

무기계 균열주입재의 품질평가에 관한 연구

Properties of Quality Evaluation for Inorganic Crack Injection Materials

이종열*	유재상**	정연식***	이용종****	양승규*****
Lee, Jong Ryul	Ryu, Jae Sang	Chung, Youn Sik	Lee, Woong Jong	Yang, Seung Kyu

ABSTRACT

In this research we made cement particle with the average size of $4\mu\text{m}$ which can penetrate even minor cracks based on the theory of J.K. Michel who reported particles can penetrate the crack of width up to 3 times of maximum particle size. The inorganic crack injection materials were produced by adding superplasticizer. Physical properties of hardened slurry with JIS molds were also tested at 3, 7 and 28 days and the adhesion properties of the slurry in various process conditions were also tested at 3, 7 and 28 days. The cracked specimens which were repaired with slurries produced at various conditions were tested after 3, 7 and 28 days curing in the air and split tensile strength properties were characterized.

1. 서론

콘크리트 구조물은 타설 후 건조수축, 수화열, 반복하중, 지반침하 혹은 용기 등 다양한 원인에 의하여 균열이 발생한다. 이러한 균열을 보수하기 위하여 에폭시 주입재를 사용하는 것이 보편적이다. 그러나 에폭시와 콘크리트의 열팽창률 차이에 의해 균열이 발생하고, 수분 이동 차단에 의한 내부철근 부식 등의 현상이 발생되며, 화재와 같은 고온 환경에 노출될 경우 에폭시 재료의 낮은 용점으로 인하여 재료가 녹는 등 내화성능의 문제를 가지고 있다. 따라서 콘크리트 구조물에 대한 침투성, 작업성, 내화성, 인체 무해성 등의 특성을 갖는 새로운 재료에 대한 요구가 점차 확대, 증가되고 있다.

상기와 같은 요구를 만족하고자 콘크리트 구조물의 균열 및 들뜸 현상을 보수할 수 있는 무기계 균열주입재를 개발하고자 하였으며, 본 연구에서는 선행연구에서 얻어진 결과로 3종류의 무기계 균열주입재를 혼합·제조하여 각 재령별 압축강도, 길이변화, 흡수율 등의 물리성능을 평가하였다. 또한 무기계 균열주입재와 콘크리트부재 사이의 일체성을 평가하기 위하여 콘크리트부재 사이에 무기계 균열주입재를 주입한 후 주입성능과 일정 재령 후의 접착강도 및 조깅인장강도를 평가하였다.

- * 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
- ** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 실장
- *** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 선임연구원
- **** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 주임연구원
- ***** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 연구원

2. 초미립자 시멘트의 선정배경

포틀랜드 시멘트를 모재로한 주입재는 무기질 재료로써 일반 시멘트와 고유성질이 유사하다. 또한 콘크리트 구조물과 동일한 재료적 특성을 가지므로 보수 후 유기계 에폭시 보수재에서 발생 가능한 부작용이 거의 없다. 또한 초미립자 시멘트의 경우 분말도가 높아 수화물의 조직이 조기에 치밀해지고 강도 또한 일반 시멘트와 비교할 때 1.5배 이상 높다.

암반 및 콘크리트에 발생한 균열에 관해서 균열폭과 주입 가능한 주입재의 최대입경과의 관계를 J. K. Michel이 제안한 주입비(N : 주입비, $D_{fissure}$: 균열폭, G_{max} : 주입재의 최대입경)는 다음과 같다.

$$N = \frac{D_{fissure}}{G_{max}} \geq 3$$

보통포틀랜드 시멘트의 최대입경은 $100\mu\text{m}$ (평균입경 약 $20\mu\text{m}$)수준이므로 위의 식에 의해 주입이 가능한 균열의 최저폭은 $300\mu\text{m}$ 이상일 경우이다. 한편 보수를 필요로 하는 균열은 $200\mu\text{m}$ 이상이므로 최대입경이 $70\mu\text{m}$ 이하일 때 주입이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 평균입경이 약 $4\mu\text{m}$ 이고 최대입경이 $30\mu\text{m}$ 이하인 초미립자 시멘트를 선정하였다.

3. 실험방법

3.1 사용재료

본 실험에서는 보통 포틀랜드시멘트와 고로슬래그 미분말을 조합하여 3종류의 무기계 균열주입재를 제조하였다. 표 1 은 사용한 시멘트와 고로슬래그의 화학성분과 분말도를 나타낸 것이다.

표 1 시멘트와 슬래그의 화학성분 및 분말도

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI	Blaine (cm ² /g)
cement	21.04	5.90	3.12	61.91	2.90	0.30	1.01	2.22	1.34	9500
slag	18.05	15.80	43.60	15.30	9.60	0.20	0.05	-	-	9800

3.2 무기계 균열주입재

무기계 균열주입재는 시멘트에 슬래그를 소정의 양을 치환하여 3종류를 제조하였다(이하 A, B, C로 표기함). 표 2는 조합된 3종의 초미립자 시멘트의 조성분과 분말도를 보여주고 있다. 제조된 무기계 균열주입재의 입도분포는 그림 1과 같으며, 제조한 균열주입재의 평균입경은 약 $3.50\mu\text{m}$ 이다.

표 2 무기계 균열주입재의 화학성분 및 분말도

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	LOI	Blaine (cm ² /g)
A	22.35	8.83	2.28	54.58	4.39	0.13	0.69	6.14	0.62	9650
B	25.43	10.76	1.18	50.51	5.44	0.15	0.61	4.28	1.00	9720
C	28.21	12.51	1.32	46.69	6.51	0.16	0.56	2.69	1.33	9740

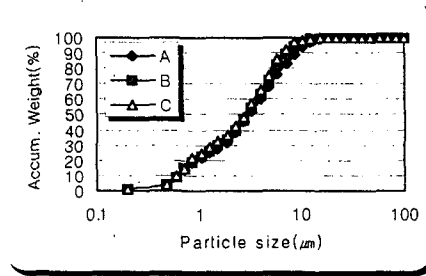


그림 1 무기계 균열주입재의 입도분포

3.3 압축강도, 길이변화, 흡수율

슬러리를 JIS R 5201에 따라 시편을 제작하여 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 80% 이상의 습기함에서 3, 7, 28일 간 양생한 후 압축강도를 측정하였다. 길이변화는 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 80% 이상의 습기함에서 2일간 양생하고 탈형 후 온도 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 수조에서 5일간 양생을 실시하고, 수중 1주 길이변화를 측정하였으며, 이 시편을 온도 $21 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 로 관리되는 실내에 보관하며 기건 1, 2, 3, 4주 동안의 길이변화를 측정하였다. 흡수율의 측정은 압축강도 측정시편과 동일한 방법으로 시편을 제작하여 2일간 습기함에서 양생하고 탈형하여 19일간 동일한 조건에서 양생한 후 80°C 로 유지되는 건조기에서 무게가 일정하게 될 때까지 건조한 후 무게를 측정하여 건조무게로 하고, 각 시편을 물에 1/2 잠기도록 하여 1, 3, 5, 24시간의 흡수량을 측정하였다.

3.4 주입성능 평가

무기계 균열주입재의 주입성능을 평가하기 위하여 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 인 콘크리트시편을 제작하여 인위적인 crack을 발생시키고 슬러리를 주입하여 주입성능을 검토하였다. 주입후 육안으로 쉽게 관찰할 수 있도록 슬러리에 안료를 첨가하여 실험을 행하였다.

3.5 접착강도

접착강도는 습기함(습도 $90 \pm 5\%$) 및 기건상태에서 일정기간동안 방치된 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ 크기의 콘크리트 시편을 1/2로 절단한 후 $\phi 1\text{mm}$ spacer를 잘라진 두 시편 사이에 넣고 균열주입재(B배합)를 주입한 후 3, 7, 28일 간 습기함 및 기건상태에서 양생한 후 4 point bending test를 실시하였다. 콘크리트모재의 흡수율과 균열주입재의 흡수율 사이의 관계를 파악하기 위하여 균열주입재(B배합)의 흡수율을 2종류로

조정하여 접착강도를 측정하였다.

3.6 보수한 시편의 쪼갬인장강도

Ø10×20cm인 콘크리트시편을 제작하고 28일 후에 쪼갬인장실험을 실시하여 인위적인 crack을 발생 시키고 준비된 슬러리를 주입하여 기건상태로 양생하고 3, 7, 28일 쪼갬인장강도를 측정하였다. 표 3 은 콘크리트시편의 배합표와 압축강도 및 인장강도이다.

표 3 콘크리트시편의 배합표 및 물성

Slump (cm)	Air (%)	Unit weight(kg/m ³)				Adm. (%)	Compressive strength (kgf/cm ²)			Tensile strength (kgf/cm ²)
		Cement	Water	Sand	Gravel		3D	7D	28D	28D
12	3.6	200	192	793	1006	0.2	102	196	242	25.3

4. 결과 및 고찰

4.1 물리적 특성

그림 2는 무기계 관열주입재의 압축강도를 나타낸 것이다. 강도를 측정한 결과, 제조한 3종류의 배합 중 A배합에서 높은 강도발현을 나타냈고, 모든 배합에서 재령 3일에서 7일까지의 강도증진은 매우 크지만 7일 이후의 강도증진은 매우 작거나 없는 것으로 나타났다. 이는 관열주입재의 분말도가 약 10,000cm²/g 정도로 매우 높아 초기에 반응이 급격히 일어났기 때문인 것으로 판단된다.

길이변화 측정결과, C배합의 경우가 가장 큰 수축을 보이는 것을 알 수 있었다. 그림 3은 각 조성별 길이변화를 나타낸 것이다.

흡수율을 측정한 결과, 5시간 경과 후 흡수량의 약 70%의 물을 흡수하며 5시간 경과 이후에는 흡수율이 완만하게 증가함을 알 수 있었다. 또한 C배합의 흡수율이 가장 작게 나타났는데, 이는 사용된 재료의 조성이 시편의 수밀효과에 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다. 그림 4는 조성별 흡수율을 나타낸 것이다.

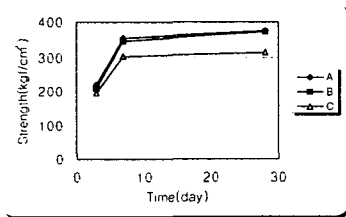


그림 2 재령에 따른 압축강도

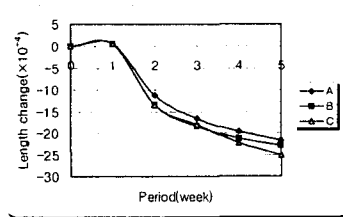


그림 3 재령에 따른 길이변화

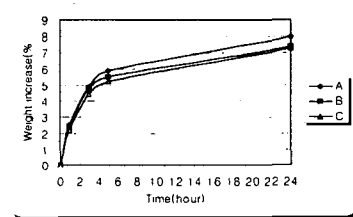


그림 4 조성별 흡수율

4.2 주입성능

무기계 균열주입재의 주입성능은 A, B, C의 모든 배합에서 매우 양호한 것으로 나타났다. 그림에서 볼 수 있듯이 보수를 필요로 하는 균열폭 200 μ m까지 주입이 된 것을 확인할 수 있었다.

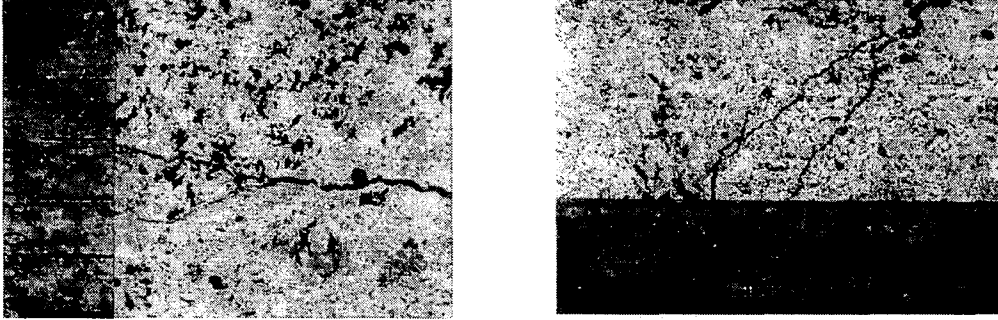


그림 5 무기계 균열주입재의 주입성능

4.3 접착강도

그림 6은 조성별 접착강도를 나타낸 것이다. 접착강도는 콘크리트모재의 함수율이 높을수록, 균열주입재의 흡수율이 작을수록 크게 나타났다. 이는 낮은 함수율의 콘크리트가 높은 함수율의 콘크리트에 비하여 균열주입재 슬러리가 가지고 있는 수분을 더 많이 흡수했기 때문이라 판단되며, 균열주입재 흡수율이 작은 시편의 접착강도가 높게 측정된 이유는 슬러리 자체가 수분을 보지할 수 있는 능력이 상대적으로 크기 때문에 콘크리트모재에 수분을 덜 빼앗긴 것에 기인한다 사료된다. 그림에 나타난 시편명은 다음과 같이 정하였다.

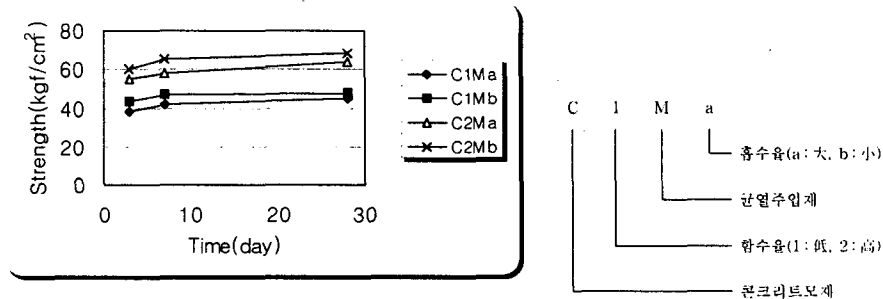


그림 6 콘크리트시편의 접착강도

4.4 보수한 콘크리트시편의 쪼갬인장강도

재령 28일에서의 쪼갬인장강도는 건전한 콘크리트 시편에 비해 보수한 시편의 강도발현이 약 70~80% 정도 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 균열주입재의 분말특성상 재령 7일까지 급격한 강도증가를 보이다가 그 이후에는 거의 강도가 일정한 경향을 보임을 알 수 있었다. 이는 균열주입재의 분말도가 10,000 cm^2/g 정도로 수화가 초기에 급격히 진행되었기 때문인 것으로 판단된다. 균열주입재의 조성별

강도발현은 A, B, C의 배합순으로 강도가 크게 측정되었으며, 이는 시멘트의 함량에 의존한 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 레올로지 특성 및 물리적 특성을 바탕으로 개발한 무기계 균열주입재의 품질을 콘크리트모재에 적용하여 서로의 상관관계를 조사하고 그 성능을 파악, 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

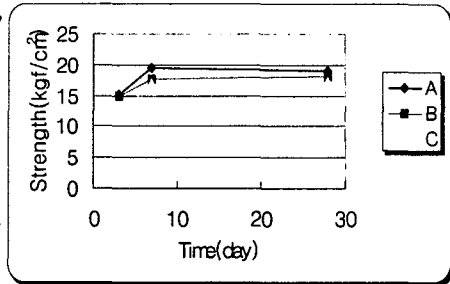


그림 7 보수한 콘크리트시편의 쪼갬인장강도

(1) 압축강도, 보수한 시편의 접착강도, 균열을 보수한 콘크리트시편의 쪼갬인장강도 등의 물리적인 특성은 7일까지의 강도증진은 급격히 일어나지만, 7일 이후의 강도 증진은 매우 적었다. 이는 균열주입재의 분말도가 $10,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 정도로 매우 높아 수화가 초기에 급격히 진행되었기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 균열주입재의 주입성능을 평가한 결과, 균열폭 $200 \mu\text{m}$ 까지 충분히 주입이 가능한 재료임을 알 수 있었다.

(3) 콘크리트모재의 흡수율과 균열주입재의 흡수율이 서로의 접착에 미치는 상관관계를 검토한 결과, 콘크리트모재의 흡수율이 높고, 균열주입재의 흡수율이 작을수록 높은 접착성능을 보였다. 따라서, 현장 시공시 균열주입재의 주입에 앞서 균열에 물을 충분히 가해주는 것이 콘크리트와 균열주입재가 접착성능을 발휘하는데 있어 중요하다 판단된다.

(4) 균열주입재로 보수한 콘크리트시편의 쪼갬인장강도는 건전한 콘크리트시편의 쪼갬인장강도에 비하여 약 70~80% 정도 강도발현을 보였다.

<참고문헌>

1. 채재홍, 이종열, 이웅중, 박경상, 김진춘, 이세웅, "유동화제 첨가에 따른 초미립자 시멘트의 경화특성", '99가을학술발표회, 한국콘크리트학회, vol 11, No 2, pp. 69~72.
2. 이종열, 정연식, 이웅중, 양승규, 채재홍, "균열주입재로서 초미립자 시멘트의 이용", '00가을학술발표회, 한국콘크리트학회, vol 12, No 2, pp. 1205~1210.
3. 西川直廣, "高爐水碎スラグ粉末を用いたコンクリート中の水和物の安定性", 第44回セメント技術大會講演集 pp. 116-121.
4. 小林一輔, "高爐水碎スラグを混和材として用いたコンクリートの壓縮強度と乾燥收縮", セメント技術年報, vol 30, pp. 151-154.
5. 荒 精 一, "高爐スラグ系微粒子の注入性能に関する研究", 土木學會第41回年次學術講演會, pp. 181-182.
6. 松 田 隆, "超微粒子セメント系ひびわれ注入材の物性", 日本建築學會大會學術講演梗概集. 1993.9. pp. 267-268.
7. 井 上 潔, "超微粒子無機系注入材の性能評價", 日本建築學會大會學術講演梗概集. 1993.9. pp. 269-270.
8. 仕入豊和, "コンクリートのひびわれと對策", セメント・コンクリート. No.425, July 1982. pp. 42-52.