

특집 II

환경친화 콘크리트

식생 콘크리트

- Concrete for Planting -



박승범*



임창덕**

1. 머리말

구조용 재료로만 생각되어 온 시멘트·콘크리트가 환경 보존과 주변의 경관 향상을 전제로 한 도시 지역 개발에 환경친화적인 재료로 최근에 거론되기 시작하였으나, 콘크리트의 주재료인 시멘트는 제조시 지구 온난화의 주요 요인인 CO₂ 가스를 다량 배출하기 때문에 시멘트산업에의 환경 부하량이 비교적 높은 편이다. 또한 콘크리트 구조물을 포함한 구조물은 구조상 성능이 저하하지 않을지라도 사회적 기능이 떨어지면 파괴하거나 폐기 처리하기 때문에 지구 환경 부하량이 더욱 증가된다.

따라서 시멘트·콘크리트에 대한 지구 환경 부하량을

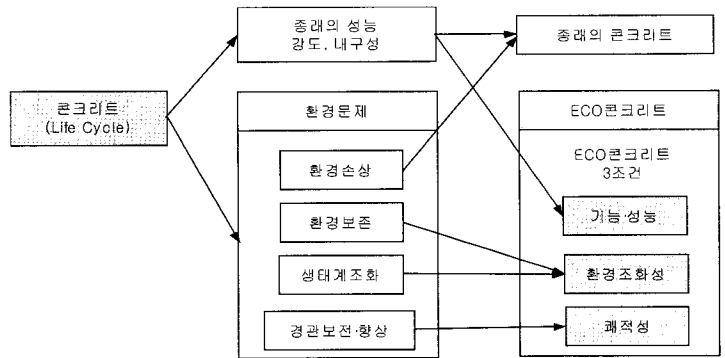


그림 1. 일반 콘크리트와 ECO 콘크리트의 비교

저감시키기 위한 노력의 일환으로 시멘트 콘크리트에도 환경친화적인 재료를 개발하는 노력이 이어져 왔다.

이들 환경친화 콘크리트는 <그림 1>과 같이 기존 콘크리트의 성능이나 기능을 만족시키면서 환경 조화성과 쾌적성을 부여한 것이다. 본고에서는 환경친화 콘크리트 중 콘크리트 내에 식물을 배양할 수 있는 식생 콘크리트에 대해 국내·외 현황을 중심으로 기술

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원, (주)한국보수보강기술원 대표이사

수준과 향후 전망에 대해 검토하고자 한다.

2. 식생 콘크리트의 구성 조건

일반 콘크리트에 식물을 재배할 경우, 식물이 자라지 못하는데 그 이유는 ① 콘크리트 중의 수분이 높은 알칼리성을 나타내며 ② 뿌리 공간과 발아 공간이 없고 투수성, 보수성이 낮으며 ③ 식물에 필요한 영양분이 없기 때문이다. 따라서 생물을 생육시키기 위한 식생 콘크리트는 이러한 문제들을 보완하여야만 식물 재배 기반으로서 가능하다. 즉, 다공성 콘크리트와 제조와 다공성 내부에 보수성 및 영양분의 충전 기술이 선행되어야 하고 다공성 콘크리트 표면에 얇은 표층 객토를 함으로써 발아 공간의 형성과 경화체 중의 수분 건조를 방지하며 식물이 발아한 후 초기 비료의 공급원으로서 기능을 하게 된다. <그림 2>와 같이 식생 콘크리트는 다공성 콘크리트(Porous Concrete)와 공극부에 보수성 충전제 및 표층부에 얇은 토층을 고착시킨 형태로 구성되어진다.

따라서 식생 콘크리트에 필요한 구성 조건은 콘크리트 내에 식물이 성장할 수 있는 식생 기능과 콘크리트 골격 구조로서의 기본적인 역학적 성질이 공존되어야 한다. 또한 식물을 생육하기 위해서는 햇빛, 생육에 필요한 공간, 대기, 토양 등 4가지 조건이 필요하며 토양에는 보수성(保水性)과 투수성(透水性)을 갖는 조직 구조로 되어야 하며 적정한 PH의 물과 적량의 영양분이 함유되어야 한다.

3. 국내·외 현황

3.1 국외(일본)

일본의 경우 식생 콘크리트는 다공성 콘크리트를 식생 기반으로 하여 활용하는 기술이 실용화 단계에 달하고 있다. 기본적으로는 다

공성 콘크리트의 공극을 이용하여 ① 토양 내의 충전, ② 보수재 혼입, ③ 비료 혼입, ④ 알칼리 원충재 혼입 등에 의해 식물의 뿌리 침투를 촉진하고 토양 미생물과 토양 내의 작은 생물의 생성을 목적으로 한다. 여기서는 실용화되고 있는 몇 개 제품을 <표 1>과 같이 소개하고자 한다.

이상으로 다공성 콘크리트를 식생용 기반으로 활용한 제품의 실용화 예를 소개하였지만 약간의 문제점이 잔존하고 있다. 주된 문제점으로는 ① 각 제품의 가격

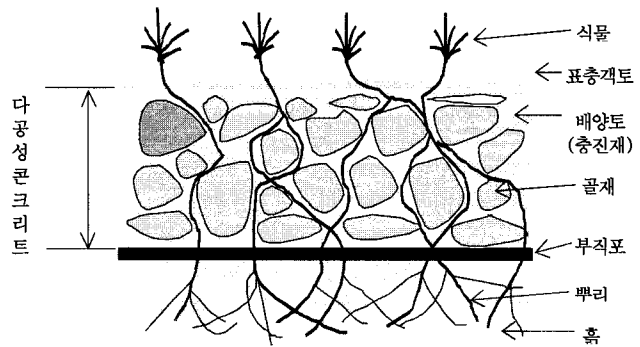


그림 2. 식생 콘크리트의 구성

표 1. 일본의 제품 및 시공 사례

회사명	상품명	제품 개요
1) 청수건설	에코콘크리트	투수성이 높고 식생의 기능을 부여한 다공성 콘크리트를 타설하여 그 표면에 식물의 종자가 들어간 재료를 슛크리딩하여 녹화하는 현장 타설 공법
2) 竹中공무점	녹화 콘크리트	다공성 콘크리트를 기반으로 하고 그 공극 내에 보수재와 비료를 충전하고 표층을 얇은 객토로 복토한 현장 타설 공법
3) 共和콘크리트공업	그라스	형틀 모양의 블록으로 저면 및 형틀 부위가 다공성 콘크리트
4) 미스비시 재료건설	그린포리스 28:0형	자연석 모양을 낸 다공성 콘크리트의 대형 호안 블럭 치수 : 998 × 998 × 280 mm, 중량 360 kg, 공극률 약 20 ~ 25 %, 강도 130 ~ 230 kgf/cm ²
5) 小澤콘크리트	녹화블럭	블록 상면에는 토양 유출을 방지할 목적으로 얇은 스토틀트가 설치되고 고흡화 토양재가 충전되어 있다. 치수 : 1,000 × 1,000 × 200 mm, 중량 350 kg, 공극률 약 25 %, 강도 100 kgf/cm ²
6) 한신공업	녹화판	상부 블럭과 하부 블럭으로 구성되며 하부 블럭에는 배양토용 공간이 설치되고 상부에는 식생용 구멍을 설치 상하 블럭 모두 다공성 콘크리트 제품 치수 : 500 × 500 × 85 mm, 중량 약 30 kg, 공극률 약 20 ~ 25 %, 강도 100 kgf/cm ² 이상
7) 페가사스연구회	베지크리트 (측구 덮개)	강도를 갖는 보통콘크리트부와 식생을 할 수 있는 다공성 콘크리트부와의 2층구조 치수 : 700 × 500 × 110mm, 공극률 약 25~30%, 강도100kgf/cm ² 이상
8) 자그라스	테트라 PGⅡ형	블록 표면측을 보통 콘크리트로 배면측은 다공성 콘크리트로한 2층 구조의 블록, 다공성 콘크리트의 공극부에 미리 충전재가(J soil) 충전되어 있다. 치수 : 998 × 998 × 220 mm, 중량 370 kg, 공극률 25 %, 강도 130 ~ 220 kgf/cm ²

(강도, 공극률 등)이 생산자마다 다르고, ② 식재의 천이에 의한 장래적인 식재(녹화 경관)전망이 불분명하며, ③ 관리의 생략화를 위한 기술 개발 등이 요구된다. 금후 이들의 문제점이 보완되면 이들 다공성 콘크리트를 식생용 기반으로써 본격적인 식재의 활용화 날이 머지않아 이루어지고 제품이 원활하게 생산됨으로써 많은 사람들이 쾌적한 생활 공간을 누리게 되며 자연 생태계의 환경 보존이 가능하다고 본다.

3.2 국내

국내에서는 다공성 콘크리트를 이용한 식생 콘크리트 제조는 아직 실용화되어 있지 못한 상태이며 실험적으로는 쌍용연구소, 청주대학교 등에서 시험 식재한 바 있다. 양산화 차원에서 국내 생산은 신홍콘크리트 건재산업(전북 김제 소재)에서 생태계 식생 블록(상품명 Hydro-pave)을 국내 최초로 생산, 판매하고 있으나 진정한 식생 콘크리트라기보다는 블록 내에 공간을 두어 식물이 생육될 수 있도록 만든 공동 블록 제품에 지나지 않다고 판단된다. 이와 같이 다공성 콘크리트를 이용한 식생 콘크리트의 제조와 양산화가 어려운 것은 다공성 콘크리트 제조 기술의 어려움과 식물의 종류와 보수성 재료 및 배양토 선정 기술과 발아 후 식재 과정에서 최소 10년 이상의 장기간에 걸쳐 식물의 뿌리가 안정되고 부패되지 않아야 하며 사계절이 뚜렷한 한국에서는 다공성 콘크리트가 동절기 내구연한이 있어야 하는 등 재료 기술 개발 및 식재 기술이 병합되어야 하는 기술이므로 개발에 어려움이 있는 것으로 판단되므로 학계에서 부단한 연구 개발이 선행되어야 한다고 판단된다.

4. 제조 기술

4.1 다공성 콘크리트

(1) 배합

다공성 콘크리트 제조는 보통 콘크리트에 잔골재 용적을 낮추어 공극을 늘린 것으로 싱글 사이즈를 이용한다. 단위 시멘트량은 통상 300~400 kg/m³이고 최적의 물시멘트비는 30~40%의 범위이며 이 범위를 상회하는 높은 물시멘트비의 경우에는 시멘트 페이스트가 점성을 잃고 흘러내려 유실될 가능성이 많고

낮은 물시멘트비에서는 성형에 요구되는 적절한 점도가 형성되지 않아 다짐이 곤란하다.

따라서 배합비 면에서의 다공성 콘크리트 제조는 실내 실험을 통하여 최적의 배합비 도출이 요구된다.

(2) 물성

다공성 콘크리트에는 연속 또는 독립된 공극 구조가 공존하는 물성을 가지며 <표 2>에서 나타낸 바와 같이 공극률은 약 5~35% 범위이며 이러한 공극률과 공극 구조는 콘크리트의 강도 및 투수성과 같은 물리적 특성뿐만 아니라 해양 생물의 부착, 수질 정화 및 식생에 관한 효과에 영향을 미친다.

표 2. 다공성 콘크리트의 물성

물성 항목	물성값의 범위
비중	1.6~2.0(쇄석의 경우)
공극률	5~35%
압축 강도	50~300 kgf/cm ²
인장 강도	압축 강도의 1/7~1/14
휨 강도	10~50 kgf/cm ²
정탄성계수	0.7~2.0 × 10 ⁵ kgf/cm ²
동탄성계수	14 × 40 kgf/cm ²
부착 강도	15~60 kgf/cm ²
전조 수축	200~350 × 10 ⁻⁶
투수·차수성	0.1~5.0 cm/s 정도
단열성	0.3 kg·cal/m ² ·h·℃

4.2 보수충전재

식물이 육성·성장을 위해서는 적절한 수분과 비료 성분의 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 실험 결과들이 보고되고 있으며 그 예로서 보수성 재료로서 각종의 토양 입자, 무기질의 인공 토양, 흡수성 고분자 등의 혼합물이 사용되고 있으며 한편 펄트모스(Peatmoss)라는 약산성의 보수재와 난용성의 고체 비료를 물, 증점제와 함께 슬러리 형태로 공극에 충전시키는 방법이 있

으며 또한 톱밥과 활성탄을 혼합한 것 등에 물을 가하여 동결시킨 다음 콘크리트 내에 얼린 고형물을 배치시키는 방법 등이 개발되고 있다. 방법상으로는 건식 충전법과 습식충전법으로 나눌 수 있으며 어느 경우이든 식생 콘크리트 위에 살포한 후 적당한 진동을 가하면 충전재가 연속 공극 사이로 스며들어 충전이 된다. 건식충전법은 시공이 간편하고 충전재를 충분히 다져 넣을 수 있는 장점이 있는 반면 먼지가 많이 발생하여 시공 속도가 느리기 때문에 현장 시공에서는 적당하지 않다. 한편 배양토와 물을 혼합한 슬러리상에 중화제를 첨가하여 충전하는 습식충전법은 슬러리상이 진동에 의하여 재료 분리가 발생하지 않도록 적당한 배합비(물/분체비: 약 35 ~ 45%)를 유지해야 한다. 습식충전법은 슬러리화 공정이 추가로 필요하고 충전재를 다져 넣을 수 없는 단점이 있지만 시공 중 먼지 발생이 줄어들고 시공 속도가 빠르기 때문에 실용화 단계에서는 유리할 것으로 판단된다.

4.3 표층 객토

다공성 콘크리트의 표면에는 얇은 토층을 고착시키는 경우가 있다. 표층의 객토는 발아 공간의 형성과 경화체 내의 수분의 건조를 방지하고 식물의 발아 후 조기의 비료 공급원으로서 작용을 하며 아울러 얇은 층의 객토는 식생 콘크리트의 표면에 우수하게 고착하기 때문에 연직면에서도 자람이 가능하고 뿔칠 시공으로 고착시키는데 녹화 조건에 따라 필요한 경우 관수(觀水) 시설을 설치하기도 한다.

5. 식생 콘크리트의 역학적 특성

(1) 강도

식생 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로 시멘트와 같은 사용 재료 또는 시멘트 페이스트 양, 공극률 및 물시멘트비 등의 배합 조건, 다짐의 시공 조건 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이 중 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 단위 시멘트량의 증가에 따라 공극률의 감소를 배합 측면에서 충분히 고려하여야 한다. 한편 다양한 입경의 굵은 골재를 이용한 식생 콘

크리트의 공극률과 압축 강도를 측정된 실험결과에 의하면 공극률이 동일하더라도 식생 콘크리트 제조에 사용되는 골재의 입경이 작아짐에 따라 압축 강도는 상대적으로 증가된다고 한다.

(2) 내구성

식생 콘크리트의 내구성에 관한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되어 있지 않은 상태지만 내구성의 특징 중에는 동결 용해 저항성에 대해서는 ASTM C 666 A법(수중동결 수중용해법) 및 B법(기중동결 수중용해법)에 의한 실험의 보고가 예로 있다. 주지하는 바와 같이 식생 콘크리트는 다량의 연속된 공극이 존재하므로 이 공극 내로 수분이 쉽게 유입되어 동결 팽창함으로써 일반 콘크리트에 비해 동결 용해 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다. 하지만 골재 크기가 비교적 큰 세척을 사용한 식생 콘크리트의 경우, A법에 의한 결과는 공극 내의 얼음의 팽창압을 직접 받기 때문에 열화가 빠르나 B법에 의한 시험처럼 공극이 물로 가득 차 있지 않은 경우의 실내 동결 용해 시험에서는 200회를 반복시키더라도 상대 동탄성계수의 저하는 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과들을 종합해보면 식생 콘크리트를 호안 등의 수면 아래 부위에 적용하는 경우에는 주의가 요망되지만 기타의 경우는 한냉지에 대해서도 내구성이 있는 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 내구성 저하를 꼽을 수 있으나 현재까지 이에 대한 구체적인 연구보고는 없으며 더러 식물이 성장하는 상태에서의 강도 저하 유무에 대해서 발표된 보고서에는 1년까지는 큰 강도 저하는 확인되고 있지 않다고 한다.

6. 식생 콘크리트 평가와 전망

6.1 평가

식생 콘크리트에 적용 가능한 식물로서는 잔디, 크로바, 코스모스, 채송화 등 주로 초본 식물들이 주로 사용되고 있는데, 그 이유로서는 이러한 식물들은 뿌리의 착근범위가 넓고 깊어서 호안 정지작업이나 사면 안정 처리용 식물로 많이 사용되기 때문이다. 한편,

초본 식물 이외에 수목의 경우에도 충분히 성장이 가능하며 경관 향상으로써 수목을 도입하는 것은 호안 구조물을 대상으로 한 연구 결과에서도 잘 나타나 있다. 이후 식생 콘크리트에 초본뿐만 아니라 수목에 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 수분양은 공극부에 의존하고 있으므로 일반적인 토양에 비해 그 양은 매우 적다고 할 수 있고 아울러 적용 현상이 방위 또는 강우량 등의 환경 조건을 감안할 때 생존 능력이 강한 내건성의 식물을 적용하는 것이 바람직하다.

6.2 전망

지금까지 콘크리트는 사회간접자본으로써 도로, 철도, 항만, 하수도 등의 토목 구조물이나 각종 건축물에 사용되어 경제 및 문화 발전에 큰 공헌을 해왔으나 1992년 브라질 리오의 지구 환경 세미나에서 거론된 인구의 증대, 화석연료의 고갈, 열대 우림의 사막화, 대기 오염, 수질 오염, 폐기물의 증대 등을 고려하면 녹화나 수변의 자연을 파괴하거나 동식물의 생태계 변화 등 지구 환경 문제가 2030~2050년 경에 크게 봉착될 것으로 추정하고 있다.

따라서 환경 부하 저감형으로써 생물 환경 대응형의 에코 콘크리트인 식생 콘크리트는 경관 향상과 생태계 보존 등의 이유로 국내 행정자치기관을 중심으로 하천 호안 블록 등에 시험 적용이 기대되며 부수적으로는 하천이나 수변에 다공성 콘크리트의 표면부와 연속 공극 내에 소동물이 부착 서식하고 이들이 상호 작용과 공생 작용에 의해 식물의 먹이 사슬 형성이 기대된다. 또한 식생 콘크리트에 대한 강도, 내구성, 연속 공극률, 공극 직경 등에 대한 시공 기준이 마련되면 더욱더 국내에서 확산 보급이 예측된다.

7. 맺음말

구조용 재료로만 생각해오던 시멘트 콘크리트는 도시 미관과 경관을 조화시킬 수 있는 환경친화적인 콘크리트 제조에까지 이르게 되었다. 특히 호안 블록이나 연못, 호숫가 및 수변 지역의 경관은 단순 콘크리트 제품의 회색 일변도보다는 도시 경관을 고려한 식

생 콘크리트 제조와 생물 생태계의 복원 및 수질 정화용 콘크리트까지 기술 개발이 확대될 수 있다. 이러한 식생 콘크리트의 기술 개발은 외국에서는 20년 전에 검토되었으나, 실용화를 시작한지는 불과 몇 년 이내에 지나지 않기 때문에 충분히 국내에서도 기술 개발이 가능하다고 판단되며 그러한 관점에서 일부 업체에서 생산을 시도하고 있는 것으로 생각된다. 그러나 일천한 기술이기 때문에 본격적인 궤도에 오르기 위해서는 식물의 장기 성장에 관한 검토와 콘크리트 내구성에 관한 끊임없는 연구 노력과 보완이 뒤따라야 하며 그러기 위해서는 학계에서 선봉자 역할이 요구된다. 어쨌든 향후 국내에서도 환경에 대한 관심이 고조되고 생태계 조화 및 경관향상을 고려하는 건설산업이 부각됨에 따라 호안 블록을 시작으로 점진적으로 확산될 것이라고 보는 데에는 이견이 없는 것 같다. □

참고문헌

1. 최풍, 김진춘, "식생콘크리트", 한국콘크리트학회지, 제10권 6호, 1998. 12, pp. 11~21.
2. 김진춘, 김기수, 최광일, 오희갑, "다공성콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험", 한국콘크리트학회, 봄 학술발표회 논문집 제8권 1호, 1996. 5, pp. 153~159.
3. 柳橋邦生, "植生型 エココンクリート", 콘크리트 工學, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 28~31.
4. 竹内憲正 外1人, "植生型 エココンクリートの實施例", 콘크리트 工學, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 32~36.
5. 玉井元治, "エココンクリートの將來展望", 콘크리트 工學, Vol. 36, No. 3, 1998. 3, pp. 49~51.
6. 김화중, "에코콘크리트에 대한 소개", 한국콘크리트학회 논문집, 제8권 6호, 1996.
7. 이상태, "잔디식재용 다공질콘크리트의 기초적 특성에 관한 실험적 연구", 청주대학교 산업대학원, 석사학위논문, 1999.
8. 한천구의 3인, "골재 종류변화에 따른 식재용 콘크리트의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 11, No. 1, 1999.
9. 한천구의 4인, "식재용 콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 10, No. 2, 1998.
10. 박승범, "신편 토목재료학", 문운당, 2000. 1.
11. 小林達治, "コンクリート構造物の生物定着化 技術, 環境技術, Vol. 22, No. 12, 1993, pp. 747~749.
12. 신홍콘크리트, "생태계 식생블록 관련홍보자료".