

플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 研究

이 상 수

〈(주)대우건설 기술연구소 선임연구원, 공학박사〉

원 철
김 동 석
박 상 준

〈(주)대우건설 기술연구소 주임연구원〉

1. 序 論

1.1 研究배경 및 목적

플라이애쉬는 그 자체로는 수경성이 없는 미분상태로서 실리카질을 주성분으로 하는 혼화재료이며, 시멘트와 함께 사용하면, 시멘트의 수화과정에서 생성되는 수산화칼슘과 상온에서 서서히 반응하여 불용성의 화합물을 만드는 포졸란 반응을 하는 특성을 갖고 있다.

즉, 플라이애쉬를 시멘트의 일부로 일정량 혼합할 경우, 콘크리트의 초기강도는 낮지만, 장기재령에서 강도가 크게 증진되어 일반 콘크리트에 비해 같거나, 오히려 증진되는 효과를 얻을 수 있어, 콘크리트의 수밀성과 내구성

을 크게 향상시키는 특성을 갖고 있다. 또한, 수화발열량이 적어 서중콘크리트나 매스콘크리트에의 활용에도 매우 유리하다 할 수 있다.

이러한 특성의 플라이애쉬를 이용하여, 대상 구조물의 요구성능을 만족하는 고품질 콘크리트를 제조하고자 하는 많은 노력이 있어 왔고, 일부는 성공적인 결과를 얻기도 했다.

그러나, 대상구조물의 대부분이 고강도 범위로 한정되어 있어, 특정 대상 구조물을 제외한 일반 구조물에는 크게 활용되지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 일반강도 범위의 콘크리트를 대상으로, 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 유동특성, 강도특성, 응결특성 및 수화특성과 같은 공학적 특성에 관하여 다양한 실

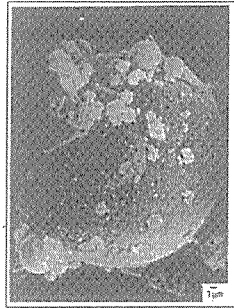
험요인 및 수준을 설정하여 연구를 행하였다.

1.2 플라이애쉬의 반응 메카니즘

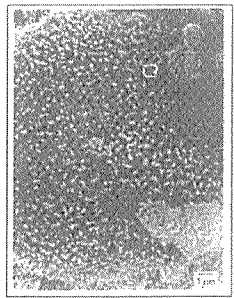
포틀랜드시멘트가 콘크리트내에서 물과 수화반응을 하여 생성하는 1차 반응물은 수산화칼슘 $[Ca(OH)_2]$ 이며, 1차 반응물과 플라이애쉬의 규소 및 알루미늄 성분은 2차 반응을 하게 되는데, 이러한 반응을 포졸란 반응이라 하며, 여기서 생성되는 2차 반응물은 C-S-H



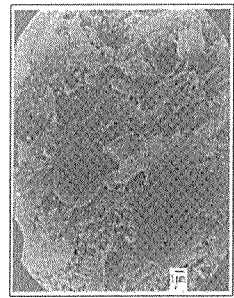
1시간 후



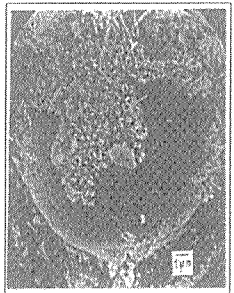
4시간 후



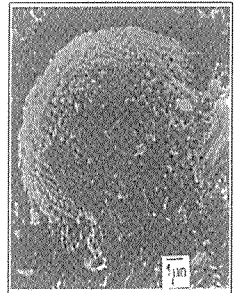
12시간 후



1일 후



3일 후



2개월 후

(사진 1) 플라이애쉬와 시멘트의 수화반응 과정

및 C-A-H 형태를 갖는다. 이러한 2차 반응물은 포틀랜드시멘트의 수화생성물보다 조밀한 겔(gel)상태를 이루고 있다.

플라이애쉬에 의한 2차 반응은 시멘트의 수화반응으로 인하여 발생하는 열과 수화이온에 의한 유리구조의 분해에 따라 달라지게 되는데, 시멘트-페이스트의 공극에 수산화칼슘이 존재하는 한 C-S-H 및 C-A-H를 형성하기 위한 2차 반응은 오랜기간에 걸쳐 지속적으로 일어나게 된다. 이러한, 플라이애쉬의 2차 반응은 앞에서도 언급한 바와 같이, 시멘트의 수화초기에는 반응속도가 매우 낮지만, 수화반응이 어느 정도 진행된 후에는 매우 활발한 반응을 나타내기 때문에 장기강도에 유리하다.

[사진 1]은 시멘트와 플라이애쉬를 혼입한 페이스트의 반응단계를 나타낸 것이다.

2. 實驗計劃 및 方法

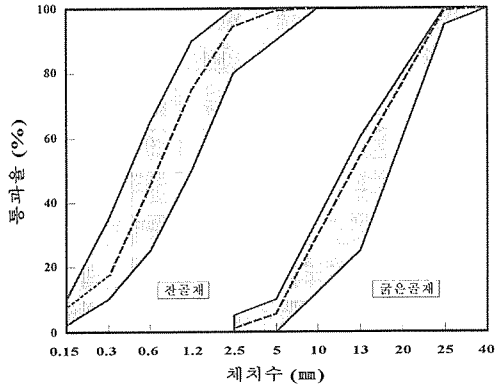
2.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준은 [표 1]과 같다. 즉, 배합사항으로는 일반강도 범위의 콘크리트를 대상으로 플라이애쉬의 활용성을 검토하기 위하여 물결합재비 40, 45, 50 및 55%를 대상으로 하였고, 플라이애쉬는 시멘트 중량에 대하여 0~30%까지 10%단위로 변화시켜 치환하는 것으로 계획하였다. 또한, 목표슬럼프는 실무에서 가장 일반적으로 사용되는 범위인 8, 12, 15, 18cm로 계획하였다.

실험사항으로는 콘크리트의 블리딩, 응결시간, 경시변화 특성 및 단열온도상승시험을 실시하는 것으로 계획하였는데, 이때 단열온도상승시험은 1차 예비시험의 결과를 바탕으로, 물결합재비 40%와 50%이고, 목표슬럼프치 18cm인 경우만을 대상으로 플라이애쉬의 치환율에 따른 특성을 검토·분석하였다.

[표 1] 실험요인 및 수준

실험요인	수 준		
W/B(% wt)	40, 45, 50, 55	40, 50	
플라이애쉬 치환율(% wt)	0, 10, 20, 30		
목표 슬럼프(cm)	0, 10, 20, 30	18	
실험 사 항	굳지 않은 콘크리트	8, 12, 15, 18	응결시간, 블리딩, 경시변화 단열온도상승량
	경화 콘크리트	재령별 압축강도 (7, 28, 56, 91일)	



(그림 1) 골재의 입도곡선

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 혼화재, 골재 및 AE 감수제)의 물리·화학적 성질은 [표 2]~[표 5]에 나타난 바와 같다.

먼저, 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(I종)를, 플라이애쉬는 분말도가 3.158cm²/g인 보령산 F급 플라이애쉬를 사용하였으며, 잔골재는 남양만산 세척사를, 굵은골재는 용원석산의 25mm 쇄석을 세척하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 [표 4]와 같고, 입도곡선은 [그림 1]과 같다.

감수제는 일반 콘크리트에서 주로 사용하고

있는 AE 감수제 표준형(국내 J사)를 사용하였는데, 그 물리성 및 품질성능은 [표 5]와 같다.

[표 2] 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	응결시간 (h:m)		강열 감량 (%)	안정도 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		
		초결	종결			3일	7일	28일
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	195	293	397

[표 3] 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	습분 (%)	주성분(%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
2.15	3,158	3.57	56.4	0.19	1.3	23.7	9.0	2.5	1.1

[표 4] 골재의 물리적 성질

구 분	절건 비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	실적율 (%)	단위용 적중량 (kg/l)	씻기 손실량 (%)
잔골재	2.60	0.52	2.60	64.8	1.690	0.5
굵은골재	2.62	0.53	6.96	58.1	1.497	0.1

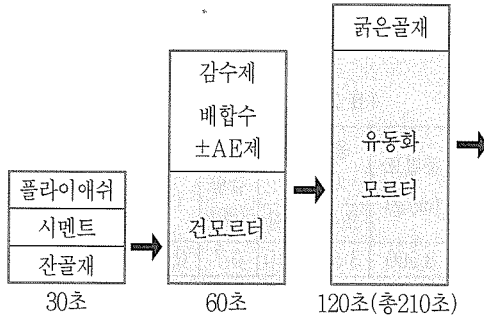
[표 5] AE 감수제의 물리적 성질

색상	주성분	고형 함량 (%)	pH	비중	응결시간 차(min)		압축강도비 (%)		
					초결	종결	3일	7일	28일
암 갈색	나프탈 렌계	33 ± 5	8.5 ± 1.5	1.15 ± 0.05	20	30	135	126	122

2.3 실험방법

실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 [그림 2]의 혼합순서에 따라 실시하고, 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 블리딩 시험은 KS의 관련규정에 의거 실시하였다.

압축강도는 KS F 2405에 따라 91일 재령까지 측정하였다. 한편, 단열온도상승시험은 KS L 5121에 따라 한번의 길이가 15cm인 정육면체의 시료를 제작하여 측정하였다.



(그림 2) 콘크리트의 혼합

3. 實驗結果 및 分析

3.1 슬럼프 및 공기량

플라이애쉬 치환율별 슬럼프 시험결과는 [그림 3]과 같이, 물결합제비에 관계없이 전반적으로 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 목표 슬럼프별로 다소 차이를 보이고 있다. 즉, 목표슬럼프치 15cm를 전후로 해서 그 이하에서

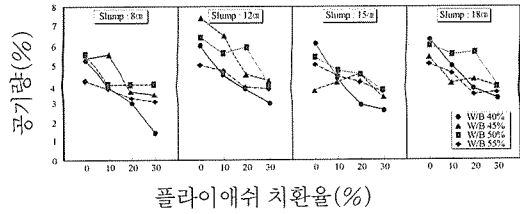
(표 6) 콘크리트의 배합

W/B (°/wt)	목표 슬럼프 (cm)	플라이애 쉬치환율 (°/wt)	S/a (°/vl)	절대용적 (l/m ³)					W/B (°/wt)	목표 슬럼프 (cm)	플라이애 쉬치환율 (°/wt)	S/a (°/vl)	절대용적 (l/m ³)				
				C	FA	W	S	S					C	FA	W	S	G
40	8	0	42.0	115	0	145	292	292	50	8	0	44.3	90	0	142	320	403
		10	41.2	104	17		284	284			43.7	81	13	314		405	
		20	40.4	92	34		277	277			43.1	72	26	308		407	
		30	39.6	80	51		269	269			42.5	63	40	302		409	
	12	0	42.9	119	0	150	294	294		12	0	45.4	93	0	147	324	390
		10	42.1	107	17		287	287			44.8	84	14	318		392	
		20	41.3	95	35		279	279			44.1	75	27	312		394	
		30	40.4	83	52		271	271			43.5	65	41	305		396	
	15	0	43.1	122	0	154	293	293		15	0	45.3	97	0	152	320	387
		10	42.3	110	18		284	284			44.6	87	14	313		389	
		20	41.4	98	36		276	276			44.0	77	28	307		391	
		30	40.5	86	54		268	268			43.3	68	42	300		393	
	18	0	45.6	125	0	158	306	306		18	0	47.7	100	0	158	332	364
		10	44.8	113	18		298	298			47.0	90	15	325		367	
		20	43.9	100	37		289	289			46.3	80	29	318		369	
		30	43.0	88	55		281	281			45.6	70	44	312		371	
45	8	0	43.3	101	0	143	308	308	55	8	0	44.4	85	0	147	321	402
		10	42.6	91	15		294	294			43.8	76	12	315		404	
		20	41.9	81	30		288	288			43.3	68	25	310		406	
		30	41.3	71	44		288	288			42.7	59	37	304		407	
	12	0	44.3	104	0	148	311	311		12	0	45.6	88	0	152	326	389
		10	43.6	94	15		304	304			45.1	79	13	320		391	
		20	42.9	84	31		297	297			44.5	70	26	315		393	
		30	42.2	73	46		290	290			43.9	61	39	309		394	
	15	0	44.3	108	0	153	308	308		15	0	45.5	91	0	157	322	386
		10	43.6	97	16		300	300			44.9	82	13	315		388	
		20	42.8	86	32		293	293			44.3	72	27	309		390	
		30	42.1	76	47		286	286			43.6	63	40	303		392	
	18	0	46.7	111	0	158	320	320		18	0	47.8	95	0	164	333	363
		10	46.0	100	16		313	313			47.2	85	14	327		365	
		20	45.2	89	33		305	305			46.6	76	28	320		367	
		30	44.4	78	49		298	298			45.9	66	42	314		370	

는 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있는 반면, 그 이상에서는 플레인 콘크리트보다 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 배합조건, 비빔온도 및 플라이애쉬의 특성 등 각종 요인에 따라라도 나타날 수 있지만, 본 시험에서는 낮은 비중을 갖는 플라이애쉬의 사용으로 인하여, 굳지 않은 콘크리트에서 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 결합재-페이스트의 용적이 증대하였고, 이에 따라 페이스트의 점성도 상대적으로 증가하였기 때문에 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 유동성이 감소한 것으로 분석된다.

또한, 日本建築學會의 「플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 배합설계·시공지침(안)·동해설」에서는 플라이애쉬의 특성중 강열감량이 3% 이하에서만 유동성이 개선된다고 언급되는 것과 마찬가지로, 본 시험에 사용한 플라이애쉬의 경우에는 강열감량이 3~5%이기 때문에, 플레인 콘크리트보다 유동성 개선효과가 없어 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 슬럼프 치가 저하하게 된 하나의 원인이라 판단되는데, 특히, 목표슬럼프 18cm인 경우에는 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프 감소가 뚜렷하게 나타나고 있어, 묽은 비빔 콘크리트영역에서 플라이애쉬 치환율에 따른 영향이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었다.

공기량은 [그림 4]에 나타난 바와 같이, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 뚜렷한 감소경



[그림 4] 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 공기량 시험결과

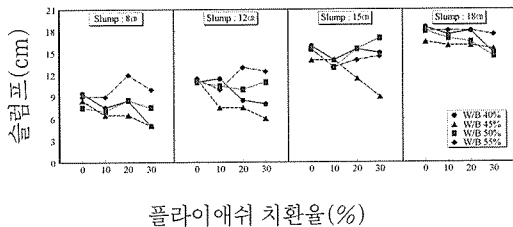
향을 보이고 있는데, 이는 플라이애쉬 성분중 미연소 카본에 의한 AE제의 흡착효과에 기인하여 나타난 결과로 분석되기 때문에 소요의 목표 공기량(4.5±1.5%)을 확보하기 위해서는 플라이애쉬 치환율이 높을수록 AE제 사용량을 증가시키는 방안이 강구되어야 할 것이다.

또한, 동일 목표 슬럼프에서 물결합재비에 따른 공기량의 변화는 물결합재비 40%가 물결합재비 50%보다 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 [그림 4] 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 공기량 시험결과 급격한 감소경향을 나타내고 있으며, 동일 물결합재비에서 슬럼프에 따른 공기량의 변화는 슬럼프가 큰 경우가 공기량이 증가하는 경향으로 나타내고 있었다. 이는 단위결합재량의 차이 및 단위모르터량의 차이에 따른 결과로 분석된다.

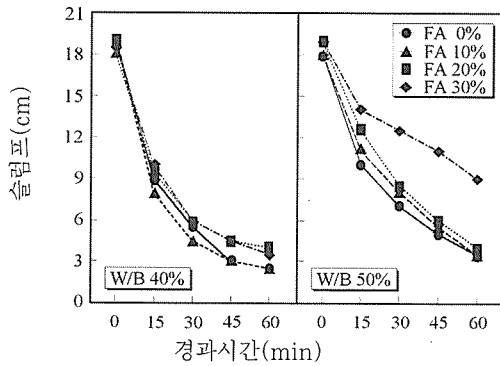
3.2 경시변화에 따른 특성

[그림 5]~[그림 7]은 시간경과에 따른 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 압축강도 특성을 플라이애쉬 치환율 및 물결합재비별로 구분하여 나타낸 것이다.

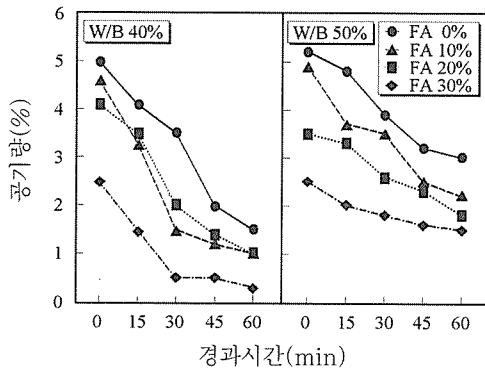
즉, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 초기 슬럼프는 저하하는 것으로 나타났다. 따라서, 플라이애쉬 치환율별로 감수제량을 증대시켜 목표슬럼프를 확보하도록 하였다. 그 결과, 플레 [그림 5] 경과시간에 따른 슬럼프 변화 특



[그림 3] 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 슬럼프 시험결과

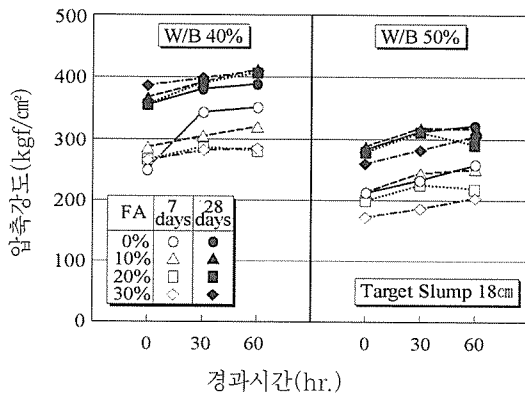


[그림 5] 경과시간에 따른 슬럼프 변화 특성



[그림 6] 경과시간에 따른 공기량 변화 특성

성인 콘크리트보다 감수제가 0.5~1.5% 정도 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 플라이애쉬가 혼합 됨에 따라 점성이 증가하여 나타난

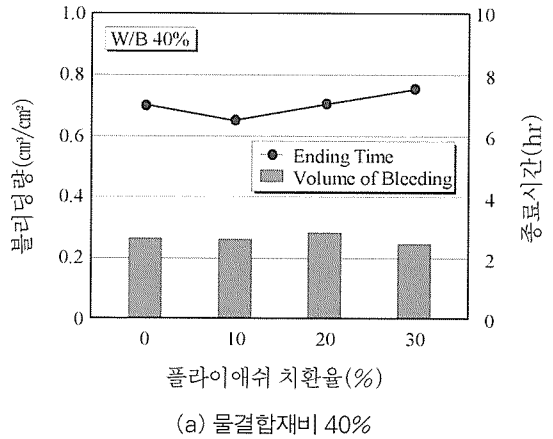


[그림 7] 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 경과시간에 따른 압축강도 특성

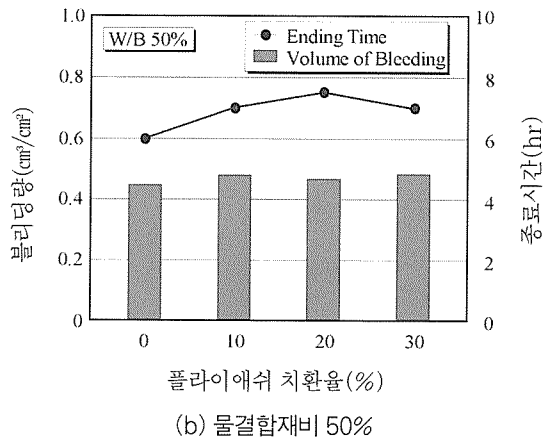
결과로분석된다. 또한, 본 실험에 사용된 플라이애쉬의 강열감량이 3~5%수준으로 굳지 않은 콘크리트의 유동성 개선에 효과가 없는 것과, 플라이애쉬의 낮은 비중으로 인해 결합재-페이스트용적이 상대적으로 증대한 것에 기인된 결과로 분석된다.

3.3 블리딩 및 응결특성

[그림 8]은 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 블리딩 시험결과를 나타낸 것이다.



(a) 물결합재비 40%

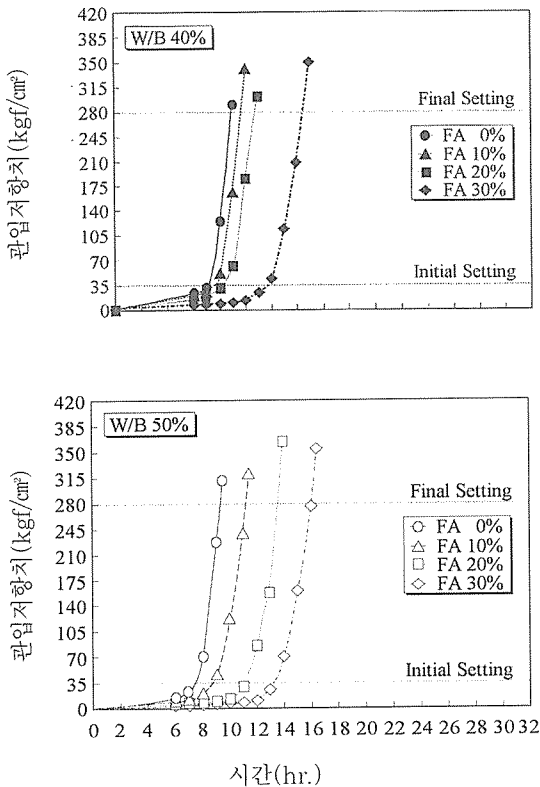


(b) 물결합재비 50%

[그림 8] 플라이애쉬의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 블리딩 시험결과

즉, 플라이애쉬 치환율에 따른 블리딩을 및 블리딩량은 물결합재비에 따라 다소 상이한 결과를 나타내고 있다.

즉, 물결합재비 40%의 경우 블리딩량은 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 미소하나마 감소하는 경향을 나타내고 있지만, 물결합재비가 50%인 경우에는 반대로 증가하는 현상을 나타내고 있다. 일반적으로, 포졸란질의 혼화재는 블리딩 저감효과를 갖는다는 연구보고가 있지만, 이러한 경우에는 플라이애쉬의 품질이 양호한 경우라고 할 수 있다. 따라서, 물결합재비에 따라 블리딩 시험결과가 다소 상이하게 나타난 것은 국내산 플라이애쉬의 경우, 단위결합재량에 따라 겉보기 점성이 다르기 때문이라고 사료된다.



(그림 9) 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 응결특성

또한, 각 물결합재비별 블리딩량은 전반적으로 물결합재비가 40%인 경우는 $0.25 \sim 0.28 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ 범위이고, 물결합재비가 50%인 경우는 $0.45 \sim 0.49 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ 의 범위로서, 日本建築學會의 「콘크리트의 調合設計指針·同解説」에서 보통콘크리트의 경우에 대해 규정하고 있는 $0.5 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하를 만족하는 것으로 나타났으며, 물결합재비 40%의 경우에는 고내구성 콘크리트의 경우에 대해 규정하고 있는 $0.3 \text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

그러나, 블리딩이 종료되는 시간은 전반적으로, 플라이애쉬를 사용함에 따라 다소 증가하는 것으로 나타났다.

응결특성은 [그림 9]에서와 같이 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 물결합재비에 관계없이 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 플라이애쉬의 주성분이 수화반응물질이 아닌 포졸란 재료이기 때문이라고 사료된다. 그러나, 물결합재비별 플라이애쉬 치환율에 따라 응결시간의 차이는 다소 상이한 것으로 나타났다.

세부적으로, 물결합재비 40%의 경우에는 플라이애쉬 치환율이 20%에서 30%로 증가할 때 응결시간이 지연되는 반면, 물결합재비 50%의 경우에는 플라이애쉬 치환율별로 거의 일정한 특성을 보이고 있다.

한편, 플라이애쉬 치환율이 30%인 콘크리트의 종결시간은 플레인 콘크리트의 종결시간보다 5~6시간 정도 지연하는 것으로 나타났다. 따라서, 서중시 초기의 소성수축에 따른 균열을 제어할 수 있다는 잇점이 있지만, 반면에 한중시 낮은 강도발현 때문에 양생관리에 있어서 주의를 기울여야만 하는 어려움이 있다.

전반적으로, 초결에서 종결까지의 시간은 물결합재비에 관계없이 2~3시간 정도 소요되는 것으로 나타났으며, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 지연되는 경향을 보이고 있다.

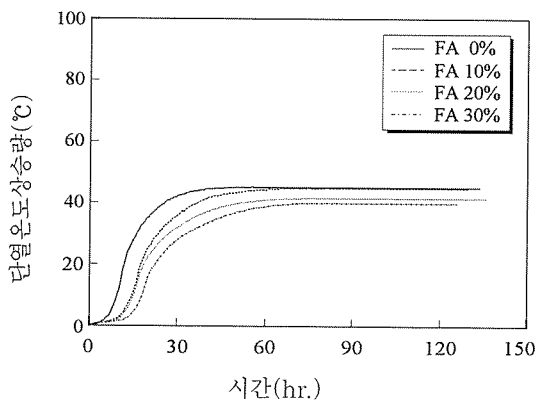


3.4 단열온도상승시험결과

[표 7]과 [그림 10]은 플라이애쉬의 수화특성을 검토하기 위하여 물결합재비 40%, 목표슬럼프치 18cm인 콘크리트를 대상으로 실시한, 단열온도상승시험 결과를 나타낸 것이다.

(표 7) 단열온도상승시험결과

경과시간 (hour)	단열온도상승치(°C)			
	FA0	FA10	FA20	FA30
5	2	1	1	1
10	12	3	2	1.5
15	28	11	10	4.5
20	35	25	22	16
25	39	32	28	23
30	42	36	32	28
35	43	39	35	31
40	44	41	37	33
45	44.5	42	38	35
50	45	43	40	37
55	45	44	40	38
60	45	44	41	39
65	45	44	41	39
70	45	45	41	40
75	45	45	41	40
80	45	45	41	40



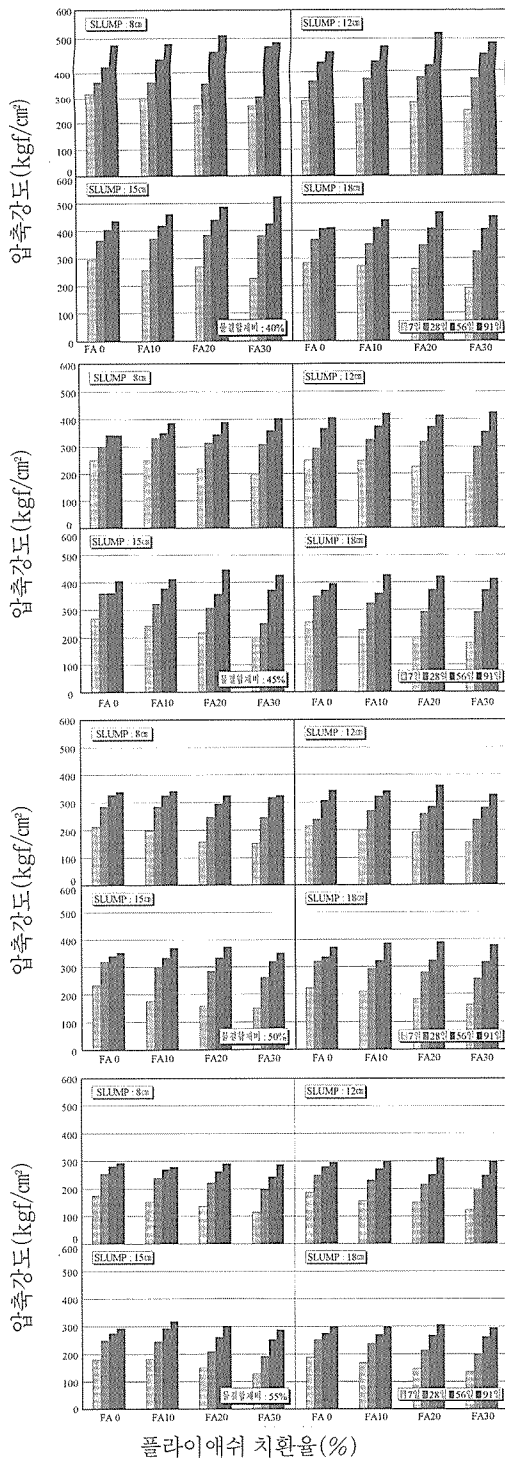
(그림 10) 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 단열온도상승시험결과

즉, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 최고 상승온도(K)는 감소하는 경향을 보이고 있으며 특히, 플라이애쉬 치환율이 30%인 경우에는 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트보다 약 5°C 정도 낮은 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 플라이애쉬 치환율에 따라 수화열에 영향을 미치는 단위시멘트량이 상대적으로 감소하여 나타난 결과로 보여진다. 따라서, 플라이애쉬를 사용한 콘크리트는 혼입하지 않은 콘크리트보다 수화열에 의한 온도균열이 발생할 우려는 적을 것으로 사료된다.

또한, 콘크리트의 온도균열에 영향을 주는 또 하나의 요인은 온도상승속도(곡선의 기울기: α, β)인데, 그림에서도 나타난 바와 같이, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 온도상승속도가 감소하기 때문에, 플라이애쉬를 사용하는 것이 콘크리트의 수화열에 의한 균열을 제어하는데 효과적이다. 한편, 플라이애쉬 치환율 10%의 경우에는 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트와 유사한 최고상승온도를 나타내고 있지만, 온도상승속도가 작아 온도균열을 일으킬 가능성이 상대적으로 적은 것으로 분석된다.

3.5 압축강도

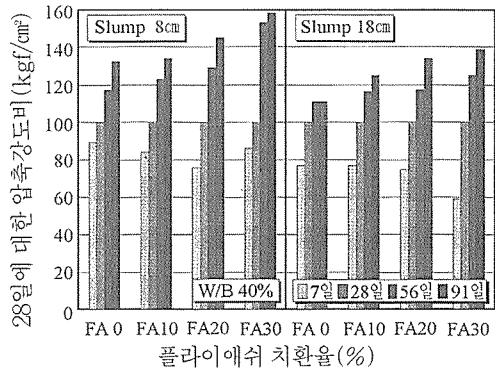
동일 물결합재비에서, 재령에 따른 플라이애쉬 치환율별 압축강도는 [그림 11]에서와 같이 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 초기재령에서는 낮아지는 것으로 나타났으나, 재령이 증가함에 따라 플레인 콘크리트와 유사하거나 다소 높은 압축강도를 나타내고 있다. 이는 배합조건에 따라 강도발현성상이 다소 상이하지만, 재령이 증가함에 따라 수화물질과 반응하는 플라이애쉬의 포졸란 반응으로 인하여 나타난 결과라고 사료된다. 따라서, 플라이애쉬를 콘크리트구조물에 적용할 경우에는 초



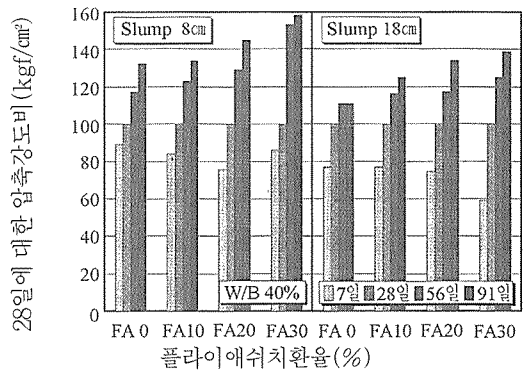
(사진 11) 플라이애쉬 치환율에 따른 압축강도 특성

기재령에서의 강도관리가 무엇보다도 중요하다고 할 것이다.

또한, 재령 28일을 기준으로 할 경우에 목표 슬럼프에 관계없이, 플레인 콘크리트의 강도 발현에 대한 플라이애쉬 치환율에 따른 강도 비는 물결합재비 40%의 경우(압축강도 350 kgf/cm²정도), 플라이애쉬 치환율 10%일 때 96~100%, 플라이애쉬 치환율 20%일 때 95~98%, 플라이애쉬 치환율 30%일 때 85~88%를 나타내고 있는 반면에, 물결합재비 50%의 경우(압축강도 300kgf/cm²정도), 플라이애쉬 치환율 10%일 때 92~100%, 플라이애쉬 치환율 20%일 때 87~88%, 플라이애쉬



(a) 물결합재비 40%



(b) 물결합재비 50%

(그림 12) 재령 28일 압축강도에 대한 각 재령별 압축강도비

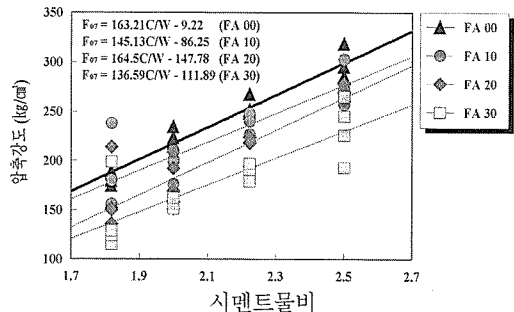
치환율 30%일 때 81~87%를 나타내고 있어, 물결합재비가 증가할수록 강도비는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 재령이 증가함에 따라 플레인 콘크리트와 거의 유사한 값을 나타내고 있었다.

결국, 현재에는 콘크리트 구조물의 설계기준강도를 재령 28일을 기준으로 평가하고 있지만, 플라이애쉬를 사용할 경우에는 강도평가 기준일을 다소 연장(56일, 91일)하여 관리하는 방안도 강구하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

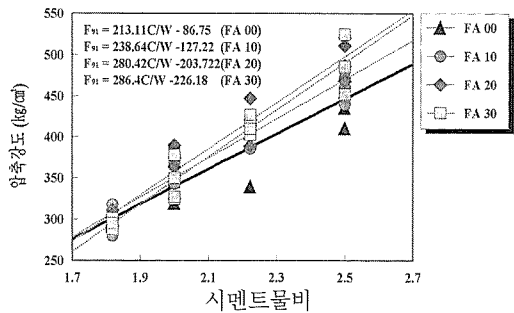
차후, 콘크리트의 고품질화 및 경제성을 고려한다면, 플라이애쉬를 가능한 한 다량으로 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 이를 위해서는 시방서 및 품질관리 지침 등을 작성하여 품질관리에 만전을 기하여야 할 것이다.

3.6 압축강도-결합재물비(B/W)와의 관계

[그림 13]에서와 같이 재령이 증가함에 따라 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 압축강도는 결합재물비에 따라 다소 상이하지만 플레인 콘크리트보다 증가하는 것을 알 수 있다. 재령 7일에서는 플레인 콘크리트의 압축강도가 높게 나타내고 있지만, 재령 91일 정도에서는 플라이애쉬 콘크리트가 플레인 콘크리트보다 높게 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 플라이애쉬의 포졸란 반응에 의한 것이며, 이에 따른 압축강도 발현성상이 결합재물비에 따라 다소 상이하지만 결합재물비가 클수록 포졸란 반응이 초기에 일어난다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 고강도 콘크리트와 같이 결합재물비가 큰 경우에는 재령 28일에 포졸란 반응에 의한 압축강도 발현이 크게 될 것으로 기대되기 때문에 그만큼 플라이애쉬 치환율을 높여 사용해도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.



(a) 재령 7일



(b) 재령 91일

[그림 13] 각 재령별 압축강도와 결합재물비와의 관계

4. 結論

화력발전소에서 부산물로 발생되는 플라이애쉬를 이용한 콘크리트의 굳지않은 상태 및 강도특성을 비롯한 제반 공학적 특성에 대해 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 슬럼프는 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 시멘트와 플라이애쉬의 비중차에 의한 결과로 분석된다. 또한, 공기량은 플라이애쉬의 미연 카본으로 인하여 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

한편, 경과시간에 따른 슬럼프는 플라이애쉬를 혼합함에 따라 슬럼프 손실이 다소 개선되는 것으로 나타났다.

2) 블리딩량은 본 연구범위인 물결합재비 40%의 경우 $0.25 \sim 0.28 \text{cm}^3/\text{cm}^3$ 이고, 물결합재비 50%의 경우 $0.45 \sim 0.49 \text{cm}^3/\text{cm}^3$ 인 것으로 나타났다는데 특히, 물결합재비 40%의 경우에는 고내구성 콘크리트의 경우에 규정하고 있는 $0.3 \text{cm}^3/\text{cm}^3$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

3) 응결시간은 물결합재비와 관계없이, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 초결 및 종결이 지연되는 것으로 나타나, 현장적용시 이를 반영하여 거푸집 해체시기를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

4) 수화특성으로 단열온도상승시험결과, 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 단열온도상승 속도(α, β) 및 최고상승온도(K)는 감소하였으며, 물결합재비가 클수록 감소경향이 뚜렷하였다.

5) 콘크리트의 압축강도는 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 초기재령의 경우, 낮은 강도 발현을 나타내는 반면에 장기재령으로 갈수록

강도발현율이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

參考文獻

- (1) 건설교통부 : 콘크리트 표준시방서, 1999.
- (2) 김선구 : 일반콘크리트의 Cost Down를 위한 배합설계 개발에 관한 연구, 대우건설기술연구소, 2000.3
- (3) 김영진, 이상수, 이순환 : 플라이애쉬 혼입 저발열 콘크리트를 이용한 철근 콘크리트 구조물의 균열 제어, 한국콘크리트학회지, 제 12권 2호, pp 41~47, 2000.3
- (4) 日本建築學會 : フライアッシュを使用したコンクリートの配合設計・施工指針(案)・同解説
- (5) 日本建築學會材料施工委員會・鐵筋コンクリート工事運營委員會・フライアッシュ調査研究小委員會 : フライアッシュ調査研究小委員會中間報告書, 1997. 2. 28