

# 콘크리트 구조물 단면복구공사 보수재료 품질기준개선

이일근\* · 김기환\*\* · 김홍삼\*\*\* · 윤성환\*\*\*\* · 김우석\*\*\*\*\*

Lee, Il Keun\* · Kim, Ki Hwan\*\* · Kim, Hong Sam\*\*\* · Yun, Sung Hwan\*\*\*\* · Kim, Woo Seok\*\*\*\*\*

## Revision of Repair Materials Performance Requirement for Concrete Structures

### ABSTRACT

For highway concrete structures, the deterioration of the structure is accelerated due to the increase in the use of deicing materials, and sectional repair work is being frequently carried out to restore performance. However, after the repair work, re-damage such as cracks, delamination, and poor bond performance is exhibited in the repaired sectional area. In this study, overseas repair material requirements were first analyzed, and present domestic requirements were improved repair material performance through field surveys of common concrete structures, laboratory experiments, and test construction on a disused concrete bridge. In addition, performance-based quality requirements were presented so that all materials that meet the required performance can be applied, and different test methods for each material were unified into concrete test methods for consistent test results analysis. The considered performance requirements were compression strength, bending strength, and bond strength for structural properties, and length change rate, crack resistance, thermal expansion coefficient, and elasticity coefficient were for dimensional behavior. For resistance to chloride penetration resistance and freeze-thaw resistance were presented as durability. The proposed requirements for concrete repair materials are expected to contribute to the improvement of the quality of concrete sectional repair work in Korea.

**Key words :** Concrete, Sectional repair, Repair material, Performance requirement

### 초 록

고속도로 콘크리트 구조물은 제설제 사용량 증가로 구조물의 열화가 가속되고 있어 성능회복을 위해 단면복구공사를 실시하고 있다. 하지만, 보수공사 이후 보수부위에 균열, 들뜸 및 부착성능 저하 등의 재손상이 나타나고 있다. 본 연구에서는 먼저 해외 기준을 분석하였고, 공용 중인 콘크리트 구조물의 현장조사, 실내실험, 폐교량에 대한 시험시공을 통해 균열 방지 및 부착성능향상을 위해 강화된 기준을 제시하였다. 요구성능이 충족되는 재료는 모두 적용이 가능하도록 성능기반의 품질기준을 제시하였고, 재료별 상이한 시험방법도 일관성 있는 시험결과 분석을 위해 콘크리트 시험법으로 통일하여 제시하였다. 고려된 품질기준은 하중 저항을 위해 역학적 특성 분야로는 압축강도, 휨강도, 부착강도 기준을 마련하였고, 체적안정성을 위해 길이변화율, 균열저항성, 열팽창계수, 탄성계수를 기준을 마련하였다. 제설염해에 대한 저항성을 위해 내구성 분야로는 염분침투저항성과 동결융해저항성 기준을 제시하였다. 본 연구에 의해 제시된 콘크리트 보수재료의 기준은 국내의 단면복구공사 품질향상에 기여할 것으로 기대된다.

**검색어 :** 콘크리트, 단면복구공사, 보수재료, 품질기준

\* 종신회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구위원, 공학박사 (Korea Expressway Corporation · [lik@ex.co.kr](mailto:lik@ex.co.kr))

\*\* 종신회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원, 공학박사 (Korea Expressway Corporation · [kihwan1@ex.co.kr](mailto:kihwan1@ex.co.kr))

\*\*\* 종신회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구위원, 공학박사 (Korea Expressway Corporation · [hskim68@ex.co.kr](mailto:hskim68@ex.co.kr))

\*\*\*\* 종신회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사 (Korea Expressway Corporation · [shy@ex.co.kr](mailto:shy@ex.co.kr))

\*\*\*\*\* 종신회원 · 교신저자 · 충남대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Chungnam National University · [wooseok@cnu.ac.kr](mailto:wooseok@cnu.ac.kr))

Received November 24, 2022/ revised December 12, 2022/ accepted January 12, 2023

## 1. 서론

국내 콘크리트 구조물은 노후화의 진행으로 인해 열화가 진행되고 있으며, 그 중에서 제설제 사용량 증가로 인한 구조물 열화의 가속화는 점점 심해지고 있다. 한국도로공사의 2005년 제설제 사용량은 6.5 ton/km였으나, 2014년과 2019년은 각각 8.1과 9.7 ton/km로 2005년에 비해 49 % 증가하였으며, 이에 따라 열화보수비는 2005년 104억원에서 2014년 246억원, 2019년 536억원으로 415 % 증가하였다. Fig. 1과 같이 제설제의 염분은 콘크리트로 침투하여 철근을 부식시키고, 부식된 철근의 팽창으로 인해 콘크리트 내부에는 응력이 발생하게 된다. 이 팽창압이 콘크리트의 인장성

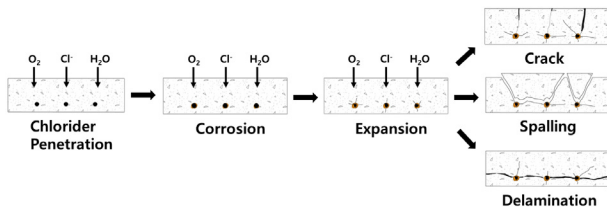


Fig. 1. Schematics of Concrete Deterioration Due to Chloride Permeation



(a) Deck Slab End



(b) Pier



(c) Re-damage in Deck Slab



(d) Re-damage in Pier

Fig. 2. Concrete Deterioration and Re-damaged Cases

능을 초과할 경우, 균열이 발생하게 되고, 성장한 균열은 들뜸이나 박락을 발생시킨다. 이에 구조물 관리자는 콘크리트 구조물의 성능회복을 위해 열화된 콘크리트 제거하고, 보수재료로 다시 채우는 단면복구공사를 실시하고 있다. 하지만, Fig. 2와 같이 제설염해에 의한 손상과 단면복구공사 후에도 재손상 발생이 자주 관찰되고 있다.

본 연구에서는 제설염해나 지속적인 수분 침투에 의해 발생된 철근 부식에 의한 콘크리트 단면의 들뜸이나 균열이 발생한 단면에 대하여 성능회복을 위해 실시되는 상대적으로 광범위한 단면복구공사의 보수 재료로 사용될 수 있는 보수재의 성능기준을 제시하고자 하였다.

## 2. 현 단면복구공사 실태

### 2.1 공용 교량 현장조사

본 연구에서는 선행연구(Jeong et al., 2023; Min et al., 2021)에서와 같이 단면복구공사를 시행한지 5년 이내의 공용 중인 7개소의 교량에 대해 약 660 m<sup>2</sup>의 범위에 대해 현장조사를 실시하여 열화의 상태와 단면복구공사 후의 재손상을 파악하였다. 대상 교량은 폴리머 시멘트 모르타르(Polymer Cement Mortar, PCM)와 폴리머 시멘트 콘크리트(Polymer Cement Concrete, PCC)를 이용하여

단면복구공사가 이루어진 교량들이다. 현장조사는 육안조사를 통한 균열조사, 타음 방식을 통한 들뜸조사, 현장 부착강도 시험(KS F 2762, 2021)을 통한 들뜸 및 시공상태 조사가 이루어졌다. 균열의 경우 모든 보수부재에서 발생하였고, 손상 면적은 81 %정도로 광범위하였다. 균열의 간격은 18~76 cm로 평균 55 cm로 조사되었다. 부착불량은 보수 단면의 약 17 %에서 들뜸이 확인되었고, 부착성능은 평균 0.29 MPa로 조사대상 모두 기준(1.0 MPa)에 미달한 것으로 조사되었다. 상세한 현장조사 내용은 선행연구(Min et al., 2021)에서 확인할 수 있다.

현장조사 결과 단면복구공사 후에 발생하는 균열은 보수재료의 건조수축 등 재료성능에 의한 영향이 지배적인 것으로 추정되었다. 또한, PCM에 비해 굵은 골재가 사용된 PCC에서 균열이 감소하는 경향을 보였고, 균열의 간격 또한 넓게 형성되어 있었다. 보수재와 모재 콘크리트 사이의 부착불량은 재료의 부착성능과 열화부 제거가 충분히 이루어지지 않아 전처리가 불량일 경우가 많아 현장 부착강도 시험에서 부착계면파괴가 50 %, 모재 콘크리트 파괴가 27 %를 차지하였다. 따라서, 단면복구공사 시행 부위의 재손상을 줄이기 위해서는 재료성능의 개선이 가장 중요한 것으로 판단되었다.

## 2.2 단면복구공사 보수재료

국내외의 문헌조사 결과 Table 1과 같이 콘크리트 구조물의 단면복구공사에는 굵은골재의 상용 여부에 따라 모르타르 계열과 콘크리트 계열로 크게 구분할 수 있다. 이들은 다시 비인더로 시멘트의 폴리머 대체 비율에 따라서 시멘트 계열과 폴리머 계열로 나눌

수 있다. 현재 실제 현장에서는 단면복구공사의 특징에 따른 구분 없이 대부분이 PCM이 주로 쓰이고 있었다. 그러나, 단면복구 부위가 넓거나 깊을 경우, 건조수축에 취약한 특징을 나타낼 것으로 알려져 있다. 실제 주로 사용되는 상용 보수재료의 경우에도 실내시험에서는 특별한 문제를 나타내지 않았으나, 현장에 시공되었을 경우에는 현장 시공 상황과 환경조건에 의해서 다양한 문제를 유발할 수 있을 것으로 추정된다.

## 3. 실내시험 및 시험시공

### 3.1 실내시험

일반적으로 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 보수 재료의 특성을 파악하기 위해서 실내시험을 진행하였다. 상용제품인 K사 (Type K), J사(Type J), F사(Type F)의 PCM (Polymer Cement Mortar) 계열 3종과 PM (Polymer Mortar, 또는 ERM (Epoxy Resin Mortar)) 계열 1종, PCC (Polymer Cement Concrete) 계열은 K사의 3, 10, 13 mm 굵은 골재를 사용한 배합 3종과 D사(Type D)의 LMC (Latex Modified Concrete) 배합 1종을 Table 2와 같이 고려하였고, 각각에 대한 배합설계는 Table 3에

Table 2. Repair Materials Used in Laboratory Tests

Material	PCM			PM	PCC			
	K	J	F	ERM	3 mm (K)	10 mm (K)	13 mm (K)	LMC (D)

Table 1. Classification of Repair Materials for Concrete Structure

Type	Mix	Property
Cement Mortar	- Cement+Sand+Water+Additives	- Use dry mortar - In-situ mix with water
Polymer Cement Mortar (PCM)	- Cement+Sand+Water+Additives - A portion of the cement is replaced by a polymer*	- Improve adhesion, frost resistance, penetration resistance - Without aggregate (possible cracks) - In-situ mix with water
Polymer Mortar (PM)	- Cement+Sand+Water+Additives - All cement is replaced by a polymer**	- Excellent volumn stability - Compressive and tensile strength, adhesion, frost resistnace, penetration resistance - High thermal expansion coefficient compared to normal concrete
Concrete	- Cement+Aggregate+Sand +Water+Additives	- Similar to substrate concrete
Polymer-modified Cement Concrete (PCC)	- Cement+Aggregate+Sand +Water+Additives - A portion of the cement is replaced by a polymer*	- Excellent bending, adhesion, penetration resistance
Polymer Concrete (PC)	- Cement+Aggregate+Sand +Water+Additives - All cement is replaced by a polymer**	- Low drying shrinkage - Excellent bending, adhesion, penetration resistance, tensile strength

- There are many new technologies such as magnesium-ammium-phosphate cement and silica fume mortar.

\* Polymer for PCM: styrene butadiene, acrylic, vinyl acetate-ethylene, styrene acrylic, epoxy

\*\* Polymer for PM: epoxy, polyester, furan, vinyl ester, or methyl methacrylate

Table 3. Mix design for Repair Materials Used in Laboratory Tests

Type	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Binder (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )	Fiber (kg/m <sup>3</sup> )	Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )
PCM	46.6	100	376	804	903	2.6	-
PCC (3 mm)	39.2	100	337	857	960	2.7	-
PCC (10 mm)	39.2	61.3	273	694	779	2.2	492
PCC (13 mm)	39.2	61.3	273	694	779	2.2	492
LMC	16.0	54.9	76	360 (C)	933	115 (Latex)	767

Table 4. Repair Materials Used in Field Tests

Material	Polymer Cement Mortar (PCM)	Polymer Cement Concrete (PCC)		
	Type K	3 mm	10 mm	13 mm

나타내었다. 수행된 시험은 기본적으로 KS F 4042(2022)의 보수재 요구성능에 있는 압축강도, 휨강도, 부작강도, 길이변화율, 염분 침투저항성을 고려하였고, 추가적으로 보수재의 현장 특성을 반영하기 위해서 균열저항성, 열팽창계수, 동결융해저항성을 고려하였다. 기존의 KS F 4042(2022)의 경우 보수 모르타르에 대해 집중하고 있는 경향이 있는 반면, 실제 콘크리트 구조물의 보수에는 콘크리트를 포함한 다양한 재료가 사용될 수 있다. 특히, 모르타르와 콘크리트의 시험방법 및 시편의 크기가 상이하여 시험결과로 직관적인 재료별 특성을 구분하기 어려웠다. 이에 본 시험에서는 콘크리트 시험방법으로 통일하여 모르타르와 콘크리트 재료 모두 일관된 시험방법과 시편을 사용하여 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 상세한 실험준비와 결과는 다른 문헌에 정리되어 있다(Jeong et al., 2023; Min et al., 2021).

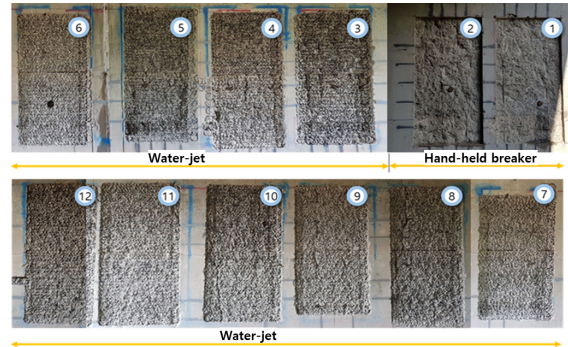
### 3.2 시험시공

시험시공은 충남 영동에 위치하고 있는 폐교량인 우천1교의 교대 벽체에 시공되었다. Table 4의 배합을 이용하여 각 12개의 시험체는 1 m(가로) x 2 m(세로)의 크기로 10 cm의 두께로 뽑칠 공법을 이용해 시공되었다(상세 시공 내역은 Table 5 참조). 각각의 시험체는 시공특성의 영향을 반영하기 위해서 열화부 제거 방식을

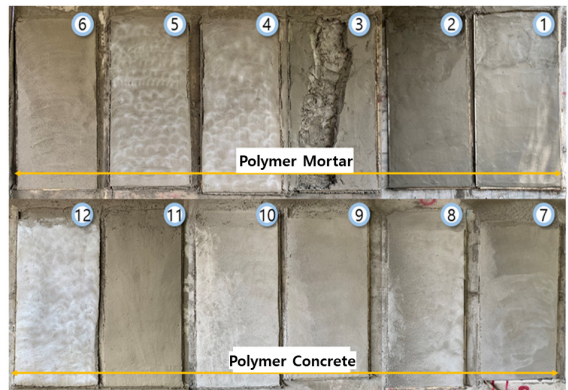
Table 5. Specimens Used in Trial Construction

Specimen	#12	#11	#10	#09	#08	#07	#06	#05	#04	#03	#02	#01
Water-jet	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Breaker	Breaker
SSD	○	X	○	X	○	X	X	X	○	○	○	Air-dry
Aggregate	13 mm	13 mm	10 mm	10 mm	3 mm	3 mm	X	X	X	X	X	X
Material	Polymer Cement Concrete						Polymer Cement Mortar					

※ #1 is the conventional repair and is the reference for other tests



(a) After Removing Deteriorated Concrete



(b) After Trial Construction

Fig. 3. Trial Construction in Field Test

브레이커와 워터젯을 고려하였고, 대기건조 상태의 영향을 고려하기 위해서 대기건조방식과 표면건조내부포화상태(Saturated Surface Dry, SSD)도 고려되었다. 굵은 골재의 균열저항성을 파악하기 위해서 재료는 PCM과 PCC의 두 가지를 고려하였고, PCC의 경우 굵은 골재 최대 치수를 3, 10, 13 mm를 고려하였다. 시험시공 시 열화부 제거 상태와 뽑칠 시공 후의 상태가 Fig. 3에 나타나 있다.

### 4. 품질기준 개선

현행 보수재료의 품질기준(KS F 4042, 2022)은 Table 6와 같다. 국외 유럽, 미국, 일본의 보수재 요구성능의 경우 Min et al.(2021)에 잘 정리되어 있다. 국내 기준의 경우, 폴리머 모르타르



계열에 대해서 상세히 요구성능을 기술하고 있고, 굵은 골재가 포함된 경우에는 따로 기준이 없는 것으로 조사되었다.

### 4.1 역학특성

보수재료의 역학특성으로는 구조물에 작용하는 하중에 저항하는 특성을 가져야 하므로 압축강도, 휨강도, 부착강도가 고려되었다.

#### 4.1.1 압축강도

압축강도는 구조물에 적용되는 기본적인 역학특성으로 다양한 특성이 압축강도와 긴밀한 연관성을 가지고 있다. ACI(2013)에 따르면 콘크리트 압축강도는 모재 콘크리트와 유사한 것이 가장 유리하다고 기술되어있다. 압축강도가 커질 경우, 치밀한 구조로 인해 내구성에서는 다소 유리한 성질을 가질 수 있다. 하지만, 시멘트량의 증가하면 건조수축이 증가할 수 있다. 압축강도와 긴밀

Table 6. Polymer-modified Cement Mortar Material (KS F 4042, 2022)

Test item	Unit	Requirements
Flexural strength	MPa	≥ 6.0
Compressive strength	MPa	≥ 20.0
Bond strength	MPa	Standard condition ≥ 1.0
		Freeze-thaw ≥ 1.0
Alkali resistance	-	Compressive strength ≥ 20.0 MPa
Carbonation resistance	mm	≤ 2.0
Water permeability	g	≤ 20.0
Water absorption coefficient	kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> )	≤ 0.5
Moisture permeation resistance	Sd	≤ 2 m
Chloride ion penetration resistance	Coulombs	≤ 1,000
Length change ratio	%	≤ ±0.15

Table 7. Comparison of Compressive Strength Requirement for Repair Materials

	Korea (KS F 4042)	Europe (EN 1504)	ACI (546.3R)	ICRI (320.2R)
Requirement (MPa)	> 20	> 25	28~85	28~80
Comment	-	-	· Should be similar to substrate	· Consider substrate elastic modulus · Compressive strength ↑, shrinkage ↑

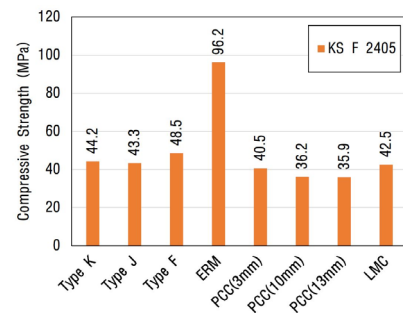
\*ACI 546.3R(2014), EN 1504(2005), ICRI 320.2R(2018), KS F 4042(2022)

하게 연관된 탄성계수가 커져 단면복구공사 후에 하중이 작용할 경우, 보수재에 하중이 집중되는 등 불리한 영향을 가져올 수 있어 지나치게 높은 압축강도는 피해야 한다.

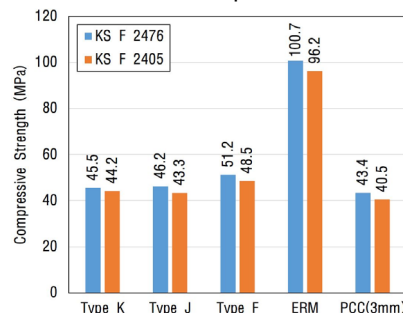
Table 7과 같이 국내의 KS F 4042(2022)에서는 압축강도 20 MPa 이상을 요구하고 있으나, 이는 해외 기준에 비해 상대적으로 낮은 수치이다. Fig. 4의 실내시험 결과에서도 확인할 수 있듯이 보수재로 사용되는 재료들은 최소 35 MPa 이상의 압축강도를 나타내고 있다. 실제 구조물에서도 국내 건설업의 발전으로 구조물에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 25 MPa 이상이 쓰이고 있어 압축강도를 상향할 필요가 있다. 또한, 현재 국내의 KS 기준에 따르면 모르타르와 콘크리트에 대해서 다른 압축강도 시험방법을 제시하고 있어 시험결과에 대한 직관적인 해석과 비교가 어려운 현실이다. Fig. 4(b)에 나타난 것과 같이 모르타르에 대한 KS F 2476(2019)과 콘크리트에 대한 KS F 2405(2022)의 시험결과를 비교해보면 약 5 % 이내에서 거의 유사한 결과를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 일관된 시험방법을 제시하기 위해서 모르타르와 콘크리트 모두 시험이 가능한 콘크리트의 시험방법인 KS F 2405(2022)를 표준시험방법으로 제시하였고, 보수재의 압축강도 요구성능은 25 MPa를 제시하였다.

#### 4.1.2 휨강도

구조부재가 힘을 받을 경우 보수재의 휨강도는 휨균열을 방지하고 균일한 하중분배를 이루어지도록 한다. 따라서 보수재의 휨강도



(a) Commercial Repair Materials



(b) Test Method Comparison

Fig. 4. Compressive Strength in Laboratory Test

는 모재와 유사한 성능 수준이 요구된다. 국내의 폴리머 모르타르 보수재 요구성능은 KS F 4042(2022)에서 6.0 MPa 이상을 요구하고 있고, 고속도로공사 전문시방서(EXCS 44 99 30, 2021)에서는 4시간 개방시간 기준으로 3.15 MPa를 제시하고 있다. 국외의 ACI(2013)에서는 보수재의 휨성능으로 3.4~8.3 MPa를 제시하고 있고, ICRI 320.2R(2018)에서는 힘을 받는 부재의 경우 휨강도가 필요하다고 규정되어 있다. 국내외의 기준을 비교해보면 현재의 국내 보수재 요구성능 수준은 유사한 것을 알 수 있다.

현행 시험방법은 보수재가 모르타르일 경우(KS F 2476, 2019) 3점 재하(시편: 40x40x160 mm)와 콘크리트일 경우(KS F 2408, 2021) 4점 재하(시편: 100x100x400mm)를 사용하고 각각 다른 시험체의 크기를 제시하고 있다(Fig. 5). 만약 같은 시험체 크기일 경우, 재하방식의 차이로 인해 모르타르 시험방법은 콘크리트 시험방법에 비해 1.25배 높은 휨모멘트가 재하된다. 이는 Table 8에 나타나 있듯이 실내시험에서도 증명되었다. 보수재의 재료 및 시험방법에 따른 이해와 혼란을 해소하기 위해서 본 연구에서는 콘크리트에 대한 시험방법인 KS F 2408(2021)을 채택하여 모르타르와 콘크리트 모두 동일한 시험방법을 사용하여 하나의 기준으로 모든 보수재의 성능을 비교 평가할 수 있도록 하였다. 또한, 시험방법의 차이를 고려하여 모르타르 보수재에 대한 성능 기준이 6.0 MPa를 콘크리트 시험방법을 사용할 경우 25 % 감소된 4.8 MPa 기준을 제시하였다.

Table 8. Flexural Strength Test Comparison for Repair Materials

Test Method	Average Flexural Strength (MPa)							
	PCM (K)	PCM (J)	PCM (F)	ERM	PCC (3 mm)	PCC (10 mm)	PCC (13 mm)	LMC
Mortar (KS F 2476, 2019)	8.3	9.1	10.8	35.9	8.8	-	-	-
Concrete (KS F 2408, 2021)	5.96	6.37	6.84	22.5	5.93	5.90	6.11	5.81

4.1.3 부착강도

부착강도는 보수재가 기존의 모재와 부착하여 일체제동하기 위해 가장 중요한 성능 중 하나이다. 성공적인 단면복구공사를 위해 모재면의 열화부 제거가 완벽히 이루어져야 하고 보수재의 부착강도 또한 우수해야 한다. 부착강도가 부족할 경우, 하중전달이 안되어 구조성능 회복이 되지 않으며, 모재와 보수재 사이에 들뜸이 발생하고 우수나 염수의 침투로 인해서 추가적인 손상을 일으킬 수 있다. 단면복구공사에서 온도차에 의한 열팽창이나 보수재의 건조수축으로 인해 부착과괴가 발생하는 경우도 있다.

국내에서는 보수재료에 따른 다른 시험방법을 제시하고 있다. 콘크리트의 경우(KS F 2762, 2021) 지름 50 mm의 원통형 코어에 대해 시험하고, 모르타르나 에폭시의 경우(KS F 4042, 2022; KS F 4043, 2018)는 40x40x10 mm의 판형태의 시편에 시험하도록 규정하고 있다. 유럽의 EN 1504(2005) 기준과 ICRI 210.3R(2022)에서는 국내의 KS F 2762(2021)와 동일한 EN 1542(2005) 시험방법을 채택하고 있다. 미국콘크리트 학회 ACI 546.3R(2014)에서는 6가지의 부착강도 시험방법(slant shear bond: ASTM C882(2020), ASTM C1042(1999), direct tensile bond: ASTM C1404(2003), CSA A23.2-6B(2014); ASTM C1583(2020); ICRI 210.3R, 2022)을 제시하고 있다. 본 연구에서는 범용적으로 현장과 실내시험에서 수행이 가능하고, 콘크리트와 모르타르 모두 시험이 가능한 KS F 2762 시험방법(ASTM C1583, 2020)을 표준으로 채택하였다.

요구 부착강도의 경우 국가별로 다른 기준을 제시하고 있다 (Table 9). 국내의 기준은 해외 기준과 비교해서 가장 낮은 수준은 1.0 MPa를 최소기준을 제시하고 있고, 유럽의 경우에는 모재의 강도에 따라 다른 값을 제시하고 있다. 미국의 ACI는 1.7 MPa를 제시하고 있고, ICRI 210.3R(2022)은 1.7 MPa 또는 모재의 인장 강도보다 큰 값을 요구하고 있다. 만약 1.2 MPa 보다 낮을 경우에는 부착 잘 되지 않았거나 모재 콘크리트가 손상되었음을 의미한다고 언급하고 있다. 국내의 폴리머 모르타르와 폴리머 콘크리트 계열의 보수재료에 대해서 Fig. 6(a)과 같이 실내표준, 온냉반복후, 현장시공 조건으로 실내시험을 통해 부착강도를 비교 측정하였다. 실내시험의 경우 모든 재료에서 국내의 기준을 초과하는 평균 2.88 MPa의

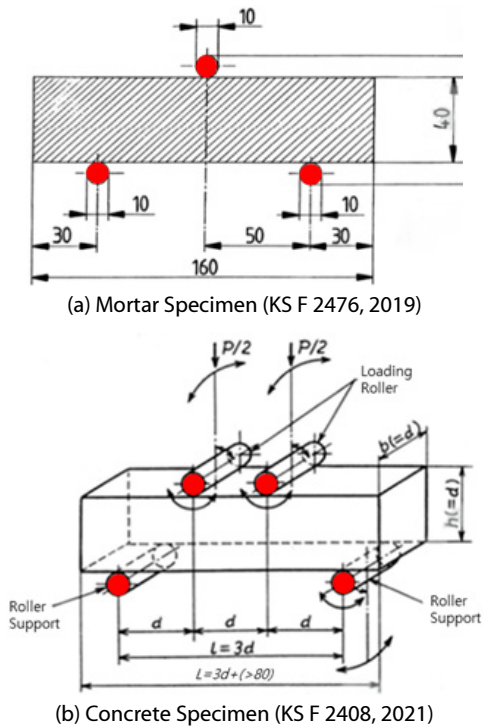


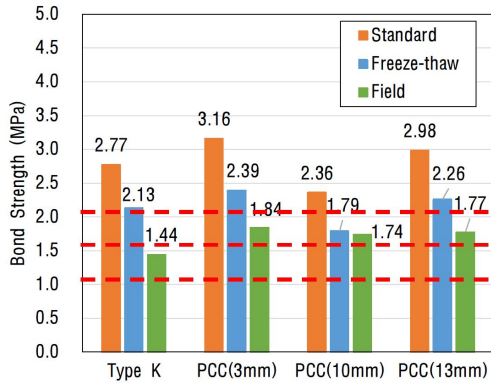
Fig. 5. Flexural Strength Test

Table 9. Comparison of Bond Strength Requirement for Repair Materials

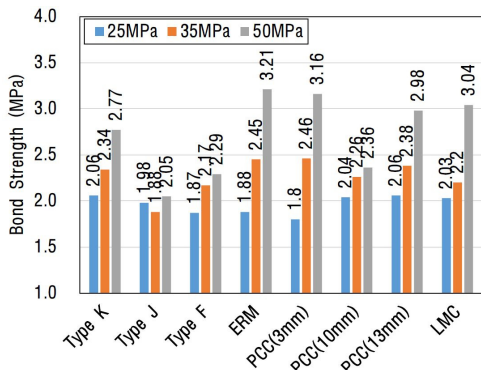
	Korea (KSF 4042)	Europe (EN 1504)	ACI (546.3R)	ICRI (210.3R)
Minimum Requirement (MPa)	- 1.0	- 1.5 (Regular strength) - 2.0 (High strength)	- 1.7	- 1.7 or higher than substrate tensile strength

\*ACI 546.3R(2014), EN 1504(2005), ICRI 210.3R(2022), KS F 4042(2022)

부착강도를 나타내었으나, 온냉반복 후에는 표준시험조건 대비 약 23 % 정도 부착강도가 감소하는 것으로 나타났다. 현장의 경우, 표준시험조건 대비 약 80 %의 성능을 나타내었고 이는 열화부 제거상태, 양생 환경 영향과 모재 압축강도에 따른 영향으로 추정된다. 현장에서는 열화부가 워터젯을 사용하여 완전히 제거한 후 시험을 수행하였고, 실내시험의 경우 KS F 2762(2021)에 따라 브러쉬로 면을 정리한 후 시험을 수행하였다. 양생 환경의 경우, 현장에서 조절이 어렵고, 시공 당시와 양생동안 기후변화에 따라 변동될 것이다. Fig. 6(b)에 나타난 것과 같이 8가지의 보수재료에 대해 모재 밀판 압축강도가 25, 35 MPa일 경우 50 MPa 밀판 대비 각각 약 74 %와 85 %의 부착강도를 나타내었다. 표준시험조



(a) Test Condition



(b) Substrate Strength

Fig. 6. Bond Strength Comparison

건의 경우 밀판 압축강도가 50 MPa인 것을 고려하면 현장의 모재 압축강도 21 MPa은 현저히 낮아 현장에서 값이 하락한 것은 일정 부분 설명이 된다.

보수재의 부착강도 요구성능을 결정하기 위해서 모재의 인장강도, 하중 수준, 현장여건 등을 적절히 고려하여 결정하였다. 일반적으로 모재의 인장강도는 모재 압축강도의 10 % 수준으로 추정되고 있다. 단면복공공시는 고정하중 하에서 실시하고 있으므로 부담해야 할 사용하중 수준은 인장강도의 50 % 수준 정도로 추정할 수 있다. 또한, 현장여건 상 실내시험에 비해 양생조건은 가혹하고 모재 강도는 낮으므로 약 80 % 수준의 성능이 나타내리라 예상할 수 있다. 따라서, 기준강도 = (요구강도/0.8)일 경우, 모재의 압축강도가 24, 27, 30 MPa일 때, 시험요구 기준은 각각 1.5, 1.75, 1.88 MPa로 산정된다. 이에 본 연구에서는 부착강도는 모재의 열화부 제거 상태에 영향을 많이 받는 것을 고려하여 과도하게 높은 부착기준을 제시하기 보다는 현재의 기술수준과 현장여건을 고려하여 1.7 MPa를 부착강도 요구성능으로 제시하였다.

## 4.2 체적안정성

보수재료의 체적안정성으로는 보수재의 부피변화에 따른 균열, 부착감소, 들뜸 등을 피하기 위해서 길이변화율, 균열저항성, 열팽창계수, 탄성계수를 고려하였다.

### 4.2.1 길이변화율

보수재의 길이변화율은 주로 건조수축에 의해서 발생되며 지나치게 큰 값을 나타낼 경우 균열발생, 부착계면에서 전단응력 발생, 장기 부착강도 감소 등으로 이어질 수 있어 건조수축이 적은 재료가 유리하다.

현재 국내의 보수재료 기준에서는 Table 10과 같이 KS F 2424(2020)에 따라 시험을 수행하고 KS F 4042(2022) 기준에 따라 길이변화율을 ±0.15 % 이하로 제한하고 있다. 모르타르(40x40x160 mm)와 콘크리트(100x100x400 mm) 시편에 대해서 각기 다른 크기의 시편을 사용하고 있다. 유럽의 경우, 길이변화율에 대한 요구성능 값을 제시하고 있지는 않지만, EN 12617-4(2002)에 따른 비구속 건조수축 시험 후 부착강도 시험을 수행하여 0.05

Table 10. Comparison of Length Change Requirement for Repair Materials

	Korea (KS F 2424)	Europe (EN 1504)	ACI (546.3R)	ICRI (320.2R)
Requirement (%)	≤±0.15 %	-	<0.05 %	-
Comment	-	· Bond test after shrinkage test	-	· Reducing shrinkage is important to prevent cracking

\*ACI 546.3R(2014), EN 1504(2005), ICRI 320.2R(2018), KS F 2424(2020)

Table 11. Length Change Test Comparison for Repair Materials

Test Method	Length Change (%)							
	PCM (Type K)	PCM (Type J)	PCM (Type F)	ERM	PCC (3 mm)	PCC (10 mm)	PCC (13 mm)	LMC
Mortar (KS F 2424, 2020)	-0.034	-0.027	-0.039	-0.007	-0.139	-	-	-
Concrete (KS F 2424, 2020)	-0.011	-0.013	-0.017	-0.003	-0.11	-0.033	-0.030	-0.010

mm 이하의 균열과 표준상태와 동일한 평균 부착강도 값을 요구하고 있다. 하지만, 시험방법의 한계로 10 mm 이하의 골재를 사용한 콘크리트 또는 모르타르에 대해서 시험이 가능하다. 미국 ACI 546.3R(2014)에서는 0.05 % 이하 값을 요구하고 있고, ICRI 320.2R(2018)에서는 길이변화율의 값은 제시하고 있지 않으나 균열방지를 위해 매우 중요한 인자로 제시하고 있다.

상용 보수재에 대한 모르타르 시편과 콘크리트 시편을 사용한 길이변화율 실내 시험 결과는 Table 11에 정리되어 있다. PCC 3 mm를 제외한 보수재에서 -0.010 ~ -0.039까지의 길이변화율을 나타내었으며, ACI 546.3R(2014)의 기준인 0.05 % 이하를 모두 만족하였다. 시편 크기의 차이로 인한 시험결과 차이도 존재하는 것을 확인하였다. 평균적으로 모르타르 시험체의 길이변화율은 약 2.5배의 큰 값을 나타내었다. 이는 모르타르 시험체의 체적대비 노출면적이 크기 때문에 발생한 것으로 추정된다. 본 연구에서는 현재 국내의 기준보다 3배 강화된 0.05 % 이하의 길이변화율 요구성능을 제시하였고, 시험 결과의 일관성을 위해 길이변화율의 시험체는 콘크리트 시험체의 크기로 제시하였다.

4.2.2 균열저항성

보수재를 이용한 단면복구공사는 모재의 변형이 종료된 상태에서 새로운 보수재를 모재 위에 타설하여 보수재가 모재에 구속된 상태로 보수재의 변형이 시작되어 균열이 발생하게 된다. 이 때, 보수재의 건조수축변화량, 탄성계수, 균열인장강도 등이 관련되어 보수재의 균열발생 여부를 결정짓게 된다. 균열저항성 시험은 이러한 보수재가 모재에 구속되어 균열이 발생하는 현장 환경조건을 유사하게 묘사하고 있다.

국내의 KS 기준에서는 균열저항성 시험 규정을 두고 있지 않다. 다만, 고속도로 전문시방서(EXCS 44 50 15, 2021)에서는 콘크리트 포장에 대해서 56일 동안 균열이 없어야 한다고 규정하고 있다(Table 12). 유럽의 경우, 길이변화율과 유사하게 EN 12617-4(2002)에 따라 구속된 상태에서 건조수축 시험 후에 0.05 mm 이하의 균열이 발생한 상태에서 부착강도 시험으로 평가하고 있다. ACI 546.3R(2014)에서는 특정한 값을 제시하고 있지는 않지만, 체적안정성을 위해서 고려되어야 하며 ASTM C1581(2018)에 따라 시험하도록 규정하고

있다. ICRI 320.2R(2018)의 경우에는 가능한 늦게, 적어도 28일 이후에 균열이 발생해야 한다고 규정하고 있다.

상용 보수재에 대해 AASHTO T 334-08(2020) 방법을 사용하여 90일 동안 균열저항성 시험을 실시하였고, 결과는 Table 13에 정리되어 있다. 일부 PCM의 배합의 경우 균열발생일이 56일을 초과하였고, ERM과 LMC는 90일 동안 균열이 발생하지 않았다. K사의 배합의 경우 굵은 골재가 없는 PCM부터 13 mm 골재가 들어간 보수재까지 균열의 발생일이 점차 늦어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 굵은 골재의 크기가 클수록 균열을 억제하는 성능이 향상되는 것을 나타낸다. 이는 현장시험시공에서도 균열발생량이 확연한 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 균열의 억제를 위해서는 굵은 골재를 사용하는 보수재를 적용하는 것이 좋으리라 판단된다.

4.2.3 열팽창계수

보수재의 열팽창계수는 온도변화에 따른 보수재의 수축과 팽창 변화율을 결정한다. 모재의 열팽창계수와 보수재의 열팽창계수가

Table 12. Comparison of Cracking Resistance Requirement for Repair Materials

	Korea (EXCS 44 50 15)	Europe (EN 1504)	ACI (546.3R)	ICRI (320.2R)
Requirement (%)	No crack for 56 days	-	-	Crack after 28 days
Comment	Concrete pavement	Bond test after shrinkage test	Consider dimensional stability	As late as possible

\*ACI 546.3R(2014), EN 1504(2005), EXCS 44 50 15(2021), ICRI 320.2R(2018)

Table 13. Crack Resistance Test Comparison for Repair Materials

Test Method	Crack Developemtn (day)							
	PCM (K)	PCM (J)	PCM (F)	ERM	PCC (3 mm)	PCC (10 mm)	PCC (13 mm)	LMC
AASHTO T 334-08 (2020)	6	64	39	None	10	20	41	None



**Table 14. Thermal Expansion Coefficient Test Comparison for Repair Materials**

Test Method	Thermal Expansion Coefficient ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )							
	PCM (K)	PCM (J)	PCM (F)	ERM	PCC (3 mm)	PCC (10 mm)	PCC (13 mm)	LMC
KS F 2608(2022)	18.4	12.3	11.8	28.5	23.5	18.7	17.7	12.3

다를 경우 부착 계면에 전단응력을 발생시켜 장기적인 부착성능의 감소를 유발한다. 이는 보수단면이 클수록 중요한 보수재의 성질이 된다. 보수재가 구조체의 일부로 거동하기 위해서는 모재와 유사한 열팽창계수를 가지는 것이 좋다. 일반적으로 보수재로 많이 사용되는 폴리머는 열팽창계수가 모재 콘크리트( $4.0\sim 20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )보다 커 이에 대한 제한이 필요한 상황이다.

국내의 보수재 기준인 KS F 4042(2022)에서는 열팽창계수에 대한 제한을 두고 있지 않다. 미국의 ACI 546.3R(2014)에서는  $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  이하로 규정하고 있고, 국제보수협회(ICRI 320.2R, 2018)에서는  $13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  이하로 규정하고 있다. 열팽창계수의 시험방법으로는 AASHTO T 336-15(2019)에서 제시하고 있다. EN 1504(2005)에서는 열팽창계수에 대한 항목은 있으나 다음의 세 가지 시험을 할 경우에는 제한하고 있지 않다. EN 13687-1(2002)의 동결융해 후 부착강도 시험, EN 13687-2(2002)의 열충격 시험 후 부착강도 시험, EN 13687-4(2002) 건조 열가열/냉각 시험 후 부착강도 시험을 통해서 반복적인 온도변화 사이클 후에 부착강도로 이를 대체하고 있다.

상용 보수재에 대해서 국내의 KS F 2608(2022)을 이용해 열팽창계수를 조사하였고, Table 14에 나타내었다. 대체적으로 국내에서 극히 드물게 사용되는 보수재 ERM을 제외하고는 모두  $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  이내의 값을 나타내었고, 이는 콘크리트의 열팽창계수의 범위와 유사하다고 판단되었다. 시험된 보수재는 모두 폴리머를 함유하고 있어, 대체로 높은 열팽창계수의 값을 나타내었으나, 모재 콘크리트의 열팽창계수인  $4.0\sim 20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 와 유사한 값을 나타내었고, 본 연구에서는 제한 기준으로  $4.0 \sim 25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  제시하였다.

**4.2.4 탄성계수**

단면복구 공사 후 보수재는 구조물의 일부로서 모재와 유사한 역학적특성을 가져야 한다. 보수재의 탄성계수가 클 경우 변형이 작아져, 보수재가 많은 하중을 부담하게 되어 부착 계면에 전단응력이 발생하게 되어 부착이 감소될 수 있다. 보수재의 탄성계수가 작은 경우 모재에 비해 유연한 변형이 가능하여 부착성능 감소를 회피할 수 있어, 보수재의 탄성계수는 모재와 유사하거나 낮을수록 유리한 것으로 판단된다. 국내 보수재료 시장에서는 보수재의 성능

**Table 15. Comparison of Elastic Modulus Requirement for Repair Materials**

	Korea	Europe (EN 1504)	ACI (546.3R)	ICRI (320.2R)
Requirement	N/A	> 15 GPa	6.8~38 GPa	similar to substrate

\*ACI 546.3R(2014), EN 1504(2005), ICRI 320.2R(2018)

을 제시하기 위하여 높은 압축강도에 초점을 맞추고 있고, 이는 탄성계수의 상승과 긴밀히 연관되어 있다. 이에 구조물의 하중을 적절히 분배하고, 변형에 유연하게 대처할 수 있도록 모재와 유사한 탄성계수를 가지도록 탄성계수의 값을 제한할 필요가 있다.

국내외의 보수재 탄성계수에 관한 기준을 Table 15에 정리하였다. 국내에서는 아직 탄성계수에 대한 인식이 부족하여 제한 기준을 두고 있지는 않다. 반면에 유럽에서는 15 GPa 이상을 요구하고 있고, ACI 546.3R(2014)에서는 6.8~38 GPa의 값을 제시하고 있다. 국제보수협회(ICRI 320.2R, 2018)에서는 모재와 유사한 탄성계수를 가지도록 권장하고 있다. 아직까지는 국내에서 사용되는 보수재료는 대체로 30 GPa 이내의 값을 나타내고 있어, 본 연구에서는 6.8~38 GPa의 탄성계수 기준을 제시하였다.

**4.3 내구성**

보수재료의 내구성으로는 보수 후의 추가적인 염분 침투를 방지하기 위하여 염분침투저항성과 보수재의 동결융해에 의한 성능 저하를 예방하기 위한 동결융해저항성을 고려하였다.

**4.3.1 염분침투저항성**

단면복구공사는 일반적으로 제설염수나 수분의 지속적인 침투로 인하여 철근의 부식과 팽창이 발생하고, 이로 인한 콘크리트의 들뜸이나 균열이 발생한 단면에 대해서 성능회복을 위해 실시되고 있다. 따라서, 단면복구공사 이후의 추가적인 염분의 침투로 인한 재산상을 방지하기 위하여 보수재는 염분침투저항성을 가질 필요가 있다.

국내의 보수재료 요구성능(KS F 4042, 2022)에서는 해외기준에 비해 이미 염분침투저항성에 대한 합리적인 기준을 두고 있어 본 연구에서는 기존의 기준을 동일하게 적용하였다.

**4.3.2 동결융해저항성**

단면복구공사 시행 후 보수재는 외기에 노출되어 있어 많은 경우에 있어 동결융해 작용을 거치고 있다. 보수재가 구조물의 일부로 충분한 역할을 하기 위해서는 동결융해 작용에 의해 성능저하가 발생해서는 안된다. 따라서, 보수재는 동결융해에 대한 충분한 저항성능을 가질 필요가 있다.

국내의 보수재료 요구성능(KS F 4042, 2022)에서는 동결융해

저항성에 대한 규정을 따로 두고 있지는 않다. 하지만, 국내의 고속도로공사기준(EXCS 44 99 30, 2021)에서는 동결융해시험 후 시험 전의 탄성계수에 비해 80 % 이상의 성능을 요구하고 있다. 이는 미국의 ACI 546.3R(2014)에서와 동일한 요구성능이다. 국제보수협회(ICRI 320.2R, 2018)에서는 동결융해의 우려가 있을 경우 고려하도록 권장하고 있다. 유럽 기준인 EN 1504(2005)에서는 동결융해에 대한 기준을 따로 두고 있지는 않지만, 앞서 언급된 EN 13687-1(2002)에 의해서 동결융해 시험 후에 부착강도 시험을 수행하므로써 동결융해에 의한 부착강도의 저하를 방지하고자 의도하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 국내외의 성능 기준을 인용하여 KS F 2456(2018)의 A방법을 사용하여 동결융해 시험 후 80 % 이상의 요구성능을 제한 기준으로 제시하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 첫째 보수부위 수명연장을 위해 품질기준을

강화하였다. 보수재의 주요 손상인 균열발생, 부착성능미달 방지를 위해 관련 기준을 강화하고자 하였다. 둘째 요구성능만 충족하면 어떤 재료를 사용하더라도 적용 가능한 성능기반 품질기준으로 변경하였다. 셋째 구조물의 단면복구기능을 위해 요구되는 보수재료로서의 특성을 고려하여 Table 16과 같이 시험항목 9가지를 제시하였다. 마지막으로 모르타르와 콘크리트, 재료별 상이한 시험방법을 일관성을 위해 콘크리트 시험법으로 통일하여 제시하였다.

### 감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 본 논문은 2022 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

Table 16. Revision of Concrete Repair Materials Requirements

Test Type		Present	Revision	Note	
1. Structural Properties	① Compressive Strength	Requirement	- 20.0 MPa+	- 25.0 MPa+	Strict
		Test	- KS F 2476 - KS F 2405	- KS F 2405	Unify
	② Flexural Strength	Requirement	- 6.0 MPa+	- 4.8 MPa+	Adjust
		Test	- KS F 2408 (Concrete) - KS F 2476 (Mortar)	- KS F 2408	Unify
	③ Bond Strength	Requirement	- 1.0 MPa+	- 2.0 MPa+	Strict
		Test	- KS F 4042 (Mortar)	- KS F 2762	Unify
	After Freeze-thaw	Requirement	- 1.0 MPa+	- 2.0 MPa+	Strict
		Test	- KS F 4042 (Mortar)	- Bond test (KS F 2762) after freeze-thaw (KS F 4716)	Unify
2. Dimensional Behavior	① Length Change	Requirement	- < ±0.15 %	- < ±0.05 %	Strict
		Test	- KS F 2424 (Mortar) - KS F 2424 (Concrete)	- KS F 2424 (Concrete)	Unify
	② Crack Resistance	Requirement	-	- No cracks until 56 days	Add
		Test	-	- AASHTO T 334-08	Add
	③ Coefficient of Thermal Expansion	Requirement	-	- 4.0~25.0×10-6/°C	Add
		Test	-	- KS F 2608	Add
	④ Elastic Modulus	Requirement	-	- 6.8~38.0 GPa	Add
		Test	-	- KS F 2438	Add
3. Durability	① Resistance of Chloride Ion Penetration	Requirement	- < 1000 C	- < 1000 C	-
		Test	- KS F 2711	- KS F 2711	-
	② Resistance of Freeze-thaw	Requirement	-	- > 80 DF	Add
		Test	-	- KS F 2456	Add

\* AASHTO T 334-08(2020), KS F 2405(2022), KS F 2408(2021), KS F 2424(2020), KS F 2438(2022), KS F 2456(2018), KS F 2476(2019), KS F 2608(2022), KS F 2711(2022), KS F 2762(2021), KS F 4042(2022), KS F 4716(2022)

## References

- AASHTO T 334-08 (2020). *Standard method of test for estimating the cracking tendency of concrete*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC, USA.
- AASHTO T 336-15 (2019). *Standard method of test for coefficient of thermal expansion of hydraulic cement concrete*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC, USA.
- ACI (2013). *Concrete repair manual*, 4th Edition, American Concrete Institute (ACI), Garmington Hills, Michigan, USA.
- ACI 546.3R (2014). *Guide to materials selection for concrete repair*, ACI Committee 546, American Concrete Institute (ACI), Garmington Hills, Michigan, USA.
- ASTM C1042 (1999). *Standard test method for bond strength of latex systems used with concrete by slant shear (Withdrawn 2008)*, American Society of Testing Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C1404 (2003). *Standard test method for bond strength of adhesive systems used with concrete as measured by direct tension (Withdrawn 2010)*, American Society of Testing Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C1581 (2018). *Standard test method for determining age at cracking and induced tensile stress characteristics of mortar and concrete under restrained shrinkage*, USA, American Society for Testing Materials (ASTM), West Conshohocken, PA.
- ASTM C1583 (2020). *Standard test method for tensile strength of concrete surfaces and the bond strength or tensile strength of concrete repair and overlay materials by direct tension (Pull-off Method)*, American Society of Testing Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C882 (2020). *Standard test method for bond strength of epoxy-resin systems used with concrete by slant shear*, American Society of Testing Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- CSA A23.2-6B (2014). *Method of test to determine adhesion by tensile load*, Canadian Standard Association (CSA), Toronto, ON, Canada.
- EN 12617-4 (2002). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods - Part 4: Determination of shrinkage and expansion*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EN 13687-1 (2002). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods - Determination of thermal compatibility - Part 1: Freez-thaw cycling with de-icing salt immersion*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EN 13687-2 (2002). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods - Determination of thermal compatibility - Part 2: Thunder-shower cycling*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EN 13687-4 (2002). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods - Determination of thermal compatibility - Part 4: Dry thermal cycling*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EN 1504 (2005). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-definitions, requirements, quality control an evaluation of conformity*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EN 1542 (2005). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Test methods-Measurement of bond strength by pull-off*, European Committee for Standardization; European Standard (EN).
- EXCS 44 50 15 (2021). *Cement concrete pavement construction, korea expressway corporation (KEC)*, Gimcheon, Kyungbuk, Republic of Korea (in Korean).
- EXCS 44 99 30 (2021). *Whole/partial section repair*, Korea Expressway Corporation (KEC), Gimcheon, Kyungbuk (in Korean).
- ICRI 210.3R (2022). *Guide for using in-situ tensile pulloff tests to evaluate bond of concrete surface materials*, International Concrete Repair Institute (ICRI), St. Paul, Minnesota, USA.
- ICRI 320.2R (2018). *Guide for selecting and specifying materials for repair of concrete surfaces*, International Concrete Repair Institute (ICRI), St. Paul, Minnesota, USA.
- Jeong, Y. S., Lee, I. K., Min, G. H., Kim, K. H. and Kim, W. S. (2023). "Removal area of deteriorated concretes for concrete repairs." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 35, No. 1 (in Korean).
- KS F 2405 (2022). *Standard test method for compressive strength of concrete*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2408 (2021). *Standard test method for flexural strength of concrete*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2424 (2020). *Standard test method for length change of mortar and concrete*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2438 (2022). *Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio in compression of cylindrical concrete specimens*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2456 (2018). *Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2476 (2019). *Standard test method for polymer-modified cement mortar*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2608 (2022). *Standard test method for measuring of linear thermal expansion for building materials*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2711 (2022). *Standard test method for resistance of concrete*

- to chloride ion penetration by electrical conductance*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2762 (2021). *Standard test method for the bond strength of concrete repair and overlay materials by pull-off method*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 4042 (2022). *Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 4043 (2018). *Epoxy resin mortar for restoration in concrete structure*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 4716 (2022). *Cement filling compound for surface preparation*, Korea Agency for Technology and Standards (KATS), Korea Standard Association (KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- Min, G. H., Lee, I. K., Jeong, Y. S. and Kim, W. S. (2021). "Proposals for enhancing performance of repair of deteriorated concrete structures." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 33, No. 6, pp. 579-587 (in Korean).