

기계식 고압과 저압을 혼용한 에폭시 주입 콘크리트의 휨강도 검토 사례 연구

홍기남[†] · 유연종 · 이강문^{*} · 류창열^{**} · 윤홍수^{***}

충북대학교 토목공학과 · ^{*}(주)서영엔지니어링 · ^{**}와이엔케이텍(주) · ^{***}윈텍코리아
(2011. 7. 19. 접수 / 2012. 2. 14. 채택)

Case Study of Flexural Strength Evaluation of Epoxy Injected Concrete Using Low Pressure Mixed with Mechanical High Pressure

Ki Nam Hong[†] · Yeon Jong Yu · Kang Moon Lee^{*} · Chang Yeol Ryu^{**} · Hong Su Yoon^{***}

Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

^{*}Seoyeong Engineering Co. Ltd. · ^{**}Y&K Tec. Co. Ltd. · ^{***}Wintec Korea

(Received July 19, 2011 / Accepted February 14, 2012)

Abstract : The objective of this study is to investigate the capacity of epoxy injection method using low pressure mixed with high pressure. Injection depth test and flexural strength test were respectively performed on $40 \times 45 \times 35$ cm and $100 \times 10 \times 40$ cm specimens. Considered as the test variables were injection type(low pressure, low and high pressure), crack width(0.25 mm, 0.50 mm), injection direction(upper, lower, side), and epoxy viscosity(low, medium, high). Test results showed that low viscosity epoxy injection depth of injector using low pressure mixed with high pressure for upper direction were 23 cm and tension strength of crack face repaired by injector using low pressure mixed with high pressure was larger than that of concrete.

Key Words : concrete crack, injector, epoxy viscosity, injection depth

1. 서론

우리나라는 70년대 이후 급속한 경제 발전과 더불어 신설된 공공시설물의 사용연한이 경과하면서 노후화가 급속하게 진전되어 있는 상태이다. 이에 기존 구조물의 유지관리 및 보수보강에 대한 수요와 관심이 점차 높아지고 있다. 특히, 콘크리트 구조물의 균열은 철근부식에 의해 내하력을 저하시키는 주요 원인 중의 하나이므로 구조물의 기능회복과 안전성회복을 위해 최근 국내·외의 연구자들에 의해 콘크리트 균열 보수에 관한 많은 연구가 수행되어 오고 있다¹⁻⁶⁾. 지금까지 수행된 콘크리트 구조물의 균열 보수에 관한 연구는 크게 두 개의 분야로 분류할 수 있다. 첫째는 콘크리트 균열 보수 재료 많이 사용되고 있는 에폭시 주입재에 대한 물성, 강도 특성, 그리고 내구성능 분석에 관한 연구이

다^{2,5,6)}. 둘째는 에폭시 주입재로 보수된 콘크리트의 강도 특성에 대한 다양한 분석 연구이다^{1,3,4)}.

콘크리트 구조물에는 외력에 의한 영향뿐만 아니라 콘크리트 자체의 재료적 요인으로 인한 여러 패턴의 균열이 다양한 장소에서 발생한다. 또한, 균열의 폭과 깊이도 그 원인에 따라 매우 다양하다. 따라서 여러 요인에 의해 발생한 균열을 에폭시 주입을 통해 보수하기 위해서는 에폭시 주입방향에 따른 주입깊이가 명확하게 규명되어야 한다. 그러나, 기존 연구자들에 의해서 수행된 연구는 전술한 바와 같이 에폭시 자체의 재료적 측면과 완전 충전이 이루어 졌다는 조건하에서 보수 콘크리트 단면의 강도특성을 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 기계식 고압과 저압을 혼용하는 주입공법을 적용한 주입 실험을 통해 주입방향 및 에폭시 점도 변화에 따른 충전 깊이를 검토하고, 휨실험을 통해 에폭시 점도에 따른 보수 콘크리트의 인장강도를 검토하고자 한다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
hong@chungbuk.ac.kr

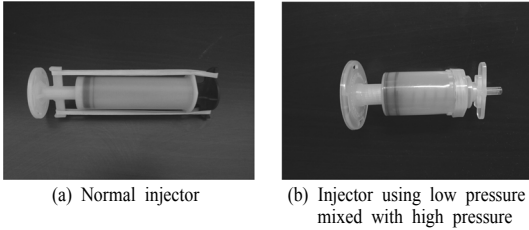


Fig. 1. Epoxy injector.

2. 사용 인젝터

Fig. 1에 본 연구에서 사용한 2종류의 인젝터를 나타내었다. Fig. 1(a)는 일반적으로 저압 주입공법에 사용되는 일반 인젝터이며, Fig. 1(b)는 기계식 고압과 저압을 혼용한 주입공법에 사용할 수 있는 인젝터이다. 일반 인젝터를 사용한 충전공법은 고무줄의 탄성에 의해 1~6 kgf/cm²의 주입압이 작용한다. 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터를 사용한 공법은 먼저 인젝터 후면의 충전구를 통해 강제압으로 에폭시를 주입하며, 충분히 주입되지 않은 미세 부위는 인젝터 내부에 설치된 스프링에 의한 2.5~6 kgf/cm²의 저압으로 에폭시를 충전하게 된다. 일반 인젝터는 에폭시 재충전 시 주사기를 좌대에서 분리해 재충전을 해야 하지만 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터는 주사기 분리 없이 몸통 후면에 설치된 충전구를 통해 충전할 수 있다.

3. 실험

3.1. 사용재료

3.1.1. 콘크리트

균열보수 실험체의 제작을 위하여 본 실험에서는 1종 보통포틀랜드 시멘트와 굵은골재 최대치수 25 mm 이하의 골재를 사용하였다. 굵은 골재의 밀도는 2.65, 조립율은 5.9이며, 잔골재의 밀도는 2.58, 조립율은 2.9이다. Table 1에는 본 실험에서 사용한 콘크리트의 배합을 나타내었다.

3.1.2. 에폭시

Table 2에 본 연구에서 사용한 에폭시 물성을 나타내었다. 본 연구에서 사용한 저점도, 중점도, 고점

Table 1. Mixing properties of concrete

Design strength (MPa)	Slump (cm)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
21	15	53.5	169	316	940	981

Table 2. Material properties of epoxy

Property	Epoxy		
	Low viscosity	Medium viscosity	High viscosity
Viscosity (mps · s)	190 ± 30	500 ± 30	600 ± 30
Available time (min.)	60	60	40
Curing time (day)	7	7	7

도 에폭시의 점도는 각각 190 ± 30 mps · s, 500 ± 30 mps · s, 600 ± 30 mps · s이다. 저점도, 중점도, 고점도 에폭시의 가사시간은 각각 60분, 60분, 40분이다. 또한 모든 에폭시의 양생기간은 7일로 동일하다.

3.2. 실험계획

Table 3. Specimens of injection depth test

Specimen	Injector	viscosity	Injection direction	Crack width (mm)
0.25 N-U1	Normal	Low	Upper	0.25
0.50 N-U1				0.50
0.25 N-S1			Side	0.25
0.50 N-S1				0.50
0.25 N-L1			Lower	0.25
0.50 N-L1				0.50
0.25 M-U1	Mighty	Low	Upper	0.25
0.50 M-U1				0.50
0.25 M-S1			Side	0.25
0.50 M-S1				0.50
0.25 M-L1			Lower	0.25
0.50 M-L1				0.50
0.25 M-U2		Medium	Upper	0.25
0.50 M-U2				0.50
0.25 M-S2			Side	0.25
0.50 M-S2				0.50
0.25 M-L2			Lower	0.25
0.50 M-L2				0.50
0.25 M-U3	High	Upper	0.25	
0.50 M-U3			0.50	
0.25 M-S3		Side	0.25	
0.50 M-S3			0.50	
0.25 M-L3		Lower	0.25	
0.50 M-L3			0.50	

0.25 N- L 1
① ② ③ ④

- ① Crack width(0.25 mm, 0.50 mm)
- ② Injector(N = Normal, M = Mighty)
- ③ Injection Direction(L = Lower, S = Side, U = Upper)
- ④ Epoxy viscosity(1 = Low, 2 = Medium, 3 = High)

3.2.1. 실험변수

인젝터의 주입성능 평가를 위해 본 연구에서 계

획한 실험변수는 Table 3에 나타난 것과 같이 에폭시 주입방향, 균열폭, 주입방법, 그리고 에폭시 점도이다. 콘크리트 구조물의 균열은 상부, 하부, 측면 등 다양한 위치에 발생하기 때문에 에폭시 충전을 통해 균열을 보수하기 위해서는 다양한 방향에서 충분히 에폭시가 균열면 사이에 충전되는지를 파악할 필요가 있다. 따라서 본 실험에서는 현장 상황을 고려하여 에폭시 주입방향을 하면, 상면, 측면으로 선정하였다. 또한, 일반적으로 주입공법 시공이 가능한 균열폭은 0.2~1.0 mm이다. 이에 일반적으로 콘크리트 구조물에 발생하는 균열폭인 0.25 mm, 0.5 mm를 균열폭 변수로 선정하였다. 현재 저압 주입공법에는 고무줄의 탄성을 이용하는 일반 인젝터가 주로 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 주입방법의 영향을 평가하기 위해 일반 인젝터와 기계식 고압과 저압을 혼용하는 인젝터를 이용하여 실험을 실시하였다. 또한, 균열면에 충전되는 에폭시의 점도는 보수 단면의 성능향상에 중요한 요소이다. 특히 주입식 공법으로 에폭시 수지를 주입하는 경우 충전 깊이는 에폭시의 점도에 의해 결정되기 때문에 적합한 점도의 에폭시를 선정하는 것이 보수효과를 극대화시키는 주요 요소이다. 따라서 본 연구에서는 저점도, 중점도, 고점도 에폭시를 균열면에 주입하고, 에폭시 점도에 따른 충전 깊이를 평가하였다. 그리고, 충전 깊이가 실험과 함께 에폭시 충전면의 인장 강도를 측정하기 위하여 휨실험을 계획하였다. 휨실험의 실험변수는 균열폭(0.25 mm, 0.5 mm)과 에폭시 점도(저점도, 중점도, 고점도)를 선정하였다.

3.2.2. 실험체 제작

Fig. 2와 3에 충전 깊이 실험의 거푸집 설계와 실험준비 과정을 나타내었다. 40×45×35 cm 크기의 거푸집을 제작하고, 콘크리트를 타설하였다. 거푸집 내에는 하중 재하 시 균열면이 일정한 위치에 형성될 수 있도록 상·하 및 좌·우에 두께와 높이가 각각 5 mm, 50 mm인 아크릴판을 삽입하였다. 아크릴판은 거푸집 탈형 시 실험체로부터 제거하였다. 약 7일 양생이후 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 실험체 중앙에 2차의 휨하중을 재하하여 실험체를 4등분하였다. 4등분 조각들의 균열면 분진을 제거한 이후 제거했던 아크릴판에 0.25 mm, 0.50 mm 두께의 필름을 부착하고 강재 프레임을 이용하여 4면에서 구속하여 0.25 mm, 0.50 mm의 인위적 균열을 형성하였다.

Fig. 4와 5에는 에폭시 점도에 따른 인장강도 변

화를 평가하기 위한 휨실험의 거푸집 설계와 휨실험체 준비 과정을 나타내었다. 10×10×40 cm 휨몰드의 중앙에 폭 5 mm, 높이 50 mm의 아크릴판을 삽입하고 콘크리트를 타설하였다. 2일 양생 이후 거푸집을 탈형하고 중앙에 삽입한 아크릴판을 제거하여 인위적 노치를 형성하였다. 28일 양생을 마친 실험체는 휨실험을 실시하여, 균열 보수전 콘크리트의 휨인장강도를 측정하였다. 휨실험이 종료된 이후 2등분으로 분리된 실험체는 0.25 mm, 0.50 mm 두께의 필름을 부착한 아크릴판을 중앙 노치에 삽입하고 강재 프레임을 이용하여 4면에서 구속하여 0.25 mm, 0.50 mm의 인위적 균열을 형성하였다.

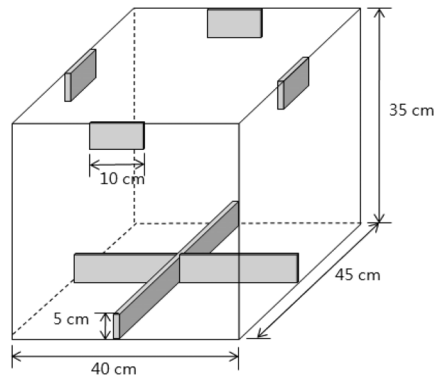


Fig. 2. Formwork of injection depth test specimen.

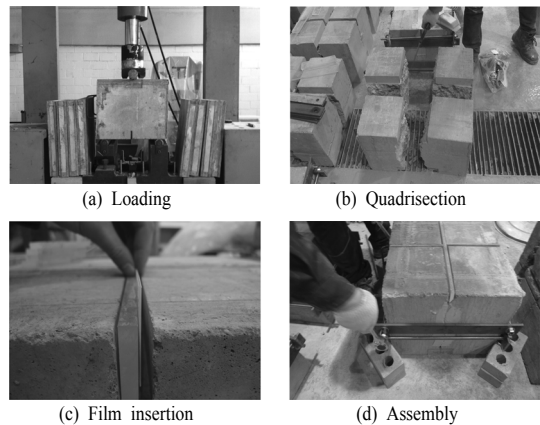


Fig. 3. Preparation of injection depth test specimen.

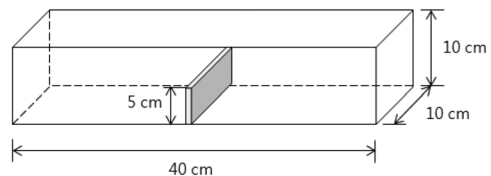


Fig. 4. Formwork of flexural specimen.

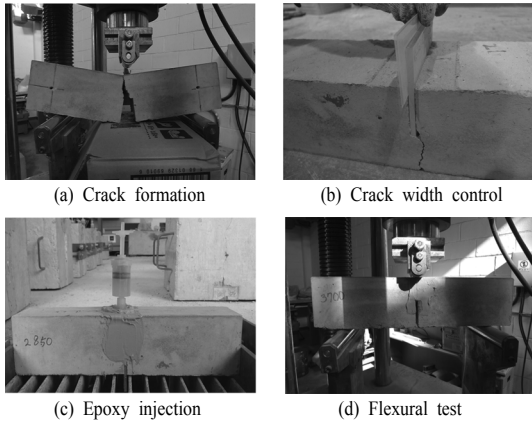


Fig. 5. Preparation of flexural test specimen and experiment.

Fig. 5(c)는 휨실험체의 에폭시 주입방법을 나타내고 있다. 휨실험체는 모두 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터를 이용하여 아래 방향으로 에폭시를 주입하였다.

3.2.3. 에폭시 주입

Fig. 6에 에폭시 충전 깊이 실험체의 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터 에폭시 주입과정을 나타내었다. 먼저, 주입된 에폭시가 다른 면으로 유출되는 것을 방지하기 위해 실험체의 균열면 모두를 실링하고, 실험체의 균열에 에폭시를 주입하기 위해 5개의 좌대를 설치하였다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 에폭시 주입면의 중앙과 중앙을 기준으로 4방향으로 15 cm 떨어진 5개소에서 에폭시를 주입하였다. Fig. 6(a), (b), (c)는 각각 하부, 측면, 상부로 기계식 고압을 이용하여 에폭시를 주입하는 장면을 나타내고 있다. 고압 주입 작업이 끝난 실험체는 인젝터 내부의 스프링을 통해 에폭시가 저압으로 주입되도록 하였다. 일반 인젝터는 에폭시가 더 이상 충전되지 않을 때까지 지속적으로 충전하였다.

3.2.4. 실험방법

균열 보수 실험체의 에폭시 충전 깊이를 확인하기 위해 Fig. 7에 나타난 것과 같이 코어를 채취하였다. 코어는 균열면을 코어의 중앙단면에 위치하도록 해서 각 실험체 별로 5개씩 채취하였다. 각 실험체의 에폭시 충전 깊이는 5개 코어에서 결정된 충전 깊이의 평균으로 결정하였다. 에폭시 충전 보수 실험체의 휨실험은 Fig. 5(d)에 나타난 것과 같이 3점 휨실험을 통해 충전 단면의 휨인장 강도를 측정하였다.

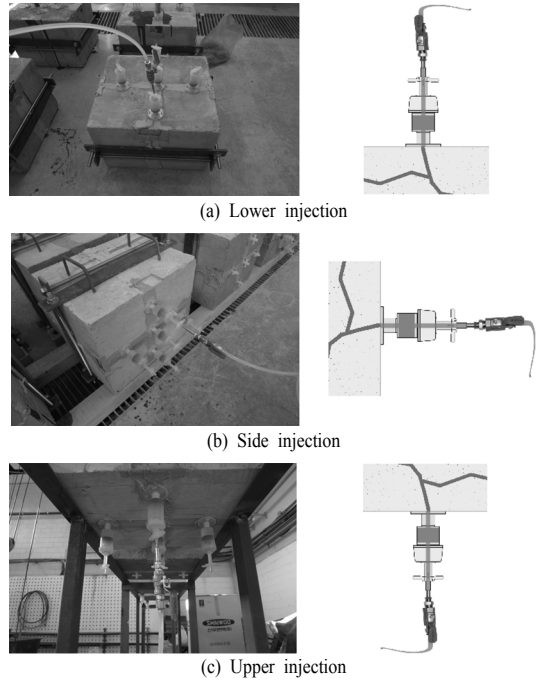


Fig. 6. Epoxy injection.

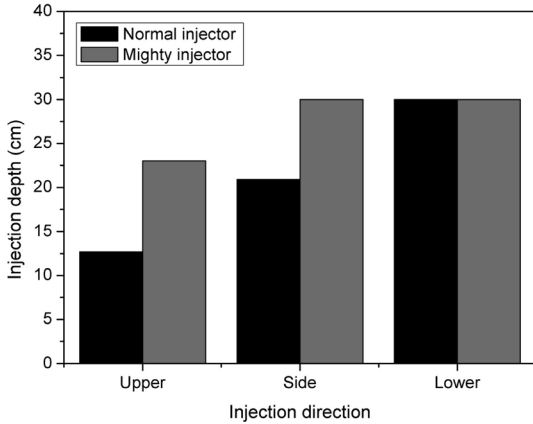


Fig. 7. Coring.

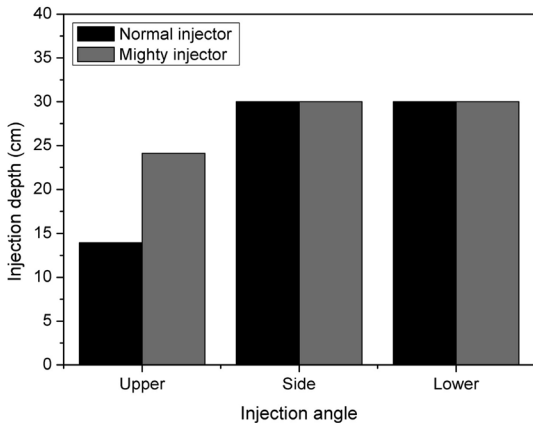
4. 실험결과

4.1. 충전 깊이

저점도 에폭시를 사용할 때의 일반 인젝터와 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터의 충전 깊이 비교 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8은 하부방향 주입은 일반 인젝터와 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터 모두 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm 균열에서 30 cm 깊이까지 완전히 충전되었음을 보이고 있다. 이는 인젝터의 주입 성능과 더불어 중력에 의해서 에폭시가 균열 내부 깊숙이 침투할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 측면 주입의 경우 0.50 mm의 균열

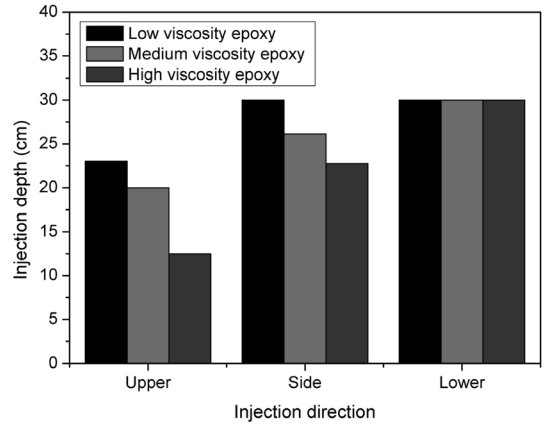


(a) Crack width = 0.25 mm

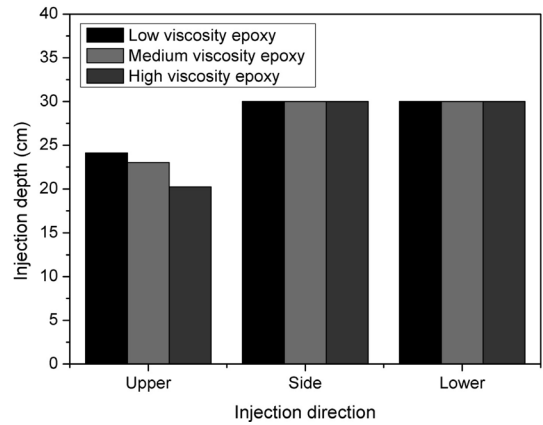


(b) Crack width = 0.50 mm

Fig. 8. Comparison of injection depth with respect to injector (Low viscosity epoxy).



(a) Crack width = 0.25 mm



(b) Crack width = 0.50 mm

Fig. 9. Comparison of injection depth with respect to epoxy viscosity.

에서는 일반 인젝터와 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터 모두 완전 충전 되었지만, 0.25 mm 균열에서는 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터와 일반 인젝터의 충전깊이는 각각 30 cm와 21 cm를 나타내었다. 상부방향 주입의 경우 실험체 모두에서 완전 충전은 이루어지지 않았으며, 균열폭 0.25 mm의 충전깊이가 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터와 일반 인젝터에서 각각 23 cm와 13 cm를 나타내었다.

Fig. 9에 에폭시 점도별 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터의 주입 깊이 실험결과를 나타내었다. 하부방향 주입의 경우 점도와 관계없이 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm의 모든 실험체에서 30 cm 깊이까지 완전히 에폭시 충전이 이루어진 것으로 나타났다. 측면 방향 주입의 경우 균열폭 0.50 mm에서는 모두 에폭시가 완전히 충전되었지만, 0.25 mm 균열에서는 저점도, 중점도, 고점도에서 각각 24.1 cm, 23.0

cm, 20.2 cm의 충전 깊이를 나타내어 에폭시 점도에 따른 영향이 큰 것으로 확인되었다. 상부 방향으로 에폭시를 주입한 실험체들은 모두 에폭시가 균열면에 완전히 충전되지 않은 것으로 나타났다. 특히, 0.25 mm 균열폭 실험체에서는 저점도, 중점도, 고점도의 충전 깊이가 각각 23.0 cm, 20 cm, 12.5 cm로 에폭시 점도에 따라 충전 깊이가 2배까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

4.2. 휨강도

Table 4와 Fig. 10에 휨실험 결과를 나타내었다. Table 4에서 $f_{f,b}$ 는 보수전 콘크리트의 휨강도를 의미하며, $f_{f,a}$ 는 균열면 보수 이후의 휨강도를 나타낸다. Fig. 10은 동일 실험변수에 대한 3개 실험체의 평균에 대한 $f_{f,a}/f_{f,b}$ 를 나타낸 것이다. Table 4를 통해서 균열면 보수 이후의 휨강도가 균열전 휨강도보다 모두 크게 나타난 것을 확인할 수 있다. 휨

Table 4. Result of flexural test

Epoxy viscosity	Crack width (mm)	f_{fb} (N/mm ²)	f_{fa} (N/mm ²)
Low	0.25	3.72	4.80
		4.26	5.52
		3.24	4.80
	0.50	3.9	5.04
		3.72	4.50
		3.48	4.74
Medium	0.25	4.32	5.22
		4.56	5.40
		3.9	4.80
	0.50	3.9	4.86
		3.36	4.50
		3.78	4.80
High	0.25	3.36	4.80
		4.14	4.80
		3.48	4.56
	0.50	3.72	5.04
		3.42	5.16
		4.26	5.34

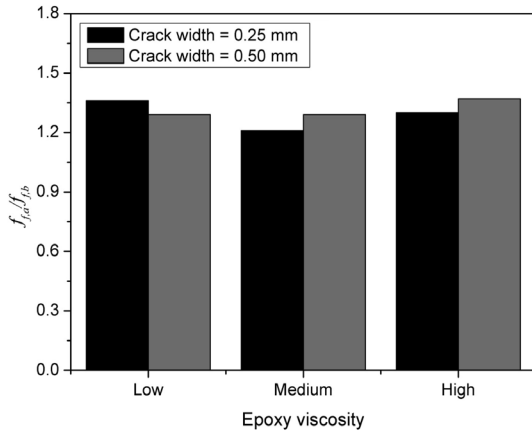


Fig. 10. Comparison of flexural strength with respect to epoxy viscosity.

실험 결과, 균열면 보수 이후의 휨강도는 균열면 보수전 콘크리트의 휨강도에 비해, 저점도 에폭시를 사용한 경우 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm에서 증가율이 각각 약 29~48%, 약 21~36%로 나타났으며, 중점도 에폭시를 사용한 경우 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm의 증가율이 각각 약 18~23%, 약 25~34%, 고점도 에폭시를 사용한 경우 각각 약 16~43%, 약 25~51%로 나타났다.

5. 결론

기계식 고압과 저압을 혼용하는 에폭시 주입공법의 주입성능을 평가하기 위해 충전깊이 실험과 휨실험을 실시하였다. 본 실험적 연구를 통해 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 하부방향 주입은 일반 인젝터와 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터 모두 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm 균열에서 30 cm 깊이까지 완전히 충전되었다. 상부방향 주입의 경우 실험체 모두에서 완전 충전은 이루어지지 않았으며, 균열폭 0.25 mm의 충전깊이가 기계식 고압과 저압을 혼용한 인젝터와 일반 인젝터에서 각각 23 cm와 13 cm로 나타났다.

2) 휨실험 결과, 균열면 보수 이후의 휨강도는 균열면 보수전 콘크리트의 휨강도에 비해, 저점도 에폭시를 사용한 경우 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm에서 증가율이 각각 약 29~48%, 약 21~36%로 나타났으며, 중점도 에폭시를 사용한 경우 균열폭 0.25 mm, 0.50 mm의 증가율이 각각 약 18~23%, 약 25~34%, 고점도 에폭시를 사용한 경우 각각 약 16~43%, 약 25~51%로 나타났다.

참고문헌

- 1) 강석표, 홍순조, “균열주입재로 보수된 콘크리트의 휨강도 및 파괴에너지”, 대한건축학회논문집 구조계, Vol. 25, No. 4, pp. 161~168, 2009.
- 2) 류금성 외 4인 “에폭시수지계 주입재의 물성 및 강도특성에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 학술발표회논문집, pp. 805~808, 2000.
- 3) 백중명, 장석재, “콘크리트 구조물 균열에 에폭시 주입의 표준화를 위한 기초적 연구”, 한국구조물진단학회, Vol. 10, No. 1, pp. 115~122, 2006.
- 4) 서치호, 이성복, 고진수, “직각천공방식으로 패커를 설치한 콘크리트 균열보수공법의 보수재 주입 특성에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 6, No. 2, pp. 91~98, 2006.
- 5) 이찬영, 심재원, “신·구 콘크리트접착제의 시공 조건에 따른 성능”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp. 513~518, 2002.
- 6) Song X. F., Wei J. F., and He T. S. H., “A Method to Repair Concrete Leakage Through Cracks by Synthesizing Super-absorbent Resin in situ”, Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 386~391, 2007.