



# 수산화칼슘을 첨가한 UFFA 초속경 콘크리트의 물성특성 평가

## Material Property Evaluation for UFFA Rapid Setting Concrete including Calcium Hydroxide

전 성 일\*      남 정 희\*\*      안 지 환\*\*\*      권 수 인\*\*\*\*  
 Jeon, Sung IL      Nam, Jeong Hee      An, Ji-Hwan      Kwon, Soo Ahn

### Abstract

Generally, UFFA(Ultra Fine Fly Ash) has merit that advances a greater concrete workability and activates a greater pozzolanic reaction than common fly ash due to its ultra fine particle size. These properties enhance concrete durability by reducing permeability and increasing resistance of alkali silica reaction(ASR) and sulfate attack, etc. Due to these reasons, UFFA can be used in a rapid setting concrete. The purpose of this study is to develop and evaluate the rapid setting concrete with UFFA as a repair material for early-opening-to-traffic. In previous studies, if only UFFA is added to the rapid setting concrete mixture, pozzolanic reaction doesn't happen actively. Therefore, in this study, the chemical and physical tests were performed for rapid setting concrete with UFFA including calcium hydroxide and the activity of pozzolanic reaction was evaluated. Finally, the effectiveness of this mixture on enhancing concrete durability was investigated. As results, adding UFFA decreased the water/cement ratio of concrete, and compensated the reduced portion of the early strength of concrete. Also, rapid setting concrete with UFFA including calcium hydroxide activated a greater pozzolanic reaction than normal-UFFA concrete. As calcium hydroxide increases, electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration is promoted significantly.

**Keywords :** *ultra fine fly ash, calcium hydroxide, rapid setting concrete, pozzolanic reaction*

### 요 지

일반적으로 UFFA(Ultra Fine Fly Ash)는 일반 플라이 애시보다 워커빌리티를 더 좋게 하고 포졸란 반응을 더 크게 활성화시키는 특성을 가지고 있으며, 이와 같은 특성이 콘크리트의 내구성을 더욱 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 이러한 UFFA의 특성을 활용하여 초속경시멘트에 UFFA를 첨가한 콘크리트 혼합물이 조기교통개방용 콘크리트포장 보수재료로서 활용이 가능한지 여부를 판단하고자 하였다. 기 연구에서는 초속경시멘트에 UFFA만을 첨가할 경우, 포졸란 반응이 크게 활성화되지 못하여 내구성 증진에 큰 효과가 나타나지 않았다. 이에 본 연구에서는 초속경시멘트와 UFFA에 수산화칼슘을 추가로 첨가하여 제조된 콘크리트 혼합물의 포졸란 반응 발생여부를 판단하고, 이것이 콘크리트 물성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 본 연구결과, 초속경시멘트에 UFFA를 첨가할 경우 W/C비를 크게 낮출 수 있어 콘크리트의 조기강도 저감부분을 충분히 상쇄시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 X-선회절분석과 염소이온침투저항성 실험결과를 볼 때 수산화칼슘 첨가에 따른 UFFA 초속경 콘크리트의 포졸란반응이 첨가하지 않은 것에 비하여 더 크게 활성화되는 것으로 나타났으며, 특히 수산화칼슘 첨가량이 증가함에 따라 UFFA 초속경 콘크리트의 투수저항성이 전반적으로 증진됨을 알 수 있었다.

**핵심용어:** *울트라 파인 플라이애시, 수산화칼슘, 초속경 콘크리트, 포졸란 반응*

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 연구원  
 \*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 선임연구원  
 \*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 연구원  
 \*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 책임연구원



## 1. 서론

현재 콘크리트 도로포장 유지보수 재료로 초속경 시멘트, 가열형 폴리우레탄, 폴리머 콘크리트 등이 사용되고 있으나, 기존 콘크리트와의 재료적 이질성으로 인하여 잦은 조기파손이 발생하고 있는 실정이며, 이에 시멘트 계열의 내구성 증진을 도모할 수 있는 콘크리트 도로포장 보수재료의 필요성이 대두되고 있다.

한편, 국내외적으로 콘크리트의 장기적 내구성 향상을 위해 포졸란 재료를 많이 사용하고 있는데, 특히 산업부산물의 자원재활용 차원에서 포졸란 재료의 활용은 아주 중요한 이슈이다. 또한 전 세계적으로 CO<sub>2</sub>배출량의 7%가 시멘트 생산시에 발생하기 때문에(Metha 1998), 포졸란 재료의 사용을 통해 시멘트 사용량을 줄이는 것이 환경보호를 위한 하나의 대안으로 제시되고 있다. 이와 같은 측면에서 산업부산물인 플라이애시 재활용은 그 적용빈도가 점점 증가하고 있는 추세이다.

그러나 플라이 애시의 경우 콘크리트의 조기강도를 저하시키기 때문에, 빠른 교통개방을 요하는 콘크리트 도로포장 보수재료에는 적용되지 못하고 있는 실정이다. 최근에 국내의 연구에서는 플라이 애시의 분말도가 높을수록 물-시멘트비를 더 크게 줄일 수 있고, 강도도 개선되는 것으로 보고되고 있으며, 이는 조기교통개방용 재료에 적용이 가능함을 시사하는 사례라 볼 수 있다.

또한 기 연구에서 초속경시멘트(아원계)에 플라이 애시를 치환한 콘크리트에서는 포졸란 반응이 크게 일어나지 않아 콘크리트의 장기내구성 개선효과를 나타내지 않음이 보고되었다(전성일 외 4명 2007). 이는 초속경시멘트에 C<sub>3</sub>S와 C<sub>2</sub>S의 성분이 많이 함유되어 있지 않아, 수화반응을 통해 발생하는 수산화칼슘양이 적어 포졸란 반응이 크게 활성화되지 못하기 때문인 것으로 판단되었다.

이에 본 연구에서는 초속경시멘트와 UFFA에 수산화칼슘을 첨가한 콘크리트 혼합물의 포졸란 반응

발생여부를 판단하고, 이것이 콘크리트 물성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

## 2. 문헌조사

### 2.1 플라이 애시의 종류

플라이 애시는 학술적으로 입자의 크기의 따라 FA(Fly Ash), FFA(Fine Fly Ash), UFFA(Ultra Fine Fly Ash)로 분류한다. KS 기준으로 분류하자면 FA는 2종에, FFA는 1종에 분류될 수 있다. 하지만 UFFA는 현 KS, ASTM 기준으로는 분류할 수 없다. 미국의 Texas 교통국에서는 ASTM C 618 class F 기준을 만족하고, 3.25 $\mu$ m 이하의 입자가 50%, 8.50 $\mu$ m 이하의 입자가 90% 이상인 플라이 애시 입자를 UFFA로 규정하고 있다. 표 1은 미국 Texas 교통국에서 제시하고 있는 UFFA 기준을 나타내고 있으며, 그림 1은 SEM 장비를 통해 촬영된 UFFA의 입자를 보여주고 있다.

표 1. Texas 교통국의 UFFA 기준(Jackura et al, 2007)

항 목		기 준 치
활성도 지수	7일(최소%)	85
	28일(최소%)	95
입자크기분포	3.25 $\mu$ m 이하 입자(%)	50
	8.50 $\mu$ m 이하 입자(%)	90
분말도(45 $\mu$ m 잔량) (%)		6
수분(최대%)		1
강열감량(최대%)		2

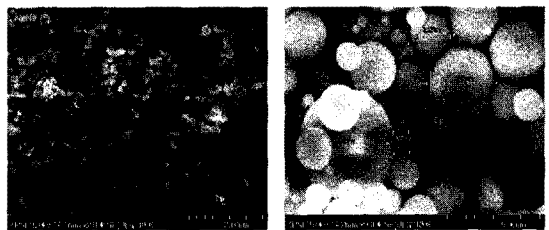
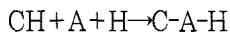
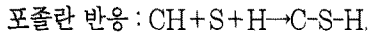
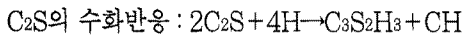
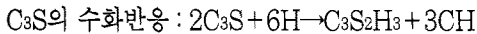


그림 1. SEM장비를 이용한 UFFA의 입자형상



## 2.2 플라이 애시를 첨가한 콘크리트 혼합물의 특성

플라이 애시는 화력발전소 등의 연소보일러에서 부산되는 석탄재로서 연소 폐가스 중에 포함되어 집진기에 의해 회수된 특정입도 범위의 재료를 말하며, 포졸란계를 대표하는 혼화재 중의 하나이다[1]. 플라이 애시는 슬래그에 비하여 CaO가 적고, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 풍부한 것이 특징이다. 플라이 애시는 그 자체에는 수경성이 없지만 그것에 함유되어 있는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 같은 가용성분이 시멘트 구성 화합물인 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S가 수화할 때 생성된 Ca(OH)<sub>2</sub>와 상온에서 서서히 반응하여 불용성의 안정한 규산칼슘수화물(C-S-H)이나 칼슘알루미네이트수화물(C-A-H)을 생성하게 되는데, 이를 포졸란 반응(pozzolanic reaction)이라 한다.



일반적으로 플라이 애시는 콘크리트 내에서 워커빌리티 개선, 단위수량 감소, 블리딩현상 감소, 장기 강도 증진, 알카리골재반응 억제, 투수저항성 향상, 수화열 감소, 황산염 저항성 향상 등등의 효과를 나타내어 콘크리트 내구성 증진에 큰 효과가 있다.

특히 최근에 국외에서 연구되어진 내용 중 플라이 애시의 분말도에 따른 영향과 플라이 애시 콘크리트의 투수저항성 관련 부분을 아래에 정리하였다.

Haque and Kayali(1998)는 플라이 애시 입자 크기가 45 $\mu$ m이하에서 콘크리트의 워커빌리티를 증가시킬 수 있다고 하였다[6]. Li Yijin et al(2004)은 플라이애시의 분말도가 클수록, 즉 입자가 작을수록 단위수량 요구비는 감소하며, 특히 UFFA는 콘크리트의 워커빌리티를 크게 향상시켜 준다 하였다.

Slanicka(1991), Liu et al(2000)은 플라이애시

의 분말도가 클수록, 즉 입자가 작을수록 콘크리트의 강도가 증진된다고 하였다.

Davis(1954)는 ASTM Class F(low-lime) 플라이 애시를 첨가한 콘크리트는 일반 콘크리트와 비교하여 재령 28일까지는 투수성이 더 큰 것으로 나타났으나, 6개월 이후에는 투수성이 더 작게 나타났다고 보고하였다.

Malhortra(1989)는 시멘트양에 54%~58%를 플라이 애시로 치환한 콘크리트에 대하여 염화이온 투수시험을 수행하였으며, 재령 91일에서 플라이 애시 콘크리트의 염화이온투수율은 197~973 쿨롱(coulombs) 정도로 무시할 수 있을 만큼 작게 나타났다고 하였다.

Armaghani et al(1991)은 재령 91일에서 플라이 애시 10%~50%를 첨가한 콘크리트의 투수율은 일반 콘크리트와 비교하면 50%정도까지 감소된다고 하였다.

Obla et al(2000)은 재령 28일에 UFFA를 8% 이상 첨가한 콘크리트가 일반콘크리트에 비해 염화이온투수율과 염화물 확산계수를 50% 이상 낮추는 것으로 보고하였다.

## 3. 실험계획

### 3.1 실험개요

본 연구에서는 수산화칼슘 첨가량 변화에 따른 UFFA 초속경 콘크리트의 물성특성 분석을 위해, UFFA 0%~15%, 수산화칼슘 0~15%로 변화를 주어 배합을 실시하였다.

각각의 배합에 대한 콘크리트 혼합물에 대하여, 슬럼프, 공기량, 압축강도, 염소이온침투저항성 실험을 수행하였으며, 이중 일부 변수에 대하여 재령 별 시멘트 페이스트 경화체에 X-선 회절분석을 수행하였다.



### 3.2 사용재료

#### (1) UFFA와 시멘트

표 2는 UFFA와 시멘트 화학성분특성을 나타내고 있다. 본 연구에서 사용된 시멘트는 S사 아원계 초속경시멘트를 사용하였다.

표 2. UFFA와 시멘트 화학성분 특성

Type	Chemical Composition(%)							분말도		비중 (g/cm <sup>3</sup> )	강열 감량 (%)
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	브레인방법 (cm <sup>2</sup> /g)	망체방법 (%)			
UFFA	54.2	23.7	4.85	8.51	1.97	1.19	6,710	0.34	2.49	1.76	
초속경 시멘트	23.5	16.8	1.7	50.7	1.8	6.7	5,627	-	2.91	-	

#### (2) 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 북한 해주산 해사와 국내 어청도 해사를 혼합한 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 19mm 쇄석골재를 사용하였다. 그림 2와 그림 3은 잔골재와 굵은골재의 입도분포를 나타내고 있다.

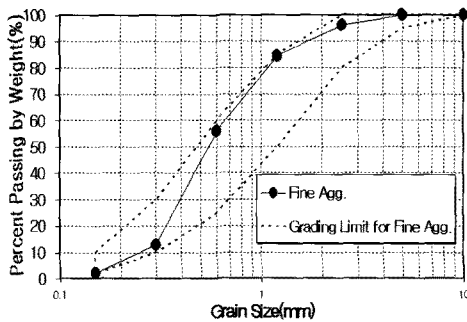


그림 2. 잔골재 입도분석 곡선

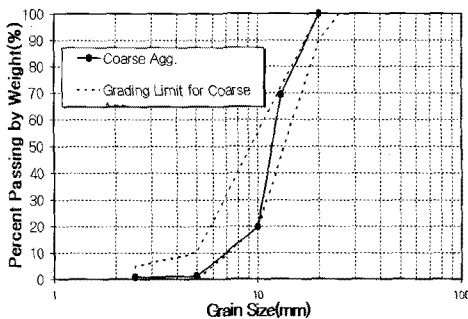


그림 3. 굵은골재 입도분석 곡선

### 3.3 실험방법

#### (1) X-선 회절분석 (XRD)

건조된 시멘트 경화체를 가늘게 분쇄하고, X-선 회절분석기를 사용하여, 5°~85°의 범위를 4°/min의 속도로 측정하였다. X-선 회절분석은 시멘트 경화체 재령 1일, 7일, 28일에 수행되었다. X-선 회절분석기는 Philips사 X'Pert MPD 장비를 이용했다.

#### (2) 슬럼프 실험 / 공기량 실험

굳지 않은 콘크리트의 유동성 측정방법의 일종인 슬럼프 실험은 KS F 2401(굳지 않은 콘크리트의 시료채취 방법)에 따라 시료를 채취하여 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)의 규정에 준하여 실시하였다.

콘크리트의 압축강도 및 내구성에 영향을 미치는 공기량 실험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)에 따라 워싱턴형 공기량 측정기를 사용하여 실험을 실시하였다. 공기량 실험은 실험의 정확도를 높이기 위해 한 배합에 대해 두 번씩 반복하여 수행되었으며, 결과는 두 개의 평균값을 사용하였다.

#### (3) 압축강도 실험

각각 표준 규격 공시체 [KS F 2403(실험실에서 콘크리트의 압축, 휨, 조깅인장강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)]에서 규정하는 시험용 공시체를 제작하고, 압축강도 실험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 공시체 재령 3시간, 7일, 28일에 수행되었다. 각각의 변수별 3개의 시료를 사용하여 평균 압축강도를 산정하였으며, 압축강도 실험은 Instron 8150을 이용하였다.

#### (4) 염소이온침투저항성 실험

염소이온침투저항성 실험은 KS F 2711에 준하여 공시체 재령 7일, 28일에 수행되었으며, 각각의 변수별 2개의 시료를 사용하여 평균 통과전하량을 산



정하였다. 염소이온침투저항성 실험은 강제식 투수 실험과 비교하여 단기간에 콘크리트의 투수저항성을 판단할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 4는 염소이온침투저항성 실험 전경을 나타내고 있다.

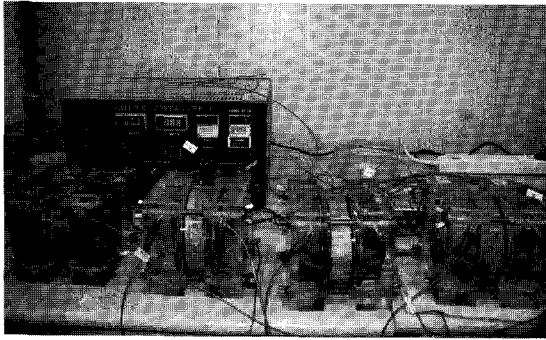


그림 4. 염소이온침투저항성 실험 전경

### 3.4 배합비

시멘트 페이스트 경화체 배합비는 W/B(C+F)를 0.35로 고정하였고, UFFA를 0~15%로 변화를 주었으며, 수산화칼슘을 10%, 고성능감수제를 0.5%(바인더 중량대비)로 고정하였다.

표 3은 콘크리트 배합비를 나타내고 있다. 여기서 UFFA 치환율은 시멘트 중량대비 백분율을, 수산화칼슘 치환율은 UFFA 중량대비 백분율을 의미하게 되며, 비중 차이에 따른 증가체적분은 잔골재와 굵은 골재 양을 조정하여 맞추게 된다. 본 배합표는 기본

예비실험을 통해 동일한 작업성을 구현하게 하였으며, 이에 UFFA 0%의 경우 W/C 46%, UFFA 10%의 경우 W/C 43%, UFFA 15%의 경우 W/C 42%로 조정되었다. 이와 같이 UFFA 치환시 혼합물의 워커빌리티를 개선하여 상대적으로 W/C를 낮출 수 있는 효과를 나타내었다.

또한 본 배합에서는 공기량과 작업시간 확보를 위해 AE제(감수제 중량대비)와 지연제(바인더 중량대비)를 첨가하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 X-선 회절분석 결과

그림 5~그림 9는 X-선 회절분석 실험결과를 나타내고 있다.

UO<sub>2</sub>C<sub>0</sub> 혼합물의 경우 재령에 따른 수산화칼슘의 회절피크는 일정하며, 재령 28일에는 아주 미세하게 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 U10C<sub>0</sub>과 U15C<sub>0</sub>의 경우 재령이 지남에 따라 수산화칼슘의 회절피크가 아주 미세하게 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 전반적으로 회절피크 강도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 초속경시멘트에 C<sub>3</sub>S와 C<sub>2</sub>S의 함량이 적어, 수화반응을 통해 발생하는 수산화칼슘양 또한 적으며, 이에 포졸란 반응이

표 3. 콘크리트 혼합물 배합비

명 칭	UFFA 치환율 (%)	CaOH <sub>2</sub> 치환율 (%)	G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능 감수제 (%)	AE제 (%)	지연제	
						W	Binder			S				G
							C	UFFA	CaOH <sub>2</sub>					
U0C0	-		19mm	46	50	180	390	-	-	837	841	0.5	6	0.3 ~ 0.5
U10C0	10			43		168	351	39	-	849	854			
U10C5	10	5		43		168	351	39	1.9	848	853			
U10C10	10	10		43		168	351	39	3.9	847	852			
U10C15	10	15		43		168	351	39	5.8	846	850			
U15C0	15	-		42		164	331	58		853	858			
U15C5	15	5		42		164	331	58	2.9	851	856			
U15C10	15	10		42		164	331	58	5.8	849	854			
U15C15	15	15		42		164	331	58	8.8	848	853			



크게 활성화되지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

이에 반해, 수산화칼슘을 첨가한 U10C10과 U15C10 혼합물의 수산화칼슘 회절피크 강도는 상대적으로 조금 더 큰 값을 나타내고 있으며, 재령이 지남에 따라 수산화칼슘의 회절피크가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 재령 1일 이후부터 발생하는 포졸란반응으로 수산화칼슘의 양이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 초속경시멘트에 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S 함유량이 적어 수산화칼슘의 발생양이 적고, 플라이

애시와 수산화칼슘 첨가량이 많지 않아 전반적으로 회절피크 강도가 크지 않으며, 회절피크 감소폭 또한 작음을 알 수 있다.

또한, 에트링자이트(ettringite) 회절피크는 재령 1일에 크게 발생하였으며, 재령 28일에 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 초속경시멘트의 아연계 성분(3CaO·3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·CaSO<sub>4</sub>)이 물과 반응하여 에트링자이트를 생성하게 되는데, 이것은 대부분 재령 초기에 이루어지기 때문이다.

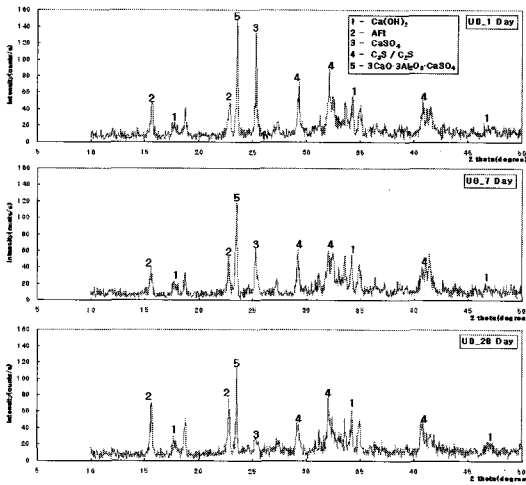


그림 5. U0C0 혼합물의 XRD 패턴

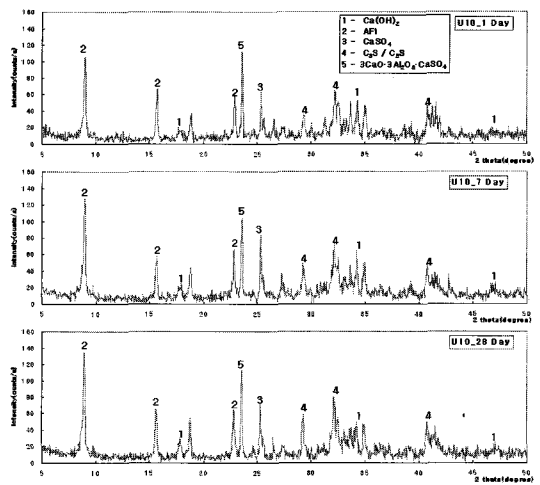


그림 6. U10C0 혼합물의 XRD 패턴

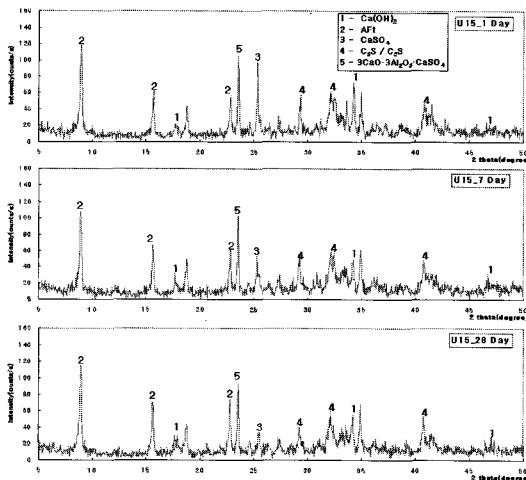


그림 7. U15C0 혼합물의 XRD 패턴

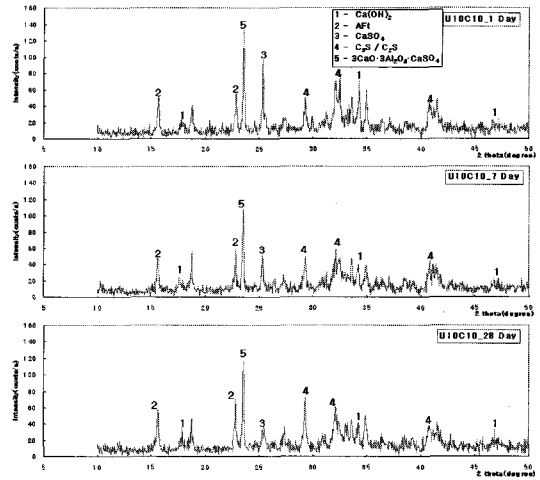


그림 8. U10C10 혼합물의 XRD 패턴

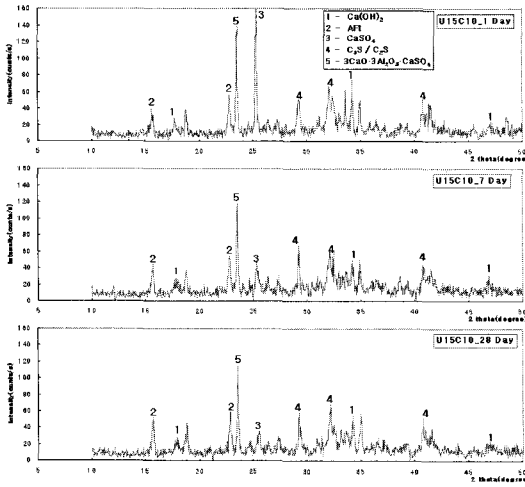


그림 9. U15C10 혼합물의 XRD 패턴

#### 4.2 슬럼프/공기량 실험결과

UFFA 치환율에 따른 슬럼프 실험결과를 그림 10에 나타내었다. 수산화칼슘 첨가량 변화에 따른 슬럼프 경시변화는 차이가 없어 본 그래프에서는 생략하였다. 일반적으로 물-시멘트비를 동일하게 할 경우, 플라이 애시를 첨가함에 따라 콘크리트의 워커빌리티를 증대시키기 때문에, 초기슬럼프가 증대되고 응결도 지연되는 현상을 나타내어 슬럼프 '0' 시점이 늘어나게 된다. 그러나 본 연구에서는 예비실험을 통해 동일한 작업성을 구현하도록 배합비를 조정하였고, 그림에서 알 수 있듯이 슬럼프 경시변화는 UFFA 치환율에 관계없이 동일한 형태를 나타내고 있다.

UFFA 치환율에 따른 공기량 실험결과를 그림 11에 나타내었다. 수산화칼슘 첨가량 변화에 따른 공기량은 차이가 없어 본 그래프에서는 생략하였다. UFFA 치환율별 공기량을 일정하게 맞추기 위해, AE제를 변화를 주었으며, 이에 그림에서 나타낸 것과 같이 혼합물별 공기량 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. UFFA를 첨가하지 않은 콘크리트는 AE제를 4%, UFFA를 첨가한 콘크리트는 AE제 6%를

첨가하였다. 일반적으로 동일한 AE제 양을 첨가할 경우 플라이 애시의 첨가량 증가시 콘크리트 혼합물의 공기량은 감소하게 되는데, 이는 플라이 애시의 미연소 탄소에 AE제가 흡착되어 시멘트페이스트의 AE제 농도가 감소되기 때문이다.

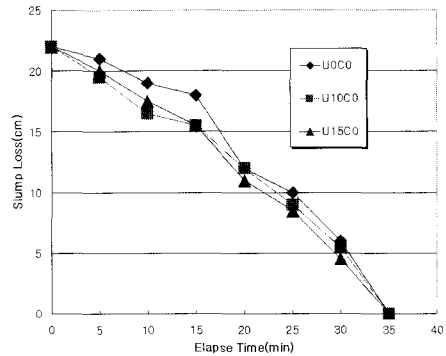


그림 10. 슬럼프 실험결과

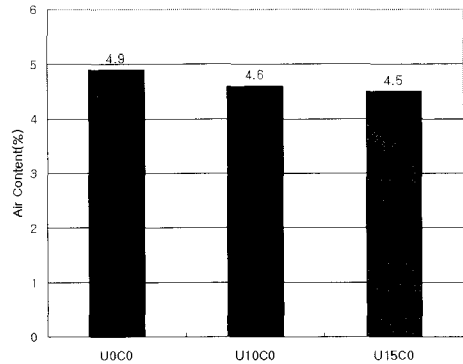


그림 11. 공기량 실험결과

#### 4.3 압축강도 실험결과

배합온도에 따른 콘크리트 혼합물의 재령별 압축강도 실험결과를 그림 12와 그림 13에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 배합온도 차이에 따라 압축강도가 약 10MPa 정도의 차이를 나타내고 있으며, 이는 초속경 콘크리트의 초기 발열온도가 강도발현에 있어 크게 영향을 미치기 때문이다. 특히 저온에서 배합시 UFFA의 첨가량이 증가함에 따라 강도저



하 현상이 좀 더 크게 나타난다.

일반적으로 동일한 물-시멘트비의 경우, UFFA 첨가량이 증가함에 따라 초기 강도가 저하되는 현상을 나타나게 되는데, 본 연구에서는 UFFA 첨가량 증가에 따라 W/C를 낮게 하여 모든 혼합물의 재령 3시간 압축강도가 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 특히 교통개방을 위한 기준강도 21MPa를 모두 통과하는 것으로 나타나, 조기교통개방용 보수재료로 충분히 활용될 수 있음을 보여준다.

또한 재령 3시간에서 수산화칼슘을 첨가한 것과 첨가하지 않은 UFFA 콘크리트의 압축강도는 별다른 차이를 나타내고 있지 않으며, 재령 7일과 28일에도 수산화칼슘을 첨가한 UFFA 콘크리트가 수산화칼슘을 첨가하지 않은 것과 압축강도가 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 물론 일부 결과에서 첨가량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 추이를 나타내지만, 그 차이가 미미하여 판단하기가 어렵다. 본 결과는 재령 28일까지만 측정된 결과로 추후 장기재령

에서의 압축강도 측정을 통해 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.4 염소이온 침투저항성 실험결과

배합온도에 따른 콘크리트 혼합물의 재령별 염소이온 침투저항성 실험결과를 그림 14와 그림 15에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 배합온도에 따른 콘크리트 혼합물의 투수저항성 특성은 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 또한 재령 28일에 수산화칼슘을 첨가하지 않은 UFFA 초속경 콘크리트의 통과전하량 값은 일반 초속경 콘크리트의 통과전하량 값과 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 이것은 초속경 시멘트가 일반 포틀랜드 시멘트에 비해  $C_3S$ 와  $C_2S$  성분을 많이 함유하고 있지 않아 1차 수화반응에 의해 생성되는 수산화칼슘의 양이 적으므로, 플라이 애시의  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  성분과 수산화칼슘의 2차 포졸란 반응 또한 일반 포틀랜드 시멘트에 비해 적게 나타나기 때문이다.

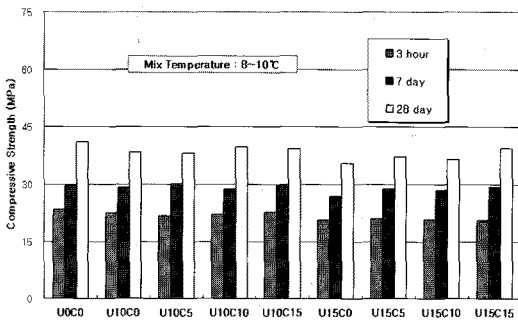


그림 12. 압축강도 실험결과(Mix온도 : 8~10°C)

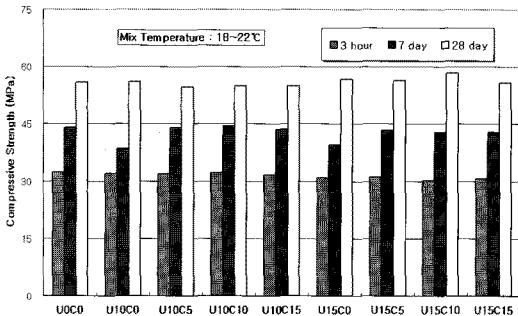


그림 13. 압축강도 실험결과(Mix온도 : 18~22°C)

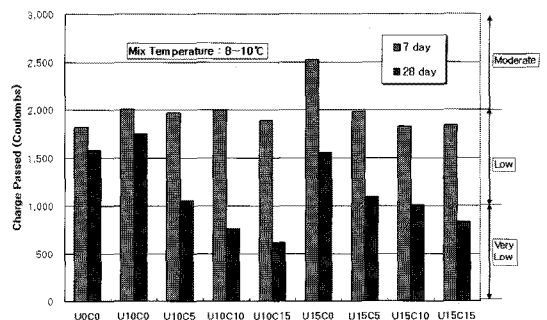


그림 14. 염소이온침투저항성 실험결과(Mix온도 : 8~10°C)

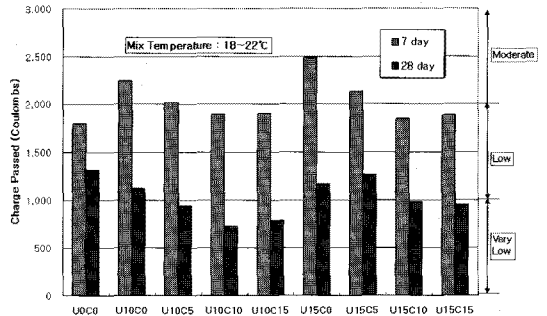


그림 15. 염소이온침투저항성 실험결과(Mix온도 : 18~22°C)





그러나, UFFA 초속경 콘크리트에 수산화칼슘 첨가시 재령 28일에 통과전하량값은 약 500~1,000 쿨롱 정도를 나타내어 KS F 2711 기준에 '매우낮음'으로 평가되었으며, 수산화칼슘 첨가량 증가시 전반적으로 통과전하량이 감소하는 경향을 나타내어 투수저항성이 증진됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 수산화칼슘을 추가로 첨가하여, UFFA 초속경 콘크리트의 포졸란 반응을 크게 활성화했기 때문인 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 수산화칼슘의 첨가량 변화에 따른 UFFA 초속경 콘크리트의 물성 특성을 평가하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 초속경시멘트에 UFFA를 첨가할 경우, W/C비를 크게 낮출 수 있어 콘크리트의 조기강도 저감부분을 상쇄시킬 수 있으며, 특히 조기교통개방을 위한 기준강도 21MPa 이상을 충분히 만족시키는 것으로 나타났다.
- X-선 회절분석과 염소이온침투저항성 실험결과를 볼 때, 수산화칼슘 첨가에 따른 UFFA 초속경 콘크리트의 포졸란반응이 첨가하지 않은 것에 비하여 더 크게 활성화되는 것으로 나타났다.
- 수산화칼슘 첨가량이 증가함에 따라 UFFA 초속경 콘크리트의 투수저항성이 전반적으로 증진됨을 알 수 있었다.
- 추후에, 장기재령에 따른 UFFA 초속경 콘크리트의 물성분석 연구와 수산화칼슘 적정량 산정을 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국가 R&D과제인 "장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발"의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

## 참고문헌

- 전성일 외 4명 (2007), "고밀도 플라이애시를 첨가한 급속경화 콘크리트의 강도와 투수특성 분석", 2007년 도로학회 학술발표회 논문집, pp 413~416
- 한국콘크리트학회 (1992), "최신콘크리트공학", pp 150
- Armaghani, J. M., Romano, D. C., and Larsen, T. J. (1991), "Strength and Durability of Concrete in Florida", Proc., 2nd CANMET/ACI Int. Conf. on Durability of Concrete: Supplementary Papers, *Am. Concrete Inst., Detroit, Mich.*, pp 723~748
- Davis, R. E. (1954), "Pozolanic Materials with Special Reference to Their Use in Concrete Pipe", Tech. Memo, *Am. Concrete Pipe Assoc., Vienna, Va.*
- Federal Highway Administration (2003), "Full-Depth Repairs", *U.S Department of Transportation, Washington, D.C.* [www.fhwa.dot.gov/pavement/full.htm](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/full.htm)
- Haque, M. n., and Kayali, O. (1998), "Properties of High-Strength Concrete Using a Fine Fly Ash", *Cem. Concr. Res.*, 28(10), pp 1445~1452
- Haque, M. n., and Kayali, O. (1992), "Fly Ash Reduces Harmful Chloride ions in Concrete" *ACI Mater: J.*, 89(3), pp 238~241
- Horn, M. W., Stewart, C. F., and Boulware, R. L.(1972), "Factors Affecting the Durability of Concrete Bridge Decks : Normal vs Thickened Deck-Interim Report No. 3.", *Bridge Department, California Division of Highways, CA-HY-4101-37211.*
- Jackura et al (2007), "Advanced Multi-Product Coal Utilization By-Product Processing Plant", *Technica Progress Report, Center for Applied Energy Research*, pp 21.
- Karthik, Obla (2000), "Durability of Concrete Containing Fine Pozzolan", *International HPC Symposium in Orlando, Florida*



- Li Yijin et al. (2004), "The Effect of Fly Ash on the Fluidity of Cement Paste, Mortar, and Concrete", *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*
- Liu, B., Xie, Y., Zhou, S., and Yuan, Q., and Aitcin, P. C. (2002). "Influence of ultrafine fly ash composite on the fluidity and compressive strength of concrete", *Cem. Concr. Res.*, 30(9), pp 1489~1493.
- Mehta, P. K. (1998), "In cement, Fly Ash Emerges as a Cure to Limit Greenhouse Gases", *ENR*, pp 13.
- Malhotra, V. M. (1989), "Durability of Concrete Incorporating High-Volumes of Low-Calcium(ASTM Class F) Fly Ash", *Proc., 2nd Int. Seminar on Some Aspects of Admixtures and Industrial By-Products on the Durability of Concrete, Gothenburg, Sweden*, pp 1~15.
- Obla et al. (2000), "Durability of Concrete Containing Fine Pozzolan", *International HPC Symposium in Orlando, Florida*.
- Slanicka, S. (1991). "Influence of fly ash fineness on the strength of concrete", *Cem. Concr. Res.*, 21(4), pp 285~296.

접 수 일: 2008. 7. 22  
심 사 일: 2008. 7. 24  
심사완료일: 2008. 11. 4