

플라이 애쉬를 활용한 알칼리 활성화시멘트 콘크리트의 압축강도와 최적혼합비

Compressive Strength and Optimal Mixing Ratio of Alkali Activated Cement Concrete Containing Fly Ash

한 상 호*
Han, Sang-Ho

박 상 숙**
Park, Sang-Sook

강 화 영***
Kang, Hwa-Young

Abstract

This is a fundamental research to utilize alkali activated cement(AAC) in concrete. The compressive strength of AAC concrete were measured for the various mixing ratios of activator/fly ash, and the mixing ratios of water glass, NaOH, and water among the activators. The mixing ratio of fine and coarse aggregates was maintained constantly. The relationships between the compressive strength and mixing ratios were analyzed to find the optimal mixing ratio of AAC concrete. As the results, the optimal mixing ratio of activator/fly ash in AAC concrete was 0.7, and that of water glass, NaOH, water among the activator was 4.0:1.0:2.5 for the maximum compressive strength.

요 지

본 연구는 알칼리 활성화시멘트(Alkali Activated Cement)를 콘크리트에 활용하기 위한 기초적인 연구로서 잔골재 및 굵은골재의 혼합비는 일정하게 하고, 활성화제/플라이 애쉬의 혼합비, 그리고 활성화제 중 물유리, 수산화나트륨, 물의 혼합비를 변화시킨 AAC 콘크리트에 대한 압축강도를 측정하였다. 또한 각 변수에 따른 압축강도의 특성을 분석하고, AAC 콘크리트의 최적 혼합비를 구하였다. 그 결과 최대 압축강도 발현을 위한 활성화제 중 물유리, 수산화나트륨, 물의 최적 혼합비는 4.0:1.0:2.5 이었으며, 활성화제/플라이 애쉬의 최적 혼합비는 0.7 이었다.

Keywords : Fly ash, Alkali activated cement, Mixing ratio, Compressive strength

핵심 용어 : 플라이 애쉬, 알칼리 활성화시멘트, 혼합비, 압축강도

* 정회원, 순천대학교 토목환경공학부 부교수

** 정회원, 순천대학교 토목환경공학부 부교수

*** 정회원, 한영대학교 보건환경과 조교수

E-mail : hsh001@sunchon.ac.kr 061-750-3517

•본 논문에 대한 토의를 2007년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

시멘트 산업은 다른 산업에서 발생하는 유해 중금속류 등 각종 산업폐기물을 고화처리하거나, 소각 처리함으로써 자연환경의 보존과 생활환경의 정화에 일익을 담당하고 있다. 그러나 시멘트 1톤을 생산하기 위하여 석회석은 약 1.3톤이 소모되며, 또한 지구 온난화의 원인물질인 탄산가스가 약 1톤 배출된다. 따라서 시멘트 산업은 자연경관의 훼손과 지구의 기후환경에 많은 변화를 주고 있다(최룡 등, 2006).

한편, 국내 석탄화력발전소에서 배출되고 있는 플라이 애쉬 발생량은 2001년 491만톤에서 2005년 약 600만톤으로 매년 증가하는 추세에 있다. 그 중 일부는 콘크리트 및 시멘트 혼화제 등으로 활용되고 있지만, 대부분은 해안 및 육상 매립에 의해 처리되고 있어 매립지 확보를 위한 경제적 부담뿐만 아니라 매립시 발생하는 분진과 침출수에 의해 많은 환경문제를 발생시키고 있다(김재관 등, 2002). 따라서 플라이 애쉬를 콘크리트 및 시멘트 혼화제 등으로 재활용하기 위한 연구는 환경적, 경제적, 그리고 부족한 자원 확보의 차원에서 매우 중요한 과제이다.

F급 플라이 애쉬에는 상대적으로 많은 함량의 알루미늄과 규소가 함유되어있기 때문에 플라이 애쉬의 활성화는 주로 유리상의 Si-O-Si와 Al-O-Al의 공유결합을 파괴하는 것에 의해 좌우된다(Li 등, 1995 ; Palomo 등, 1999). 따라서, 플라이 애쉬에 함유된 알루미늄과 규소를 용해하여 활성화반응을 촉진하기 위해서는 충분히 높은 알칼리성(OH⁻) 농도가 필요하다. 이와 같은 알칼리성 물질로는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 탄산나트륨, 규산나트륨 등이 있으며, 알칼리 활성화반응은 플라이 애쉬의 물리, 화학적 특성과 활성화제의 종류, 그리고 양생온도에 크게 좌우된다(Zhaohui 등, 2001).

조병완 등(2005)은 단위시멘트량의 90%를 F급 플라이 애쉬로 치환하고 양생온도 90℃에서 NaOH, CaO, MnO₂, Na₂SiO₂를 알칼리 활성화제로 사용한 콘크리트의 정탄성계수, 휨파괴 실험 등 파괴특성을 조사하여 플라이 애쉬를 대체 시멘트로 활용할 수 있는 가능성을 얻었다. 그리고 김광수 등(2004)은 단위

시멘트량의 20%이하를 F급 플라이 애쉬로 치환한 콘크리트의 압축강도 및 내구성 실험을 수행하였다. 또한, 박상숙 등(2005)은 F급 플라이 애쉬에 물유리, 수산화나트륨, 물을 첨가한 알칼리 활성화시멘트(Alkali Activated Cement, 이하 AAC)를 제조하였으며, 이들 시멘트와 모르타르의 압축강도 실험을 통하여 시멘트 대체제로 AAC의 활용 가능성을 확인하였다.

본 연구는 AAC를 콘크리트에 활용하기 위한 기초적인 연구로서 수산화나트륨과 물유리를 알칼리 활성화제로 사용하여 잔골재 및 굵은골재의 혼합비는 일정하게 하고, 활성화제/플라이 애쉬의 혼합비, 그리고 활성화제 중 물유리, 수산화나트륨, 물의 혼합비를 변화시킨 AAC 콘크리트에 대한 압축강도를 측정하였다. 또한 각 변수에 따른 압축강도의 특성을 분석하고, AAC 콘크리트의 최적 혼합비를 구하였다.

2. 실험개요

2.1 실험재료

본 연구에서는 F급 플라이 애쉬에 물유리, 수산화나트륨, 물을 첨가한 AAC를 100% 시멘트 대체제로 활용하였으며, 혼화제는 사용하지 않았다.

2.1.1 플라이 애쉬

본 연구에 사용된 플라이 애쉬는 국내 H 석탄화력발전소에서 배출된 것으로서 화학적 성분은 Table 1과 같으며, ASTM C 618 규정에 따라 F급 플라이 애쉬로 분류되었다.

Table 1 플라이 애쉬의 화학적 성분 (wt %)

Element	Content (%)	Element	Content (%)
SiO ₂	49.58	K ₂ O	0.88
Al ₂ O ₃	31.90	TiO ₂	1.73
Fe ₂ O ₃	5.93	P ₂ O ₅	0.79
CaO	2.98	MnO	0.05
MgO	0.95	Ig. loss	4.30
Na ₂ O	0.42		

2.1.2 알칼리 활성화제

알칼리 활성화제로는 물에 용해된 공업용 수산화나트륨과 물유리를 사용하였으며, Table 2에 물유리의 성분을 나타내었다.

Table 2 물유리의 성분 및 특징

Na ₂ O(%)	SiO ₂ (%)	Na ₂ O/SiO ₂	Specific gravity
13.5	30.5	2.26	≥ 1.498

2.1.3 골재

굵은골재로는 부순돌을 사용하였으며, 잔골재로는 강모래를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 골재의 물리적 성질

Type of aggregate	Gmax (mm)	Specific gravity	F.M.	Absorption (%)
Fine agg.	—	2.58	2.80	1.54
Coarse agg.	25	2.65	7.09	0.87

2.2 실험조건

본 연구에서는 각 실험별로 Table 4와 같이 배합조건과 양생조건을 달리하였다. 단, 콘크리트에서 잔골재와 굵은골재의 혼합비는 플라이 애쉬의 혼합량 10을 기준으로 각각 14.53과 21.79로 일정하게 하였다.

실험 I에서는 알칼리 활성화제로 물과 수산화나트륨만을 사용하였다. 배합조건은 수산화나트륨용액의 농도를 5 Mole과 6 Mole로 하였으며(박상숙 등,

2005), 활성화제에 따른 플라이 애쉬의 혼합량(Act/FA)을 각각 0.5와 0.7로 하였다. 그리고 양생조건은 약 16°C의 상온과 50°C 및 85°C의 건조로에서 각각 3일 동안 양생되었으며, 양생된 공시체는 기건 상태에서 7일, 28일, 90일 후에 압축강도가 측정되었다.

실험 II에서는 활성화제로 물유리를 추가함에 따라 적절한 양생조건을 구하기 위하여 양생온도는 50°C와 85°C로 하였으며, 양생기간은 6, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60시간으로 하여 압축강도를 측정하였다. 배합조건은 알칼리 활성화제의 혼합비(wt%)를 물유리:수산화나트륨:물=4.0:1.0:2.5로 하였으며(박상숙 등, 2005), 활성화제에 따른 플라이 애쉬의 혼합량(Act/FA)은 0.7로 하였다.

실험 III에서 배합조건은 활성화제 중 물유리의 혼합비를 각각 3, 4, 5, 6으로 변화시키고 Act/FA를 0.7, 0.8, 0.9로 하였다. 또한 양생은 85°C의 건조로에서 1일간 양생 후 탈형하여 압축강도를 측정하였다.

실험 IV에서 배합조건은 활성화제 중 수산화나트륨과 물의 혼합비를 각각 1, 2, 3과 2.5, 3.5, 4.5로 변화시켰다. 또한 양생은 85°C의 건조로에서 1일간 양생 후 탈형하여 압축강도를 측정하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 콘크리트의 혼합 및 제조

콘크리트의 혼합은 굵은골재, 잔골재, 플라이 애쉬 순으로 투입하여 약 30초 동안 건비빔한 후 물에 녹

Table 4 배합비와 양생조건

Exp. I	Activator			Act/FA (wt %)	Curing temp. (°C)	Curing time
	Water glass	NaOH concentration				
	—	5 Mole, 6 Mole		0.5, 0.7	normal temp.(16), 50, 85	3 days
Exp. II	Activator (Weight % of Fly ash)			Act/FA (wt %)	Curing temp. (°C)	Curing time
	Water glass	NaOH	Water			
	4	1	2.5	0.7	50, 85	6, 12, 18, 24, 36, 48, 60 hrs
Exp. III	3, 4, 5, 6	1	2.5	0.7, 0.8, 0.9	85	1 day
Exp. IV	4	1, 2, 3	2.5, 3.5, 4.5	0.7	85	1 day

인 수산화나트륨을 투입하고 충분히 혼합하였다. 그리고, 물유리를 혼합한 콘크리트는 반응속도가 빠르기 때문에 물유리는 마지막에 투입하여 빠른 시간 내에 혼합하였다.

공시체는 $\varnothing 10 \times 20$ cm 원주형 몰드를 사용하였으며, 건조로에서 양생되는 공시체는 제작 후 비닐랩으로 밀봉함으로써 수분의 증발을 최대한 억제하였다. 또한, 콘크리트 1회의 혼합량은 몰드 6개를 원칙으로 하였다.

2.3.2 강도 측정

콘크리트의 압축강도 시험은 각 실험 변수별로 3개의 공시체를 제작하여 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 물유리가 첨가되지 않은 콘크리트의 압축강도

알칼리 활성화제로 수산화나트륨과 물만을 첨가한 Table 4의 실험 I에 대한 압축강도의 변화를 Fig. 1

에 나타내었다. 양생조건은 약 16°C 의 상온과 50°C 및 85°C 의 건조로에서 각각 3일 동안 양생되었으며, 양생된 공시체는 기건 상태에서 7일, 28일, 90일 후에 압축강도가 측정되었다.

물유리를 알칼리 활성화제로 사용하지 않은 콘크리트의 압축강도는 수산화나트륨 용액의 농도가 5 Mole보다 6 Mole일 때 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 Ca 함량이 낮은 F급 플라이 애쉬를 알칼리 활성화하여 시멘트성 물질로 전환하기 위해서는 강한 알칼리성 용액이 필요하다는 것을 말해 준다. 또한, Act/FA의 혼합비율이 0.5보다 0.7에서 압축강도가 저하되고 있는데 그 이유는 과잉의 수분이 수산화나트륨의 농도를 희석하여 플라이 애쉬의 활성화 반응을 저해하기 때문으로 판단된다(박상숙 등, 2006).

양생온도에 따른 압축강도의 변화를 살펴보면, 배합 조건과 재령에 관계없이 상온에서 양생된 공시체는 28일 이후의 장기강도가 발현되었지만, 50°C 와 85°C 의 건조로에서 양생된 공시체는 7일 이전의 초기강도가 발현되었다. 또한 85°C 건조로에서 양생된 공시체도 기대할 만한 압축강도는 발현되지 않았지만, 50°C 에서 양생된 공시체에 비해 약 30% 증진되었다. 따라서 알칼리 활성화제로 물과 수산화나트륨만으로는 높

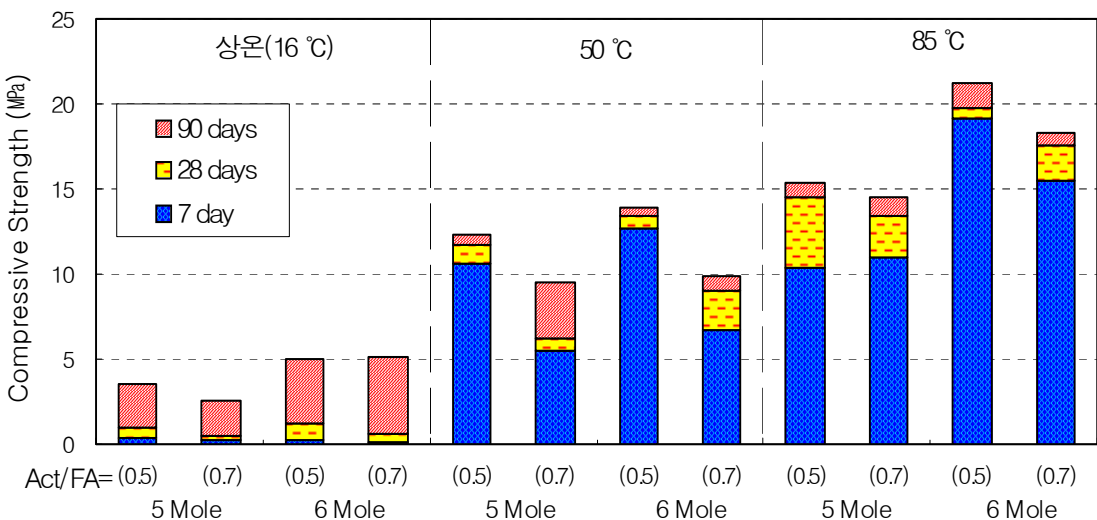


Fig. 1 물유리가 첨가되지 않은 콘크리트의 압축강도

은 압축강도를 기대할 수 없으며, 칼슘함량이 낮은 F 급 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응을 위해서는 반드시 높은 반응 온도가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 양생 온도와 양생 시간에 따른 압축 강도의 변화

Table 4의 실험Ⅱ와 같이 물유리를 알칼리 활성화제로 첨가한 콘크리트의 양생온도와 양생시간에 따른 압축강도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

물유리가 첨가되지 않았던 Fig. 1의 결과 보다 물유리를 적당량 첨가할 경우 압축강도가 향상됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 물유리가 첨가된 알칼리 활성화용액이 플라이 애쉬에 함유된 Al_2O_3 , Fe_2O_3 그리고 SiO_2 와 같은 산성 구성물질을 활성화시켜 무정형의 $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 형태의 화합물을 생성하고, 이들 물질은 다른 가수분해 생성물(실리카겔)과 함께 플라이 애쉬 입자를 굳히기 때문이라고 판단된다 (Zhaohui 등, 2001).

양생시간 및 온도에 따른 압축강도의 변화를 살펴보면, 50℃에서 양생된 공시체는 양생 36시간에 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응이 충분히 이루어져 압축강도가 급증된 반면, 85℃에서 양생된 공시체는 양생 24시간에 이미 충분한 활성화반응이 일어나 높은 압축강도를 발현하였으며 이후로는 뚜렷한 강도증진을 나타내

지 못했다. 이와 같은 현상은 조병완 등(2005)의 연구결과에서도 나타난 것으로써, 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응을 위해서는 높은 반응온도가 중요한 요소임을 확인시켜 주었다. 따라서 양생온도 85℃에서 양생 시간은 24시간이 적절하였다.

3.3 물유리의 혼합비에 따른 압축강도의 변화

Fig. 3은 Table 4의 실험Ⅲ에서와 같이 물유리의 혼합비를 3, 4, 5, 6으로, 또한 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비(Act/FA)를 0.7, 0.8, 0.9로 각각 변화시킨 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 그리고 모든 공시체는 85℃에서 24시간 양생된 후 압축강도를 측정하였다.

물유리의 혼합비에 따른 압축강도의 변화는 전반적으로 물유리의 혼합비가 증가할수록 압축강도가 증가하였지만, 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비 Act/FA=0.7의 경우에는 물유리의 혼합비가 5이상에서 오히려 압축강도가 감소하였다. 그 이유는 이 경우에 대한 콘크리트의 유동성이 현저히 떨어져 물유리와 플라이 애쉬의 충분한 혼합이 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다. 또한, 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비는 Act/FA=0.7의 경우 압축강도가 가장 크게 나타났으며, 활성화제의 혼합량이 많을수록 압축강도가

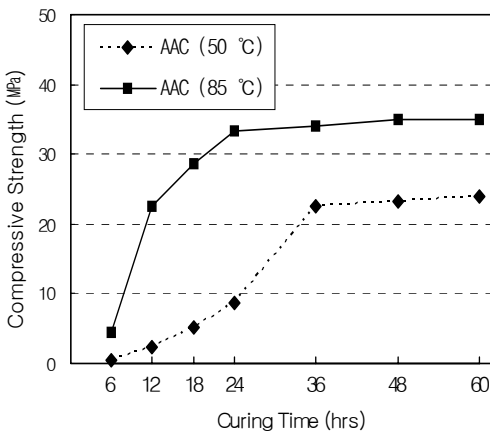


Fig. 2 양생 시간에 따른 압축강도

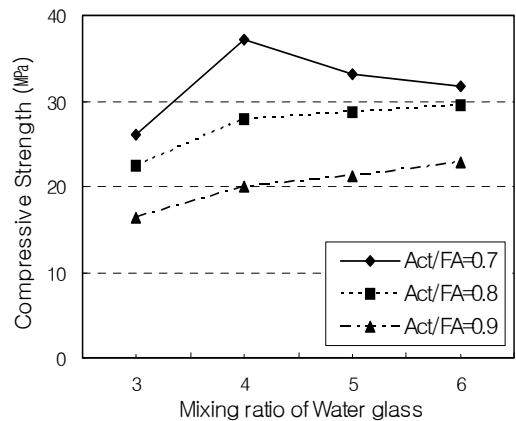


Fig. 3 물유리의 혼합비에 따른 콘크리트의 압축강도

감소하였다. 이와 같은 결과는 활성화제의 혼합비가 높을수록 물의 첨가량이 많아져 85°C에서 24시간 동안의 양생이 콘크리트를 경화하는데 충분한 시간을 제공하지 못했기 때문으로 판단되며, 또한 과잉의 수분은 수산화나트륨의 농도를 희석하여 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응을 저해하기 때문으로 사료된다(박상숙 등, 2006).

예비실험에서 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비 Act/FA=0.6의 경우에 대해서도 동일한 실험을 실시하였지만, 플라이 애쉬의 혼합량이 상대적으로 많은 관계로 슬럼프값 4cm 이하의 된비빔이 되어 공시체를 제작하기도 어려웠다.

따라서 플라이 애쉬의 활성화를 위해서는 활성화제 중 물유리의 혼합비가 4 이상이 되어야 한다는 것을 알 수 있으며, 가능한 적은 양의 물유리를 첨가하여 높은 압축강도를 발현한다는 관점에서 알칼리 활성화제 중 물유리의 혼합비는 4가 가장 적합할 것으로 판단된다.

3.4 수산화나트륨과 물의 혼합비에 따른 압축강도의 변화

Fig. 4는 알칼리 활성화제 중 수산화나트륨과 물의 적절한 혼합비를 구하기 위하여 Table 4의 실험IV와 같이 물유리의 혼합비를 4로 고정시키고 수산화나트륨과 물의 혼합비를 각각 1, 2, 3과 2.5, 3.5, 4.5로 변화시키며 압축강도를 측정된 결과이다. 이때 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비는 Act/FA=0.7로 하였으며, 모든 공시체는 85°C에서 24시간 양생된 후 압축강도를 측정하였다.

수산화나트륨의 혼합비를 1씩 증가시키기에 따라 압축강도는 14~30% 감소하였는데 그 이유는 과도한 수산화나트륨을 첨가할 경우 콘크리트 내에 바람직하지 않는 구조와 불균일한 수화물이 생성되기 때문이라고 판단된다(Gebauer, 1981). 그리고 물의 혼합비를 1씩 증가시키기에 따라 압축강도는 10~18% 감소하였는데 이와 같은 결과는 과잉의 수분으로 수산화나트륨의 농도가 희석되어 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응이 저해되었기 때문으로 사료된다(박상숙 등, 2006).

Fig. 4에서 물의 혼합비가 2.5이고 수산화나트륨의

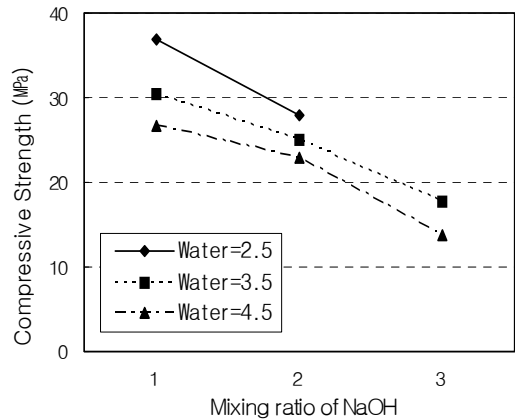


Fig. 4 NaOH와 물의 혼합비에 따른 압축강도

혼합비가 3인 경우에는 슬럼프값 1cm 이하가 되어 공시체를 제작할 수 없었으며, 이와 같은 현상은 물의 혼합비가 2.0이하에서도 동일한 결과를 나타내었다.

따라서 알칼리 활성화제 중 수산화나트륨과 물의 혼합비는 1.0:2.5가 가장 적합할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 알칼리 활성화시멘트(AAC)를 콘크리트에 활용하기 위한 기초적인 연구로서 잔골재 및 굵은골재의 혼합비는 일정하게 하고, 활성화제/플라이 애쉬의 혼합비, 그리고 활성화제 중 물유리, 수산화나트륨, 물의 혼합비를 변화시킨 AAC 콘크리트에 대한 압축강도를 측정하였다. 또한 각 변수에 따른 압축강도의 특성을 분석하고, AAC 콘크리트의 최적 혼합비를 구하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수산화나트륨과 물만을 활성화제로 사용한 콘크리트는 배합 및 양생조건에 관계없이 압축강도가 작게 나타났지만, 85°C에서 양생된 공시체가 50°C에서 양생된 공시체에 비해 약 30% 강도가 증진되었다. 따라서 칼슘함량이 낮은 F급 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응을 위해서는 반드시 높은 반응 온도가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 알칼리 활성화제에 물유리를 첨가함으로써 압축강

도가 현저히 증가되었다. 또한 85℃에서 양생된 공시체는 24시간에 충분히 높은 압축강도를 발현하였지만, 50℃에서 양생된 공시체는 36시간이 필요하였다. 따라서 양생온도 85℃에서 양생시간은 24시간이 적절하였다.

- 3) 플라이 애쉬의 알칼리 활성화화를 위해서는 활성화제 중 물유리의 혼합비는 4 이상이 되어야 하며, 활성화제와 플라이 애쉬의 혼합비(Act/FA)가 높을수록 물의 첨가량이 많아져 수산화나트륨의 농도를 희석함으로써 플라이 애쉬의 알칼리 활성화반응을 저해하기 때문에 압축강도는 감소하였다.
- 4) 수산화나트륨과 물의 혼합비를 증가시키에 따라 압축강도는 감소하였으며, 알칼리 활성화제 중 수산화나트륨은 1.0, 물은 2.5의 혼합비에서 압축강도가 가장 크게 나타났다.
- 5) 높은 압축강도를 발현하기 위해서는 알칼리 활성화제/플라이 애쉬의 혼합비는 0.7, 활성화제중 물유리, 수산화나트륨, 물의 혼합비는 4.0:1.0:2.5가 적합하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(No. R01-2004-000-10480-0)지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김광수, 장승엽, 이광명, "플라이 애쉬 콘크리트의 압축 강도 및 내구 특성", 대한토목학회논문집, 제24권 4A호, 2004, pp. 703-711.
2. 김재관, 조성덕, 김종진, "시멘트 물달 및 콘크리트혼화제 첨가제로서 배연탈질 석탄회의 재활용 특성", 한국폐기물학회지, 제19권 7호, 2002, pp. 864-873.

3. 박상숙, 강화영, 한상호, "플라이 애쉬의 강도특성에 대한 알칼리-실리카 반응의 영향", 한국환경기술학회 추계학술발표회논문집, 2005, pp. 13-18.
4. 박상숙, 강화영, 한상호, 강희복, "F급 플라이 애쉬-모르타르의 강도발현에 대한 NaOH과 Na2SiO3·9H2O 첨가의 영향", 한국구조물진단학회지, 제9권 4호, 2005, pp. 261-269.
5. 박상숙, 강화영, 한상호, 임요섭, 김동국, "알칼리-활성 플라이 애쉬 페이스트의 압축강도에 대한 배합조건 및 물유리 모듈의 영향", 한국폐기물학회지, 제23권 7호, 2006, pp. 591-599.
6. 조병완, 박종빈, 구자갑, "석탄회 경화체 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제25권 6A호, 2005, pp. 955-960.
7. 최룡, 권영진, "한국 시멘트 산업의 친환경 정책에 대한 제언", 콘크리트학회지, 제18권 1호, 2006, pp. 8-13.
8. A. Palomo, M. W. Grutzeck, M. T. Blanco, "Alkali-activated fly ashes-A Cement for the future", Cement & Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 1323-1329.
9. D. Li, Y. Chen, J. Shen, J. Su, X. Wu, "The influence of alkalinity on activation and microstructure of fly ash", Cement & Concrete Research, Vol. 25, 1995, pp. 417-425.
10. Gebauer, J., "Alkali in clinker : influence on cement and concrete properties", Proceedings of the 5th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Capetown, South Africa, March 30-April 3, 1981, pp. 1-99.
11. Zhaohui Xie, Yumping Xi, "Hardening mechanism of an alkaline-activated class F fly ash", Cement & Concrete Research, Vol. 29, 2001, pp. 1245-1249.

(접수일자 : 2007년 4월 2일)