

플라이애쉬의 미연탄소량 및 분말도가 콘크리트의 성질에 미치는 영향

Effects of Carbon Content and Fineness of Fly Ash on Properties of Concrete

김 훈* 박연동** 손명수*
Kim, Hoon Park, Yon-Dong Shon, Myung-Soo

김호영* 이복기***
Kim, Ho-Young Lee, Bok-Gi

ABSTRACT

In this study, effects of carbon content and fineness of fly-ash on the workability and the strength development of concrete are investigated experimentally. Carbon content with 6 levels(0, 2, 3, 4, 5, 7%) and fineness with 3 levels(4,000, 5,000, 6,000 cm^2/g) are selected for test variables. Besides, the effect of fly-ash with variation of initial concrete temperature is tested. To measure slump and air losses, small laboratory agitator is used.

As the results, the used AE admixture content to maintain constant initial air content is increased linearly with increasing carbon content in fly-ash. With increasing fineness of fly-ash, the strengths at 3 and 7 days are slightly increased, however, there is no clear difference among 28 day strengths within the scope of this study.

1. 서 론

화력발전소 석탄의 연소과정에서 발생하는 플라이애쉬는 산업폐기물로서 막대한 처리비용과 함께 매립장의 부족 등 여러 가지 문제점을 야기시키고 있어, 이를 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 플라이애쉬는 시멘트 및 콘크리트용 혼합재, 도로의 노반재, 벽돌 및 기와 등의 건축재로 재활용되고 있는데, 국내에서는 콘크리트용 혼합재로의 사용이 주류를 이루고 있다.

플라이애쉬의 재반성질은 화력발전소에서 사용하는 석탄의 품질, 보일러의 연소조건, 집진기의 종류에 따라 다르게 나타나기 때문에 모든 플라이애쉬가 콘크리트용 혼합재로 적합한 것은 아니다. 또한, 플라이애쉬는 그 자체의 생산을 목적으로 하지 않은 부산물이기 때문에 품질변동이 큰 것이 단점이다.

본 연구에서는 플라이애쉬의 특성중 콘크리트 물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자인 미연탄소량 및 분말도가 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 성질에 미치는 영향을 규명하였으며, 추가적으로 플라이애쉬 사용 콘크리트의 온도효과를 파악하기 위하여 실험을 실시하였다.

* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구실 연구원

** 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구실 선임연구원

*** 정회원, 동양시멘트(주) 고객지원부 대리

2. 실험

2.1 실험계획

플라이애쉬의 미연탄소량이 콘크리트 물성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 미연탄소량을 0, 2, 3, 4, 5, 7%로 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 표1은 미연탄소량의 변화가 콘크리트 물성에 미치는 영향을 파악하기 위한 콘크리트 배합비를 나타내고 있다. 콘크리트 배합비는 초기 슬럼프 18 ± 2 cm, 초기 공기량 6% 이상이 되도록 예비실험을 통하여 선정하였다.

또한, 플라이애쉬의 분말도가 콘크리트 물성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분말도를 4,000, 5,000, 6,000 cm^2/g 으로 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 배합비는 표2와 같다.

콘크리트의 온도에 따른 플라이애쉬 효과를 규명하기 위하여 온도를 초기 온도 25, 35°C에 대하여 작업성 손실 및 압축강도 실험을 수행하였으며, 사용된 배합비는 표3과 같다.

표1. 미연탄소량의 영향분석을 위한 콘크리트 배합비

기 호	W/B (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m^3)					감수제 (%)	AE제 (%)
			물	시멘트	FA	잔골재	굵은골재		
0-0	50.9	46.5	178	350	0	823	950	0.3	0.016
0-7.5	51.4	46.0	180	324	26	806	950	0.3	0.016
2-7.5	52.3	45.7	183	324	26	798	950	0.3	0.026
3-7.5	52.3	45.7	183	324	26	798	950	0.3	0.028
4-7.5	52.3	45.7	183	324	26	798	950	0.3	0.035
5-7.5	51.4	46.0	180	324	26	806	950	0.3	0.035
7-7.5	52.3	45.7	183	324	26	798	950	0.3	0.045
0-15	51.4	45.6	180	298	52	794	950	0.3	0.018
3-15	52.3	45.3	183	297	53	783	950	0.3	0.057
5-15	51.4	45.6	180	297	53	974	950	0.3	0.08
7-15	52.3	45.7	183	297	53	787	950	0.3	0.11

표2. 분말도의 영향분석을 위한 콘크리트 배합비

기 호	W/B (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m^3)					감수제 (%)	AE제 (%)
			물	시멘트	FA	잔골재	굵은골재		
FA-0	50	46.7	175	350	0	831	950	0.3	0.012
FA-7.5	50	46.4	175	324	26	819	950	0.3	0.024
FA-15	50	46.0	175	298	53	807	950	0.3	0.05

표3. 콘크리트의 온도에 따른 콘크리트의 물성영향을 파악하기 위한 콘크리트 배합비

기 호	W/B (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m^3)					감수제 (%)	AE제 (%)
			물	시멘트	FA	잔골재	굵은골재		
25-0	50.9	46.5	178	350	0	823	950	0.3	0.016
25-7.5	51.4	46.0	180	324	26	806	950	0.3	0.035
25-15	51.4	45.6	180	297	53	974	950	0.3	0.08
35-0	50.9	45.7	184	362	0	798	950	0.3	0.022
35-7.5	51.7	45.1	187	335	27	778	950	0.3	0.044
35-15	51.7	44.7	187	308	54	766	950	0.3	0.088

2.2 사용재료

실험에 사용된 원재료의 물리적 성질은 표4와 같다.

표4. 사용재료

구분	종류 및 특성
시멘트	보통포틀랜드 시멘트(동양시멘트(주) 삼척공장 생산) 비중 : 3.14, 비표면적 : 3,288 cm ² /g, 28일 압축강도 : 343 kgf/cm ²
플라이애쉬	보령화력발전소산(유연탄) 비중 : 2.04, 분말도 : 3200 cm ² /g, 강열감량 : 5.2 %
간골재	해사(세척사), 비중 : 2.60, 조립율 : 2.60
굵은골재	쇄석(비봉산), 최대치수 : 25mm, 비중 : 2.61, 조립율 : 7.06
혼화제	- 표준형 일반감수제(니그닌계) - 일반 공기연행제

3. 실험결과 및 분석

3.1 플라이애쉬내 미연탄소의 영향

그림1은 플라이애쉬의 미연탄소량에 따른 슬럼프 및 공기량 경시변화를 나타낸 것으로서, 슬럼프 경시변화는 미연탄소량에 따라 유의할 만한 차이를 나타내지 않고 있다. 한편, 미연탄소량이 증가함에 따라 동일 공기량을 유지시키기 위한 AE제 사용량이 급격히 증가하였을 뿐만 아니라, 시간경과에 따른 공기량 손실도 빨라지는 것으로 나타났다. 일반적으로 플라이애쉬내 미연탄소량이 다량 포함되어 있으면 공기량의 손실이 크게 나타난다고 알려져 있는데⁽¹⁾, 본 연구에서는 유사한 결과를 보여주고 있다. 그림2는 플라이애쉬의 미연탄소량에 따른 목표 공기량 확보를 위한 공기연행제의 사용량을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 미연탄소량에 따른 공기연행제의 사용량이 선형적으로 나타나고 있으며, 플라이애쉬 치환율이 2배 상승함에 따라 소요 AE제량은 2배이상 증가하는 것으로 나타났다.

표5는 플라이애쉬의 미연탄소량에 따른 압축강도 실험결과를 나타내고 있는데, 본 실험범위내에서는 미연탄소량 변화에 따른 뚜렷한 경향이 나타나지 않고 있다.

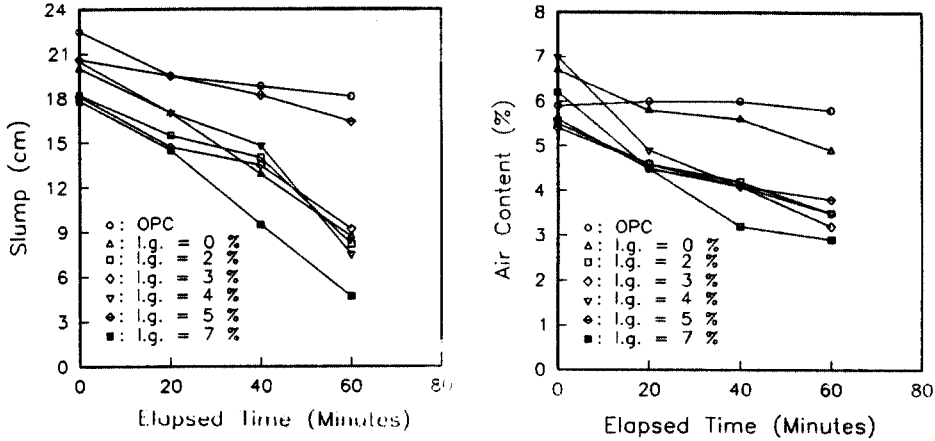
표5. 미연탄소량에 따른 압축강도의 변화

기 호	압축강도 (kgf/cm ²)		
	3일	7일	28일
0-0	176	239	314
0-7.5	148	236	279
2-7.5	140	224	262
3-7.5	182	272	306
4-7.5	143	212	271
5-7.5	171	238	326
7-7.5	173	248	323
0-15	129	229	254
3-15	161	253	312
5-15	163	237	309
7-15	125	204	280

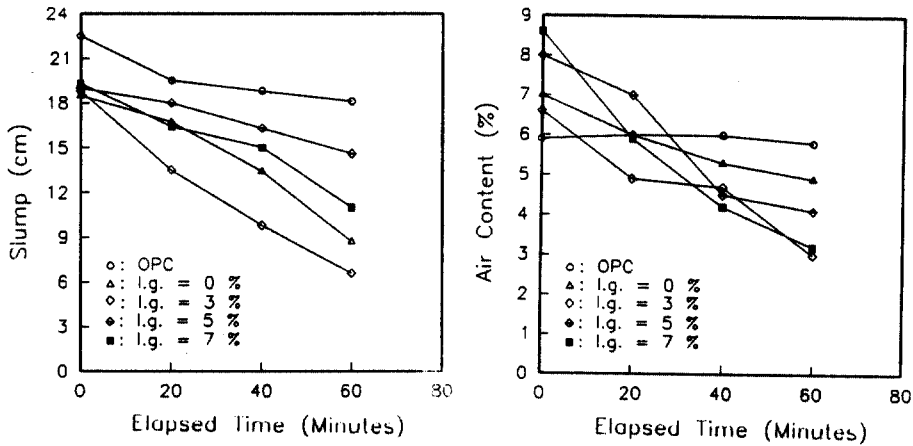
3.2 플라이애쉬 분말도의 영향

표6은 플라이애쉬의 분말도에 따른 콘크리트의 작업성 및 압축강도를 나타내고 있는데, 플라이애쉬의 분말도가 증가함에 따라 슬럼프는 감소하였으며, 공기량은 현저히 감소하였다. 공기량의 급격한 감소는 플라이애쉬내의 증가된 미립분들이 공기포 발생을 억제하였기 때문으로 판단된다. 또한, 압축강도면에서는 플라이애쉬의 분말도가 증가함에 따라 초기재령에서는 필러효과에 의해 강도가 다소 증가하였으나, 재령 28일에서는 그 효과가 나타나지 않았다. 이러한 현상은 분말도 4,000 ~ 6,000cm²/g

범위에서는 입자 미세화에 의한 포졸란 활성화효과의 촉진현상이 거의 나타나지 않기 때문에 판단된다.



a) 플라이애쉬 치환율 7.5%의 경우



b) 플라이애쉬 치환율 15%의 경우

그림1. 미연탄소량에 따른 작업성 손실영향

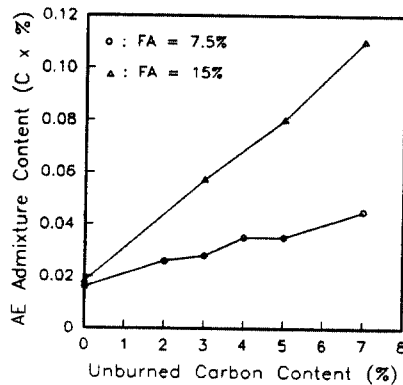


그림2. 미연탄소량에 따른 AE제 첨가량

표6. 플라이애쉬 분말도에 따른 콘크리트 슬럼프, 공기량, 압축강도 측정결과

기 호	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		
			3일	7일	28일
FA-0	16.0	6.5	164	223	304
FA-B4-7.5	15.1	5.1	168	235	309
FA-B5-7.5	15.3	3.9	176	272	326
FA-B6-7.5	10.2	3.8	180	259	332
FA-B4-15	16.5	4.4	154	213	308
FA-B5-15	11.0	3.5	170	250	336
FA-B6-15	13.7	2.9	165	258	314

3.3 콘크리트 초기온도에 따른 플라이애쉬 효과

그림3은 콘크리트의 초기온도(25 ~ 35℃)에 따른 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 나타낸 것으로서, 슬럼프 손실은 플라이애쉬 사용에 따른 유의할 만한 차이가 나타나지 않았다. 일반적으로 플라이애쉬사용 콘크리트의 온도가 높을수록 초기재령에서의 강도증진 효과가 크게 나타난다⁽²⁾. 그러나, 본 실험결과에서는 표7과 같이 강도증진효과가 나타나지 않는데, 그 이유는 온도범위가 좁고 초기온도만을 조절하였기 때문으로 판단된다.

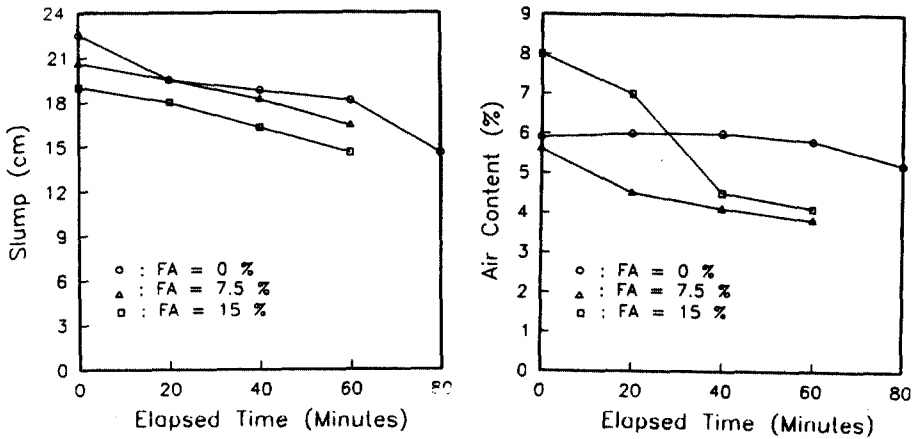
표7. 플라이애쉬 치환 콘크리트의 온도영향을 파악하기 위한 공시체의 압축강도결과

기 호	압축강도 (kgf/cm ²)		
	3일	7일	28일
25-0	176	239	314
25-7.5	171	238	326
25-15	163	237	309
35-0	228	282	334
35-7.5	205	269	331
35-15	180	242	310

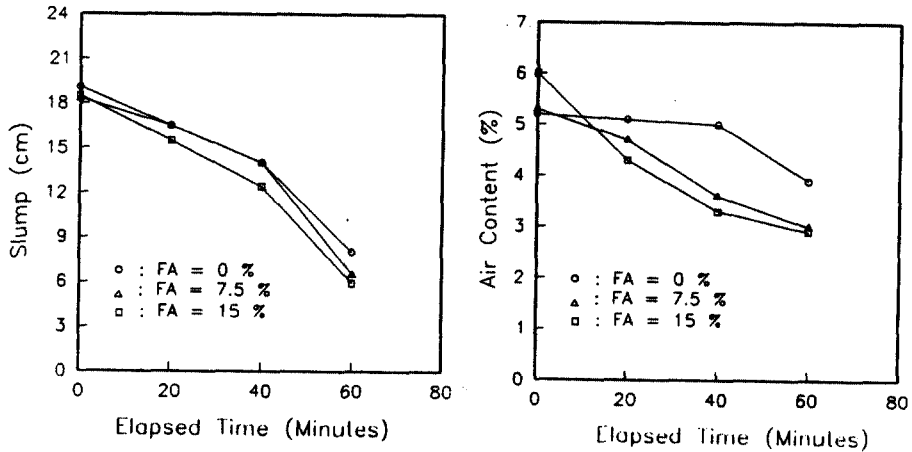
4. 결 론

플라이애쉬의 미연탄소량 및 분말도가 콘크리트의 성질에 미치는 영향에 관한 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라이애쉬내 미연탄소량이 증가함에 따라 목표 공기량 확보를 위한 공기연행제 사용량이 선형적으로 증가하였을 뿐만 아니라, 시간경과에 따른 공기량 손실도 빨라지는 것으로 나타났다.
- 2) 본 연구범위에서는 콘크리트 슬럼프 경시변화 및 압축강도는 미연탄소량에 따라 유의할만한 차이를 나타내지 않았다.
- 3) 플라이애쉬 분말도가 증가함에 따라 슬럼프는 서서히 공기량은 급격히 감소하였다. 또한, 3, 7일 재령 압축강도의 경우는 다소 상승하였으나, 28일 압축강도는 유사하게 나타났다.
- 4) 콘크리트 초기온도 25 ~ 35℃ 범위에서는 압축강도 및 작업성에 대한 플라이애쉬 효과의 차이가 적은 것으로 판단된다.



a) 콘크리트 초기온도 25°C인 경우



b) 콘크리트 초기온도 35°C인 경우

그림 3. 콘크리트 온도에 따른 작업성 변화

참 고 문 헌

1. Meininger, R.C., "Use of Fly Ash in Air-Entrained Concrete-Report of Recent NSGA-NRMCA Research Laboratory Studies", National Sand and Gravel Association, 32pp., 1981.
2. Luke, K. and Glassed, F.P., "Internal Chemical Evolution of the Constitution of Blended Cements", Cement Concrete Research, vol 18, pp. 495-502, 1988.
3. Berry, E.E., Hemmings, R.T., Langley, W.S. and Grette, G.G., "Beneficited Fly Ash: Hydration, Microstructure and Strength Development in Portland Cement Systems", Third ICFSS, Trondheim, ACI SP-114, pp.241-273, 1989.
4. Hornain, H., Miersman, F. and Marchand, J., "Influence of Residual Carbon in Fly Ash on Microstructure and Strength Development of Mortars and Concretes", ACI SP-132, pp.21-36, 1992.