

플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트의 양생온도에 따른 강도특성에 관한 연구

The Study on Strength Properties by Cruing Temperature of High Volume Fly-Ash Concrete

이 동 하* 이 민 경* 백 민 수** 김 성 식*** 임 남 기**** 정 상 진*****
Lee, Dong Ha Lee Min Kyung Paik Min Su Kim Sung Sik Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

Abstract

In this study, a high volume fly-ash substituted concrete experiments in two curing temperature circumstances - 35°C, 20°C. High volume fly-ash concrete is tested in fresh concrete properties and hardened concrete properties.

There is slump, air contents, concrete setting tests. 3, 7, As fresh concrete test items and 28 days water curing compressive strength is measured in the hardened concrete test. The purpose of this study is to submit a various fly-ash concrete data for application to field.

The result of this study is that the best strength is developed at the plain concrete cured 20°C and Mixing F43 shows the best strength among specimens which cured at 35°C.

1. 서론

플라이애쉬는 현재 콘크리트용 혼화재료로 사용되고 있으며 수화발열의 저감, 경화체 조직의 치밀화, 장기강도증진, 워커빌리티 개선 등의 우수한 성질을 가지고 있으며, 경제성 및 공급의 안정성이 우수하여 점차 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 또한 화력 발전소 산업폐기물인 플라이애쉬의 재활용은 환경적인 면에서도 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 다만, 플라이애쉬를 결합재의 일부로 치환하여 사용할 경우 치환율의 증대에 따른 단위시멘트량의 감소로 인해 초기강도저하 및 중성화에 대한 저항성이 저하하는 단점이 있다. 본 연구에서는 다량의 플라이애쉬를 결합재와 잔골재로 치환하여 양생온도 35°C의 서중환경, 양생온도 20°C의 표준환경에서 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 경화 콘크리트의 특성에 관한 실험을 실시하였다. 여러가지 다양한 수준의 배합을 비교하여 현장에 도움이 될 수 있는 자료를 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대 대학원 박사수료

*** 정회원, 대흥 ENG 전무

**** 정회원, 동명정보대 건축공학과 교수

***** 정회원, 단국대 건축대학 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험의 배합은 물결합재비를 45%, 50%의 2수준으로 하였고, 플라이애쉬의 치환율은 0, 30, 31, 32, 40, 41, 42, 43%의 8수준으로 하였으며, 양생온도를 20℃, 35℃의 2수준으로 하였다. 굳지 않은 콘크리트 실험으로는 슬럼프, 공기량, 콘크리트 응결시험을 하였고, 경화 콘크리트의 실험으로는 수중양생한 공시체를 재령 3, 7, 28일으로 하여 압축강도를 측정하였다. 또한, 혼화제의 경우 AE감수제를 사용하여 목표 슬럼프 18cm±2cm, 목표 공기량 4±1%로 하였다.

본 실험의 실험인자, 수준 및 측정항목은 표1과 같고 이에 따른 배합사항은 표 2와 같다.

표 1 실험인자와 수준 및 측정항목

구 분	W/B (%)	양생온도 (℃)	치환율 (%)	측정항목	
				굳지 않은 콘크리트	경화 콘크리트
인 자	45, 50	20, 35	0,30,31,32 40,41,42,43	슬럼프, 공기량, 콘크리트 응결시험	압축강도 (수중양생)
수 준	2	2	8	-	3, 7, 28

표 2 배합표

시험체명	W/C (%)	W/B (%)	S/A (%)	FA치환율		단위용적중량(kg/m ³)					
				C	S	W	C	FA	S	G	AD
W45-F00	45.0	45.0	41.0	0	0	180	400	0	696	1009	1.4
W45-F30	64.3	45.0	41.0	30	0	180	280	120	676	980	1.4
W45-F31	60.0	42.9	40.1	25	5	180	300	120	655	985	1.6
W45-F32	56.3	40.9	39.2	20	10	180	320	120	633	990	1.6
W45-F40	75.0	45.0	41.0	40	0	180	240	160	670	971	1.4
W45-F41	69.2	42.9	40.1	35	5	180	260	160	648	976	1.6
W45-F42	64.3	40.9	39.1	30	10	180	280	160	626	980	1.8
W45-F43	60.0	39.1	38.2	25	15	180	300	160	605	985	1.8
W50-F00	50.0	50.0	43.0	0	0	180	360	0	744	994	0.9
W50-F30	71.4	50.0	43.0	30	0	180	252	108	726	969	0.9
W50-F31	66.7	47.6	42.3	25	5	180	270	108	707	973	1.08
W50-F32	62.5	45.2	41.5	20	10	180	288	108	688	977	1.08
W50-F40	83.3	50.0	43.0	40	0	180	216	144	719	961	0.9
W50-F41	76.9	47.6	42.2	35	5	180	234	144	700	965	1.08
W50-F42	71.4	45.2	41.5	30	10	180	252	144	681	969	1.26
W50-F43	66.7	43.5	40.7	25	15	180	270	144	662	973	1.26

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다

2.2.2 골재

잔골재의 경우 북한강산으로서 최대치수를 5mm이하로 입도 조정하여 사용하였고, 굵은 골재의 경우 광주석 산 쇄석으로 최대치수 25mm이하로 입도조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

2.2.3 플라이애쉬

플라이애쉬의 경우 보령 화력발전소에서 생산·정제 과정을 거친 유연탄 플라이애쉬를 사용하였고, 그 품질 특성은 표 4와 같다.

표 3 골재의 물리적 특성

구분	비중	흡수율(%)	조립율(%)	단위용적증량(kg/m ³)	실적율(%)
잔골재	2.60	0.98	2.87	1,590	61.2
굵은골재	2.62	1.8	6.3	1,596	61.04

표 4 플라이애쉬의 물리·화학적 특성

강열감량(%)	단위수량비(%)	분말도(cm ² /g)	비중	압축강도비(%)	SiO ₂ (%)	습분(%)
3.75	100	3,084	2.11	95	59.7	0.11

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트 실험결과

3.1.1 슬럼프 및 공기량

본 연구에서의 슬럼프 및 공기량은 각 배합별로 혼화제의 적절한 혼입으로 목표 슬럼프인 18±2cm와 목표 공기량 4±1%를 전부 만족하는 것으로 나타났다.

3.1.2 콘크리트 응결시험

양생온도 20℃에서의 응결시험은 W/B 45%경우 플레인이 가장 빠른 응결을 보였으며, 플라이애쉬 치환율이 높을수록 응결시간이 지연되며, 같은 양의 플라이애쉬 치환율의 경우 잔골재의 플라이애쉬 치환율이 낮을수록 응결이 지연되는 것으로 나타나 단위시멘트량이 많을수록 빠르게 응결되는 것으로 판단된다. 응결특성을 보면 플레인이 8시간에 초결을 시작하여 11시간에 종결하였다. 플라이애쉬 치환율이 가장 많은 40% 경우 결합재로만 치환한 시험체는 초결이 15시간이 경과한 후 시작하여 22시간에 종결을 하여 플레인에 비해 약 2배나 늦게 응결이 지연되는 것으로 나타났다. W/B 50%경우는 W/B 45%와 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 전체적으로 단위시멘트량의 감소로 인해 초결 및 종결시간이 약1~2시간정도 늦어지는 것으로 나타났다.

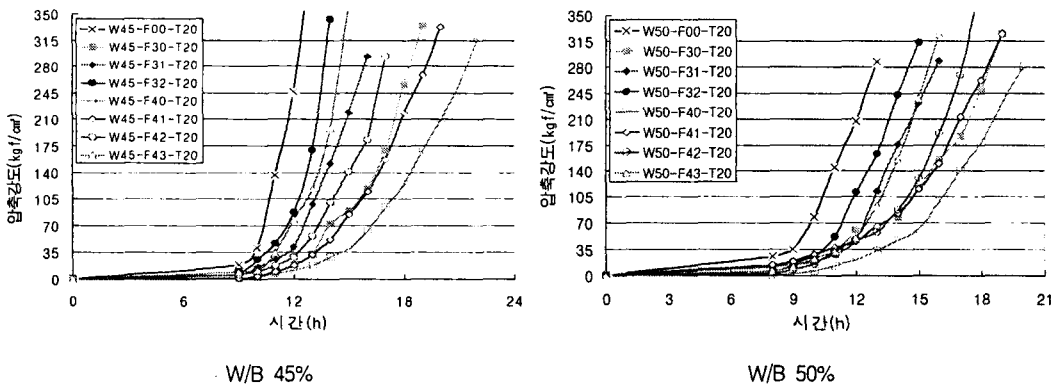


그림 1 양생온도 20℃에서의 콘크리트 응결시험

양생온도 35℃에서의 W/B 45% 응결시험의 경향은 양생온도 20℃와 유사하게 나타났다. 응결특성은 플레인의 경우 약 4.5시간에 초결을 시작하여 6.5시간에 종결을 한 것으로 나타났다. W/B 50%경우 W/B 45%와 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 양생온도 35℃에서의 응결시험은 양생온도 20℃에서의 응결시험보다 2배 이상의 빠른 응결이 나타났다. 이것은 초기의 양생온도가 높을수록 빠른 수화반응을 일으켜 초기에 높은 강도발현을 나타낸 것으로 판단된다.

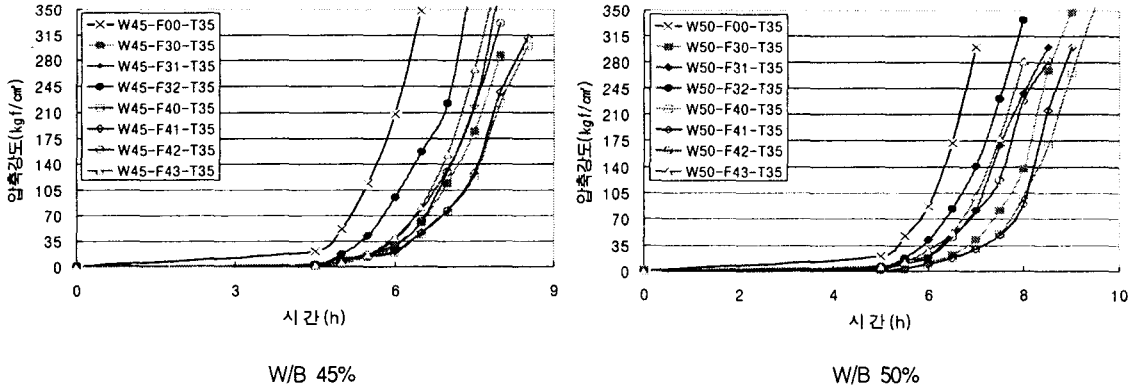


그림 2 양생온도 35℃에서의 콘크리트 응결시험

3.2 경화 콘크리트 실험결과

콘크리트의 실험결과를 표 5에 나타내었다.

표 5 콘크리트 실험결과

단위 : kgf/cm²

시험체명	양생온도 (℃)	굳지 않은 콘크리트		경화콘크리트			시험체명	양생온도 (℃)	굳지 않은 콘크리트		경화콘크리트		
		슬럼프 (mm)	공기량 (%)	3	7	28			슬럼프 (mm)	공기량 (%)	3	7	28
W45-F00-T20	20	165	4	162	244	321	W45-F00-T35	35	164	4.1	182	240	305
W45-F30-T20	20	180	3.3	103	147	240	W45-F30-T35	35	183	3.5	100	171	268
W45-F31-T20	20	174	3.6	125	186	268	W45-F31-T35	35	180	3.8	103	184	275
W45-F32-T20	20	168	3.4	142	224	309	W45-F32-T35	35	175	3.5	140	196	312
W45-F40-T20	20	190	3.7	87	143	230	W45-F40-T35	35	191	3.6	100	158	244
W45-F41-T20	20	175	3.3	111	164	248	W45-F41-T35	35	171	3.6	108	175	277
W45-F42-T20	20	165	3.6	136	185	258	W45-F42-T35	35	175	3.7	117	179	282
W45-F43-T20	20	162	3.1	140	210	299	W45-F43-T35	35	164	3.2	168	246	353
W50-F00-T20	20	183	4	145	207	261	W50-F00-T35	35	183	3.7	168	213	259
W50-F30-T20	20	200	3.1	71	120	188	W50-F30-T35	35	188	3.3	103	146	238
W50-F31-T20	20	183	3.4	104	151	237	W50-F31-T35	35	188	3.4	123	177	267
W50-F32-T20	20	186	3.4	123	167	252	W50-F32-T35	35	183	3.2	131	190	280
W50-F40-T20	20	195	3.5	59	103	176	W50-F40-T35	35	197	3.3	99	125	232
W50-F41-T20	20	193	3.2	63	117	199	W50-F41-T35	35	195	3.4	103	128	255
W50-F42-T20	20	180	3.4	81	139	229	W50-F42-T35	35	175	3.6	118	151	272
W50-F43-T20	20	184	3.4	93	148	249	W50-F43-T35	35	174	3.3	123	161	283

3.2.1 양생온도 20℃ 표준환경에서의 강도특성

W/B 45%의 시험체의 경우 플레인이 가장 높은 강도발현이 나타났다. 같은 양의 플라이애쉬 치환 시험체는 잔골재 치환율이 증가할수록 강도가 높게 발현하는 것으로 나타났다. 특히 배합F32, 배합F43 시험체의 경우 플라이애쉬 치환율이 높음에도 불구하고 잔골재 대체율이 높음으로서 결합재량이 증가함에 따라 높게 강도발현을 하는 것으로 나타났다. W/B 50% 경우 W/B 45%와 유사한 경향으로 나타났다.

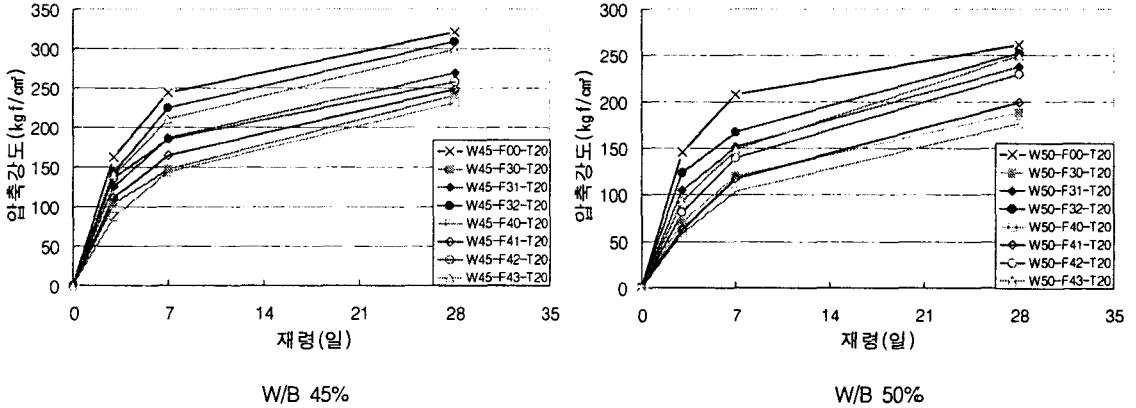


그림 3 수중양생 재령별 압축강도(20℃)

3.2.2 양생온도 35℃ 서중환경에서의 강도특성

양생온도 35℃에서 W/B 45% 공시체의 강도발현은 배합F43이 가장 높은 것으로 나타났다. 초기강도의 경우 재령 10일까지는 플레인이 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 28일의 경우 플레인보다 배합F43, 배합F32가 더 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 초기강도의 경우 단위시멘트량이 많은 플레인 시험체가 높은 강도발현을 하였으나, 재령이 경과할수록 강도의 증가량이 저하하는데 반해 배합F32, 배합F43 시험의 경우 높은 결합재량에 의해 지속적인 강도발현을 하여 재령 28일에서는 플레인 시험체보다 높은 강도발현을 나타내는 것으로 판단된다. W/B 50% 경우 W/B 45%와 유사한 경향으로 나타났다.

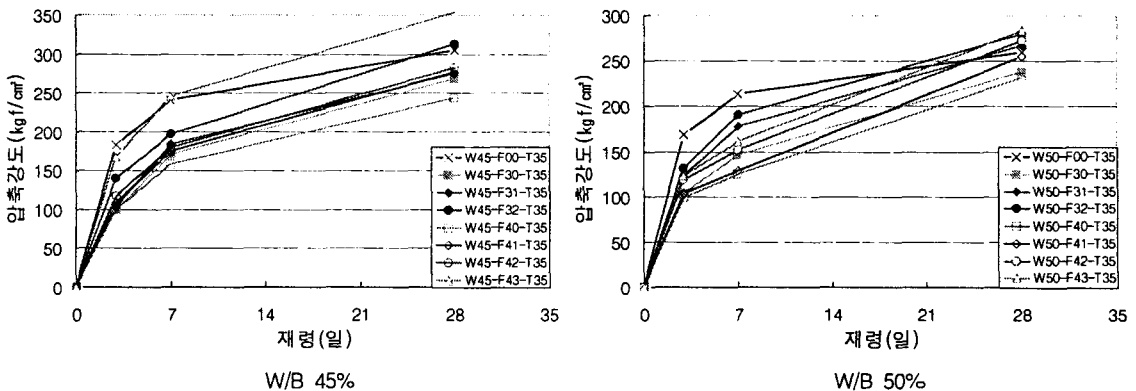


그림 4 수중양생 재령별 압축강도(35℃)

4. 결론

플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트를 양생온도에 따른 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 양생온도 20℃에서의 응결시험은 플라이애쉬 치환율이 높을수록 응결시간이 지연되며, 같은 양의 플라이애쉬 치환율의 경우 잔골재의 플라이애쉬 치환율이 낮을수록 응결이 지연되는 것으로 나타났다.

(2) 양생온도 35℃에서의 응결시험은 양생온도 20℃와 유사한 경향으로 응결하였다. 또한 양생온도 35℃에서의 응결은 양생온도 20℃에서의 응결보다 2배이상의 빠른 응결이 나타났다.

(3) 양생온도 20℃ 표준환경에서는 플레인 콘크리트가 가장 높은 강도를 나타냈다. 같은 양의 플라이애쉬 치환 시험체는 잔골재 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 배합F32와 배합F43 시험체의 경우 플라이애쉬 치환율이 높음에도 불구하고 잔골재 대체율이 높음으로서 결합재량이 증가함에 따라 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다.

(4) 양생온도 35℃ 서중환경의 경우 배합F43이 재령 28일에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 초기강도의 경우 재령 10일까지는 플레인이 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 28일의 경우 플레인보다 배합32 및 배합F43이 더 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 초기에는 단위시멘트량이 많은 플레인 콘크리트가 높은 강도를 나타내고 있으나 재령이 경과함에 따라 결합재량이 높은 배합32 및 43이 지속적인 강도 발현을 하여 강도가 증가하는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정상진 외, 건축재료학, 보성각.
2. 정상진 외, 알기 쉬운 건축 시공·재료, 보성각.
3. 정상진 외, “플라이애쉬 혼입 모르타의 역학적 특성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 10권 제 2호 1998.11.
4. 정상진 외, “플라이애쉬 혼입 콘크리트의 적용성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제10권 제 2호 1998.11.
5. 정상진 외, “플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 품질변화에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제11권 제 1호 1999.5.
6. 정상진 외, “플라이애쉬를 다량 함유한 콘크리트의 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 13권 제 2호 2001.11.
7. 飛板基夫의 2人, “空氣連行性に及ぼす石炭灰の諸性狀に關する檢謝,” 세멘트·콘크리트論文集 No. 51.
8. 牧野貞之의 3人 “フライアッシュを用いたマスコンクリートの諸性狀に關する檢謝,” 콘크리트工學年次論文報告集 Vol.20.
9. A.M Neville, “Properties of Concrete,” 4th Edition, Longman, 1995.