

# 자연석판을 이용한 조립식 옹벽 공법 (Stone Molding 공법)



이 관 희  
(주)세계스톤 부사장  
(ek3073@naver.com)



차 인 회  
(주)세계스톤 고문  
(ohkcheon@hanmail.net)



박 경 수  
(주)세계스톤 대표이사  
(genius7@hanmail.net)

## 1. 서 론

일반적으로 토목 공사시 발생하는 절개지, 경사지 및 암반 등과 경계지의 전방에는 이들이 토압 또는 우수 등에 의해 붕괴되는 것을 방지할 수 있도록 옹벽 등과 같은 구조물이 구축되는데, 종래의 옹벽은 콘크리트 옹벽이 주를 이루었다. 그러나 콘크리트 옹벽의 경우 경계지의 형태 및 조건에 대한 유연성이 부족함으로 지지기반의 확보를 위해 설치대상물로부터 이격되어 시공됨에 따라 넓은 작업공간의 확보는 물론 후속작업 공정인 뒤편 작업이 복잡하여 시공기간이 증가하는 등의 문제점 뿐만 아니라 양생 중 환경에 따라 팽창 및 수축을 반복하면서 균열 등이 발생하는 구조적 안정성 문제가 발생되었다. 또한 산성비로 인해 콘크리트 외관이 부식/변색되어 위화감을 조성하였으며, 주변 환경과 어울리지 못하는 외관상의 문제점이 지적되어 왔다.

이를 보완하기 위해 자연석을 이용하는 옹벽시공 방법이 개발되었으나, 종래의 자연석 옹벽의 시공방법은 자연석을 고정하기 위한 지지석과의 삼각형상을 이루도록 연결하는 방식이 번거로워 많은 작업시간이 소요될 뿐만 아니라 자연석이 중량이어서 견고하게 고정하기 힘든 구조적인 문제점이 발생하였다. 또한 자연석과 소석 사이로 토사 및 시멘트액이 유출되는 등 환경적 위해와 구조물 안정성에도 문제가 발견되어 왔다.

본 기사에서는 기존 콘크리트 옹벽의 보수·보강은 물론 거푸집 형성 및 시공방법의 난해성, 작업공간 확보에 따른 부지확보 문제, 양생 및 외관상 위화감 조성 등의 문제점을 효과적으로 해결하고 시공성, 구조적 안정성, 환경성을 개선한 자연석판을 이용한 조립식 옹벽 공법(이하 SM공법)을 소개하고자 한다.

## 2. 공법 특징

### 2.1 공법의 원리

본 공법은 기초 콘크리트 위에 조립식 자연석 판을 반복하여 쌓아 옹벽 구조체를 형성하는 방법으로 현장의 준비 단계가 간편하고 단순하며, 조립부재를 공장 제작함으로써 현장의 다른 공종과 동시에 진행이 가능하여 공기를 단축시킬 수 있어 신설 구조물 뿐만 아니라 기존 콘크리트 옹벽의 보수 및 보강에도 유리하다. 또한 자연석 석판을 기밀하게 접촉하므로써 외부수질 영향으로 콘크리트와 철근에 부식을 발생시키지 않으며 타설시 시멘트 용액이 누출되지 않아 환경적으로 안정하다. 본 공법에 사용되는 자연석은 내마모성, 내산성, 내염해성, 내동경 및 응해에도 안정적이다.

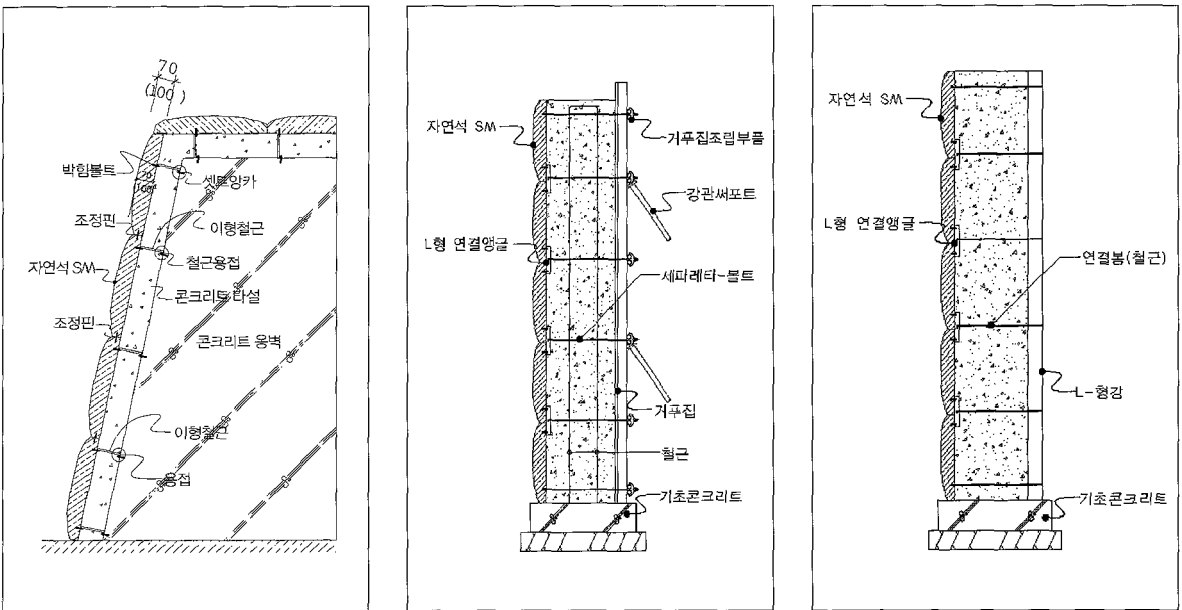
### 2.2 시공방법 및 고려사항

#### 2.2.1 시공방법

SM공법은 시공방법에 따라 크게 세 가지로 구분된다. 첫째, 기존 콘크리트옹벽의 보수 및 보강을 위한 방법으로 기존 콘크리트 구조물 외벽에 자연석을 부착함으로써 보수, 보강이 가능한 방법이다(그림 1(a)). 둘째, 배면에는 거푸집을 이용하고 전면에는 자연석판을 이용하는 SM공법 구조물로 자연상태의 경사법면 또는 블록, 벽돌 시공을 통해 배면 거푸집이 필요 없는 자연석 SM로 시공하는 공법이다. 이때 거푸집을 대신하여 벽돌을 이용한 경우도 해당한다(그림 1(b) 참조). 셋째, 전면에 자연석 SM를 설치하고 배면에 L형강에 의해 지지되는 거푸집을 조립하여 시공하는 공법이다(그림 1(c) 참조).

#### 2.2.2 시공순서 및 고려사항

앞에서 언급한 바와 같이 SM공법은 시공방법에 따라 3가지로 구분되며 각각의 시공순서와 고려사항을 표 1~ 표 3에 요약 제시하였다.



(a) 기존 콘크리트옹벽 보수, 보강

(b) 거푸집을 이용한 SM공법 구조물

(c) L형강을 이용한 SM공법 구조물

그림 1. 시공방법에 따른 구조물의 형상

자연석판을 이용한 조립식 옹벽 공법(Stone Molding 공법)

표 1. 기존 콘크리트옹벽 보수·보강을 위한 SM 구조물 시공 순서 및 고려사항

시공단계	시공방법	고려사항	개념도
앵커볼트 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 콘크리트 구조물 외벽에 앵커볼트 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부착될 전면판 하중조건 및 형상을 종합적으로 고려하여 앵커설치</li> </ul>	
SM 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초하단부터 SM을 길이방향으로 철근과 자연석에 박은 볼트에 연결봉을 용접하여 차례대로 조립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석판은 설치 전에 이물질을 깨끗이 청소를 해야 함</li> <li>자연석판은 취급 시 손상이 가지 않도록 주의하여 설치함</li> </ul>	
콘크리트 타설	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석 조립 후 몰탈 또는 콘크리트를 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>석판사이로 몰탈이 유출되지 않도록 형강 또는 발포우레탄 주입</li> <li>1회 타설시 50~70cm 높이 이하로 타설</li> </ul>	

표 2. 거푸집을 이용한 SM 구조물 시공 순서 및 고려사항(계속)

시공단계	시공방법	고려사항	개념도
기초콘크리트 타설 및 철근 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초 콘크리트 타설후 철근과 거푸집을 써포터로 지지하면서 가설함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전면판 하중조건 및 지반여건을 종합적으로 고려하여 단면결정 콘크리트 압축강도 <math>f_{ck} = 210\text{kgf/cm}^2</math> 을 기본으로 함</li> </ul>	
1단 자연석 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석 SM에 박힌 볼트에 연결앵글을 너트로 조립한 후 세파레이터를 거푸집과 조립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설치전 상세 설치방법, 가고정 방법 및 안전관리대책 등을 면밀히 검토</li> <li>자연석판은 이물질이 없도록 주의</li> </ul>	
2단 자연석 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>1단의 자연석 SM가 조립되면 2단계도 연결앵글로 상하 자연석 SM와 너트로 체결하면서 조립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석의 품질에 주의하고 정확한 설치를 위해 연결봉, 연결앵글 등의 길이를 정확히 시공해야 함</li> </ul>	

표 2. 거푸집을 이용한 SM 구조물 시공 순서 및 고려사항

시공단계	시공방법	고려사항	개념도
콘크리트 타설	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계서의 기준 높이로 조립한 후 콘크리트를 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>석판사이로 몰탈이 유출되지 않도록 형견 또는 발포우레탄 주입</li> <li>타설전 슬리브가 움직이지 않도록 유의하여 설치</li> <li>1회 타설시 50~70cm 높이로 타설할 것</li> </ul>	

표 3. L형강을 이용한 SM 구조물 시공 순서 및 고려사항

시공단계	시공방법	고려사항	개념도
철근 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계도에 따라 L형강과 고정철근을 기초콘크리트 타설 전에 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L형강을 미리 설치하므로 시공높이에 맞게 정확하게 설치</li> </ul>	
U앵글 용접	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석 SM의 박힘 볼트에 연결앵글을 너트로 체결하고 연결봉을 L형강에 용접</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정확한 설치를 위해 연결봉, 연결앵글 등의 길이를 정확히 시공해야 함</li> </ul>	
자연석 및 U앵글 조립	<ul style="list-style-type: none"> <li>1단의 자연석 SM가 조립되면 2단도 연결앵글로 상하 자연석 SM와 너트로 체결하여 조립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자연석판은 이동시 파손, 이물질 등의 품질에 주의하고 단단히 고정될 수 있도록 너트와의 체결상태를 확인</li> </ul>	
콘크리트 타설	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계서의 기준 높이로 조립한 후 콘크리트를 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>석판사이로 몰탈이 유출되지 않도록 형견 또는 발포우레탄 주입</li> <li>1회 타설시 50~70cm 높이로 타설할 것</li> </ul>	

## 2.3 공법의 설계

### 2.3.1 SM에 작용하는 압력

SM공법 설계 및 시공 시 콘크리트의 압력이 거푸집의 강도 및 재료의 규격 등을 결정함으로 이에 대한 검토가 중요한 문제이다.

그림 1은 콘크리트 타설 높이에 따른 SM에 작용하는 압력분포를 도시한 것이다. 콘크리트 타설 초기(그림 2(a) 참조)부터 SM에 전달되는 압력은 점차 상승하여 최대압력에 도달하는 상태 그림 2 (b) 참조의 타설 높이를 콘크리트 헤드로 보면 타설 진행시 하부의 콘크리트는 경화되므로 최대 압력점은 상부로 이동하게 된다(그림 2(c) 참조).

콘크리트 타설시 압력에 영향을 미치는 요인은 아래와 같다. 이때, 고화재, 응결축진재의 사용 등 특수한 경우는 제외하였다.

#### ① 콘크리트 타설 속도

- 콘크리트 헤드 =  $R \times T$  여기서, R: 타설속도, T: 응고시간
- 타설 속도가 빠를수록 콘크리트 헤드가 증가하기 때문에 압력이 증가한다.

#### ② 콘크리트 단위중량

- 콘크리트의 단위중량이 무거울수록 압력은 증가한다.

#### ③ 콘크리트의 온도와 타설시 기온

- 기온이 높으면 시멘트의 응고시간이 짧아져 콘크리트의 헤드가 작아지므로 압력은 감소하며, 반대로 기온이 낮으면 압력은 증가한다.

#### ④ 진동기 사용 유/무

- 진동기를 사용하는 경우 압력은 10~20% 증가한다.

따라서 동일한 단위중량의 콘크리트를 타설한다면 콘크리트의 최대압력은 계절 및 타설 속도에 따라 표 4와 같이 산정할 수 있다. 만약 진동기를 사용한다면 산정된 최대압력에서 1.2를 곱한다.

표 4. 콘크리트 최대 압력 산정 방법

구 분	산정식	비고
동절기	$P_{max} = H \times 60 / T \times K$	기온 10°C 이하
하절기	$P_{max} = H \times 20 / T \times K$	기온 25°C 이상
봄·가을	$P_{max} = H \times 40 / T \times K$	기온 10~25°C 이내
타설 속도	$P_{max} = H \times K$	20분 이내

여기서,  $P_{max}$ : 최대압력( $tf/m^2$ ), H: 타설높이(m),  
T: 타설시간(min), K: 콘크리트 단위중량( $tf/m^3$ )

(주) 동절기에는 60분 이내, 봄·가을에는 40분 이내, 하절기에는 20분 이내에 타설해야 한다.

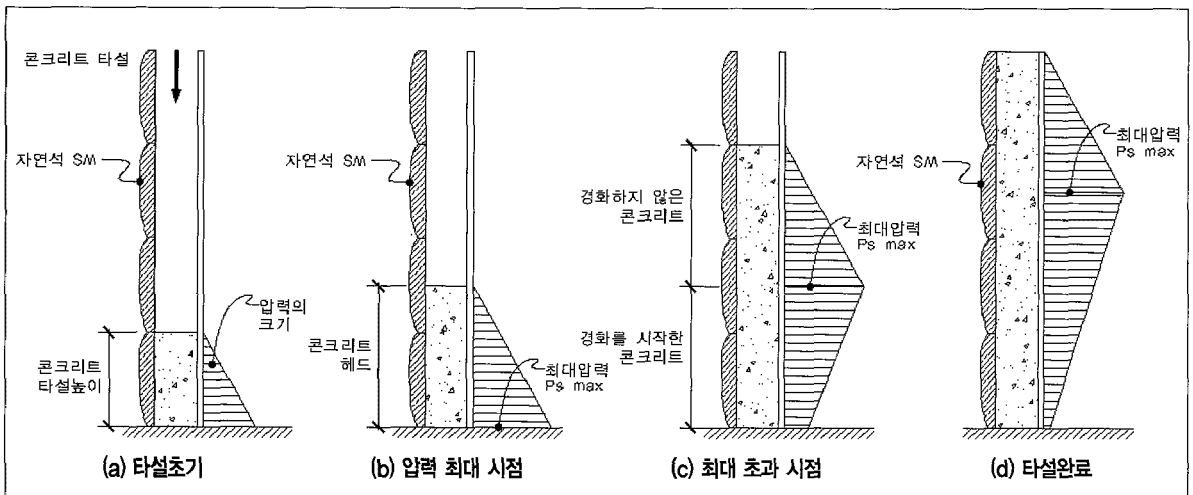


그림 2. 콘크리트 타설에 따른 압력 분포

### 2.3.2 국내 SM공법 사용 재료 특징

그림 3은 국내에서 일반적으로 사용되는 부여석과 황등석을 공장에서 제품화하여 실내시험을 실시한 결과를 도시한 것이다. 이때, 일반적으로 사용되는 자연석판의 규격은 두께 70~100mm, 폭 300~ 600mm, 길이

300~900mm로 설계규격에 따라 조정할 수 있다. 그림 4는 앵커 인발 시험 시 공장 제작된 SM의 시험 전·후의 결과 사진이다.

### 2.3.3 재료의 요구 강도 산정

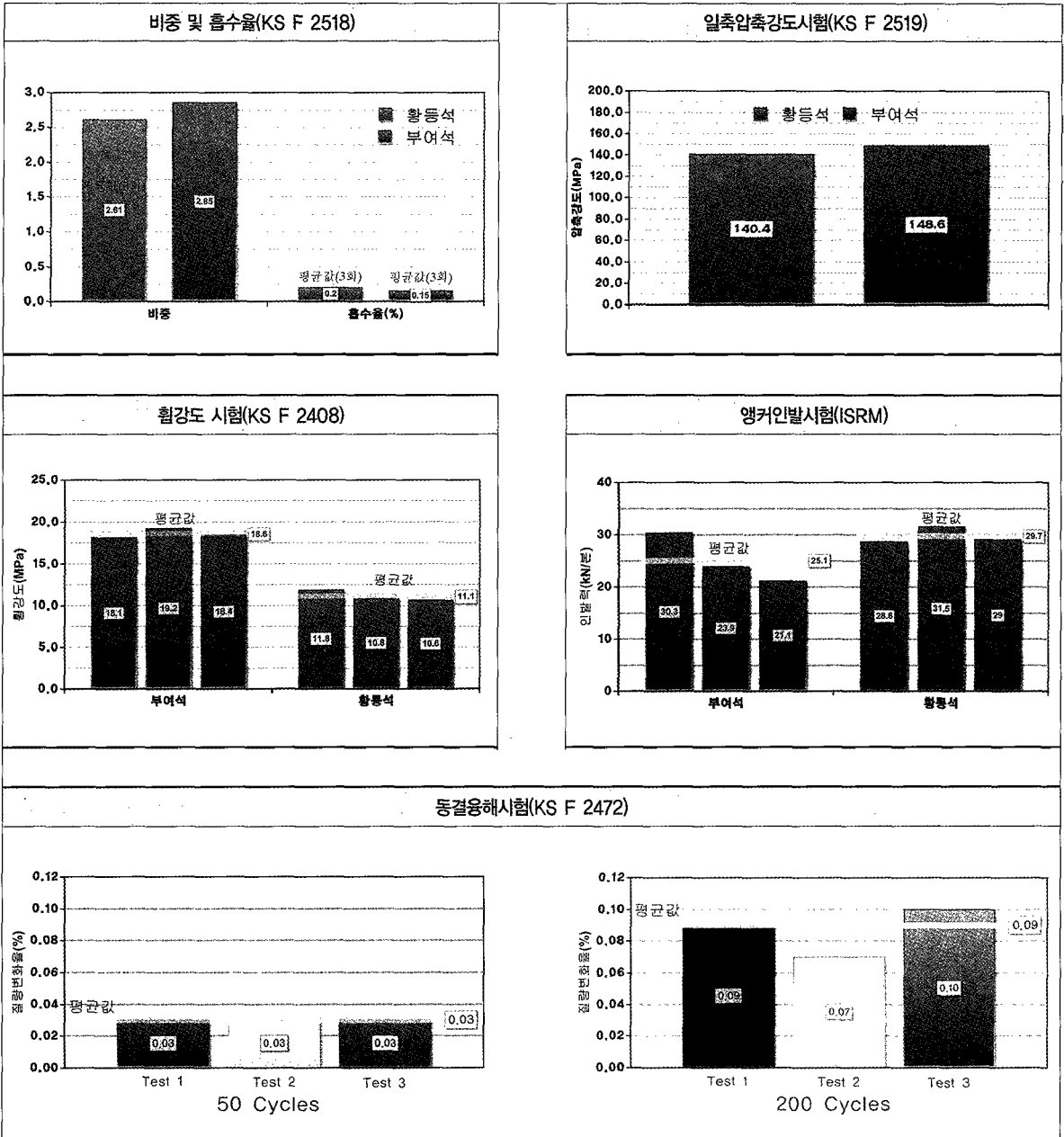


그림 3. SM의 공학적 특징

## 자연석판을 이용한 조립식 옹벽 공법(Stone Molding 공법)

SM공법에 사용되는 재료는 자연석, 볼트, 연결 U앵글, 연결봉 및 I형강 등이 있으며, 각 재료는 콘크리트 타설 높이에 따라 압력이 증가하므로 그 압력을 지명할 수 있

는 재료를 선정하는 것이 중요하다. 콘크리트 최대압력에 따른 재료의 요구강도는 표 5와 같이 산정할 수 있다.

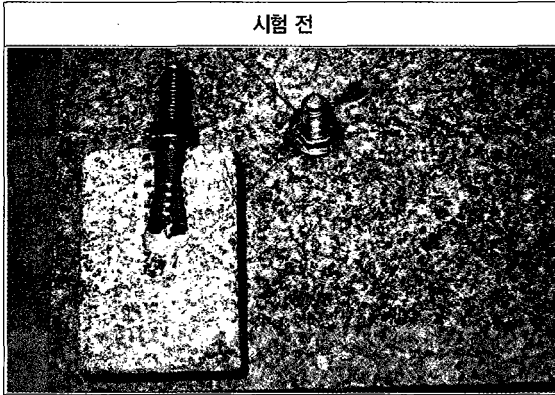


그림 4. 앵커인발시험 전경

표 5. 재료의 요구 강도

재 료	산정방법	모식도												
자연석 SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>박힘볼트의 지점간 간격을 고려하여 <math>P_{max}</math> 작용시 휨응력에 대한 SM의 휨 강도 평가</li> <li>SM의 휨강도는 실험을 통해 결정</li> </ul>													
박힘볼트	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>P_{max}</math> 작용시 자연석 SM 장당 최대압력에 대해 볼트의 요구강도 산정</li> <li>일반적으로 SM 1장에 4개의 박힘볼트가 설치됨</li> </ul>													
연결봉	<ul style="list-style-type: none"> <li>박힘볼트 강도의 2배 정도 인장강도가 요구됨</li> <li>일반적으로 사용되는 연결봉의 허용 응력은 다음과 같음</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">구 분</th> <th style="text-align: center;">직경</th> <th style="text-align: center;">인장파괴강도</th> <th style="text-align: center;">인장허용강도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">W5/16</td> <td style="text-align: center;">7.0mm</td> <td style="text-align: center;">2,000kg/ea</td> <td style="text-align: center;">1,400kg/ea</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W3/8</td> <td style="text-align: center;">8.4mm</td> <td style="text-align: center;">3,000kg/ea</td> <td style="text-align: center;">2,100kg/ea</td> </tr> </tbody> </table>	구 분	직경	인장파괴강도	인장허용강도	W5/16	7.0mm	2,000kg/ea	1,400kg/ea	W3/8	8.4mm	3,000kg/ea	2,100kg/ea	
구 분	직경	인장파괴강도	인장허용강도											
W5/16	7.0mm	2,000kg/ea	1,400kg/ea											
W3/8	8.4mm	3,000kg/ea	2,100kg/ea											
연결 U앵글	<ul style="list-style-type: none"> <li>연결봉의 요구 인장강도에 대한 앵글 중심에서의 휨응력과 앵글의 허용 휨 강도 평가</li> </ul>													

### 3. 시공 사례

본 공법은 하천, 공원, 항만, 도로의 제방, 보 등의 구조물 설치공사에서부터 문화재 석축 등 담장 보강 공사, 노후된 콘크리트 구조물의 보강공사, 대형댐 및 사방댐의 구조물 축조공사에 이르기까지 다양한 분야에서 시공되

고 있다. 일본에서는 콘크리트 댐, 제방의 부식/변색에 의한 위화감 및 구조적 문제점을 고려하여 SM공법으로 대체되고 있는 실정이며, 기존의 콘크리트 댐의 경우 외벽에 자연석을 부착함으로써 내구성 향상, 수질보존 및 자연 친화적 외관의 효과를 기대하고 있다.

그림 5는 시공 완료된 SM의 적용 사례를 나타낸 것이다.

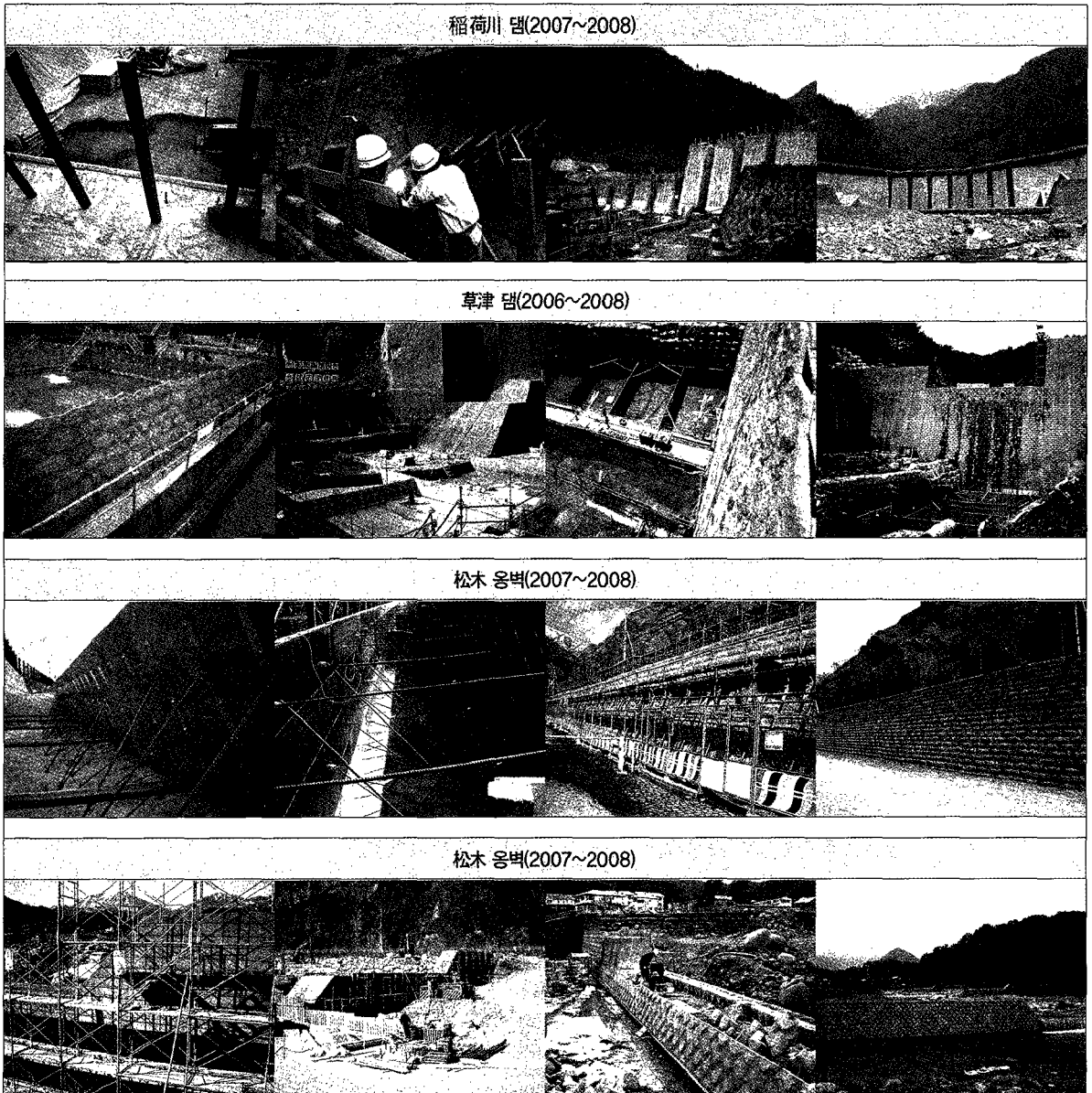


그림 5. SM공법 시공 사례



## 4. 결론

친환경적 공법이 주목받고 있는 현재, SM공법은 기존의 콘크리트 옹벽의 문제점을 보완하고 공기단축에 의한 시공비 절감효과, 작업공간 최소화로 인한 부지활용 극대화, 자연석을 외벽으로 이용하여 내구성을 크게 향상시켜 수명이 반영구적인 공법으로 해외에서 각광받고 있다. 또한 자연석의 장점인 내구성과 친환경적인 외관으로 인해 옹벽, 댐, 제방뿐만 아니라 주거용 콘크리트 구조물에 이르기까지 활용 폭은 더욱 증가하고 있다. 또한 자연석의 기밀접촉으로 외부의 수질로 인한 철근 및 콘크리트부식이 발생하지 않으며 타설시 시멘트액이 누출되지 않아 환경적으로도 안전하다.

현재 국내 옹벽공사의 규모는 연간 약 6천억원 이상으로 예상되며, 우리나라의 지형특성이 평지보다 경사지가 많으므로 건설공사가 있는 한 그 규모는 계속 유지 또는 증가될 전망이다. 또한 부지 확보가 어려운 현재 기존의 빌딩, 주택건설, 도로 등이 점차 경사도가 높은 임야에서 건설될 수밖에 없으므로 연 5% 이상의 옹벽시공 규모가 확대될 전망이다. 이러한 요구에 의해 국내에서도 SM공

법이 도입되어 시공되고 있으며, 친환경적이고 경제성을 요구하는 국내 트렌드에 부합되므로 앞으로 그 규모는 더욱 확대될 전망이다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부(2009), "구조물 기초 설계기준", 기술경영사, pp. 250-276
2. 서재남(2006), "자연친화적 식생용 조립식 옹벽 구조안정성 및 효율성 분석", 중부대학교 학위논문
3. (주)세계스톤(2009), "자연석 구조물 시공법(SM 공법 기술자료)"
4. T.W Lambe, R.V. Whitman(1969), "Soil Mechanics", John Wiley & Sons Inc, pp. 165-166
5. 日本道路協會(1986), "道土工一のり面工", 面安定工, P42
6. 日本石灰協會 土質安定處理工法委員會(1970), "石灰による土質安定處理工法", 山海堂, pp 137-145
7. 共和コンクリート工業株式會社 홈페이지, <http://www.kyowa-concrete.co.jp>

## 박사학위 소개기사 요청

지반지에서는 회원여러분의 오랜 연구기간동안의 결실인 박사학위에 대하여 초록을 신고 소개하는 기사가 있습니다. 국내외에서 박사학위를 취득하신 분이나 학위취득하신 분을 알고 계신 회원께서는 학위논문 초록, 지도교수, 학위취득년도 등을 수록하셔서 학회로 보내 주시면 정성껏 편집하여 지반지를 빛내는데 사용하겠습니다. 여러 회원님들의 많은 관심을 바랍니다.

제출처 : kgssmf@chol.com