

신기능 콘크리트

식생 콘크리트  
Eco-Concrete



최 룡\*



김진춘\*\*

1. 서론

지난 과거의 국내·외 현실은 생산성중심의 산업발전으로 대량생산 및 대량소비형태를 취해왔으며 이러한 사회 구조적인 문제로 말미암아 자원의 고갈, 대기 및 수질오염, 토양의 사막화현상 등 지구의 생태계 파괴라는 심각한 환경문제에 당면해 있다. 그러므로 이러한 지구상의 자원 및 환경보전의 유한성을 고려해 볼 때 생태계를 파괴하지 않고 지구환경과 조화를 이루는 재료의 개발 및 사용이 시급한 과제이며 불가피한 실정이라 할 수 있겠다. 한편 제반 건설활동도 지구온난화에 적지않은 기여를 하였는데 최근 보고에 의하면 직·간접적으로 건설산업에서 배출되는 이산화탄소의 양이 전체 배출량의 약 40%를 차지한다고 한다.

이렇듯 환경보존에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 시멘트·콘크리트 문화

를 주도해온 건설기술자들 사이에서 기존의 구조용 재료로서만 사용되어 온 콘크리트를 환경친화적인 재료로 개발하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그 대표적인 예로서 ECO콘크리트를 들 수가 있는데 ECO콘크리트라는 용어는 일본콘크리트공학협회의 ECO콘크리트연구위원회가 처음으로 사용한 것으로서 환경보존 및 생태계와의 조화를 도모한다는 의미에서 환경친화적인 콘크리트(Environmentally Friendly Concrete)라 명한 것에 그 어원을 찾을 수 있다. 그림 1은 종래 콘크리트와 ECO콘크리트와의 비교를 모식화한 것으로서 그림에서와 같이 ECO콘크리트는 기존의 재료와 동일하게 우수한 강도 및 내구성을 발휘하고 지구환경과 생태계와의 조화를 도모할 뿐만 아니라 사람들이 생활함에 쾌적함을 제공하는 것이 그 목적이라 할 수 있겠다.

\* 정회원, 쌍용중앙연구소 소장

\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

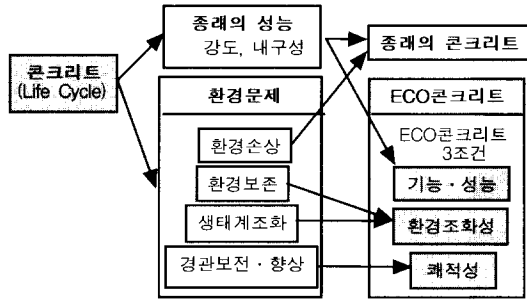


그림 1 일반콘크리트와 ECO콘크리트의 비교

이러한 ECO콘크리트의 활용처로서는 ①호안 정지작업, 도로변 사면안정처리 ②콘크리트 흡음벽 ③해양양식용 인공어초 ④수질 및 대기오염 정화 블록 등이 있으며 대부분이 다공성 콘크리트(Porous Concrete)에 식물을 배양한 형태를 취하고 있으므로 본 장에서는 식생(植生) 콘크리트라 명하고 실험 및 문헌 등을 통하여 그 개념 및 동향에 대해 논하고자 한다.

## 2. 식생 콘크리트에 필요한 기능

식생 콘크리트에 필요한 기능은 콘크리트 내에 식물이 성장할 수 있는 식생기능과 콘크리트의 기본적인 역학적 성질과의 공존에 있다. 그 중에서 식물이 살아가기 위해서는 빛, 성장에 필요한 공간, 대기 및 토양 등 4가지의 조건이 반드시 요구되므로 콘크리트에 직접 식물을 배양하기 위해서는 콘크리트에 토양과 동일한 기능을 부여하는 것이 필요하다.

한편 보통 콘크리트는 그림 2에서와 같이 잔골재와 굵은 골재가 시멘트 페이스트 내에 분산이 되어 있는 형태로서 공극이 작고 조직이 밀실하여 식물이 성장할 수 없다. 그러므로 씨앗이 발아하거나 식물이 뿌리를 내리고 성장할 수 있는 충분한 공간을 제공하기 위해서는 콘크리트 내부에 공극이 많고 물이 통할 수 있는 연속공극이 형성되어 있어야하며 이러한 조건들은 다공성 콘크리트에서 가능하다. 콘크리트가 다공성을 갖기 위해서는 골재의 입도가 균일해야 하며 통상적으로 잔골재를 사용하지 않는 것이 유리하다.

일반적으로 토양에는 식물이 성장할 수 있는 적절한 pH(보통 5~8, 높은 경우 9.5정도)의 수

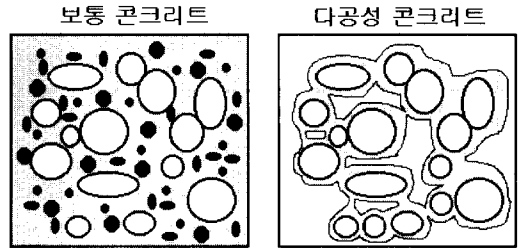


그림 2 콘크리트의 내부구성

분이 함유되어 있으나 콘크리트는 시멘트가 수화되면서 생성되는 수화물의 영향으로 강알칼리성을 나타내므로 식물 성장을 위해서는 반드시 중화처리가 동반되어야 한다. 표면적이 큰 다공성 콘크리트는 초기에 알칼리성분의 용출이 많으므로 이를 위하여 알칼리량 저감대책으로서 일정기간 거중 탄산화처리를 하여 수중 알칼리성분의 용출을 촉진시키는 방법이 있으며 고로슬래그 미분말 또는 실리카 흙 등의 혼화재를 시멘트에 혼합함으로써 잠재수경성 및 포졸란 반응으로 가용성의 수산화칼슘을 감소시키는 방법이 일반적이며 필요할 경우 알칼리성분의 용출을 억제하기 위해서 인산2암모니움  $[(NH_4)_2HPO_4]$  같은 중화제를 이용하여 중화처리를 하기도 한다. 인산2암모니움은 약산으로 시멘트속의 알칼리를 중화하고 생성한 인산은 난용성을 띠고 있어 알칼리의 용출을 억제한다. 또 잔존하는 인산2암모니움은 비료로 작용하여 식물의 성장을 촉진하는 역할을 한다. 아울러 레진계열의 결합재를 이용하는 방법 등 여러 방면으로 검토가 진행되고 있다.

이 이외에도 식물이 성장하기 위해서 토양과 같이 보수성(保水性)과 투수성(透水性)을 유지하는 조직구조와 식물을 지지할 수 있는 역학적 강도를 견비해야 하며 이러한 토양 내에는 적절한 pH의 물과 적정량의 영양분이 함유되어 있어야 한다.

그러므로 상기한 내용과 같이 식생에 요구되는 기능을 모두 만족시켜야만 식물기반으로서의 콘크리트가 실현되는 것이다.

## 3. 식생 콘크리트의 구성

식생 콘크리트는 식물이 뿌리를 내리고 살 수 있도록 다공성 콘크리트부분으로 공간을 제공하

고 여기에 ①고보수성 배양토 충전 ②알칼리 중화처리제 혼입 ③고용성 비료 혼입 ④박층 객토 재 고착 등의 소재에 의해 콘크리트에 토양기능을 주는 동시에 강도를 확보할 수 있도록 구성되어 있고 그 일례를 그림 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 식생 콘크리트는 크게 다공성 콘크리트, 보수성 충전재 그리고 표층 객토 등 3요소로 구성되어 있으며 각 요소에 따른 특성은 아래의 내용과 같다.

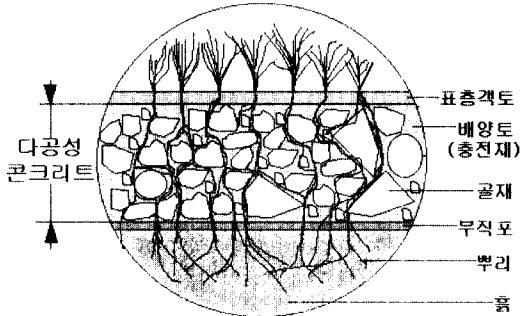


그림 3 식생 콘크리트의 구성

### 3.1 다공성 콘크리트

다공성 콘크리트(Porous Concrete)는 입도 조정된 굵은 골재를 소량의 시멘트 페이스트가 둘러싸므로써 골재를 서로 접촉시켜 형성된 것으로서 식생 콘크리트의 골격이라 할 수 있다. 다공성 콘크리트의 배합 및 물성은 아래와 같다.

#### 1) 배합

다공성 콘크리트는 우선 배합에 있어서 그림 4와 같이 보통 콘크리트에서 잔골재의 용적을 굵은 골재가 대체하고 물과 시멘트의 용적을 낮추어 공극을 늘린 것으로 배합조건 중 단위시멘트량은 공극을 폐쇄시키지 않는 범위에서 굵은 골재가 시멘트 페이스트에 둘러싸이는 양으로서 일반적으로 300~400kg/m<sup>3</sup>정도가 추천되고 있다.

최적의 물-시멘트비는 30~40%의 범위이며 이 범위를 상회하는 높은 물-시멘트비의 경우에는 시멘트 페이스트가 점성을 잃고 흘러내려 유실이 될 가능성이 많고 반면에 낮은 물-시멘트비에서는 성형에 요구되는 시멘트 페이스트의 적정한 점도가 형성이 되지 않고 다짐 또한 곤란하다.

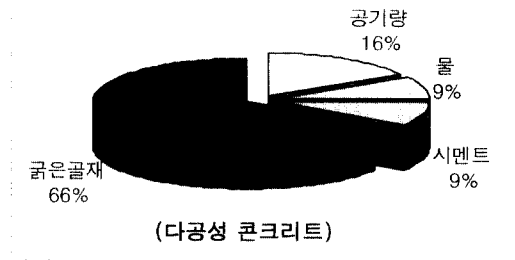
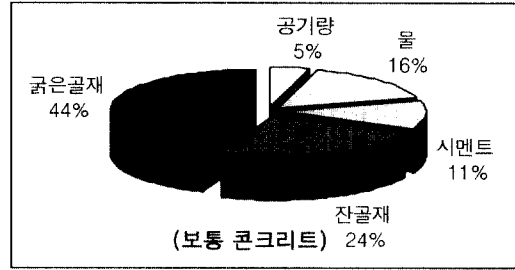


그림 4 콘크리트배합의 용적비

결론적으로 배합측면에서의 다공성 콘크리트의 제조는 공극의 형성이 주 관건이라 할 수 있으므로 사용골재의 입도, 물-시멘트비 및 단위시멘트량 등의 배합인자들이 상호연관되어 있으므로 굵은 골재의 치수에 따라 실내실험을 통하여 최적 배합을 도출함이 요구된다.

#### 2) 물성 및 특성영역

다공성 콘크리트에는 연속 또는 독립된 공극구조가 공존하는 콘크리트로서 요구되는 물성을 표 1에 정리하였다. 표에서 나타난 바와 같이 공극률은 대략 5%~35%의 범위로 요구되는데 다공성 콘크리트의 공극률은 절대단위용적중량(콘크리트의 1m<sup>3</sup>중 공극이 없다고 가정한 상태의 중량으로서 콘크리트 구성재료의 비중에 의해 계산한 중량)에 대한 다공성 콘크리트의 단위용적중량(KS F 2409)을 비율로서 나타낸 값으로서 이러한 공극률과 공극구조가 콘크리트의 강도 및 투수성과 같은 물리적 특성 뿐만 아니라 해양생물의 부착, 수질정화 및 식생에 관한 효과를 좌우한다고 해도 과언이 아닐 것이다.

그림 5는 구형의 골재 및 쇄석을 사용한 다공성 콘크리트의 내부 공극형상을 도시화한 것으로서 골재와 골재주변을 둘러싸고 있는 페이스트에 의해서 생성된 공극이 연속적으로 변화하는

표 1 다공성 콘크리트의 물성값

물성 항목	물성값의 범위
비중	1.6~2.0(쇄석사용 경우)
공극률	5%~35%
압축강도	50~300kg/cm <sup>2</sup>
인장강도	압축강도의 1/7~1/14
휨강도	10~50kg/cm <sup>2</sup>
정탄성계수	0.7~2.0×10 <sup>10</sup> kg/cm <sup>2</sup>
동탄성계수	14×40kg/cm <sup>2</sup>
부착강도	15~60kg/cm <sup>2</sup>
건조수축	200~350×10 <sup>-6</sup>
투수·차수성	0.1~5.0cm/s 정도
단열성	0.3kg·cal/m <sup>2</sup> ·h·°C

입체구조로 형성되어 있다.

이러한 공극구조를 가지는 다공성 콘크리트의 특성영역을 설계상의 관점에서 개념화한 것이 그림 6이다. 다공성 콘크리트는 구조용 콘크리트, 암반, 지반의 중간적인 영역에 속해있으며 생물이 성장할 수 있는 영역에 대략적으로 일치하는 제물성을 보유하고 있다고 할 수 있겠다.

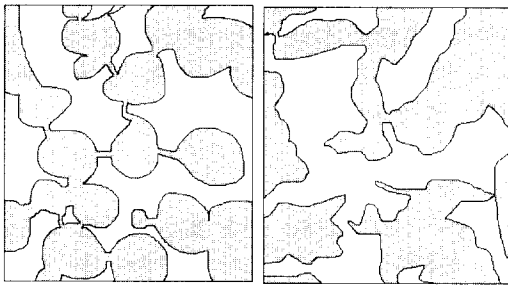


그림 5 다공성 콘크리트의 내부 공극형상

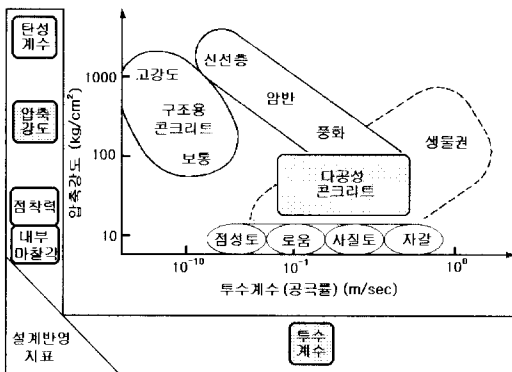


그림 6 다공성 콘크리트의 특성영역

### 3.2 보수성 충전재

식물이 육성·성장을 위해서는 적절한 수분과 비료성분의 확보가 필수적이므로 식생 콘크리트는 다공성 콘크리트의 공극 내에 보수성 재료와 비료를 충전하여 콘크리트 내부에 진입한 식물의 뿌리에 수분과 영양을 제공해주고 식생 콘크리트의 하부가 토양인 경우에는 수분이 흡입되어 올라가는 기능이 부여된다.

식생 콘크리트의 공극 충전에 사용되는 보수성 재료 및 방법에 대해서는 다양한 실험결과들이 보고되고 있으며 그 예로서는 보수성 재료로서 각종의 토양입자, 무기질의 인공토양, 흡수성 고분자 등의 혼합물이 사용되고 있으며 한편 피트모스(Peatmoss)라는 약산성의 보수재와 난용성의 고체비료를 물, 증점제와 함께 슬러리 형태로 공극에 충전시키는 방법이 있으며 또한 톱밥과 활성탄을 혼합한 것 등에 물을 가하여 동결시킨 다음 콘크리트 내에 얼린 고형물을 배치시키는 방법 등이 개발되고 있다. 방법상으로는 건식 충전법과 습식 충전법으로 나눌 수 있으며 어느 경우이든 식생 콘크리트 위에 살포한 후 적당한 진동을 가하면 충전재가 연속공극 사이로 스며들어 충전이 된다. 건식 충전법은 시공이 간편하고 충전재를 충분히 다져 넣을 수 있는 장점이 있는 반면 먼지가 많이 발생하며 시공속도가 느리기 때문에 현장시공에서는 적합하지 않지만 실내실험에서는 사진 1과 같이 충전재인 배양토를 충분히 다져 넣기 위하여 건식 충전법을 사용하기도 한다. 한편 배양토와 물을 혼합한 슬러리에 중화제를 첨가하여 충전하는 습식 충전법은 슬러리



사진 1 배양토를 진동 충전시키는 모습

상이 진동에 의해서 재료분리가 발생하지 않도록 적당한 배합비(물/분체비: 약 35~45%)를 유지해야 한다. 습식 충전법은 슬러리화 공정이 추가로 필요하고 충전재를 다져 넣을 수 없는 단점이 있지만 시공 중 먼지발생이 줄어들고 시공속도가 빠르기 때문에 실용화 단계에서는 유리할 것으로 판단된다.

### 3.3 표층객토

다공성 콘크리트의 표면에는 얇은 토층을 고착시키는 경우가 있다. 표층의 객토는 발아공간의 형성과 경화체내의 수분의 건조를 방지하고 식물의 발아 후 초기의 비료 공급원으로서 작용을 하며 아울러 얇은 층의 객토는 식생 콘크리트의 표면에 우수하게 고착하기 때문에 연직면에서도 자립이 가능하고 뿔칠시공으로 고착시키는데 녹화 조건에 따라 필요한 경우 관수(灌水)시설을 설치하기도 한다.

## 4. 식생 콘크리트의 성질

식생 콘크리트는 콘크리트 자체의 역학적 성질을 확보하고 이에 식물이 성장할 수 있는 토양의 기능을 부여하는 것으로서 표 2에서와 같이 식생 콘크리트에 요구되는 조건들을 충분히 만족시킬 수 있는 구성요소들이 검토되어야 한다.

표 2 식생 콘크리트 구성요소와 요구조건과의 관계

요구조건	식생 콘크리트 구성요소					
	다공성 경화체	시멘트	보수재	중화 처리	비료	객토
저 알칼리		⊙	⊙	⊙		
보수성	⊙		⊙			△
투수성	⊙		⊙			
착근공간	⊙		⊙			△
발아공간	△		⊙			⊙
영양분			△	△	⊙	⊙
역학적성질	⊙	⊙				

상호관계 (⊙:높음 ⊖:보통 △:약간)

식생 콘크리트에 관련된 현재의 연구도 이러한 맥락에서 진행되고 있으며 식생 콘크리트의 각 구성요소 및 제조조건이 식물의 성장기능과 역학적 성질에 미치는 영향은 아래와 같다.

## 4.1 식물의 성장기능

(1) 식생 콘크리트의 공극률과 공극 크기가 식물에 미치는 영향

식물의 성장은 식생 콘크리트의 공극률이 높고 공극 크기가 클수록 양호하다고 보고되고 있으며 이것은 즉 사용골재의 최대치수가 클수록 성장이 우수함을 나타낸다. 그러나 식생 콘크리트의 공극률이 높거나 입경이 큰 골재를 사용하면 강도의 저하가 발생되므로 공극률은 20~30%, 골재입경은 10~15mm의 단입도의 굵은 골재 또는 13~20mm 쇄석이 사용되는 경우가 많다. 식생 콘크리트의 공극률과 잔디의 발아 개체수와의 관계를 나타낸 것이 그림 7이다.

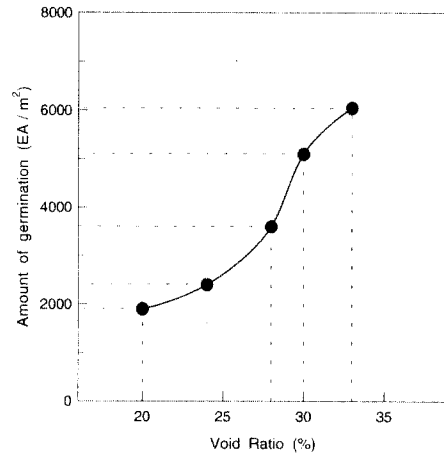


그림 7 공극률과 잔디 발아와의 관계

이 그림에서 공극률 30%정도에서 잔디의 발아 개수가 급증함을 알 수 있으므로 식물이 성장하기 위해서 식생 콘크리트는 내부 공극률이 30% 이상이 되도록 성형되어야 한다. 하지만 공극률이 동일하다고 해도 사용하는 골재의 입경변화에 따라 공극의 크기가 달라질 수 있다. 예로서 쇄석을 사용함에 있어서 골재의 입경이 13~20mm인 경우 평균 공극의 크기는 3.5mm 정도이고 5~13mm는 1.8mm 그리고 2.5~5mm인 경우는 공극이 매우 작아 약 1.8mm 정도이므로 동일한 공극률이라고 할 지라도 사용골재의 선택에 유의하여야 한다. 그림 8은 공극률은 유사하지만 사용골재의 입도 분포가 13~20mm인 경

우와 5~13mm인 두 종류의 경우에 있어서 시간의 경과함에 따른 식재된 잔디의 발아 개체수를 정리한 것으로서 동일한 공극률 일지라도 골재의 치수가 커짐에 따라 식생에 유리한 조건을 나타냄을 알 수 있었다.

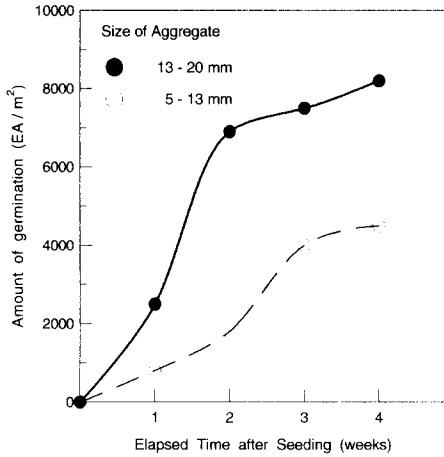


그림 8 골재의 치수와 잔디 발아와의 관계

(2) 시멘트의 종류 및 중화처리방법이 식물에 미치는 영향

식생 콘크리트에서의 알칼리성분의 용출을 제어하기 위해서 저 알칼리성의 고로슬래그 시멘트를 사용하거나 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬 및 실리카 흙 등의 혼화재를 사용하는 경우가 있다.

표 3은 혼화재의 종류 및 함량에 따른 pH를 알아보기 위하여 시험에 사용된 조건을 나타낸 것으로서 시험에 사용된 물-결합재비는 25%이고 굵은 골재의 용적비는 30%이다.

표 3 사용 혼화재의 함유율

표기	첨가한 시멘트 및 혼화재의 종류					
	1종 시멘트	슬래그 시멘트	슬래그 미분말	플라이 애쉬	실리카 흙	이수 석고
N	100					
BB		100				
BC		60	40			
BD		20	80			
FC		60	20	20		
FD		20	60	20		
SFC		60	20		20	
SFD		20	60		20	
BCS		56	37			7

시험체는 성형 후 7일간 습윤양생을 하고 한편 시험체를 중화 처리하는 경우에는 재령 6일에서 인산2암모니움 15%용액에 10분간 침적하였으며 보수재로서 피트모스를 충전하고 아울러 상부에 3cm의 두께로 객토를 한 뒤 28일간 옥외 폭로실험을 하였다.

이런 과정을 통하여 제조된 식생 콘크리트의 pH를 측정하여 정리한 것이 그림 9이다.

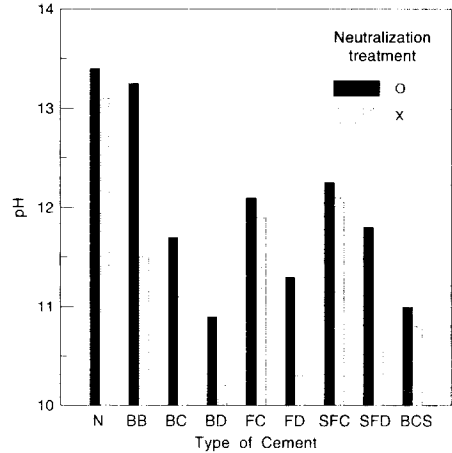


그림 9 혼화재 종류 및 함량에 따른 pH

이 그림에서 전반적으로 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우에서 용출 알칼리량이 저감됨을 알 수 있으며 특히 BC와 BD의 경우보다 고로슬래그 미분말의 일부를 플라이애쉬나 실리카 흙으로 대체한 FC, FD, SFC, SFD의 경우에서 용출된 알칼리 양이 많기 때문에 다른 혼화재보다 고로슬래그 미분말을 사용한 경우가 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 그리고 석고가 다량 함유된 BCS의 경우가 다른 조합보다 알칼리량이 낮은 것은 석고성분이 고로슬래그 미분말의 반응을 활성화하는 역할을 하기 때문으로 사료된다. 그리고 인산2암모니움에 의한 중화처리는 혼화재의 대체율이 80%인 BD, FD, SFD에서 효능이 있음이 결과를 통하여 알 수 있었다.

한편 이러한 결과를 토대로 하여 용출 알칼리량 저감에 효능이 있는 고로슬래그 시멘트를 사용하여 만든 식생 콘크리트의 식재 실험의 결과를 보통포틀랜드시멘트 및 인산마그네슘시멘트와 비교하여 정리한 것이 그림 10이다.

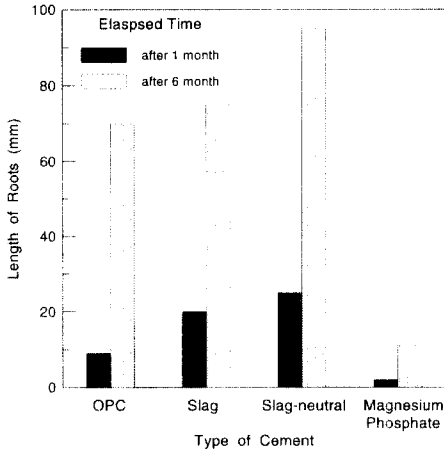


그림 10 시멘트의 종류에 따른 식물의 성장

고로슬래그 시멘트를 사용한 식생 콘크리트의 경우가 다른 시멘트의 경우보다 식재한 식물의 뿌리 길이가 깊어 식물성장에 양호함을 알 수 있었으며 중화처리를 한 경우에는 뿌리의 길이가 약 100mm 정도로서 식물성장에 더욱 유리함을 확인할 수 있었다.

이러한 결과들을 육안으로 관찰할 수 있는 것이 사진 2로서 대각선을 경계로 하여 중화처리에 따른 식물의 발육상태를 확인할 수 있다.

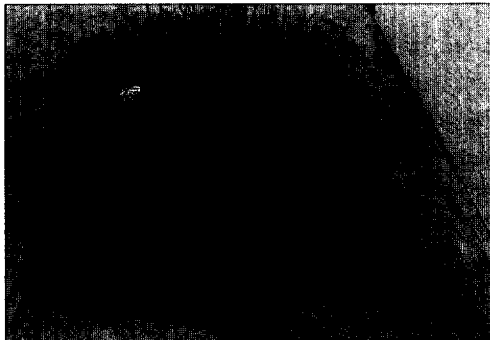


사진 2 중화처리 전·후 잔디 발육상태

또한 하천수에 일정기간이상 식생 콘크리트를 침적한 실험에서는 시멘트의 종류에 따른 큰 영향은 없었다고 보고되고 있는데 이것은 용출되는 알칼리성분이 물로 인하여 세척되기 때문으로 사료된다.

다음은 양생조건과 중화처리 시간이 식물의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 중화처리 전의 양생조건을 수중, 습윤 및 증기양생으로 변

화시키고 중화처리시간도 0, 5, 10분으로 조정하였을 경우에 대하여 검토하였다. 표 4는 각각의 실험조건을 나타내고 그림 11은 조건에 따른 용출 알칼리량을 정리하여 나타낸 것이다.

표 4 양생조건 및 중화처리시간

실험 조건	종류 및 내용	
사용 시멘트	고로슬래그 시멘트	
중화처리시간	0, 5, 10(분)	
양생조건	증기	증기(60℃3시간)+습윤5일
	수중	습윤양생2일+수중양생4일
	습윤2일	습윤양생2일
	습윤7일	습윤양생7일

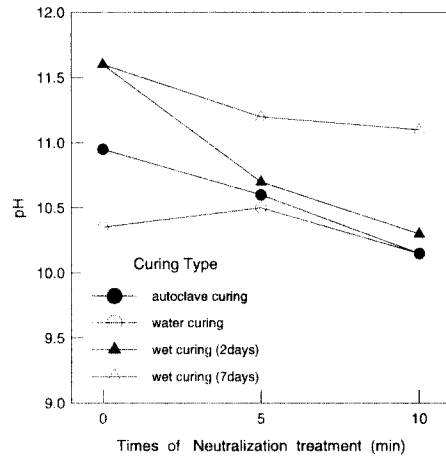


그림 11 양생조건 및 중화시간에 따른 pH

이 결과를 분석해 본 결과, 습윤양생의 경우보다 수중양생 및 증기양생의 경우에서 용출 알칼리량이 저감됨을 알 수 있었으며 중화처리의 시간이 길어짐에 따라 용출 알칼리량이 감소되는 경향을 확인할 수 있었다. 이 이유로서는 시멘트 및 시멘트와 혼화재의 수화반응정도 그리고 수화조직의 밀실여부에 따라 중화처리제의 침투성이 변화하기 때문이라 할 수 있겠다.

이상의 결과에서 비추어 볼 때 식생 콘크리트의 초기 알칼리의 용출을 제어하는 것이 식물의 성장에 큰 영향을 줄 것으로 예상되며 앞에서 제시한 방법 이외에서도 현장성을 고려한 충분한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

(3) 보수성 충전재의 종류 및 사용량이 식물에 미치는 영향

보수성 충전재의 종류 및 사용량이 식물의 성장에 미치는 영향에 대해서 식생 콘크리트의 공극을 배양토와 같은 충전재가 55%정도로 충전되면 식물이 충분히 성장 가능하다는 연구보고가 있다. 그림 12에서는 식생 콘크리트 1ℓ에 대하여 0~8g의 피트모스 보수재를 충전했을 경우 식물의 성장정도를 대표적으로 나타낸 것으로서 이 결과에서 식물 성장향상을 위한 피트모스의 사용량은 4.25~8g에서 효과가 있는 것으로 나타나 있다.

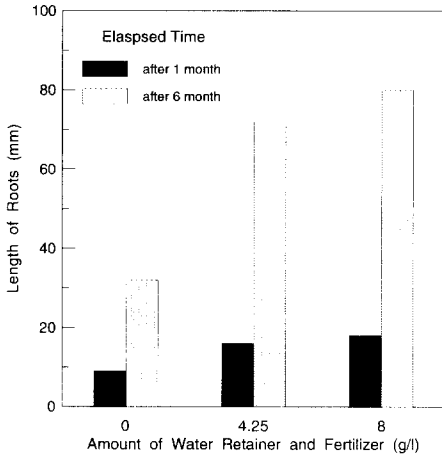


그림 12 충전재 사용량에 따른 식물성장

생물학적으로 식물은 고체, 액체, 기체상태의 3상분포가 이루어짐이 필요하다고 한다. 토양에 비교하여 고상이 많은 식생 콘크리트는 액상과 기상의 조화를 감안하여 충전재 종류 및 사용량을 결정하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

#### (4) 표층의 객토가 식물에 미치는 영향

식생 평가실험에 의하면 얇은 객토를 식생 콘크리트에 고착한 경우에서 식물의 성장이 양호하다는 보고가 있으며 그 실험결과를 그림 13에 나타내었다.

이는 앞서 기술한 내용과도 잘 일치하는 결과이며 초기 식물의 성장에 유리한 조건으로 작용할 것으로 예상된다. 한편 3~6cm의 시공두께로 객토를 풀어 뿌리기할 경우 초기의 성장은 객토를 두텁게 하는 것이 식물 성장에 유리하지만 장기에 있어서의 식물 성장은 객토의 시공두께에 따른 영향은 거의 나타나지 않는다고 보고되고 있다. 표 5는 일반적으로 사용되는 객토의 조합을 나타낸 것이다.

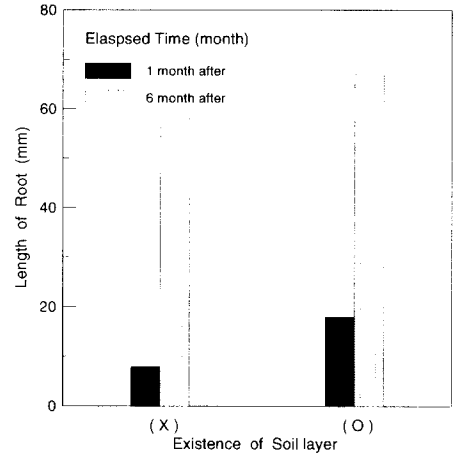


그림 13 표층 객토의 유무에 따른 식물성장

표 5 표층 객토재료의 조합에

종류	내용 및 함량	
토양	마사토	0.6 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
	퇴비	0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
비료	유기질 비료	80 kg/m <sup>3</sup>
	화학 비료	3.6 kg/m <sup>3</sup>
물	상수	40~45(토양×%)

#### (5) 적용 가능한 식물 및 식생 평가

식생 콘크리트에 적용 가능한 식물로서는 사진 3과 4에서 알 수 있듯이 잔디, 띠, 크로바, 코스모스, 채송화 등 주로 초본 식물들이 주로 사용되고 있는데 그 이유로서 이런 식물들은 뿌리의 착근 범위가 넓고 깊어서 호안 정지작업이나 사면 안정처리용 식물로 많이 사용되기 때문이다.

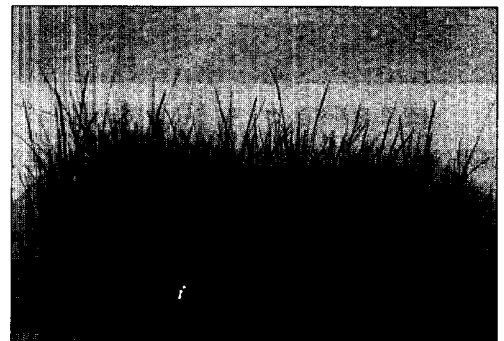


사진 3 잔디가 식재된 식생 콘크리트





사진 4 채송화가 식재된 식생 콘크리트

한편 초본식물 이외에 수목의 경우도 충분히 성장이 가능함이 확인되었으며 경관향상으로서 수목을 도입하는 일은 호안 구조물을 대상으로 한 연구결과에서도 잘 나타나있다. 이후 식생 콘크리트에 초본뿐 만 아니라 목본에 달하는 많은 종류의 식물이 도입될 것으로 예상된다.

현재까지 보수성 충전재를 사용한 식생 콘크리트에 식재된 식물이 성장의 문제가 있다는 보고는 없지만 식생 콘크리트가 보수할 수 있는 수분 양은 공극부에 의존하고 있으므로 일반적인 토양에 비해 그 양은 매우 적다고 할 수 있고 아울러 적용 현장의 방위 또는 강수량 등의 환경조건을 감안할 때 생존 능력이 강한 내건성의 식물을 적용하는 것이 요망된다.

## 4.2 역학적 특성

### (1) 강도

식생 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로 시멘트와 같은 사용재료 또는 시멘트 페이스트의 양, 공극률 및 물-시멘트비 등의 배합조건, 다짐의 시공조건 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이중 공극률의 영향이 가장 크다고 할 수 있으며 특히 식물 성장의 측면에서 식생 콘크리트의 공극률은 20~30%가 적절한 것으로 알려져 있으므로 공극률의 증가에 따른 강도의 저감 및 단위시멘트량의 증가에 따른 공극률의 감소를 배합측면에서 충분히 고려하여야 한다.

그림 14는 동일한 골재를 사용하고 공극률을 5~30%까지 6단계로 변화시켰을 때의 식생 콘크리트의 압축, 휨, 및 인장강도의 측정결과를 나타낸 것이다.

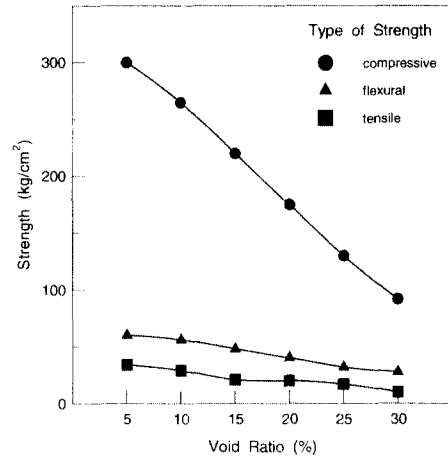


그림 14 공극률과 강도와와의 관계

이 결과에서도 식생 콘크리트의 세강도는 공극률의 증가에 직선적으로 감소함을 확인할 수 있으며 20~30%의 공극률에서도 식생 콘크리트가 100~200kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 발휘함을 알 수 있다.

한편 다양한 입径의 굵은 골재를 이용한 식생 콘크리트의 공극률과 압축강도를 측정할 실험결과에 의하면 공극률이 동일하더라도 식생 콘크리트제조에 사용되는 골재의 입径이 작아짐에 따라 압축강도는 상대적으로 증가함을 알 수 있었다.

### (2) 내구성

식생 콘크리트의 내구성에 대한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되어 있지 않은 상태지만 내구성의 특징 중에서 동결융해 저항성에 대해서는 ASTM C 666의 A법(수중동결 수중융해법) 및 B법(기중동결 수중융해법)에 의한 실험의 보고가 예로 있다. 주지하는 바와 같이 식생 콘크리트는 다량의 연속된 공극이 존재하므로 이 공극내로 수분이 쉽게 유입되어 동결 팽창함으로써 일반 콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다. 하지만 골재 크기가 비교적 큰 쇄석을 사용한 식생 콘크리트의 경우, A법에 의한 결과는 공극내의 얼음의 팽창압을 직접 받기 때문에 열화가 빠르나 B법에 의한 시험처럼 공극이 물로 가득 차 있지 않은 경우의 실내동결 융해시험에서는 200회를 반복시키더라도 상대 동탄성계수의 저하는 없는 것으로 나타났으며 적설량이 많은 한랭지에서의 옥외 폭로시험결과에 의하면

물-시멘트비가 낮다면 식생 콘크리트의 내구성도 양호한 것으로 나타나 있고 V. M. Malhotra의 연구보고서에서도 이런 구조의 콘크리트에서도 AE제의 첨가로 인하여 내동해성을 향상시킬 수 있다고 한다. 그러므로 이러한 결과들을 종합해 보면 식생 콘크리트를 호안 등의 수면하의 부위에 적용하는 경우에는 주의가 요망되지만 기타의 경우는 한냉지에 대해서도 내구성이 있는 것으로 생각된다.

건조수축의 영향은 단위시멘트량이 적은 식생 콘크리트의 경우가 보통콘크리트에 비하여 약 60%의 수준으로 낮고 건조수축의 속도도 완만한 것으로 알려져 있다.

기타 식생 콘크리트의 내구성에 고려되어야 할 부분으로서 식물의 뿌리에서 용출되는 소량의 산(근산)과 보수성 충전물 및 오래된 뿌리의 부패에 의해 생성되는 유기산에 의한 내구성저하를 꼽을 수 있으나 현재까지 이에 대한 구체적인 연구보고는 없으며 더러 식물이 성장하는 상태에서의 강도저하 유무에 대해서 발표된 보고서에는 1년까지의 큰 강도저하는 확인되고 있지 않다고 한다.

### 5. 식생 콘크리트 용도 및 시공

식생 콘크리트의 적용 가능한 용도로서는 다음의 예를 들 수가 있다.

- ① 불안정한 토양의 조기 녹화
  - 불모지, 황무지 및 사막 등의 녹화기반조성
  - 굴착된 사면의 안정처리용
- ② 기타 녹화기능
  - 건축구조물의 옥상, 벽면 및 실내녹화
  - 댐, 교량 등의 대형 토목구조물의 녹화
  - 주차장 등 하중이 작은 장소의 표면 녹화
  - 모래먼지를 줄이기 위한 광장, 옥외 건설
  - 보도 표층의 녹화포장
  - 기존 콘크리트 2차제품의 대체용
  - 하천의 제방 호안 정지작업용
- ③ 녹화 이외의 용도
  - 수질 및 대기오염 정화 능력

- 도로주변의 방음벽
- 해양양식용 인공어초
- 재생골재의 이용

한편 시공측면에서 식생 콘크리트는 현장 타설 및 프리캐스트(Pre-cast) 방법이 모두 시공가능하며 시공형태에 상관없이 그림 15와 유사한 순서에 의해 시공된다.

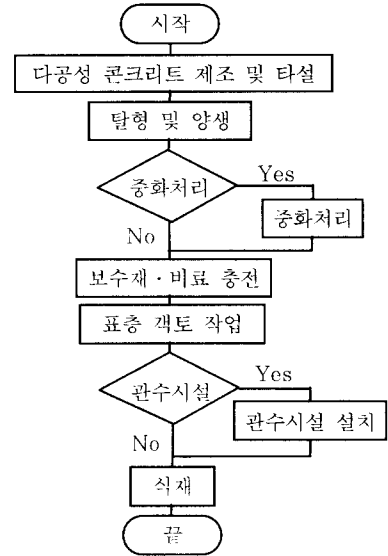


그림 15 식생 콘크리트의 시공 순서도

중화처리는 인산2암모니움 용액의 분무에 의해 서 행해지며 보수재와 고용성 비료는 슬러리화하여 식생 콘크리트의 연속공극으로 충전된다. 표면에 고착되는 박층의 객토는 흙을 뿌리기로 시공하며 파종할 경우에는 씨앗을 박층 객토에 혼합하여 흙을 뿌린다. 그리고 식생의 필요에 따라서 관수시설을 설치할 필요도 있다.

식생 콘크리트의 시공에 관한 일반적인 유의사항은 다음과 같다.

- ① 사면의 구배에 시공할 경우 일반적으로 구배의 1할 이하로 한다.
- ② 투수성이 좋지 않은 지반 및 암반의 시공에서는 별도의 쇄석층을 배치하여 시공한다.
- ③ 식물이 생육하는데 필요한 기온 및 강수량이 제공되는 시기에 시공한다.

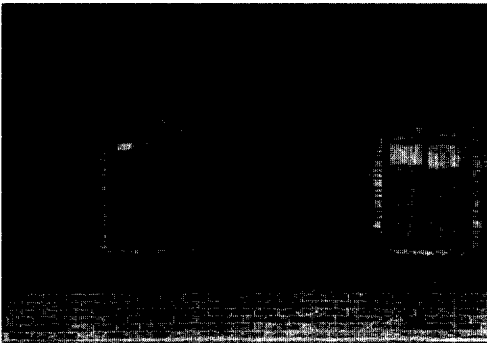


사진 5 벽면 녹화용 식생 콘크리트 (프리캐스트)



사진 6 호안 정지용 식생 콘크리트 (현장 타설)

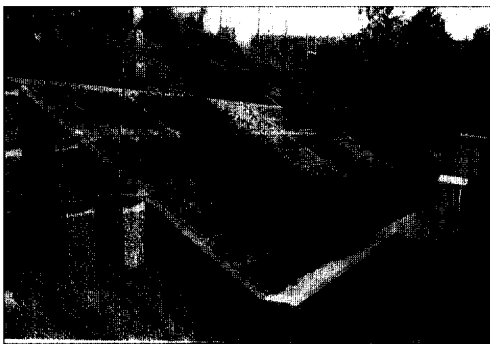


사진 7 사면 안정용 식생 콘크리트 (프리캐스트)

- ④ 타설후, 중화처리를 하지 않을 경우에는 1 개월간 자연상태로 방치하여 공극의 표면이 중성화가 되도록 한다.

## 6. 맺 음 말

식생 콘크리트의 기술개발은 선진국의 특허 등을 보면 약 20년 전에 행하여 졌지만 실용화를 하기 시작한 지는 몇 년 이내이다. 최근 국내에서

도 환경문제에 대한 관심이 고조되고 경관향상을 고려하는 건설산업이 부각됨에 따라 점차 식생 콘크리트에 대한 연구활동 및 적용이 활발하게 움직이는 경향이 있다.

하지만 지금까지는 실용적인 측면이 부각되고 환경친화적인 측면에서 콘크리트를 바라보는 시각이 부족하여 식생 콘크리트에 대한 연구는 사실 미진하며 특히 식물의 장기성장에 관한 내용 또는 내구성에 관한 데이터의 누적이 충분하지 않으므로 지금부터라도 적용되는 사례들을 비교 검토하여 연속적인 평가가 이루어져야 할 것이라고 생각한다.

## 참고문헌

- (1) 尹勝昌昭, "透水콘크리트의概要およびエコマテリアルとしての用途," *セメント・コンクリート*, No. 576, 1995.2, pp. 11-16
- (2) 柳橋邦生, "植生型エコ콘크리트," *콘크리트工學*, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 28-31.
- (3) 竹内憲正, 親林和生, "植生型エコ콘크리트の實施例," *콘크리트工學*, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 32-36.
- (4) 安田 登 外, "ポーラス콘크리트の製造・物性・試驗方法," *콘크리트工學*, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 52-62.
- (5) 次木康夫, "植生콘크리트ブロックの開発," *機能材料*, Vol. 13, No. 5, 1993. 5, pp. 19-25.
- (6) V. M. Malhotra, "No-Fines Concrete-Its Properties and Application," *ACI JOURNAL*, 1976. 11, pp. 628-644.
- (7) 문환영, 김성수, 정호섭, "투수성 콘크리트포장의 실용화를 위한 실험적 연구," *콘크리트 학회지*, 제 10권, 3호, 1998. 6, pp. 165-173.
- (8) 김진춘, 김기수, 최광일, 오희갑, "다공성콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험," *한국콘크리트 학회 분 학술발표회 논문집*, 제8권, 1호, 1996. 5, pp. 153-159. 