

원심성형 콘크리트의 투수시험을 통한 균열 자기치유 성능평가

황철성¹, 우해식², 최영철^{3*}

Evaluation of Crack Self-healing Performance in Centrifugal Molding Concrete by Permeability Test

Chul Sung Hwang¹, Hae Sik Woo², Young Cheol Choi^{3*}

Abstract: Recently, study on self-healing materials have been performed to increase the life by repairing the damage of structures themselves, which are difficult to repair or require high maintenance costs. A water permeability test has been widely used for the evaluation of self-healing performance. However, in the self-healing performance test method, the initial crack width of the concrete greatly affects on the self-healing performance but it does not have a consistent standard. Therefore, in this study, the correlation between crack and permeability and that between time and permeability were analyzed based on crack width and permeability. In addition, since the initial crack width measured by optical microscope is not reliable, the value is derived from the Poiseuille flow and the tendency of time-permeability and time-crack width are analyzed.

Keywords: Self-healing, Permeability test, Centrifugal molding, GGBS

1. 서 론

콘크리트 구조물의 자기치유는 외부 하중 및 환경인자에 의해 발생된 작은 손상이나 균열을 자연적으로 보수할 수 있는 능력이다. 최근 자기치유 재료에 대한 연구는 보수하기 힘들거나, 보수비용이 많이 소요되는 구조물에 대해 구조물 스스로 손상을 치유하여 사용수명을 증가시키기 위해 많이 수행되어 오고 있다(M. Wua., 2012). 일반적으로 보통포틀랜드 시멘트(OPC)의 경우 100 μ m의 균열까지 자기치유를 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 균열 자기치유를 시멘트 자체의 고유한 자기치유 특성으로서 autogenous healing이라 한다. Autogenous healing에 의한 자기치유 성능은 다른 self-healing 기술에 비해 그 효과가 크지 않은 것으로 알려져 있다(H.W et al., 2003). 최근에는 시멘트계 혼합재료(supplementary cementitious materials, SCMs) 및 결정축진체(crystalline admixture, CA) 그리고 팽창제와 팽윤제를 활용하여 콘크리트의 autogenous healing을 향상시키기 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다

(K.V et al., 2013). 콘크리트 균열의 autogenous healing 메커니즘은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 미수화된 시멘트의 재수화에 의한 균열 충전이다. 이는 균열 발생 이후 콘크리트 내부로 침투한 수분과 균열면의 미수화 시멘트계 재료의 재수화에 의한 것이다. 이러한 과정에서 추가적으로 생성된 반응생성물이 균열공간을 충전한다. 두 번째는 탄산화에 의해 결정화된 탄산칼슘이 균열 내부에 석출된 것이다(T.H et al., 2010). 하지만 Autogenous healing에 의한 치유 가능 균열 폭은 제한적이며 구조물의 내구성 향상을 위해 결합재의 종류 및 배합 조건에 따라 자기치유 성능을 향상시키기 위한 다양한 연구가 수행되어 왔다.

이와 같이 OPC 시멘트에 SCMs인 고로슬래그 미분말(ground granulated blast-furnace slag, GGBS), 플라이애시(fly ash, FA)의 혼입 및 CA, 팽창제 그리고 팽윤제를 사용함으로써 조기강도 개선 및 수축문제 등에 효과가 있으며, autogenous healing을 향상시키기 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 자기치유 평가 방법으로는 투수시험과 표면 균열 폭 측정방법이 있다. 투수시험은 균열 자기치유의 효과를 시간에 따른 water flow의 감소를 통해 직관적으로 확인할 수 있기 때문에 자기치유 평가에 광범위하게 사용되고 있다. 투수시험은 Rilem TC 221에서 제안한 방식으로 균열 시편의 위·아래의 수두 차를 통해 균열로의 water flow를 발생시켜 시간에 따른 water flow 변화를 측정하여 자기치유를 평가하는 방법이다. 이를 통해 균열 내부에서

¹정회원, 가천대학교 토목환경공학과 교수

²정회원, 가천대학교 토목환경공학과 석사과정

³정회원, 가천대학교 토목환경공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: zeroife@gachon.ac.kr

Dept. of Civil and Environmental Eng. Gachon University, Seongnam-si, 13120, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2018년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

탄산칼슘의 석출에 의한 균열 자기치유 연구들이 국내에서 진행되고 있다.

하지만 균열의 자기치유 특성은 그 균열의 형상 즉, 굴곡에 따라 큰 영향을 받기 때문에 균열 형상에 따라 자기치유 성능 평가 결과가 달라진다는 문제가 있다. 표면 균열 폭 측정방법은 자기치유에 의한 표면의 균열 폭 변화를 측정하여 자기치유 성능을 확인할 수 있는 실험 방법으로 균열의 치유를 직접 눈으로 확인할 수 있다는 장점이 있으나, 표면의 균열 폭 변화만을 확인하기 때문에 균열 내부의 자기치유 여부는 확인이 불가능하다는 문제점이 있다. 따라서 투수시험에 의한 균열 자기치유 성능평가에서 표면의 균열 폭은 자기치유 성능을 대표하지 못하는 특성이 있다. 투수시험에서 통과된 유량이 전체 시험체의 균열 형상을 반영하고 있기 때문에, 초기 유량을 통해 시험체의 등가의 초기 균열 폭을 산정하는 것이 필요하다.

이 논문에서는 균열 자기치유를 위해 GGBS, CA 등이 혼합된 변수의 배합을 도출하였다. 이를 통해 원심력을 이용한 성형방법인 원심성형 콘크리트를 제작하여 투수시험을 통한 시간-투수율 및 시간-예측 균열 폭을 비교 분석하여 이들의 상관관계를 분석하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

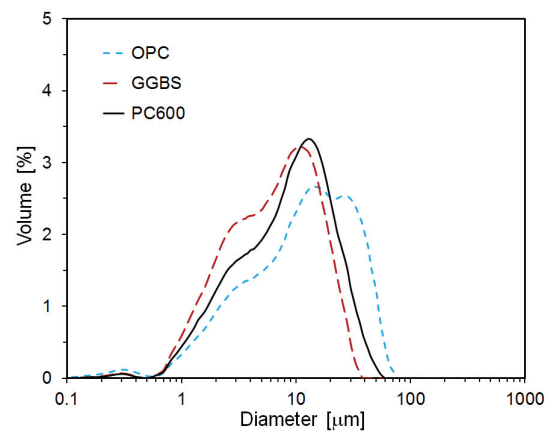
원심성형 콘크리트에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 적합한 시멘트로 밀도 3.18g/cm³, 분말도 3,880cm²/g의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였다. GGBS는 KS L 2563 콘크리트용 고로슬래그 미분말의 품질기준을 만족하였다. GGBS의 밀도는 2.87g/cm³, 분말도 4,280cm²/g이다. 사용된 시멘트 및 GGBS의 화학성분 및 물리적 성질은 다음 Table 1에 나타내었다. 화학분석은 XRD 기기분석을 통하여 산정한 결과이며, 사용된 기기는 LA-960, HORIBA이다. XRD 기기분석에 의한 OPC 및 GGBS 화학조성(Table 1 참조)을 기반으로 OPC의 주요광물인 C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF의 구성비는 중량비로 각각 62.0%, 16.1%, 2.5%, 12.1%이다. Fig. 1은 OPC와 GGBS의 입도분포를 나타내고 있다. 강도 증진용으로 사용되는 PC600은 SiO₂와 Al₂O₃의 함량이 OPC보다 높다.

2.2 Darcy flow

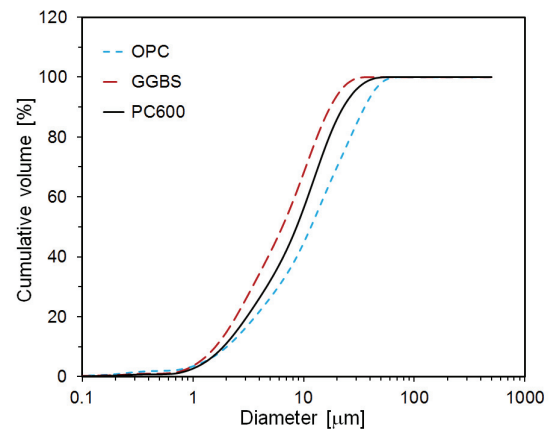
Darcy의 법칙은 다공성 매질을 통과하는 유체의 흐름에 대하여 관찰을 통해 얻은 경험식으로부터 유도된 법칙으로 투수계수가 유출수량과 시편의 두께에 비례하고, 시편의 단면적과 수위 차 및 측정시간에 대해 반비례 한다는 이론이다.

Table 1 Chemical compositions of raw materials used.

	Chemical Compositions (%)		
	OPC	GGBS	PC600
SiO ₂	18.6	29.13	21.9
Al ₂ O ₃	4.41	11.82	10.3
Fe ₂ O ₃	3.23	0.44	1.58
CaO	62.1	42.51	47.5
MgO	2.04	2.43	4.33
K ₂ O	1.22	0.52	0.55
Na ₂ O	0.26	0.2	0.45
TiO ₂	0.27	0.59	0.52
MnO	0.2	0.23	0.17
P ₂ O ₅	0.13	-	0.14
SO ₃	3.03	3.34	10.7
SrO	-	0.05	0.06
Sum	94.89	91.26	98.2



(a) Particle size distribution



(b) Cumulative

Fig. 1 Particle size distributions of raw material used.

$$k = \frac{Ql}{Aht} \quad (1)$$

여기서, Q 는 유출량 (mL), l 은 시편의 두께 (m), A 는 투수되는 시편의 단면적 (mm^2), h 는 수두 (mm), t 는 유출시간 (s), K 는 투수계수 (mm/s)이다.

식(1)에서 투수되는 시편의 단면적 대신 균열길이 (mm)를 사용하기 위해 식을 변형하여 변형 투수계수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$k_e = \frac{Ql}{l_c h t} \quad (2)$$

2.3 Poiseuille flow

Poiseuille의 흐름은 가는 둥근 관에 단위시간에 흐르는 유량이 관의 압력차와 관의 반지름에 4제곱에 비례하고 유체점성과 길이에 대해 반비례한다는 이론이다. 콘크리트 시편 내부를 가는 둥근 관으로 가정할 경우 Poiseuille 이론을 식(2)와 같이 변형하여 균열 콘크리트에서 유출량을 예측할 수 있다.

$$Q = \xi \frac{\Delta P b w^3}{12 \eta d} = \alpha w^3 \quad (3)$$

여기서, Q 는 유출량 (mL), ΔP 는 유입 균열면과 유출 균열면의 수압차 (N/mm^2), b 는 균열길이 (m), w 는 균열 폭 (m), η 는 유체의 점성계수 ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{mm}^2$), d 은 시편의 두께 (m), ξ 는 균열면에 대한 감소계수이다.

식(3)은 유출량이 균열면의 수압차와 균열폭의 세제곱에 비례하며, 유체의 점성계수와 시편의 두께에 반비례한다. 이에 균열폭과 균열면에 대한 감소계수가 중요한 인자가 되며, ξ , ΔP , b , η , d 를 특정값으로 결정하게 되면 상수(α)로 나타낼 수 있다.

2.4 배합 및 실험방법

Table 2는 원심성형 콘크리트에 대한 배합을 나타내고 있다. 콘크리트의 균열 자기치유 성능평가를 살펴보기 위해 GGBS의 치환율을 30%와 Anhydrite, Na_2SO_4 , 탈황석고 등으로 이루어진 CA를 사용하였다. 또한 모든 배합에서 강도 증진용으로 사용되는 PC600를 사용하였다. 적절한 플로우를 얻기 위해 화학혼화제를 바인더 중량비로 약 0.8% 적용하였으며, 고성능 감수제를 사용하였다.

원심성형 콘크리트를 제작하기 위해서 기존 원심성형 전신주 제조공정을 기반으로 한 배합이므로 고로슬래그 미분말과 자기치유 혼합제가 첨가되는 경우 성형공정이 수정되어야 한다. 원심성형 콘크리트 제작 시 회전속도(RPM) 및 회전시간

Table 2 Mixture proportions of centrifugal molding concrete

ID	Unit weight [kg]					
	Water	OPC	GGBS	PC600	FA	CA
0% Plain	2.9	5.9	-	-	-	-
30% S30	1.6	3.4	2.5	2.5	-	-
S30A5NS3	2.3	3.4	2.5	1.8	-	0.67

Table 3 Parameters of centrifugal molding conditions

	Initial speed		low speed		middle speed		high speed	
	RPM	min	RPM	min	RPM	min	RPM	min
Plain	130	3	130	3	290	1	590	5
Case 1	160	3	160	3	340	1	660	5
Case 2	190	3	190	3	390	1	730	5
Case 3	130	3	130	3	290	3	590	3
Case 4	130	3	130	4	290	1	590	4
Case 5	130	3	130	5	290	1	590	3

(min)이 중요한 조건이 되며, 실험변수에 대한 원심성형 조건을 Table 3과 같은 조건에 의해 제작하였다.

제작된 원심성형 콘크리트를 콘크리트용 코어 절단기를 이용하여 곡률이 있는 100 mm × 40 mm 시험체로 제작하였다. 제작된 시험체의 투수시험을 위하여 Rilem TC 221에서 제시된 시험방법을 기반으로 하였다. 균열은 Fig. 2와 같이 할렬인장 시험방법을 이용하여 인장균열을 유도한 후 시험체를 완전히 두 조각으로 분리한 뒤 균열 면에 직경 약 0.1 mm 구리선을 균열 사이에 삽입하여 균열 간격을 유지시킨 후 다시 합치는 방법으로 균열 폭을 제어하였다. 실험 중 균열 폭의 변동을 방지하기 위해 고무링에 시험체를 넣고 강철 클램프로 고정 한 후 투수시험을 수행하였다. 시편의 균열 폭은 광학현미경을 이용하여 측정하였으며, 측정된 시험체의 초기 균열폭의 평균은 약 250 μm 로 측정되었다.

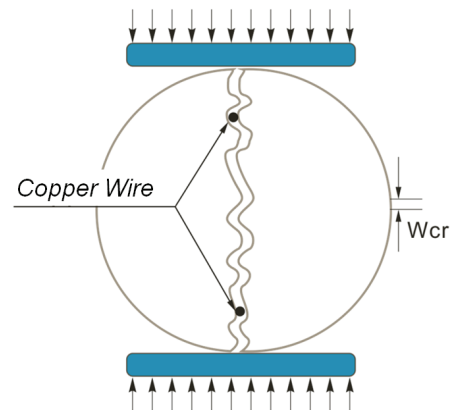


Fig. 2 Specimen for permeability test

투수시험은 Nishiwaki et al.의 실험 방법을 참고하여 Fig. 3 과 같이 수행하였으며, 균열을 생성한 시편은 에폭시를 이용하여 시편의 결부분을 코팅하여 수분의 누수(leakage)가 발생 하지 않도록 하였다. 투수시험에 사용한 물은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 수용 액을 이용하였으며, 실험을 수행하는 동안 수온을 20°C 로 유지하였다. 수두는 220mm로 일정하게 하였다.

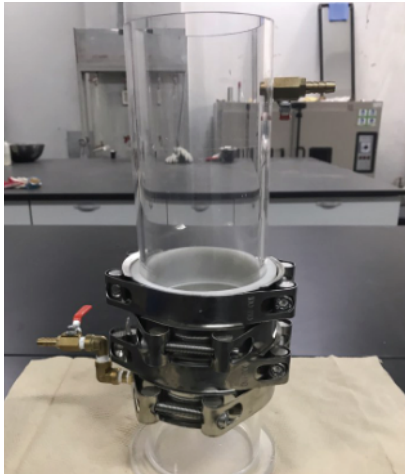


Fig. 3 permeability test set-up

3. 실험 결과 및 분석

3.1 초기 균열폭과 유출량의 상관관계

초기 균열폭과 유출량의 상관관계를 도출해 내기 위해서 유출량, 시편의 크기, 수두차, 유출시간 등 동일한 조건이 아닌 경우에서 실험한 데이터를 이용하였다. 먼저, 연구를 통해 실시한 페이스트 투수시험 결과와 M.Roig Flores et al. 2016의 논문에서 수행된 투수시험 결과를 사용하였다. 논문에 사용된 그래프의 값들을 추출해 내기 위해 Graph Data Extractor 프로그램을 이용하였고 추출한 데이터를 이용하여 x 축은 초기 균열 폭 (mm) y 축은 단위 균열길이 (mm)당 투수량 (mL/min)으로서 식 (2)를 이용하여 그래프로 나타내었다.

Fig. 4와 같이 초기 균열폭-균열 길이당 투수량 그래프를 나타내었다. 연구를 통해 얻은 데이터는 초기 균열폭이 0.05~0.30mm와 균열 길이당 투수량이 0~0.024mL/mm/min의 범위에서 분포하고 있는 것을 확인하였다. 이에 데이터 범위에서 균열 폭이 작음에도 투수량이 큰 데이터는 결보기 균열 폭은 작은 것으로 나타났지만 시편 내부에서의 균열 폭이 커 투수량이 크게 나온 것으로 판단된다. 또한 M.Roig Flores et al. 2016 논문에서 데이터는 초기 균열폭이 0.05~0.55mm와 균열 길이당 투수량이 0~0.12mL/mm/min의 범위에서 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 균열 폭이 다소 작고 투수량

이 적은 구간에서 연구를 통해 얻은 데이터가 많이 분포하고 있었지만 균열 폭과 투수량이 넓은 범위에서 분포하고 있는 M.Roig Flores et al. 2016 논문과 통합하여 경향을 나타낸 결과, 균열 폭의 세제곱의 함수로 나타낼 수 있었다. 또한, 초기 균열폭과 단위균열당 투수량의 데이터를 power 함수에 대한 회귀분석 결과로부터 α 값을 도출하였다. 측정데이터와 회귀식 사이의 상관도는 0.5 정도로 나타났다. 산출된 α 값은 평균 1.4이었으며, 표준편차는 0.4이다.

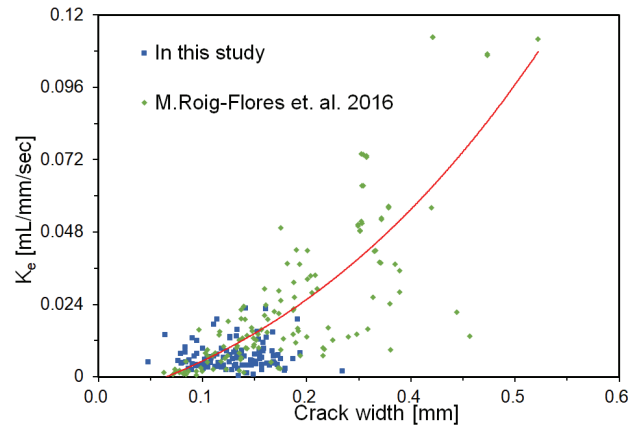


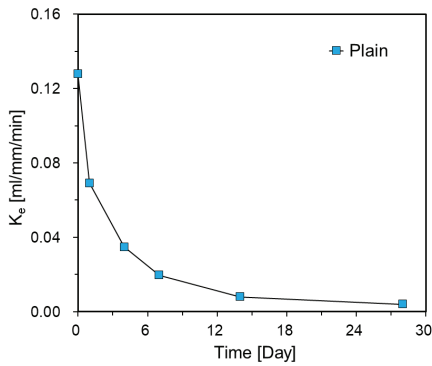
Fig. 4 Crack width- K_e result

3.2 시간과 균열길이당 투수량의 상관관계

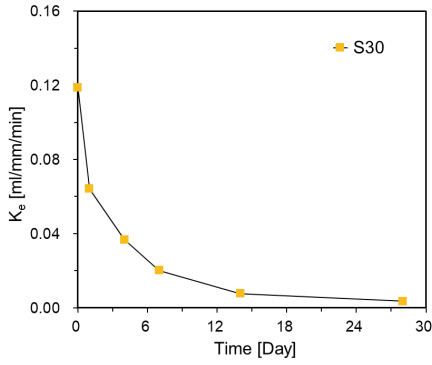
Fig. 5는 원심성형 콘크리트에 대한 투수시험 결과를 나타내고 있다. 측정된 투수량을 식 (2)를 통해 변형 투수계수를 시간에 따라 나타내었다. Plain 배합과 S30 배합에 대한 그래프 분석 결과, 변형 투수계수의 경향은 비슷하였으며, 균열 후 치유시간 28일에서 변형 투수계수가 0.004mL/mm/sec 로 유사하게 나타났다. S30A5NS3의 경우 재령 약 2일에서 변형 투수계수가 급격하게 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 재령 14일에서 투수계수가 0에 근접하여 균열이 완전히 치유된 것으로 판단된다.

3.3 치유 시간에 따른 균열 폭

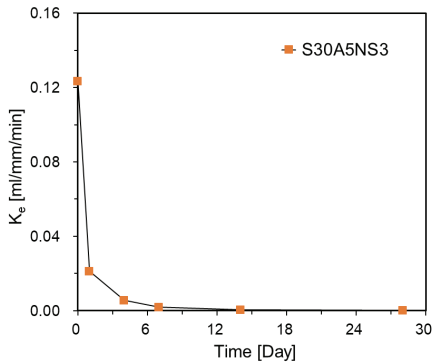
앞 절에서 분석한 결과를 바탕으로 α 값은 1.4로 사용하여 식 (3)을 이용하여 시간에 따른 단위 균열길이당 투수량을 예측하였다. 시간-균열 폭에 대한 그래프를 Fig. 6에 나타내었다. 실선은 α 값을 이용하여 평균값에 대한 그래프로 나타내었고 점선은 평균값에 대한 오차범위를 설정하여 상한선 및 하한선을 그래프에 나타내었다(평균 \pm 표준편차). Plain 및 S30 에서는 시간에 따른 변형 투수계수의 경향이 유사하게 나타났다. 치유 재령 28일에서 균열 폭이 각각 0.143mm, 0.136mm로 0일에 비해 약 각각 68%, 67%까지 감소하는 것으로 나타났다. S30A5NS3 배합에서는 치유 재령 28일에서 균열 폭이 0.052mm로 0일에 비해 약 87%까지 감소하는 것으로



(a) Plain

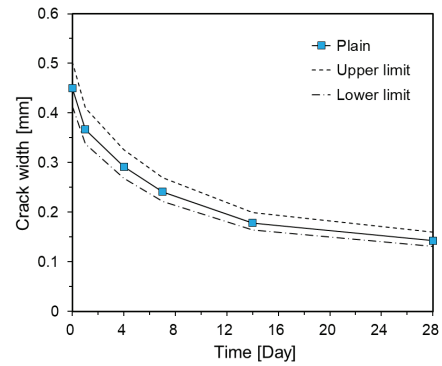


(b) S30

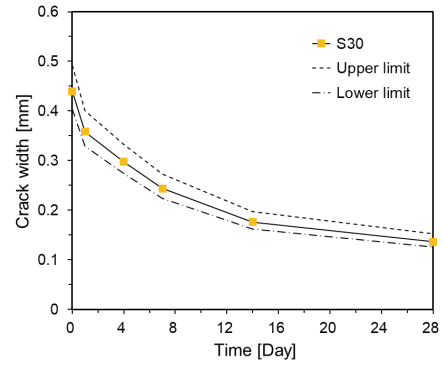


(c) S30A5NS3

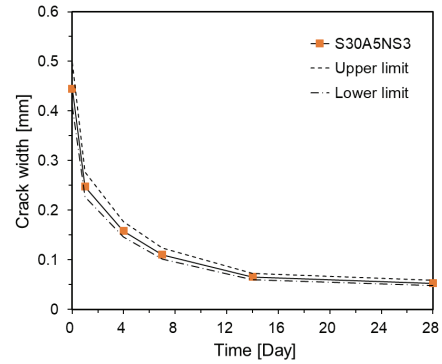
Fig. 5 Time- K_e results (Plain, S30, S30A5NS3)



(a) Plain specimen



(b) S30



(c) S30A5NS3

Fig. 6 Time-Crack width results (Plain, S30, S30A5NS3)

나타났다. Plain과 S30 배합에 비해 S30A5NS3 배합에서 뚜렷하게 균열 폭이 감소하는 것을 볼 수 있었고, 치유 재령 28일에서 균열 폭이 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 GGBS 혼입률에 따른 원심성형 콘크리트를 제작하였으며, 투수시험을 통해 자기치유 성능평가를 수행하였다. 실험결과를 변형 투수계수로 나타내었으며, 시간에 따른 균열 자기치유의 특성을 명확히 나타내기 위해 Poiseuille

flow 원리에 의해 변형 투수계수를 증가의 균열 폭으로 나타내었다. 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기 균열 폭에 비해 투수량이 큰 경우, 겉보기 균열 폭과 시편 내부의 균열 폭에서 편차가 크게 발생하여 나타난 현상으로 판단된다. 이에 초기 균열 폭이 아닌 신뢰할 수 있는 균열 폭이 필요한 것으로 사료된다.
- (2) Plain 및 GGBS 치환율 30% 배합에서의 시간-균열길이 당 투수량은 유사한 경향을 보이며 재령 28일에서 변형 투수계수가 각각 96%, 90%의 감소율을 보이고 있다.
- (3) S30A5NS3의 경우 변형 투수계수는 재령 약 2일에서 급격하게 감소하는 것으로 나타났고, 재령 약 14일에서 투

수량이 0으로 균열이 완전히 치유된 것으로 나타났다.

- (4) Plain 및 S30 배합의 재령 28일에서 균열 폭이 초기에 비해 각각 68%, 67%의 감소율을 보이고 있으며, 유사한 경향을 보이고 있다.
- (5) GGBS와 CA를 첨가한 S30A5NS3의 경우 재령 28일의 변형 투수계수가 0으로 완전히 치유된 것으로 보이며, 균열 폭의 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 환경산업선진화기술개발사업에서 지원받았습니다(No. 2017000150001).

References

B. Park, Y. C. Choi, S. W. Cha, S. C. Choi, *Quantitative evaluation of self-healing efficiency in cracked cementitious material using modified absorption test*, HealCON-conference, Delft, Netherlands, 2016.

H. Huang, G. Ye, *Simulation of self-healing by further hydration in cementitious materials*, Cem. Conc. Compos., 34(2012), 460-467.

H. M. Jonkers, *Bacteria-based self-healing concrete*, Heron, 56(2011), 1-12.

J. Wang, K. V. Tittelboom, N. D. Belie, W. Verstraete, *Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete*, Constr. Build. Mater., 26(2012), 532-540.

J. Wang, N. D. Belie, W. Verstraete, *Diatomaceous earth as a protective vehicle for bacteria applied for self-healing concrete*, J. Ind. Microbiol. Biotechnol., 39(2012), 567-577.

K. Sisomphon, O. Copuroglu, E.A.B. Koenders, *Self-healing of surface cracks in mortars with expansive additive and crystalline additive*, Cem. Conc. Compos., 34(2012), 566-574.

K. V. Tittelboom, E. Gruyaer, H. Rahier, N. D. Belie, *Influence of mix composition on the extent of autogenous crack healing by continued hydration or calcium carbonate formation*, Constr. Build. Mater., 37(2013), 349-359.

K. V. Tittelboom, N. D. Belie, D. V. Loo, P. Jacobs, *Self-healing efficiency of cementitious materials containing tubular capsules*

filled with healing agent, Cem. Concr. Compos., 33(2011), 497-505.

Li, J., Tharakan, P., Macdonald, D., Liang, X. (2013), *Technological, economic and financial prospects of carbon dioxide capture in the cement industry*, Energy Policy, 61, 1377-1387.

M. Roig-Flores, F. Pirritano, P. Serna, L. Ferrara, *Effect of crystalline admixtures on the self-healing capability of early-age concrete studied by means of permeability and crack closing tests*, Constr. Build. Mater., 114(2016), 447-457.

M. Sahmaran, G. Yildirim, T. K. Erdem, *Self-healing capability of cementitious composites incorporating different supplementary cementitious materials*, Cem. Conc. Compos., 35(2013), 89-101.

M. Wua, B. Johannesson, M. Geiker, A review: *Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material*, Constr. Build. Mater., 28(2012), 571-583.

N. Hearn, *Self-sealing, autogenous healing and continued hydration: what is the difference?* Mater. Struct., 31(1998), 563-567.

P. Termkhajornkit, T. Nawa, Y. Yamashiro, T. Saito, *Self-healing ability of fly ash-cement systems*, Cem. Concr. Compos., 31(2009), 195-203.

S. Granger, A. Loukili, G. Pijaudier-Cabot, G. Chanvillard, *Experimental characterization of the self-healing of cracks in an ultra high performance cementitious material: Mechanical tests and acoustic emission analysis*, Cem. Concr. Res., 37(2007), 519-527.

S. Jacobsen, E.J. Sellevold, *Self-healing of high strength concrete after deterioration by freeze/thaw*, Cem. Concr. Res., 2(1995), 55-62.

S. Jacobsen, J. Marchand, L. Boisvert, *Effect of cracking and healing on chloride transport in OPC concrete*, Cem. Concr. Res., 26(1996), 869-881.

T. Nishiwaki, H. Mihashi, B. K. Jang, K. Miura, *Development of self-healing system for concrete with selective heating around crack*, J. Adv. Concr. Technol., 4(2006), 267-275.

T.H. Ahn, T. Kishi, *Crack self-healing behavior of cementitious composites incorporating various mineral admixtures*, J. Adv. Concr. Technol., 8(2010), 171-186.

V. Wiktor, H.M. Jonkers, *Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete*, Cem. Concr. Compos., 33(2011), 763-770.

Z. Zhang, S. Qian, H. Ma, *Investigating mechanical properties and self-healing behavior of micro-cracked ECC with different volume of fly ash*, Constr. Build. Mater., 52(2014), 17-23.

Received : 03/09/2018

Revised : 04/16/2018

Accepted : 04/26/2018

요 지 : 최근 자기치유 재료에 대한 연구는 보수하기 힘들거나, 보수비용이 많이 소요되는 구조물에 대해 구조물 스스로 손상을 치유하여 사용수명을 증가시키기 위해 많이 수행되어오고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 자기치유 평가 방법으로는 투수시험이 있다. 하지만, 자기치유 평가 방법에서 자기치유 성능은 콘크리트의 초기 균열 폭에 큰 영향을 받지만 일관된 기준을 가지고 있지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 기존 연구에서 사용한 균열 폭과 투수량을 기반으로 균열 폭-투수량의 상관관계와 시간-투수량의 상관관계를 분석하였다. 또한, 광학현미경을 이용하여 측정된 초기 균열 폭은 신뢰성이 떨어지므로 Poiseuille flow에서 α 값을 도출하여 시간-균열 폭에 대한 상관관계를 분석하여 시간-투수량과 시간-균열 폭에 대한 경향을 분석하였다.

핵심용어 : 자기치유, 투수시험, 원심성형, GGBS