

슬래그 혼입량이 슬러리형 급결제를 활용한 슛크리트 몰탈의 물성에 미치는 영향

Influences of Slag Replacement on the Properties of Shotcrete Using a Slurry-Type Set Accelerator

김 현 욱¹

문 훈²

김 지 현²

정 철 우^{2*}

Kim, Hyunwook¹

Moon, Hoon²

Kim, Ji-Hyun²

Chung, Chul-Woo^{2*}

R&D Center, POSCO E&C, Yeonsu-Gu, Incheon, 406-732, Korea¹

Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Nam-Gu, Busan, 608-739 Korea²

Abstract

The set accelerator used for shotcrete at high pH environment often causes the dusting problem in practice. In this research, a slurry-type set accelerator was developed to avoid this problem and its effectiveness was investigated by applying it to shotcrete mortars. Set time, stiffening, compressive strength, and chloride ion penetration resistance were examined with different amounts of slag, used as partial replacement of cement. According to the experimental results, it was found that the earlier responses such as set time, stiffening, and 1-day compressive strength were probably affected by the amount of ettringite, formulated by the hydration between C12A7 and calcium sulfate polymorphs present in blast furnace slag. Whereas, it is believed that the result of compressive strength after 3 days was attributed to the hydration of tricalcium silicates. As for the results of a chloride ion penetration test, the partial replacement of cement with slag significantly reduced the total charge passed through the shotcrete mortar.

Keywords : shotcrete, blast furnace slag, set, strength, chloride

1. 서 론

터널 지보재로서 슛크리트(shotcrete)는 터널 굴착 직후 굴착면을 보강함으로써 지반의 강도변화를 억제하고 원지반의 지지력을 증대하여 지반의 거동을 최소화하기 위해 사용되어 왔다[1]. 국내에서는 1980년 초반 지하철 공사에 NATM (new austrian tunneling method)공법이 처음 적용되면서 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기 변위 제어와 함께 지반의 풍화를 방지할 목적으로 슛크리트 공법이 도입

되었으며, 최근에는 터널 지보재 개념을 넘어 지하구조물의 장기적인 사용성 및 안정성의 개념에서 그 역할이 매우 중요하게 부각되고 있다[2].

최근에는 도로 및 철도의 직선화, 고속화로 인하여 대형 터널의 비율이 점차 증가하였으며, 해저 터널과 같이 해수의 침투를 직접적으로 받는 부위에도 슛크리트를 적용하고 있으므로 구조물의 장기적인 사용성 및 안전성의 개념에서 그 역할이 매우 중요하게 부각되고 있다. 일반 슛크리트의 경우 재령 28일 압축강도는 21 MPa 이상, 고강도 슛크리트는 35 MPa 이상이 요구되며, 노르웨이의 경우 해저구간의 싱글셀 슛크리트의 압축강도는 40 MPa 이상을 요구하고 있다.

스�크리트의 고강도, 고내구성을 위한 구성 재료 중 하나인 급결제는 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 초기 슛크리트의 부착성능은 물론 강도 발현에도 영향을 미친다. 그러나

Received : April 15, 2014

Revision received : July 31, 2014

Accepted : July 31, 2014

* Corresponding author : Chung, Chul-Woo

[Tel: 82-51-629-6084, E-mail: cwchung@pknu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

빠른 응결 경화 특성 및 초기강도 확보를 위해 사용되는 급결제는 과다 사용시 장기강도가 감소하는 문제점이 있다. 일반적인 급결제는 높은 pH 환경에서 거동하는 경우가 많아 여러 가지 환경적 문제를 야기하고 있다. 이와 같은 문제점을 억제하기 위해 시멘트 광물계 분말형 급결제가 개발되어 사용되어지나, 이는 초기강도와 장기강도 증진의 장점이 있지만 작업시 다량의 분진의 발생하여, 작업환경을 악화시키는 요인이 되고 있다. 따라서 작업조건에 따른 환경적 측면의 문제점들을 해결하기위한 새로운 형태의 급결제가 요구된다[3].

또한 일반적으로 슛크리트에 사용되는 혼화재료는 실리카폼 및 슬래그가 있다. 이 중 슬래그의 경우 기존의 비결정질 재료를 분쇄하여 사용하던 기존의 패턴에서 벗어나, 초기반응성 증대 및 초기강도 발현의 목적으로 황산칼슘을 인위적으로 첨가하여 건설용으로 활용하는 경우가 점차적으로 증가하고 있다. 슛크리트에 이러한 슬래그를 사용하는 것은 에트링가이트(ettringite)의 생성과 관련된 초기 응결 및 경화반응에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 물성평가는 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 슛크리트 타설시 발생하는 슛크리트 리바운드 및 분진 발생 저감을 위해 개발된 슬러리형(slurry) 급결제를 적용하고자 한다. 이를 통해 슬래그 혼입량에 따른 슬러리형 급결제를 활용한 슛크리트 몰탈의 응결 및 경화특성, 압축강도 성장, 염화물 이온 침투 저항성을 파악하여 기초적 물성을 평가하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획 및 사용 재료

스�크리트 시험체 제작에 사용된 시멘트는 2종류로 (주)한일시멘트사의 1종 보통포틀랜드시멘트(비중3.15, 분말도3 311.75cm²/g)와 (주)동양시멘트사의 3종 포틀랜드시멘트(비중3.12, 분말도5 041.29cm²/g)를 사용하였다. 결합재(binder)의 구성은 시멘트와 슬래그로 하였으며, 혼합비(cement : slag)는 Table 1에 나타난 바와 같다.

스�크리트에 적용된 급결제는 분진발생 저감을 위해 개발된 슬러리형 급결제이며, 분말형 급결제를 물에 혼합하여 슬러리형으로 만든 후 활용하는 것으로, 국내 A사에서 생산한 것을 사용하였다. 이 때 급결제의 경우, 물과 급격하게

반응하므로 응결지연제를 첨가한 물에 분말형 급결제를 혼입하여 슬러리형으로 제작하였다. 잔골재는 ISO 676에 준하는 표준사(EN196-1, 제조사 SNL, 프랑스)를 사용하였으며, 배합수는 증류수를 사용하였다.

실험에 사용된 배합은 Table 1과 같으며, 혼합비(cement : slag)에 따른 바인더 종류는 보통포틀랜드시멘트 10 : 0 ~ 6 : 4 의 다섯 단계, 3종(조강)시멘트 10 : 0 ~ 5 : 5 의 여섯 단계로 하였다. 급결제의 혼입률은 결합재 중량의 7 %를 혼입하였고, w/c는 48.5 %로 동일하게 구성하였으며, 결합재/잔골재(binder : sand) 비는 1:3으로 하였다.

Table 1. Mix proportions of shotcrete mortars

No.	Cement Type	Binder ratio (cement:slag)	W/B (%)	B:S (Binder:Sand)
1	Type I	10:0	48.5	1:3
2		9:1		
3		8:2		
4		7:3		
5		6:4		
6	Type III	10:0	48.5	1:3
7		9:1		
8		8:2		
9		7:3		
10		6:4		
11		5:5		

2.2 배합

스�크리트 배합은 기계식 믹서(Kitchen Aid Co., Ltd., U.S.A., 5KPM50)를 사용하였다. 1분간 믹서의 저속(speed level 3)으로 바인더와 잔골재를 건비빔한 후, 배합수를 혼입하고 1분30초간 배합한 후 10초의 휴지기를 두었다. 그 후 믹서의 고속(speed level 7)으로 30초간 배합한 후 급결제를 넣고 다시 10초간 배합하였다.

굳지 않은 슛크리트 반죽은 압축강도와 염화물확산성을 평가하기 위해 시험체를 제작하였다. 압축강도 측정을 위해 KS L 5105 규정에 따라 시험체(50mm×50mm×50mm)의 큐브 시험체를 제작하였으며, 염화물확산성 시험을 위해 ASTM 1202 규준에 따라 시험체(∅100mm×50mm)를 제작하였다.

2.3 물성 분석

스�크리트 시험체 제작에 사용된 재료 각각의 기초적인 물성을 파악하기 위하여 화학적 성분분석을 위한 XRF(X-ray fluorescence spectrometer, Shimadzu,

Japan, XRF-1700)와 X-ray diffractometer(Rigaku Co., Ltd. Japan, Ultima IV)분석을 진행하였다.

숏크리트의 응결경화 시간은 ASTM C 403(Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixture by Penetration Resistance)에 의거하여 측정하였다. 응결 및 경화과정의 측정을 위해 디지털 관입저항기(Heung Jin Co., Ltd. Korea, HJ-3169)를 사용하였으며, 얻어진 데이터를 지수함수로 회귀분석하여 초결(initial set)과 종결(final set)을 각각 측정하였다.

숏크리트 시험체의 1일 및 3일 압축강도는 KS L 5105에 따라 50mm×50mm×50mm 큐브몰드 시험체를 제작하여 측정하였으며, 시험체의 강도의 측정은 만능재료시험기(UTM, Shimadzu, Japan, UH-F100A)를 사용하였으며, 재하속도는 3mm/min로 측정하였다. 숏크리트의 염화물 침투저항성 측정은 ASTM C 1202 “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”에 의해 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 화학적 성분 분석

본 연구에 사용된 재료의 화학적 성분비는 Table 2와 같다. 화학성분에 따른 C₃S, C₂S, C₃A, 및 C₄AF의 양은 Bogue계산식을 이용하여 구하였으며, 그 값 또한 Table 2에 나타나 있다. 1종 및 3종의 포틀랜드 시멘트는 일반적으로 알려져 있는 시멘트의 화학적 성분에 맞는 것을 알 수 있었으며, 3종 포틀랜드 시멘트의 경우, C₃S의 양이 1종 보통 포틀랜드 시멘트보다 많은 것으로 나타났으나, C₃A의 양은 오히려 1종 보통 포틀랜드 시멘트보다 적은 것으로 나타났다. 또한, 슬래그의 경우 실리카 및 알루미나 성분이 많이 존재하는 것으로 나타났다. 급결제용으로 사용된 재료의 화학성분을 살펴보면, 실리카 성분이 상대적으로 알루미나 성분에 비해 매우 소량 첨가되어 있는 것으로 나타났다.

3.2 재료의 상 구조 분석

본 연구에 사용된 재료의 상구조를 알아내기 위해 XRD 분석을 실시하였으며, 결과는 Figure 1와 같다. Figure 1에 나타난 보통 및 조강 포틀랜드 시멘트의 경우, 일반적으

로 존재하는 C₃S, C₂S, C₃A 및 C₄AF를 확인할 수 있었다. 그러나 보통 및 조강 포틀랜드 시멘트에서는 황산칼슘이 석고의 형태로 존재하지 않고, 반수석고(hemihydrate)의 형태로 미량 존재하는 것을 확인하였다. 또한 MgO(periclase)도 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

슬래그의 경우에는 결정상을 보이는 물질은 황산칼슘 계열의 화합물이며, 각각 석고(gypsum)와 무수석고(anhydrite)의 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 회절각(2θ) 22°에서 36°에 분포해 있는 완만한 XRD 피크는 슬래그에 존재하는 상의 대부분이 비결정질의 형태로 존재하는 것을 의미한다.

슬러리형 급결제의 XRD 패턴에 따르면, 슬러리형 급결제는 mayenite(C₁₂A₇) 및 무수석고(anhydrite)등을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 전체적인 XRD 패턴이 완만하게 솟아 있는 영역이 길어(2θ angle 26° - 36° 사이), 슬래그와 마찬가지로 비결정질의 형태로 존재하는 상이 많은 것으로 나타났다. 또한, Table 2에서 나타난 바와 같이, 대부분의 성분은 칼슘 알루미늄에이트 계열인 것을 알 수 있었으며, 이는 기존의 시멘트 광물계의 화학적 조성과의 큰 차이를 보이지 않았다.

따라서 슬러리형 급결제는 통상 일반적인 시멘트 광물계와 마찬가지로, C₁₂A₇와 황산칼슘간의 급속한 수화반응에 의해 다량의 에트링가이트(ettringite)를 생성함으로써 급결효과를 얻는 것으로 사료된다.

Table 2. Chemical compositions of materials

Chemical Component	Type I Han il (%)	Type III Dong yang (%)	Slag (%)	Accelerator (%)
CaO	64.45	62.37	43.94	50.5282
SiO ₂	22.25	19.95	33.81	4.0191
Al ₂ O ₃	5.33	4.51	10.91	31.8102
SO ₃	2.16	2.80	0.46	9.0378
MgO	2.45	3.31	5.56	0.9502
Fe ₂ O ₃	3.65	3.45	0.51	0.8764
K ₂ O	0.94	0.85	0.41	0.3756
TiO ₂	-	-	-	1.8218
P ₂ O ₅	-	-	-	0.0758
SrO	-	-	-	0.0308
ZrO ₂	-	-	-	0.0591
Na ₂ O	-	0.12	0.26	0.3568
LOI	2.44	1.14	0.02	0.0583
Cement type	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Type I Han il (%)	52.2	24.4	8.0	11.1
Type III : Dong yang (%)	67.0	6.7	6.1	10.5

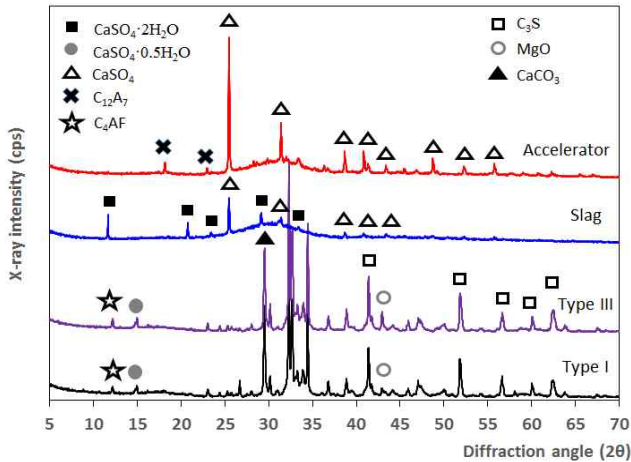


Figure 1. XRD patterns of tested materials. Note that the most of the peaks are noted with symbols. Also note that peaks located between 30~34° (in both Type I and III portland cements) are the peaks for C₃S, C₂S, C₃A, and C₄AF, but not identified with symbols to avoid the complication.

3.3 숏크리트 몰탈의 응결 및 경화

국내의 A사에서 개발된 슬러리형 급결제를 보통 포틀랜드 시멘트 및 슬래그와 혼입하여 사용한 숏크리트 배합의 응결 및 경화특성을 측정된 결과는 다음의 Figure 2에 나타나 있다. Figure 2에 표시된 데이터의 추세선은 ASTM C 403의 규준에 따라 지수 함수(exponential)로 데이터를 회귀분석한 것이며, 데이터의 fitting에 사용된 함수를 이용하여 각각 초결 및 종결에 해당되는 침투저항성 값인 3.5 MPa 와 27.6 MPa에 해당되는 초결 및 종결시간을 구하였다. 슬래그 함유량에 따른 각 숏크리트의 초결 및 종결시간은 Figure 3에 나타내었다.

Figure 2에 따르면 보통 포틀랜드 시멘트에 슬래그가 혼입되면, 슬래그를 혼입하지 않은 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 응결 및 경화가 다소 촉진되는 것으로 나타났다. 하지만 Figure 2 및 3에서 나타난 바에 따르면, 슬래그 함유량이 10에서 30 %로 증가하여도 응결 및 경화특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 슬래그 양이 40 %로 증가하는 경우 오히려 슬래그를 사용하지 않는 경우보다 응결 및 경화가 느리게 진행되는 것으로 나타났다.

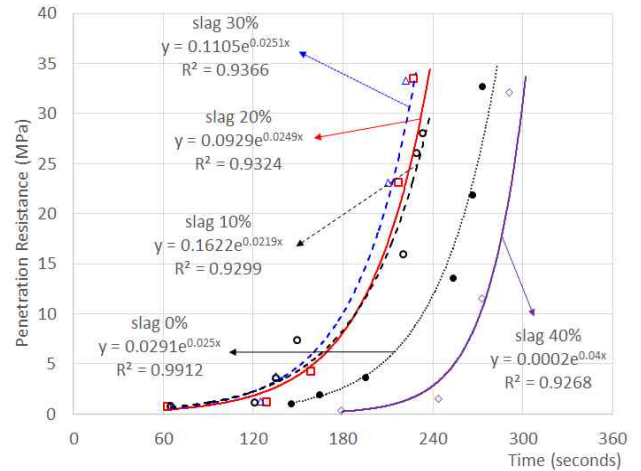


Figure 2. Penetration resistance of shotcrete mortar made from Type I portland cement and blast furnace slag

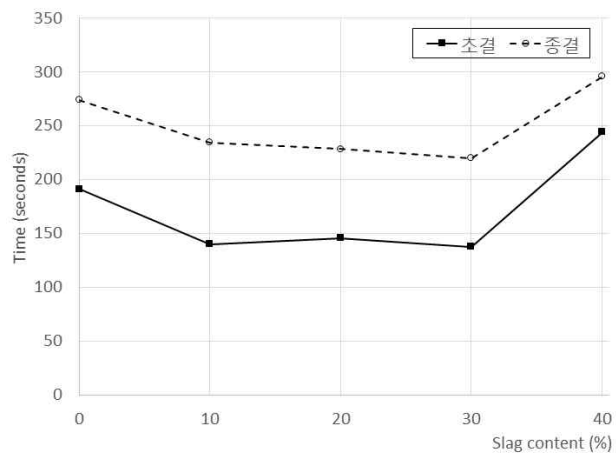


Figure 3. Setting time of shotcrete mortar made from Type I portland cement and blast furnace slag

슬래그의 혼입에 따른 응결 및 경화의 촉진은 슬래그 내부에 혼입된 석고(황산칼슘)의 존재로 기인된 것으로 보인다. 슬래그의 투입량이 증가하게 되면, 슬래그에 존재하는 석고 성분이 촉진제에 존재하는 C₁₂A₇상과 반응하여 에트링가이트 생성을 촉진시킬 수 있다. 그러나 내부에 촉진제로 투입된 C₁₂A₇상의 양에 제한이 있기 때문에, 일정량 이상의 슬래그를 혼입하게 되면, 에트링가이트의 생성에 의한 응결 및 경화의 촉진효과를 충분히 얻지 못하고, 오히려 슬래그의 잠재수경성에 기인하여, 응결 및 경화속도가 다시 느려지게 되는 것으로 보인다.

국내의 A사에서 개발된 슬러리형 급결제를 조강 포틀랜드 시멘트 및 슬래그와 혼입하여 사용한 숏크리트 배합의

응결 및 경화특성을 측정된 결과는 다음의 Figure 4에 나타나 있다. 지수 함수(exponential)의 관계식을 이용하여 숏크리트의 초결 및 종결시간을 구한 값은 Figure 5에 나타나 있다.

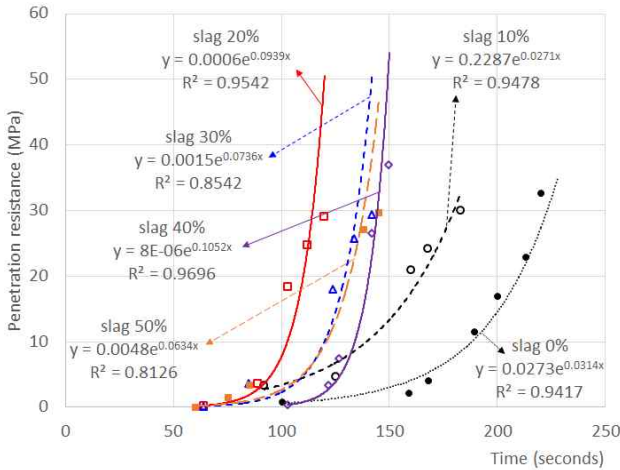


Figure 4. Penetration resistance of shotcrete mortar made from Type III portland cement and blast furnace slag

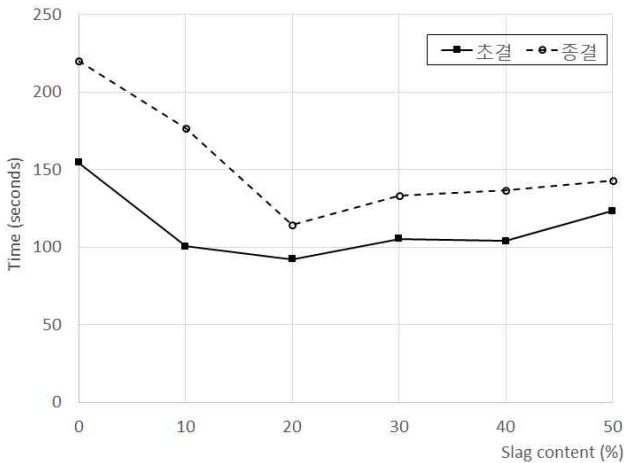


Figure 5. Setting time of shotcrete mortar made from Type III portland cement and blast furnace slag

Figure 4 및 5에 따르면 슬래그가 조강 포틀랜드 시멘트와 혼입되어도 응결 및 경화가 촉진됨을 알 수 있었다. 응결 및 경화의 속도는 슬래그 함량이 20%를 넘어서면 다시 느려지는 것으로 나타났으나, 보통 포틀랜드 시멘트를 혼입하였을 경우와는 달리 슬래그 양이 40%를 넘어서도 응결 및 경화속도의 역전현상은 일어나지 않았다. 이는 조강시멘트를 사용하는 경우, 시멘트 자체가 가지고 있는 빠른 응결

및 경화특성으로 인해, 슬래그의 과다혼입으로 인한 응결 및 경화의 둔화 현상을 억제하였기 때문으로 사료된다.

3.4 숏크리트 몰탈의 압축강도

국내의 A사에서 개발된 슬러리형 급결제를 사용한 숏크리트 배합의 1일 압축강도의 결과는 Figure 6에 나타나 있다. 1일 압축강도의 경우 대부분의 숏크리트 배합에서 2-6 MPa정도의 값을 보였으며, 이는 슬래그의 함유량에 따라 다소간의 차이는 보였지만 슬래그 함유량이 증가할수록 대체적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 1일 강도의 경우 에트링가이트의 생성량에 많은 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

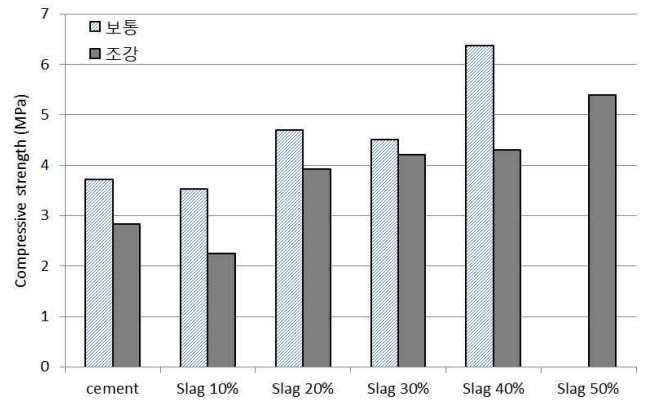


Figure 6. 1-day compressive strength of shotcrete mortar

슬러리형 급결제를 사용한 숏크리트의 3일 압축강도를 Figure 7에 나타내었다. Figure 6에서 나타난 1일 압축강도와 비교해 볼 때, 3일 압축강도가 1일 압축강도에 비해 대체적으로 약 5배 정도 증가한 것을 알 수 있었다. 3일 압축강도의 경우에는 조강 시멘트에 슬래그 40% 혼입한 배합을 제외하고는 모두 10 MPa이상의 강도를 보였다. 또한, 대체적으로 슬래그 혼입률이 증가함에 따라 3일 강도의 감소가 이어지는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 1일 강도와는 정반대의 현상으로, 슬러리형 급결제를 혼입한 숏크리트 배합의 경우 1일 강도는 에트링가이트의 생성량에 비례하여 결정되었으나, 3일 이후의 강도는 에트링가이트 생성 이후에 이어지는 규산칼슘의 수화반응으로 대부분의 강도발현이 이루어졌음을 의미하며, 이는 시멘트 내부에서 초기 수화반응을 일으키는 C₃S의 양이 슬래그의 혼입량이 증가하면서 감소하여 전체적인 강도의 감소로 이어졌기 때문인

것으로 사료된다.

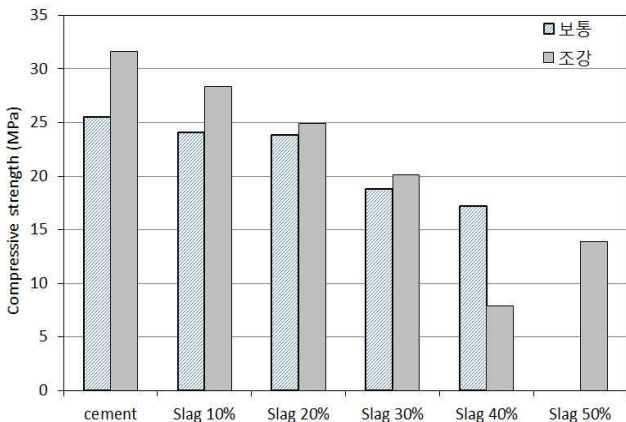


Figure 7. 3-day compressive strength of shotcrete mortar

실험 결과에 따르면, 응결경화 시간 및 1일이나 3일 강도의 경우 급결제는 시멘트의 화학적 성분의 차이에 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 이러한 내용은 일반적으로 XRF 분석에 따른 화학성분의 차이만으로는 설명하기 힘든 부분이 존재한다. 각 시멘트 생산자마다, 시멘트 생산지가 다르고, 시멘트 생산지의 차이에 따라서 시멘트 원료를 채취하는 곳이 다르기 때문에, 시멘트에 존재하는 불순물의 종류, 구조, 및 양이 각각 다르게 된다. 이러한 미세한 차이는 평상시에는 크게 나타나지 않지만, 실제로 시멘트 성분들의 구조적인 특성 및 화학적인 반응성에도 영향을 미치게 되는데, 특히 초반에 많은 반응을 유도하는 급결제 계열과 만날 시에는 더욱 도드라지는 것으로 보인다. 본 실험에서 사용된 1종 및 3종 시멘트는 각각 한일 및 동양시멘트로서, 생산회사도 다르고 생산지도 다르기 때문에, 이러한 현상이 충분히 발생할 수 있다.

또한 Table 2에 따르면, 1종 보통 포틀랜드시멘트의 경우 C_3S 의 양이 52.2%, C_3A 의 양이 8.0%이나, 3종 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 C_3S 의 양이 67%, C_3A 의 양이 6.1%로 나타났다. 이는 1종에 상대적으로 많이 존재하는 칼슘성분이 C_3A 의 형태로 존재함을 의미한다. 이러한 사실을 고려해 볼 때, 초기 반응시에 본 실험에 사용된 1종 시멘트가 3종 시멘트보다 더 많은 에트링가이트를 생성할 여지가 충분히 있으며, 3종 시멘트의 경우에는 C_3A 의 양이 적으나 C_3S 의 양이 더 많으므로, 에트링가이트 생성에 의한 강도발현 효과가 끝나게 되면 (1일 이후), 이후 C_3S 의 반응량

이 1종보다 더욱 많아지며, 3일의 경우 급결제의 영향 (에트링가이트의 생성으로 인한 강도증진효과)이 점차적으로 사라지고 C_3S 의 의한 강도발현 현상이 더욱 두드러지게 나타나 1일 강도에서는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 배합의 강도가 높았으나, 3일 강도에서는 3종 포틀랜드 시멘트를 사용한 배합의 강도가 더 높게 나온 것으로 사료된다.

또한, 1일 강도의 경우 슬래그 치환율이 높아짐에 따라 커지나, 3일의 경우 반대 경향을 나타내고 있다. 이는 본 논문에 기술한 바와 같이 슬러리형 급결제를 혼입한 숏크리트 배합의 1일 강도는 에트링가이트의 생성량에 비례하여 결정되나, 3일 이후의 강도는 에트링가이트 생성 이후에 일어나는 규산칼슘의 수화반응으로 강도가 발현되었기 때문으로 사료된다. 이는 혼입된 슬래그 양이 증가함에 따라, 시멘트 내부에서 초기 수화반응을 일으키는 C_3S 의 양이 감소하였기 때문으로 사료된다.

슬러리형 급결제를 사용한 숏크리트의 28일 압축강도를 Figure 8에 나타내었다. Figure 8의 데이터는 보통 포틀랜드 시멘트와 슬래그를 혼입한 시험체의 압축강도 결과이며, 조강시멘트를 사용한 경우 28일 강도성상은 나타나 있지 않다. Figure 8에 따르면, 슬러리형 급결제를 사용한 숏크리트 몰탈의 경우 슬래그의 혼입량에 관계없이 28일 압축강도가 모두 40 MPa를 상회하는 것으로 나타나, 배합된 재료가 고강도 숏크리트의 범주에 해당됨을 알 수 있었다.

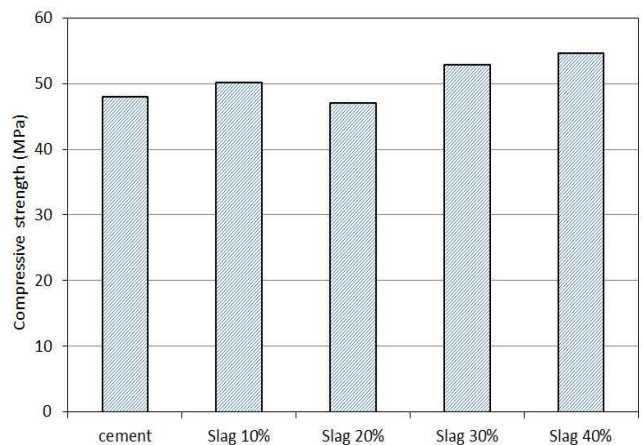


Figure 8. 28-day compressive strength of shotcrete mortar

3.5 숏크리트 몰탈의 염화물 이온 침투 저항성

국내에서 생산된 슬러리형 급결제를 포함한 숏크리트 배합 중 일반적으로 사용되는 배합 및 경제성이 있다고 판단

된 보통 포틀랜드 시멘트와 슬래그 40 %를 함유한 숯크리트 배합을 선정하여, 시험체의 염화물 이온 침투 저항성을 측정하고, 그 결과를 Figure 9에 나타내었다. Figure 9의 데이터는 실험실에서 배합되고 28일 양생된 숯크리트 몰탈의 총 통과전하량을 나타낸 것이다.

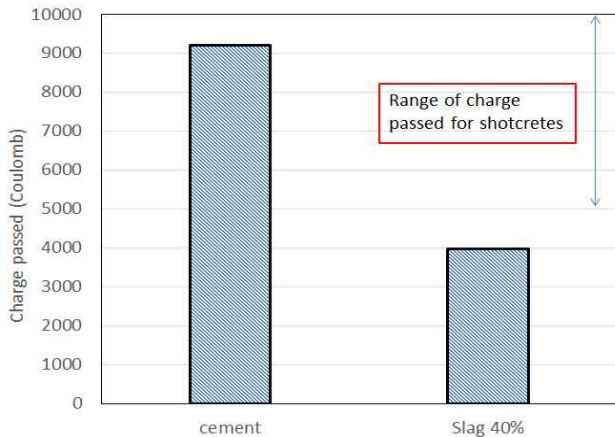


Figure 9. The charge passed values from 28-day old shotcrete mortar

현재 일반적으로 사용되고 있는 숯크리트 배합의 경우, 염화물 침투 저항성 시험이후 나타난 총 통과전하량(charge passed) 값이 대략 5 000~10 000 coulomb사이로 분포하는 것으로 알려져 있다[4]. Figure 9에 따르면, 슬래그를 혼입하지 않는 경우, 국내에서 생산된 슬러리형 급결제를 사용하여도 9 208coulomb를 보여, 기존에 알려진 것과 유사한 범위 내에 분포하는 것을 알 수 있었다. 그러나 슬래그를 40 % 혼입한 경우, 총 통과전하량 값이 3 966coulomb를 보여, 슬래그를 혼입하는 것이 통상적인 숯크리트 배합보다 더욱 염화물 이온의 침투에 대한 저항성이 훨씬 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 이는 슬래그의 포졸란 반응으로 인한 미세구조 개선효과에 기인하는 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 분진 저감을 위해 개발된 슬러리형의 급결제로 숯크리트를 제조시, 슬래그의 함유량이 숯크리트 몰탈의 물성에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구에서 진행된 결과에 따라 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 보통 포틀랜드 시멘트 및 슬러리형 급결제를 이용하여

제조한 숯크리트 몰탈의 경우, 응결 경화의 속도는 슬래그를 혼입하면 빨라졌으나, 40 %를 넘어서게 되면, 슬래그를 혼입하지 않은 보통의 숯크리트 보다 늦은 응결 및 경화특성을 보였다.

2) 조강 포틀랜드 시멘트 및 슬러리형 급결제를 이용하여 제조한 숯크리트의 경우, 슬래그를 혼입하면 응결 경화의 속도는 빨라졌으나, 20 %를 넘어서게 되면, 슬래그 혼입량 증가에 따른 응결 및 경화의 촉진현상을 볼 수 없었다.

3) 시멘트의 종류에 상관없이 1일 압축강도는 슬래그의 함유량 증가에 따라 증가하였으나, 3일 압축강도는 슬래그의 함유량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 28일 압축강도는 슬래그의 함유량에 따른 큰 차이를 보이지 않았으나, 모두 40 MPa이상을 상회하는 고강도 숯크리트인 것으로 나타났다.

4) 보통 포틀랜드 시멘트 및 슬래그를 혼입하여 제조한 숯크리트 시험체의 염화물 침투 저항성은 슬래그 혼입이 없을 때 9 208coulomb의 통과전하량을 보였으나, 슬래그의 혼입량이 40 %로 증가하게 되면, 통과전하량 값이 3 966 coulomb으로 대폭 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 향후 이러한 배합에 대한 내염해성의 세밀한 평가가 필요한 것으로 나타났다.

요약

숯크리트의 필수 구성요소 중 하나인 급결제는 높은 pH 환경에서 거동하는 경우가 많고 이를 억제하기 위해 개발된 시멘트 광물계 분말형 급결제 또한 작업시 다량의 분진 발생으로 인하여, 여러 환경적 문제를 일으키고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 슬러리형의 급결제를 도입하고, 기본적인 물성 파악을 위해 숯크리트 배합에 혼화재로서 자주 활용되는 슬래그의 혼입에 따른 숯크리트 재료의 응결 및 경화특성, 강도 특성 및 염화물 이온 침투 저항성을 평가하였다. 슬래그의 혼입에 따른 응결 경화의 촉진 및 1일 압축강도의 발현은 $C_{12}A_7$ 과 황산칼슘의 수화반응에서 생성된 에트링가이트상의 양과 관련이 있는 것으로 보이며, 3일 강도 이후의 물성은 일반적인 규산3칼슘의 수화반응과 관련이 있는 것으로 나타났다. 염화물 이온 침투 저항성의 경우, 슬래그의 혼입량이 증가하면 훨씬 개

선되는 것으로 나타나, 향후 이러한 배합에 대한 내염해성의 정밀한 평가가 필요한 것으로 나타났다.

키워드 : 슛크리트, 고로슬래그, 응결, 강도, 염소이온

Acknowledgement

This research was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement under the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government. (Project Number: 13 Construction Research T01).

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government. Highway Design Guide, Seoul, S-Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government; 2011.
2. Lee SP, Kim DH, Ryu JH, Lee SD, Choi MS. Development of high performance shotcrete for PCL method. Conference of Korean Society of Civil Engineers; 2004 Oct 21-22; Pyungchang, S-Korea. Korean Society of Civil Engineers: 2004. p.3665-70.
3. Song YS, Ryu JH, Lim HD. An experimental study on early strength of shotcrete. Journal of Korean Tunnelling Association. 2010 Jul;12(4):285-94.
4. Won JP, Sung SK, Park CK, Cho YJ, Choi SW, Park HG. Evaluation of durability performance of wet-mixed shotcrete with powder types cement mineral accelerator. Conference of Korean Concrete Institute; 2004 Nov 6; Suwon, S-Korea. Korean Concrete Institute; 2004. p.254-57.