

식생을 위한 다공성 콘크리트의 중성화 처리 및 양생방법에 따른 pH 저감에 관한 실험적 연구

Experimental Study on pH Reduction by Neutralization Treatment and Curing Methods of Porous Concrete for Planting

성 찬 용* · 김 영 익**

Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik

Abstract

This study is performed to examine pH reduction by neutralization treatment and curing condition of porous concrete using rice straw ash for planting.

Test results show that pH of porous concrete without neutralization treatment in the dry and water curing is 10.34 ~ 10.57 and 9.42 ~ 9.72, respectively. pH of porous concrete by neutralization treatment in the dry and water curing is 9.72 ~ 10.03 and 9.00 ~ 9.37, respectively.

Accordingly, the best method for pH reduction of porous concrete for planting is to use water curing and neutralization treatment.

Keywords : Porous concrete, Neutralization, pH, Rice straw ash

I. 서 론

국내외적으로 환경문제가 사회적으로 전분야에 걸쳐 크게 대두되면서 건설분야에서도 환경을 보호하기 위한 노력이 절실히 요구되고 있으며, 특히 콘크리트는 반친환경적인 구조재료로 인식되고 있어 이를 전환하기 위한 노력이 시급히 요구된다.

따라서, 최근에는 콘크리트 분야에서도 환경 문제 해결을 위하여 콘크리트에 산업폐기물 또는 부산물을 활용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 친환경적인 구조물을 개발하기 위하여 다공성 콘크리트를 이용한 식물의 생육이 가능하도록 한 식생 콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있다.^{2,4)}

식생 콘크리트는 다공성 콘크리트의 공극을 이용하여 식물이 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급하고, 콘크리트의 상부에 객토를 실시하여 씨앗이 발아할 수 있도록 한 에코 콘크리트를 말한다.¹⁾

하지만, 다공성 콘크리트는 pH가 11-13 정도로

* 충남대학교 농업생명과학대학

** 충남대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

fax: +82-42-823-8050

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

써 식물이 생육하기 어려운 강알칼리성을 나타내기 때문에 식생을 위해서는 식물이 자랄 수 있을 정도의 pH를 유지하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 벚지재를 활용한 식생을 위한 다공성 콘크리트의 pH를 저감시키기 위한 방안으로 중성화 처리를 실시하였으며, 중성화 처리 및 양생방법에 따른 pH 저감을 구명하여 식물이 잘 자랄 수 있는 식생 콘크리트를 개발하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 이의 물리적 성질 및 화학성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal Portland cement

| Specific gravity | Setting time (hrs-min) | | Compressive strength (kgf/cm ²) | | |
|------------------|------------------------|-------|---|-------|--------|
| | Initial | Final | 3days | 7days | 28days |
| 3.15 | 5-7 | 7-20 | 194 | 216 | 323 |

Table 2 Chemical compositions of normal Portland cement (Unit : %)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | Fe ₂ O ₃ |
|------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| 21.09 | 4.84 | 63.85 | 3.32 | 3.09 | 1.13 | 0.29 | 2.39 |

나. 골재

굵은골재는 금강유역에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of aggregate

| Item | Size (mm) | Specific gravity (20°C) | Absorption ratio (%) | Fineness modulus | Unit weight (kg/m ³) |
|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| Coarse aggregate | 5~10 | 2.64 | 2.62 | 6.64 | 1,449 |

다. 벚지재

벚지재는 벚지을 태워 분쇄기로 미세한 입자로 만들어서 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학 성분은 Table 4, 5와 같다.

Table 4 Physical properties of rice straw ash

| Specific gravity (20°C) | Unit weight (kg/m ³) | Blain (cm ² /g) | Grain size (μm) | | |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|----------|----------|
| | | | 90% pass | 50% pass | 10% pass |
| 2.25 | 252 | 3,888 | 86.6 | 16.4 | 0.8 |

Table 5 Chemical compositions of rice straw ash (Unit : %)

| SiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | Ig.loss |
|------------------|------|------|------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------|
| 54.8 | 5.95 | 1.06 | 1.82 | 1.92 | 21.9 | 8.21 | 0.6 | 2.5 |

라. 고성능 감수제

다공성 콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 General properties of superplasticizer

| Specific gravity (20°C) | pH | Color | Freezing point (°C) | Principal ingredient | Unit weight (kg/m ³) |
|-------------------------|-----|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|
| 1.20 | 9±1 | Dark brown liquid | -2 | Naphthalene sulphate | 1,190 |

마. 이인산암모니움

식생을 위한 다공성 콘크리트의 알칼리 용출을 억제하기 위한 중성화 처리제는 이인산암모니움 (Ammonium monohydrogen phosphate, (NH₄)₂HPO₄, 순도 99.1%, pH 8.14)을 사용하였다.

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

식생을 위한 다공성 콘크리트의 배합은 다양한

종류의 식물 생육이 가능할 수 있도록 충분한 뿌리
를 내릴 수 있는 공극을 확보하고, 구조물로서의
기능을 수행할 수 있는 강도를 나타낼 수 있도록
배합비를 결정하였다.^{3,5)}

또한, 골재 크기의 범위를 5~10mm로 하였으며,
부산물의 활용에 의한 강도 증진을 위해 벚지재를
시멘트 중량의 0, 2, 4, 6, 8% 사용하였고, 다공성
콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 고성
능 감수제를 결합재 중량의 1% 사용하였으며, 이
의 배합설계는 Table 7과 같다.

Table 7 Mix design of porous concrete for planting
(Unit : kg/m³)

| Mix type | Gravel size (mm) | Cement | Natural gravel | Rice straw ash | Super plasticizer | W |
|----------|------------------|--------|----------------|----------------|-------------------|------|
| ECOC 1 | 5~10 | 214.3 | 1,500 | 0 | 2.1 | 53.6 |
| ECOC 2 | | 210.0 | 1,500 | 4.2 | 2.1 | 56.5 |
| ECOC 3 | | 205.7 | 1,500 | 8.2 | 2.1 | 57.9 |
| ECOC 4 | | 201.4 | 1,500 | 12.1 | 2.0 | 59.3 |
| ECOC 5 | | 197.1 | 1,500 | 15.7 | 2.0 | 62.4 |

나. 공시체 제작 및 양생

식생을 위한 다공성 콘크리트의 제작은 KS F
2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여
굵은골재를 넣고 시멘트와 벚지재를 투입하여 건비
빔을 30초간 실시한 후 물과 고성능 감수제를 혼
합 투입하여 1분간 믹싱하였고, 몰드에 타설하면서
30초간 진동을 주어 충분한 다짐을 하였으며, 몰드
에 타설된 콘크리트는 양생상자 (21℃, 습도 96±
2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까
지 수중양생(21℃) 및 기건양생을 하였다.

다. 중성화 처리

식생을 위한 다공성 콘크리트의 알카리 용출을
억제하기 위하여 이인산암모니움 10% 용액에 표
면건조포화상태의 공시체를 10분간 침지하여 중성
화 처리를 하였고, 중성화 처리 시점과 양생 방법
에 따른 알칼리 용출의 억제에 의한 pH 저감 효과

를 알아보기 위하여 중성화 처리 시점을 재령 1일,
재령 6일, 재령 13일, 재령 20일 등의 4가지로 하
였으며, 수중양생과 기건양생을 각각 실시하였다.

3. pH 측정

식생을 위한 다공성 콘크리트의 공시체를 공시체
부피 5배의 증류수에 1일간 침지하여 밀봉한 후
pH를 측정하여 비교하였으며, pH 시험장치는 유리
전극과 비교전극으로 구성된 것을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

물질의 산성 또는 알칼리성을 판단하기 위해 일
반적으로 용액속의 수소이온농도를 측정하는데 수
소이온농도는 용액에 따라 대단히 큰 차이를 보이
기 때문에 이를 상용로그를 이용해서 수소이온지수
(pH)로 바꾸어 1~14까지의 수로 나타내며 pH<
7이면 산성, pH>7이면 알칼리성을 나타낸다.

식물의 생육에 적절한 pH는 식물의 종류에 따라
다르지만 일반적으로 pH가 5~8(최대 9.5)의 범위
가 가장 이상적인 것으로 알려져 있기 때문에²⁾ 다
공성 콘크리트에 식생을 하기 위해서는 용출되는
알칼리 농도를 감소시키는 것이 식물의 생육 초기
에 발아율을 높이고 뿌리가 성장하는 데 중요한 요
인이 된다.

한편, 다공성 콘크리트의 경우 수화반응시 발생
되는 수산화 칼슘(Ca(OH)₂)의 수소 이온에 의해
다가 염기를 형성하기 때문에 일반적으로 pH가
10~13정도의 높은 값을 나타내며, 특별한 처리 과
정없이 식생을 하는 경우 식물 생육의 저해 요인이
된다.

따라서, 다공성 콘크리트의 pH를 저감시키기 위
하여 이인산암모니움을 사용하여 중성화 처리를 실
시하였으며, 중성화 처리 시점과 양생 방법에 따른
pH 변화의 실험 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 pH result by neutralization treatment of porous concrete

| Type | Time of treatment (days) | Curing | pH measured with age in days (days) | | | | | |
|--------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 2 | 7 | 14 | 21 | 28 | |
| ECOC 1 | Untreatment | Dry | 10.70 | 10.66 | 10.63 | 10.60 | 10.34 | |
| | | Water | 10.70 | 10.13 | 10.01 | 9.68 | 9.57 | |
| | 1 | Dry | 10.59 | 10.29 | 10.18 | 10.10 | 9.82 | |
| | | Water | 10.59 | 10.00 | 9.57 | 9.42 | 9.00 | |
| | 6 | Dry | | 10.16 | 9.97 | 9.80 | 9.72 | |
| | | Water | | 9.10 | 9.84 | 9.52 | 9.11 | |
| | 13 | Dry | | | 10.08 | 10.04 | 9.87 | |
| | | Water | | | 8.63 | 9.44 | 9.28 | |
| | 20 | Dry | | | | 9.86 | 9.72 | |
| | | Water | | | | 8.41 | 9.32 | |
| | ECOC 2 | Untreatment | Dry | 10.88 | 10.82 | 10.66 | 10.55 | 10.50 |
| | | | Water | 10.88 | 10.26 | 9.96 | 9.80 | 9.72 |
| 1 | | Dry | 10.52 | 10.39 | 10.30 | 10.12 | 10.03 | |
| | | Water | 10.52 | 9.75 | 9.54 | 9.40 | 9.11 | |
| 6 | | Dry | | 10.45 | 10.19 | 9.88 | 9.78 | |
| | | Water | | 9.55 | 10.09 | 9.78 | 9.28 | |
| 13 | | Dry | | | 10.29 | 9.91 | 9.83 | |
| | | Water | | | 8.84 | 9.71 | 9.27 | |
| 20 | | Dry | | | | 10.18 | 9.83 | |
| | | Water | | | | 8.05 | 9.37 | |
| ECOC 3 | | Untreatment | Dry | 10.91 | 10.87 | 10.75 | 10.62 | 10.49 |
| | | | Water | 10.91 | 10.67 | 10.15 | 9.72 | 9.67 |
| | 1 | Dry | 10.76 | 10.43 | 10.27 | 10.19 | 9.88 | |
| | | Water | 10.76 | 9.64 | 9.43 | 9.29 | 9.05 | |
| | 6 | Dry | | 10.12 | 10.09 | 9.89 | 9.78 | |
| | | Water | | 9.35 | 9.75 | 9.34 | 9.05 | |
| | 13 | Dry | | | 10.08 | 9.86 | 9.72 | |
| | | Water | | | 8.83 | 9.23 | 9.19 | |
| | 20 | Dry | | | | 9.87 | 9.78 | |
| | | Water | | | | 8.39 | 9.02 | |
| | ECOC 4 | Untreatment | Dry | 10.85 | 10.72 | 10.63 | 10.60 | 10.57 |
| | | | Water | 10.85 | 10.12 | 9.78 | 9.64 | 9.55 |
| 1 | | Dry | 10.68 | 10.32 | 10.30 | 10.07 | 10.01 | |
| | | Water | 10.68 | 9.90 | 9.55 | 9.36 | 9.19 | |
| 6 | | Dry | | 10.09 | 9.97 | 9.96 | 9.89 | |
| | | Water | | 9.26 | 9.65 | 9.29 | 9.19 | |
| 13 | | Dry | | | 10.01 | 9.97 | 9.82 | |
| | | Water | | | 8.61 | 9.31 | 9.08 | |
| 20 | | Dry | | | | 10.15 | 9.82 | |
| | | Water | | | | 8.47 | 9.22 | |
| ECOC 5 | | Untreatment | Dry | 10.83 | 10.68 | 10.54 | 10.38 | 10.35 |
| | | | Water | 10.83 | 9.88 | 9.68 | 9.54 | 9.42 |
| | 1 | Dry | 10.37 | 10.16 | 10.05 | 10.00 | 9.78 | |
| | | Water | 10.37 | 9.69 | 9.41 | 9.35 | 9.27 | |
| | 6 | Dry | | 10.11 | 9.98 | 9.89 | 9.82 | |
| | | Water | | 8.17 | 9.53 | 9.33 | 9.29 | |
| | 13 | Dry | | | 10.08 | 9.94 | 9.88 | |
| | | Water | | | 9.17 | 9.43 | 9.14 | |
| | 20 | Dry | | | | 9.91 | 9.73 | |
| | | Water | | | | 8.03 | 9.06 | |

1. 기건양생한 경우의 pH

Table 8 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 기건양생의 경우 중성화 처리를 하지 않은 식생을 위한 다공성 콘크리트의 재령 28일의 pH는 10.34~10.57의 범위로 나타났으며, 재령 2일에 측정된 초기의 pH에 비하여 크게 감소되지 않는 것으로 나타났다.

한편, Table 8 및 Fig. 2, 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 재령 1일, 6일, 13일, 20일에 중성화 처리를 한 경우 재령 28일에 각각의 pH는 9.78~10.03, 9.72~9.89, 9.72~9.88, 9.72~9.83의 범위로서 중성화 처리 시점에 따른 pH 변화는 거의 없었으며, 중성화 처리를 하지 않은 다공성 콘크리트 보다는 감소되었으나, 식생을 할 수 있을 정도의 pH 저감은 나타나지 않았다.

이것은 다공성 콘크리트의 수화반응시 생성된 수산화 칼슘의 알칼리 성분이 계속적으로 용출되어 밖으로 빠져나와야 pH가 감소되는 반면에 기건양생의 경우 생성된 알칼리 성분이 다공성 콘크리트 내에 계속적으로 잠재하고 있어 중성화 처리에 의하여 피막을 형성해도 pH측정시 일시적으로 알칼리 성분이 용출되어 pH가 크게 나타난 것으로 생각된다.

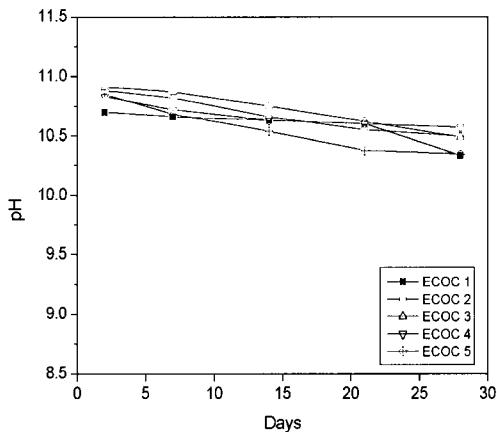


Fig. 1 Change of pH (untreatment)

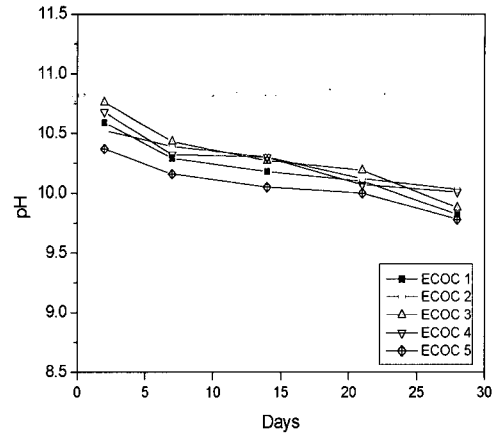


Fig. 2 Change of pH (age : 1 day)

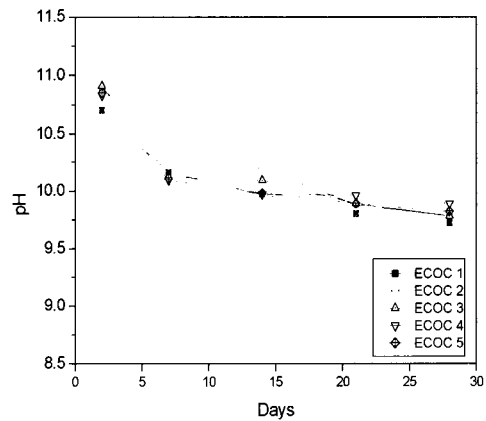


Fig. 3 Change of pH (age : 6 days)

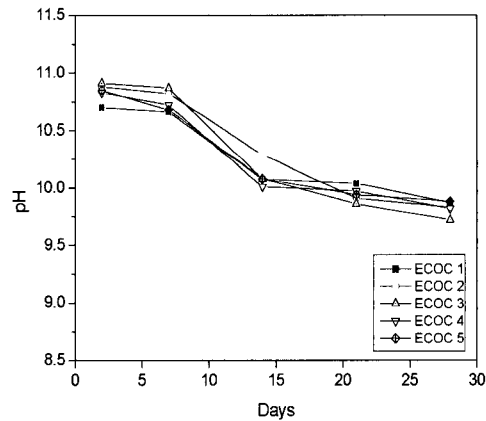


Fig. 4 Change of pH (age : 13 days)

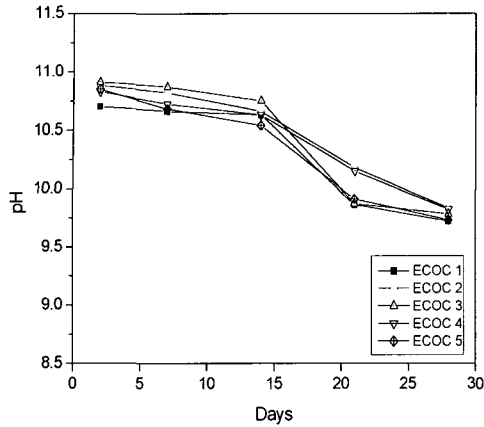


Fig. 5 Change of pH (age : 20 days)

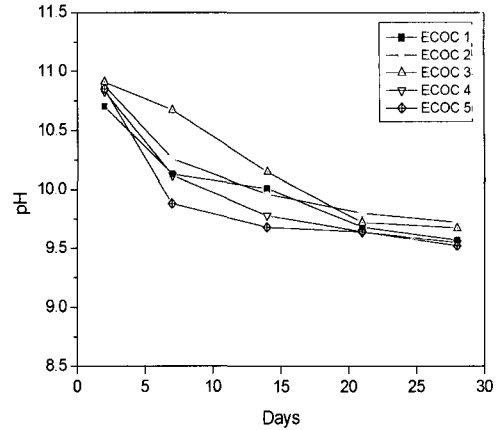


Fig. 6 Change of pH (untreatment)

2. 수중양생한 경우의 pH

Table 8 및 Fig. 6에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우 중성화 처리를 하지 않은 식생을 위한 다공성 콘크리트의 재령 28일에 있어서 pH는 9.42 ~ 9.72의 범위로 나타났으며, 재령 2일에 측정된 초기의 pH에 비하여 크게 감소하는 것으로 나타났다.

이것은 식생을 위한 다공성 콘크리트를 수중양생하는 경우 수화반응시 생성되는 수산화 칼슘의 알칼리 이온이 물 분자에 의해 분해되면서 용출되어 계속적으로 밖으로 빠져나오기 때문에 pH가 저감된 것으로 생각된다.

또한, 중성화 처리를 실시하고 기건양생하는 경우보다 오히려 중성화 처리 없이 수중양생만을 실시하는 경우가 pH 저감에 더 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

한편, Table 8 및 Fig. 7, 8, 9, 10에서 보는 바와 같이 수중양생을 하면서 재령 1일, 6일, 13일, 20일에 중성화 처리를 한 경우 재령 28일에 각각의 pH는 9.00 ~ 9.27, 9.05 ~ 9.29, 9.08 ~ 9.28, 9.02 ~ 9.37의 범위로서 중성화 처리 시점에 관계없이 9.5 이하로 감소되어 식생이 가능한 정도의 pH 값을 나타내었다.

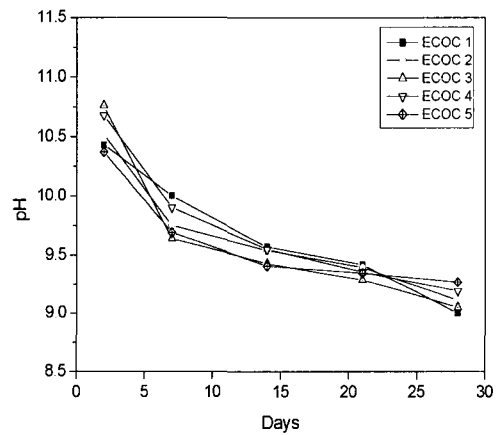


Fig. 7 Change of pH (age : 1 day)

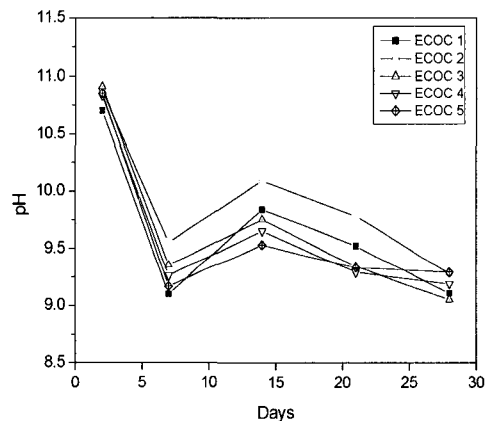


Fig. 8 Change of pH (age : 6 days)

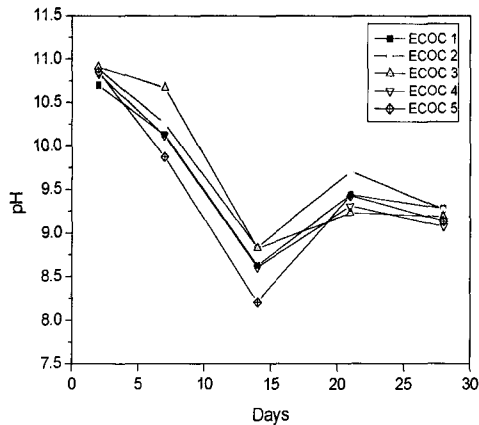


Fig. 9 Change of pH (age : 13 days)

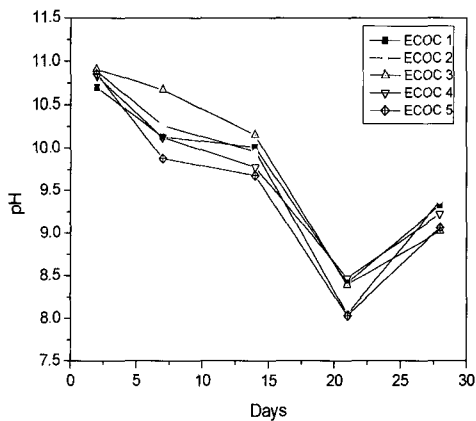


Fig. 10 Change of pH (age : 20 days)

또한 중성화 처리를 재령 1일에 하는 경우 재령이 경과할수록 pH가 계속적으로 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 수중양생을 진행하다가 중성화 처리를 하는 경우에는 중성화 처리 직후에 pH가 급격히 감소되었다가 점차 증가한 후 약 14일을 전후로 다시 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일이 경과된 시점에서는 중성화 처리 시점에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다.

한편, 중성화 처리를 재령 1일에 실시하는 경우 재령 14일의 pH가 약 9.5 정도로 나타나 다공성 콘크리트 제작 초기에 식생이 가능할 것으로 생각되며, 수중양생과 중성화 처리를 병행할 경우 중성

화 처리 시점에 관계없이 모든 배합에서 재령 28일 이후에는 식생이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 이러한 결과는 다공성 콘크리트에 식생을 실시할 수 있는 가능 시기를 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

이 연구는 식생을 위한 다공성 콘크리트를 개발하기 위하여 pH 저감을 목적으로 농업부산물인 볏짚재를 혼입하여 중성화 처리를 함에 있어서 중성화 처리 및 양생방법에 따른 pH 저감을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중성화 처리를 하지 않은 기건양생의 경우 pH는 재령 28일에 10.34 ~ 10.57의 범위로서 초기의 pH 10.70 ~ 10.91에 비하여 크게 감소하지 않았다.
2. 중성화 처리를 하지 않은 수중양생의 경우 pH는 재령 28일에 9.42 ~ 9.72 범위로서 초기의 pH 10.70 ~ 10.91에 비하여 약간 감소하였다.
3. 중성화 처리를 한 기건양생의 경우 pH는 재령 28일에 9.72 ~ 10.03의 범위로서 중성화 처리를 하지 않은 기건양생의 경우보다 pH가 감소되었지만, 중성화 처리 시점에 관계없이 중성화 처리를 하지 않은 수중양생의 pH보다 대체적으로 크게 나타났다.
4. 중성화 처리를 한 수중양생의 경우 pH는 9.00 ~ 9.37의 범위로서 중성화 처리 시점에 관계없이 중성화 처리를 하지 않은 수중양생의 경우보다 pH가 크게 감소되었다.
5. 재령 1일에 중성화 처리를 한 수중양생인 경우 재령이 경과함에 따라 pH가 크게 감소하여, 재령 14일에는 식생이 가능할 정도의 pH를 나타냈으며, 초기에 수중양생을 실시하고 중성화 처리를 하는 경우에는 중성화 처리 직후에 pH가 크게 감소한 후 점차 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타

내었다.

6. 식생을 위한 다공성 콘크리트의 pH를 저감시키기 위해서는 수중양생에서 효과가 크게 나타났으며, 식생을 하기 위한 중성화 처리 시점은 재령 약 2주에 하는 것이 바람직 한 것으로 나타났다.

본 논문은 2001년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

References

1. Brandt, A. M., 1995, *Cement-based Composites : Materials, Mechanical Properties and Performance*. London : E & FN Spon.
2. Choi, L. and J. C. Kim. 1998. ECO-Concrete *Magazine of the Korea Concrete Institute* 10(6) : 11~21. (in Korean)
3. Japan Concrete Institute. 1995. ECO-Concrete research committee report. Tokyo. : Japan Concrete Institute. (in Japanese)
4. Lee, S. H. and E. K. Kim. 2000. A review of environment conscious concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 12(5) : 17-22. (in Korean)
5. Sung, C. Y. and Y. K. Han. 1999. Physical and mechanical properties of permeable polymer concrete with fly ash and CaCO₃. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 41(2) : 104-110. (in Korean)