

콘크리트용 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법에 관한 연구

A Study on the Penetration Depth Measurement Methods of Inorganic Waterproofing Agent for Concrete

최연왕^{1)*} 오성록²⁾ 박만석³⁾ 김경환⁴⁾
Yun-Wang Choi Sung-Rok Oh Man-Seok Park Kyung-Hwan Kim

Abstract

Penetration depth of inorganic waterproofing agent is difficult to assess quantitatively because inorganic waterproofing agent for concrete is not an internal waterproof membrane. However, evaluation of penetration depth of inorganic waterproofing agent is one of the most important evaluation index to secure efficiency in a consistent penetration.

Therefore, this paper was proposed penetration depth measurement method of inorganic waterproofing agent for concrete and the penetration depth of the conventional inorganic waterproofing agent have been evaluated through the proposed penetration depth measurement method. As a result of test, the measured penetration depth through the proposed penetration depth measurement method of inorganic waterproofing agent showed that more than 90% reliability.

Keywords : Concrete, Inorganic, Waterproofing agent, Penetration depth, Measurement method

1. 서론

사회기반시설물뿐만 아니라 건축 구조물의 대부분은 콘크리트로 이루어져 있으며, 시공품질이 양호하고 구조물을 구성하는 재료의 특성과 외적환경이 크게 변하지 않는 경우 설계 당시 설정한 공용기간동안 안정성 및 사용성을 확보하여 설계 수명 또는 내구년한 동안 구조적 기능을 안전하게 수행할 수 있는 것으로 간주한다 (KCI, 2005). 그러나 실제 콘크리트는 고려하지 못한 현상이나 예기치 못한 과도한 하중 또는 재료의 결함 등에 문제가 발생하기 때문에 설계당시 성능에 비하여 감소하는 경향이 나타나게 된다 (KCI, 2005; Oh et al., 2010; Lee et al., 2008). 특히, 대부분의 콘크리트 구조물은 내부에 철근으로 보강한 철근 콘크리트 구조물로 이루어져 있으므로 수분이 콘크리트 내부로 침투하는 경우에는 철근 부식 등을 유발하여 균열 등의 결함을 촉진시키기 때문에 외부로부터의 수분차단은 매우 중요하다 (Lee et al.,

2008; Choi, 2010). 콘크리트는 이론적으로 수분이 투과되지 않는 불투수성 물질로 정의할 수 있으나 실제로는 다공질의 재료이며, 상기 문제점에 따른 결함이 발생하기 때문에 콘크리트 내부로의 침투수를 차단하여야 이후 발생할 수 있는 문제를 예방할 수 있다 (Choi, 2010). 따라서 대부분의 경우 현장조건에 따라 수분을 차단하기 위하여 콘크리트 구조물에 방수를 실시하고 있다 (Lee et al., 2008; Choi, 2010; Lee, 2004). 콘크리트 방수는 국내·외적으로 다양한 방수공법과 재료를 사용하고 있으며, 현장조건에 따라 방수성능의 요구기준도 다양하지만 그 중에서도 액상형 방수제를 이용한 방수 공법 중에 무기계 재료를 기반으로 하는 액상 방수제의 경우 성능평가함에 따른 다음과 같은 문제점이 있다 (Seo, 2004). 첫째, 무기계 방수제는 침투비막성형(浸透非成膜形)으로써 투명한 형태를 띄고 있기 때문에 시공 후 육안으로 형태를 관찰하기 어려우며, 둘째, 따라서 성능지표 중 침투 깊이를 정량적으로 평가하기 어려운 문제가 발생한다. 관련

1) 정희원, 세명대학교 토목공학과 교수, 교신저자
2) 정희원, 세명대학교 건설공학과 박사과정
3) 정희원, 세명대학교 건설공학과 박사수로
4) 정희원, 세명대학교 건설공학과 박사수로

* Corresponding author : crete77@semyung.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2014년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

한국산업표준 (KS F 4930, 2012)에서는 액상형 유·무기계 방수제에 대하여 각 성능평가 항목에 따라 방수제의 성능기준 및 평가방법을 제시하고 있지만 무기계 방수제의 경우에는 규정하지 않는다고 명시하고 있다. 이러한 원인은 무기계 기반 방수제의 경우 내부 방수층을 형성하는 것이 아니라 모세관 공극에 시멘트 수화물과 동일한 형태의 생성물을 형성하여 조직을 치밀화 시키는 메커니즘을 갖고 있기 때문이다.

큰 범주에서 유·무기계 모두 수분 저항성인 내흡수 또는 내투수성능 등이 주요 성능을 나타내는 평가지표가 되겠지만 무기계 방수제의 경우에는 콘크리트 내부로 침투하여 방수막이 아닌 방수층, 내부 치밀화라 정의하자면 표면으로부터 어느 수준까지 치밀화 되었는지 평가할 수 있는 기준이 부재인 실정이다. 즉, 무기계 방수제의 경우에는 막을 형성하지 않고 내부 공극을 채워 치밀화 되는 원리이기 때문에 기존의 침투깊이의 개념과는 다소 차이가 있을 수 있으나 이와같은 이유로 침투깊이를 평가하지 않는다면 무기계 방수제의 성능뿐만 아니라 적용분야 확대 및 확보에 있어서도 불리한 요인이 될 수 있다. 즉, 현장에 적용하기 위해서는 일반적으로 이야기 되는 침투깊이를 성능평가 지표 중 하나로 활용하여야 무기계 방수제가 활성화 되는데 기여하고 품질측면에서 일관된 침투효율 확보가 가능할 것으로 예측된다. 실제로 무기계 기반 방수제의 경우 현장에 적용시 방수성능이 무엇보다도 중요하겠지만 재료특성상 투명한 형태를 띠기 때문에 시공유무의 판단이 불가능하여 기피하는 현상이 발생하는 경우가 있기 때문에 이를 해결하기 위해서는 무기계 방수제의 침투깊이 등의 평가기준이 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 액상형 무기계 방수제의 성능평가 지표 중 침투깊이를 활용하기 위한 방안으로써 무기계 방수제를 통하여 콘크리트 내부가 치밀화된 정도를 침투깊이로 정의하였으며, 이를 정량적으로 평가하기 위하여 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법을 고안하였다. 무기계 방수제의 침투깊이 측정의 필요성을 검토하기 위하여 국내에 시판되고 있는 무기계 방수제의 제품군을 선정하여 주요 성능인 내흡수 및 내투수성능을 평가하여 본 연구에서 고안한 침투깊이 측정방법에 따라 측정된 침투깊이와의 상관성 분석을 실시하였다. 또한 광학현미경을 통하여 시편 내부를 관찰하여 내부공극이 치밀해진 길이를 침투깊이로 하여 고안한 침투깊이 측정방법에 대한 신뢰성 검증을 실시하였다. 이를 통하여 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법을 표준화하는데 기여하고 무기계 방수제의 성능을 평가하기 위한 연구의 기초 자료로써 제시하고자 한다.

2. 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법 고안

2.1 개요

무기계 재료를 주원료로 한 무기계 방수제는 유기계 방수제와 달리 표면층에 막을 형성하여 외부로부터 물의 침투를 차단하는 방식이 아닌 모세관 공극에 시멘트 수화물과 동일한 형태의 생성물을 형성하여 조직을 치밀화 시킴으로써 침투를 억제하는 메커니즘을 가지기 때문에 침투깊이의 측정 및 예측이 용이하지 않으며 다소 어려움이 따른다.

따라서 본 논문에서는 콘크리트용 무기계 방수제의 침투깊이를 예측할 수 있는 측정방법을 고안하기 위하여 KS F 2711 「전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법」 및 ASTM C 1202 「Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration」에서 제시한 실험방법과 결과산출 방법을 역이용하여 콘크리트용 무기계 방수제의 침투깊이를 예측할 수 있는 측정방법을 고안하였다 (KS F 2711, 2012; ASTM C 1202, 2005; Bea et al., 2009). Fig. 1은 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법의 개요도를 나타낸 것이며, Table 1은 고안된 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법의 특징 및 참고대상이 되는 실험방법 (KS F 2711/ASTM C 1202)과의 차이점을 나타낸 것이다.

2.2 측정방법

고안된 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법은 무기계 방

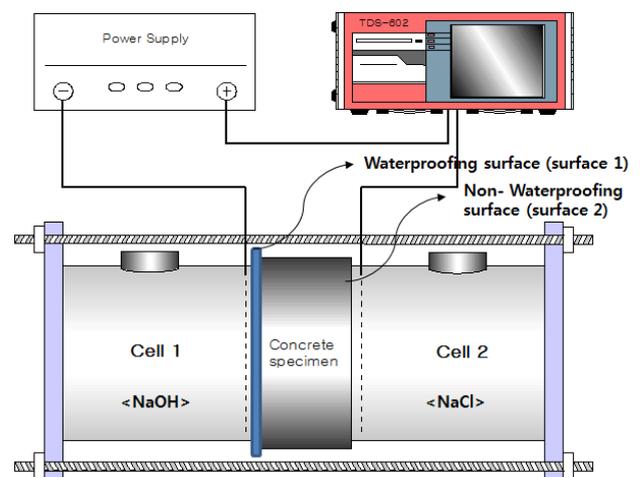
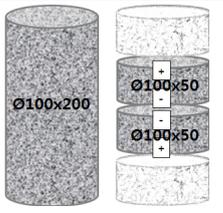
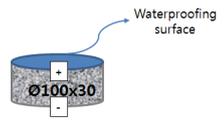
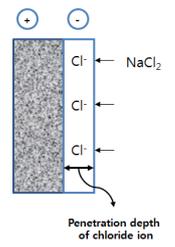
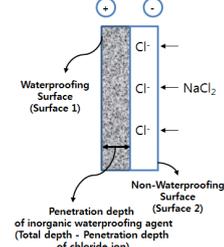


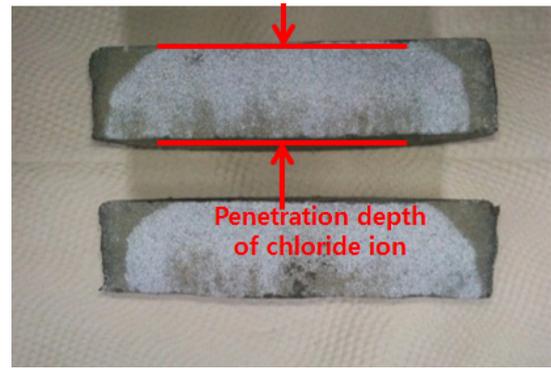
Fig. 1 Schematic diagram of developed penetration depth measurement method for inorganic waterproofing agent

Table 1 Point of proposed penetration depth measurement method for inorganic waterproofing agent and difference between each test method

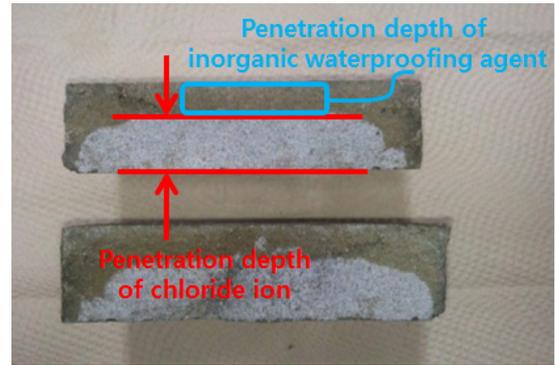
| Type | resist chloride Ion Penetration of concrete (KS F 2711, ASTM C 1202) | penetration depth measurement method for inorganic waterproofing agent | |
|------------------|---|---|-----------|
| Specimen | $\phi 100 \times 50$ mm (specimen cutting of $\phi 100 \times 200$ mm size) | $\phi 100 \times 30$ mm | |
| |  |  | |
| C E L L | + | 0.3N NaOH | 0.3N NaOH |
| | - | 3.0% NaCl | 3.0% NaCl |
| Voltage | 60V | 30 - 60V | |
| Test time | 6 hours | more than 4 hours (end time of the experiment of plain specimen) | |
| Result | penetration depth of chloride Ion | penetration depth of inorganic waterproofing agent | |
| |  |  | |

* in case of Concentration of penetration depth measurement method for inorganic waterproofing agent the aqueous solution, Voltage and test time can be varied depending on the conditions.

수제가 도포된 면 (방수면, 이하 제 1면으로 약함)의 경우에는 NaOH 수용액을, 반대되는 면 (비 방수면, 이하 제 2면으로 약함)에는 NaCl 수용액을 각 면에 노출시킨다음 전기적으로 시편 내부에 Cl이온을 침투시킨 후 공시체를 할렬하여 0.1N AgNO₃ 수용액을 도포하여 적정법에 변색되는 구간의 길이를 측정하였다. 변색된 구간은 Cl이온이 이동한 길이이며, 시편 축방향 총 길이에서 제 2면으로 부터 Cl이온이 침투한 경계선까지 (변색구간의 길이)를 제외한 나머지 길이를 무기계 방수제의 침투깊이로 하였다. 시험시 고려하여야 할 사항은 실험에 사용되는 NaOH 및 NaCl 수용액의 농도 및 가해지는 전압의 경우 무기계 방수제가 도포되는 시편과 동일하게 제조된 시편을 표준 시편으로 하여 Cl이온이 시편 내부를 모두 통과하는 시점에 실험을 종료하여 그 시점의 방수



Non-coated



Inorganic waterproofing coating

Fig. 2 Test result of proposed penetration depth measurement method for inorganic waterproofing agent

시험의 농도, 전압 및 시험시간을 표준으로 하였다. 즉, 무기계 방수제가 도포되지 않은 시편 (이하, Plain으로 약함)을 Cl이온이 모두 통과되는 반면 무기계 방수제를 도포한 시편은 내부 치밀화로 인한 Cl이온이 이동하지 못하는 불투수층이 발생하며, 이때 불투수층을 침투깊이로 하였다. Fig. 2는 고안된 시험방법에 따라 실험한 시편을 나타낸 것이며, Cl이온이 침투하여 AgNO₃ 수용액과 반응한 반대면의 길이를 치밀화되어 침투되지 못한 구간, 침투 깊이로 하였다.

3. 실험개요

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트 및 잔골재

실험에 사용된 시멘트는 밀도 3.15 g/cm³의 보통포틀랜드 시멘트 (이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 잔골재의 경우 주문진산 표준사를 사용하였다.

3.1.2 무기계 방수제

실험에 사용된 무기계 방수제는 국내외 적합한 제품을 선정하였으며 A, B 및 C사의 무기계 방수제 (이하 A, B 및 C로 약함)를 대상으로 실험을 실시하였다. A, B 및 C가 도포된 시편을 고안한 측정방법에 따라 침투깊이를 측정하고 다음 각각의 내흡수성능 및 내투수성능과의 상관성을 평가하였다.

3.2 실험방법

3.2.1 모르타르 배합

A, B 및 C의 방수성능을 평가하기 위한 시편을 제작하기 위하여 KS L 5105에 준하여 표준 모르타르 배합을 제조하였으며, KS F 4930에 준하여 $\phi 100 \times 30$ mm 사이즈의 시편을 제작하였다. Table 2는 실험에 사용된 모르타르 배합표를 나타낸 것이다.

3.2.2 무기계 방수제의 도포 및 양생

무기계 방수제의 도포는 A, B 및 C의 제품사양에 따라 시편에 도포를 실시하였으며, 소정의 기간동안 기건 양생을 실시하였다.

3.2.3 침투깊이

무기계 방수제의 침투깊이는 고안한 침투깊이 측정방법을 통하여 Cl⁻이온이 표준 시편을 완전히 통과하는 시점의 각 수용액의 양과 전압 및 지속시간을 결정한다음 동일한 조건 및 시점에서의 무기계 방수제가 도포된 시편의 실험을 종료하였다. 실험이 종료된 시편을 할렬하여 0.1N AgNO₃ 수용액을 도포한다음 변색되지 않은 부분의 길이, 즉 Cl⁻이온이 침투하지 못한 길이를 침투깊이로 하여 평가하였으며, 최대 길이와 최소 길이를 제외한 나머지를 평균값으로 하여 이를 평균 침투깊이로 하였다.

3.2.4 내흡수성능 및 내투수성능

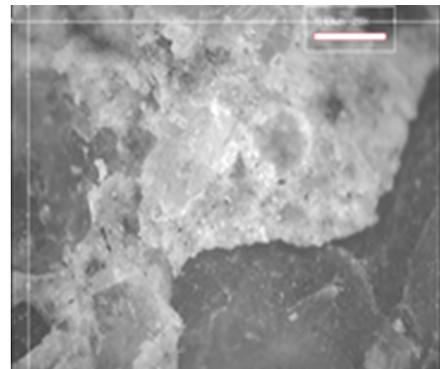
내흡수성능 및 내투수성능은 KS F 4930에 준하여 무기계 방수제가 도포된 시편과 도포되지 않은 시편을 전처리과정을 실시한 다음 각 실험방법에 따라 평가하였다.

3.2.5 신뢰성 검토

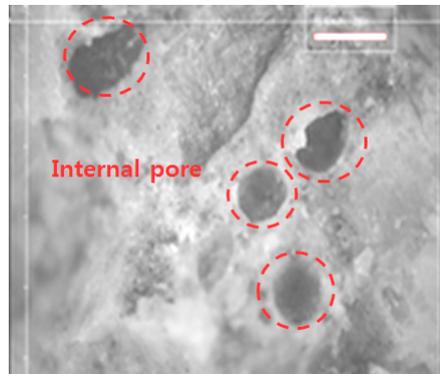
본 연구에서 고안한 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법의 신뢰성 검토를 위하여 무기계 방수제가 도포된 시편을 할렬한다음 시편 내부를 광학 현미경을 사용하여 Fig. 3 및 4와 같이 관찰하였다. 내부 공극이 채워져 치밀해진 길이를 침투깊이로 하여 측정된 침투깊이와의 오차를 평가하였다.



Fig. 3 Optical microscope



Penetration part (Near the top surface)



Impermeable part (Lower)

Fig. 4 Observation Results of the specimen($\times 300$)

Table 2 Mixing proportion of mortar

| Type | W | C | S |
|------------------|-------|-------|-------|
| ratio of mass | 0.485 | 1 | 2.45 |
| unit mass (kg/L) | 0.278 | 0.573 | 1.404 |

또한 육안으로 침투깊이 확인이 가능한 액상형 유기계 방수제 E, D 및 F사의 제품을 선정하여 육안측정 결과와 고안된 침투깊이 측정방법에 따른 침투깊이 평가결과를 비교하여 신뢰성 검토를 수행하였다.

4. 실험결과

4.1 무기계 방수제의 침투깊이

4.1.1 침투깊이 측정방법의 적용 및 평가

무기계 방수제의 침투깊이 측정을 위하여 침투깊이 측정 방법을 고안하고 이를 통하여 무기계 방수제의 침투효율 및 균질성을 평가하였으며, 침투깊이에 따른 내흡수능과 내투수능과의 상관성을 분석하였다.

Table 3은 고안된 침투깊이 측정방법에 따라 각 무기계 방수제의 침투깊이를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

Table 3의 결과 A, B 및 C의 침투깊이는 A의 경우 최대 10.7 mm 및 최소 7.0 mm, B의 경우 최대 7.5 mm 및 최소 3.3 mm, C의 경우 최대 10.3 mm 및 최소 7.9 mm 로 나타났다. 각각의 침투깊이는 KS F 4930에서 규정한 내용이 없기 때문에 객관적이며 정량적인 평가가 불가능 하지만 상대적인 평가를 하는 경우 침투효율 측면에서 C-A-B 순으로 우수한 것으로 나타났다. 균질성 측면에서 평가할 경우 A, B

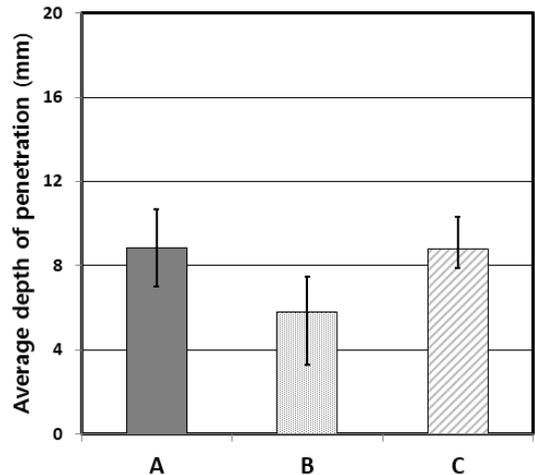


Fig. 5 Test results of average penetration depth and deviation of A, B and C

및 C의 각각의 편차는 1.415, 1.742 및 0.974로 C가 가장 편차가 적은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 침투깊이 측정결과 중 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지 평균 침투깊이를 나타낸 것이다. Fig. 5의 결과 A의 평균 침투깊이는 8.8 mm, B의 평균 침투깊이는 5.8 mm, C의 평균 침투깊이는 8.8 mm로 나타나 평균 침투깊이는 A와 C가 동등 수준인 것으로 나타났으며, B의 침투깊이가 가장 작은 것으로 나타났다.

4.2 내흡수능 및 내투수능과의 상관성

4.2.1 내흡수능

Table 4는 내흡수능 평가결과 수중에 24시간 침지 후 시편에 흡수된 물의 양 및 시편에 흡수된 물량의 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지 시편에 대한 물 흡수계수를 나타낸 것이다. Table 4의 결과 Plain의 평균 물 흡수계수는 약 $1.30 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 으로 나타났으며, A, B 및 C의 평균 물흡수계수는 약 0.11, 0.12 및 $0.14 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ 로 나타났다. Fig. 6은 Plain에 대한 각각의 평균 물 흡수계수를 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과 A, B 및 C의 평균 물 흡수계수비는 0.08, 0.09 및 0.10으로 나타났으며, 모두 KS F 4930에서 규정한 물 흡수계수비 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 무기계 방수제인 A, B 및 C는 A의 내흡수능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, B 및 C의 내흡수능의 경우 A와 비교하여 약 10% 및 20% 감소하는 것으로 나타나 내흡수능은 A-B-C 순으로 우수한 것으로 나타났다.

Table 3 Test results of penetration depth of inorganic waterproofing agent by developed penetration depth measurement methods

| Type | Penetration depth (mm) | Max depth of penetration (mm) | standard deviation (mm) | Min depth of penetration (mm) | Average depth of penetration (mm) | |
|------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----|
| A | 1 | 7.0 | 10.7 | 1.415 | 7.0 | 8.8 |
| | 2 | 10.7 | | | | |
| | 3 | 9.5 | | | | |
| | 4 | 8.0 | | | | |
| | 5 | 9.0 | | | | |
| B | 1 | 7.5 | 7.5 | 1.742 | 3.3 | 5.8 |
| | 2 | 5.4 | | | | |
| | 3 | 4.8 | | | | |
| | 4 | 7.2 | | | | |
| | 5 | 3.3 | | | | |
| C | 1 | 8.2 | 10.3 | 0.974 | 7.9 | 8.8 |
| | 2 | 7.9 | | | | |
| | 3 | 8.8 | | | | |
| | 4 | 10.3 | | | | |
| | 5 | 9.4 | | | | |

Table 4 Test results of absorption resistance

| Type | | mass (g) | | | absorption coefficient of water ($kg/m^2 \cdot h^{0.5}$) | |
|-------|---|----------|--------|-------|--|------|
| | | before | after | water | coefficient | avg. |
| Plain | 1 | 593.16 | 641.66 | 48.5 | 1.26 | 1.30 |
| | 2 | 578.20 | 627.40 | 49.2 | 1.28 | |
| | 3 | 657.27 | 703.97 | 46.7 | - | |
| | 4 | 554.90 | 606.90 | 52.0 | 1.35 | |
| | 5 | 629.59 | 688.59 | 59.0 | - | |
| A | 1 | 569.06 | 573.46 | 4.4 | 0.11 | 0.11 |
| | 2 | 596.64 | 600.44 | 3.8 | 0.98 | |
| | 3 | 577.63 | 580.48 | 2.9 | - | |
| | 4 | 589.74 | 594.69 | 5.0 | - | |
| | 5 | 545.79 | 549.99 | 4.2 | 0.11 | |
| B | 1 | 652.95 | 657.45 | 4.5 | 0.12 | 0.12 |
| | 2 | 580.95 | 587.10 | 6.2 | - | |
| | 3 | 580.95 | 585.95 | 5.0 | 0.13 | |
| | 4 | 594.19 | 598.64 | 4.5 | 0.11 | |
| | 5 | 601.41 | 604.86 | 3.5 | - | |
| C | 1 | 574.26 | 579.86 | 5.6 | 0.15 | 0.14 |
| | 2 | 600.40 | 606.30 | 5.9 | - | |
| | 3 | 592.79 | 597.89 | 5.1 | 0.13 | |
| | 4 | 585.30 | 590.20 | 4.9 | 0.13 | |
| | 5 | 635.78 | 639.28 | 3.5 | - | |

Table 5 Test results of penetration resistance

| Type | | mass (g) | | | penetration water (g) | |
|-------|---|----------|--------|-------|-----------------------|-------|
| | | before | after | water | water | avg. |
| Plain | 1 | 593.16 | 651.36 | 58.20 | 58.20 | 59.88 |
| | 2 | 578.2 | 637.24 | 59.04 | 59.04 | |
| | 3 | 657.27 | 713.31 | 56.04 | - | |
| | 4 | 554.9 | 617.30 | 62.40 | 62.40 | |
| | 5 | 603.28 | 674.08 | 70.80 | - | |
| A | 1 | 588.74 | 594.02 | 5.28 | 5.28 | 4.96 |
| | 2 | 544.99 | 549.55 | 4.56 | 4.56 | |
| | 3 | 592.97 | 596.39 | 3.42 | - | |
| | 4 | 593.16 | 599.10 | 5.94 | - | |
| | 5 | 629.59 | 634.63 | 5.04 | 5.04 | |
| B | 1 | 652.95 | 658.35 | 5.40 | 5.40 | 5.58 |
| | 2 | 560.95 | 568.33 | 7.38 | - | |
| | 3 | 582.95 | 588.95 | 6.00 | 6.00 | |
| | 4 | 580.95 | 586.29 | 5.34 | 5.34 | |
| | 5 | 585.30 | 589.44 | 4.14 | - | |
| C | 1 | 635.78 | 641.78 | 6.00 | 6.00 | 5.91 |
| | 2 | 553.57 | 559.43 | 5.86 | 5.86 | |
| | 3 | 582.92 | 589.04 | 6.12 | - | |
| | 4 | 592.79 | 598.67 | 5.88 | 5.88 | |
| | 5 | 582.99 | 587.19 | 4.20 | - | |

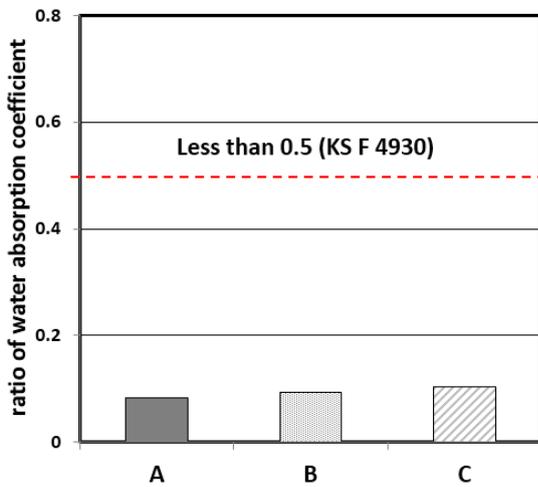


Fig. 6 Test results of water absorption coefficient ratio of A, B and C for plain

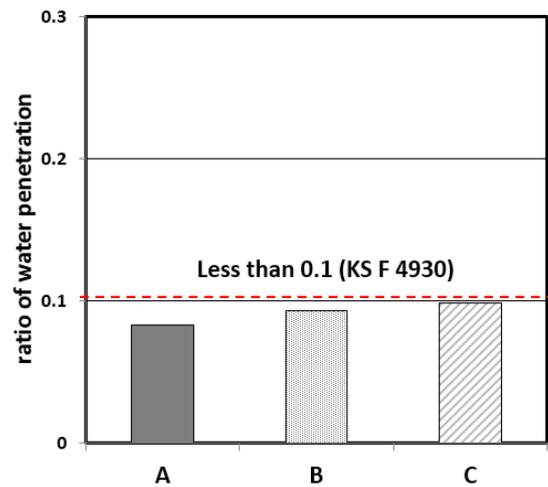


Fig. 7 Test results of water penetration ratio of A, B and C for plain

4.2.2 내투수성능

Table 5는 내투수성능 평가결과 내부에 투수된 물량의 측정결과 및 시편내부에 투수된 물량의 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지 시편에 대한 평균 투수량을 나타낸 것이다. Table 5의 결과 Plain의 평균 투수량은 약 59.88 g으로 나타났으며, A, B 및 C의 평균 투수량은 약 4.96, 5.58 및 5.91

g으로 나타났다.

Fig. 7은 Plain에 대한 각각의 평균 물 투수비를 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과 A, B 및 C의 평균 투수비는 0.08, 0.09 및 0.10로 나타났으며, 모두 KS F 4930에서 규정한 투수비 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 무기계 방수제인 A, B 및 C는 A의 내투수성능이 가장 우수한

것으로 나타났으며, B 및 C의 내흡수성능의 경우 A와 비교하여 약 10% 및 16% 감소하는 것으로 나타나 내흡수성능과 동일하게 A-B-C 순으로 나타났다.

4.2.3 침투깊이와의 상관성

내흡수성능 및 내투수성능 결과를 통하여 A, B 및 C는 KS F 4930에서 제시하고 있는 제한 범위 이내인 것으로 나타나 성능을 만족하는 것으로 나타났으며, 동등한 수준인 것으로 나타나 방수성능이 동등한 것으로 평가될 수 있으나 실제 침투깊이의 경우 A, B 및 C는 차이가 분명히 발생하였기 때문에 내부 방수층 형성이나 침투효율 측면에서 평가하는 경우에는 동등한 방수성능을 가진 것으로 평가하기에는 부적당한 것으로 볼 수 있다. 또한 상기 3사의 무기계 방수제의 침투깊이의 경우에는 실제 1~3 mm 사이의 작은 차이로 볼 수 있지만 침투 효율 및 균질성 측면에서의 침투깊이는 0.1 mm 단위까지 평가되므로 무시할 수 있는 수준이 아니며, 실험에서 사용된 이외의 무기계 방수제의 경우 다른 경향이 나타날 수 있기 때문에 무기계 방수제의 성능을 평가하는 데 있어서 침투깊이 측정은 매우 중요한 평가 지표 중 하나인 것으로 판단된다.

Fig. 8 및 9는 내흡수성능과 침투깊이와의 관계 및 내투수성능과 침투깊이와의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 8 및 9의 결과 내흡수성능은 A-B-C순으로 우수한 것으로 나타났으나 침투깊이의 경우 다소 편차가 있지만 평균 침투깊이와 비교한 결과 A-C-B 순으로 나타났으며, 내투수성능의 경우에도 A-B-C순으로 우수한 것으로 나타났으나 평균 침투깊이는 A-C-B 순으로 나타나 다른 경향의 결과가 나타났다. 즉, 무

기계 방수제의 내흡수성능 및 내투수성능이 동등하거나 우수한 결과가 나타난 경우에도 침투성능의 경우 다른 경향의 결과가 나타날 수 있으며, 또한 실험에서 사용된 이외의 무기계 방수제의 경우에는 내흡수성 및 내투수성과 같은 내수성능이 우수한 경우라도 침투성능이 달라질 수 있으므로 무기계 방수제의 침투깊이 평가는 필요한 것으로 판단되며, 본 연구에서 고안한 무기계 방수제의 침투깊이 측정 방법을 통하여 무기계 방수제의 침투깊이 평가 및 침투성능 예측이 가능할 것으로 사료된다.

4.2.4 침투깊이 측정방법의 신뢰성 검토

본 연구에서 고안한 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법의 신뢰성을 검토하기 위하여 광학 현미경을 통하여 시편 내부를 관찰하였으며, 상대적으로 치밀화된 영역의 길이를 측정하였다. 또한 육안으로 평가가 가능한 유기계 액상 방수제를 본 연구에서 고안한 침투깊이 측정방법을 적용한 침투깊이 측정결과와 육안 측정결과 비교분석을 통하여 결과의 정확도 및 적용성을 검토하였다.

Fig. 10은 무기계 방수제를 적용한 시편에 대하여 침투깊이 측정방법에 따른 침투깊이 결과와 광학현미경을 통한 내부 치밀화 구간을 평가한 결과를 비교한 것이다. Fig. 10의 결과 광학 현미경을 통한 내부 치밀화 구간은 측정방법에 따른 침투깊이와 비교하여 다소 높게 평가되는 것으로 나타났으며, 각 방법에 대한 평균 침투깊이는 약 ± 0.58 , ± 0.60 및 ± 0.85 mm의 차이가 발생하는 것으로 나타났지만 적용한 무기계 방수제의 침투효율 측면과 실험적 오차를 감안하는 경우 상기 결과는 미소한 수준이기 때문에 각 방법에 대한

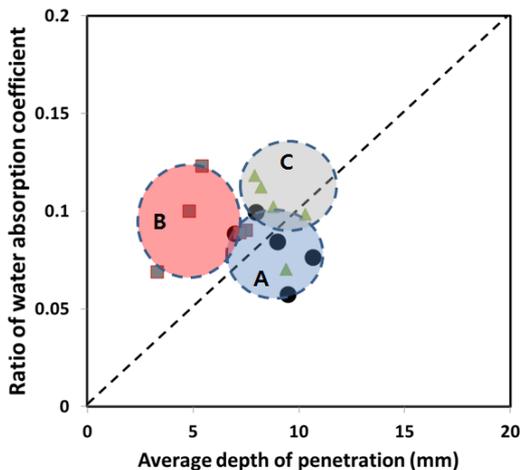


Fig. 8 Relationship between ratio of water absorption coefficient and average depth of penetration

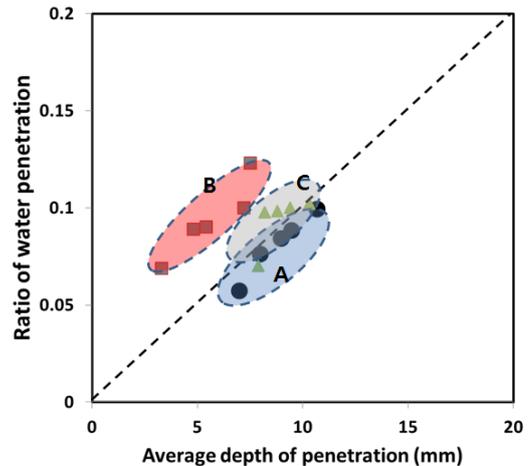


Fig. 9 Relationship between ratio of water penetration and average depth of penetration

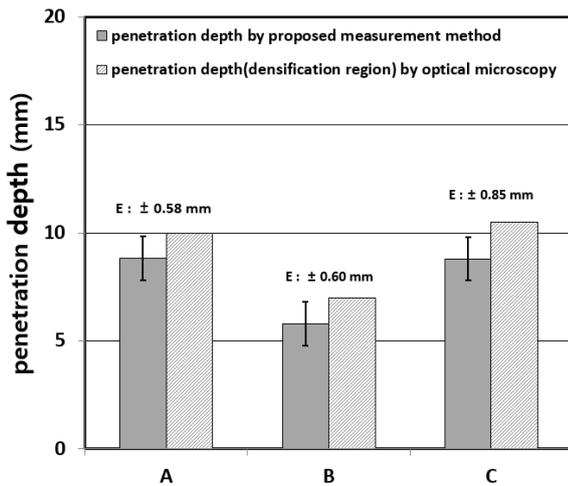


Fig. 10 Comparison of penetration depth by proposed measurement method and optical microscopy

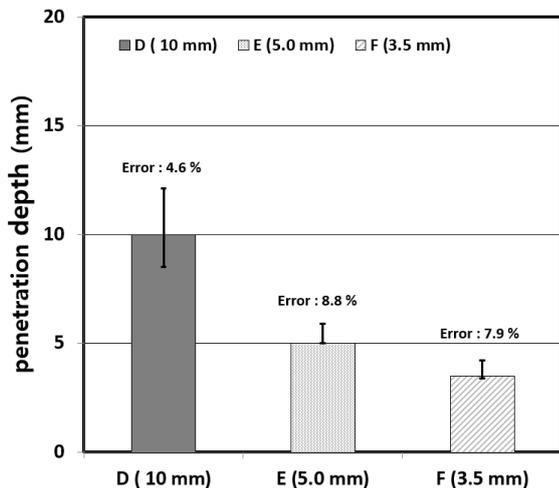


Fig. 11 Error ratio of penetration depth measurement methods of proposed Inorganic Waterproofing Agent

차이는 동등 수준인 것으로 판단된다.

Fig. 11은 육안으로 침투깊이 확인이 가능한 유기계 방수제 D, E 및 F의 육안 측정 결과와 고안된 무기계 방수제의 침투깊이 측정결과에 따른 오차율을 나타낸 것이다. Fig. 11의 결과 육안으로 관찰된 침투깊이는 D의 경우 약 10 mm, E의 경우 약 5.0 mm 및 F의 경우 약 3.5 mm로 나타났으며, 본 연구에서 고안한 측정방법에 따른 침투깊이는 D의 경우 최대 12.1mm, 최소 8.5 mm, 평균 10.5 mm인 것으로 나타나 약 4.6 %의 오차율이 있는 것으로 나타났다. E의 경우 최대 5.9 mm, 최소 5.0 mm, 평균 5.4 mm인 것으로 나타나 약 8.8 %의 오차율이 있는 것으로 나타났으며, F의 경우 최대 3.7 mm, 최소 2.9 mm, 평균 3.2 mm인 것으로 나타나

약 7.9 %의 오차율이 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 본 연구에서 고안한 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법은 약 90% 이상의 높은 신뢰성과 내부 치밀화 구간과 유사한 결과가 나타남에 따라 높은 정확도를 가진 것으로 판단되며, 본 침투깊이 측정방법을 통하여 무기계 방수제의 침투깊이를 평가하는 데 유효한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 무기계 방수제의 침투깊이를 정량적으로 평가하기 위하여 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법을 고안하였으며, 고안된 침투깊이 측정방법을 통하여 기존 콘크리트용 무기계 방수제의 성능 평가, 적용성 검토 및 신뢰성 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 무기계 방수제의 성능평가 결과 방수성능이 기준을 만족하고 성능이 우수한 것으로 나타났으나 침투성능의 경우 다른 경향이 나타남에 따라 무기계 방수제의 방수성능을 평가하는 데 있어서 침투깊이의 측정 및 반영은 내수성능 뿐만 아니라 일관된 침투효율을 확보하는 데 있어서 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 본 연구에서 고안한 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법은 90% 이상의 신뢰성이 있는 것으로 나타나 보다 정량적으로 무기계 방수제의 침투깊이를 평가하는데 유효한 것으로 판단되며, 이를 통하여 무기계 방수제의 표준화된 시험방법 개발과 기존 제품 및 신규 무기계 방수제의 관련 연구 및 개발에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. American Society for Testing and Materials (2005), ASTM C 1202 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 1-3.
2. Bea, S. H., Park, J. I., Lee, K. M., Choi, S. (2009), Influence of Mineral Admixtures on the Diffusion Coefficient for Chloride Ion in Concrete, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, 29(4), 347-353 (in Korean).
3. Choi, Y. W. (2010), Development of Concrete Matrix

-
- Combined Waterproofing Agent for Railway Bridge Deck, Small and Medium Business Administration, Joint industry-academia-research technology development, Final Report, 13-48 (in Korean).
4. Kim, Y. S. (2003), Experimental Study on the Development of Waterproof Coating Method of Crystallization Growth Type and Watertightness Improvement of Mortar Applied This Method, Seoul National University of Science and Technology, Master's Thesis, 14-38 (in Korean).
 5. Korea Concrete Institute (2005), Concrete Diagnosis and Maintenance, Korea Concrete Institute, 61-95 (in Korean).
 6. Korea Concrete Institute (2005), Latest Concrete Engineering, Gimundang, 654-690 (in Korean).
 7. Korea Industrial Standard (2012), KS F 2711 Testing method for resistance of concrete to chloride ion penetration by electrical conductance, 1-3 (in Korean).
 8. Korea Industrial Standard (2012), KS F 4930 Penetrating water repellency of liquid type for concrete surface application, 4-5 (in Korean).
 9. Lee, I. H. (2004), A Performance Appraisal for Combined Construction Method Applied Repairing Mortar with Water Repellent Agent of Inorganic Polymer Type, Seoul National University of Science and Technology, Master's Thesis, 1-13 (in Korean).
 10. Lee, J. Y., Park, Y. J., Lee, C. K. (2008), Concrete Structures Maintenance, Goomisukyan, 9-170 (in Korean).
 11. Oh, J., Jung, B. R. (2010), Diagnosis and Maintenance of Concrete Structures, Gimundang, 91-136 (in Korean).
 12. Seo, S. K. (2004), Performance Evaluation of Volatile Organic Solvent-based and Water based Water Repellents for Concrete Exterior Wall's Waterproofing, Chungbuk National University, Research Report, 1-15 (in Korean).
- Received : 11/04/2013
Revised : 01/29/2014
Accepted : 02/12/2014

요 지

콘크리트용 무기계 방수제는 내부 막을 형성하지 않기 때문에 무기계 방수제의 침투깊이 정량적으로 평가하기 어렵다. 그러나 무기계 방수제의 침투깊이 평가는 일관된 침투효율을 확보하는데 있어서 매우 중요한 평가지표 중 하나이다. 따라서 본 논문에서는 콘크리트용 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법을 고안하였으며, 고안된 침투깊이 측정방법을 통하여 기존 무기계 방수제의 침투깊이를 평가하였다. 실험결과 고안된 무기계 방수제의 침투깊이 측정방법을 통하여 평가된 침투깊이는 90% 이상의 신뢰성이 있는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 콘크리트, 무기계, 방수제, 침투 깊이, 측정 방법
