

# 기존 의장안벽에 인접한 지역에서 Dry dock 건설을 위한 자립식 지중연속벽의 설계적용 사례소개



오진기  
현대건설(주) 차장  
(soilojk@hdec.co.kr)



임채근  
(주)알지오이엔씨 부장



이충호  
(주)알지오이엔씨 대표이사

## I. 서론

현대중공업은 최근 세계적인 조선수요에 능동적으로 대처하고 대형화되는 세계 조선시장에서의 경쟁력을 확보하기 위하여 울산조선소 내 해양4안벽과 해양5안벽의 교차 위치에 국내 최대규모급의 Dry Dock를 계획하여 현재 시공중에 있다. 현대중공업이 1996년 초 제9 Dock 건설완료 후 약 10여년 만에 새로 건설하는 10번째 Dock는 길이 490m(추가 57m 확장예정), 폭115m, 깊이 13.5m로 화물 최대 적재량이100만톤급 (DWT: 재화중량 총톤수)의 초대형 선박 건조도 가능한 규모로 건설되며, 세계 조선업계의 수주 호황 추세를 활용하기 위해 Dock 건설기간도 약 1년으로 단축하여 시도되고 있다.

본 사업의 주요공종으로는 Dock공 (거벽공, 지반개량 및 바닥판, 게이트실), 펌프룸공, 크레인기초공, 호안공(기존안벽제거, 북측안벽축조, 5안벽연장), 기타공(기존안벽보강, 포장 및 부대공, 가시설공) 등으로 구성되어 있다. 이 중 본 고에서는 국내에서 최초로 설계 및 시공되는 대단위

H형 자립식 지중연속벽을 Dry Dock 거벽에 적용한 설계 사례를 소개하고자 한다.

## II. 설계 개요

### 1. 공사 개요 및 규모

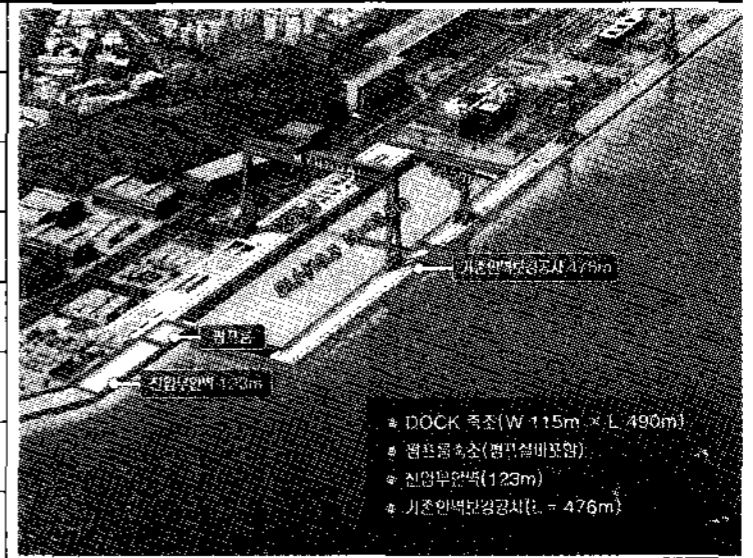
최근 세계 경제성장에 따른 교역량의 증대, 선박의 안전



그림 1. 사업위치

표 1. 공사개요

1) 공 사 명	현대중공업 해양 H-DOCK 축조공사
2) 공사위치	울산광역시 동구 방어동 현대중공업 해양2공장 내 4,5안벽 배면부지
3) 발 주 처	현대중공업
4) 공사기간	2007.10.15 ~ 2008.10.31
5) Dock 규모	B 115m x L 490m x D 13.5m (L57m 확장)
6) 공사 금액	99,999백만원 (VAT 제외)
7) 설계사	대영엔지니어링(주), 데코컨설팅(주), (주)예담, (주)알지오이엔씨 컨소시움
8) 시공사	현대건설(주)



규준 강화 및 노후화된 선박의 교체수요 등에 따른 조선산업 활황으로 선박건조장(Dock)의 설계 및 시공이 증가하고 있다. 이러한 선박건조 공법은 크게 해상건조(Dry Dock, Floating Dock) 공법과 육상건조(Slipway, Skid) 공법으로 구분되며, 본 사업은 초대형 VLCC선(Very Large Crude Oil Carrier), B/C(Bulk Carrier), FPSO(Floating Production Storage & Offloading vessels), Post-PANAMAX TANDEM급(12,600 TEU) 컨테이너선 등을 동시에 병렬건조가 가능한 Dry Dock 형식으로 계획되었다. 본 사업의 Dry Dock 구조형식은 거벽하부 및 Gate하부 전체에 걸쳐 Cut-off Wall을 설치하고 바닥판(Dock Floor)하부에 배수층(Drain System)을 설치하여 바닥판 하부에 양압력이 발생하지 않도록 하는 완전감압(Fully Relieving Type) 형식이다. 공사개요 및 규모는 표 1과 같다.

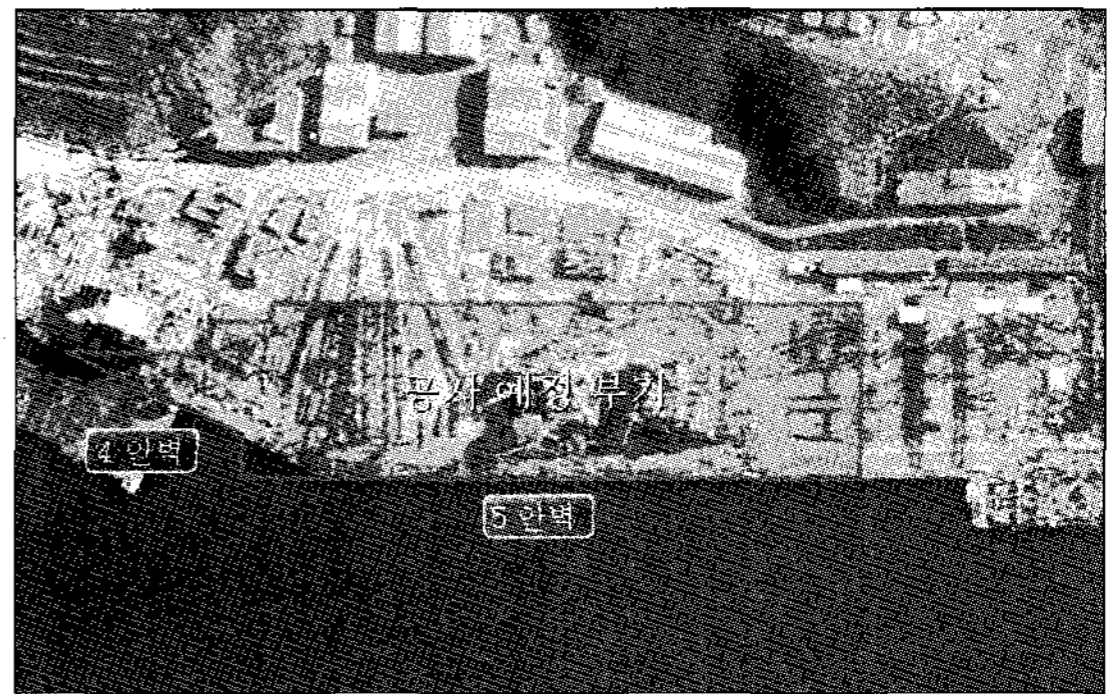


그림 2. 공사예정부지

## 2. 설계조건 및 현장여건

### 2.1 설계조건

본 사업은 현대중공업의 선박건조시기(2009년 1월 1일 Dock 운영)를 고려한 절대공기에 따라 토목공사가 2008년 10월 31일 까지 완료되어야 하고, 부족한Dock Yard 이용을 극대화 하기 위하여 공사기간중 해양4, 5안벽 중 1선 석은 반드시 의장안벽으로 사용하는 조건으로 설계되어야 하는 등 여러가지 공사여건 제약이 있으며, 현재 사용중인 기존안벽배면 부지 위에 선박블록의 간섭을 효율적으로 피할 수 있는 공법이 필요하다.

### 2.2 현장여건

Dock 시공이 예정된 과업부지 여건상 해측거벽부는 기존 중력식 안벽(해양5안벽)의 법선으로부터 약24m정도로 근접해 있어 굴착에 따른 해수유입 및 시공중에 노후된 기존안벽의 안정성 저하 문제로 Open Cut공법의 적용이 불가능한 공간상 제약과 동시에 짧은 공기상 가설 토류벽 설치후, 본 구조물을 축조할 수 있는 시간적 여유가 없는 상태이다. 또한 기존안벽 배면부는 사석경사제로 시공되어 있어 사석사이의 간극 및 투수성이 매우 커 조류의 영향 및 별도의 선행천공 없이 파일항타 작업이 곤란하고 큰 수압에 저항할 수 있는 차수벽 형성이 용이하지 않을 뿐만 아니라 앵커정착부로도 적용이 곤란한 현장여건을 감안한 공법선택이 요구된다.

### 2.3 지반조건

본 사업부지는 태화강 하류의 해안선을 따라 과거 강제치환공법 등에 의해 인위적으로 조성된 매립지역으로서 해측거벽이 위치하는 구간은 약 40m 두께의 매립토 및 해성퇴적층이 존재하고 있다. 매립토층은 지표면에서부터

기존 의장안벽에 인접한 지역에서 Dry dock 건설을 위한 자립식 지중연속벽의 설계적용 사례소개

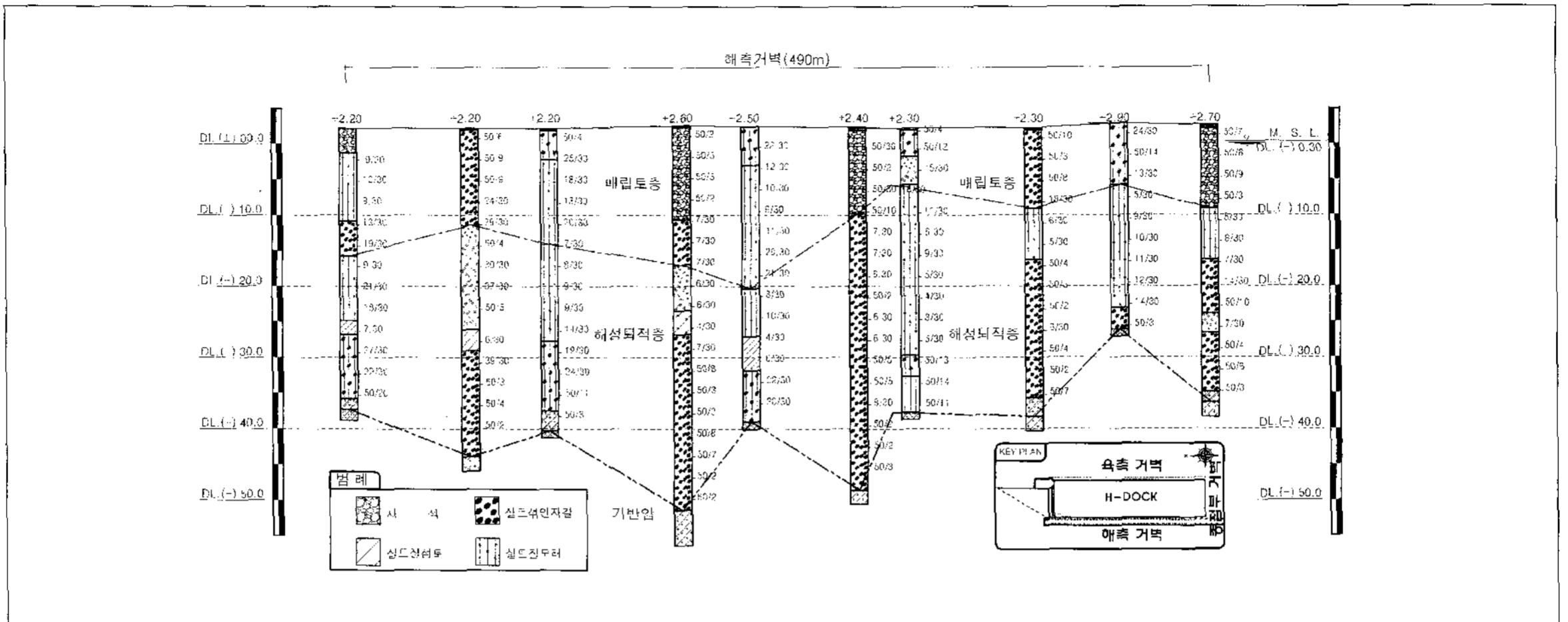


그림 3. 해측거벽부 지층단면도

약 10m~15m 두께로 분포하며 통일분류법상 실트섞인 자갈(GM) 및 실트질 모래(SM)가 주성분을 이루나, 기존안벽과 인접한 시추공에서는 전석 및 뒷채움사석이 확인되고 있다. 한편, 해성퇴적층은 매립토층 하부에 약 20m~30m 두께로 분포하며 상부 매립층과 유사하게 실트질 사질토가 우세하나 다량의 자갈을 함유하고 있으며, 간헐적으로 약 3m 두께의 보통 정도 연경도를 갖는 점성토층이 존재한다.

현장시험 및 실내시험 결과, 매립토 및 해성퇴적층을 구성하는 사질토는 Split Sampler 보다 입경이 커서 과대 측정된 N값을 제외하면 전반적으로 느슨 내지 중간정도의 상대밀도를 나타내며, 세립분(#200) 함유량은 평균 약 10~15%정도이다.

이러한 지층조건으로 볼 때 해측거벽부 공법선정시 지반공학적 측면에서 고려하여야 할 사항으로는 약 40m 두께의 투수성이 큰 사질토 지반에서 가설구조물 및 영구구조물에 대한 완벽한 차수대책의 필요성과 입경이 큰 다량의 자갈과 전석층 존재로 말뚝향타나 널말뚝 시공시 관입 곤란 등이 예상되었다.

### 3. 해측거벽 공법검토

#### 3.1 공법개요

Dry Dock에서 거벽(Wall)의 공사비가 차지하는 비중은 상당히 크며, 보통 Dock구조물 총 공사비의 약 40% 이상

표 2. 해측거벽 공법비교

구분	부벽식옹벽	벽강관+앵커	자립식 지중연속벽
개요도			
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>가시설공 설치 불가피</li> <li>공사비 및 공기증대</li> <li>말뚝향타 곤란 및 기존구조물의 안정성 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>앵커정착부 불확실</li> <li>누수 및 부식대책 필요</li> <li>말뚝향타 곤란 및 기존구조물의 안정성 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>벽체, 차수공 및 크레인 기초 역할 동시 수행</li> <li>지진동 저소음 공법</li> <li>국내 시공사례 없음</li> </ul>
선정			◎



을 상회하므로 어떤 구조형식을 선정하느냐에 따라 전체 공사비에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 선행으로 가시설 시공후 부벽식 옹벽을 축조하는 방안, 본구조물과 가설구조물을 병행할 수 있는 벽강판과 앵커를 이용한 거벽축조 방안 및 케이슨공법에 착안한 자립식 지중연속벽 공법을 검토하였고, 이 중 사업구간의 설계조건, 현장여건, 하중조건 및 지반상태 등을 고려하여 각 공법에 대한 비교분석결과, 공사비, 공기 및 시공적정성 측면에서 가장 유리한 자립식 구조의 지중연속벽(H-type Diaphragm Wall)공법을 본 지역에 가장 우수한 공법으로 선정하였다.

특히, 선정된 공법은 별도의 가시설공이 필요없고 상대적으로 지반조건의 변화에 능동적으로 대처할 수 있으며, 또한 Dock 본체벽으로의 역할 뿐만아니라, 차수벽 및 크레인 기초(1,600톤 G/C 및 80톤 J/C기초) 역할을 동시에 담당할 수 있는 공법이다.

### 3.2 설계시 고려사항

#### 1) 선정단면 및 안정성 검토

해측거벽에 적용된 단면은 Dock굴착깊이, 하중 및 수압

조건, 매립전석층 시공 및 1개 엘리먼트의 지중연속벽 공벽유지시간 등을 고려하여 기준안전율(Fs)1.2 이상을 확보하는데 요구되는 최소폭인 9m가 되도록 계획하였다. 9m폭의 H형 자립식 지중연속벽 공법은 한번에 조성할 수 없으므로 T형상의 단위 판넬을 전단보강재를 통해 H형태로 연결한 지중연속벽체로서 별도의 버팀구조 없이 자립할 수 있는 구조형식이다. 이러한 자립식 지중연속벽은 별도의 버팀구조가 필요없고 또한 부벽식 옹벽과 달리 저판(Footing)이 없기 때문에 구조물의 안정성은 벽체와 흙사이의 상호작용에 전적으로 의존한다. 그러나 아직까지 지반과 구조물의 상호작용에 대한 명확한 이론적 해석방법이 없어 반경험적인 방법으로 Sheet Pile Cellular Cofferdam 설계기법을 준용하고 있다.

단면결정 과정에 있어 설계 검토항목으로는 상시 및 지진시에 대해 Dock내부의 주수시와 배수시 조건으로 외적 안정검토와 내적 안정검토를 모두 수행하였으며, 본 구조물의 경우 단면폭을 결정하는 지배인자는 배수시 조건의 활동(Sliding)과 수평전단(Cummings)으로 각각에 대해 기준안전율을 확보하도록 결정되었다.

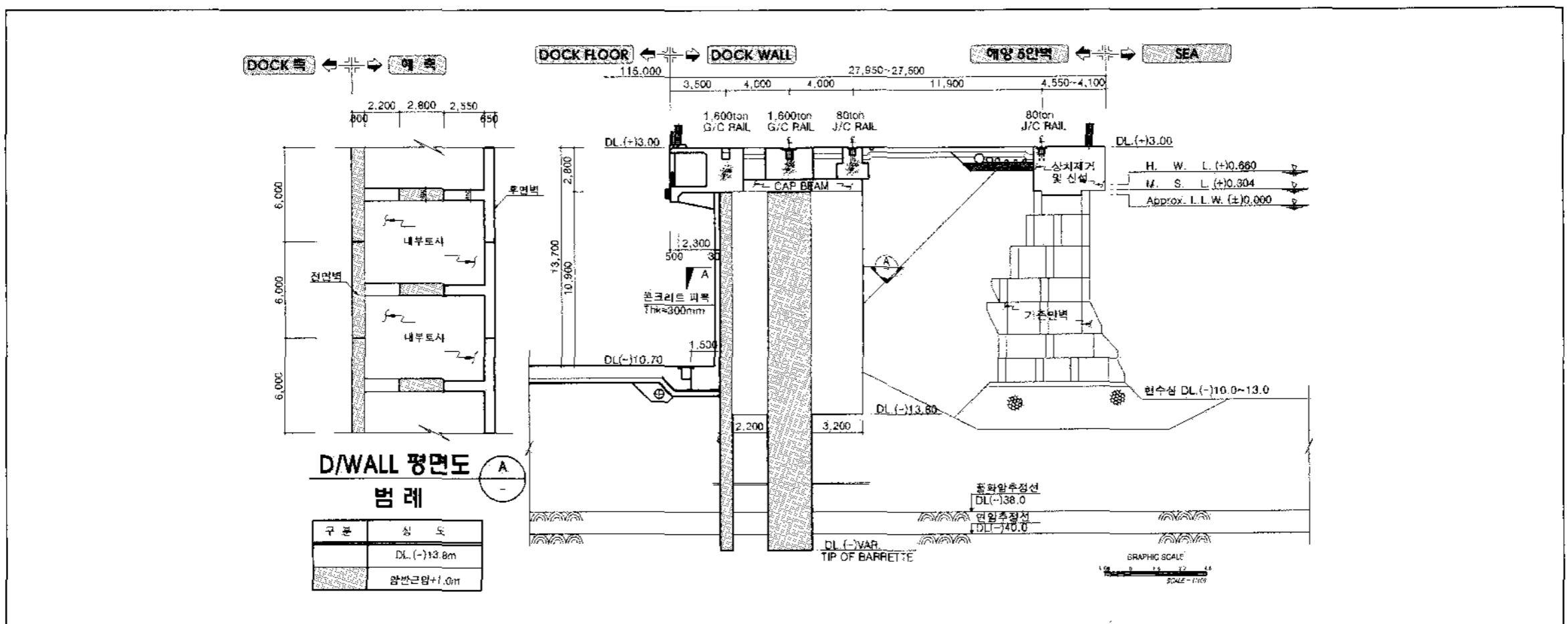


그림 4. 자립식 지중연속벽 계획

표 3. 외적 및 내적 안정성 검토결과(상시)

구분	외적 안정 검토		내적 안정 검토		
	활동(Sliding)	전도(Overturning)	수직전단(Terzaghi)	수평전단(Cummings)	수직전단(Schroeder)
안전율	1.214 > 1.20	1.634 > 1.20	1.328 > 1.20	1.273 > 1.20	3.010 > 1.20
결과	O.K!	O.K!	O.K!	O.K!	O.K!

기존 의장안벽에 인접한 지역에서 Dry dock 건설을 위한 자립식 지중연속벽의 설계적용 사례소개

표 4. 전면벽 및 지지말뚝의 근입깊이 검토결과(상시)

구분	전면벽		지지말뚝		비고
	관입저항(배수시)	인발저항(주수시)	관입저항(주수시)	인발저항(배수시)	
안전율	2.90 > 1.50	인발력 미발생	1.97 > 1.50	7.12 > 1.50	전면벽은 차수벽 기능을
결과	O.K!	O.K!	O.K!	O.K!	위해 암반하 1m 근입

표 5. 전단보강재 구조검토 결과

구분	심도DL(-)1.8m	심도DL(-)7.8m	심도DL(-)13.8m
설계하중(tf/EA)	10.8	12.6	13.2
Dowel bar 직경 (mm)	38.1	38.1	38.1
후면벽 매입깊이 (cm)	100	120	120
수직방향 설치간격 (cm)	120	45	30

2) 전단보강재의 도입

자립식 옹벽(Retaining wall) 구조에서는 수평력(토압+수압)에 의한 전단(Laminar Tilting)이 발생되며, 이에 대한 저항력은 앵커에 의해 수평력을 지지하는 버팀구조 형식(Anchored Wall)과는 달리 두 개의 T형 벽체의 연결부인 격벽에 일정간격의 전단보강재를 두어 H형 벽체가 일체화 될 수 있도록 하여야 한다.

3) 합벽구조 채택

영구 차수벽인 지중연속벽 전면벽의 모든 조인트 부분에 종방향으로 유도배수재(Hole drain)를 설치하여 지반조건에 따른 심도별 시공불량부분의 누수를 감안하여 미량의 누수가 발생하더라도 신속히 배수를 유도함으로써 거벽에 습기를 제거할 뿐만 아니라 수압영향을 없애 합벽안정성을 극대화하였고, 전면에 300mm 두께의 콘크리트벽을 추가로 적용함으로써 Dry Dock 내부미관을 일반구조인 육측거벽과 동일하도록 고려하였다.

4) 사석층에서의 지중연속벽 시공

본 사업부지는 현장여건 및 지반조건에서 보듯이 기존 안벽의 배면사석과 강제치환으로 조성된 매립층에 전석이 존재하므로 트렌치 내 전석의 효과적인 제거유무는 본 사업의 성패를 좌우한다. 또한 지중연속벽 외부법선과 기존

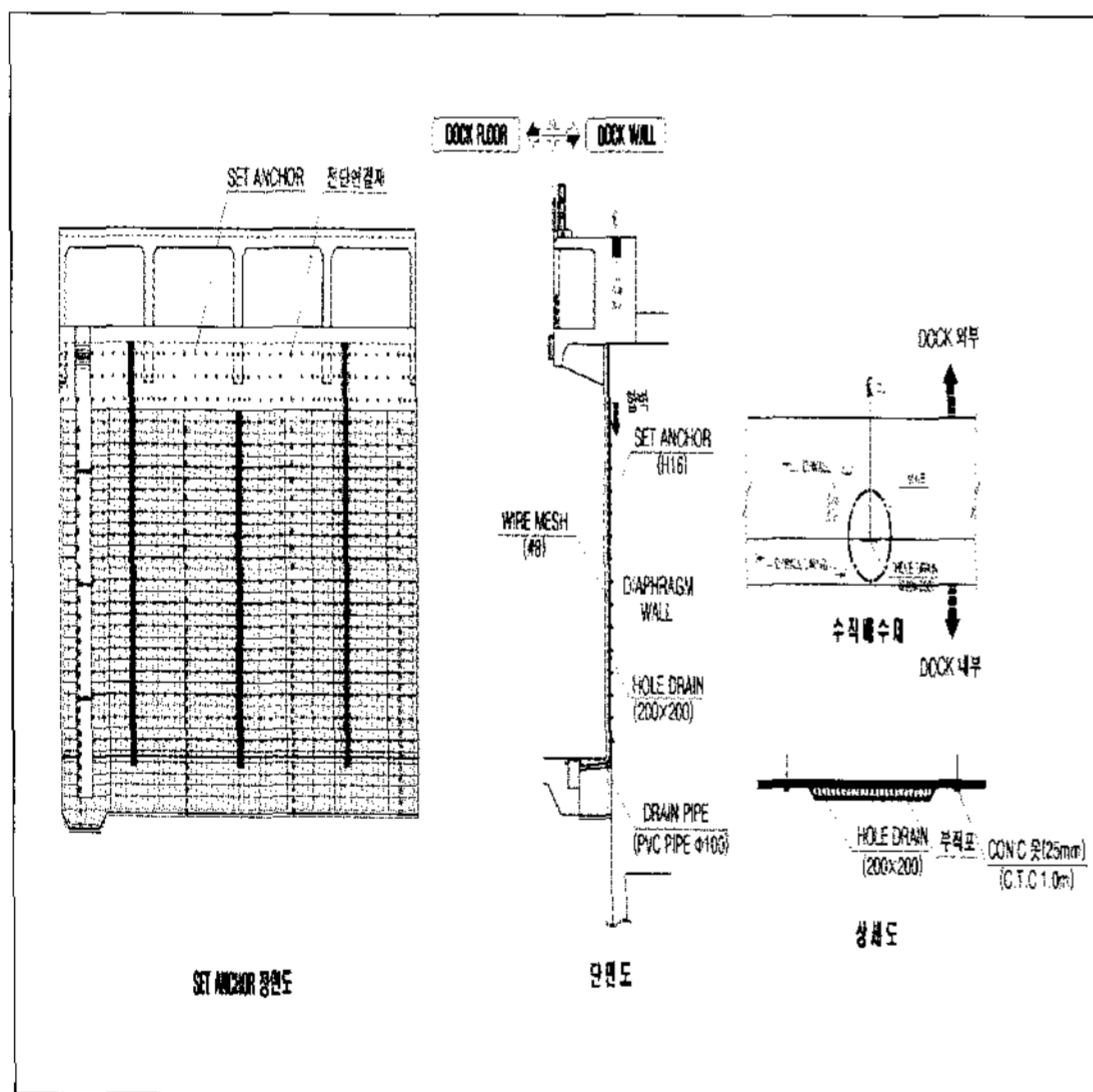


그림 5. 전면벽의 유도배수재 및 합벽채택

표 6. 지중연속벽에서 전단보강재 공법비교

구분	Caisson joint방식	Jacking rod 방식	슬리브 매입+천공방식
개요도			
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>고난이도 시공</li> <li>공사비 고가</li> <li>재시공 곤란</li> <li>시공효율 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내시공사례 없음</li> <li>공사비 보통</li> <li>불량을 조정에 따른 안정성 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내시공경험 풍부</li> <li>공사비 저렴</li> <li>토공속도에 영향</li> </ul>
선정			◎

표 7. 지중연속벽 굴착시 보완공법 비교

구분	선행 Soil cement wall	Pre-grouting	CB Wall 혹은 Remix
개요도	• 가이드월 하단에 SCW를 주열식으로 선행시공하여 차수 및 주변지반 강성 확보	• 후면벽 가이드월 외부 하단에 고압분사그라우팅을 주열식 시공으로 차수벽 형성	• Grab굴착후 안정액에 시멘트나 토사를 배합하여 벽체조성후 본굴착 실시
특징	• 트렌치 굴착시 공벽안정성 안정성 증대 • 공사비 고가 • 전석층에서 교반불가	• 후면벽 외부에 주열식 시공으로 선행차수 확보 • 공사비 보통 • 사석층에서 일수현상	• 선행작업으로 전석층 제거 • 공사비 보통 • 공사기간에 영향
선정			◎

안벽 법선과는 약 15m 정도 밖에 이격되어 있지 않아 투수성이 큰 사석층에서 안정액의 일수 등에 의한 공벽붕괴가 예상되었다. 따라서 설계시 이에 대한 대응으로서 3가지 방법을 검토하여 CB wall 혹은 Remix(Soil Cement)공법을 대안으로 채택하였다.

또한 판넬시공의 순서도 해측거벽 전구간의 지반 상태를 사전에 파악하고, 파랑이나 조류에 의한 영향을 막아심도가 깊은 차수거벽인 전면벽의 시공을 용이하게 하기 위하여 굴착심도가 얇은 후면벽(해안측 반력벽)을 선행으로 수행토록 계획하였다.

### 5) 철근망의 제작 및 건입계획

지중연속벽의 단면형상이 T형이고 용도에 따라 심도가 다양한 벽체의 특성상 철근망의 제작과 건입계획은 건입장비의 용량, 시공성 및 공기에 막대한 영향을 주기 때문에 이에 대한 충분한 검토가 필요하다. 특히, T형 철근망에서 격벽의 길이가 5m인 전면벽의 조립은 고소작업을 위한 별도의 특수 철근망 조립대를 만들지 않는 한 시공성이 결여되었다. 또한 철근망의 인양이나 건입시 철근망의 중량(전면벽 45톤, 후면벽 11톤)도 인양장비의 능력(80톤~100톤급 기준)을 감안하여 고려해야 한다. 따라서 650mm 후면

벽은 격벽의 길이가 2.55m로 비교적 조립이 용이하고 중량이 가벼워 T형의 철근망을 제작하여 건입하는 것으로 계획하였고, 800mm 두께의 전면벽은 4부분으로 별도로 제작하여 건입시 종방향 및 횡방향으로 상호연결하는 것으로 계획하였다.

### 6) 절대공기 및 장비계획

상기의 기술적인 사항 이외에도 Dock 축조를 위한 공사기간이 13개월에 불과하므로 지중연속벽의 공기에 대한 신중한 평가는 대단히 중요하다. 일반적으로 현장여건이나 지반조건이 양호한 지역에서의 시공은 트렌치 굴착장비(Bauer Cutter 혹은 Hydrofraise) 1대의 경우 주야 2일 기준으로 최대 3,500m<sup>2</sup>/월 이나 본 사업구간의 경우 현장여건이나 지반조건이 열악하였으므로 2,700m<sup>2</sup>/월 ~3,000m<sup>2</sup>/월로 고려하여 4개월 동안에 트렌치 굴착장비 3대(90톤 크레인 2대, 백호우를 포함하여 굴착장비 1대당 작업여유공간 약 160m)를 운용하는 것으로 계획하였다.

## 4. 해측거벽 시공순서

설계단계에서 해측거벽(H형 지중연속벽)의 시공은 (1)

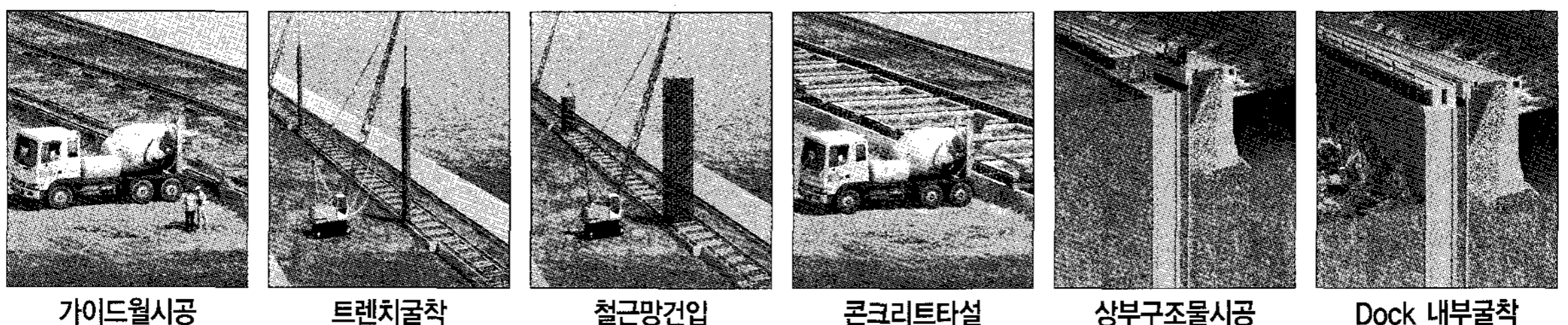


그림 6. 설계시 H형 자립식 지중연속벽 시공계획





사진 1. H형 자립식 지중연속벽 시공

가이드월 시공 (2) 트렌치 굴착(3) 철근망 제작 및 건입 (4) 콘크리트 타설 (5) 상부구조물(서비스 갤러리) 시공 (6) Dock 내부굴착의 순서로 계획하였다.

실시공 단계에서도 설계시 계획했던 순서대로 순조롭게 진행되고 있으며, 설계시 시공성에 대한 충분한 검토에 따라 시행착오를 최소한으로 줄이고 있다.

### III. 결론

현재 현대중공업의 10번째 Dry Dock인 해양 H-Dock 가 울산조선소 내에 축조중에 있다. 본 사업 중 거벽부는 크게 육측거벽(490m), 종점부거벽(115m), 해측거벽(490m)으로 구분되며, 이 중 해측거벽은 기존 의장안벽 법선에서 약24m 정도 폭밖에 여유공간이 없고, 기존안벽 배면사석층의 간섭 및 매립전석층의 존재 등으로 인하여 짧은 소요공기 내에 일반적인 차수거벽 축조가 곤란함에 따라 특수한 거벽구조가 요구되었으며, 본 고에서는 특수한 거벽구조로 H형 자립식 지중연속벽을 적용한 설계사례를 소개하였다.

본 자립식구조는 구조물 폭이 9m에 6m간격의 격벽을 설치한 H형이고 총 82개의 H형 판넬로 구성되어 있으며, 장비의 시공성을 감안하여 T형 두 개의 전면벽과 후면벽을 심도별 전단보강재로 연결하였다. 전면벽은 장래에 계획된 1,600톤 Goliath Crane기초와 거벽의 차수벽으로 사용하고, 7.55m길이의 격벽 중 지중연속벽 굴착장비를 고려하여 격벽일부(2.8m)는 역시 별도의 1,600톤 Goliath Crane기초로, 후면벽은 반력벽 역할 뿐만아니라 80톤 Jib Crane기초로 사용하였다. 현재 시공은 설계에 따라 시공중에 있으며, 해측 지중연속벽 공정을 약80% 정도 진행중

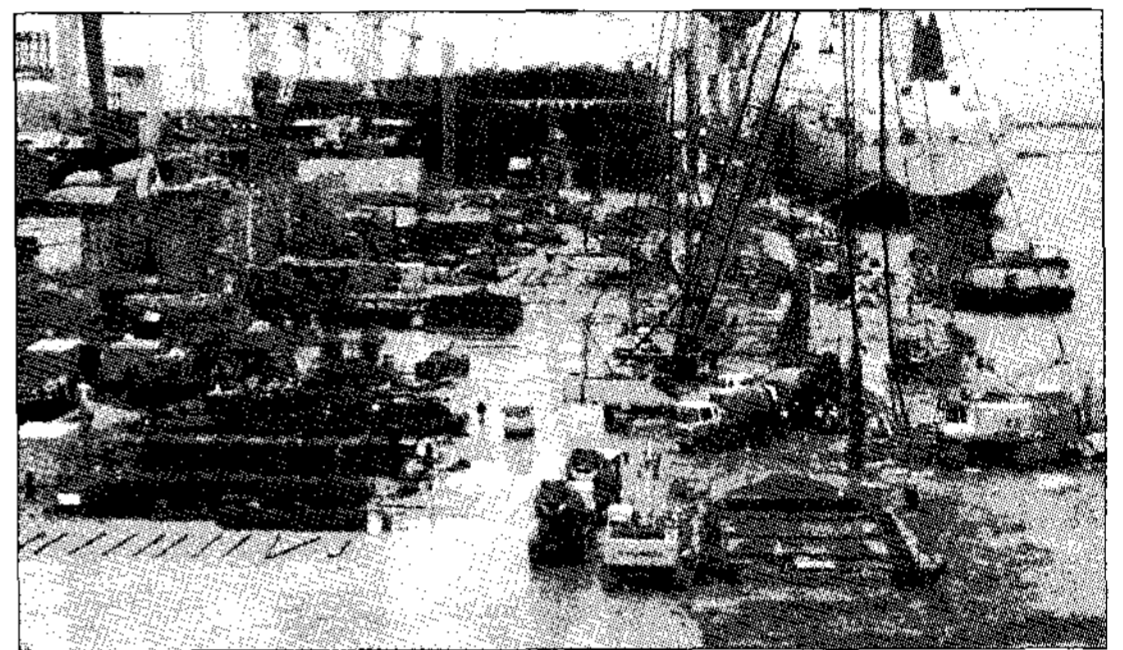


사진 2. 기존 의장안벽에 인접한 지역에서 자립식 지중연속벽의 시공현황

에 있다.

국내에서는 Dry Dock건설에 H형 자립식 지중연속벽 구조가 처음으로 설계되어 적용되는 사업으로 본 사례가 향후에도 해안지역의 불가피한 현장여건이나 열악한 지반조건이 존재하는 부지에서 H형 자립식 지중연속벽 공법의 수요가 증가될 것을 기대하면서 Dry Dock를 준공하는 그 날까지 최선의 노력을 경주하고자 한다.

### 참고 문헌

1. 현대중공업 (2007.9), "해양 H-Dock 현장설명자료".
2. 현대건설 (2007.9), "해양 H-Dock 축조공사 보고서".
3. Petros P. Xanthakos, "Slurry walls as structural systems", McGraw-Hill, Inc., 2nd Ed. 1994
4. "Diaphragm walls & anchorages", Institution of Civil Engineers, London, 1975
5. Malcolm Puller, "Deep excavations, A Practical manual", Thomas Telford, 2nd Ed., 2003