

다공성콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험

The fundamental properties and planting experiments
on the concrete with continuous voids

○ 김진춘*, 김기수**, 최광일***, 오희갑****
Kim, Jin-Chun Kim, Ki-Soo Choi, Kwang-Il Oh, Hee-Kap

ABSTRACT

The concrete with continuous voids (No Fine Concrete : NFC) is the new planting material which may be used for stabilizing the sandy slope of river or road sides. The components of NFC are mainly coarse aggregate and low alkali cement paste, so to speak fine aggregate is not used.

This report shows the fundamental properties of NFC, such as continuous void ratio, compressive strength, permeability. As experimental results we can get the good quality of NFC, that is about 28% continuous void ratio, about 120kg/cm² compressive strength and high flowable permeability.

And also planting grass and garden portulaca on the concrete with continuous voids is resulted in success.

1. 서론

1.1 녹화콘크리트 개념

환경보존에 대한 인식전환이 범세계적으로 확산되고 있는 가운데 시멘트·콘크리트 문화를 주도해온 건설기술자들은 콘크리트에 직접 식물을 심어 도시와 건축물을 녹화 하려는 꿈을 실현하기 위해서 많은 관심을 갖고 있었다. 그러나 구조부재에 녹화를 하는 것은 아직도

꿈같은 일이지만 비구조 부재로 사용되는 콘크리트에 녹화하는 것이 가능한 것으로 입증되고 있다. 따라서 환경적인 면이 특히 강조되는 경우 녹화콘크리트를 이용할려는 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며 녹화콘크리트의 개념은 다음과 같다.

식물이 자랄 수 있는 다공성 콘크리트 Block을 토양위에 설치하면 비와 토양으로부터 흡수한 수분에 의해서 종자에 물이 공급되기 때문에 적당한 온도가 되면 자연적으로 발아를 개시한다. 성장하면서 뿌리가 신장하면 콘크리트의 공극을 통과하여 토양중으로 뿌리가 뻗어나오면서 안정적으로 녹화가 완료된다. 이상의 개념을 도해적으로 표현하면 다음과 같다.

*	쌍용중앙연구소 건설기술연구실	선임연구원
**	쌍용중앙연구소 건설기술연구실	실장
***	쌍용중앙연구소 콘크리트연구실	실장
****	쌍용중앙연구소	소장

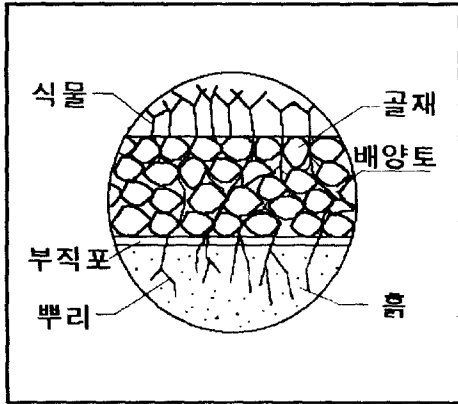


그림-1. 녹화콘크리트의 구성

1.2 요소기술

지금까지 연구개발된 <그림-1>과 같은 녹화콘크리트는 ①연속공극경화체 ②저알칼리성 시멘트 ③고보수성배양토 ④중화처리제 ⑤고용성비료 ⑥박층객토재 등 6개의 소재에 의해 콘크리트에 토양기능을 주는 동시에 강도를 확보하는 기술사상이다.

식물재배에 적합한 토양의 공극율은 40~60%, 물의 수소이온농도는 5~8(최고 9.5)인데 녹화콘크리트는 일반적으로 공극율의 목표치를 30%이상, 수소이온농도를 9.5%이하로 하고 있다.

연속공극경화체의 골격이 되는 것은 쇠석 및 경량골재 등 조골재와 소량의 시멘트를 사용하여 만든다. 경화체의 공극율을 크게할수록 식물재배환경은 양호해지지만 강도가 떨어지므로 용도개발에 장애가 될 수 있다. 따라서, 일반적인 보도블럭이나 사면보호 블럭의 압축강도수준인 60~100kg/cm² 정도 발현될 수 있는 수준에서 확보될 수 있는 공극율은 약 30%인 것으로 알려져 있다.

시멘트가 수화되면서 경화체내의 알칼리농도는 점차 높아진다. 따라서, 알칼리농도를 낮

추기 위해서 저알칼리성의 고로슬래그시멘트를 사용하는 것이 일반적이며, 필요할 경우 알칼리성분의 용출을 억제하기 위해서 인산2암모니움 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. 인산2암모니움에 의한 중화처리는 용액을 분무해 실시한다.

연속공극속에는 약산성의 보수재로 피트모스와 난용성의 고체비료를 충전한다. 보수재와 비료 및 물을 동시에 혼합하여 슬러리화 함으로써 연속공극경화체의 공극에 쉽게 충전할 수 있다.

얇은 층의 객토는 녹화콘크리트의 표면에 고착하기 때문에 연직면에서도 자립이 가능하다. 표면에 고착하는 얇은 객토는 뿔칠시공하는데 녹화조건에 따라 필요한 경우 함수시스템을 설치한다.

2. 다공성 콘크리트 제조실험

2.1 실험개요

2.1.1 사용재료

1) 시멘트 : 쌍용 동해공장에서 생산되는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2) 굵은골재 : 최대직경 25mm이고 대전지역에서 생산되는 쇠석을 사용하였다.

3) 혼화제 : 시멘트 페이스트의 유동성과 내구성을 높이기 위해서 레미콘공장에서 일반적으로 사용되는 고유동화제 Mighty-150과 AE 감수제를 표준량 사용하였다.

2.1.2 배합설계

시적배합설계방법(Trial-mixing)에 의해서 다음과 같이 결정되었다.

표-1. 다공성콘크리트 배합표 (단위:kg/m³)

수량	시멘트량	굵은 골재량	유동화제	공기 연행제
50	220	1537	6.60	0.33

2.1.3 혼합

강제식 pan-type 믹서를 이용하여 30리터 씩 90초간 혼합하였으며 혼합된 다공성 콘크리트의 성상은 다음과 같다.

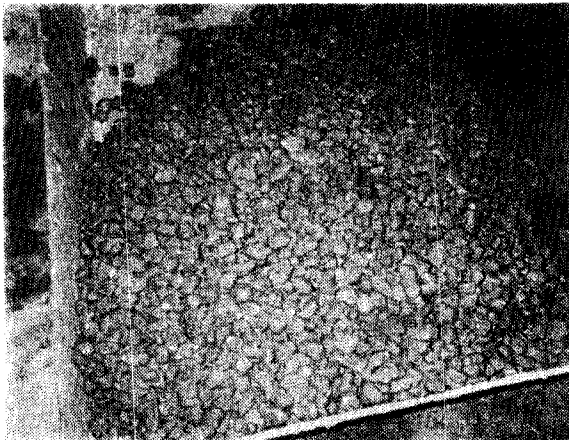


사진-1. 다공성콘크리트 혼합상태

2.1.4 공시체 제작 및 다짐

압축강도 측정 및 공극율 측정용 공시체는 $\phi 10\text{cm} \times H20\text{cm}$ 강제물드를 사용하여 제작하였으며 2층으로 나누어서 5kg램머를 50cm 높이에서 15회 자유낙하시켜 다짐하였다(사진-2).



사진-2. 압축강도 공시체 제작

녹화콘크리트 기반용 블럭공시체는 가로 30cm×세로30cm×높이6cm 플라스틱물드를 사용하여 제작하였으며 진동다짐으로 충분히 다짐하였다.

한편, 연속공극경화체의 투수성을 평가하기 위해서 블럭공시체 중앙에 구형홀을 만들어서 물의 투입을 용이하게 하였다(사진-3).



사진-3. 투수시험용 블럭공시체

2.1.5 양생

압축강도 측정용 공시체 및 녹화콘크리트

용 블럭공시체를 3시간동안 대기중에 정치시킨 후 승온속도 15℃/hr, 최고온도 65℃로 3시간 유지, 자연상태로 강온시킨 후 총 24시간만에 강도를 측정하였다.

2.2 다공성콘크리트 특성평가

2.2.1 압축강도 측정

압축강도 측정을 위해서 상하면을 유황캔핑하였다. 300톤 재하 압축강도시험기를 이용하였으며, 강도는 100~130kg/cm²수준 발현하였다.

2.2.2 공극율 측정

다공체의 공극율 측정방법은 골재의 실적을 측정방법을 이용하였으며, 연속공극율은 25~30% 수준이었다.



사진-4 다공성콘크리트의 압축강도 및 공극율 측정결과

2.2.3 투수성 측정

연속공극 경화체의 공극이 25%일때 투수성

능이 어느 정도인지 판단하기 위해서 다음과 같이 간이적인 방법으로 시험하였다.

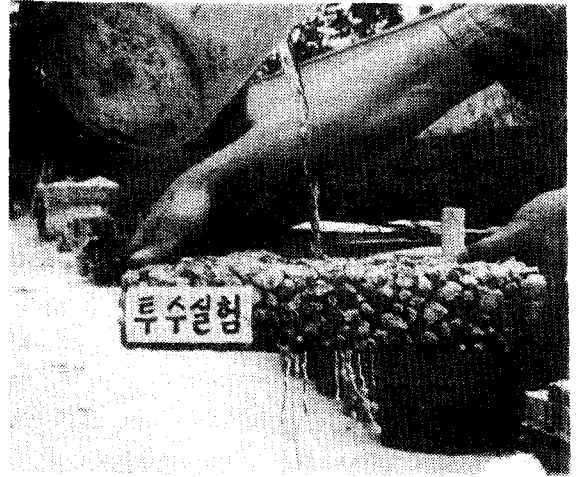


사진-5 연속공극경화체 투수성능

<사진-5>에서 볼 수 있듯이 연속공극율 25%에서도 물을 붓는 즉시 통수되는 것이 확인되었다. 따라서 자연적인 토양상태에서와 다름 없이 물과 토양속의 양분의 이동에 지장이 없을 것으로 판단된다.

3. 녹화실험

3.1 실험개요

3.1.1 사용재료

1) 중화처리제

연속공극경화체블럭공시체에 배양토를 충전하기 전에 약산성의 인산2암모니움을 수돗물에 약 100 대 1로 희석해서 분무기를 이용하여 뿌렸으며 같은 블럭공시체에서 대각선 방향으로 반으로 나누어서 한쪽은 충분히 분무시켰으며, 다른 한쪽은 인위적인 중화처리를 시행하지 않았다.

2) 보수성 배양토

배양토는 보수성이 크고 유기질의 영향소를 많이 함유한 재료를 선택하는 것이 필요하며 본 실험에서는 일반 원예상에서 판매하는 부식토를 활용하였다.

3) 녹화용 종자의 종류

뿌리의 착근범위가 넓고 깊어서 하안정지 작업이나 사면안정처리용 식물로 가장 많이 사용되는 것이 잔디이기 때문에 본 실험에서는 국내에 수입되어 사용되는 미국 Kentucky산 Bluegrass를 선정하였다. 또한, 우리나라 시골의 장독대 옆 화단에서 항상 볼 수 있는 민화인 채송화 종자를 시중 원예상에서 구하여 녹화실험에 사용하였다.

3.1.2 배양토 충전작업

연속공극블러경화체에 배양토를 충전시키는 방법은 건식충진법과 습식충진법으로 나눌 수 있으며 어느 경우이든 경화체 위에 충전재를 살포한 후 적당한 진동을 가하면 충전재가 연속공극 사이로 스며들게 된다. 건식충진법은 시공이 간편하고 충전재를 충분히 다져넣을 수 있는 장점이 있는 반면 먼지가 많이 발생하며 시공속도가 느리기 때문에 현장시공에는 적합하지 않지만, 본 실험에서는 배양토를 충분히 다져넣기 위해서 건식충진법을 이용하였다(사진-6). 습식충진법은 배양토와 물 및 중화제를 동시에 혼합하여 슬러리상으로 만들어서 충전하는 것으로 슬러리상이 진동에 의해서 재료분리가 발생하지 않도록 적당한 배합비(물/분체비 ; 약 35~45%)를 유지해야 한다. 습식충진법은 슬러리화 공정이 추가로 필요하고 충전재를 다져넣을 수 없는 단점이 있지만 시공중 먼지발생이 줄어들고 시공속도가 빠르기 때문에 실용화 단계에서는 유리할 것으로 판단된다.

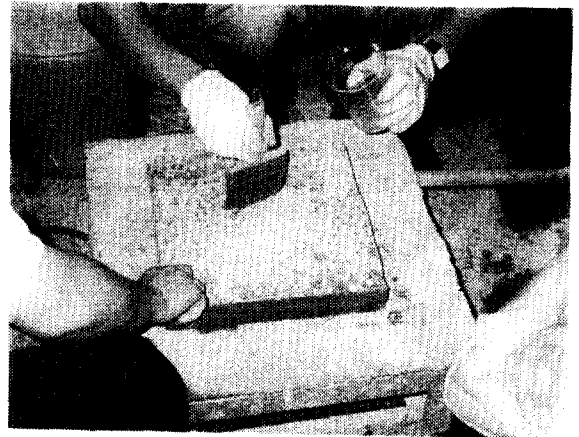


사진-6 배양토를 진동 충전시키는 모습

3.2 실험결과

3.2.1 중화처리에 의한 발육상태 검토

반은 중화처리하고 반은 미처리한된 블러내에 배양토를 충전시키고 잔디 식재후 약 2개월 경과된 잔디의 발육상태를 관찰한 결과 <사진-7>과 같았으며, 지역별로 토양중에 용출된 알칼리농도를 측정된 결과는 <표-2>와 같다.



사진-7 중화처리 전·후 잔디 발육상태

표-2. 알칼리농도에 따른 잔디의 발육상태

	발육상태	pH농도
미 처리	발아되지 않음	10.5
중화처리	전면적인 발아	8.7

3.2.2 잔디 및 채송화 녹화실험

연속공극경화체를 충분히 중화처리한 후 배양토를 충전시킨 다음 씨앗을 파종하여 자연 상태에서 발육시킨 녹화콘크리트블럭은 다음과 같다.

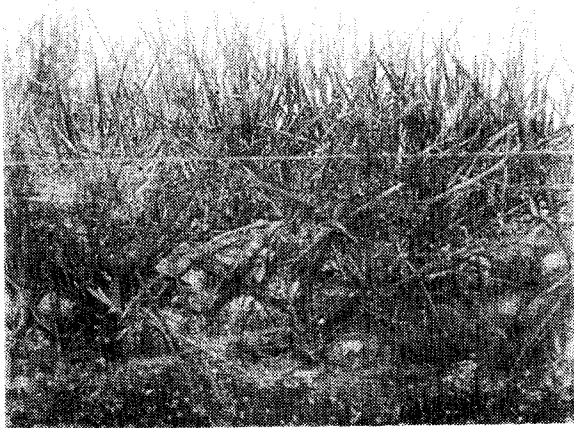


사진-8 잔디가 식재된 녹화콘크리트블럭



사진-9 채송화가 식재된 녹화콘크리트블럭

4. 종합결론

4.1 실험결과

1) 공극율 25%, 압축강도 120kg/cm² 정도

의 무잔골재 콘크리트 배합을 선정하였으며, 녹화콘크리트용 기반재로 사용하는데 문제가 없었다.

2) 녹화콘크리트용 프리캐스트 블럭을 제작하였으며, 다짐방법, 양생방법 및 배양토 충전 방법에 대해서도 가표준화 하였다.

3) 연속공극을 25%수준의 경화체로부터 용출되는 알칼리를 인산2암모니움 희석액으로 충분히 중화처리한 경우 충전된 배양토로 흡수된 알칼리농도가 식물이 자랄 수 있는 한계인 pH 9이하였으며 이 지역에서는 잔디가 무성하게 잘 생육함을 알 수 있었다. 그러나 중화처리되지 않은 곳의 배양토에서는 pH가 10이상으로 비교적 고알칼리로 역시 잔디가 발아하지않아 식물이 발육될 수 없음을 알 수 있었다. 따라서, 녹화콘크리트가 성공하기 위해서는 콘크리트 경화체로부터 용출되는 알칼리를 처리하는 것이 중요한 요소기술임을 파악할 수 있었다.

4) 중화처리된 녹화콘크리트 기반블럭에 잔디 및 채송화를 식재하여 자연적인 토양속에서 생육하는 것과 다름없이 녹화하는데 성공하였다.

4.2 활용범위

인간이 개발한 구조재료 중에서 콘크리트는 철과함께 가장 유용한 재료로 활용되어 왔다. 그러나 희석빛 콘크리트 구조물이 자연적인 생활환경을 삭막하게 만들면서 사람들은 녹화공간 확보에 많은 관심과 노력을 투자하고 있다. 녹화콘크리트가 본격적으로 특히 등으로 출현되기 시작한 것은 약 20년이 경과하였으며, 실용화 연구가 본격적으로 시작된 것은 극히 최근의 일이다. 최근에 진행되고 있는 실용화 연구방향은 다음과 같다.

1) 호안 정지작업, 도로변 사면안정처리

한강종합개발에 의해서 강 양안의 사면을 콘크리트블럭류제품으로 처리하였다. 푸른 강물과 콘크리트블럭은 어울리지 않을 뿐만 아니라 홍수시 물이차면 사면흙의 전단력($\tau = C + \sigma \times \tan\phi$)이 대폭 줄어들어 유실의 우려가 크다. 만일 잔디녹화콘크리트블럭으로 사면보호처리를 한다면 잔디의 녹색과 푸른 강물의 조화가 아름다울 뿐만아니라 잔디뿌리가 사면흙 깊숙히 뿌리 내려 전단력을 크게 향상시켜 줄 것이라는 가정이 충분히 성립한다. 그러나 이에 대한 정량적 평가방법이 현재까지는 없다.

2) 녹화콘크리트 방음벽

최근 주택가에 있는 도로변에는 각종 방음시설이 미관을 해치면서 거주장스럽게 설치되어 있다. 방음에는 사용하는 재료에 따라서 흡음 또는 차음특성을 이용한다. 녹화콘크리트는 경화체가 연속공극으로 구성되어 있기 때문에 흡음의 효과가 있다. 더욱이 녹화식물이 무성해질 경우 식물에 의한 흡음성능 상승효과를 가져오기 때문에 방음시설로 사용하는 것이 충분히 가능하다고 판단된다. 따라서, 녹화콘크리트를 도로변 방음시설로 이용한다면 마치 숲속을 드라이브하는 느낌까지 갖을 수 있는 환상적인 도로가 될 수 있을 것이다.

3) 해양양식용 인공어초

21세기의 식량난은 해양양식을 통해서 해결해야만 한다. 해양양식이 가능한 바다의 면적은 약 30%정도지만 현재 해양양식장으로 활용되고 있는 바다는 약 0.1%로 알려져 있다. 일본의 경우 국제법으로 어업 경제수역을 200해리로 제정한 후 매년 1000억엔 이상을 콘크리트 인공어초 및 소파블럭(teraport) 설치에 투입하고 있다. 국내에서도 콘크리트 인공어초

를 년간 200억정도의 예산으로 6~7만개 제작하여 근해에 투입하고 있다. 콘크리트 인공어초를 연속공극경화체로 만든다면 식물부착성이 용이하기 때문에 해양양식의 생산성이 대폭 향상될 것이다.

4) 수질 및 대기오염 정화 블럭

다공체에 미생물 부착이 잘되는 점을 이용한 호수의 부영양화 물질을 부착시켜 제거하는 수질오염원 정화시설이나, 콘크리트 중성화를 이용한 CO₂흡착제거에 의한 대기오염원 정화시설로도 활용 가능하다.

이상과 같이 녹화콘크리트는 환경개선 측면에서 적극적인 활용이 기대되는 환경친화적 콘크리트다.

參 考 文 獻

- 1) 近畿大學理工學部 玉井元治 外1人 ; 連續空隙を有すコンクリートに付着する海洋生物の遷移に關す研究, 土木學會論文集No. 452/II-20, pp. 81-90, 1992, 8
- 2) 竹中土木技術開發部 中西康博 外 7人 ; 綠化コンクリートに用いる連續空隙硬化體の長期強度とpH, 土木學會第50回年次學術講演會, pp.170~171, 1995, 9
- 3) 近畿大學理工學部 玉井元治 外1人 ; 多孔質綠化コンクリートの配合と連續空隙、土木學會第50回年次學術講演會, pp.150~151, 1995, 9