

강널말뚝을 이용한 국내·외 시공 사례  
A Case study of steel sheet pile

\*여 병 철<sup>1</sup> 윤 태 국<sup>2</sup> 신 방 응<sup>3</sup> 김 수 삼<sup>4</sup> 김 광 일<sup>5</sup>  
B.C.Yeo T.K.Yoon B.W.Shin S.S.KiM K.I.Kim

- <sup>1</sup> 강원 산업(주), 기술개발 연구소, 선임 연구원      Senior Researcher, Dept. of R & D, Kangwon Industries, LTD.  
상주 산업 대학교, 토목 공학과, 강사      Teacher, Dept. of Civil Engr., Sang Ju National Univ.
- <sup>2</sup> 강원 산업(주), 기술개발 연구소, 연구원      Researcher, Dept. of R & D, Kangwon Industries, LTD.
- <sup>3</sup> 충북대학교, 토목공학과, 교수      Professor, Dept. of Civil Engr., Chung Buk National Univ.
- <sup>4</sup> 중앙대학교, 토목공학과, 교수      Professor, Dept. of Civil Engr., Chung Ang Univ.
- <sup>5</sup> 강원 산업(주), 기술개발 연구소장, 상임고문      Head & Senior Consultant, Dept. of R & D, Kangwon Industries, LTD.

개요 (SYNOPSIS) : The use of steel sheet pile walls as barrier walls have the temporary for coffer dam, retaining wall in excavation, etc., but also permanent or semi-permanent for harbor construction, containment systems, vertical barrier systems for waste disposal (landfill) or subway in excavation. In all these applications the resistance of the structure to seepage plays an important role. Also the stability and longevity of the construction, the possibility of permanent control and survey make the steel sheet pile wall a nearly perfect vertical barrier from a technical and economical point of view.

1. 서론

1900년대 전후부터 구미 선진국에서는 항만, 폐기물 매립장 및 토목 구조물에 강널말뚝을 사용함으로써 공기 단축은 물론 안전하고, 경제적인 시공이 가능함에 따라 최근까지 지속적으로 연구 개발, 시공되어지고 있다. 일본의 경우 1923년 관동 지역 대지진 발생 후 세계 각국에서 강널말뚝을 수입하여 항만 및 하천 피해 복구 공사에 사용되었으며, 1931년부터는 자체적인 연구 개발을 통해 생산, 시공함에 따라 해안 및 하천 구조물 공사 등의 영구 구조물은 물론, 토목공사의 토류공, 해안 공사의 물막이공 및 매립장의 차수벽 구조물로도 사용되고 있다. 한편, 우리나라에서는 1980년대부터 강원산업(주)에서 강널말뚝을 생산하기 시작하여 주로 가설 구조물용으로 사용되어 왔으나, 최근 들어 영구 구조물용으로 항만 및 폐기물 매립장에서 사용되어 지고 있다. 특히 강널말뚝은 비교적 가벼우며 강성이 크고, 특히, 차수 성능이 우수하여 항만 구조물의 접안시설에서 부터 대규모 도크(Dock) 시설용 및 폐기물 매립장에서의 차수벽용으로 사용된 영구 구조물과 지하철 및 건설 공사 굴착시 토사와 함께 지하수 탈수로 인한 지반 변위를 방지할 목적의 가설 흙막이 구조물 등에 사용되고 있는바, 본 논문에서는 현장에서 강널말뚝을 사용하여 시공한 사례를 제시하였다. 강널말뚝을 건설 공사 등에 사용해 본 결과 시공이 간편하여 공기 단축은 물론 경제적인 공법임을 보여주고 있어, 향후 현장에서 유용하게 사용될 것임을 제시하였다.

2. 본론

2.1 강널말뚝의 용도 및 특성

강널말뚝공은 각종 토공, 기초공 및 지중 구조물 등의 시공 시 토압 또는 수압 등의 외력에 대하여 안전하게 지지해 주는

역할을 하기 때문에 토목, 건축 등의 건설 공사에 광범위하게 이용할 수 있는 공법으로 가설 구조물이나 영구 구조물용으로 사용되어 왔다. 강널말뚝이 지수재로서의 우수한 특성을 이용해 항만 공사에서 선박 접안시설 축조, 부두 신축 및 증축공사 등에 가장 광범위하게 사용되어 왔으며, 호안, 제방과 같이 물에 대비한 구조물이 갑작스런 폭우로 파괴되었을 때 긴급 수리 또는 보강재로서도 적합한 공법이다. 하천 제방이나 호안의 높이가 부족해서 더 높여야 할 때 강널말뚝 공법은 사용하면 사면 없이 연직으로 연장이 가능한바, 추가 용지 매입 부담 없이 시공이 가능하므로 시가지 하천 보수에는 유리한 공법이다. 또한 건축 구조물의 다양화, 대형화와 더불어 도심지 재개발 사업으로 건물과 건물 사이에 고층건물을 건설해야 할 경우, 지하수위가 높아 지하수 유출에 따른 압밀침하 및 인접 구조물의 피해가 우려되는 경우등 시공상 각종 난점의 해결이 가능하다. 지하철 공사에서 Open Cut 공법으로 강널말뚝으로 양측에 벽을 만들고 그 안의 흙을 굴착하는 시공 공법은 지하수 유입을 방지할 수 있는 지수벽 및 토류벽 역할을 동시에 한다는 것이 큰 특징이다. 수중 공사의 경우 강널말뚝공법은 수중에서 교각 또는 독립 기초를 축조할 때 강널말뚝으로 가물막이를 한 후 콘크리트를 타설함으로써 경제적이고 안전하게 시공할 수 있으며 댐 공사에서의 Cofferdam 건설은 강널말뚝공이 유일한 공법이라 할 수 있다.

이상과 같이 강널말뚝공법의 이용이 광범위하다는 것은 같은 목적을 달성하는데 다른 공법보다는 장점이 많기 때문이며 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시공이 간편하고 공정이 단순하기 때문에 다른 공법에 비하면 공기가 단축되며, 토류벽과 지수벽의 효과를 동시에 얻을 수 있다.
- 2) 특별한 조치 없이 시공해도 수밀성은 우수하며 특히 접착부에서도 완벽한 수밀성을 유지할 수 있습니다.

- 3) 수중 공사의 공법으로 타 공법과 비교했을 때 신속하고 경제적입니다.
- 4) 강널말뚝은 공장에서 고도의 품질 관리하에서 규격화되어 분류 생산되기 때문에 사용 목적에 따라 최고품을 선택 사용할 수 있는 바, 현장에서는 시공 중 재료의 품질관리가 필요 없고 재질이 균질하기 때문에 시공성 뿐 아니라 신뢰성을 확보할 수 있다.
- 5) 강널말뚝은 공장에서 다량 생산하고 있으므로 어느때 어느 장소라도 재료 구입이 원활하고 신속한 공급이 가능한 바, 긴급 공사, 대규모 공사일지라도 차질 없이 시공할 수 있다.
- 6) 강널말뚝은 강성이 높기 때문에 타설, 인발에 대한 내구성이 양호해서 재사용이 가능합니다
- 7) 강널말뚝 표면을 방식 처리하면 반영구 구조물로 사용할 수 있다.

한편, 표 1은 강널말뚝과 타공법(엄지말뚝+토류벽+L.W. & S.C.W)의 특성을 비교, 분석 한 것이다.

표 1. 토류벽 및 차수 시설 공법 비교

구분	강 널 말 뚝 (STEEL SHEET PILE)	( 엄지말뚝 + 토류벽 ) + L.W 공법		S.C.W (SOIL CEMENT WALL)
		엄지말뚝+토류벽	L. W	
개요	강널말뚝을 지상 또는 지중에 연속적으로 시공하여 지수 및 토류벽 역할을 동시에 한다	H-PILE을 설치하고 배면부에 GROUT를 시공한 후 굴착하면서 토류반을 끼워 토류벽을 형성한다.	천공 및 케이싱을 설치하고 MAN JET TUBE를 이용하여 SEAL제(시멘트+벤토나이트)를 주입한다	주철식 지중벽으로 계획 심도까지 천공 후 주입재를 부어 벽체로 형성하고 요시 H-PILE를 보강제로 삽입하여 토류벽을 형성한다
재질	강 널 말 뚝	II형강	시멘트+ 규산소다	SOIL CEMENT
시공 순서	1. 지수계 도포(필요시) 2. 강널말뚝 설치(직타)	1. 천공 및 케이싱 설치 2. H-PILE 설치 3. 차수 GROUT 4. 토류반 설치	1. 천공 및 케이싱 설치 2. MANJET TUBE 삽입 3. SEAL제 주입	1. AUGER 천공 2. 안정제 주입 혼합
형성 두께	20 ~ 30 Cm	30 Cm	60 ~ 100 Cm	55 Cm
안정성	1. 연속벽형 강성체로 지수 및 토류벽 역할을 동시에 하므로 재적이다. 2. 강도와 내구성이 높아 전단저항에 강하다	1. 강성체로 토류벽 역할을 할수있다. 2. 토질 조건에 따라 발생되어 배면 현상이 예상된다		1. 연속벽체로 차수 및 토류벽 역할을 동시에 할수있다. 2. 유기질토에서 SOIL CEMENT의 강도가 나지 않을 가능성이 있으므로 배합시험등 사전 검토가 필요하다

## 2.2. 강널말뚝을 이용한 국.내외 시공 사례

강널말뚝의 재료적, 시공적 특성의 장점을 이용하여 여러 공사에서의 적용이 가능한 바, 이의 대표적인 시공 사례를 각 공사별로 소개하고자 한다.

### 2.2.1. 항만 및 해양 공사

강널말뚝은 엄지 말뚝에 의한 흠막이 구조 등의 타공법에 비하여 차수성이 월등한 장점이 있는바, 이러한 특성을 이용하여 항만 및 해양 구조물에 가장 광범위하게 사용되고 있으며 그

시공 사례는 다음과 같다.

그림 1은 강원도 동해시 소재 동해항 남북 부두 축조 공사에 시공된 것이며, 그림 2는 충청남도 당진에서 경기도 평택간에 시공중인 서해 대교 공사의 Pier 시공을 위한 축조 부지 조성공사시 강널말뚝을 시공한 것이다. 이러한 항만 공사 경우, 토공정 시공시 조수간만의 차에 의한 토사 유실이 심한 것을 고려하여 강널말뚝을 시공함으로써 토사 유실 방지는 물론 지반 보강, 해양 오염 방지 등의 효과도 거둘 수 있으며, 공기를 최소화할 수 있는 바, 안전하고 경제적인 공사를 수행한 사례이다.

한편, 그림 3은 영국의 Trimty 여객 터미널에 부두 시설 증축 공사 현장으로서, 강널말뚝을 용접 이음을 실시하여 총연장 30M (근입장 11M 이상)의 강널말뚝을 시공한 후 Double Anchor Pile에 3개의 Tie rod를 시공한 경우이다. 이는 기존 부두 시설에 영향을 주지 않고 부두 증축 공사를 시행함으로써 공사기간 중에도 기존 부두를 계속 사용할 수 있었다.

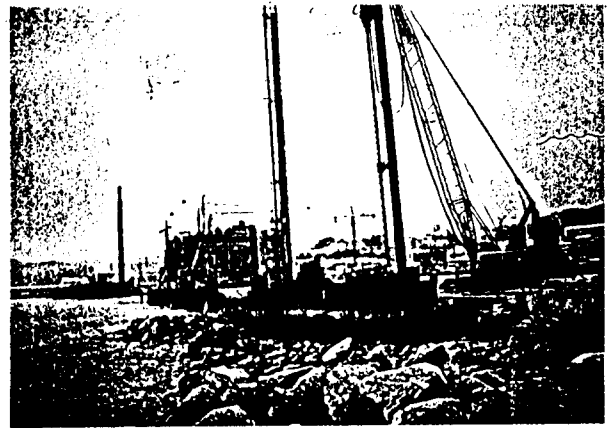


그림 1 동해항 남북 부두 축조 공사

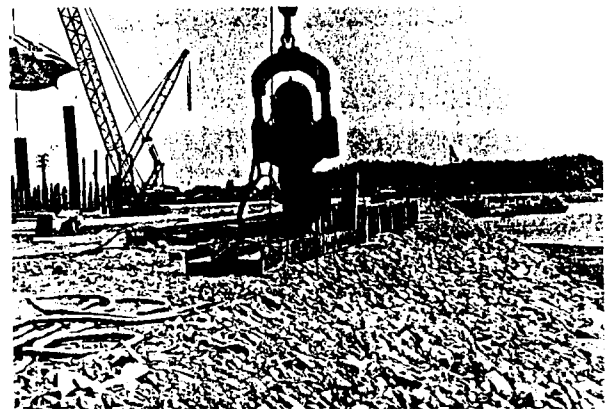


그림 2 서해 대교 축조 부지 조성 공사

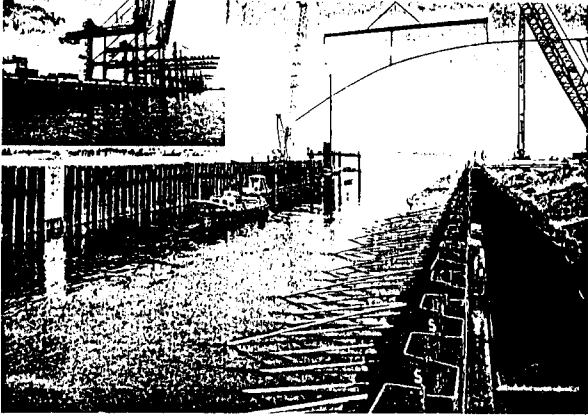


그림 3 Trint 여객 터미널 부두 증축 공사

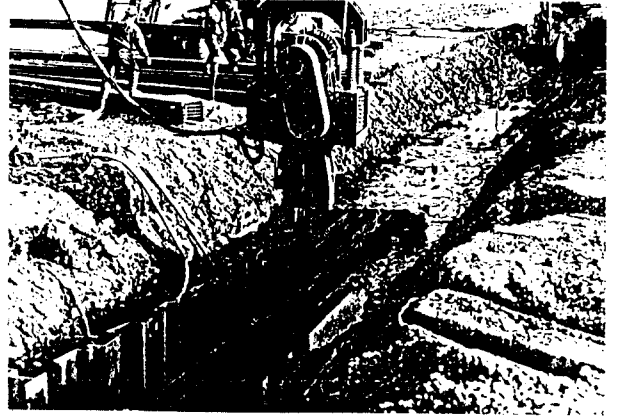


그림 5 군산 특정 폐기물 매립장

### 2.2.2. 폐기물 매립장

폐기물 매립장에서의 가장 큰 오염 요인이 되고 있는 폐기물의 침출수에 의한 인근 지역의 지하수, 토양 및 하천 오염등을 원천적으로 차단, 처리시키기 위해 기존 폐기물 매립장을 보수할 때나 신축 폐기물 매립장의 시공시 강널말뚝을 지수재용으로 사용되고 있다. 이는 강널말뚝의 차수성 뿐만 아니라 적절한 표면 처리를 실시할 경우 화학 저항성이 증대되는 특성을 이용한 시공법이다.

그림 4, 5는 이리 제 2공단 및 군산의 특정 폐기물 매립장에 강널말뚝으로 시공하는 그림으로서 시공후 배면토의 입자와 지하수에 의해 강널말뚝 연결 부위가 채워짐에 따라 보다 충실한 차수 효과가 기대됨은 물론 지반 보강, 사면보호등의 시공 효과도 있다.

그림 6, 7은 독일의 Penzberg 및 Wild Shansen 매립장에 강널말뚝을 사용한 사례로서 그림 6의 경우 강널말뚝의 침출수 차단 효과에 의한 부수계수가  $10^{-8}$  m/sec 이상으로서 차수의 효과가 극대화 된 것이며, 그림 7의 경우 침출수의 차단 효과 및 상부 사면 보호책으로서의 역할도 병행한 시공 사례이다.



그림 6 Penzberg 매립장

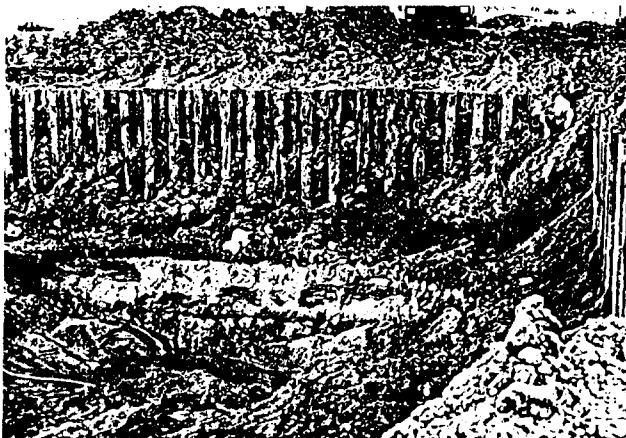


그림 4 이리 제 2 공단 폐기물 매립장

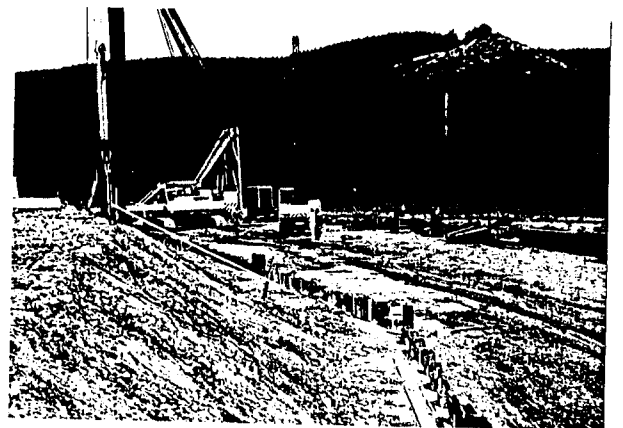


그림 7 Wildshansen 매립장

### 2.2.3. 도로 및 지하철

하천이나 강이 인접한 지역 또는 도심지에서 도로 및 지하철을 건설할 때 사면을 보호하거나 지하수위가 높아 지반 변위로 인한 인접 구조물의 손상을 방지할 목적으로 강널말뚝이 사용되어 지고 있다. 이는 항타시 지반이 비교적 단단하거나 풍화암 연암층 등의 암반층에 타입시 높은 타입응력에 강널말뚝이 저항함에 따라 적절한 근입장으로 시공될 수 있고, 강널말뚝의 단면력으로 외력에 대해서 저항할 수 있을 뿐만 아니라, 강널말뚝의 타입 및 인발시 지반의 체적 변형이 타공법에 비해 적어 인접 지반 및 건물 등에 피해가 최소화되는 등의 강널말뚝의 특성을 이용한 시공 사례이다.

그림 8은 지하철 5호선 공사구간중 최대 난공사 구간인 강동구의 천호대교와 광진교 사이의 수심 14M 전후를 통과하는 하저 터널 공사로서 가물막이(Coffer Dam)을 조성한 후 굴착 공사를 실시한 사례이다.

또한, 그림 9는 프랑스의 Toulouse City에서 지하 차도를 콘크리트 벽과 강널말뚝을 합벽처리한 최초의 현장으로서 이에 따른 전체 단면적을 줄임으로서 지하차도 폭을 보다 넓힐 수 있었음은 물론, 시공시 인근 주민들에 건설 공해도 감소할 수 있었다.

그림 10은 독일의 B9 고속도로로 철도 주변에 시공함에 있어 도로 부지를 확보하기 위하여 강널말뚝을 시공한 예로서 강널말뚝 항타후 도색을 실시하여 시각적인 효과도 고려한 시공 사례이다.

그림 11은 영국의 Cleket lane 도로로서 기존 3차선을 4차선 고속도로로 증설하면서 기 형성된 사면에 강널말뚝을 근입하여 벽체로 사용함으로써 사면보호 및 도로 부지 확보 등의 효과를 얻은 시공 사례이다.

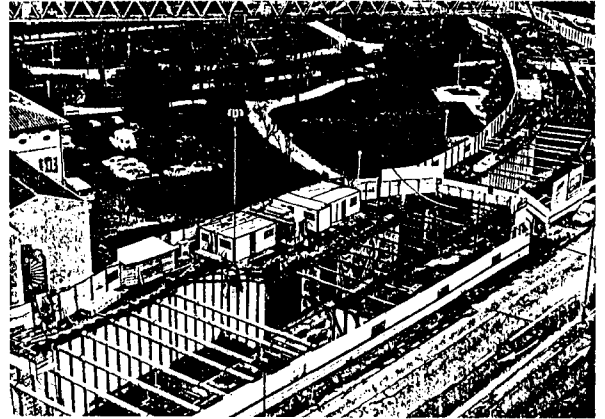


그림 9 Toulouse City의 지하 차도 공사

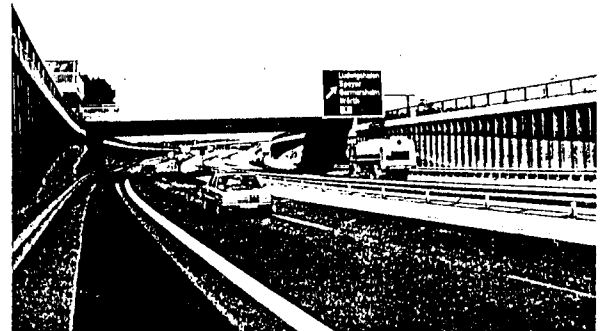


그림 10 B-9 고속도로 공사

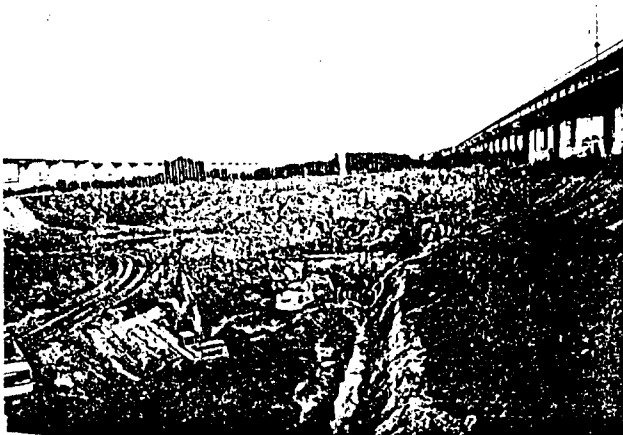


그림 8 지하철 5호선 공사  
(하저 터널 공사)

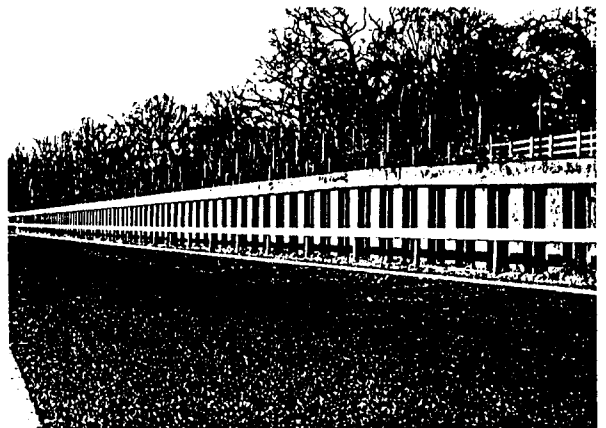


그림 11 Cleket lane 도로 확장 공사

## 2.2.4. 기초공사

모든 구조물은 기초에 의하여 지지되므로 기초공의 설계, 시공, 유지관리등의 상태에 따라 구조물이 침하, 경사, 전도, 활동 등의 변형을 일으킬 수도 있으며 이는 구조적, 기능적인 면에서 치명적인 손상을 끼칠뿐아니라, 한번 손상된 구조물은 거의 원상 복귀가 불가능하고, 또한, 일단 시공이 완료되면 기초가 지하에 시공됨에 따라 기초의 모양이나 상태가 보이지 않는 특징이 있으며, 또한, 최근 지하구조물의 다양화, 대형화와 더불어 지하 심도가 깊어짐에 따라 날로 지하 굴착의 중요성이 증대되고 있는 실정이다. 한편, 강널말뚝의 치수성, 타입 및 인발시 적은 지반 체적 변형에 따른 인접 지반 및 건물의 안정성 확보, 굴착 단면의 확장이 용이한 등의 강널말뚝 특성을 이용한 기초공사의 시공 사례는 다음과 같다.

그림 12는 송파구 잠실의 롯데월드 터파기 현장으로서 지하수가 토사와 함께 누출되어 주변 지반을 침하시키거나 지하수위 지하에 따른 암말침하를 방지하기 위해 강널말뚝을 시공하였다. 상재하중 및 토압등에 의한 토류벽 변위를 억제하기 위해 버팀대(Strut)나 경사지주(Rakers)로 시공할 경우 내부 작업 공간이 협소하여 기계화 시공에 적합치 않을 뿐아니라, 본체 구조물 시공시 많은 애로점이 발생하게 된다. 따라서 강널말뚝을 시공한 후 배면에 앵커를 설치하고 이 앵커의 인발력(Pullout Capacity)으로 흙막이 벽을 지지하도록 한 결과 작업 공간의 확보로 시공이 간편하고 공정이 단순함으로 공기 단축은 물론 토류벽과 지수벽 효과를 동시에 얻을 수 있어 최적의 시공 조건을 얻을 수 있다.

그림 13은 한강 철교 Pier 및 Abut등이 일부 구간에서 탈락(Erosion) 현상 및 부식(Corrosion) 현상 등의 열화 현상이 발생함에 따라 Pier 단면 결손 및 철근부식등이 조사된 바, 이는 철도에 의한 진동 활하중에 의한 안전상의 문제점에 의해 교량 기초 보수공사로 실시하게 되었다. 공사는 강널말뚝을 사용하여 불막이공을 실시한 후 보강 콘크리트 + SP Grouting (Super Fine Permeation Method)을 실시하고, 강널말뚝과 콘크리트를 합벽 처리함으로써 단면 축소가 가능하였고 이에 따라 교각간 거리를 확보하여 한강의 선박 운행이 보다 원활하게 할 수 있었다.

그림 14는 영국의 농업용수로 Blowell 펌프장 현장으로서 외벽에 강널말뚝을 타설한후 콘크리트로 합벽 처리함으로써 원래 콘크리트 벽의 단면을 줄여 콘크리트 및 철근량을 절감함에 따라 경제적인 시공이 가능한 시공 사례이다.

그림 15는 노르웨이 Oslo City 빌딩에 주차장(지하 6층)을 건설하는데 강널말뚝을 적용한 현장이다. 오늘날 대부분의 건설공사에서 지하벽체는 붕상 콘크리트 벽체를 시공하였으나 강널말뚝을 적용함으로써 벽면 단면이 줄어들어 보다 넓은 주차 면적을 확보할 수 있었으며, 내부에 도색을 함으로써 시각적인 효과도 도모하였다.

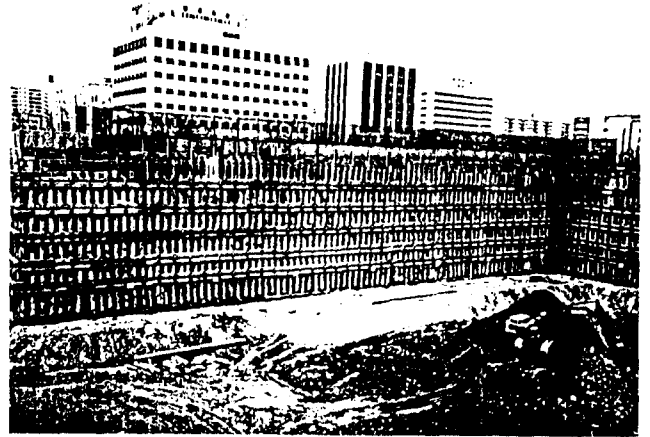


그림 12 롯데월드 터파기 공사

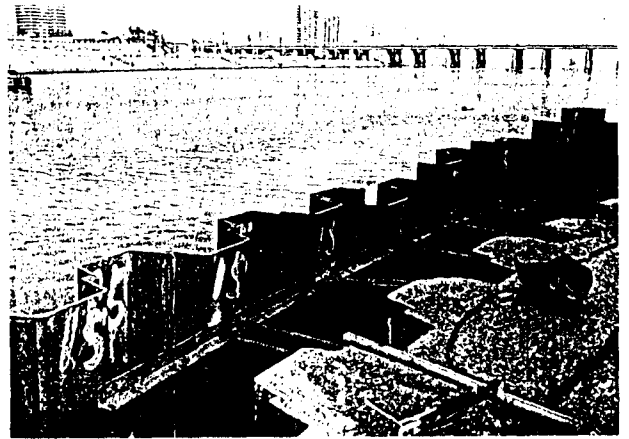


그림 13 한강 철교 Pier 보수 공사

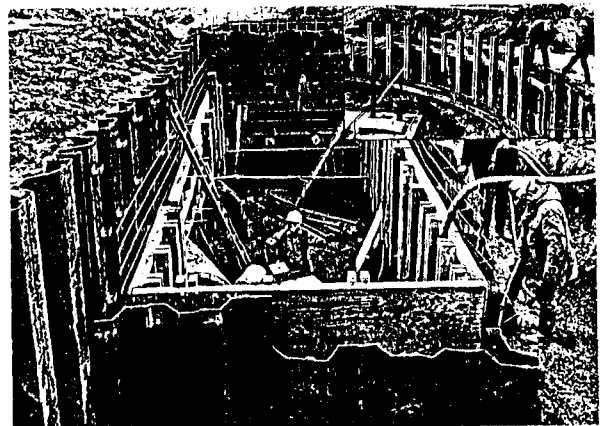


그림 14 Blowell 펌프장 공사



그림 15 Oslo City 빌딩 주차장 공사

### 3. 결론

이상에서 논의한바 와 같이 비교적 가벼우며 강성이 크고, 차수 능력이 우수하며, 시공시 공기 단축에 따른 경제성 뿐만 아니라 적절한 표면 처리를 하며 침출수등으로 부티의 화학적 저항성이 뛰어난 강널말뚝의 특성을 이용하여 각종 건설 현장에서 적용된 사례를 제시하였다.

한편, 본 논문에서 제시한 시공 사례를 근거로 공사별 고찰 결과를 요약하면 다음과 같다.

#### 1) 항만 및 해양 공사

강널말뚝의 차수성 및 강성벽체로서의 특성 등을 이용하여 가장 널리 적용되고 있는 공사로서 동해항 남북 축조공사의 2개소의 시공 사례를 제시하였다.

#### 2) 폐기물 매립장

폐기물 매립장의 증축이나 신설할 경우 토양, 지하수 오염 등의 주요인이 되는 폐기물 침출수를 적절하게 처리하여야 하는바, 강널말뚝의 차수성 및 화학적 저항성 등의 특성을 이용하여 이리 제 2공단와 3개소의 시공 사례를 제시하였다.

#### 3) 도로 및 지하철

지하수위가 높은 도심지나 각종 근접 시공시 강널말뚝을 시공함으로써 타입 및 인발시 지반 체적 변화가 최소화 할 수 있고 지하수 변위에 따른 암밀침투에 대처할 수 있었던 시공 사례로서 프랑스의 Toulouse City 지하차도외 2곳의 시공 사례를 제시하였다.

#### 4) 기초공사

지하 공간의 다양화, 대형화와 더불어 구조물 기초를 시공함에 있어 강널말뚝을 시공함에 따라 작업 공간 확보, 인접 구조물 피해 최소화 등의 효과를 거둔 송파구 잠실의 롯데월드 현장외 3개소의 시공 사례를 제시하였다.

즉, 강널말뚝은 상기에서 제시한 시공사례외에 하천호안공, 지하수로공, 성토 사면의 내진 보강, 지하매설관, 옹벽 등에서의 적용도 가능하며 전술한 바와 같이 경제성, 시공성이 우수한바, 향후 이외 보급 및 각종 현장에서 확대 보급되어야 할 것이다. 한편, 강널말뚝의 시공 및 참고 자료에 관한 문의 사항은 강원산업(주) 기술개발 연구실로 연락 주시기 바랍니다. <TEL: 02)

3104-551, 3104-812 FAX: 02) 3104-806 >

### 4. 향후 연구 과제

본 논문에서 강널말뚝을 이용하여 각종 현장에서 시공한 사례를 제시하였으며 이에 따른 향후 연구 과제는 다음과 같다.

- 1) 강널말뚝 인발시 점착흡에 대한 대책
- 2) 압층에 타입시 좌굴 및 변형에 대한 대책
- 3) 강널말뚝 시공시 인접 지반 및 구조물의 변위 및 이의 정량화
- 4) 강널말뚝 용접 시공시 용접 신뢰성 확보

### 참고문헌

1. 대한 토목 학회, "토목공학 핸드북", 널말뚝벽, 1983, pp. 6-78
2. 정 인준, "STEEL SHEET PILE", 강원산업주식회사, 1987
3. 홍성완, 권기안, "강널말뚝이야기", 대한 토목 학회, 제42 권, 제1호, 1994, pp. 13-28
4. A DIVISION OF BRITISH STEEL PLC, "BRITISH STEEL GENERAL STEELS PILING HANDBOOK", BRITISH STEEL PLC, 1988
5. DAS. B. M, "PRINCIPLES OF FOUNDATION ENGINEERING", 1989, 희성출판사 pp. 273-310
6. "STEEL SHEET PILING DESIGN MANUAL", NIPPON STEEL CO., 1987
7. USS, "STEEL SHEET PILING HANDBOOK", UNITED STATES STEEL CO., 1976