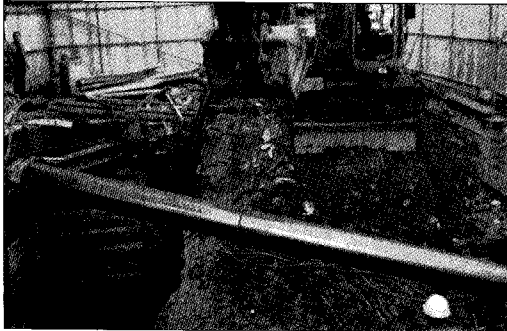


그림 8. 강관 버팀보의 운반

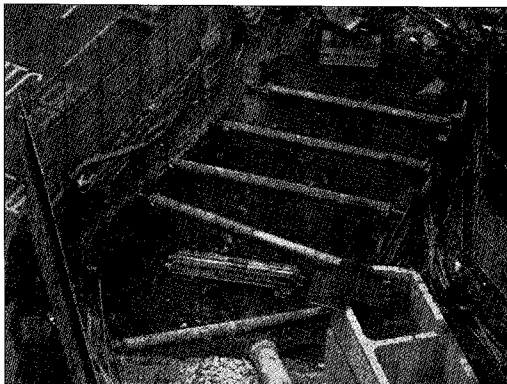


그림 9. 강관 버팀보 시공 완료

어 내부에서 작업하는데 유리하다.

3.2 서울 OO 빗물 펌프장 증설공사

3.2.1 현장개요

본 현장은 OO 빗물펌프장의 펌프용량 증설을 위한 굴착공사이며 국내에서 고강도 강관 버팀보가 2번째로 적용된 현장이다. 본 공사는 2006년 11월부터 2008년 2월까지 계획되어 있으며 이 중 가시설 공사는 2007년 2월부터 2007년 5월까지 수행되었다. 본 현장은 측면에 OO역이 있으며 고속철도가 통행하는 철로와 인접해있어 굴착시공 중에 철로쪽 벽체의 변형을 최소화 하여야 한다. 따라서, 버팀보의 강성이 우수하여 벽체 변형 억제에 유리하면서도 충분한 내부공간의 확보가 가능하여 펌프설치를 위한 콘크리트 구조물 시공이 원활이 이루어야 하기 때문에 강관 버팀보를 적용하는 것으로 설계되었다.

3.2.2 가시설 단면

본 현장은 굴착심도가 최대 7.0m이며 굴착폭은 17.2m인 굴착현장으로써 강관 버팀보를 4단으로 하고 중앙에 1열의 중간말뚝을 설치하는 것으로 설계되었다. 가시설의 단면도와 평면도는 각각 그림 10과 그림 11에 나타나 있는데 최대 길이 8.5m인 버팀보를 하나의 중간말뚝으로 연결하고 브레이싱도 없이 설계되어 내부 작업공간을 최대한 확보하도록 하였다. 본 현장은 고속철도가 지나가는 철로와 인접하므로 1단 버팀보와 2단 버팀보는 지반 상부에서 한쪽 방향으로만 설치되어 철도측 벽체의 변위를 억제하도록 설계되었으며 강관의 수평간격은 약축이 없는 강관의 특징을 활용하여 최대 3.8m로 하였다. 적용한 강관의 제원은 직경 406.4mm이며 두께 7.0mm

고강도 강관 버팀보 국내의 적용사례

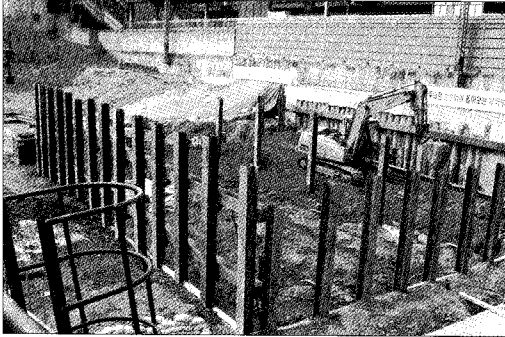


그림 12. H-Pile 시공

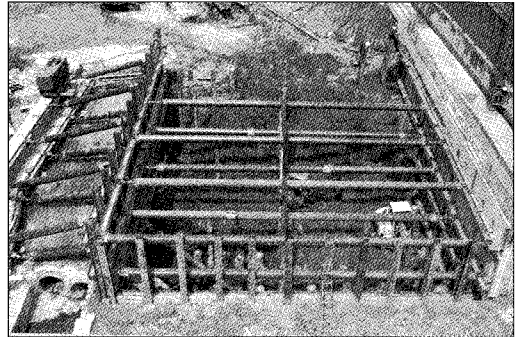


그림 13. 1단 및 2단 버팀보 설치 후 지반 굴착

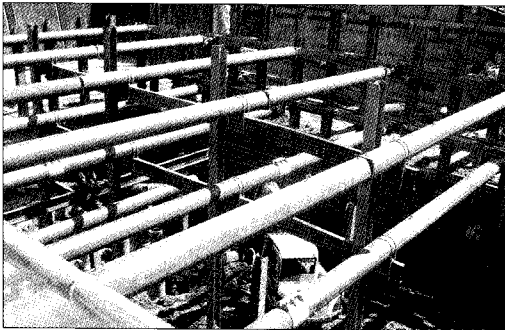


그림 14. 3단 및 4단 버팀보 설치

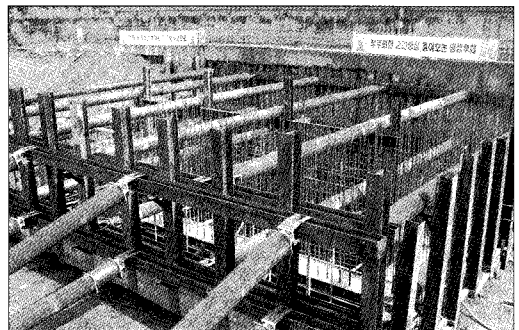


그림 15. 내부 콘크리트 구조물 시공

한 경우 보다 버팀보의 간격을 넓힐 수 있었고 수평 및 수직 브레이싱도 생략되어 가시설 공사가 상당히 단 순화되었으며 육안으로 보기에 공간 확보에 유리 하여 지반굴착, 거푸집 조립, 콘크리트 타설 등의 공 사진행을 원활하게 수행하는데 많은 도움이 되었다.

4. 강관 버팀보 해외 적용사례

앞서 언급한 강관의 우수한 구조적 성능으로 인해 전세계적으로 한국, 일본을 제외한 거의 모든 국가에 서 보편적인 버팀보 소재로 사용되고 있으며 그와 관 련된 모든 기술들이 이미 일반화되어 있다. 해외에서

의 강관 버팀보에 대한 몇 가지 특이사항들을 정리해 보면 다음과 같다.

4.1 버팀보 형식의 선호도

일반적으로 굴착의 용이성 때문에 국내와 마찬가 지로 tie-back 형식을 가장 선호하나 현장 특성상 벽 체 배면측으로 앵커와 같은 구조물을 삽입하기 어려 울 경우나 버팀보의 거동을 확인하여 안정성을 확보 하고자 할 경우에는 중간말뚝 생략과 브레이싱재가 없는 강관 버팀보를 선호한다. 전체적인 시장 비율은 강관 버팀보가 H형강 보다 더 많이 사용되며 H형강 이 사용될 경우에는 굴착면적이 작거나 심도가 얕을

경우에 많이 사용된다.

4.2 버팀보 순환 구조

국내에서 강관 버팀보가 활성화 되기 가장 어려웠던 이유인 시장에서의 순환 구조적인 측면은 해외와 국내가 거의 유사하다. 즉, 대형 관급공사에 신재가 도입되고 중소형 또는 단기간의 건축공사에서 재활용 제품이 사용되고 있다. 구재는 시공사 또는 임대사에서 비축을 해 놓고 있으며 신규 현장에 대한 필요한 소재를 서로 판매하거나 사용하는 형태로 이루어지고 있다.

4.3 설계 관련 사항

해외에서는 강관 및 H형강의 버팀보 재료에 대한 표준화된 규격이 사용되고 있지 않다. 즉, 다양한 지름과 두께의 소재를 현장조건에 적절하게 설계반영하여 사용되고 있으므로 적용현장별 최적화가 가능하다. 이는 설계에서 반영된 제품기준은 하나의 설계 하한치가 되고 일반적으로 단일안을 제시하지 않기 때문에 가설재는 이보다 더 큰 안정성을 확보하는 경우에는 소재 구입 및 조달이 용이한 재료를 시공사가 편의대로 설계변경하여 적용할 수 있도록 하고 있기 때문이다.

벽체와 상관 없이 버팀보의 경제성을 극대화하고자 할 경우에는 다양한 크기의 락장을 적용하여 버팀보 간격을 넓혀 사용하고 있다. 국내에서도 락장의 물량이 전체 공사비에 영향을 크게 주지 않으므로 현장여건에 부합되도록 보다 큰 규격의 락장을 사용하여 고강도 강관 버팀보를 사용할 경우에는 경제성을 크게 향상시킬 수 있다.

4.4 시공 관련 사항

버팀보를 사용한 지반굴착 공사에서는 안정성이 가장 큰 주요사항이 된다. 이는 흙막이벽의 안정성과 더불어 공사중의 작업자들의 안정성을 의미한다. 국내에서는 H형강 버팀보 상부로의 이동이 금지되어 있으나 공사 중 실질적으로는 발생하게 되는데, 대부분의 버팀보상의 이동은 브레이싱재 설치 및 해체로 인해 발생한다. 해외에서도 버팀보 상부로의 통행은 의무적으로 못하게 되어 있으며 오히려 이러한 부분이 강관 버팀보의 장점으로 부각되고 있다. 즉, 강관 버팀보의 경우에는 강관 자체의 곡률로 인하여 작업자들이 상부 통행을 기피하게 되며 이는 작업자들의 안정성을 확보하는 방안이 되고 있다. 실제 버팀보 설치 및 해체 작업에서는 끝단에서 일부 버팀보 위에서의 작업이 이루어지기도 하나 이는 버팀보 상부의 통행까지의 위험한 작업 수준이 아니고 대부분 락장에 붙어서 별도의 안전장치를 구비하여 이루어진다.

4.5 해외 현장적용 사례

해외 현장 적용 사례는 그림 16과 같다.

5. 결론

- 1) 강관 버팀보는 H형강 버팀보 보다 허용 변형이 크며 항복 후 거동이 안정적이기 때문에 버팀보 시스템의 급작스런 붕괴를 피할 수 있다. 또한, STKT590 고강도 강관버팀보 소재는 H형강과 비교하여 압축력에 대한 단면 저항 효율성이 우수하다.

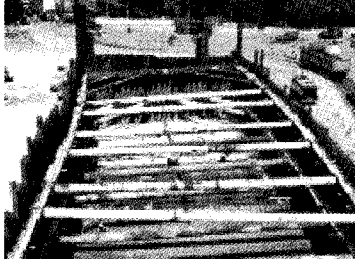
고강도 강관 버팀보 국내외 적용사례

1) 지하철



지하철현장[미국]

2) 지하차도



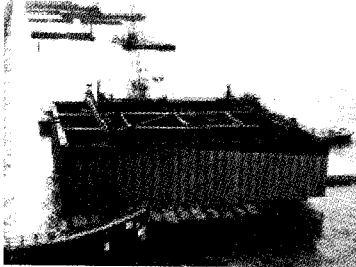
지하차도 현장[영국]

3) 건축물

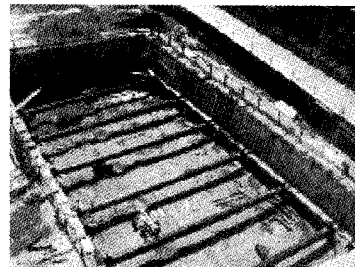


빌딩굴착[미국]

4) 기타



가물막이[미국]



터널수직구[미국]



관로이설[미국]

그림 16. 해외 현장적용 사례

2) 고강도 강관 버팀보를 OO 환기구 이설공사와 OO 빗물펌프장 증설공사에 현장적용하고 H형 강 버팀보 대비 경제성을 비교한 결과, 고강도 강관 버팀보함에 따라 브레이싱의 생략, 중간말뚝 개수 감소, 버팀보 개수 감소 등으로 총 공사비는 25% 가량 절감시킬 수 있었으며 공기는 30% 가량 단축할 수 있음을 확인하였다.

현재까지 강관 버팀보는 해외에서 다양하게 활용되고 있는 반면 국내에서는 그 적용사례가 없어 구조적 성능에 따른 안정성 확보 및 경제성이 기존 H형강에 비해 우수함에도 불구하고 국내현장에 보편화되지 못했다. 따라서 H형강과 같이 임대시장의 특성을 반영한 고강도 강관 버팀보 관련 유통체계 구축과 더

불어 사양의 규격화(소재, 이음부 및 연결부), 효율적인 설계법 및 시공법 정립, 시험시공을 통해서 그 적용사례가 점차 확대될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 최문규, 이종성, 송치용 (2007) 원형강관 버팀보의 성능과 적용성, 한국지반공학회지, Vol. 23, No. 10, pp. 34-40.
2. 포항산업과학연구원 (2007) 고강도 강관버팀보, 연구보고서, pp. 1-96.