

Characteristics of fresh mortar with particle size and replacement ratio of copper slag

Chang Woo Hong, Jung-Il Lee* and Jeong Ho Ryu*,†

Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

*Department of Materials Science and Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

(Received January 25, 2016)

(Revised February 1, 2016)

(Accepted February 5, 2016)

Abstract It is estimated that over 2 million tons of non-ferrous wastes are generated after refining. Up to now, most researches were focused on extracting precious metals and there were very few research on the utilization of the slag byproduct. In this study, we studied to evaluate whether copper slag could be used as aggregates in concrete. Fresh mortar were evaluated on the particle size and replacement ratio of the copper slag with river-sand. Experimental results indicated that flow, air content and drying shrinkage of concrete varied with particle size, which confirmed that proper classification of copper slag is very important. And, setting time and unit weight of the concrete increased with replacement ratio. When particle size of the slag was similar to the river-sand, concrete with copper slag showed slump, air content, setting time, drying shrinkage and unit weight became larger compared to the concrete using river-sand only. Therefore, it is believed that proper classification and replacement ratio should be optimized for the effective use of slag in concrete.

Key words Copper slag, Concrete, Gradation and replacement rates

동제련 슬래그의 입도 및 잔골재 치환율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 특성

홍창우, 이정일*, 류정호*,†

한국교통대학교 토목공학과, 충주, 27469

*한국교통대학교 신소재공학과, 충주, 27469

(2016년 1월 25일 접수)

(2016년 2월 1일 심사완료)

(2016년 2월 5일 게재확정)

요 약 현재 비철제련분야에서의 제련후 폐기물은 약 200만톤 이상으로 추산되고 있다. 현재까지는 비철금속을 추출하는 연구가 주를 이루고 있으며, 금속 추출 후 슬래그의 활용에 대한 연구는 미비한 상황이다. 이에 본 연구에서는 동제련 분야에서 발생된 슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해 동제련 슬래그의 입도분포와 잔골재로 사용된 강사의 대체 치환율 변화를 실험인자로 선정하여, 굳지 않은 모르타르의 특성을 평가하였다. 실험결과, 동제련 슬래그의 입도분포에 따라 플로우, 공기량 및 건조수축의 변화를 참조하여 동제련 슬래그의 적정입도분포를 산정하는 것이 중요함을 확인하였으며, 동제련 슬래그를 잔골재로 치환함으로 인해 응결 및 단위용적질량은 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 강사와 유사한 입도분포를 갖는 동제련 슬래그를 사용하였을 경우에는 강사를 사용한 경우보다 슬럼프, 공기량, 응결 및 건조수축, 단위용적 질량이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 동제련 슬래그를 콘크리트용으로 사용하기 위해서는 적정 입도분포와 치환율이 산정되어야 할 것으로 판단된다.

1. 서 론

천연자원의 매장량은 한정되어 있고, 폐금속자원은 지

속적으로 증가하는 반면, 이의 재활용은 저조하여 환경 오염 및 자원낭비를 초래하고 있다. 따라서 폐금속자원에 함유된 각종 금속자원을 회수, 재활용하는 연구가 정부의 자원순환형 폐기물 관리 정책과 더불어 활발하게 진행되고 있다[1, 2]. 유럽연합은 2008년 폐기물기본골격지침을 수립하여 2020년까지 폐기물 50% 이상 재활용을 목표로 추진되고 있으며, 미국은 1976년 자원보전

†Corresponding author
Tel: +82-43-841-5384
Fax: +82-43-841-5380
E-mail: jhryu@ut.ac.kr

및 재생법에 의거해 정부주도로 기술개발을 추진중에 있다. 또한 일본은 2001년 순환형사회형성기본법을 제정하여 폐금속자원 재활용 정착화 사업을 진행하고 있다. 또한 유럽연합에서는 폐기물보다는 부산물로 해석하여 재활용을 독려하고 있는 실정이다. 국내에서는 이와 같은 폐금속자원 재활용 후 발생하는 폐기물 중 슬래그 발생량은 제철제강분야에서 약 2,200만톤, 비철제련분야에서 약 200만톤 이상으로 추산되고 있다[1, 2]. 제철제강 분야에서 발생하는 슬래그에 대해서는 콘크리트 혼화재 등으로 재활용 기술의 발전속도가 빠르고, 재활용률도 높은 편이다[3]. 그러나 비철제련분야에서 발생하는 슬래그에 대해서는 아직까지 연구수준과 재활용률이 미진한 실정에 있으며, 주로 매립 및 도로 성토재 등의 사용에 한정되고 있다[3, 4]. 또한 현재까지는 유가금속을 추출하는 연구가 주를 이루고 있으며, 최근에 들어 콘크리트에 활용하기 위한 연구가 일부 시행되고 있으나, 금속 추출 후 슬래그의 활용에 대한 연구는 아직 부족한 상황이다[5-8]. 이에 본 연구에서는 동제련 분야에서 발생된 슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 기초 연구를 수행하고자 한다. 본 연구에서는 동제련 슬래그의 입도분포와 기존 잔골재로 사용되고 있는 강사(river-sand) 대비 치환율을 변화시키면서 콘크리트용 골재의 활용가능성과 굳지 않은(fresh) 모르타르의 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 계획

본 연구에서는 동제련 슬래그 골재를 사용한 굳지 않은 시멘트 모르타르의 역학적 특성을 분석하고자 하였다. 주요 실험인자는 동제련 슬래그 입도 변화조건(CS-A, CS-B, CS-C)과 동일 입도조건에서 잔골재로 사용된 강사에 대한 동제련 슬래그 골재의 치환율 변화(0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)이다. 그리고 주요 시험항목은 플로우, 공기량, 단위용적질량, 응결, 건조수축이다. 주요 실험인자 및 시험체 기호 등은 Table 1과 같다.

2.2. 사용재료

시멘트는 국내 S사 제품으로 비중 3.15, 분말도 3,300

Table 1
Raw material batches and experimental parameters

Classification	CS grading type	CS contents (%)	W/C (%)	Test items
OPC	-	0		
CS-A-20	A	20		
CS-A-40	A	40		
CS-A-60	A	60		
CS-B-20	B	20		
CS-B-40	B	40		
CS-B-60	B	60	50	- Flow
CS-B-80	B	80		- Air content
CS-C-20	C	20		- Mass of unit volume
CS-C-40	C	40		- Setting time
CS-C-60	C	60		- Shrinkage
CS-C-80	C	80		
CS-C-100	C	100		

1) CS: Copper slag

2) CS-A-20: CS (Copper slag), A (CS grading type), 20 (CS content)

3) OPC: Sand 100%, CS 0%

cm²/g인 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 경북지역 낙동강사를 사용하였으며, 비중은 2.56, 흡수율 1.0%, 조립률은 2.73%이다. 잔골재 대체재로 사용된 동제련 슬래그 골재는 (주)서원에서 생산된 것을 미분쇄하여 사용하였으며, 비중은 3.5이다. 그리고 Table 2는 동제련 슬래그 골재의 주요성분을 나타낸 것으로서 구리와 철, 아연이 주성분으로 이루어져 있는 것으로 나타났다. Fig. 1은 강사 및 동제련 슬래그 골재의 SEM에 의한 골재의 입자 형상을 나타낸 것이다. 동제련 슬래그 골재를 잔골재로 치환하기 위해 동제련 슬래그 골재에 대한 체가름 시험을 통한 입도분포 실험결과는 Fig. 2와 같다. 체가름 시험결과 강사는 잔골재 표준입도 곡선내에 분포되는 것으로 나타난 반면에 동제련 슬래그 CS-A 및 CS-B 입도형상은 미분말이 과다한 것으로 나타났으며, 잔골재 표준입도곡선을 벗어난 결과를 보였다. 그리고 동제련 슬래그 CS-C 골재의 입도는 표준입도 곡선내에 위치하는 결과를 보였으며, 강사보다는 미분말이 다소 많이 분포되고 있는 것으로 나타났다. 골재의 체가름 시험을 통한 결과로부터 잔골재로 사용된 강사와 가장 유사한 입도분포를 갖는 동제련 슬래그 골재는 CS-C로 나타났다.

Table 2
Chemical compositions of the copper alloy slag

Classification	Specific gravity	Chemical properties (wt%)									
		Cu	Fe	Zn	Ca	si	Pb	Cr	Sn	S	etc
Copper slag	3.5	36.39	28.28	10.26	8.57	4.42	3.49	2.68	1.78	1.48	2.65

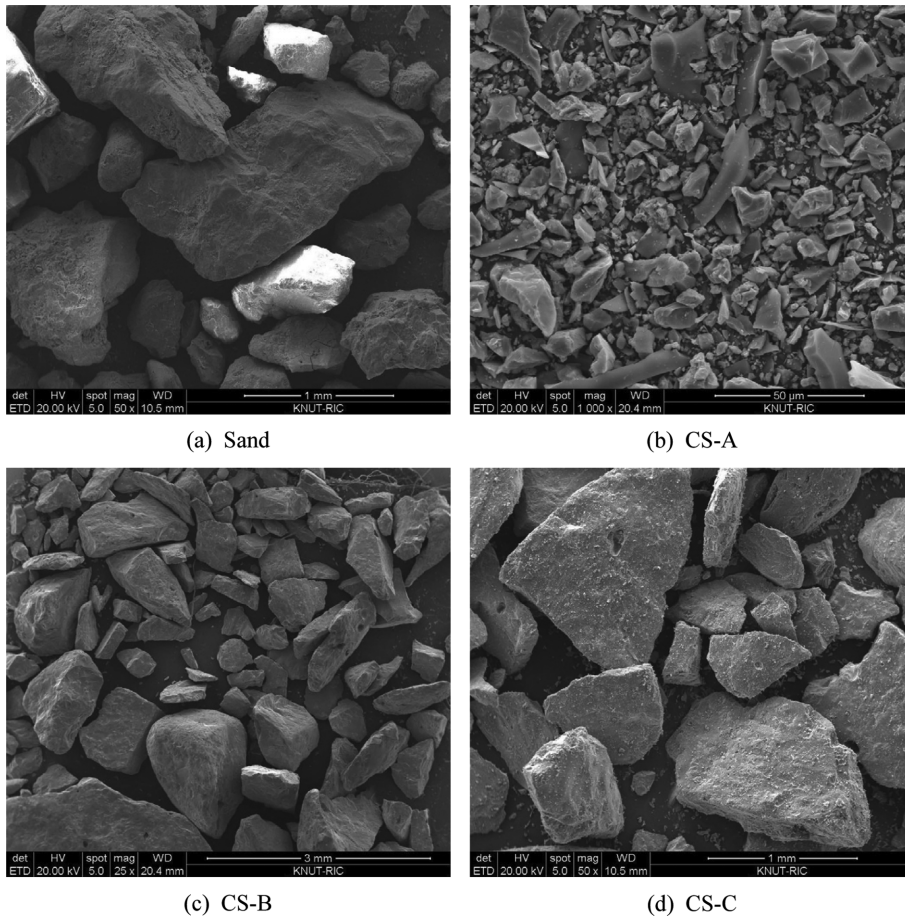


Fig. 1. Particle morphology of the sand and copper alloy slags.

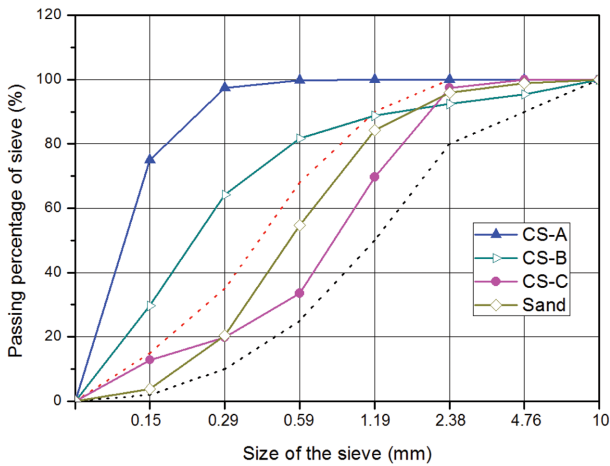


Fig. 2. Grading curve of sand and copper alloy slags.

2.3. 시험항목

잔골재 및 동제련 슬래그 골재의 체가름 시험방법은 KS F 2502에 의거해 수행하였다. 그리고 균지 않는 시멘트 모르타르의 플로우 실험은 KS F 2594, 공기량 시험은 압력법에 의한 방법으로 KS F 2421에 의거해 수행하

였다. 또한 균지 않는 시멘트 모르타르의 단위용적질량 시험은 KS F 2409, 응결시험은 Fig. 3과 같이 비카드 침에 의한 시험방법을 사용하였으며, KS L 5108 규격에 의해 실험을 실시하였다. 초결(Initial setting)은 시멘트 페이스트가 아직 부드러운 상태임에도 불구하고 유동성이 없어지는 단계로 비카드침이 25 mm이 관입되었을 시점이며, 종결(Final setting)은 시간이 경과하여 응고를 계속하여 고체와 같은 상태를 나타내는 단계로서 비카드침이 관입되지 않는 시점으로 설정된다. 그리고 건조수축에 의한 수축량 측정에는 Fig. 4와 같은 독일 Schleibinger사 시험기를 사용하였으며, 수축 및 팽창 측정은 기기의 레이저 빔과 시험편 표면의 접촉센서에 의해 자동 측정하였다.

2.4. 시험체 제작 및 양생

잔골재를 동제련 슬래그 골재로 치환한 시멘트 모르타르의 배합설계는 Table 3과 같다. 시멘트 모르타르의 제조는 KS L 5109의 기계적 혼합방법에 의거해 배합수 전량과 시멘트를 혼합기에 넣고 30초간 저속인 140 ± 5 rpm으로 혼합한 후, 잔골재와 동제련 슬래그 골재 전량



Fig. 3. Experimental apparatus for the setting-time (left) and shrinkage (right).

Table 3
Raw material design for the cement mortar

Classification	CS contents (%)	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)			
			C	W	S	CS
OPC	0	50	480	240	1423.8	0
CS-20	20	50	480	240	1139.1	383.3
CS-40	40	50	480	240	854.3	766.7
CS-60	60	50	480	240	569.5	1150.0
CS-80	80	50	480	240	284.8	1533.3
CS-100	100	50	480	240	0	1916.7

을 넣고 중속인 285 ± 10 rpm으로 30초간 혼합한 후 혼합기를 정지한 후 90초간 방치한 후, 다시 중속인 285 ± 10 rpm으로 60초간 혼합하였다. 이후 23 ± 1°C, 습도 50 ± 5% 조건에서 50 × 50 × 50 mm의 큐빅 몰드 및 40 × 40 × 160 휜 몰드를 성형하였으며, 이때 다짐은 봉다짐과 진동다짐을 병행하였으며, 진동다짐은 진동테이블에서 30초간 수행하였다. 양생은 21 ± 1°C에서 수증양생을 실시하였다.

Table 4
Experimental results for the cement mortars

Classification	CS grading type	CS contents	Flow (mm)	Air content (%)	Mass of unit volume (kg/m ³)	Setting time (h : m)	
						Initial	Final
OPC	-	0	130	4.8	2,121.5	2 : 30	3 : 45
CS-A-20	A	20	120	6.3	2,298.9	3 : 45	6 : 00
CS-A-40	A	40	108	7.5	2,359.9	2 : 30	5 : 15
CS-A-60	A	60	100	25.0	2,047.3	2 : 00	10 : 45
CS-B-20	B	20	156	7.0	2,322.8	4 : 30	8 : 00
CS-B-40	B	40	147	6.4	2,512.8	3 : 30	7 : 00
CS-B-60	B	60	142	6.1	2,687.2	2 : 45	4 : 30
CS-B-80	B	80	138	5.7	2,864.4	1 : 45	4 : 30
CS-C-20	C	20	160	6.4	2,272.4	2 : 00	4 : 00
CS-C-40	C	40	180	7.3	2,468.9	2 : 45	5 : 00
CS-C-60	C	60	205	8.0	2,645.0	3 : 00	5 : 45
CS-C-80	C	80	215	8.5	2,842.9	3 : 15	6 : 00
CS-C-100	C	100	220	9.2	2,934.3	3 : 45	7 : 00

3. 결과 및 고찰

3.1. 플로우 및 공기량

굳지 않은 모르타르의 플로우 실험결과는 Table 4 및 Fig. 4와 같다. 동제련 슬래그 골재 CS-A 형상은 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 증가함에 따라 플로우가 130 mm에서 100 mm로 감소하였으며, CS-A 치환율이 60%의 경우에는 유동성이 없어, CS-A 60% 이상의 치환율은 의미가 없는 것으로 나타났다. 그리고 동제련 슬래그 골재 입도 CS-B에서는 동제련 슬래그를 치환하지 않은 OPC보다 플로우가 증가하는 것으로 나타났으며, 플로우 값은 CS-B-20인 경우 156 mm에서 CS-B-80일 때 138 mm로 측정되어, 동제련 슬래그 잔골재의 치환율이 증가할수록 슬럼프는 감소하는 것으로 나타났다. 반면에 동제련 슬래그 골재 입도 CS-C에서는 동제련 슬래그 잔골재를 20%에서 100%까지 20%씩 증가하여 치환하였을 경우에 플로우는 160, 180, 205, 215 및 220 mm로 나타나, 동제련 슬래그 잔골재의 치환율이 증가할수록 플

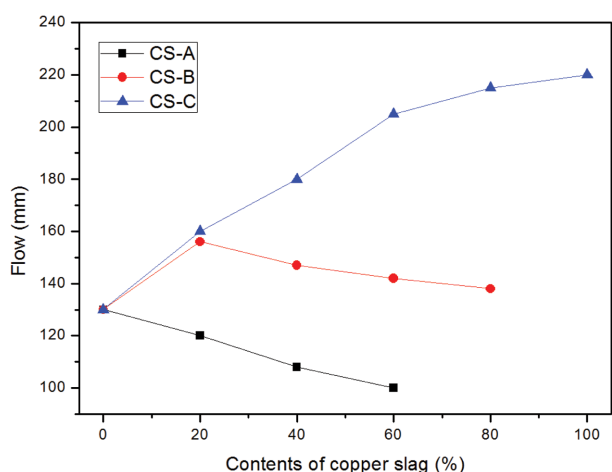


Fig. 4. Flow of mortar with contents of copper slag.

로우값이 증가하는 경향을 보여 CS-A, CS-B의 동제련 슬래그 결과와는 다른 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 동제련 슬래그 CS-A, CS-B에서는 미분말 혼입량이 증가됨에 따라 분산성이 저하됨으로 인해 플로우가 감소되는 결과를 보인 것으로 판단된다. 또한 CS-C에서는 동제련 슬래그 미분말이 CS-A, CS-B보다 작게 분포되고 있으며, 강사와 유사한 입도결과를 보이므로 인해 분산성이 향상된 것에 기인한 것으로 판단된다. 그리고 동제련 슬래그 골재의 흡수율이 0.5%이며 강사의 흡수율은 1.8%로 동제련 슬래그 골재의 흡수율이 강사의 흡수율보다 작음으로 인해 강사와 유사한 입도분포를 보일 때에는 초기 작업성을 평가하는 플로우가 증가되는 결과를 보인 것으로 판단된다.

그리고 Table 4 및 Fig. 5의 공기량 실험결과를 보면 CS-A를 사용하였을 경우에 동제련 슬래그의 잔골재 치환율이 증가함에 따라 공기량이 증가하였으며, CS-A-60인 경우는 25% 공기량을 보였다. 이것은 플로우 값이

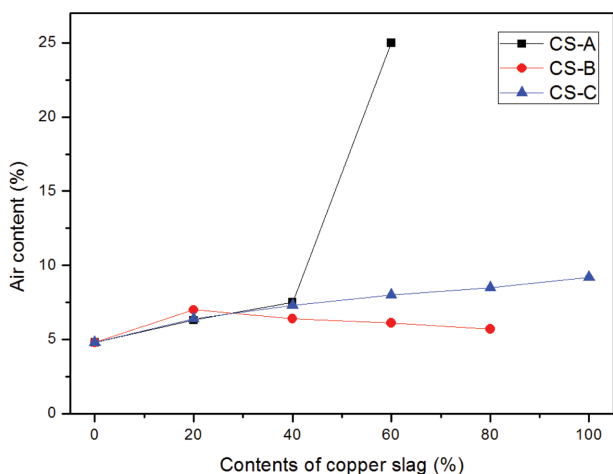


Fig. 5. Air content of mortar with contents of copper slag.

100 mm로 유동성이 없으므로 인해 다짐불량으로 과도한 공기량 결과값을 보인 것으로 판단된다. 반면에 CS-B에서는 동제련 슬래그의 잔골재 치환율이 증가함에 따라 공기량이 7.0에서 5.7%로 감소하였으며, 치환율에 관계없이 적정 공기량을 확보한 것으로 나타났으며, 동제련 슬래그 골재의 0.59 mm 이하 미분량이 증가함으로 인해 모르타르 내의 공극이 감소함으로 인해 전체 공기량은 동제련 슬래그 치환율이 증가됨에 따라 감소된 결과로 보인다. 그리고 CS-C 입도형상에서는 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 증가함에 따라 6.4에서 9.2%로 증가하는 결과를 보였다. CS-C 조건에서 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 증가함에 따라 공기량이 증가하는 것으로 나타난 것은 CS-B와는 다르게 0.59 mm 이하 통과되는 미립자가 강사보다도 상대적으로 적으므로 인해 모르타르 내의 공극이 증가한 결과로 판단된다. 따라서 잔골재로 사용되는 골재의 입도분포 형상은 모르타르의 전체 공기량 및 플로우에 영향을 주는 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

3.2. 단위용적질량

굳지 않은 모르타르의 단위용적질량을 시험한 결과는 Table 4 및 Fig. 6과 같다. 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 증가함에 따라 동제련 슬래그 입도 형상에 관계없이 단위용적질량이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 다만, CS-A-60의 경우는 공기량이 25%로 다짐불량으로 인해 단위용적질량이 감소된 것으로 나타난 것이다. 그리고 동제련 슬래그를 잔골재에 40% 치환한 경우는 동제련 슬래그를 치환하지 않은 경우에 비해 11.2~18.4% 단위용적질량이 증가하였다. 또한 동제련 슬래그를 잔골재로 100% 치환한 경우는 OPC에 비해 38.3% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 동제련 슬래그 골

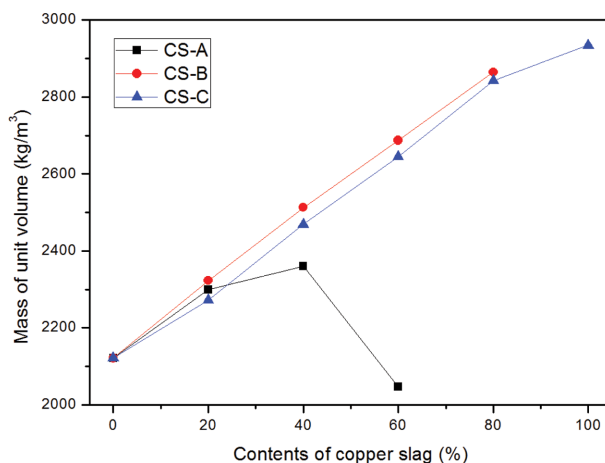


Fig. 6. Mass of unit volume of mortar with contents of copper slag.

재를 잔골재로 치환함에 따라 단위용적질량이 증가하는 것은 동제련 슬래그의 비중이 3.5 강사는 2.6으로 사용된 골재의 비중차이로 인해 발생된 것으로 사료된다. 또

한 동제련 슬래그는 금속을 함유하고 있으므로 금속함량에 따라 단위용적질량은 변화될 것이며, 모르타르 및 콘크리트 골재로 사용할 때에는 자중이 증가하는 문제가 발생되므로 자중 증가가 문제가 되는 구조물 등에는 유의해야 할 것으로 판단된다.

3.3. 응결

동제련 슬래그 골재를 잔골재로 치환하여 사용함에 따른 응결 시험결과는 Table 4 및 Fig. 7과 같다. 동제련 슬래그 골재를 사용함으로써 OPC보다 종결시간은 증가하는 것으로 나타났으며, 동제련 슬래그 골재의 입도 형상에 따라 CS-A, CS-B에서는 동제련 슬래그 골재 치환율이 증가함에 따라 종결시간이 감소되는 결과를 보인 반면에 CS-C 입도형상을 사용하였을 경우에는 종결시간이 증가하는 결과를 보여, 동제련 슬래그 골재가 시멘트 모르타르 응결에도 영향을 주는 인자임을 확인하였다. 이와 같이 동제련 슬래그 입도형상에 따라 응결 현상이 변화되는 것은 유동성 및 골재 및 시멘트의 분산성에 영향을 받는 것으로 판단된다. 따라서 동제련 슬래그 골재를 사용함으로써 OPC보다 응결 지연현상이 발생됨으로 시멘트 2차 제품 성형시 탈형시간 등에 영향을 미칠 것이므로 적정 치환율을 산정하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

3.4. 건조수축

동제련 슬래그 골재를 사용함에 따른 건조수축 실험결과는 Fig. 8와 같다. CS-A의 경우 CS-A-40 및 CS-A-60 시험편에서 수축이 전혀 발생하지 않았으며, 이것은 플로우 값이 108, 100 mm로 유동성이 거의 없는 상태였기 때문에 나타난 결과이다. 그리고 CS-A-20의 경우 최종 수축량이 637 μm 이고 OPC는 419 μm 로 34% 수축량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 OPC의 경우는 약 30,000 sec에서 수축량이 수렴된 반면에, CS-A-20의 경우는 약 20,000 sec에서 수축 변화가 없이 수렴되는 것으로 나타나, 동제련 슬래그 골재를 치환함으로써 인해 수축량이 증가하고, 수축변화가 수렴되는 시간이 감소되는 것으로 나타났다. 동제련 슬래그 CS-B 입도를 잔골재로 치환한 경우 CS-A과는 달리 동제련 슬래그를 60 및, 80% 치환한 경우 OPC와 유사한 수축경향을 보이는 것으로 나타났다. CS-A에서는 수축현상이 발생하지 않았음에도 불구하고 CS-B에서 동제련 슬래그 치환율이 증가함에도 수축현상이 나타나는 것은 초기 플로우값이 142 및 138 mm로 유동성을 확보하고 있기 때문으로 판단된다. 그리고 CS-B-20 및 CS-B-40의 경우는 CS-A-20과 유사하게 OPC보다 수축이 증가하는 결과를 보였

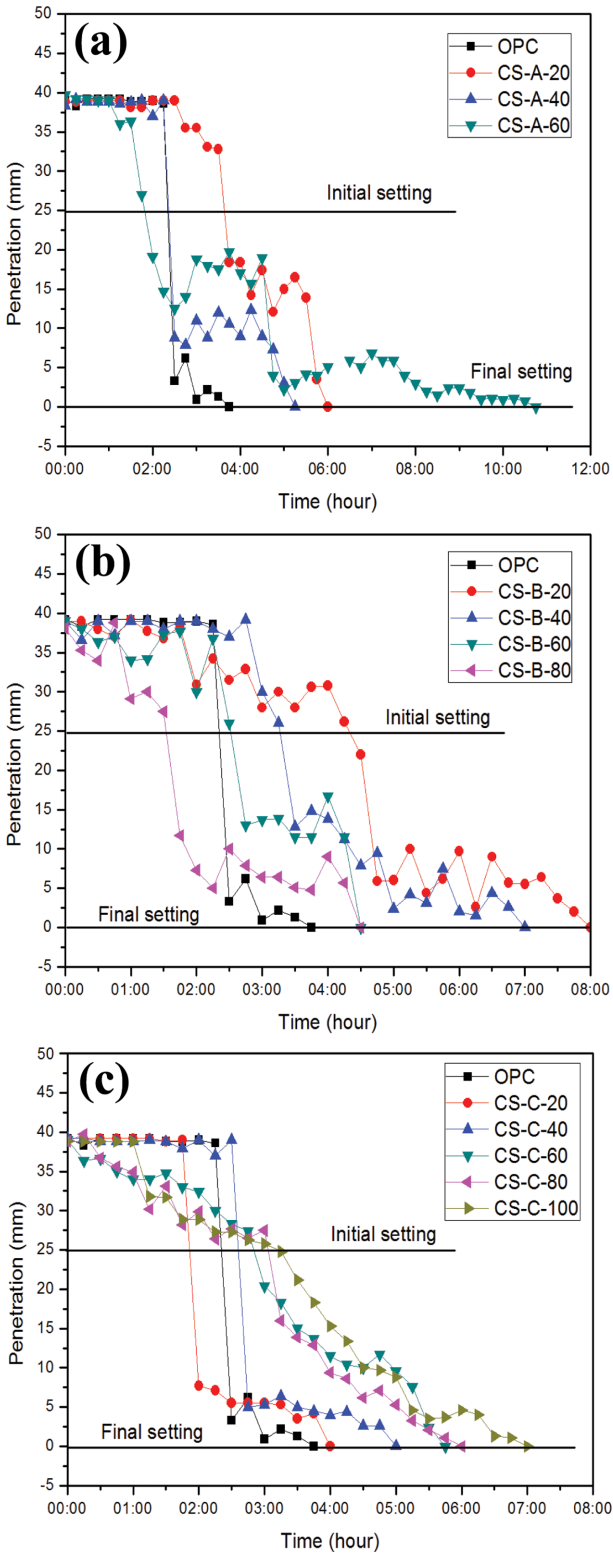


Fig. 7. Mortar setting-time for the (a) CS-A, (b) CS-B and (c) CS-C with replacement ratio of copper slag.

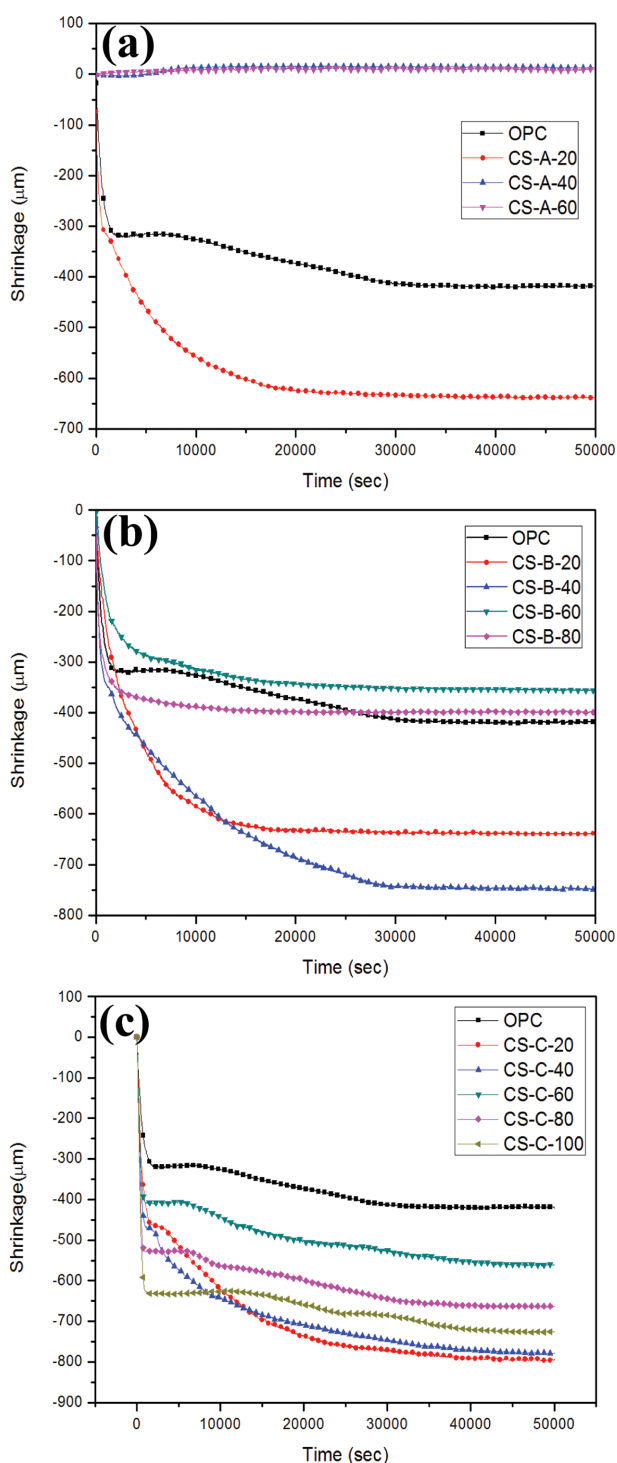


Fig. 8. Shrinkage of mortar for the (a) CS-A, (b) CS-B and (c) CS-C with replacement ratio of copper slag.

다. 특히 CS-B-20의 경우는 15,000 sec에서 수축량이 수렴되었으나, CS-B-40의 경우는 30,000 sec에서 수렴되어 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 증가됨에 따라 수축 수렴시간도 증가되었다.

CS-C에서 수축량 변화는 CS-A, CS-B의 경우와는 다르게 동제련 슬래그 골재를 치환함으로써 인해 모든 경우

에서 OPC보다 수축량 및 수축량 수렴시간이 증가하는 결과를 보였다. 또한 적정 유동성 조건하에서는 동제련 슬래그 골재의 비중이 강사보다 크므로 인해 침강 등에 의해 수축량이 증가하는 결과를 보인 것으로 판단된다. 따라서 동제련 슬래그 골재를 사용함으로써 수축량이 증가됨으로써 부재의 치수변화가 예측됨으로 적정 치환율이 산정되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

동제련 슬래그를 시멘트 모르타르용 골재로 사용하기 위해 동제련 슬래그 입도 변화와 치환율 변화를 주요 실험변수로 한 굳지 않은 모르타르의 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 동제련 슬래그 골재의 미분말 함량이 증가함에 따라 분산성 저하로 인해 초기 작업성을 평가하는 플로우 값이 감소하는 결과를 보였으며, 강사와 유사한 입도분포를 갖는 CS-C 입도분포를 갖는 동제련 슬래그 골재를 사용하였을 경우에는 동제련 슬래그 치환율이 증가함에 따라 플로우 및 공기량이 증가하는 것으로 나타났다.

2) 동제련 슬래그 치환율이 증가함에 따라 모든 입도 분포조건에서 단위용적질량이 증가하는 것으로 나타났으며, CS-C 입도를 사용한 모르타르의 경우 동제련 슬래그를 잔골재로 사용된 강사에 대한 치환율이 20에서 100 %로 증가함에 따라 단위용적질량은 7에서 38 %로 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 사용된 잔골재인 강사와 동제련 슬래그의 비중차이로 인해 발생된 것으로 판단된다.

3) 동제련 슬래그를 골재로 사용함으로써 인해 응결시간은 OPC보다 증가하는 것으로 나타났으며, CS-A 및 CS-B를 사용한 모르타르에서는 동제련 슬래그 치환율이 증가함에 따라 종결시간이 감소하는 경향을 보인 반면에 CS-C를 사용한 경우는 응결이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 동제련 슬래그 미분말 입도조건이 시멘트 분산성, 유동성 등에 의해 영향을 주기 때문으로 판단된다.

4) 건조수축은 동제련 슬래그를 잔골재로 치환함으로써 인해 CS-A-20, CS-B-20, 40, CS-C 입도는 모든 치환조건에서 수축량 및 수축종료 수렴시간이 OPC보다 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 CS-C 입도를 사용하였을 경우에는 CS-C-60에서 건조수축이 가장 적게 발생하는 것으로 나타났다.

5) 동제련 슬래그를 시멘트용 골재로 대체하여 사용할 경우 동제련 슬래그 입도분포 조건에 따라 굳지않은 특성이 변화됨으로 중요한 인자조건이 됨을 확인하였으며, 강도 및 내구성 등의 특성을 고려하여 최적 치환율을 산정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP, No. 20125010100030-11-2-400)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] J.-I. Lee, M.S. Kong and J.H. Ryu, "Concentration and separation of nickel from copper alloy dross using chelating resin", *J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol.* 23 (2013) 114.
- [2] J.-I. Lee, C.W. Hong and J.H. Ryu, "Separation of Nickel and Tin from copper alloy dross", *J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol.* 24 (2014) 224.
- [3] W.A. Moura, J.P. Gonsalves and M.N. Lima, "Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete", *J. of Mat. Scie.* 42 (2007) 2226.
- [4] C. Shi, C. Meyer and A. Behnood, "Utilization of copper slag in cement and concrete", *Resou. Conse. Recy.* 52 (2008) 1115.
- [5] K.S. Al-Jabri, M. Hisada, S.K. Al-Oraimi and A.H. Al-Saidy, "Copper slag as sand replacement for high performance concrete", *Cem. and Con. Compo.* 31 (2009) 483.
- [6] M. Najimi, J. Sobhani and A.R. Pourkhorshidi, "Durability of copper slag contained concrete exposed to sulfate attack", *Const. and Build. Mat.* 25 (2011) 1895.
- [7] I. Afshoon and Y. Sharifi, "Ground copper slag as a supplementary cementing material and its influence on the fresh properties of self-consolidating concrete", *The IES J. Part A. Civil & Struc. Eng.* 7 (2014) 229.
- [8] J.-I. Lee, C.W. Hong and J.H. Ryu, "Evaluation of cement mortars blended with copper alloy slag", *J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol.* 25 (2015) 39.