

알칼리 활성화 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트의 장기 내구성 평가

Long-Term Durability Estimation of Cementless Concrete Based on Alkali Activated Slag

이현진¹ · 이석진² · 배수호^{1*} · 권순오¹ · 이광명³ · 정상화⁴Hyun-Jin Lee¹ · Seok-Jin Lee² · Su-Ho Bae^{1*} · Soon-Oh Kwon¹ · Kwang-Myong Lee³ · Sang-Hwa Jung⁴

(Received May 23, 2016 / Revised June 13, 2016 / Accepted June 15, 2016)

It has been well known that concrete structures exposed to chloride and sulfate attack environments lead to significant deterioration in their durability due to chloride ion and sulfate ion attack. The purpose of this experimental research is to evaluate the long-term durability against chloride ion and sulfate attack of the alkali activated cementless concrete replacing the cement with ground granulated blast furnace slag. For this purpose, the cementless concrete specimens were made for water-binder ratios of 40%, 45%, and 50%, respectively and then this specimens were cured in the water of 20±3°C and immersed in fresh water, 10% sodium sulfate solution for 28, 91, 182, and 365 days, respectively. To evaluate the long-term durability to chloride ion and sulfate attack for the cementless concrete specimens, the diffusion coefficient for chloride ion and compressive strength ratio, mass change ratio, and length change ratio were measured according to the NT BUILD 492 and JSTM C 7401, respectively. It was observed from the test results that the resistance against chloride ion and sulfate attack of the cementless concrete were comparatively largely increased than those of OPC concrete irrespective of water-binder ratio.

키워드 : 무시멘트 콘크리트, 고로슬래그 미분말, 장기 내구성, 염소이온 침투 저항성, 황산염 침투 저항성

Keywords : Cementless concrete, Ground granulated blast furnace slag, Long-term durability, Resistance against chloride ion attack, Resistance against sulfate attack

1. 서론

최근, 우리나라는 세계 10위 온실가스 배출국 선정 및 지구온난화 문제의 이슈화로 인해 탄소저감 기술 개발을 위한 지속적인 노력을 하고 있다(Kim 2010). 국내 건설 산업 분야에서도 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있는데(Bae et al. 2013), 이는 콘크리트의 주 원료인 시멘트의 생산과정에서 전체 탄소 배출량의 약 6.5%인 연간 4,500만톤의 CO₂를 배출하기 때문이다(Jung et al. 2015). 이에 따라 결합재로서 시멘트 대신에 고로슬래그 미분말(ground granulated blast furnace slag, GGBFS)이나 플라이애시(fly ash)의 비소성 바인더를 사용한 무시멘트 콘크리

트에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다(Kim et al. 2014; Park et al. 2015). 무시멘트 콘크리트를 활용하면 대폭적인 탄소배출량 저감 효과 뿐만 아니라 높은 초기 강도 및 고강도 발현 등의 장점이 있다(Oh 2014).

무시멘트 콘크리트는 알칼리 활성화제의 종류 및 첨가량에 따라 콘크리트의 특성 변화가 심해 제어가 어려울 뿐만 아니라 급격한 유동성 손실이라는 단점을 가지고 있으나(Collins and Sanjayan 1999), GGBFS를 콘크리트에 적정량 활용함으로써 장기강도 증진, 수화열 저감, 수밀성·내해수성·내화학적 증대 등의 다양한 효과를 가져올 수 있다.

한편, 콘크리트의 내구수명을 저하시키는 대표적인 요인으로

* Corresponding author E-mail: shbae@andong.ac.kr

¹안동대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Andong National University, Andong, 36729, Korea)

²(주)포스코건설 인프라 사업본부 (Infrastructure Division Senior Vice president POSCO E&C, Incheon, 22009, Korea)

³성균관대학교 건설환경시스템공학과 (Department of Civil & Environmental System Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea)

⁴한국건설생활환경시험연구원 첨단건설재료센터 (Advanced Construction Materials Testing Center, Korea Conformity Laboratories, Seoul, 08503, Korea)

염소이온 침투와 황산염 침투를 들 수 있다. 염소이온 침투는 콘크리트가 염해 환경에 노출되었을 때 염소이온의 침투·확산에 의해 철근을 부식시켜 콘크리트의 수명을 단축시키는 현상이고, 황산염 침투는 황산염 이온이 콘크리트 내부에 침투하여 수산화칼슘과 반응하여 석고(gypsum)를 생성함으로 연화작용 및 강도저하를 일으키고(Mehta 1983), 또한 석고와 C₃A가 반응하여 에트리징아이트(ettringite)를 생성함으로써 콘크리트 부피 팽창 및 균열에 의해 내구수명 저하를 일으키는 현상이다.

따라서, 본 연구에서는 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트(이하 '무시멘트 콘크리트'라 한다)의 장기 내구성을 평가하기 위하여, 물-결합재비 40%, 45% 및 50% 각각에 대해서 무시멘트 콘크리트 공시체를 제작한 후, NT BUILD 492(1999) 및 JSTM C 740I(1999) 각각에 따라 이들의 염소이온 침투 저항성과 황산염 침투 저항성을 평가하였다. 염소이온 침투 저항성은 장기 표준 양생한 무시멘트 콘크리트 공시체의 염소이온 확산계수에 의해서 평가하였으며, 황산염 침투 저항성은 10% 황산나트륨 용액에 장기 침지한 무시멘트 콘크리트 공시체의 압축강도 비, 질량 변화율 및 길이 변화율에 의해 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

무시멘트 콘크리트를 제작하기 위하여 결합재로서 Table 1과 같은 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 잔골재와 굵은골재는 각각 경북 안동에서 생산된 낙동강산 하천사와 부순돌을 이용하였

으며, 이들의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 무시멘트 콘크리트의 유동성 조절을 위한 화학혼화제는 Table 3과 같은 폴리카르본산계의 고성능 감수제(superplasticizer, SP)를 사용하였으며, 알칼리 활성화제는 수산화나트륨(NaOH)과 공업용 물유리 3종을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 공시체 제작

무시멘트 콘크리트를 제작하기 위하여 Table 4와 같이 물-결합재비는 40%, 45% 및 50%로, 목표 슬럼프는 150±25mm로 설정하였으며, 알칼리 활성화제 Na₂O는 고로슬래그 미분말 질량비로 6% 사용하였고, 물유리의 모듈(Ms; SiO₂/Na₂O)은 1.0으로 고정하였다. 한편, 본 연구의 무시멘트 콘크리트는 시멘트 전량을 고로슬래그 미분말로 대체한 알칼리 활성 슬래그 콘크리트, 일반 콘크리트와는 제조방법 및 특성이 상이하므로, 무시멘트 콘크리트의 특성과 비교하기 위한 OPC 콘크리트의 배합비를 도출하기가 어려워서, OPC 콘크리트의 배합비는 기존의 연구결과를 이용하였다(Bae et al. 2009; 2010). KS F 2403(2014)에 따라 원주형 공시체(∅100×200mm) 및 각주형 공시체(100×100×400mm)를 제작하였으며, 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거한 후, 염소이온 침투 시험을 위한 공시체는 시험 재령 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였으며, 황산염 침투 시험을 위한 공시체는 JSTM C 740I에 따라 전처리를 거친 후 황산염 용액(10% 황산나트륨)에 침지하였다.

Table 1. Physical properties and chemical composition of mineral admixture

Type	Specific gravity	Blain fineness (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	MnO
GGBFS	2.89	4,250	33.70	13.80	0.11	44.04	5.20	1.23	0.74	0.24

Table 2. Physical properties of aggregates

Type	G _{max} (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Unit mass (kg/m ³)	Amount of passing 0.08mm sieve (%)	Fineness modulus
River sand	-	2.54	2.15	1,660	2.25	2.72
Crushed stone	25	2.65	1.22	1,648	-	7.27

Table 3. Properties of chemical admixture

Type	Specific gravity	pH	Solid content (%)	Quantity (%) (by mass of cement)	Main component
Superplasticizer	1.05	3~4	18	0.5~2.5	Polycarbonic acid admixture

Table 4. Mix proportions of cementless concrete

W/B (%)	S/a (%)	Unit mass(kg/m ³)					SP (B×%)	Na ₂ O/Binder (%)	Ms (SiO ₂ /Na ₂ O)
		W	C	GGBFS	S	G			
OPC	38	47	164	432	-	795	907	1.0	-
	43	47	165	388	-	811	925	1.0	
40	50.5	165	-	412.5	840.1	849.1	1.4	6	1.0
45	50.0	165	-	366.7	852.1	878.6	1.2		
50	49.5	165	-	330.0	859.7	904.4	1.3		

2.2.2 염소이온 침투 저항성 평가

무시멘트 콘크리트의 염소이온 침투 저항성을 평가하기 위하여 북유럽에서 규격화된 NT BUILD 492 방법으로 염소이온 확산계수를 평가하였다. 콘크리트 시편은 공시체 중앙부에서 두께 50±2mm로 절단하고, 처음 절단부에 보다 가까운 단 표면을 염소이온 용액에 노출되는 면으로 하였다. 그 후, Fig. 1과 같이 진공공기에 거치하여 1~5kPa의 압력 범위로 3시간 동안 유지시켜 진공상태에서 포화 수산화칼슘 용액에 침지시키고, 일정 시간 동안 공기가 유입되기 전까지 진공상태를 유지시킨 후 18±2시간 동안 정치하였다. 음극셀은 10%의 NaCl 수용액을, 양극셀은 0.3M의 NaOH 수용액을 사용하였으며, Figs. 2 및 3과 같이 확산셀 장치를 구성한 후, 전원공급장치를 이용하여 30V의 전압을 걸고 초기전류를 측정하였다. 초기전류의 크기에 따라 전압 및 시험 시간을 결정하고, 시험이 끝나면 콘크리트 시편을 축방향으로 2개의 조각으로 할렬하여 그 단면에 0.1M AgNO₃ 용액을 분무하여 염소이온 침투깊이를 측정하였다.

측정된 결과를 근거로 식 (1)을 이용하여 염소이온 확산계수를 구하였다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \tag{1}$$

$$E = \frac{U-2}{L}$$

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \operatorname{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$$

여기서, D 는 염소이온 확산계수(m²/s), z 는 염소이온 원자의 절대값($z = 1$), F 는 패러데이 상수(9.648×10^4 , J/(V · mol)), U 는 적용 전압의 절대값(V), R 은 기체상수(8.314 , J/(K · mol)), T 는 양극용액에서 초기 및 최종 온도의 평균값(K), L 은 시편의 두께(m), x_d 는 염소이온 침투깊이의 평균값(m), t 는 실험 시간(sec), erf^{-1} 은 error function의 역, c_d 는 변색부에서의 염소이온 농도(OPC 콘크리트의 경우, $c_d=0.07N$)이며, c_0 는 음극용액에서 염소이온 농도($c_0=2N$)이다.

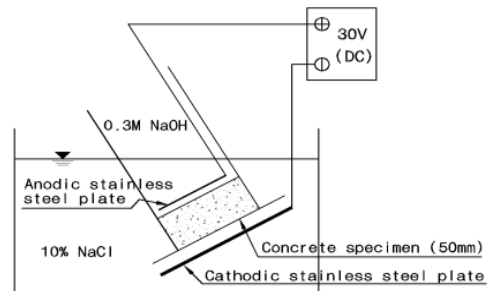


Fig. 2. Detail of migration set-up



Fig. 1. Pre-treatment of cementless concrete specimen

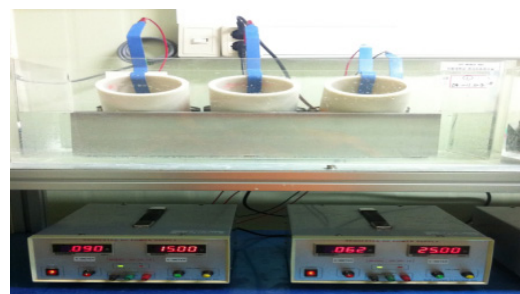


Fig. 3. Arrangement of migration set-up

2.2.3 황산염 침투 저항성 평가

콘크리트의 내약품성 시험 방법은 ASTM C 1012(2007)에도 명시되어 있으나, 이는 모르타르에 의한 시험 방법이므로, 이 연구에서는 JSTM C 7401의 “콘크리트의 용액침지에 의한 내약품성 시험 방법”에 의하여 황산염 침투 저항성 시험을 수행하였다. 이 시험 방법은 산 또는 염류 등의 용액에 공시체를 소정의 기간 동안 침지시켜 측정치의 변화를 표준양생시킨 공시체와 비교하여 내약품성을 평가하는 방법으로, 이 방법에 제시된 약품 중, 황산염인 10% 황산나트륨 용액을 선정하여 시험을 수행하였다. 이를 위하여 Fig. 4와 같이 피복하지 않은 공시체의 전처리 과정을 시행한 후, Fig. 5와 같이 공시체를 10% 황산나트륨 용액에 침지하였다.

일반적으로 황산염 침투 저항성은 압축강도 비, 질량 변화율 및 길이 변화율로 평가하는데, 이들은 각각 식 (2)~(4)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{압축강도비} = \frac{\sigma}{\sigma_w} \quad (2)$$

여기서, σ : 시험용액에 침지한 공시체의 압축강도(MPa)
 σ_w : 표준양생한 공시체의 압축강도(MPa)

$$\text{질량 변화율}(\%) = V - V_w \quad (3)$$

여기서, V : 시험용액에 침지한 공시체의 초기치에 대한 변화율의 평균치

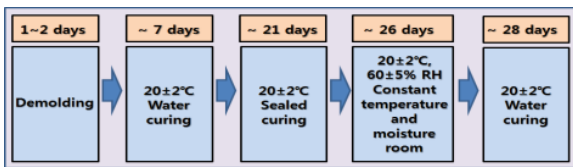


Fig. 4. Pre-treatment process of cementless concrete specimens

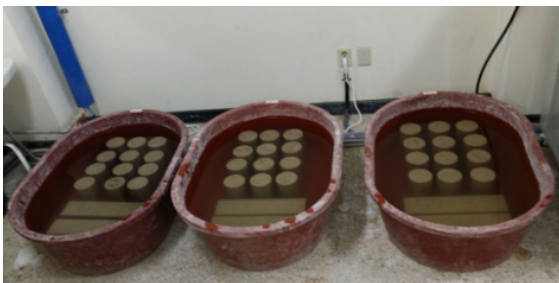


Fig. 5. Specimens immersed in Na₂SO₄ solution

V_w : 표준양생한 공시체의 초기치에 대한 변화율의 평균치

$$\text{길이변화율}(\%) = L - L_w \quad (4)$$

여기서, L : 시험용액에 침지한 공시체의 측정치와 초기치와의 차의 평균치

L_w : 표준양생한 공시체의 측정치와 초기치와의 차의 평균치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 염소이온 침투 저항성

일반적으로 콘크리트의 염소이온 침투 저항성은 염소이온 확산계수로 평가되는데, 염소이온 확산계수가 작을수록 염소이온 침투 저항성이 우수한 것을 나타낸다. Fig. 6은 무시멘트 콘크리트의 물-결합재비에 따른 염소이온 확산계수를 나타낸 것으로, OPC 콘크리트 및 무시멘트 콘크리트의 재령 28일부터 365일까지의 염소이온 확산계수는 각각 $(7.5 \sim 16.0) \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$, $(0.4 \sim 1.7) \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 로 나타나, 염소이온 침투 저항성은 후자가 전자보다 약 9~18배 대폭 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 무시멘트 콘크리트의 염소이온 침투 저항성은 물-결합재비가 작고 재령이 증가할수록 우수한 것으로 나타났으며, 재령 365일의 장기 염소이온 침투 저항성은 OPC 콘크리트보다 약 18배 증가하는 것으로 나타나, 무시멘트 콘크리트의 장기 염소이온 침투 저항성은 대폭 개선되는 것으로 나타났다. 이것은 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트는 C₃A의 감소에 의해 석고와 에트린자이트와 같은 반응생성물의 감소와 포졸란 및 잠재수경성 반응에 의한 C-S-H의 생성으로 밀실한 조직

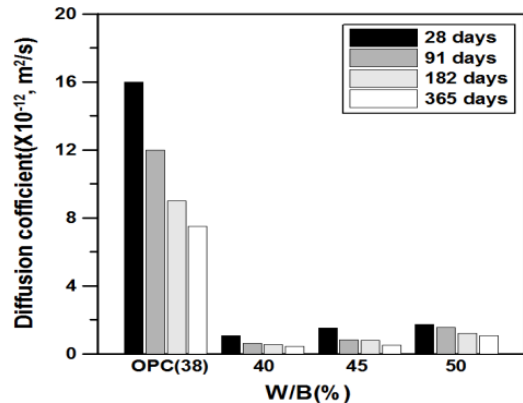


Fig. 6. Diffusion coefficient for chloride ion

을 형성시킴으로써 공극의 치밀화로 인해 전공극률이 감소하기 때문인 것으로 판단된다(Hong et al. 2015; Kim et al. 2013).

3.2 황산염 침투 저항성

3.2.1 압축강도 비

Fig. 7은 황산염 용액에 28일 및 365일 침지한 무시멘트 콘크리트의 외관 변화를 나타낸 것이고, Fig. 8은 무시멘트 콘크리트의 물-결합재비에 따른 압축강도 비를 나타낸 것이다. 압축강도 비는 표준양생한 콘크리트의 압축강도에 대한 황산염 용액에 침지한 콘크리트의 압축강도를 나타내며, 압축강도 비가 클수록 황산염 침투에 대한 저항성이 우수한 것을 나타낸다. OPC 콘크리트 및 무시멘트 콘크리트의 재령 28일부터 365일까지의 압축강도 비는 각각 0.08~0.92, 0.87~0.97로, 재령 365일의 장기 압축강도 비는 후자가 전자보다 11배 증가하는 것으로 나타나, 무시멘트 콘크리트의 황산염 침투에 대한 저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났다. OPC 콘크리트의 압축강도 비는 침지 재령이 증가함에 따라 크게 저하되나, 무시멘트 콘크리트의 압축강도 비는 물-결합재비에 관계 없이 침지 재령이 증가하여도 크게 저하되지 않는 것으로 나타나, 황산염 침투 환경에 노출된 무시멘트 콘크리트의 압축강도 저하율은 매우 작은 것으로 나타났다. 이것은 OPC 콘크리트는 각



Fig. 7. Visual appearance changes of cementless concrete Immersed in Na_2SO_4 solution

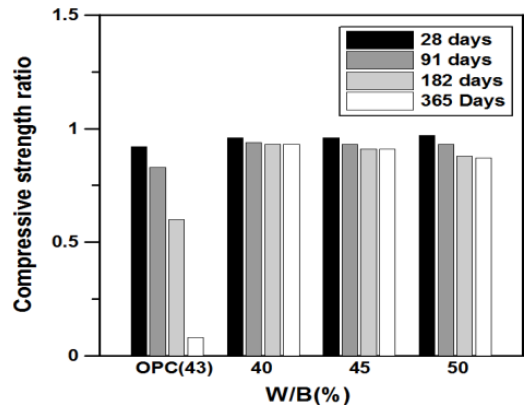


Fig. 8. Compressive strength loss ratio

구성 매트릭스들의 경계면이 취약하지만 알칼리 활성 무시멘트 콘크리트는 각 매트릭스의 경계면을 취약하게 만드는 조악한 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 존재하지 않으며, 알칼리 활성화제에 의해 골재 표면의 점토질과 같은 물질들이 용해되어 보다 강한 경계면을 갖기 때문인 것으로 판단되고, 또한 치밀한 내부조직과 함께 각 매트릭스 사이의 강한 경계요소는 알칼리 활성 무시멘트 콘크리트가 화학약품에 대한 높은 저항성을 갖는 것으로 규명되고 있다(Yang and Song 2007).

3.2.2 질량 변화율

Fig. 9는 무시멘트 콘크리트의 물-결합재비에 따른 질량 변화율을 나타낸 것으로, 질량 변화율은 황산염 용액에 침지한 콘크리트의 초기치에 대한 질량 변화율과 표준양생한 콘크리트의 초기치에 대한 질량 변화율의 차를 나타내며, 질량 변화율이 작을수록 황산염 침투에 대한 저항성이 우수한 것을 나타낸다. OPC 콘크리트 및 무시멘트 콘크리트의 재령 28일부터 365일까지의 질량 변화

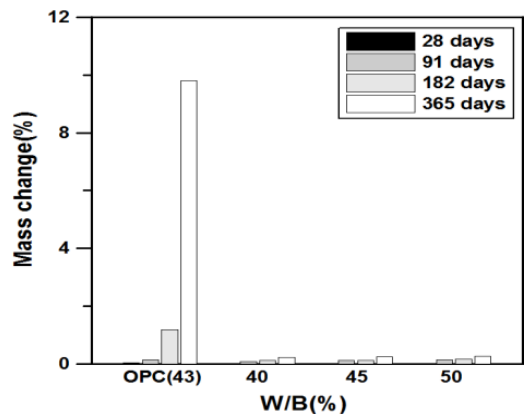


Fig. 9. Mass change ratio

율은 각각 0.03~9.80, 0.02~0.27로, 후자가 전자보다 약 1.5~36 배 감소하여 황산염 침투 저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났다. OPC 콘크리트는 침지 재령이 증가함에 따라 질량 감소율이 대폭 증가되나, 무시멘트 콘크리트는 물-결합재비에 관계 없이 침지 재령이 증가하여도 질량 감소율이 매우 작은 것으로 나타났고, 재령 365일의 장기 질량 변화율은 OPC 콘크리트보다 약 36배 감소하는 것으로 나타나, 황산염 침투 환경에 노출된 무시멘트 콘크리트의 질량 감소율은 매우 작은 것으로 나타났다. 이것은 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트는 포졸란 반응이 진행되면서 수산화칼슘이 소비되어 OPC 콘크리트보다 석고 및 에트린자이트의 생성이 감소되므로 황산염 용액에서 연화 및 열화 작용이 저하되었기 때문인 것으로 판단된다(Bae et al. 2010; Park et al. 2016).

3.2.3 길이 변화율

Fig. 10은 무시멘트 콘크리트의 물-결합재비에 따른 길이 변화율을 나타낸 것으로, 길이 변화율은 황산염 용액에 침지한 콘크리트의 측정치와 초기치와의 차에서 표준양생한 콘크리트의 측정치와 초기치와의 차를 뺀 값을 나타내며(마이너스(-)는 수축, 플러스(+)는 팽창), 길이 변화율이 작을수록 황산염 침투에 대한 저항성이 우수한 것을 나타낸다. 무시멘트 콘크리트의 재령 28일부터 365일까지의 길이 변화율은 -0.018~0.024로, 물-결합재비가 작은 무시멘트 콘크리트의 초기 침지 재령의 경우, 수화물 중의 수산화 칼슘과 황산염의 반응으로 인한 석고와 같은 팽창 수화물의 발생 지연으로, 초기에 수축을 일으키다가 침지 재령이 증가할수록 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 무시멘트 콘크리트의 길이 변화율은 물-결합재비가 크고 침지 재령이 증가할수록 약간 증가하나, 장기 침지 재령 365일에서도 0.03% 이하로 매우 작은 것으로

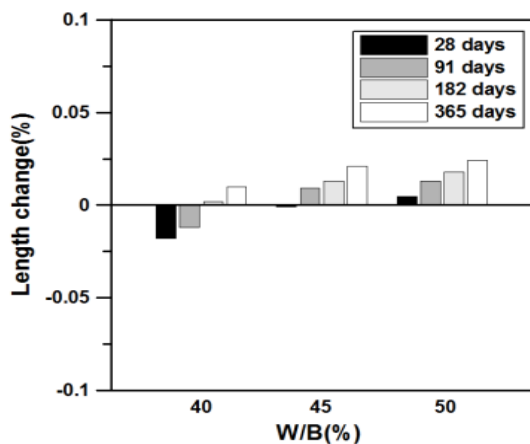


Fig. 10. Length change ratio

나타나, 황산염 침투 환경에 노출된 무시멘트 콘크리트의 길이 변화율은 매우 작은 것으로 나타났다. 이것 또한 ‘3.2.2 질량 변화율’에서 분석한 것과 마찬가지로 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트는 포졸란 반응 진행 중 수산화칼슘의 소비에 따른 석고 및 에트린자이트의 감소로 인해 황산염 용액에서 연화 및 열화 작용이 저하되기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

NT BUILD 492 및 JSTM C 7401 각각에 따라 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트의 물-결합재비에 따른 장기 염소이온 침투 저항성 및 황산염 침투 저항성을 평가한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 무시멘트 콘크리트의 염소이온 침투 저항성은 물-결합재비가 작고 재령이 증가할수록 우수한 것으로 나타났으며, 재령 365일의 장기 염소이온 침투 저항성은 OPC 콘크리트보다 약 18배 증가하는 것으로 나타나, 무시멘트 콘크리트의 장기 염소이온 침투 저항성은 대폭 개선되는 것으로 나타났다.
2. 무시멘트 콘크리트의 황산염 용액 침지 재령 365일의 장기 압축강도 비는 OPC 콘크리트보다 약 11배 증가하는 것으로 나타나, 무시멘트 콘크리트의 황산염 침투에 대한 저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났으며, OPC 콘크리트의 압축강도 비는 침지 재령이 증가함에 따라 크게 저하되나, 무시멘트 콘크리트의 압축강도 비는 물-결합재비에 관계 없이 침지 재령이 증가하여도 크게 저하되지 않는 것으로 나타났다.
3. 무시멘트 콘크리트의 황산염 용액 침지 재령 365일의 장기 질량 변화율은 OPC 콘크리트보다 약 36배 감소하여 황산염 침투 저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났으며, OPC 콘크리트는 침지 재령이 증가함에 따라 질량 감소율이 대폭 증가되나, 무시멘트 콘크리트는 물-결합재비에 관계 없이 침지 재령이 증가하여도 질량 감소율이 매우 작은 것으로 나타났다.
4. 무시멘트 콘크리트의 길이 변화율은 물-결합재비가 크고 침지 재령이 증가할수록 약간 증가하나, 장기 침지 재령 365일에서도 0.03% 이하로 매우 작은 것으로 나타나, 황산염 침투 환경에 노출된 무시멘트 콘크리트의 길이 변화율은 매우 작은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(1기술혁신F04)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- ASTM C 1012. (2007). Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to Sulfate Solution, ASTM International.
- Bae, S.H., Kwon, S.O., Goo, M.S., Lee, H.J. (2013). "Resistance estimation against chloride attack of high volume fly ash concrete," Proceedings of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **13(1)**, 110–113 [in Korean].
- Bae, S.H., Park, J.I., Lee, K.M. (2010). Influence of mineral admixtures on the resistance to sulfuric acid and sulfate attack in concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **22(2)**, 219–228 [in Korean].
- Bae, S.H., Park, J.I., Lee, K.M., Choi, S. (2009). Influence of mineral admixtures on the diffusion coefficient for chloride ion in concrete, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, **29(4A)**, 347–353 [in Korean].
- Collins, F.G., Sanjayan, J.G. (1999). Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete, Cement and Concrete Research, **29**, 455–458.
- Hong, K.N., Park, J.K., Jung, K.S., Han, S.H., Kim, J.H. (2015). Durability of alkali-activated blast furnace slag concrete: chloride ions diffusion, Journal of the Korean Society of Safety, **30(4)**, 120–127 [in Korean].
- JSTM C 7401. (1999). Method of Test for Chemical Resistance of Concrete in Aggressive Solution, Cement and Concrete Research Japanese Industrial Standard, 1–10 [in Japanese].
- Jung, Y.B., Yang, K.H. (2015). Design approach of concrete structures considering the targeted CO₂ reduction, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **3(2)**, 115–121 [in Korean].
- Kim, B.J. (2010). Properties of Tensile Strength of Non-cement Concrete Using Ggbs Binder Activated by Sodium Silicate, Master's Thesis, Chonnam University, Korea [in Korean].
- Kim, S.H., Koh, K.T., Lee, J.H., Ryu, G.S. (2014). Study on mechanical properties of geopolymers concrete using industrial by-products, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **2(1)**, 52–59 [in Korean].
- Kim, S.S., Lee, J.B., Lee, C.M., Lee, J.H., Eom, S.H. (2013). "Study on the sulfate resistance of concrete using mineral admixture," Proceedings of the Korea Concrete Institute, **25(1)**, 99–100 [in Korean].
- KS F 2403. (2014). Standard Test Method for Making and Curing Concrete Specimens, KS Standard, Korea [in Korean].
- Mehta, P.K. (1983). Mechanism of sulfate of attack on portland cement concrete—another look, Cement and Concrete Research, **13(3)**, 401–406.
- NT BUILD 492. (1999). Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials, Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, Nordtest.
- Oh, S.H., Hong, S.H., Lee, K.M. (2014). Autogenous shrinkage properties of high strength alkali activated slag mortar, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **2(1)**, 60–65 [in Korean].
- Park, J.K., Hong, K.N., Han, S.H., Chai, Y., Kim, J.H. (2015). "Durability of alkali activated blast furnace slag concrete," Proceedings of the Korea Concrete Institute, **27(1)**, 391–392 [in Korean].
- Park, K.M., Cho, Y.K., Lee, B.C. (2016). Sulfate resistance of alkali-activated materials mortar, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **20(2)**, 94–101 [in Korean].
- Yang, G.H., Song, J.G. (2007). The properties and applications of alkali-activated concrete with no cement, Magazine of the Korea Concrete Institute, **19(2)**, 42–48 [in Korean].

알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트의 장기 내구성 평가

이 연구의 목적은 알칼리 활성 슬래그 기반 무시멘트 콘크리트의 염소이온 침투 및 황산염 침투 저항성과 같은 장기 내구성을 평가하는 것이다. 이를 위하여 물-결합재비에 따라 원주형 및 각주형의 무시멘트 콘크리트를 제작한 후, 이들에 대해서 재령 28일부터 365일까지 NT BUILD 492 및 JSTM C 7401 각각에 따라 장기 염소이온 침투 및 황산염 침투 저항성을 평가하였다. 그 결과, 무시멘트 콘크리트의 장기 염소이온 침투 및 황산염 침투 저항성은 물-결합재비에 관계 없이 OPC 콘크리트보다 크게 개선되는 것으로 나타나, 무시멘트 콘크리트의 장기 내구성은 매우 우수한 것으로 입증되었다.