

동제련 슬래그를 혼입한 고강도 콘크리트의 유동특성에 관한 연구

이동운¹, 윤종진¹, 김대영^{2*}
¹동서대학교 건축토목공학부, ²동의대학교 건축공학

The Fluidity Properties of High Strength Concrete adding Copper Slag as Mineral Admixture

Dong-Un Lee¹, Jong-Jin Yoon¹, Dae-Young Kim^{2*}

¹Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

²Division of Architectural Engineering, Dong-Eui University

요약 본 연구의 목적은 고강도 콘크리트에 광물성 혼화제로서 동제련 슬래그를 혼입하였을 때 유동특성을 파악하기 위한 것이다. 이를 위해 동제련 슬래그를 고강도 콘크리트의 결합재로 사용하여 10%, 20%, 30%, 40%, 50%를 시멘트로 대체하여 사용하였다. 그리고 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프플로, 500mm도달시간, V-Funnel과 U-Box시험을 실시하여 유동성 및 충전성을 알아보았고, 굳은 콘크리트에서는 재령 3, 7, 14, 28일의 콘크리트 압축강도를 측정하였다. 상기의 실험결과, 동제련 슬래그를 광물성 혼화제로 혼입한 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트 특성을 살펴보면 동제련 슬래그의 치환율이 30%까지는 유동성이 증가하였으며, 충전성이 우수한 것을 알 수 있었다. 그리고 굳은 콘크리트의 특성을 살펴보면 동제련 슬래그의 치환율이 30%일때까지 모든 재령에서 압축강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 동제련 슬래그의 치환율이 30%를 초과하였을 때는 유동성, 충전성 및 압축강도가 감소하는 것을 확인할 수 있어 동제련 슬래그의 최적 치환율은 30%이내가 적정할 것으로 판단된다.

Abstract This study examines the properties of high-fluidity concrete after adding copper slag as a mineral admixture. For this purpose, the replacement ratio of cement to copper slag was varied to 0, 10, 20, 30, 40, and 50%. A slump flow test, reach time slump flow of 500 mm, and a U-Box and O-lot test were conducted on the fresh concrete. The compressive strength of the hardened concrete was determined at 3, 7, 14 and 28 days. According to the test results, the workability, compaction, and compressive strength of the high-fluidity concrete increased when replacing 30% of the cement with copper slag. These parameters decreased for all material ages with more than 30% copper slag, which was the optimal mixture ratio.

Keywords : Copper Slag, Mineral Admixture, High Fluidity Concrete, Slump Flow Test, V-Funnel, U-Box, Compressive Strength.

1. 서론

최근 콘크리트의 구조물은 대형화 및 고층화가 됨에 따라 이에 적합한 성능을 가지는 콘크리트의 사용이 증대되고 있다. 이러한 거대한 건축물을 콘크리트로 타설

하기 위해서 가장 요구되는 성능은 유동성, 점성 및 충전성이 우수한 고유동성을 가지는 콘크리트이다. 이에 고유동 성능을 확보하기 위해 새로운 재료와 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1]

일반적으로 고유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 단

본 연구는 2016년도 동서대학교 특별연구과제 지원비로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Dae-Young Kim(Dong-Eui Univ.)

Tel: +82-51-890-2817 email: kimdy@deu.ac.kr

Received July 6, 2016

Accepted October 7, 2016

Revised (1st August 23, 2016, 2nd September 19, 2016, 3rd September 26, 2016)

Published October 31, 2016

위 시멘트의 사용량을 줄이기 위해 혼화재료를 사용하거나 점성 및 재료분리 저항성을 증대하기 위해 충전재를 사용하는 방법을 가장 많이 사용하고 있다.[2]

혼화재료의 경우 고로슬래그 미분말이나 플라이 애쉬를 가장 많이 사용하는데 고로슬래그 미분말의 경우 초기 강도가 저하하는 단점이 있으며 플라이 애쉬의 경우 품질이 일정하지 못하는 단점이 있다. 그리고 충전재의 경우 석분을 가장 많이 사용하는데 석분의 혼입율이 증가할 수 록 유동성 및 강도저하기 발생하는 점이 있다.

이러한 문제점들을 해결하고자 기존의 혼화재료들과 유사한 화학 성분 및 포졸란 반응성이 있는 동제련 슬래그에 대하여 기존의 혼화재료를 대체할 재료로서 주목할 필요가 있다.

동제련 슬래그는 국내에서 매년 80만톤 가까이 발생되는 산업부산물로서 혼화재료로 사용할 경우 단위 시멘트량의 감소로 인하여 경제성이 있을 뿐만 아니라 산업부산물의 재활용 측면에서도 환경 친화적인 재료이다. 그러나 국내에서 동제련 슬래그는 대부분 도로 노반용 채움재나 매립하는 실정이므로 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다.[3]

그리고 동제련 슬래그의 경우 입경이 둥글고 흡수율이 적기 때문에 고유동 콘크리트의 혼화재료로 사용할 경우 강도의 저하 없이 유동성, 점성 및 충전성이 향상될 것으로 예상되며 콘크리트의 생산단가 절감에 이점이 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 관점에서 본 연구에서는 동제련 슬래그를 혼화재료로 활용하여 굳지 않은 특성인 유동성, 점성 및 충전성을 측정하고 굳은 특성으로 압축강도를 측정하여, 동제련 슬래그가 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험인자 및 평가

본 연구에서 고유동 콘크리트의 배합설계는 기존연구를 참고하여 설정하였다.[4] 특히, 본 연구에서 단위결합재량은 500 kg/m^3 로 보통 콘크리트의 단위결합재량보다 매우 높은 것이 특징이다. 이렇게 설정한 이유는 유동성 및 충전성에 단위결합재량이 가장 큰 영향을 미치기 때문이다.

그리고 동제련 슬래그는 시멘트 중량에 대하여 각각 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %로 치환하였다. 기존 혼화재료의 경우 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 각각 10 %, 20 %, 30 %로 치환한 시편을 제작하였다.

평가항목은 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로, 슬럼프플로 500 mm 도달시간, V-Funnel 유하시간과 U-Box 충전높이 시험을 실시하였으며, 굳은 콘크리트에서는 재령 3, 7, 14, 28일의 압축강도를 측정하였다. 본 연구의 배합설계는 [Table 1]과 같으며, 실험인자 및 평가항목은 [Table 2]에 나타내었다.

Table 1. Mixing Design of Concrete

Specimen	W/B (%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Copper Slag (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Super-plastici-zier (kg/m ³)	Aggregate (kg/m ³)	
								Fine	Coarse
Plain	35	175	500	-			1.2	756	893
10CO			450	50				758	896
20CO			400	100				760	898
30CO			350	150				762	900
40CO			300	200				764	902
50CO			250	250				766	905
10GF			450		50			754	891
20GF			400		100			753	889
30GF			350		150			751	888
10FA			450			50		748	884
20FA			400			100		740	874
30FA			350			150		731	864

Table 2. Experiment factor and Tests

Experiment Factor	W/B Ratio(%)	35
	Cement Content(kg/m ³)	500
	Copper Slag replacement ratio(%)	10, 20, 30, 40, 50
	Ground Granulated Blast Furnace Slag(%)	10, 20, 30
	Fly Ash(%)	
Tests	Slump Flow(mm)	Fresh Concrete
	500mm Flow Reaching Time(sec)	
	V-Funnel(sec)	
	U-Box(mm)	
	Compressive Strength(days)	

2.2 실험재료

2.2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 S사에서 제조한 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.2.2 골재

굵은골재는 20 mm 이하의 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 5 mm 이하의 강모래를 사용하였다.

2.2.3 고성능 감수제

본 연구에 사용된 고성능 감수제의 경우 폴리카보산계이며 액체형을 사용하였다.

2.2.4 동제련 슬래그

본 연구에 사용된 동제련 슬래그는 국내 L사에서 동제련 연속로 공법을 통하여 발생된 것으로서 불밀에 2 시간동안 사용하여 미분말화 하였으며 이에 대한 형상은 [Figure 1]에 화학조성과 물리적 성질은 [Table 3]과 같다.



Fig. 1. Copper Slag

Table 3. Chemical and Physical composition of Copper Slag

Type	Copper Slag	
Fineness(cm ² /g)	3,160	
Density(g/cm ³)	3.5	
Chemical composition (%)	SiO ₂	33.05
	Al ₂ O ₃	4.46
	Fe ₂ O ₃	7.29
	MgO	0.73
	CaO	5.48
	Cu	1.0
	FeO	39.51
	Etc	8.48

2.2.5 혼화재료

본 연구에 사용된 혼화재료 중 고로슬래그 미분말은 국내산 H사의 콘크리트용 고로슬래그 미분말(3종)을 사용하였으며, 플라이 애쉬는 경상남도 S 화력발전소에서 발생된 것을 사용하였다. [Table 4], [Table 5]에 혼화재료들의 화학조성과 물리적 성질을 나타내었다.

Table 4. Chemical and Physical Properties of Blast Furnace Slag

Chemical Composition	Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
	Content (%)	31.82	17.48	0.52	43.79	4.44	3.79	0.36
Physical Properties	Fineness (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Flow Ratio (%)	Activity Coefficient(%)				
				7d	28d	91d		
	4,420	2.90	103	68	98	126		

Table 5. Chemical and Physical composition of Fly Ash

Type	Copper Slag	
Fineness(cm ² /g)	4,840	
Density(g/cm ³)	2.25	
Chemical composition (%)	SiO ₂	61.20
	Al ₂ O ₃	24.92
	Fe ₂ O ₃	4.63
	MgO	0.62
	CaO	1.82
	Na ₂ O	0.35
	K ₂ O	0.96
	Etc	3.72

2.3 실험방법

2.3.1 슬럼프플로 및 500 mm도달시간

각 배합별 바다모르타르의 유동성 측정을 위하여 KS L 5111에 따라 슬럼프플로 시험을 실시하였으며, 슬럼프플로 500 mm 도달시간을 측정하여 점성에 대하여 평가하였다.

2.3.2 V-Funnel 유하시험

고유동 콘크리트의 점성을 알아보하고자 V-Funnel 유하시험 시험 기구를 이용하여 유하시험을 측정하였다. V-Funnel 유하시험 측정에는 KSCE 2003-03 “깔대기를 사용한 유하 시험방법”에 따라 시험을 실시하였다.

2.3.3 U-Box 충전높이 시험

U-Box 충전높이는 KSCE 2003-01. “충전장치를 이용한 간극 통과성 시험방법”에 따라 실시하였다. U-Box 시험 기구에 시료를 채운 후 가운데 칸막이를 들어 올려 콘크리트가 강봉 사이를 통과하여 상승된 높이를 측정하였다.

2.3.4 압축강도 측정

압축강도는 소정의 재령까지 20±3 ℃의 온도에서 수중양생을 실시하였으며, 재령 3, 7, 14일 및 28일에 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법”에 따라 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 슬럼프플로

혼화재료의 치환율에 따른 유동성을 비교·평가하고자 각 시편별 슬럼프플로를 측정하였으며, 그 결과는 [Figure 2] 및 [Figure 3]과 같다. 기준시편의 슬럼프플로 값은 650 mm로 측정되었으며, 동제련 슬래그를 10% ~ 50%까지 치환할 경우 각각 680 mm, 690 mm, 700 mm, 720 mm, 750 mm으로 나타났다. 따라서 동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로는 증가하는 경향이 나타났으나, 치환율이 40% 이상일 때는 [Figure 4]와 같이 재료분리가 발생하였다.

각각의 혼화재료 치환율에 따른 슬럼프플로는 치환율이 증가할수록 슬럼프플로가 증가하는 경향을 나타내었

다. 그러나 혼화재료의 치환율이 동일한 경우, 동제련 슬래그를 치환한 시편의 슬럼프플로가 다소 높게 측정되어 유동성 증진효과가 다른 혼화재료와 비교하여 조금 더 우수함을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과가 나타난 이유는 동제련 슬래그의 입형이 구형이며 흡수율이 낮아 동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 유동성 향상효과가 나타난 것으로 판단된다.

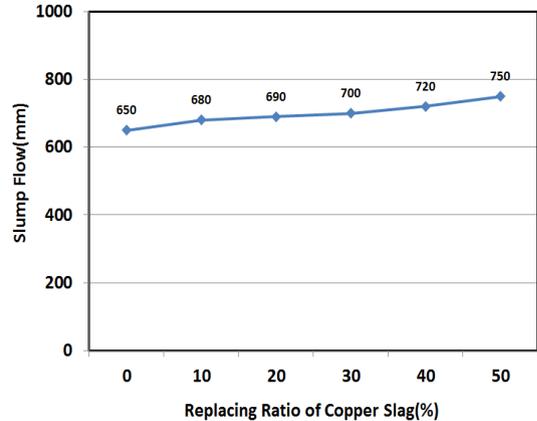


Fig. 2. Results of Slump Flow Test according to Replacing Ratio of Copper Slag

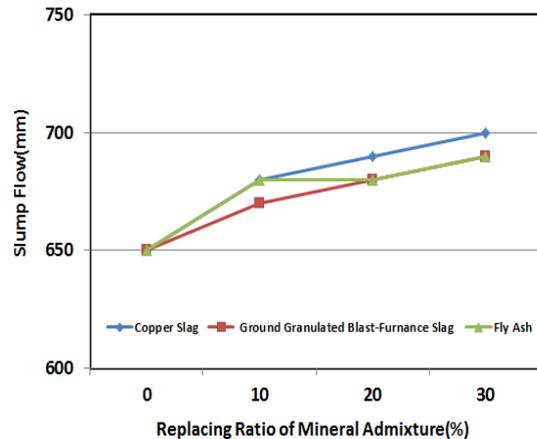


Fig. 3. Results of Slump Flow Test according to Replacing Ratio of Mineral Admixture



Fig. 4. Segregation of Concrete adding Copper Slag 40%

3.2 슬럼프플로 500 mm 도달시간

[Figure 5]와 [Figure 6]은 혼화재료의 치환율 및 종류에 따른 슬럼프플로 500 mm 도달시간을 측정하여 고유동 콘크리트의 점성을 평가하였다.

동제련 슬래그의 치환율에 따른 슬럼프플로 500 mm 도달시간은 기준시편의 7.5초와 비교하여 동제련 슬래그의 치환율 10%~50%까지는 0.7초~3.5초로 단축되어 치환율 증가와 더불어 슬럼프플로 500 mm 도달시간이 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 치환율이 40% 이상일 때는 기준시편에 비하여 2.0초 이상의 단축이 일어났지만 점성이 매우 낮아 재료분리가 발생하는 것을 알 수 있었다.

혼화재료의 종류 및 치환율에 따른 시험결과에서는 혼화재료의 치환율이 동일한 경우 고로슬래그 미분말을 혼입한 시편이 슬럼프플로 500 mm 도달시간이 가장 크게 단축되었으나 동제련 슬래그를 치환한 시편과 큰 차이는 나타나지 않았다.

이를 바탕으로 동제련 슬래그를 30%까지 치환할 경우 재료분리가 없는 상태에서 저점성을 나타내었으며, 유동성이 향상되는 것을 확인하여 고유동 콘크리트 타설시 압송성 및 작업성에 도움이 될 것으로 판단된다.

3.3 V-Funnel 유하시간

Safawi[5]는 V-funnel 유하시간을 평가하기 위한 기준을 설정하여 8초 이하의 저점성, 10초는 중점성, 13초 이상은 고점성으로 분류하였다. 이를 바탕으로 점성을 측정함으로써 고유동 콘크리트의 점성을 평가할 수 있다.

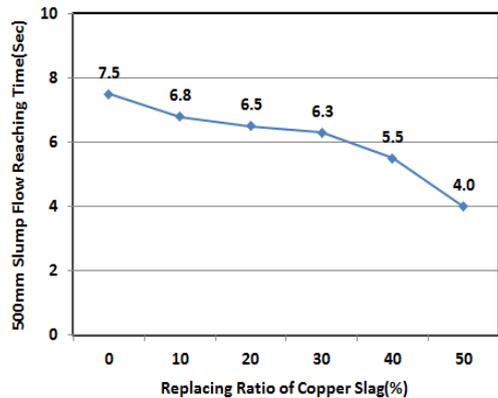


Fig. 5. Results of 500mm Slump Flow Reaching Time according to Replacing Ratio of Copper Slag

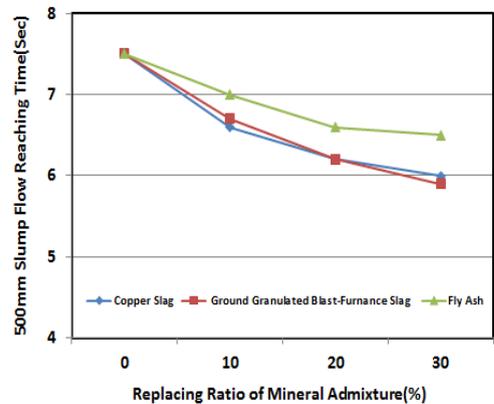


Fig. 6. Results of 500mm Slump Flow Reaching Time according to Replacing Ratio of Mineral Admixture

[Figure 7]의 경우 동제련 슬래그의 치환율에 따른 V-Funnel 유하시간을 측정할 결과로 동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 유하시간은 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있다. 그러나 치환율이 30%까지는 유하시간이 5.1~5.2가 측정되어 유사한 점성을 나타내었지만, 치환율이 40% 이상일 때 유하시간은 4.0초와 3.3초가 측정되어 저점성 영역 중에서도 점성이 가장 낮은 것으로 나타나 고층이나 지하부위에 콘크리트를 타설하기 위한 압송성에 유리할 것으로 판단된다.

혼화재료에 따른 V-Funnel 유하시간 측정결과는 [Figure 8]에 나타내었는데, 플라이 애쉬를 치환한 시편을 제외하고는 거의 유사한 유하시간이 나타났다.

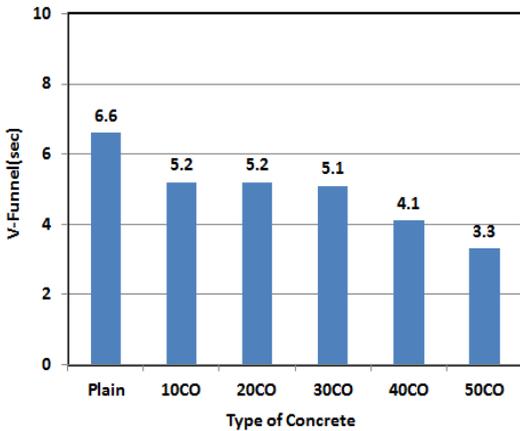


Fig. 7. Results of V-Funnel according to Replacing Ratio of Copper Slag

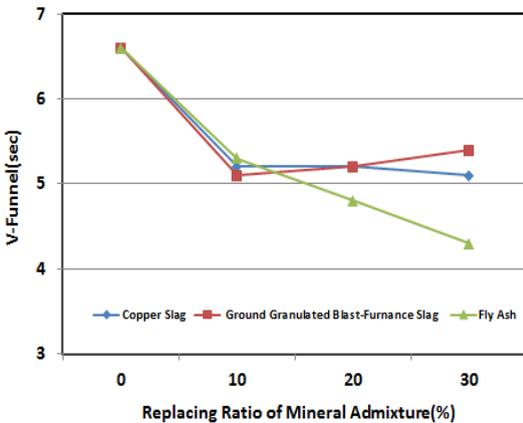


Fig. 8. Results of V-Funnel according to Replacing Ratio of Mineral Admixture

3.4 U-Box 시험 결과

고유동 콘크리트의 충전성을 파악하기 위해 U-Box 충전높이 시험을 실시하였으며, 그 결과는 [Figure 9]에 나타내었다.

U-Box 충전높이 측정 결과 모든 시편에서 EFNARC 충전높이 기준인 300 mm를 만족하였으며, Plain의 충전높이는 348 mm로 나타났다.[6] 동제련 슬래그의 치환율이 30 %까지는 치환율이 증가할수록 충전높이는 각각 357, 360, 362 mm로 측정되어 Plain과 비교하여 9~14 mm로 높게 나타나 충전성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 동제련 슬래그 치환율 40 %이상에서는 충전높이가 350, 330 mm로 측정되어 Plain에 비하여 매우

낮은 충전성을 나타내었다. 그리고 고로슬래그 미분말을 치환한 경우 365, 368, 370 mm로 측정되어 Plain보다 17~22 mm로 높아지는 것을 알 수 있어 동제련 슬래그 보다는 충전효과가 다소 미미하지만 충전성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

플라이애시를 치환할 경우 각각 362, 363, 362 mm로 측정되어 14~15 mm의 상승효과로 동제련 슬래그를 혼입한 시편과 유사한 충전성을 나타내는 것으로 확인되었다.

이러한 결과로 볼 때 동제련 슬래그를 치환한 시편의 경우 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 치환한 시편과 충전성의 향상효과가 유사한 것을 확인할 수 있었다.

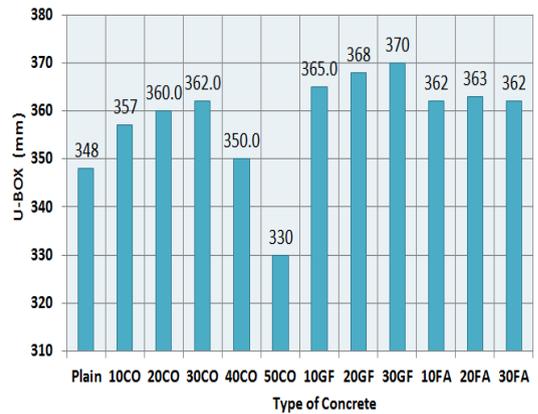


Fig. 9. Results of U-Box Test according to Replacing Ratio of Mineral Admixture

3.5 공기량

고유동 콘크리트의 공기량 시험을 실시한 결과를 [Figure 10]에 나타내었다. 전시편에서 기준시편보다 낮은 공기량이 측정되었으며, 혼화재의 종류에 관계없이 치환율의 증가와 더불어 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 동제련 슬래그를 50 %까지 치환하여도 공기량은 4.5 %로 측정되어 플라이 애쉬 10 % 치환한 경우와 동일한 것으로 확인되었다. 따라서 동제련 슬래그의 다량 치환시 공기량은 기타 혼화재료와 비교하여 충분한 동결융해 저항성능을 확보할 것으로 판단된다.

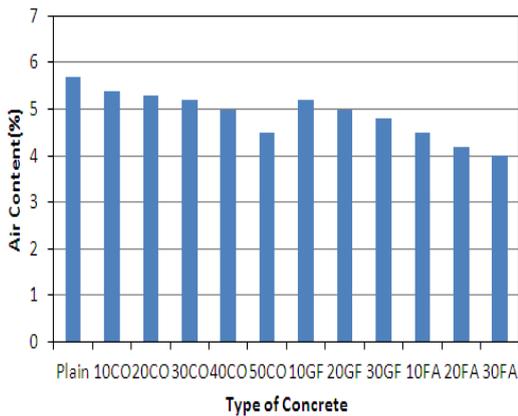


Fig. 10. Results of Air Content according to Replacing Ratio of Mineral Admixture

3.6 압축강도

[Figure 11]은 동제련 슬래그의 치환율에 따른 고유동 콘크리트의 3일, 7일, 14일 및 28일 압축강도를 나타낸 것이다.

재령 3일과 7일에서는 동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 강도는 감소하는 것이 확인되었으며, 동제련 슬래그를 치환한 모든 시편에서 Plain시편 보다 낮은 강도발현 특성을 보이는데, 이는 동제련 슬래그의 치환율 증가와 더불어 시멘트의 양이 감소하였기 때문으로 판단된다.

그러나 재령 14일에서는 초기재령의 강도발현 특성과 다른 모습을 보였는데, 동제련 슬래그를 30%까지 치환한 전 시편이 Plain시편의 강도와 유사한 것으로 확인되었다. 동제련 슬래그를 10%치환한 경우에서 가장 높은 강도인 41.2 MPa가 측정되었으며, 가장 낮은 강도를 보인 것이 20%를 치환한 경우로 40.6 MPa로 측정되었다.

[Figure 13]의 XRD결과에 따르면 동제련 슬래그는 14일 재령에서 에트링가이트가 사라지고 헤미카보네이트 및 모노카보네이트가 동시에 관찰되었다. 또한, 용융 슬래그 30%를 첨가한 시편에서는 모노설페이트가 관찰되어 포졸란 반응에 의한 강도발현 효과가 나타나는 것으로 판단된다.

재령 28일에서도 동제련 슬래그를 30% 치환한 모든 시편이 Plain시편의 강도를 초과하는 것으로 나타났으며, 특히 치환율 30%일 때는 50.5 MPa가 측정되어 가장 높은 압축강도 발현이 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 일정이상 재령이 경과한 경우 용융슬래그의 치환율이

높을수록 강도증진 효과가 더욱 우수함을 입증하는 결과로 판단된다. 그러나 동제련 슬래그의 치환율이 40% 이상일 때는 전 재령에서 강도 감소가 나타나 강도발현 측면에서 동제련 슬래그를 치환한 콘크리트의 최적 치환율은 30%수준으로 판단된다.

[Figure 12]는 각각의 혼화재료에 따른 최적 치환율의 압축강도 결과를 나타내었다. 재령 28일을 기준으로 동제련 슬래그의 경우 치환율이 30%일 때가 압축강도가 가장 높게 측정되었으며, 고로슬래그 미분말은 치환율이 30%일 때였다. 그리고 플라이 애쉬는 20%일 때 재령 28일의 압축강도가 가장 높게 측정되었다. 재령 3일, 7일, 14일의 경우 전 시편에서 기준시편 보다 낮은 압축강도가 측정되었으나 재령 28일에서는 동제련 슬래그를 30%치환한 시편의 압축강도가 50.5 MPa로 가장 높게 측정되었으며, 고로슬래그를 30%치환한 시편이 46.1 MPa로 측정되었다. 그리고 플라이 애쉬를 20%치환한 시편의 경우 42.8 MPa가 측정되어 기준시편과 유사한 압축강도가 측정되었으나 동제련 슬래그와 고로슬래그 미분말을 치환한 시편보다는 낮게 나타난 것을 알 수 있었다.

이상의 압축강도 결과를 분석하였을 때 동제련 슬래그의 경우 혼화재료로 사용 시 압축강도 증진에 효과가 있음을 확인할 수 있었으며, 고로슬래그 미분말이나 플라이 애쉬에 비하여 강도증진효과가 더 큰 것을 알 수 있었다.

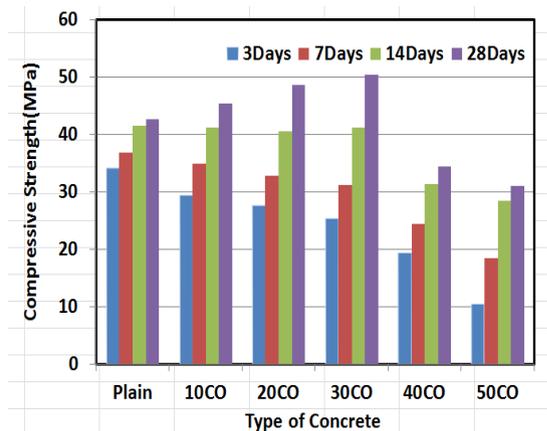


Fig. 11. Results of Compressive Strength

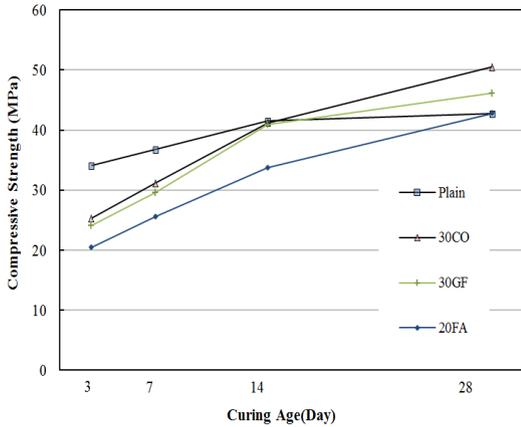


Fig. 12. Results of Compressive Strength according to Replacing Ratio of Mineral Admixture

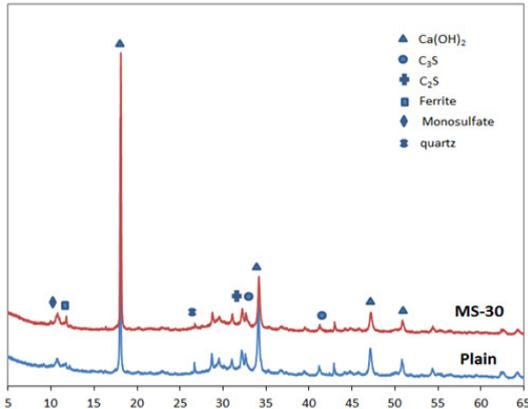


Fig. 13. Results of XRD

4. 결론

동제련슬래그를 혼입한 콘크리트가 기타 혼화재료를 혼입한 경우와 비교하여 보다 우수한 수준의 유동성을 확보할 것이라는 예측을 바탕으로 유동성, 충전성, 압축 강도를 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로는 증가하였고 슬럼프플로 500 mm 도달시간은 단축되어 기존 혼화재료와 비교하여 유동성 향상 효과를 확인하였다. 그러나 치환율이 40 % 이상일 때는 재료분리가 발생하여 적정 치환율이 존재함을

알수 있었다.

- 2) 동제련 슬래그의 치환율이 30 %까지는 V-Funnel 유하시간이 1.3초~1.4초 범위로 단축되었으며, U-Box 충전높이는 17~22 mm로 높아지는 것으로 확인되어 재료 분리 저항성과 충전성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 동제련 슬래그를 치환한 콘크리트의 압축강도는 Plain과 비교하여 재령 14일까지는 저하하였으나 재령 28일에서는 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 치환율이 30 %일 때, 기타 혼화재료와 비교하여 강도증진효과가 더 큰 것을 확인하였다.

이상의 결과로 고유동 콘크리트 제조시 동제련 슬래그를 사용하는 경우 유동성, 점성 및 강도증진에 효과가 있는 것으로 나타나 고유동 콘크리트 제조용 혼화재료로 충분히 사용 가능함을 확인할 수 있었다.

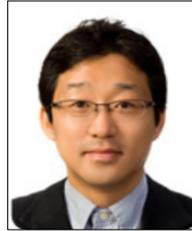
References

- [1] Felekoglu B, Turkel S, Baradan B., Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete, *Building and Environment*, vol. 42, no. 4, pp. 1795 - 1802, Apr. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.012>
- [2] Ye G, Liu X, De Schutter G, Poppe A-M, Taerwe L., Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes, *Cement and Concrete Composition*, vol. 29, no. 2, pp. 94 - 102, Feb. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.09.003>
- [3] Jeong EC., Effectiveness of Copper Slag in Reducing Alkali-Silica Reaction Expansion. [master's thesis], Pusan National University, 2008.
- [4] Lee DW, Lee MK, Park HJ., A Study on Fluidity ability, Filling ability Properties of High Fluidity Concrete with Illite Powder, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, vol. 16, no. 12, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.12.8363>
- [5] MI. Safiwi, I. Iwaki, T. Miura., A study on the applicability of vibration in fresh high fluidity concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 9, pp. 1834-1845, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.031>
- [6] EFNARC, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", UK, EFNARC, 2002.
- [7] Violeta Bokan Bosiljkov., SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler, *Cement and Concrete Research*, vol. 33, no. 9, pp. 1279-1286, Sep. 2003. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00013-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00013-9)

- [8] Mohammed Sonebi., Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modeling using factorial experimental plans, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 7, pp. 1199-1208, July 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.022>
- [9] Kim Jae-Hun, Yoon Sang-Chun, Jee Nam-Yong., The effect of combined aggregates on fluidity of the high fluid concrete containing GGBFS, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, vol. 3, no. 4, pp. 79-86, Dec. 2003.

김 대 영(Dae-Young Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : Civil, Arch., and Env. Engineering The University of Texas at Austin(Ph.D.)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 건축공학 교수

이 동 운(Dong-Un Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 1월 : (주) 본구조 엔지니어링 이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공

<관심분야>

건축관리, 건축시공

윤 종 진(Jong-Jin Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 부산대학교 화학과 학사졸업
- 1996년 2월 : 동아대학교 건축공학과 학사졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 LINK 사업단산학협력중점교수
- 1998년 5월 : 건축시공기술사

<관심분야>

건축재료, 건축시공