

농업용 콘크리트 구조물용 라텍스개질 보수용 모르타르의 수축 및 내구성능 평가

Shrinkage and Durability Characteristics of Latex Modified Repair Mortar for Agricultural Concrete Structures

원 중 필[†] · 이 재 영* · 박 찬 기** · 박 성 기*** · 김 완 영****

Won, Jong Pil · Lee, Jae Young · Park, Chan Gi · Park, Seong Gi · Kim, Wan Young

Abstract

This research was to evaluate the shrinkage and durability performance of latex modified repair mortar and to improve the service life of the agricultural concrete structures. The shrinkage characteristics of the repair material creates the delamination of repair materials and existing concrete. It may reduce the service life of structures. Also, the reduction of durability performance of the repair materials induces the destruction of the repaired concrete structures at early stage. In this research, plastic and drying shrinkage, thermal expansion coefficient for shrinkage properties, durability performance, permeability, repeated freezing and thawing, and resistance of chemical solution test were performed.

Test results showed that the latex modified repair mortar indicated the shrinkage amount which the delamination does not happen, and the latex modified repair mortar appeared excellent long-term durability performance which can increase the service life.

Keywords : Agricultural concrete structure, Durability performance, Life cycles, Latex modified repair materials, Shrinkage performance

1. 서 론

농업용 콘크리트구조물을 설계, 시공할 때 설계자나 시공자는 구조물의 안정성과 사용성 및 내구성 등을 고려하여 설계 및 시공하게 된다. 일반적으로 농업용

콘크리트 구조물의 설계 및 시공은 농업기반조성사업에 따라 목표내구연한을 기준으로 설계를 실시하고 있다(Ministry of agriculture and forestry, 2005). 농업용 콘크리트 구조물에 대한 설계내구연한에 대한 규정은 1982년 농업토목핸드북, 1998년 농어촌진흥공사의 농촌용수계획 설계편람, 1967년 농수산부의 농업토목설계편람에 제시되어 있으며, 각 규정마다 설계내구연한은 각 구조물 및 기준에 따라 차이를 보이고 있으나 대부분의 농업용 콘크리트 구조물은 내구연한을 30년에서 100년 정도로 설계하고 있다(Ministry of Agriculture and Forestry, 1991,

* 건국대학교 사회환경시스템공학과

** 광주대학교 지역건설공학 전공

*** (주)승화이엔씨 기술연구소

**** 한국수자원공사 수자원 연구원

† Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3750

Fax: +82-2-2201-0907

E-mail address: jpwon@konkuk.ac.kr

1999, 2000, 2005). 그러나 농업용 콘크리트 구조물의 실제내구연한은 평균 18년에 불과한 것으로 추정되고 있어 목표내구연한과는 큰 차이를 보여주고 있다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2005). 농업기반 콘크리트 구조물의 내구연한이 설계값과 비교하여 이처럼 큰 차이를 보이고 있는 이유를 살펴보면 설계기준강도가 낮은 18MPa 정도의 콘크리트를 사용한 결과 및 열악한 시공환경에 따른 품질관리 여건을 들 수 있다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2005). 또한, 농업용 콘크리트 구조물이 건설된 특수한 환경에 의한 노후화에 원인을 찾을 수 있다(Won et al., 2005). 내구연한이 감소된 농업용 콘크리트 구조물의 사용수명을 증가시키는 방법으로는 보수 및 보강재료를 이용하여 구조물의 성능을 증가시키는 방법이 있다(Won et al., 2005). 현재 다양한 종류의 보수재료가 개발되어 성능 저하된 콘크리트 구조물에 적용되어 왔다. 그러나 보수재료 및 공법을 적용 시에 가장 크게 고려하여야 할 사항 중에 하나는 보수재료와 기존 콘크리트 구조물의 접합성과 보수재료의 내구성이다. 기존 콘크리트 구조물과 보수재료의 접합성은 보수재료의 수축특성에 따라 결정된다. 보수재료의 수축특성이 기존 콘크리트 구조물과 크게 차이가 나면 계면에서 분리 및 탈락이 발생하여 조기 파괴 및 재보수기간 단축의 원인이 된다. 또한 보수재료의 내구성 감소 역시 구조물의 사용수명 감소 및 재보수기간 단축의 주요 원인이 되므로 이에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 농업용 콘크리트 구조물의 특성을 고려하여 물의 침투를 근본적으로 막을 수 있는 재료인 라텍스를 이용한 라텍스 개질 보수용 모르타르의 적용성을 평가하기 위하여 수축특성 및 내구성능을 평가하였다.

II. 실험계획

1. 성능기준

본 연구에서는 라텍스 개질 보수용 모르타르의 수축 및 내구성능을 평가하였다. 이를 위하여 Table 1 과 같은 성능기준 목표와 기존의 열화된 콘크리트

Table 1 Target properties of latex modified repair materials

Properties	Test conditions	Target value
Drying shrinkage	15 weeks after 28 curing days	< 20×10 ⁻⁴ (KS F 2424)
Chloride permeability	AASHTO T 159 ASTM C 1202	Very low
Repeated freezing and thawing cycles	after 300cycles	> 80% residual strength
Resistance to chemical solution	CaCl ₂ Na ₂ SO ₄ H ₂ SO ₄	> 80% residual strength > 80% residual strength > 65% residual strength
Plastic shrinkage	—	No crack
Drying shrinkage	-	< 20×10 ⁻⁴
Coefficient of thermal expansion	-	10~14×10 ⁻⁶ /°C

구조물의 보수용 재료로 사용하기 위하여 L사 및 H사에서 생산되는 2가지 종류의 뿔칠용 보수재료와 비교 실험을 실시하여 성능을 평가하였다.

2. 사용재료

가. 시멘트 및 골재

본 연구에서는 H사에서 제조한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용했으며, 잔골재는 인조규사를 사용하였다. 인조규사는 원석의 순도가 높고 석영질로 SiO₂가 높고 색도가 백색이며 경질이고 내화도가 높다. 본 연구에서는 국내 D사에서 제조한 인조규사를 사용하였으며 화학적 구성은 Table 2와 같다.

나. 라텍스

시멘트 모르타르는 물-시멘트비가 증가함에 따라 플로우 값으로 표시되는 시공성은 개선되나 실제 적용시 재료분리, 블리딩, 강도저하 등의 물리적 성능 손실은 피할 수 없다. 이에 따라 현장에서 작업할 때 작업성을 개선하여 경제적 손실을 줄이면서도 시멘트 모르타르의 성능을 동등 혹은 그 이상으로 향

Table 2 Chemical composition of fine aggregate

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Total
96.0	2.0	1.0	0.1	0.5	0.2	0.2	100

상시킬 수 있는 재료와 방법에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다(Barluenga, 2003). 시멘트 모르타르의 작업성을 개선하면서 내구성을 개선시키는 데는 많은 재료적 접근 방법이 있겠지만 친수콜로이드적인 성격을 가지고 있는 유기계 고분자재료는 시멘트 모르타르의 훌륭한 개질재료로 널리 알려져 있다(Saija, 1994). 이중 라텍스는 윤활유와 같은 작용을 하여 모르타르의 워커빌리티를 향상시킨다. 따라서 라텍스를 첨가하면 일정 수준의 워커빌리티를 얻기 위하여 요구되어지는 단위수량을 감소시킨다(Biswas, 1994). 이러한 단위수량의 감소는 경화된 재료의 강도면에서 증가를 가져온다. 라텍스는 또한 모르타르 속에서 공극구조를 안정화시키는 경향이 있으며, 알칼리성 필름막을 형성하여 철근을 보호하고 충전작용으로 우수한 힘강도, 건조수축의 감소, 불투수성, 동결융해 저항성, 부착강도 등을 나타내게 된다(Barluenga, 2003). 따라서 상기와 같은 특성을 가진 라텍스를 이용한 보수재료를 농업용 콘크리트 수리구조물에 적용하면 사용수명 증가에 큰 효과가 있다. 본 연구에서 사용한 라텍스는 SBR(Styrene-Butadien Rubber)이며 특성은 Table 3과 같다.

다. 실리카폼

실리카폼은 실리콘이나 페로실리콘 등의 규소합금을 전기 아크식 노에서 제조할 때 배출가스에 함유하여 발생하는 부산물의 총칭이며, 규소합금의 원료로서 규석, 석탄, 목편, 철가루 등과 환원제로서 코크스를 전기로에 투입하여 약 2,000℃의 고온으로 페로실리콘을 제조하게 된다. 이때 중간생성물인 SiO가 가스화되어 이것이 공기에 의해 산화하여 SiO₂로 되고 다시 응축하여 초미립자로 생성된다(Won et. al., 2003). 이 초미립자를 전기집진장치를 이용하여 실리카폼이 얻어지는 것이다. 본 연구에서 사용된 실리카폼의 화학적 성질은 Table 4에 나타내었다.

Table 3 Physical properties of Latex

Concentration (%)	Specific gravity	pH	Surface tension (dyne/cm)	Particle size (A)	Viscosity (cps)
46.9	1.02	10.55	30.565	1793	44.33

Table 4 Chemical composition of silica fume

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O+ Na ₂ O	CaO+ MgO
Min.90	Max.2	Max.2	Max.5

Table 5 Optimum mix proportion of latex modified repair materials

Binder : S	Latex	Antifoaming agent	W/binder	PVA fiber	Silica fume
1:2	Cement × 5%	Latex × 1.5%	0.33	Cement × 0.06%	Cement × 10%

3. 라텍스 개질 보수용 모르타르의 배합비

본 연구에서는 농업용 콘크리트 구조물의 보수용 재료로 라텍스 개질 보수용 재료의 수축특성 및 내구성능을 평가하고자 시멘트:잔골재비는 1:2, 라텍스의 사용량을 시멘트 중량의 5%, 소포제 사용량은 라텍스의 1.5% 물/시멘트 비는 0.33, 실리카폼의 사용량은 시멘트 중량의 10%를 치환한 Table 5와 같은 배합비를 사용하였다.

4. 실험방법

가. 소성수축시험

Fig. 1과 같이 900×600×19mm의 소성수축 몰드를 제작한 후 소성수축 시험을 실시하였다. 믹싱한 모르타르를 몰드에 가득 담은 후 각 시편마다 동일한 방향으로 미장을 실시하였다. 그 후 온도 28±3℃, 습도 40±5%, 풍속 4.5~5m/s의 항온항습실에서 24시간 동안 유지한 뒤 균열량을 측정하였다.

나. 건조수축시험

건조수축시험은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법 - 다이얼게이지 방법)에 준하여 시험을 실시하였다. 25.4×25.4×285.75mm의 시편을 제작하여 1일후 탈형을 실시한 후 즉시 측정하였다. 그 후 온도 20±1℃와 습도 60±5%를 유지하는 항온항습실에 공시체를 기건양생 하였다. 이후 재령7일이 되었을 때 다시 측정을 하고 이 시점을 기준으로 하여 15주간 매주 공시체의 수축량을 다이얼게이지로 측정을 하고 기록하였다.

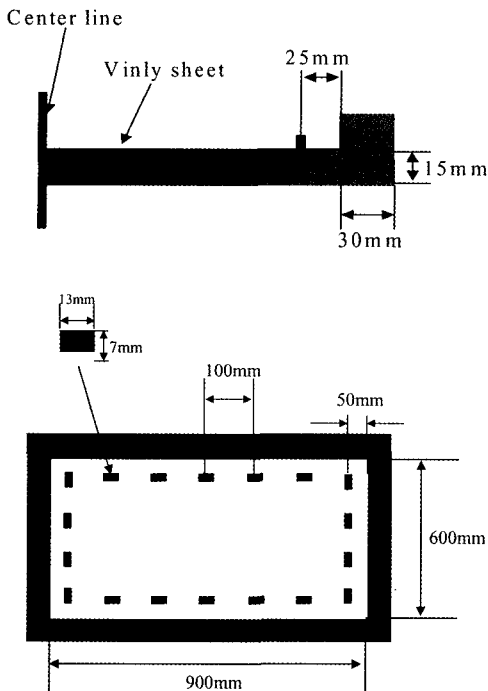


Fig. 1 Plastic shrinkage test specimens

다. 열팽창계수시험

도출된 보수재료를 25.4×25.4×285.75mm의 시편을 제작하여 ASTM C 696(Standard test method for coefficient of linear thermal expansion of plastics)와 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법-다이얼게이지 방법)에 준하여 실험을 실시하였다.

라. 염소이온 침투저항성시험

모르타르 및 콘크리트의 투수성을 간접적으로 확인할 수 있는 염소이온 침투저항성시험은 ASTM C 1202(Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist ion penetration)에 준하여 실시하였다. Φ100×200mm의 공시체를 제작하여 온도 20±1℃와 습도 60±5℃%의 항온항습실에서 기건양생을 28일 실시한 후 시편을 50mm 두께로 자른다. 시편을 진공 데시케이터안에 시편을 넣고 데시케이터를 완전히 봉한 후 3시간 동안 진공펌프를 작동시켜 진공상태를 유지한다. 3시간 후 시편이 잠길 정도의 물을 붓고 1시간 정도 진

공펌프를 작동시켜 진공상태를 유지 후 진공펌프의 작동을 멈춘 후 18±2 시간 동안 시편을 담가 놓는다. 그 후 A.V. Cell을 이용하여 공시체를 고정하고 A.V. Cell의 (+)전극에는 0.3mol의 NaOH 용액을 채우고 (-)전극에는 3%의 NaCl 용액을 채운 후 공시체에 직류 60V를 공급하여 6시간 동안 전류값을 측정한다.

마. 동결융해저항성시험

겨울철 동결과 융해가 반복되는 환경에서 제품의 내구성을 알아보기 위하여 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항성 시험 방법)에 준하여 실험을 실시하였다. 동결융해시험을 실시하기 위하여 50×50×50mm의 공시체를 3개씩 준비하여 50 사이클 마다 중량변화 및 압축강도 감소율을 측정하였다.

바. 내약품성시험

50×50×50mm의 입방체 공시체를 제작하여 1일 후 탈형한 후 재령 28일간 기건 양생을 실시하였다. 그 후 CaCl₂, Na₂SO₄, H₂SO₄의 약품에 침지하여 침지 후 재령 30일, 40일, 50일 후의 압축강도를 평가하기 위하여 KS L 5105에 준하여 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 소성수축

소성수축균열실험 결과는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 기존의 상용되고 있는 제품과 도출된 최적배합 모두 균열이 발생하지 않았다. 이는 세 배합 모두 폴리머를 주재료로 한 제품이기 때문에 물-시멘트비가 작아 초기 수분증발에 의한 수축이 모르타르 시편에서 균열을 발생시킬 정도의 충분한 인장응력을 발생시키지 못하였기 때문이다. 즉 모르타르 자체의 인장강도가 수축으로 인한 인장응력보다 크기 때문에 균열은 발생하지 않았다. 그러나 상용되고 있는 제품들의 경우 표면의 미장이 잘 이루어지지 않는 것을 볼 수 있었다. 또한 경화 후 표면에 얼룩이 발생하고 부분적으로 거치를 현상이 나타났다. 이와 같은 이유는 표면

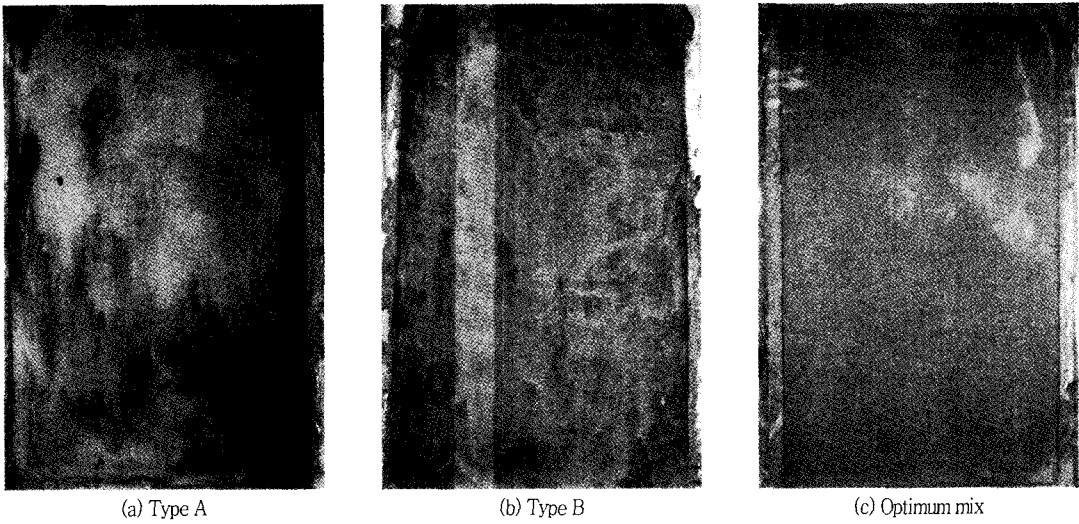


Fig. 2 Photo of test specimens after plastic shrinkage test

처리가 매끄럽지 못해 수분의 증발이 일률적으로 이루어지지 않았고, 표면 마무리가 매끄럽게 이루어지지 않았기 때문이다. 따라서 적정배합비의 경우 기존의 제품에 비해 마감성 및 유동성이 좋아 표면이 좀 더 매끄럽게 되는 효과가 있는 것으로 판단된다.

2. 건조수축

Fig. 3은 15주간의 건조수축 시험결과이다. 건조수축은 초기에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으며 제품 B에서 가장 적은 건조수축량을 나타내었다. 그러나 모든 배합에서 건조수축 기준 길이변화인 20×10^{-4} 이하를 만족하는 결과를 나타내어 목표성능 기준을 만족하였다. 따라서 건조수축으로 인한 균열 및 구체 콘크리트와의 계면에서의 탈락은 발생하지 않

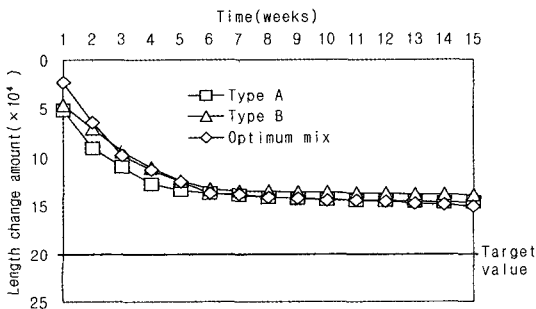


Fig. 3 Drying shrinkage test results

을 것으로 판단된다. 이는 세 가지 제품 모두 플리머를 기본으로 하여 제조된 배합으로 물-시멘트 비가 작기 때문에 기본적으로 수분증발에 의한 수축량이 작기 때문이다.

3. 열팽창계수

열팽창계수는 구조물을 보수함에 따라 기존 구조물과의 일체거동을 이루는가를 알아보는 실험으로써 콘크리트의 열팽창계수는 약 $9 \sim 14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 알려져 있다. 본 연구에서 도출한 적정 배합비의 열팽창계수는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 $10.26 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 나타내어 일반 콘크리트의 열팽창계수와 비슷한 값을 보여주었으며 성능목표로 결정한 열팽창계수인 $10 \sim 14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 만족하여 기존 콘크리트와 일체

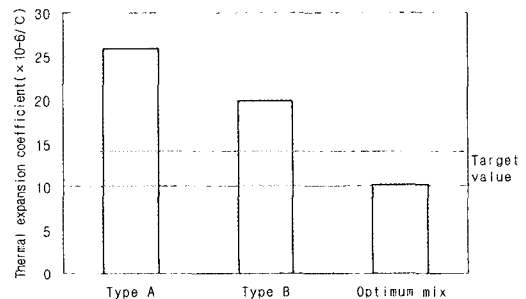


Fig. 4 Thermal expansion coefficient test results

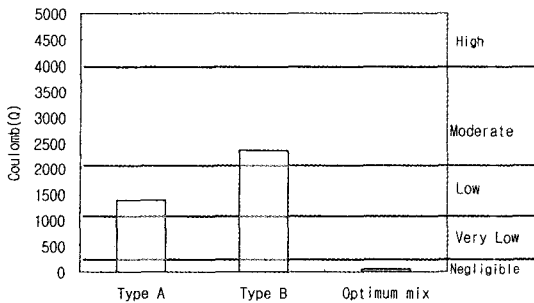


Fig. 5 Chloride ion permeability test results

거동을 이룰 수 있을 것이라 판단된다. 그러나 기존 제품의 경우 기준에 만족하지 못하는 결과 값을 나타내었다. 그러나 이와 같은 열팽창계수가 콘크리트에 적용되었을 때 기존구체 콘크리트와 보수재료 사이의 계면에서 탈락 및 균열의 발생여부는 추가적인 검토가 필요할 것으로 보인다.

4. 염소이온 침투저항성

Fig. 5는 염소이온 침투저항성 시험결과로서 상용 제품과의 비교시험을 실시한 것이다. A사 제품의 경우 대략 1,400 Coulomb으로써 Low 범위 내에 속해 있는 반면, B사 제품의 경우 2,300 Coulomb으로 Moderate범위에 속해 있다. 적정배합은 63 Coulomb으로 Negligible의 범위 안에 속해 있다. 이러한 결과는 라텍스의 성질 중에 필름막 형성과 충전효과로 인한 보수재료의 구조를 치밀하게 하는 효과와 수분의 침투를 막는 라텍스의 특성에 의한 것으로 판단된다.

5. 동결융해 저항성 시험

동결융해 반복 후 사이클 당 압축강도 변화는 Fig. 6에 나타내었다. B사 제품을 제외하고는 모든 배합에서 동결융해저항성시험 기준인 300회 반복 후 압축강도 감소율이 80%이상을 만족 하였다. 최적배합에서 가장 좋은 압축강도 감소율 83.3%를 보였으며 이러한 결과로 적정배합의 내동결융해성은 보수재료로서 우수한 성능을 갖는 것으로 판단된다. 또한, 기존 제품 역시 본 연구에서 목표로 한 상대압축강도

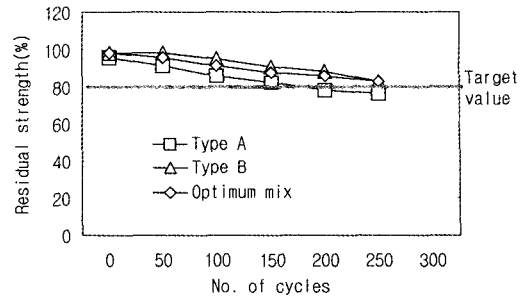


Fig. 6 Repeated freezing and thawing test results

80%를 만족하지는 못하였지만 일반적인 평가기준인 상대동탄성계수 60%는 만족할 것으로 판단되어 보수재료로서는 B 제품 역시 동결융해에 대한 큰 영향은 없을 것으로 판단된다.

3. 내약품성

내약품성 시험결과는 Fig. 7, 8 및 9와 같다. 10% CaCl₂와 10% Na₂SO₄에서의 압축강도 감소율을 81.43%~95.07%로 3가지 배합 모두에서 우수한 성능을 보였으나 5% H₂SO₄에서는 압축강도 감소율이 68.80%~72.30%로 낮았다. A사 제품이 72.30%로 가장 높은 감소율을 보인 반면, B사 제품에서 가장 낮은 64.06%의 감소율을 보였다. 적정배합의 감소율은 70.24%로써 기존의 재료와 비슷한 감소율을 보여 다른 제품과 비슷한 성능을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같이 황산에 대한 저항성이 낮은 이유는 대부분의 보수재료 등에서도 나타날 수 있는 결과로 황산이 다른 용액과 비교하여 노출조건이 심하고 강산으로 구성되어 있기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 라텍스를

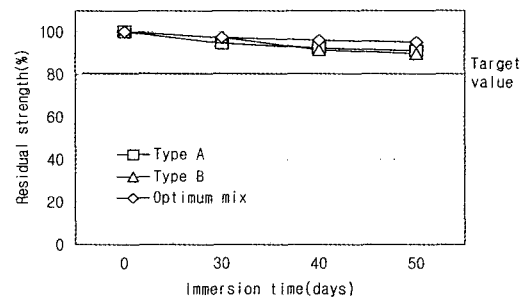


Fig. 7 10% CaCl₂ solution immersion test results

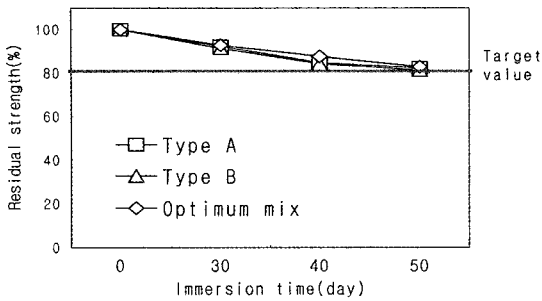


Fig. 8 10% Na₂SO₄ solution immersion test results

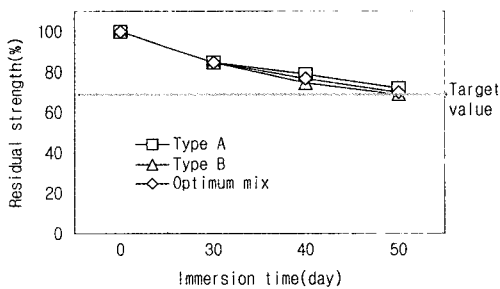


Fig. 9 5% H₂SO₄ solution immersion test results

사용한 농업용 콘크리트 시설물의 보수재료의 적용성을 평가한 결과로 기존 적용되고 있는 제품과 비교하여 동등 이상의 성능을 발휘하였기 때문에 적용성에는 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

VI. 결 론

본 연구에서는 농업용 콘크리트 구조물의 보수용 재료로 라텍스 개질 모르타르의 수축 및 내구성능을 평가하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소성수축 결과는 모든 배합에서 육안으로 관찰되는 균열은 발생하지 않으며 이 결과로 보수재료로서 초기균열은 발생하지 않을 것이라 판단된다.
2. 건조수축은 경화후의 수분증발에 의한 수축을 알아보는 시험으로써 15주간 길이변화율을 측정하였으며, 적정 배합은 건조수축 기준으로 선정한 20×10^{-4} 이하를 만족하였다.
3. 기존 콘크리트와의 일체거동 유무를 알아보기 위한 열팽창계수 시험에서는 적정배합에서 10.26×10^{-6} /

°C의 열팽창계수 결과를 얻어 콘크리트 열팽창계수인 약 $9 \sim 14 \times 10^{-6}/\text{C}$ 와 기준으로 선정한 $10 \sim 14 \times 10^{-6}/\text{C}$ 을 만족하는 결과를 얻을 수 있어 기존 콘크리트와 일체거동을 할 수 있을 것이라 보인다.

4. 간접적인 투수성을 알아보기 위한 염소이온 침투저항성 시험결과 라텍스 개질 보수용 모르타르는 63 Coulomb을 보여 주어 무시해도 될 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과는 라텍스의 성질에서 충전효과 및 필름 막에 의해 치밀한 조직을 형성하는 것으로 판단되며 보수재료로서 적합하다고 판단된다.

5. 동결융해저항성은 라텍스 개질 보수용 모르타르 배합에서 기준으로 선정한 압축강도 감소율 80%이상을 만족하였다.

6. 내약품성은 10% CaCl₂와 10%Na₂SO₄ 용액과 모든 배합에서 내약품성 기준으로 선정한 압축강도 감소율 80%를 상회하는 우수한 성능을 보였으나, 5% H₂SO₄ 용액에서는 모든 배합에서 68.80%~72.30%로서 낮은 저항성을 나타내었다.

본 연구는 농림기술개발사업에 의하여 수행된 결과의 일부임.

References

1. G. Barluenga, F. Hernández-Olivares, 2003, SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior, Journal of Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 3, pp. 527~535
2. Leo M. Saija, 1994, Waterproofing of portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex, Journal of Cement of Concrete Research, Vol. 25 No. 3 pp. 503~509
3. Ministry of Agriculture and Forestry, 2000, Development of system for optimum design, safety appraisal and repair works on agricultural structures (in Korean)
4. Ministry of Agriculture and Forestry, 1999, Guideline for repair method of hydraulic structures (in Korean)

5. Ministry of Agriculture and Forestry, 1991, Agricultural civil engineering hand book (in Korean)
6. Ministry of Agriculture and Forestry, 2005, Study on a scheme of rearranging technologies for repairing & reinforcing irrigation & drainage structure damaged or deteriorated (in Korean)
7. M. Biswas, 1994, Effect of latex and super-plasticiser on portland cement mortar in the fresh state, Journal of Cement and Concrete Composites, Vol. 16, No. 4, pp. 309~316
8. Won, J-P, Lee, C-M, and Park, C-G, 2003, Durability characteristics of blended cement mortar, Journal of KSAE, Vol. 45, No. 3, pp. 41~49 (in Korean)
9. Won, J-P and Park, C-G, 2005, Enhanced Durability performance of polymer modified cement composites for concrete repair under combined aging conditions, Journal of KSAE, Vol. 47, No. 6, pp. 27~34 (in Korean)