

## 하이브리드 콘크리트 보수재료의 휨부착 성능평가

김경태<sup>1</sup>, 김상준<sup>2</sup>, 박홍기<sup>2</sup>, 최영철<sup>3\*</sup>

### Evaluation of Flexural Bond Performance of Hybrid Concrete Repair Materials

Gyeong Tae Kim<sup>1</sup>, Sang Jun Kim<sup>2</sup>, Hong Gi Park<sup>2</sup>, Young Cheol Choi<sup>3\*</sup>

**Abstract :** Concrete structures are degraded physically and chemically due to various reasons after construction. Because the deterioration of concrete structure reduces the service life, reasonable repair and maintenance techniques are needed. Recently, in order to efficiently repair concrete structures, many researches on hybrid repair materials having improved adhesion performance have been carried out actively. In this study, we developed a hybrid repair material containing rapid hardening cement, PVA powder, nylon fiber, and latex to improve adhesion and water-tightness of existing concrete. The compressive strength, drying shrinkage and the adhesion strength test were carried out to evaluate the performance of the repair material. In addition, the flexure bond performance was evaluated before and after repair. From the results, the bending strength was 110% ~ 150% in all specimens except for the specimen containing only the rapid hardening cement, and all the specimens behaved with the existing concrete in the crack pattern generated by the bending strength.

**Keywords:** Repair material, Adhesion, Drying shrinkage, Flexural bond

## 1. 서 론

콘크리트 구조물은 건설 후 각종 자연 또는 인위적 작용을 받아 사용 연수에 따라 물리적, 화학적 변형으로 인하여 물리적인 성능이 저하된다. 이러한 콘크리트 구조물의 성능저하는 재료적 요인, 설계오류, 시공불량, 하중작용 및 환경적 요인 등 다양한 원인에 의해 발생한다(Shin, H-C et al., 2007). 건설 구조물의 안전성 및 성능의 확보 측면에서 보수를 실시하여 안전성 및 기능성을 회복시키고자 하는 노력이 증가하고 있다. 이러한 건설 구조물의 노후화 현상이 가속화될 경우 철근부식, 동결융해, 탄산화 현상 등에 의한 팽창 압력으로 인하여 구조체 즉, 콘크리트에서의 단면 결손을 초래하게 되어 미관상, 구조 내력상, 기능적인 측면에서 안전에 위협을 초래할 수 있는 문제점을 내포하고 있다.

콘크리트 구조물에서 성능저하를 야기하는 복합열화 인자 등에 대해 예측시 계열의 유기계 보수재료가 현장에서 주로 사용하고 있으나 모체 콘크리트와의 성질이 다르기에, 보수

후 재보수가 필요한 실정이다. 또한 모체 콘크리트와의 다른 열팽창계수 및 수축특성으로 인해 시공 후 시간이 지남에 따라 박리 또는 탈락 등의 재손상이 발생하는 경우가 많다. 또한 유기계 보수재료의 경우 우수한 접착성능 및 높은 내구성능을 보이지만 필요이상의 성능으로 인해 경제적 측면에서 보수비용의 증가 등을 이야기 시킨다(Kim, J-P et al., 2007).

이러한 보수재료의 단점을 해결하고자 무기계 재료 기반에 유기계 재료의 장점을 더한 하이브리드 보수재료에 대한 연구가 다양하게 수행되어오고 있다. 특히, 라텍스 수지를 혼입한 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete, LMC)는 높은 부착성과 수밀성능으로 다양하게 활용되고 있다. 또한 라텍스와 나일론 섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 부착강도가 증가되어 휨강도 및 충격저항성이 향상되는 것으로 나타났다(Park, et al., 2012).

본 연구에서는 모체콘크리트와의 부착성능 및 수밀성을 향상하기 위해 시멘트계 재료 기반에 유기재료(PVA 분말수지, 라텍스, 나일론 섬유)를 사용하여 하이브리드 보수재료를 개발하였다. 하이브리드 보수재료의 성능평가를 위해 압축강도, 건조수축, 부착강도 실험을 수행하였다. 또한 미리 손상이 발생한 시험체를 제작한 후 보수 전후의 휨부착 성능평가를 수행하였다.

<sup>1</sup>정회원, 가천대학교 건축공학과, 박사과정

<sup>2</sup>정회원, 가천대학교 토목환경공학과, 교수

<sup>3</sup>정회원, 가천대학교 토목환경공학과, 부교수

\*Corresponding author: zerofe@gachon.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Gachon University, 1342 Seongnamdaero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 13120, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 2. 배합표 및 실험방법

### 2.1 재료 및 배합표

기존 콘크리트 구조물의 노후화 및 환경적인 요인에 의해 발생된 손상을 보수에는 일반적으로 유기계 재료가 많이 사용되었다. 하지만 이러한 유기계 재료는 무기계 재료에 비해 콘크리트와의 장기적인 부착성능이 감소하는 단점이 있다. 또한, 에폭시 계열의 유기보수재의 열팽창계수는  $41 \sim 54 \times 10^{-6} \text{ m/(m} \cdot \text{°C)}$ 으로 모재인 콘크리트의 열팽창계수인  $9 \sim 11 \times 10^{-6} \text{ m/(m} \cdot \text{°C)}$ 에 비해 약 4-5배 정도 차이가 나기 때문에 장기적인 계면응력에 의하여 손상 부위가 다시 탈락되는 문제점이 있었다(Park, et al., 2007). 이러한 계면 부위의 손상은 기존 콘크리트와 일체화에 영향을 주어 역학적 성능저하 및 수밀성능 감소를 일으킨다. 본 연구에서는 기존 콘크리트와의 부착성능 향상을 위해, 무기계 재료를 기본으로 폴리비닐 아세테이트 수지분말과 나일론 섬유를 이용한 하이브리드 보수재료를 개발하였다.

콘크리트 구조물의 보수는 주변 환경조건에 따라 작업시간에 제한이 있다. 구조물의 신속한 재사용 및 사용자 불편의 최소화를 위해 보수작업 시간의 단축이 필요하기 때문에, 보수재료는 빠른 경화시간 확보가 필수적이다. 이러한 보수재료에는 급결제(accelerating agent) 또는 초속경 시멘트(rapid hardening cement)가 일반적으로 사용된다. Table 1은 이번 연구에서 사용된 초속경 시멘트의 화학성분과 기초 물성을 나타내고 있다. 초속경시멘트의 밀도는  $2.87 \text{ g/cm}^3$ , 분말도  $5,380 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이며, 보그식(Bogue's equation)에 의한 광물조성은  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$ ,  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 의 성분이 각각 중량비로 16.0%, 16.0%, 3.0%, 6.0%, 30.0%이다.

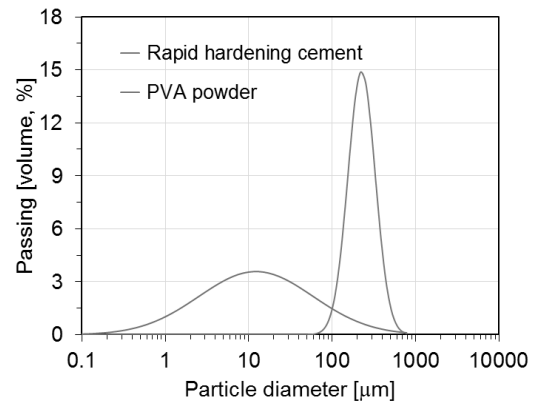
기존 콘크리트와의 부착성능 향상과 수밀성 향상을 위해 라텍스와 폴리비닐 아세테이트(PVA) 성분의 분말 수지를 사

용하였다. 사용된 라텍스는 유백색 액체로 고형분 함량 49.3%이며, 국내에서 생산된 스티렌-부타디엔 (Styrene- Butadiene) 계열 제품을 사용하였다. 재료의 물리 화학적 특성은 Table 2에 표기한 바와 같다. PVA 레진 분말은 pH 5.4, 밀도  $1.02 \text{ g/cm}^3$ , 점도 57이다.

**Table 2** Chemical and mechanical properties of latex used

Solid content (%)	Density ( $\text{g/cm}^3$ )	pH	Viscosity	Latex	
				Styrene	Butadiene
49.3	1.03	9.6	28	$62 \pm 2\%$	$38 \pm 2\%$

Fig. 1은 사용한 바인더의 입자 크기 분포를 나타내고 있다. 초속경 시멘트의 평균 입자 크기는  $11 \mu\text{m}$ 이며, 보수재료의 높은 연성과 지속적인 외부하중에 의한 추가 균열제어를 위해 직경  $20 \mu\text{m}$ 의 미세한 나일론 섬유를 사용하였고, 사용한 원재료의 특성은 Fig.1에 나타내고 있다.



**Fig. 1** Particle size distribution of raw materials.

**Table 1** Chemical compositions and physical properties of raw materials

Chemical Compositions(%)	
Rapid hardening cement	
CaO	50.8
SiO <sub>2</sub>	10.2
MgO	1.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.7
SO <sub>3</sub>	15.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.3
K <sub>2</sub> O	0.4
LOI	1.6
Physical properties	
Density ( $\text{g/cm}^3$ )	2.87
Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	5,380

보수재료의 체적변형을 제어하기 위해 직경 약  $20 \mu\text{m}$ , 길이  $12 \text{ mm}$ , 밀도  $1.10 \text{ g/cm}^3$ 의 나일론 섬유를 사용했다. 나일론 섬유는 소성수축균열 저감뿐만 아니라 콘크리트의 물성 및 내구성능을 증진시키는 것으로 알려져 있다. 또한 친수성을 지니고 있어 페이스트와의 부착성능이 높으며, 우수한 표면 마감성능을 지닌다. 또한 분산력이 높아 작업성 및 균질한 재료 물성 구현이 가능하다. 나일론 섬유는 분자 내에 N이나 O에 부분적인(-) 전하를 갖고 있으므로, 부분적인(+) 전하를 지닌 물 분자의 H와 상호 정전기적인 작용을 하며, 이로 인해 시멘트 페이스트와 높은 부착성능을 보인다. Fig. 2는 사용한 나일론 섬유의 광학미지를 나타내고 있다.

기존 콘크리트와의 부착성 및 수밀성능을 향상시키는 보수재료의 개발을 위해 다음 Table 3과 같이 보수재료의 배합을 설정하였다. 작업성 확보를 위해 지연제로 무수 구연산을 사

용하였다. 물-바인더 비는 0.43, 바인더 : 잔골재는 약 1 : 1.6으로 고정하였다.

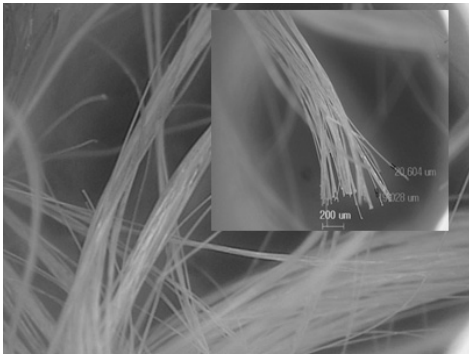


Fig. 2 Nylon fiber image

Table 3 Mix proportion

ID	W/B (%)	Mixture proportions(kg/m <sup>3</sup> )						R
		W	C	RP	SL	NF	Sand	
RC	43	287	665	-	-	-	1042	665
RC-RP10	43	287	655	10	-	-	1042	665
RC-PR30	43	287	635	30	-	-	1042	665
RC-RP50	43	287	615	50	-	-	1042	665
RC-RP30-F0.01	43	287	635	30	-	0.07	1042	665
RC-RP30-F0.03	43	287	635	30	-	0.20	1042	665
SLCN-RP0.5	43	176	565	2.83	205	-	1042	665
SLCN-RP1.0	43	176	562	5.65	205	-	1042	665

W : Water, C : Rapid hardening cement

RP : PVA powder, NF : Nylon fiber, R : Retarder

SL : SB Latex

## 2.2 실험방법

보수재료의 보수 후 역학적 성능평가 및 수밀성 평가를 위해 Table 3에 제시된 배합에 대해 KS L 5109에 따라 혼합하여 시험체를 제작하였다. 시험체는 압축강도, 건조수축 및 보수 전·후의 휨강도 성능평가를 위해 40 × 40 × 160 mm의 각주형 시험체를 제작하였다. 모든 실험은 실험 변수에 대해 3개의 동일한 시험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 평균하여 결과를 분석하였다. 시험체는 제작 후 24시간 이후 탈형하고, 소정의 재령까지 20 ± 2 °C의 온도 및 90 % 이상의 항온·항습 챔버에서 습윤 양생을 실시하였다.

압축강도와 휨강도는 KS L 5105 『시멘트 모르타르의 압축강도 시험』에 준하여 수행하였으며, Fig. 3은 압축강도 및 휨강도의 실험사진을 나타내고 있다.

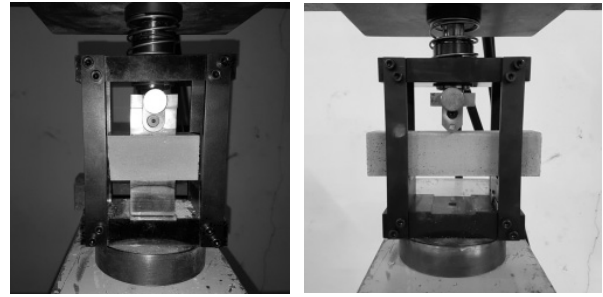


Fig. 3 Test setup of compressive and flexural strength

보수 모르타르의 건조수축 성능평가는 KS F 2424 『모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법』에 준하여 실내온도 20 ± 3 °C, 상대습도 55 ± 5% 조건에서 실험을 수행하였다. 시험체의 길이변화율은 다음 그림에서와 같이 각주형 모르타르 시험체에 스테인레스 스틸 재질의 스티드를 설치하여 재령에 따라 길이변화를 측정하였다.



Fig. 4 Test setup of drying shrinkage.

보수 모르타르의 기존 콘크리트와의 부착강도 성능평가는 KS F 2762 『콘크리트 보수·보호재의 접착강도 시험 방법』에 준하여 실험을 수행하였다.



Fig. 5 Test setup of bonding

보수재료의 기존 구조물과의 부착성능 향상 정도를 평가하기 위해, 다음 Fig. 6과 같이 4cm×4cm×16cm의 휨강도 실험체에 중앙부에 4cm×2cm×5cm의 인위적인 흠을 미리 주고 이를 보수재료로 보수 한 후 휨강도 실험을 수행하였다.

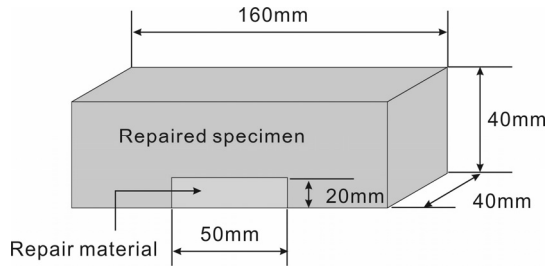


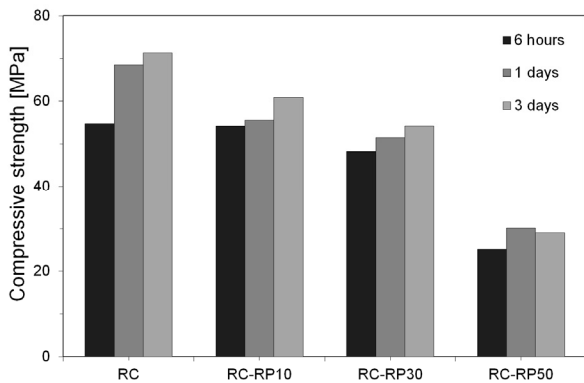
Fig. 6 Test setup of repair material

### 3. 실험 결과 및 고찰

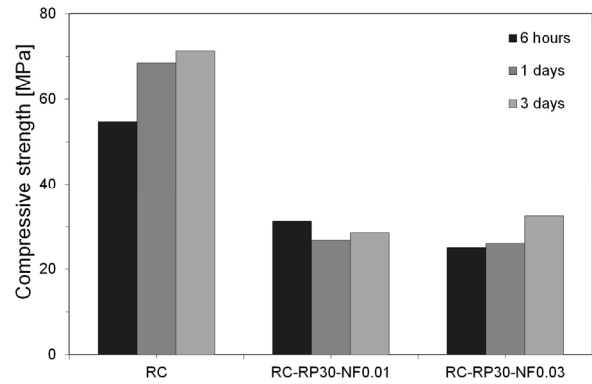
#### 3.1 압축강도

Fig. 7은 보수재료의 압축강도를 측정 한 것을 나타내며, 라텍스 및 분말수지 혼입량 변수로 하여 배합을 진행하였고, 재령은 보수공사 특성에 맞춰 6 hour, 1 day, 3 day 측정 하였다.

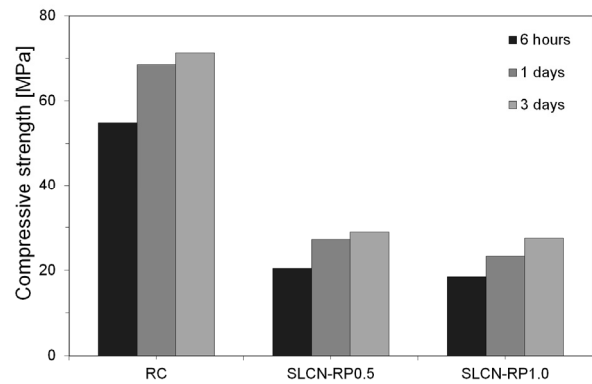
PVA 분말수지의 경우 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났으며, RC-RP50의 경우 급격한 압축강도 감소가 나타났다. 나일론 섬유를 혼입한 RC-RP30- NF0.01과 RC-RP30-NF0.03의 경우 섬유 혼입에 따른 분산성 확보 문제로 압축강도가 감소 하는 것으로 판단된다. 라텍스를 혼입한 실험체의 경우 3일 압축강도가 약 30MPa 정도 측정되었고 EURO code (EN 1504-3)에서 규정하는 압축강도 25~45MPa에 포함되어 보수재료의 요구성능을 충분히 만족 하는 것으로 나타났다.



(a) PVA powder



(b) Nylon fiber



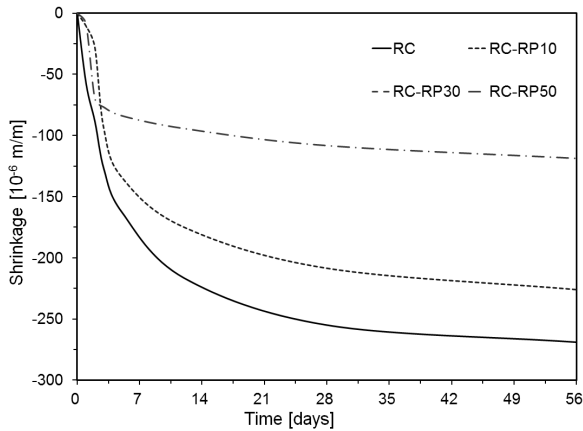
(c) SB Latex

Fig. 7 Compressive strength

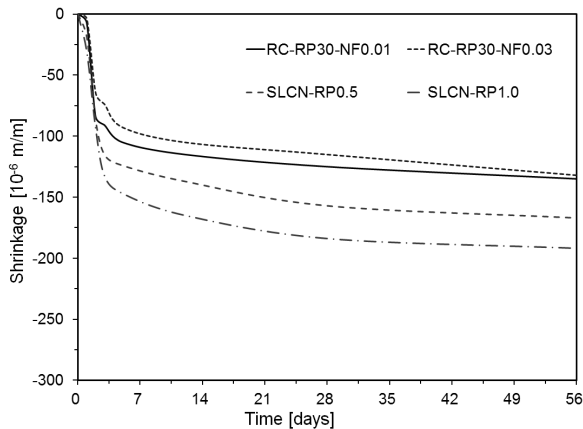
#### 3.2 건조수축

시멘트계 재료는 수화반응을 통해 경화하면서 동시에 체적변화를 일으킨다. 기존 콘크리트는 수화반응이 거의 종료되어 수축에 의한 체적변화가 거의 발생하지 않기 때문에, 손상 부위를 보수한 모르타르도 수축 변형이 적을수록 장점이 있다. 보수 모르타르의 수축이 크게 나타나면, 기존 콘크리트가 보수 모르타르를 구속하여 응력이 발생하여 모르타르에 인장 응력이 발생하여 균열 발생 위험이 있으며, 균열 발생 시 요구되는 보수 성능을 제대로 발휘하기 어렵다.

Fig. 8은 보수재료의 재령에 따른 변수별 건조수축결과를 나타내었다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 전체적으로 RC보다 건조수축량이 작게 나타는 것을 알 수 있었으며, PVA 분말수지가 혼입된 RC-RP30은 수축하지 않고 팽창하여 균열이 발생하였다. 나일론 섬유가 혼입된 RC-RP30-NF0.003 시험체의 건조수축 측정값이 가장 낮게 나타났다. 이는 친수성의 나일론 섬유에 의한 내부양생 효과와 페이스트간의 브릿지 역할에 의한 발생된 응력을 감소시킨 결과이다.



(a) PVA powder



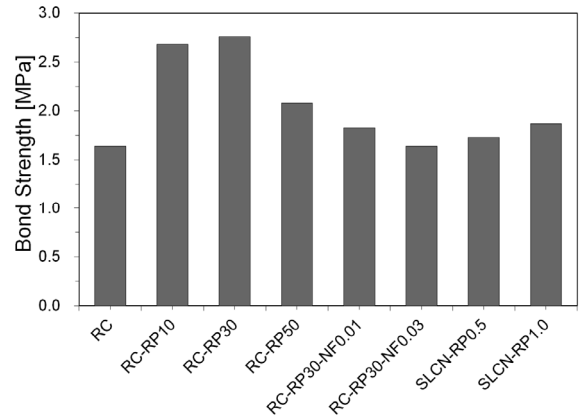
(b) Nylon fiber and SB Latex

**Fig. 8** Drying shrinkage

### 3.3 부착강도

손상부위를 보수한 모르타르는 기존 콘크리트와 일체거동을 하여야 외부하중 및 열화인자에 의해 박리 등의 재손상 위험이 감소한다. 이러한 일체거동을 위한 보수 모르타르의 가장 중요한 특성은 보수 모르타르의 부착성 특성이다. 손상부위를 보수한 모르타르는 기존 콘크리트와 일체거동을 하여야 외부하중 및 열화 인자에 의해 박리 등의 재손상 위험이 감소하며, 이러한 수밀성 확보 및 일체거동을 위한 보수 모르타르의 가장 중요한 특성은 보수 모르타르의 부착성이다. Fig. 9에 나타난 부착강도는 보수 재료 타설 후 6시간의 결과이다.

PVA 분말수지를 사용한 RC-RP3.0이 약 2.3MPa 수준으로 가장 높게 나타났으며, PVA 분말수지와 나일론 섬유를 함유한 실험체 및 라텍스를 사용한 실험체도 모두 RC의 부착강도 1.5MPa 이상 나타났으며, 이러한 결과 국내 보수모르타르 품질기준(KS F 4042)에 규정된 1.0MPa 이상으로 보수재료로서의 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다.

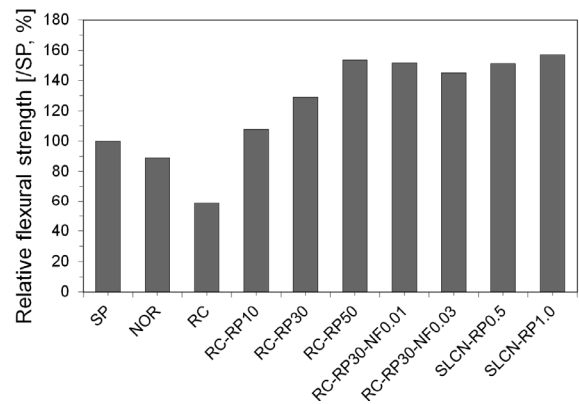


**Fig. 9** Bond Strength

### 3.4 보수 후 휨강도

콘크리트 구조물에 균열이 발생된 부위는 외부하중에 의해 지속적으로 균열이 재발할 수 있는 부위이므로, 이 부위를 보수한 후 강성 및 부착강도의 향상은 추가적으로 콘크리트 손상을 예방할 수 있으며, 균열 예방을 위해서 보수 후의 휨강도가 그전에 손상이 발생하기 전 건전한 시험체와 동등 이상이 되도록 하는 것이 중요하다.

Fig. 10은 보수 후 3일 후 휨강도 실험결과를 나타냈으며, 추가적으로 건전한 시험체와 상대적인 값 비교가 필요하기 때문에 노치 없는 건전한 시험체는 SP(sound specimen), 노치에 보수재료를 보강 안한 시험체는 NOR(no-repair specimen) 표시하였다. PVA 분말수지 및 라텍스를 혼입한 시험체의 경우 보수 후 휨강도가 증가하는 것을 확인 할 수 으며, 또한 PVA 분말수지의 혼입량이 증가 할수록 휨강도가 증가하였으며, 나일론 섬유와 라텍스를 혼입한 경우 SP 대비 150% 정도로 휨강도가 크게 증가한 것을 확인 할 수 있었다. 모든 시험체는 Fig. 11과 같이 휨강도에 의해 발생된 균열 패턴을 살펴보면 보수 모르타르 중앙부에서 균열이 발생하여 기존 콘크리트와 일체거동 한 것으로 나타났다.



**Fig. 10** Relative flexural strength

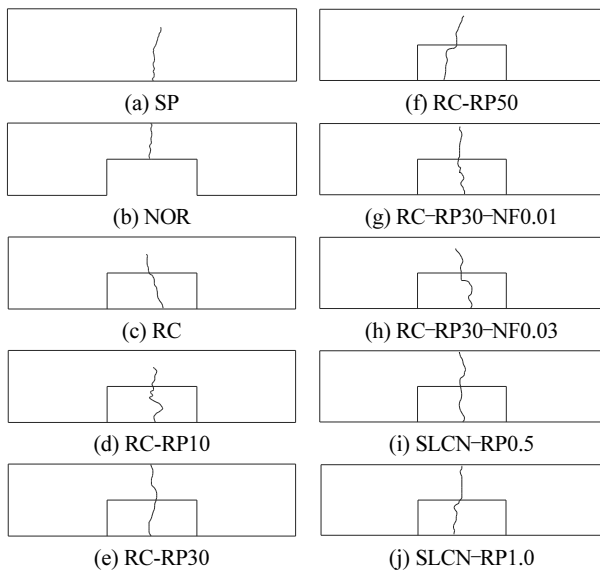


Fig. 11 Failure pattern with test member

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존 보수용 초속경 시멘트에 무기계 재료인 라텍스, 나일론섬유, PVA 분말수지의 혼입률에 따른 콘크리트 보수재료의 압축강도, 건조수축, 보수 후 휨강도 실험을 하였고, 이를 통해 보수재료의 휨부착 성능을 평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압축강도 분석결과 PVA 분말수지의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 확인했으며, 나일론 섬유를 혼입한 경우에는 압축강도 감소가 나타났고, 이는 섬유의 분산성 확보 문제인 것으로 판단된다.
- (2) 건조수축은 모든 시험체에서 RC보다 건조수축량이 적게 나타난 것을 확인하였고, 부착강도의 경우에는 분말수지 첨가량이 많을수록 강도가 높아지는 것을 확인 할 수 있었다.
- (3) 보수 후 휨강도 평가에서는 RC를 제외한 모든 시험체

들이 노치 없는 건전한 실험체 대비 110%~150% 정도 휨강도 크게 증가한 것을 확인 하였고, 휨강도에 의해 발생된 균열 패턴은 모든 실험체에서 기존 콘크리트와 일체거동 한 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(18CTAP-C129778-02)에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Shin, H-C., Kim, G-Y., Park, S-W., and Tanaka, K. (2006), Behavior or Crack of Repaired Zone in Concrete by Injection Epoxy Resin, *MAGAZINE OF THE KOREA CONCRETE INSTITUTE*, 16(5), 44-48.
- Kim, J-P., Jeon, C-K., Chung, H., and Kim, H-S. (2007), Evaluation on the Performance of Nano Mixed Inorganic Repair Material for Crack Repair of Concrete Structures, *Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation*, 3(3), 33-39.
- Ohama, Y. (1995), Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars Properties and Process, *Technology Noyes Publications*.
- Park, C-K., Lee, J-W., and Kim, D-H.(2012), Flexural Strength and Impact Resistance of Latex Modified fibers Reinforced Concrete. *In Fall Conference of the Korea Concrete Institute*, 29-30.
- Park, Y-K., Joo, E-H., Lee, G-C., Byun, H-Y., Woo, J-W., and Han, C-G.(2007), Evaluation of Reinforced Materials and Epoxy Resins for Adhesion Repairing-Reinforced of RC Construction. *The Korean Institute of Building Construction*, 5(2), 183-186.

Received : 10/05/2018

Revised : 10/08/2018

Accepted : 10/15/2018

**요 지 :** 콘크리트 구조물은 시공 후 다양한 원인에 의해 물리적, 화학적 변형을 통해 물리적인 성능이 저하된다. 이러한 콘크리트 구조물의 성능저하는 사용수명을 감소하기 때문에 합리적인 보수보강이 필요하다. 최근 콘크리트 구조물의 효율적인 보수를 위해, 부착성을 향상시킨 하이브리드 보수재료에 대한 연구가 활발히 수행되어오고 있다. 본 연구에서는 기존콘크리트와의 부착성능 및 수밀성을 향상시키기 위해 초속경 시멘트에 PVA 분말수지, 나일론 섬유, 라텍스를 혼입 한 하이브리드 보수재료를 개발하였다. 보수재료의 성능평가를 위해 압축강도, 건조수축, 부착강도 실험을 수행하였다. 또한 미리 손상이 발생한 시험체를 제작한 후 보수 전후의 휨부착 성능평가를 수행하였다. 휨강도 평가 결과, 기존의 초속경시멘트만 혼입한 시험체를 제외한 모든 실험체에서 110%~150%정도 휨강도가 크게 나타났고, 휨강도에 의해 발생된 균열 패턴은 모든 실험체가 기존 콘크리트와 일체 거동하는 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 보수재료, 부착성능, 건조수축, 휨부착, 섬유