

# 플라이애시 置換率 變化에 따른 水中不分離 콘크리트의 特性에 관한 研究

## The Effects of Fly-ash Replacement on the Properties of Undispersed Underwater Concrete

元鍾弼\*  
Won, Jong. Pil.

崔應奎\*\*  
Choi, Eung-Kyoo

李大周\*\*\*  
Lee, Dae-Ju

### Abstract

The purpose of this study is analyze the properties of undispersed concrete according to replacement of the ratio of fly-ash. The test results show that as the ratio of flyash replacement which increasing fluidity but the amounts of air content, suspended solid and pH values dicresed and setting time is delayed. The ten percent replacment of fly-ash has less water pollution and high compressive strength value than other ratio of fly-ash replacement.

### 1. 序 論

水中에서 타설되는 콘크리트는 수중타설 시 材料分離를 일으키지 않아야 하고, 流動성이 優秀하여 다짐을 하지않아도 密 한 硬化體를 形成할 수 있어야 하며, 또한 水中環境을 汚濁시키지 않는 것을 必要條件으로 한다. 그런데 이와같은 水中콘크리트에 水中不分離性 混和劑와 高性能減水劑를 사용하여 製造된 콘크리트를 利用하게되면 굳지않은 콘크리트 중 시멘트, 잔골재, 굵은 골재가 잘 沾착되어 높은 材料分離 抵抗性和 高流動性 및 自己充填性을 갖기는 하지만 增粘劑 特有的 發泡性에 의한 空氣量增加와 아울러 많은 單位시멘트량에 의한 非經濟性이 문제시된다. 그러므로 本 研究에서는 水中不分離性 混和劑 및 高性能減水劑를 利用한 水中不分離 콘크리트에 混和材로서 플라이애시를 시멘트량에 일 정 비율 置換하여, 플라이애시에 의한 流動性增加, 粘性增進, 空氣量減少, 水化熱減少, 耐久性增進 및

\* 正會員, 三星物産(주) 建設部門 技術研究所 先任研究員, 工學博士

\*\* 正會員, 三星物産(주) 建設部門 技術研究所 首席研究員, 工學博士

\*\*\* 正會員, 淸州大 建築工學科 大學院 碩士課程

經濟性 成就 등의 잇점이 수중콘크리트에서도 發揮 될 수 있는 지를 檢討하고, 또한 적정 플라이애시 置換率 算定을 目的으로 本研究를 實施하였다.

## 2. 實驗計劃 및 方法

### 2.1 實驗計劃

本 研究의 實驗計劃은 표 1과 같다.

먼저, 配合事項으로 W/C를 49%로 固定시키고 수중불분리성混和劑는 中國과 韓國產의 2種類를 使用하는 것으로 하며, 플라이애시는 시멘트 使用量에 0, 10, 20, 30%의 4개 수준으로 置換率을 變化시키는 것으로 計劃한다.

### 2.2 使用材料

本 實驗에 使用한 材料로 시멘트는 아세아시멘트공업(주)의 1種 普通포틀랜드 시멘트를 使用하였는데, 그 物理的 性質은 표 2와 같다. 混和材로 플라이애시는 精製된 보령화력산을 使用하는데, 그 物理的 性質은 표 3과 같다. 骨材로써 잔골재는 京畿 남양만산 洗滌砂를 使用하며, 굵은골재는 大田產 碎石 19mm骨材를 使用하는데, 잔·굵은 骨材의 物理的 性質은 표 4와 같다.

混和劑로 水中不分離劑는 粉末形 셀룰로오스계를 使用하고, 流動化劑는 멜라민계, 소포제는 中國製 品의 경우 TBP계를 使用하는데, 그 物理的 性質은 표 5와 같다. 물은 음용 可能한 淸州市 上水道를 使用 한다.

표 1 實驗計劃 및 配合事項

혼화제 종 류	F.A/C	W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	증점제량 (%/c)	SP (%)	소포제 (%)	배합 사항				실험 사항	
								용적 배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )				굳지않은 콘크리트	경 화 콘크리트
								C	F.A	S	G		
중 국	0	49	196	38	0.75	1	0.015	127	0	242	395	슬럼프 플로우 공기량 타도 pH 응결시간	압축강도: 7일 28일 휨강도: 28일
	10							114	18	240	392		
	20							102	36	238	388		
	30							89	55	236	384		
한 국	0	49	196	38	4.6	2	-	127	0	242	395	슬럼프 플로우 공기량 타도 pH 응결시간	압축강도: 7일 28일 휨강도: 28일
	10							114	18	240	392		
	20							102	36	238	388		
	30							89	55	238	384		

표 2 시멘트의 物理的 性質

비중	Blane (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3,383	0.09	237	335	222	276	364

표 3 플라이애시의 物理的 性質

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열감량 (%)	주성분(%)					
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	MgO
2.2	3,218	5.9	60.4	24.7	4.6	3.2	0.2	0.8

표 4 骨材의 物理的 性質

골재종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	마모율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형관정실적율 (%)	No.200체통과량 (%)
잔골재	2.59	2.73	1.4	-	1650	60.5	0.9
굵은골재	2.61	6.7	1.67	8.5	1532	57.5	-

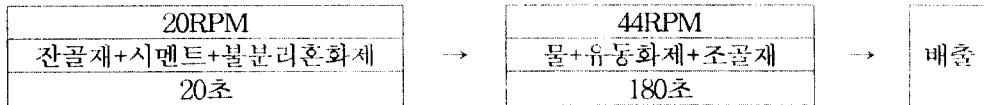
표 5 混和劑의 物理的 性質

혼화제 종류	구분	주성분	외관	비중	pH	비고
불분리혼화제	한국	HPMC	흰색분말	0.6~0.8	7~9	
	중국	HPMC	흰색분말	-	-	
유동화제	한국	Melamine	연노랑액상	1.27	7.5	
	중국	Melamine	흰색분말	-	7~9	
소포제	중국	TBP	무색액상	-	-	

### 2.3 實驗方法

本 研究의 實驗方法으로 콘크리트의 混和는 强制式 팬믹서를 사용하여, 각 수중불분리제 제조회사의 시방에 따른 혼합 순서로서, 그림 1과같이 실시한다.

#### 1) 한국



#### 2) 중국

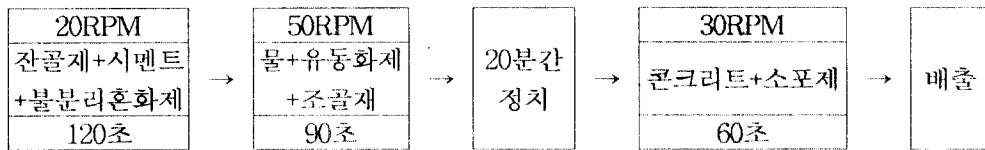


그림 1 콘크리트의 混和方法

굳지 않은 狀態의 실험으로 슬럼프 플로우시험은 KS F 2402 규정에 따라 슬럼프시험을 실시한 후 5분 후에 흘러내린 최대 직경과 이에 직교하는 직경의 평균값을 슬럼프 플로우치로 하였다. 空氣量은 KS F 2421규정의 압력법에 의한 공기함유량시험방법으로 하고, 凝結時間은 KS F 2436 규정에 따라 실시하며, 탁도와pH는 일본 토목학회의 규정에 따라 실시한다. 氣中成形供試體 製作으로 壓縮 및 휨 供試體는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 실시하고, 水中成形供試體 製作으로 壓縮 및 휨強度 試驗用 供試體는 일본 토목학회의 규준에 따라 실시한다.

硬化狀態에서의 7일, 28일 壓縮強度는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하며, 휨強度는 28일에 서

KS F 2407의 규정에 따라 실시한다.

### 3. 實驗結果 및 分析

#### 3.1 實驗結果

본 연구의 실험 결과로서 굳지 않은 상태 및 경화상태의 실험 결과는 표 6과 같다.

표 6 굳지않은 상태 및 경화상태 실험결과

혼화제 종류	F.A 대체율 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	탁도 (ppm)	pH	응결시간		압축강도				휨강도	
						초결	종결	7일		28일		28일	
								수중	기중	수중	기중	수중	기중
한국	0	49.0	4.4	30	11.41	14:18	17:09	193	243				
	10	51.6	4.1	30	11.59	15:40	19:31	168	196	247	277	76	83
	20	52.6	4.7	30	11.53	17:55	21:51	130	152	220	233	62	75
	30	48.6	4.8	25	11.47	18:35	22:20	109	129	175	218	60	68
중국	0	51.5	4	60	11.2	11:45	15:04	161	216	236	276	74	95
	10	55.3	3.7	58	10.94	13:32	16:37	145	177	234	273	71	89
	20	53.9	3.8	62	11.49	17:10	20:48	123	151	194	246	63	80
	30	54.7	4	65	11.37	21:33	25:00	110	127	175	218	53	64

#### 3.2 流動性 및 空氣量

그림 2는 混和劑 종류별 플라이애시 置換率變化에 따른 슬럼프플로우 및 空氣량을 분석한 그래프이다. 분석결과 플라이애시를 10~20% 치환한 範圍에서는 置換率이 增加할 수록 流動性이 약간 커지는 경향을 나타내는데 이는 구형의 플라이애시의 粒子가 골재와의 볼베어링 작용에 의하여 나타난 결과로 분석되나 그 이상은 粘性증대로 감소하는 경향으로 나타났다. 空氣量의 變化는 플라이애시 0~10% 치환한 範圍에서 空氣量이 감소하는 경향으로 나타나는데, 이는 구형의 플라이애시 미분말이 骨材와 시멘트페이스트 사이의 내부 공극을 밀실하게 充塡하기 때문에 나타난 결과로 사료되고 그 이후 약간 증가하는 傾向은 增粘劑 특유의 발포성이 플라이애시의 置換率 증가에 따른 粘性증대에 따라 수중불분리제의 효과와같이 空氣量이 갇혀짐에 의하여 나타난 결과라고 分析된다.

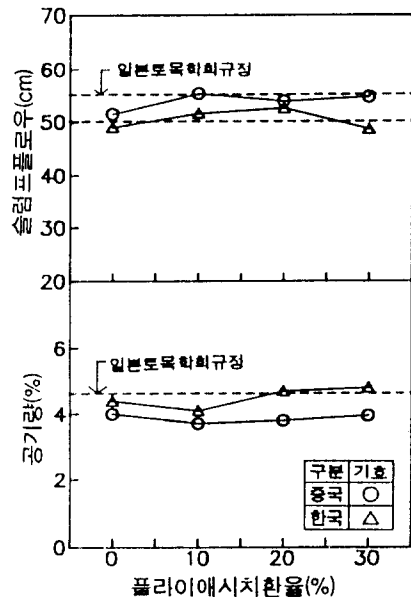


그림 2 플라이애시 치환율 변화에 따른 유동성 및 공기량

#### 3.3 水中 分離度

그림 3은 혼화제 종류별 플라이애시 置換率變化에

따른 수중 분리도를 나타내는 탁도 및 pH를 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

먼저, 전반적인 탁도는 중국 혼화제를 사용한 경우가 한국 혼화제를 사용한 경우보다 2배 정도 크게 나타났다. 플라이애시 置換에 따른 영향으로 중국 혼화제는 초기에는 감소하다가 조금씩 증가하는 경향이고 한국 혼화제는 초기에는 변동이 없다가 조금 감소하는 傾向으로 나타났다.

pH는 한국 혼화제가 중국 혼화제보다 약간 높게 나타났고, 플라이애시 置換率이 증가함에 따라 약간 낮아지는 傾向을 나타내고 있다. 이는 플라이애시 첨가에 따른 粘性중대에 따라 시멘트가 분리되지 않았기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.

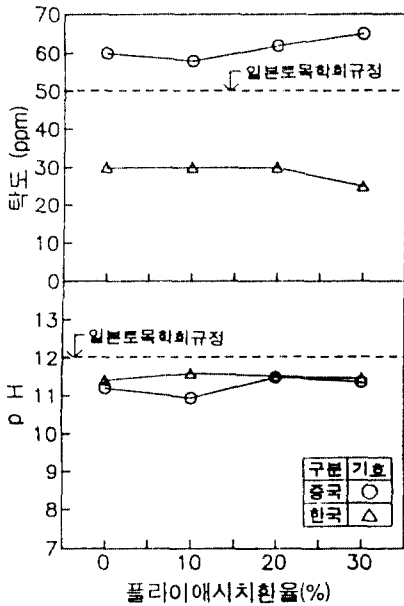


그림 3 플라이애시 치환율 변화에 따른 수중 분리도 특성

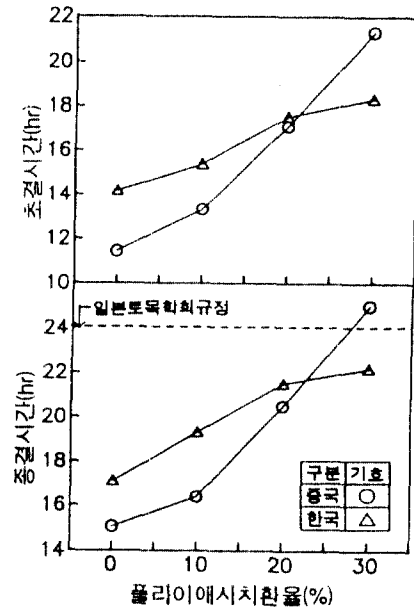


그림 4 플라이애시 치환율 변화에 따른 응결시간 특성

### 3.4 凝結時間

그림 4는 混和劑 종류별 플라이애시 置換率 變化에 따른 초결 및 종결시간을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 전반적인 傾向으로 응결시간은 플라이애시 置換率이 높을 수록 응결시간이 지연되고 있는데, 플라이애시 置換率 0~20% 범위에서는 韓國 混和劑가 中國 混和劑보다 더 지연되게 나타났고, 30%에서는 반대로 中國 混和劑가 韓國 混和劑보다 더 지연되게 나타났다.

이는 混和劑 특유의 성분과 플라이애시 성분의 複合作用에 따라 나타난 결과로 사료되는 상세한 分析은 별도의 심도 있는 연구가 요구된다.

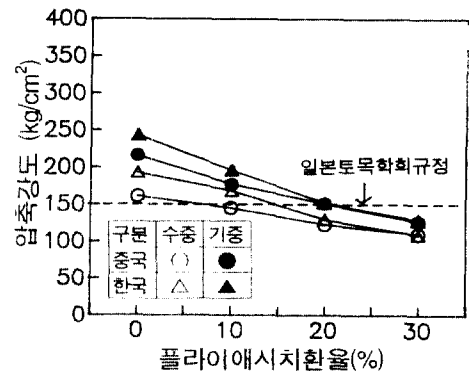


그림 5 플라이애시 치환율 변화에 따른 7일 재령의 압축 강도

### 3.5 壓縮強度 및 힘強度 壓縮強度

그림 5, 6은 混和劑 종류별 및 供試體 製作別 플라이애시 置換率 變化에 따른 7일, 28일 壓縮強度를 나타낸 것이다.

壓縮強度는 플라이애시 置換率이 높을수록 저하하였는데 7일강도와 28일강도를 비교해보면 플라이애시 置換率별 壓縮強度의 값이 차이가 점점 줄어드는 것을 알 수 있다. 이것은 플라이애시를 置換하면 단기 강도는 낮지만 포졸란반응에 의하여 장기강도는 증진된다는 기존의 연구와 근접해 가는 것을 알 수 있다. 水中製作 供試體의 강도가 氣中製作供試體의 강도보다 적지만 재령에 따른 강도의 증가율은 氣中製作供試體와 비슷하게 나타났다.

그림 7은 그림 5, 6과 동일한 요령으로 힘強度를 분석한 힘強度도 플라이애시 置換率에 따라 강도가 낮게 나타났는데 힘強度는 壓縮強度의 1/3정도로 일반 콘크리트의 壓縮強度에 대한 힘強度비율보다 높게 나타났으며, 플라이애시 置換率이 높아도 壓縮強度의 1/3범위내외로 類似하게 나타났다.

그림 8은 氣中과 水中간의 7일 및 28일 壓縮強度 전체를 산점도로 나타낸 그래프이다. 전반적인 傾向으로 7일 강도는 플라이애시 置換率이 높을수록 氣中과 水中과의 차이가 작게 나타나고 있고 28일강도에서는 플라이애시 置換率이 높아져도 水中과 氣中간의 壓縮強度 차이가 적어지기는 하나 전반적인 水中供試體의 강도 저하율은 20%이하로 유사한 강도가 발휘됨을 알 수 있다. 그림 9는 한국과 중국 混和劑를 사용한 7일 및 28일 壓縮強度를 산점도로 나타낸 그래프이다. 전반적인 傾向으로 한국 혼화제가 중국 혼화제보다 5~10% 더 높은 壓縮強度를 보이고 있다.

### 4. 結 論

플라이애시 置換率 變化에 따른 수중불분리 콘크리트의 굳지않은 狀態 및 硬化狀態의 諸般特性을 究明한 실험결과에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 流動性으로 슬럼프플로우는 플라이애시 置換率

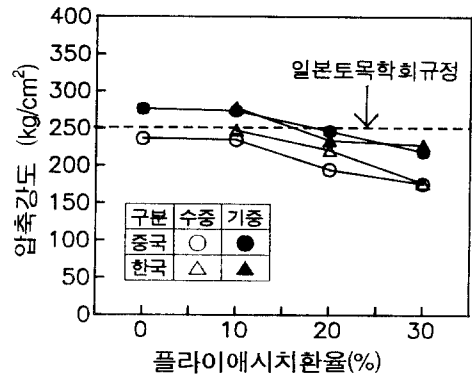


그림 6 플라이애시 치환율 변화에 따른 28일 재령의 압축 강도

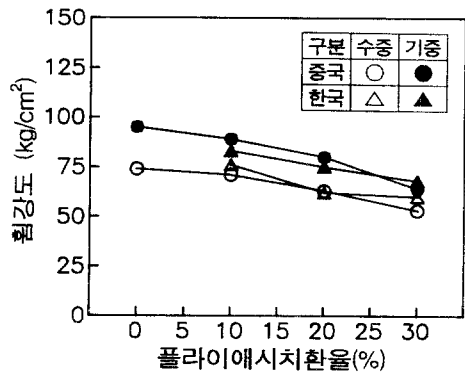


그림 7 플라이애시 치환율 변화에 따른 28일 재령의 휨 강도

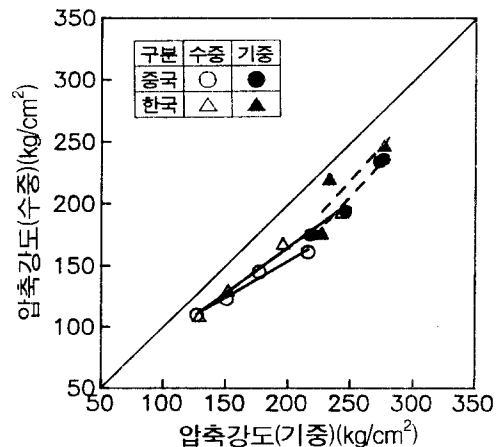


그림 8 7일, 28일 재령의 수, 기중 압축강도 비교

10~20% 범위에서 제일 크게 증가하는 것으로 나타나고 空氣量은 플라이애시 置換率 10%에서 감소하는 것으로 나타났다.

2) 濁度 및 pH는 플라이애시 置換率이 증가할 수록 감소하는 傾向으로 나타났다.

3) 凝結時間은 플라이애시 置換率이 증가할수록 지연되는 것으로 나타나고 壓縮強度 및 韌強度는 감소하는 것으로 나타났다.

以上을 종합하여 볼 때, 水中不分離性 混和劑와 高性能減水劑를 이용하는 수중콘크리트의 경우에 플라이애시를 시멘트량에 약 10%정도 置換하게 되면 流動性, 空氣量, 濁度 및 pH 등의 品質향상과 아울러 原價절감에 效果적일것으로 判斷된다.

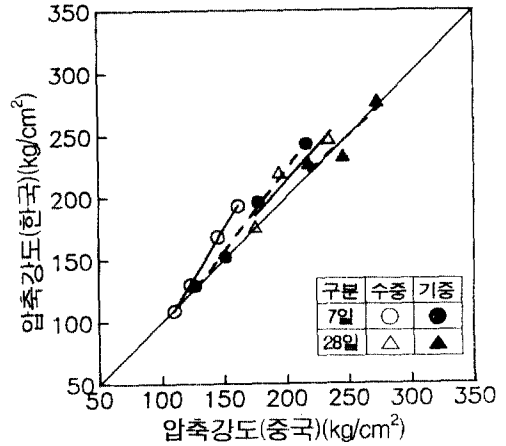


그림 9 7일, 28일 재령의 한, 중국 압축강도 비교

본 연구는 청주대학교 콘크리트실험실에서 수행 하였음에 위 연구실에 감사드립니다.

● 參考文獻 ●

1. 吉田 乙·飯野 茂·藤田 周二; 콘크리트의多樣化と生コン의對應, 콘크리트工學, vol. 34, No. 8, 1996. 8
2. 오병환, 정범석; 플라이애시 및 플라이애시 콘크리트의 재반특성 및 이용, 콘크리트 학회지, 제 3권 3호, 1991, 9, pp. 5~12
3. 김광범, 김기철, 연홍흠, 최강순, 한천구; 플라이애시를 이용한 고강도 레미콘 생산에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제14권2호, pp. 645~648, 1994
4. 신도철, 이종일; 수중불분리 콘크리트 물성에 미치는 혼화제 영향에 관한 기초 연구, 한국 콘크리트 학회 논문집, 제 6권 2호 pp. 180~185, 1994
5. 오상근, 조인성; 수중불분리제와 방수제, 콘크리트 학회지 제 8권 2호 pp. 41~48, 1994. 4