혼화재 다량 치환 콘크리트의 현장 적용을 위한 혼화재 치환율에 관한 연구

Study on the Mineral Admixture Replacement Ratio for Field Application of Concrete with High Volume Mineral Admixture

이재현¹ · 김용로¹ · 박종호^{2*} · 정 용²Jae-Hyun Lee¹ · Yong-Ro Kim¹ · Jong-Ho Park^{2*} · Yong Jeong²

(Received August 8, 2013 / Revised August 26, 2013 / Accepted September 9, 2013)

A variety of researches on the concrete with high volume mineral admixture have increased in recent years. In fact, it is very important to find appropriate replacement ratio of concrete with high volume mineral admixture in order to apply in the field. In this study, compressive strength according to fly ash and blast furnace slag replacement ratio as well as curing temperature was measured in the conditions of obtaining the same workability in order to examine the characteristics of concrete with high volume mineral admixture. In conclusion, it was found that the compressive strength at the age of 3 days decreased by 1.4MPa and the compressive strength at the age of 28 days decreased by 3.8MPa when the fly ash replacement ratio increased by 10%. Also, it was found that the compressive strength at the age of 3 days decreased by 1.0MPa and the compressive strength at the age of 28 days decreased by 0.9MPa when the blast furnace slag replacement ratio increased by 10%. Through the tests, we obtained the basic data for developing the future research on the concrete with high volume mineral admixture for housing structure.

키워드 : 콘크리트, 혼화재, 치환율, 플라이애시, 고로슬래그 미분말**Keywords :** Concrete, Mineral Admixture, Replacement Ratio, Fly Ash, Blast Furnace Slag

1. 서 론

최근 지구환경 보전에 대한 관심이 많아지면서 지구환경 변화에 많은 영향을 미치는 온실가스 배출저감을 위한 노력이 증가하고 있으며, 온실가스 배출의 상당부분을 차지하고 있는 건설업계에서도 CO₂ 저감을 위한 연구개발 등 환경오염을 저감할 수 있는 녹색건설기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

콘크리트 산업 분야에서는 CO₂ 배출량을 줄이고자 하는 노력의 일환으로 기존 콘크리트의 시멘트 사용량을 최소화하고 혼화재를 다량으로 치환하는 혼화재 다량 치환 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 같은 광물질 혼화재를 다량 치환한 콘크리트의 경우 수화열 저감 효과가 있어 기초 부재 등 매스콘크리트에 다수 활용되고 있다.

그러나 보편적으로 혼화재 다량 치환 콘크리트에서 단위결합재

량이 동일할 경우 혼화재의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 감소하게 되므로 실제 건설현장에서 혼화재 다량 치환 콘크리트를 골조용으로 실용화하는데 어려운 실정이다. 이를 위해서는 혼화재의 치환율 증가에 따른 압축강도 발현 특성에 대한 파악 및 적정 치환율의 도출이 필요하다.

본 연구에서는 현장 적용을 위한 혼화재 다량 치환 콘크리트의 적정 치환율을 도출하기 위한 기초실험으로서 슬럼프를 단위수량을 변경하여 동일한 수준으로 확보한 후 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환율을 변화시켜 배합 및 실험을 진행하였다. 혼화재 다량 치환 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 혼화재 치환율별 압축강도의 변화를 측정하였으며, 계절별 압축강도의 발현을 예측하기 위해 양생온도별 압축강도의 변화를 측정하였다. 이를 통해 향후 공동주택의 골조용 혼화재 다량 치환 콘크리트의 연구개발을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

* Corresponding author E-mail: kid007kr@sampyo.co.kr

¹대림산업 기술개발원 (DAELIM Industrial Co., Ltd, Technology Research & Development Institute, Seoul, 110-150, Korea)²삼표 기술연구소 (Sampyo R&D Center, Gwangju-si, Gyeonggi-do, 464-080, Korea)

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에서 볼 수 있듯이 혼화재의 치환율 증가에 따른 압축강도 발현 특성을 파악하기 위해 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환율을 0~70%의 8수준으로 설정하였으며, 계절별 압축강도 발현율을 예측하기 위해 양생온도를 5, 20, 35℃의 3수준으로 설정하였고 현장적용을 고려하여 공시체 제작 직후 챔버(습도 60%)에서 기건양생을 실시하였다. 실험항목으로는 슬럼프, 공기량 및 압축강도를 측정하였으며, 목표 슬럼프는 180 ± 25 mm, 목표 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 계획하였다.

또한, 본 연구에 사용된 콘크리트의 배합은 Table 2에 나타낸 바와 같이 설계기준강도 24MPa 수준으로 단위결합재량의 경우 330 kg/m^3 로 고정하였으며, 고성능AE감수제(AD)의 사용량을 단위결합재량의 0.5%로 고정하여 실험을 진행하였다. 한편, 선행 연구를 통해 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따라 동일한 작업성을 확보할 수 있는 적정 단위수량을 도출하고자 하였다.

Table 1. Experimental plan

Items	Variables
FA* & BFS* Replacement Ratio(%)	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
Curing Temperature(℃)	5, 20, 35
Measurement	Slump(mm), Air Content(%), Compressive Strength(MPa)

* FA: Fly Ash

BFS: ground granulated Blast Furnace Slag

Table 2. Mixing proportions of concrete

Mix No.	Water (kg/m ³)	Binder (kg/m ³)	Cement (%)	FA (%)	BFS (%)	AD* (kg/m ³)	Mix No.	Water (kg/m ³)	Binder (kg/m ³)	Cement (%)	FA (%)	BFS (%)	AD (kg/m ³)
Plain	193	330	100	0	0	1.65 (B×0.5%)	Plain	193	330	100	0	0	1.65 (B×0.5%)
FA10%	189		90	10	0		BFS10%	192		90	0	10	
FA20%	186		80	20	0		BFS20%	189		80	0	20	
FA30%	183		70	30	0		BFS30%	185		70	0	30	
FA40%	180		60	40	0		BFS40%	182		60	0	40	
FA50%	177		50	50	0		BFS50%	180		50	0	50	
FA60%	174		40	60	0		BFS60%	177		40	0	60	
FA70%	172		30	70	0		BFS70%	175		30	0	70	

* AD: chemical Admixture

2.2 사용 재료

본 연구에서는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)을 만족하는 국내 A사의 1종 시멘트, 2종 플라이애시 및 3종 고로슬래그 미분말을 결합재로 사용하였고, 잔골재의 경우 세척사 및 부순모래를 혼합하여 사용하였다.

본 실험에서 사용된 결합재의 화학적 구성은 Table 3과 같으며, 재료의 물리적 성질을 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Chemical composition of used binders

Items	CaO (wt%)	SiO ₂ (wt%)	Al ₂ O ₃ (wt%)	Fe ₂ O ₃ (wt%)	MgO (wt%)	K ₂ O (wt%)	Na ₂ O (wt%)	T-S (wt%)	SO ₃ (wt%)
OPC	60.2	21.6	5.15	3.30	2.30	0.99	0.53	-	1.50
FA	4.00	57.9	20.5	6.80	1.38	1.18	0.89	0.13	-
BFS	44.9	35.4	13.0	0.47	5.01	0.37	-	-	1.31

Table 4. Physical properties of used materials

Items	Physical properties			
	SG*	F*(cm ² /g)	FM*	WA*(%)
OPC	3.15	3,322	-	-
FA	2.14	3,964	-	-
BFS	2.90	4,592	-	-
Sea Sand	2.61	-	2.56	0.72
Crushed Sand	2.61	-	2.61	0.72
Coarse Aggregate	2.63	-	7.12	0.76

* SG: Specific Gravity, F: Fineness, FM: Fineness Modulus, WA: percentage of Water Absorption

2.3 실험 방법

본 연구에서 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402에 의거하여 실시하였으며, 공기량 시험은 KS F 2421에 준하여 평가하였다. 또한, 압축강도용 원주형 공시체($\phi 100 \times 200\text{mm}$)는 KS F 2403에 제시된 “강도시험용 공시체의 제작 방법”에 준하여 제작하였으며 KS F 2405에 의거하여 재령에 따른 압축강도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 단위수량의 변동 특성

Table 5는 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것으로서 현장의 적용성을 높이고자 동일 작업성을 확보하기 위한 단위수량의 변동 특성을 파악하였다. 단위수량 변동 시험 결과, Plain 배합뿐만 아니라 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 치환한 배합 모두 목표 슬럼프($180 \pm 25\text{mm}$) 및 목표 공기량($4.5 \pm 1.5\%$)을 만족하였다.

Fig. 1의 (a)는 플라이애시 치환율에 따른 동일 작업성을 확보하기 위한 단위수량의 변화를 나타낸 것으로서 플라이애시 치환율 10% 증가시 단위수량은 약 3.0kg/m^3 가 선형으로 감소하였다. 한편, Fig. 1의 (b)는 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 단위수량의 변화를 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말의 치환율이 10% 증가할 경우 단위수량은 약 2.75kg/m^3 가 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 혼화재의 치환율이 증가함에 따라 워커빌리티가 개선되면서 동일한 작업성을 확보하기 위한 단위수량이 감소하여 나타난 현상으로 판단되며, 동일한 치환율 수준에서 플라이애시가 고로슬래그 미분말 대비 약 10% 정도의 워커빌리티 개선 효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

3.2 치환율에 따른 압축강도 특성

Fig. 2의 (a)는 재령별 플라이애시 치환율에 따른 압축강도의 변동을 나타낸 것으로서 플라이애시의 치환율 10%까지는 재령 28일 이후의 압축강도 증진이 나타나지 않았으나, 치환율 20%에서는 약 6% 수준, 치환율 30% 이상의 경우 약 16~24% 수준의 압축강도 증진이 나타났다.

Fig. 2의 (b)는 재령별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도의 변동을 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말의 치환율 10%까지는 28일 압축강도의 증진이 없었으나, 치환율 20% 이상의 경우 재령 28일 대비 재령 56일의 압축강도가 약 15~24% 수준이 증가하는 것으로 나타났다.

이는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말이 장기강도를 발현했기

Table 5. Properties of fresh concrete

Mix No.	Water (kg/m ³)	Slump (mm)	Air (%)	Mix No.	Water (kg/m ³)	Slump (mm)	Air (%)
Plain	193	215	5.3	Plain	193	215	5.3
FA10%	189	210	6.0	BFS10%	192	192	4.5
FA20%	186	220	6.0	BFS20%	189	189	5.5
FA30%	183	215	5.9	BFS30%	185	185	4.8
FA40%	180	215	6.2	BFS40%	182	182	5.5
FA50%	177	210	6.3	BFS50%	180	180	5.9
FA60%	174	210	6.0	BFS60%	177	177	4.9
FA70%	172	205	5.1	BFS70%	175	175	5.5

(a) FA replacement ratio

(b) BFS replacement ratio

Fig. 1. Variation properties of unit water content with different replacement ratio

때문으로 판단된다.

또한, Fig. 2의 (a)와 (b)를 비교해보면 치환율에 따른 압축강도 변화 차이가 플라이애시의 경우 고로슬래그 미분말에 비해 다소 큰 것으로 나타났으며, 이는 고로슬래그 미분말은 잠재수경성 반

(a) FA replacement ratio

(b) BFS replacement ratio

Fig. 2. Compressive strength variation by age with different replacement ratio

응인데 비해 플라이애시는 포졸란 반응에 의해 수산화칼슘이 지속적으로 소모되면서 치환율이 높아질수록 압축강도의 저하가 크게 나타난 것으로 판단된다.

한편, Fig. 3의 (a)는 플라이애시 치환율에 따른 압축강도의 특성을 나타낸 것으로서 플라이애시의 치환율 10% 증가시 재령 3일 압축강도는 약 1.4MPa, 재령 28일 압축강도는 약 3.8MPa가 감소하는 것으로 나타났다. 콘크리트 표준시방서(2009) 중 압축강도의 시험 횟수가 14회 이하이거나 기록이 없는 경우의 배합강도 산정식($f_{ck}+8.5\text{MPa}$, $21\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 35\text{MPa}$)을 기준으로 적용한다면, 현장에서 호칭강도 24MPa 레미콘을 타설해야 할 경우 재령 28일에 32.5MPa 이상의 압축강도가 확보되어야 한다. 따라서 FA를 치환할 경우 치환율 18% 이하로 적용이 가능할 것으로 판단되며, 그 이상을 치환할 경우에는 강도개선재 등의 추가적인 배합검토가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 3의 (b)는 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도의

(a) FA replacement ratio

(b) BFS replacement ratio

Fig. 3. Compressive strength properties with different replacement ratio

특성을 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말의 치환율이 10% 증가할 경우 재령 3일 압축강도는 약 1.0MPa, 재령 28일 압축강도는 약 0.9MPa가 감소하는 것으로 나타났으며, 현장에서 호칭강도 24MPa 레미콘을 타설해야 할 경우 치환율 45% 이하로 적용을 하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 그 이상의 치환율을 적용하기 위해서는 추가적인 배합검토가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 3의 실험결과를 통해 압축강도 측면에서는 혼화재 다량 치환 콘크리트의 현장 적용시 혼화재 치환율을 높이기 위해서는 플라이애시 보다는 고로슬래그 미분말의 치환율을 높이는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.3 양생온도에 따른 압축강도 특성

3.3.1 플라이애시 치환율에 따른 양생온도별 압축강도

Fig. 4의 (a)는 양생온도별 플라이애시 치환율에 따른 재령 3일

(a) At the age of 3days

(b) At the age of 28days

Fig. 4. Compressive strength variation by curing temperature with FA replacement ratio

의 압축강도 변화를 나타낸 것으로서 치환율 0%인 Plain의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 7.0, 12.1, 23.4MPa의 압축강도를 발현하였다. 또한 치환율 70%의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 1.8, 2.9, 6.3MPa의 압축강도를 발현하여 치환율에 관계없이 양생온도 5℃ 압축강도 기준으로 20℃에서는 약 1.8배, 35℃에서는 약 3.7배 증가한 것으로 나타났다.

Fig. 4의 (b)는 양생온도별 플라이애시 치환율에 따른 재령 28일의 압축강도 변화를 나타낸 것으로서 치환율 0%인 Plain의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 24.4, 37.3, 28.0MPa의 압축강도를 발현하였고 치환율 70%의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 7.6, 10.5, 9.2MPa의 압축강도를 발현한 것으로 측정되었다. 치환율에 관계없이 양생온도 5℃ 압축강도 기준으로 20℃에서는 약 1.6배, 35℃에서는 약 1.3배 증가한 것으로 나타나 양생온도가 20℃에서 35℃로 상승할 경우 압축강도가 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

(a) At the age of 3days

(b) At the age of 28days

Fig. 5. Compressive strength properties by curing temperature with FA replacement ratio

이는 양생온도가 35℃의 경우 기건양생의 영향으로 콘크리트 중의 수분이 탈수되어 재령 7일 이후의 압축강도가 증진되지 않은 것으로 판단된다.

한편, Fig. 5의 (a)는 양생온도별 플라이애시 치환율에 따른 재령 3일의 압축강도 특성을 나타낸 것으로서 플라이애시 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 0.81MPa, 20℃는 약 1.40MPa, 35℃는 약 2.47MPa의 압축강도가 감소하는 것으로 평가되었다.

Fig. 5의 (b)는 양생온도별 플라이애시 치환율에 따른 재령 28일의 압축강도 특성을 나타낸 것으로서 플라이애시 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 2.53MPa, 20℃는 약 3.81MPa의 압축강도가 감소하는 것으로 평가되었으며, 35℃의 경우 기건양생의 영향으로 재령 7일 이후의 압축강도가 증진되지 않아 데이터 분석에서 제외하였다.

3.3.2 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 양생온도별 압축 강도

양생온도별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 재령 3일의 압축 강도 변화를 Fig. 6의 (a)에서 볼 수 있듯이 치환율 0%인 Plain의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 7.2, 12.0, 21.4MPa의 압축강도를 발현하였다. 또한 치환율 70%의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 2.8, 5.0, 16.4MPa의 압축강도를 발현하여 치환율에 관계없이 양생온도 5℃ 압축강도 기준으로 20℃에서는 약 1.9배, 35℃에서는 약 4.0배 증가한 것으로 나타났다.

Fig. 6의 (b)는 양생온도별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 재령 28일의 압축강도 변화를 나타낸 것으로서 치환율 0%인 Plain의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 28.3, 37.8, 26.3MPa의 압축강도를 발현하는 것으로 평가되었고 치환율 70%의 경우 양생온도 5, 20, 35℃에서 각각 17.5, 30.5, 22.1MPa의 압축강도를 발현한 것으로 측정되었다.

모든 배합에서 양생온도 5℃ 압축강도 기준으로 20℃에서는 약

1.6배, 35℃에서는 약 1.1배 증가한 것으로 나타나 양생온도가 20℃에서 35℃로 상승할 경우 압축강도가 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 양생온도 35℃의 경우 기건양생의 영향으로 콘크리트 중의 수분이 탈수되어 재령 7일 이후의 압축강도가 증진되지 않은 것으로 판단된다.

또한, Fig. 7의 (a)는 양생온도별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 재령 3일의 압축강도 특성을 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 0.61MPa, 20℃는 약 1.01MPa, 35℃는 약 0.86MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 7의 (b)는 양생온도별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 재령 28일의 압축강도 특성을 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말의 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 1.65MPa, 20℃는 0.93MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 평가되었으며, 양생온도 35℃의 경우 기건양생의 영향으로 재령 7일 이후의 압축강도가 증진되지 않아 데이터 분석에서 제외하였다.

(a) At the age of 3days

(b) At the age of 28days

Fig. 6. Compressive strength variation by curing temperature with BFS replacement ratio

(a) At the age of 3days

(b) At the age of 28days

Fig. 7. Compressive strength properties by curing temperature with BFS replacement ratio

3.4 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 상관관계

플라이애시 및 고로슬래그 미분말 모두 치환율 10%까지는 재령 28일 이후의 압축강도 증진이 나타나지 않았으나, 플라이애시는 치환율 30% 이상에서, 고로슬래그 미분말의 경우 치환율 20% 이상에서 재령 28일 이후의 압축강도 증진율이 약 15% 이상으로 측정되어 장기강도 증진의 효과가 큰 것으로 나타났다.

Table 6은 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환율 10% 증가시 감소되는 재령 3일 및 재령 28일의 압축강도를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말이 플라이애시에 비해 재령 28일 이하에서 압축강도 발현율이 높았으며, 양생온도 5~20℃ 구간에서 양생온도에 따른 압축강도 감소량의 변화는 플라이애시와 고로슬래그 미분말이 유사한 것으로 나타났다. 다만, 양생온도 35℃, 재령 28일의 압축강도 변화는 기건양생의 영향으로 정확한 분석이 어려운 것으로 판단되어 분석에서 제외하였다.

Table 7은 Table 6을 근거로 하여 압축강도만을 목표로 했을 때 재령별 양생온도 조건에 따른 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 상호교환 조건을 나타낸 것이다. 계절조건, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 공급 단가 변동에 따라 콘크리트 중 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 혼합비율을 조정하고자할 경우 재령 3일의 경우 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 1 : 1.3 ~ 2.9의

Table 6. Compressive strength decrement according to 10% increase of admixture replacement ratio

Age	Curing Temperature	FA	BFS
3day	5℃	0.81 MPa	0.61 MPa
	20℃	1.40 MPa	1.01 MPa
	35℃	2.47 MPa	0.86 MPa
28day	5℃	2.53 MPa	1.65 MPa
	20℃	3.81 MPa	0.93 MPa
	35℃	-	-

Table 7. Interconversion rate between fly ash and blast furnace slag

Age	Curing Temperature	FA : BFS
3day	5℃	1 : 1.3
	20℃	1 : 1.4
	35℃	1 : 2.9
28day	5℃	1 : 1.5
	20℃	1 : 4.1
	35℃	-

비율로 교환 가능하며, 재령 28일의 경우에는 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 1 : 1.5 ~ 4.1의 비율로 교환하는 것이 가능할 것으로 분석되었다.

그러나 재령 28일 강도의 변화가 심한 고로슬래그 미분말의 특성상 교환비율 설정시 재령 3일을 기준으로 교환하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 동일 작업성을 확보한 후 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 압축강도 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 혼화재 치환율에 따른 재령별 압축강도의 특성을 검토한 결과, 플라이애시의 치환율이 10% 증가시 재령 3일 압축강도는 약 1.4MPa, 재령 28일 압축강도는 약 3.8MPa가 감소하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그의 치환율이 10% 증가시 재령 3일 압축강도는 약 1.0MPa, 재령 28일 압축강도는 약 0.9MPa가 선형으로 감소하는 것으로 나타났다.
2. 양생온도별 플라이애시 치환율에 따른 재령 3일의 압축강도 특성은 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 0.81MPa, 20℃는 약 1.40MPa, 35℃는 약 2.47MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일의 경우에는 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 2.53MPa, 20℃는 약 3.81MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 평가되었다.
3. 양생온도별 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 재령 3일의 압축강도 특성은 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 0.61MPa, 20℃는 약 1.01MPa, 35℃는 약 0.86MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일의 경우에는 치환율 10%당 양생온도 5℃는 약 1.65MPa, 20℃는 0.93MPa 수준의 압축강도가 감소하는 것으로 평가되었다.
4. 압축강도만을 목표로 하여 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 혼합비율을 조정하고자할 시 재령 3일의 경우 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 1 : 1.3 ~ 2.9의 비율로 교환 가능하며, 재령 28일의 경우에는 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 1 : 1.5 ~ 4.1의 비율로 교환하는 것이 가능할 것으로 분석되었다. 다만, 재령 28일 강도의 변화가 심한 고로슬래그 미분말의 특성상 교환비율 설정시 재령 3일을 기준으로 교환하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

References

- Khan, M. S., Prasad, J., Abbas, H. (2013). "Effect of High Temperature on High-Volume Fly Ash Concrete," *Arabian Journal for Science and Engineering*, **38(6)**, pp. 1369-1378.
- Li, Y., Jia, L., Liang, X.L. (2013). "A experimental study on the influence of fly ash, slag powder on the property of concrete," *Applied Mechanics and Materials*, **357-360**, pp. 582-587.
- Lee, N.K., Lee, H.K. (2013). "Setting and mechanical properties of alkali-activated fly ash/slag concrete manufactured at room temperature," *Construction and Building Materials*, **47**, pp. 1201-1209.
- Durán-Herrera, A., Juárez, C.A., Valdez, P., Bentz, D.P. (2011). "Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes," *Cement and Concrete Composites*, **33(1)**, pp. 39-45.
- Van Den Heede, P., Gruyaert, E., De Belie, N. (2010). "Transport properties of high-volume fly ash concrete: Capillary water sorption, water sorption under vacuum and gas permeability," *Cement and Concrete Composites*, **32(10)**, pp. 749-756.
- Bentz, D.P., Ferraris, C.F. (2010). "Rheology and setting of high volume fly ash mixtures," *Cement and Concrete Composites*, **32(4)**, pp. 265-270.
- Sukumar, B., Nagamani, K., Srinivasa Raghavan, R. (2008). "Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash," *Construction and Building Materials*, **22(7)**, pp. 1394-1401.
- Yazici, Halit. (2008). "The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze-thaw resistance of self-compacting concrete," *Construction and Building Materials*, **22(4)**, pp. 456-462.
- Dinakar, P., Babu, K. G., Santhanam, Manu. (2008). "Durability properties of high volume fly ash self compacting concretes," *Cement & Concrete Composites*, **30(10)**, pp. 880-886.
- Sahmaran, Mustafa, Keskin, Suleyman B., Ozerkan, Gozde. (2008). "Self-healing of mechanically-loaded self consolidating concretes with high volumes of fly ash," *Cement & Concrete Composites*, **30(10)**, pp. 872-879.

혼화재 다량 치환 콘크리트의 현장 적용을 위한 혼화재 치환율에 관한 연구

최근 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 다량 치환하는 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 혼화재 다량 치환 콘크리트를 실제 현장에서 골조용으로 적용하기 위해서는 적정 치환율을 도출하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 혼화재 다량 치환 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 작업성을 동일하게 확보한 조건에서 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환율 및 양생온도에 따른 압축강도의 변화를 측정하였다. 검토 결과, 플라이애시의 치환율이 10% 증가할시 재령 3일 압축강도는 약 1.4MPa, 재령 28일 압축강도는 약 3.8MPa가 감소하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그의 치환율이 10% 증가할시 재령 3일 압축강도는 약 1.0MPa, 재령 28일 압축강도는 약 0.9MPa가 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 향후 공동주택의 골조용 혼화재 다량 치환 콘크리트의 연구개발을 위한 기초자료를 확보할 수 있었다.